



BỘ XÂY DỰNG
Ministry of Construction

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG
Vietnam Institute for Building Science and Technology

Add: 81 Trần Cung - Nghĩa Tân - Cầu Giấy - Hà Nội - Tel: 84.4.37544196 - Fax: 84.4.38361197
Website: www.ibst.vn - Email: vkcnxd@ibst.vn

HƯỚNG DẪN THIẾT KẾ

KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP CỦA NHÀ CAO VÀ SIÊU CAO TẦNG Ở VIỆT NAM

MÃ SỐ TĐ 29 - 17

Hà Nội – 2021

MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	I
1 GIỚI THIỆU.....	1
2 PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU	3
2.1 TỶ SỐ ĐỘ MẠNH.....	4
2.2 LỰA CHỌN HỆ KẾT CẤU	5
2.3 HỆ THỐNG DỊCH VỤ.....	6
2.4 MẶT DỰNG.....	6
2.5 BỐ TRÍ LỖI.....	8
2.5.1 Tác động của việc sử dụng tòa nhà.....	9
2.5.2 Các mặt bằng điển hình.....	10
2.6 GIAO THÔNG THEO PHƯƠNG ĐỨNG	11
2.7 YÊU CẦU PHÒNG CHÁY	12
2.8 TÍNH KHẢ THI KHI THI CÔNG.....	12
2.9 CHUYỂN VỊ LỆCH TẦNG VÀ ỨNG XỬ ĐỘNG.....	13
2.10 CÁC HƯ HỎNG BẤT THƯỜNG	14
3 HỆ KẾT CẤU CHỊU LỰC.....	16
3.1 LOẠI 1 – HỆ KHUNG	17
3.2 LOẠI 2 - HỆ VÁCH.....	18
3.3 LOẠI 3 – HỆ KHUNG VÁCH.....	19
3.4 LOẠI 4 – HỆ KHUNG ỚNG.....	21
3.5 LOẠI 5 – HỆ ỚNG TRONG ỚNG.....	22
3.6 LOẠI 6 – HỆ BỐ LỖI.....	22
3.7 LOẠI 7 – HỆ ỚNG KẾT HỢP GIẢNG	23
3.8 LOẠI 8 – HỆ TẦNG CỨNG	24
4 CÁC CẤU KIỆN CHỊU LỰC	26
4.1 SÀN	26
4.1.1 Các yêu cầu về tính năng.....	27
4.1.2 Hệ kết cấu sàn.....	28
4.2 CỘT	30
4.2.1 Các yêu cầu về tính năng.....	30
4.2.2 Khoảng cách cột	31
4.2.3 Kích thước cột.....	32
4.2.4 Tải trọng đứng và ngang	33
4.2.5 Cột liên hợp	34
4.3 VÁCH.....	35
4.3.1 Các yêu cầu về tính năng.....	35
4.3.2 Bố trí vách	36
4.3.3 Kích thước vách	37

4.3.4	Tải trọng đứng và ngang	37
5	MÓNG	39
5.1	KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT	40
5.2	TƯƠNG TÁC NỀN – CÔNG TRÌNH	41
5.3	CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MÓNG	42
5.3.1	Móng bè.....	42
5.3.2	Móng cọc	45
5.3.3	Móng bè cọc.....	46
5.4	THIẾT KẾ TÀNG HẦM	46
6	TÍNH KHẢ THI KHI THI CÔNG	48
6.1	THI CÔNG LỖI	48
6.2	THI CÔNG CỘT, VÁCH	51
6.3	THI CÔNG SÀN	52
6.4	ĐÓ BÊ TÔNG	53
6.5	DUNG SAI.....	53
7	TẢI TRỌNG.....	54
7.1	TÌNH TẢI	55
7.2	HOẠT TẢI	56
7.3	TỔ HỢP TẢI TRỌNG.....	56
7.4	TẢI TRỌNG THI CÔNG	57
7.5	TẢI TRỌNG ĐẶC BIỆT VÀ SỰ ĐÓNG NGHIÊM TRỌNG	58
7.6	TẢI NHIỆT ĐỘ	59
8	ĐỘNG LỰC CÔNG TRÌNH	61
8.1	ĐỘ CẢN.....	62
8.2	TIÊU CHÍ VỀ ĐỘ THOẢI MÁI CỦA NGƯỜI Ở (TRONG CÔNG TRÌNH).....	65
8.3	GIA TỐC CÔNG TRÌNH.....	67
9	KỸ THUẬT GIÓ.....	69
9.1	KHÍ HẬU GIÓ.....	70
9.2	TẢI TRỌNG GIÓ CHO THIẾT KẾ CỤC HẠN VÀ SỬ DỤNG	70
9.2.1	Kích động xoáy	71
9.2.2	Điều kiện sử dụng	72
9.2.3	Giảm thiểu tải trọng gió	73
9.2.4	Tiêu chuẩn thực hành	74
9.3	THỬ NGHIỆM ỚNG THỔI KHÍ ĐỘNG	74
9.4	THƯỞNG CHUYÊN GIA TƯ VẤN VỀ KỸ THUẬT GIÓ	78
9.4.1	Mô phỏng profile lớp biên khí quyển.....	78
9.4.2	Các mô hình ống thổi khí động	79
9.4.3	Nghiên cứu ống thổi khí động.....	81
9.4.4	Tính toán động lực học chất lỏng.....	82
10	KỸ THUẬT KHÁNG CHẤN	83

10.1	RỦI RO VÀ BIÊN SOẠN TIÊU CHUẨN	83
10.1.1	Thiết kế dựa trên tính năng.....	83
10.1.2	Ảnh hưởng do địa điểm xây dựng của điều kiện nền.....	84
10.2	TÁC ĐỘNG ĐỘNG ĐẤT	85
10.2.1	Phổ phản ứng đàn hồi	85
10.2.2	Lịch sử thời gian	87
10.3	THIẾT KẾ CƠ SỞ CHO KHÁNG CHẤN NHÀ CAO TẦNG.....	87
10.3.1	Bố trí công trình.....	87
10.3.2	Phân cấp tính năng kết cấu.....	88
10.3.3	Ứng xử động kháng chấn của nhà cao tầng.....	88
10.4	PHÂN TÍCH KHÁNG CHẤN	89
10.4.1	Mô hình hóa.....	90
10.4.2	Phân tích dạng dao động phổ phản ứng.....	92
10.4.3	Phân tích tuyến tính lịch sử thời gian.....	92
10.4.4	Phân tích lịch sử thời gian phản ứng phi tuyến	93
10.4.5	Phân tích tĩnh phi tuyến.....	95
10.4.6	Tương tác kết cấu móng-nền.....	95
10.4.7	Chuyển vị và góc xoay mục tiêu.....	96
10.5	DESIGN / 10.5 THIẾT KẾ	96
10.5.1	Lỗ và vách	96
10.5.2	Hệ thống dầm gánh (Outrigger)	106
10.5.3	Hệ thanh lưới không gian (diagrid)	107
10.5.4	Khung giằng	107
10.5.5	Kết cấu chuyển.....	108
10.5.6	Khối đế và tầng hầm.....	109
10.5.7	Tấm sàn	110
10.5.8	Các cấu kiện kết cấu khác	110
10.5.9	Các cấu kiện kiến trúc.....	111
10.5.10	Bộ giám chấn.....	111
10.6	CÁU TẠO.....	111
10.6.1	Dầm.....	111
10.6.2	Cột.....	112
10.6.3	Vách	113
10.6.4	Cấu tạo liên kết cột sàn.....	113
10.6.5	Cấu tạo liên kết sàn-vách	113
10.6.6	Cấu tạo thanh nèo.....	113
11	ỨNG XỬ PHỤ THUỘC VÀO THỜI GIAN.....	115
11.1	11.1 ĐỊNH NGHĨA	115
11.1.1	Co ngắn dọc trục.....	115
11.1.2	Độ lệch so với phương thẳng đứng	117
11.1.3	Thời gian mục tiêu	117
11.1.4	Chuyển dịch UPTO và SUBTO.....	117
11.2	TÁC ĐỘNG BẤT LỢI	118

11.2.1	Sàn - lực và độ võng.....	118
11.2.2	Dầm / dầm gánh / dàn đai biên - lực cường bức.....	119
11.2.3	Sự không tương thích về kích thước	119
11.3	DỰ ĐOÁN VÀ KIỂM TRA	120
11.3.1	Phân tích chuyển dịch	120
11.3.2	Kiểm tra vật liệu về từ biến và co ngót.....	123
11.3.3	Đo đạc hiện trường	124
11.4	CÁC BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC.....	128
11.4.1	Cân nhắc thiết kế	128
11.4.2	Biện pháp thi công	129
11.4.3	Điều chỉnh trước (đổ bù)	130
11.5	DUNG SAI	132
12	VẬT LIỆU.....	135
12.1	BÊ TÔNG	135
12.1.1	Móng	135
12.1.2	Kết cấu phần thân	136
12.1.3	Tính dễ xây dựng.....	137
12.2	CÓT THÉP	138
12.3	THUỘC TÍNH PHỤ THUỘC THỜI GIAN.....	138
13	THIẾT KẾ KẾT CẤU.....	140
13.1	THIẾT KẾ Ý TƯỞNG.....	141
13.1.1	Mục tiêu.....	141
13.1.2	Những điều cần thiết	141
13.1.3	Các mục tiêu kỹ thuật kết cấu	142
13.1.4	Phương pháp phân tích	143
13.2	THIẾT KẾ SƠ ĐỒ (KỸ THUẬT).....	145
13.2.1	Mục tiêu.....	145
13.2.2	Những điều cần thiết	145
13.2.3	Các chỉ tiêu kỹ thuật kết cấu.....	147
13.2.4	Các phương pháp phân tích ở giai đoạn thiết kế kỹ thuật	147
13.3	THIẾT KẾ CHI TIẾT	150
13.3.1	Mục tiêu.....	150
13.3.2	Những điều cần thiết	150
13.3.3	Các chỉ tiêu về kết cấu - kỹ thuật	151
13.3.4	Phương pháp phân tích	151

1 Giới thiệu và quy định chung

1.1 Giới thiệu

Các tòa nhà cao tầng đặt ra những thách thức trong cả thiết kế và thi công. Do quy mô lớn của nó đòi hỏi sự chú ý đặc biệt đến chiến lược và các vấn đề chi tiết cùng một lúc. Việc thiết kế và xây dựng các tòa nhà cao tầng đòi hỏi một cách tiếp cận tích hợp, và các ngành kỹ thuật khác nhau cần phải cùng tồn tại một cách hiệu quả ngay từ khi bắt đầu dự án. Cách tiếp cận đa ngành này mở rộng việc xem xét cách thức xây dựng tòa nhà, vì vậy trong giai đoạn đầu của dự án, tình huống lý tưởng là có sự tham gia của một nhóm tích hợp (bao gồm các chuyên gia kiến trúc và thiết kế).

Định nghĩa về "cao tầng" trong một tòa nhà không phải là tuyệt đối. Ở đây cần hiểu rằng hình dạng hình học của tòa nhà, chẳng hạn như chiều cao tổng thể hoặc chiều cao và kích thước mặt phẳng tối thiểu, có ảnh hưởng đáng kể đến thiết kế. Các khía cạnh này là:

- Độ bền và độ cứng ngang của kết cấu
- Giao thông theo phương đứng
- Thoát hiểm (cháy)
- Bố trí dịch vụ
- Sự co ngấn theo phương đứng
- Thang máy và vật liệu

Một định nghĩa về "cao tầng" là nếu tỷ lệ tương đối giữa chiều cao và chiều dài cạnh ngắn nhất của công trình của một tòa nhà lớn hơn 5:1 thì tòa nhà có thể được coi là cao.

Để duy trì tính nhất quán, các tòa nhà cao tầng trong tài liệu này được ưu tiên hơn các thuật ngữ thường dùng khác, bao gồm "nhà chọc trời", "nhà cao tầng" hoặc "tháp", ngoại trừ bối cảnh lịch sử. Thuật ngữ "cao" cũng có thể được chia nhỏ như sau:

Table 1.1 – Định nghĩa về cao tầng [5]

Công năng (chiều cao tầng)	Cao	Siêu cao
Chung cư (3.0 m)	Đến 100 tầng (300 m)	Lớn hơn 100 tầng (300 m)
Văn phòng (4.0 m)	Đến 75 tầng (300 m)	Lớn hơn 75 tầng (300 m)

Trong các chương sau đưa ra hướng dẫn và cái nhìn sâu sắc về những thách thức thiết kế và các vấn đề liên quan đến thiết kế các tòa nhà 'cao tầng' bằng bê tông cốt thép. Một số hướng dẫn được cũng được kiến nghị cho các tòa nhà trong phạm vi 'siêu cao'. Tuy nhiên, kiến nghị độc giả nào quan tâm đến tòa nhà siêu cao đọc thêm các tài liệu tham khảo khác được nêu trong tài liệu này.

1.2 Quy định chung

Hướng dẫn này được biên soạn dựa trên quan điểm thiết kế nhà siêu cao bằng bê tông cốt thép (BTCT) an toàn, kinh tế. Hướng dẫn này khuyến nghị áp dụng cho nhà cao từ 150 đến 300 m bằng bê tông cốt thép được xây dựng ở Việt Nam

Trong thiết kế nhà siêu cao, phải chú trọng giải pháp kết cấu kiến nghị trong thiết kế cơ sở; việc lựa chọn kết cấu phải hợp lý; nên áp dụng các biện pháp thi công thích hợp, tiên tiến; phải ưu tiên lựa chọn các hệ kết cấu có khả năng chịu tải trọng gió, động đất tốt và kinh tế. Trong thiết kế kháng chấn, cần phát huy khả năng chịu động đất tổng thể của toàn bộ hệ kết cấu, đảm bảo khả năng chịu lực, độ cứng, tính dẻo và tiêu tán năng lượng.

Trong thiết kế kết cấu nhà siêu cao, ngoài việc đáp ứng các quy định trong chỉ dẫn này còn phải tham chiếu các quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện hành.



2 Phương pháp thiết kế kết cấu

Việc thiết kế nhà cao tầng ngoài phải giải quyết các vấn đề khi thiết kế nhà thấp tầng còn ra, còn phải nghiên cứu giải quyết những vấn đề mang tính đặc thù của nhà cao tầng. Việc này đòi hỏi sự phối hợp giữa kỹ sư kết cấu, khách hàng, kiến trúc sư và kỹ sư cơ điện. Ngoài ra, trong quá trình thiết kế vẫn cần sự cộng tác của các chuyên gia ở các lĩnh vực khác như sau:

- Kỹ sư mặt dựng
- Chuyên gia về gió
- Chuyên gia địa kỹ thuật
- Chuyên gia về động đất
- Chuyên gia về phòng cháy
- Chuyên gia về thang máy
- Chuyên gia về thi công.

Để thiết kế có hiệu quả và tiết kiệm, điều cần thiết là tất cả các bộ môn phải hoạt động cùng nhau và hiểu rõ về các yếu tố quan trọng có ảnh hưởng đến các bộ phận liên quan.

Trong các phần phía sau sẽ cung cấp một cái nhìn tổng quan về các yếu tố khác nhau mà các kỹ sư kết cấu cần lưu ý khi bắt tay vào thiết kế nhà cao tầng. Chi tiết hơn sẽ được cung cấp trong các chương tiếp theo. Tuy nhiên, người đọc sẽ cần nghiên cứu các chủ đề khác nhau chi tiết hơn bằng cách tham khảo thêm thông tin trong tài liệu tham khảo được liệt kê.

Việc lựa chọn giải pháp kết cấu phụ thuộc vào phương án mặt bằng và phải được xem xét ngay từ đầu. Một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến thiết kế nhà cao tầng, và là sự khác biệt chính so với thiết kế nhà thấp tầng, đó là ảnh hưởng của tải trọng ngang.

Đối với công trình thấp tầng, hầu hết các nhà thiết kế đều hiểu rõ các giải pháp kết cấu chịu tải trọng ngang và bao gồm các cấu kiện theo phương đứng có độ cứng lớn được bố trí hợp lý, làm việc cùng với các tấm cứng theo phương ngang. Các biện pháp này cùng với việc bổ sung hệ giằng đứng để tạo độ chắc chắn, để tạo ra các giải pháp an toàn đã đứng vững trước thử thách của thời gian.

Đối với nhà cao tầng, độ lớn tương đối của tải trọng ngang so với tải trọng trọng lực thường tăng lên đáng kể, đơn giản chỉ do chiều cao của tòa nhà tăng lên. Tải trọng gió có xu hướng tăng theo chiều cao từ mặt đất, kết hợp với diện tích bề mặt lớn của nhà cao tầng và cánh tay đòn đến nền đất, tạo ra trường hợp tải trọng vượt trội chi phối thiết kế và kích thước của nhiều cấu kiện kết cấu chính, đặc biệt là hệ cột và lõi.

Ngoài ra, trong các tòa nhà cao tầng, chuyển vị ngang hoặc chuyển vị lệch tầng cũng phải được tính toán và cần được hạn chế. Dịch chuyển ngang quá mức có thể ảnh hưởng đến phần hoàn thiện, vách ngăn bên trong và lớp phủ bên ngoài, đặc biệt khi độ lệch tầng quá cao.

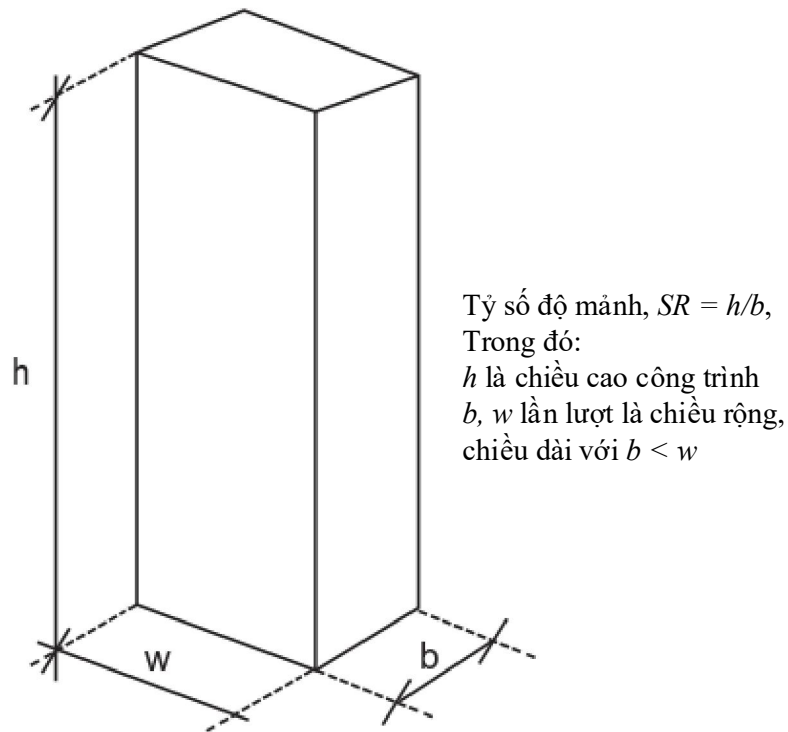
Ứng xử động của các tòa nhà cao tầng phải được xem xét chi tiết. Tải trọng do gió và tác động động đất xảy ra trên một phổ tần số rộng và phản ứng của tòa nhà sẽ bị ảnh hưởng bởi tần số dao động tự nhiên và độ cản tự thân. Trong đó khi tần số tự nhiên của tòa nhà gần với tần số của tải trọng tác dụng, sẽ dẫn đến nguy cơ phản ứng bị khuếch đại, làm tăng tải trọng và chuyển dịch. Cơ chế này yêu cầu kỹ sư kết cấu phải nghiên cứu chi tiết để kiểm tra ứng xử của kết cấu trên toàn bộ phổ tần số của tải trọng tác dụng. Nếu gia tốc liên quan đến bất kỳ chuyển động nào là quá mức, có thể gây ra cảm giác không thoải mái cho người sử dụng.

Ở các khu vực chịu tác động của động đất, phản ứng và ứng xử của các tòa nhà khi động đất xảy ra cũng là việc quan trọng, cần xét đến trong thiết kế.

2.1 Tỷ số độ mảnh

Ở giai đoạn lên phương án thiết kế, nên xem xét các tỷ lệ cơ bản của kết cấu. Tỷ số độ mảnh của công trình là một trong những chỉ tiêu để đánh giá độ cứng của hệ kết cấu. Tỷ số độ mảnh xác định bằng tỷ số giữa chiều cao của tòa nhà với bề rộng nhỏ hơn của nó. Các công trình có độ mảnh từ $H/6$ trở xuống thường dễ thỏa mãn các yêu cầu về thiết kế, trong khi với các công trình có tỷ số độ mảnh từ $H/8$ trở lên thì ứng xử động của công trình thường là yếu tố quyết định giải pháp kết cấu của công trình.

Tuy nhiên, tỷ số độ mảnh chỉ nên được sử dụng để đánh giá sơ bộ về ứng xử của nhà cao tầng. Các phần sau thảo luận chi tiết hơn về độ ổn định của nhà cao tầng và trình bày một số giải pháp có thể được sử dụng. Như đã nêu ở trên, ứng xử thực của nhà cao tầng liên quan chặt chẽ đến tỷ lệ chiều cao của tòa nhà với kích thước nhỏ hơn của hệ kết cấu.



Hình 2.1: Cách xác định tỷ số độ mảnh của công trình

2.2 Lựa chọn hệ kết cấu

Để thiết kế hệ kết cấu đảm bảo độ bền và độ cứng để chịu được tải trọng ngang lớn để chuyển vị ngang và gia tốc dao động không vượt ngưỡng giới hạn, thì các nhà thiết kế phải xem xét cẩn thận việc lựa chọn hệ kết cấu (trong đó lõi của toà nhà thường là phần chính). Các loại hệ kết cấu được nêu chi tiết trong Chương 3.

Điều cần thiết là các kỹ sư phải giải thích các khía cạnh cơ bản và ứng xử của hệ kết cấu đã chọn cho các thành viên khác của nhóm thiết kế và thảo luận về ảnh hưởng đối với các bộ phận khác. Thảo luận và giải thích như vậy sẽ cho phép tối ưu hóa hơn nữa giải pháp kết cấu, ví dụ, bằng cách kết hợp khu kết cấu với yêu cầu phòng thiết bị.

Đối với các kỹ sư, việc chuẩn bị các bản tóm tắt, văn bản và bản phác thảo đơn giản hoặc có thể là ảnh chụp nhanh các mô hình 3D của hệ kết cấu đã chọn là một phần của tài liệu thiết kế là một cách làm tốt. Đây không chỉ là sự trợ giúp cho các nhà thầu và các bên liên quan chính khác, mà còn là một cách ngắn gọn để thể hiện rằng với tư cách là một nhà thiết kế, bạn có thể hiểu đầy đủ và quan trọng hơn, bạn có thể cho người khác thấy hệ kết cấu hoạt động như thế nào.

2.3 Hệ thống dịch vụ

Các kỹ sư kết cấu cần phải làm việc chặt chẽ với các bộ môn khác để đạt được sự phối hợp và tích hợp thực sự cũng như thiết kế tổng thể. Về dịch vụ tòa nhà, nhiều yếu tố ảnh hưởng đến thiết kế cơ điện nên giải pháp yêu cầu khác với giải pháp áp dụng cho kết cấu thấp tầng.

Cần chú ý rằng, trong các tòa nhà cao tầng đòi hỏi sự phân bố dịch vụ theo chiều dọc trên các độ cao lớn.

Dịch vụ cấp nước không phải lúc nào cũng có áp suất đủ cao để bơm đến toàn bộ chiều cao của một tòa nhà cao tầng. Điều này thường có nghĩa là cứ khoảng 30 tầng thì cần có một bể chứa nước trung gian phục vụ cho việc trung chuyển.

Khi thực hiện phân phối điện hạ áp ở độ cao hơn 100 m, các dịch vụ điện có thể không hiệu quả. Thông thường, điều này có nghĩa là sử dụng phân phối điện sơ cấp cao áp và cần phải kết hợp các trạm biến áp trong chiều cao của tòa nhà.

Việc cấp gió tươi cho các tòa nhà có thể cần lượng gió chuyển động lớn, đòi hỏi kích thước ống gió rất lớn và các thiết bị liên quan. Để giảm kích thước ống gió cho hợp lý, hệ thống không khí thường được chia thành nhiều khu vực, vì vậy trên tòa nhà cần phân bố nhiều phòng kỹ thuật.

Việc phân phối dữ liệu yêu cầu các điểm kết nối phải được bố trí cách nhau khoảng 90 m và được kết nối qua cáp quang.

Đối với các tòa nhà cao tầng, thường yêu cầu nhiều không gian kỹ thuật và thường được bố trí ở tầng trệt /tầng hầm và trên đỉnh của các tòa nhà cao đến 200 m. Đối với các kết cấu cao hơn, có thể cần bố trí phòng kỹ thuật ở tầng trung gian. Đối với các tòa nhà đa năng, chẳng hạn như văn phòng và khách sạn/nhà ở, các dịch vụ cho từng mục đích sử dụng sẽ cần được tách biệt để đảm bảo rằng các nguồn cung cấp độc lập với nhau. Ngoài ra, một phòng kỹ thuật cũng cần được bố trí gần khu vực liên quan của tòa nhà. Vì lý do này, không gian kỹ thuật thường được bố trí dọc theo chiều cao nhà để thích ứng với sự thay đổi về công năng sử dụng. Kỹ sư kết cấu có thể xem xét bố trí thêm các cấu kiện kết cấu trong những không gian này để tăng cường độ và độ cứng cho công trình.

Điều cần thiết là các kỹ sư kết cấu phải hiểu nguyên lý của từng hệ thống cơ điện và để đưa ra giải pháp đáp ứng các yêu cầu này và phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật kết cấu.

2.4 Mặt dựng

Loại hệ thống mặt dựng phụ thuộc phần lớn vào yêu cầu thẩm mỹ do kiến trúc sư chỉ định và thiết kế kết cấu của công trình. Tuy nhiên, có những vấn đề khác thường gặp ở các tòa nhà cao tầng, cần phải được quan tâm đúng mức.

Các khó khăn có thể phát sinh tại phần giao giữa các bộ môn. Trên thực tế, phần giao của các phần tử liên quan đến kết nối và dung sai có thể có vấn đề. Phương pháp thi công ảnh hưởng lớn đến các chi tiết này và ngược lại. Các khía cạnh sau đây ảnh hưởng đến kỹ thuật mặt dựng của các tòa nhà cao tầng phải được xem xét:

- Các thỏa thuận về quy hoạch – sự hạn chế về chiều cao;
- Về kỹ thuật - tuân thủ tiêu chuẩn
- Về thương mại – sự chắc chắn về ngân sách và nhận thức về rủi ro
- Lập kế hoạch – giải pháp thi công và mua sắm
- Hiệu suất - đặc biệt là hiệu quả năng lượng
- Sự thoải mái cho người ở - bao gồm giải pháp thông gió, ánh sáng ban ngày
- Diện tích cho thuê.

Chuyển vị theo cả phương ngang (do cắt và uốn) và co ngấn theo chiều dọc của các tòa nhà cao tầng có thể ảnh hưởng đến việc khớp nối giữa các tấm, đặc biệt là ở các tầng chuyển của hệ kết cấu. Chuyển vị được ăn khớp trong khớp xếp ở vị trí này chủ yếu là do sự khác biệt trong chuyển động thẳng đứng giữa các tầng và tác dụng của việc rút ngắn trục.

Tầng giữa của các tòa nhà cao tầng rất dễ bị ảnh hưởng bởi áp lực gió lớn và gió mưa xâm nhập, đòi hỏi phải thiết kế các bức tường bên ngoài chịu được các điều kiện bất lợi này và ngăn chặn sự xâm nhập không mong muốn của không khí và nước. Chế độ kiểm tra đầy đủ thường được thực hiện trên các mẫu mô phỏng nguyên mẫu trước khi sản xuất đại trà.

Hệ thống cơ khí cũng có thể ảnh hưởng lớn đến mặt dựng và ngược lại Hệ thống thông gió tự nhiên và cửa sổ căn hộ không thích hợp cho các công trình cao tầng.

Khi lắp đặt mặt tiền của một tòa nhà cao tầng, một hệ thống cần cẩu nhẹ và vận thăng sẽ mang lại nhiều lợi ích, vì việc sử dụng cần trục tháp sẽ xung đột với việc xây dựng kết cấu chính.

Để đối phó với áp lực cao trên các tấm mặt dựng, hệ thống cố định với kết cấu chính phải dễ lắp đặt và tương thích với hệ sàn. Hệ thống cố định cũng phải cho phép lắp đặt các tấm tương đối nhanh chóng, bởi vì tất cả các công việc khác đều phụ thuộc vào sự bao che tòa nhà của hệ thống tường ngoài.

Các cân nhắc trên phải được xem xét sớm trong quá trình thiết kế và cần có sự đồng ý và hợp tác giữa tất cả các bộ phận thiết kế và nhà thầu thi công. Sự vào cuộc ngay từ đầu của các chuyên gia thiết kế mặt dựng ở giai đoạn đầu thiết kế luôn được khuyến nghị.

2.5 Bố trí lõi

Phần lõi của một tòa nhà cao tầng được cho là yếu tố cơ bản và quan trọng nhất cần được xem xét trong quá trình thiết kế. Phần lõi nói chung sẽ chứa tất cả các yếu tố phân bố theo chiều dọc trong tòa nhà và được mọi người sử dụng tòa nhà sử dụng hàng ngày. Đối với hầu hết các kết cấu cao, lõi sẽ tạo thành xương sống chính của tòa nhà và đóng một vai trò quan trọng trong việc chịu tải trọng thẳng đứng và phần lớn tải trọng ngang.

Nếu lõi được bố trí không hiệu quả sẽ dẫn đến việc thi công chậm hơn, chất lượng thấp hơn và diện tích sàn bị lãng phí, tất cả đều làm tăng chi phí.

Khi bố trí cốt lõi, các nhà thiết kế phải xem xét nhiều yếu tố tương tác và ảnh hưởng lẫn nhau. Các kỹ sư kết cấu nên làm việc hài hòa chặt chẽ với kiến trúc sư, kỹ sư cơ điện tòa nhà, cổ vấn chữa cháy, chuyên gia thang máy và khách hàng. Ngoài ra, phương pháp thi công phải được xem xét từ ngay từ đầu, là một trong những yếu tố quan trọng trong khả năng tồn tại của một tòa nhà cao tầng là tốc độ xây dựng của nó.

Hệ kết cấu vách chịu cắt

Đối với hệ thống kết cấu vách chịu cắt, các vách thường được bố trí xung quanh chu vi của khu vực lõi quanh các trục thang máy và hành lang, cầu thang và trục dịch vụ chính theo phương đứng. Để có hiệu quả kết cấu tối đa, vách lõi phải càng dài càng tốt, và lý tưởng nhất là bố trí đối xứng so với các đường tâm của tòa nhà.

Chiều dày lõi

Mặc dù kích thước lõi được xác định thông qua tính toán, nhưng độ dày của vách có thể thay đổi trong khoảng từ 350 mm đến 600 mm hoặc hơn đối với các tòa nhà cao đến 200 m. Độ dày của vách như vậy có thể là không quen thuộc đối với các nhóm thiết kế không quen với việc thiết kế nhà cao tầng. Do đó, điều quan trọng là các kỹ sư kết cấu phải ước tính độ dày của vách càng sớm càng tốt để lên mặt bằng kiến trúc thích hợp.

Tối đa hóa tải trọng đứng

Cách bố trí kết cấu bên ngoài lõi cũng ảnh hưởng đến sự làm việc của nó. Để kháng lại tải trọng ngang và mô-moment lật gây ra, kỹ sư nên thiết kế để tải trọng đứng truyền nhiều nhất lên lõi, làm tăng khả năng kháng lật của lõi. Khi bố trí mặt bằng, nếu bố trí các cột bên ngoài lõi được thiết lập để tối đa hóa nhịp sàn của tường lõi, nó có thể giúp cải thiện đáng kể hiệu quả kết cấu của lõi, do đó cũng góp phần vào thiết kế tổng thể.

Vị trí lỗ kỹ thuật

Đối với các tòa nhà thấp tầng, lỗ kỹ thuật thường được đặt sát lõi thang máy hoặc thang bộ. Điều này là khôn ngoan, vì các lõi như vậy thường được phân bố xung quanh tòa nhà theo những khoảng nhất định để phù hợp với khoảng cách di chuyển của lối thoát hiểm, và thường

đi vào từng tầng tại vị trí hành lang. Điều này tương thích với các yêu cầu và lộ trình thông thường để phân phối các dịch vụ cơ và điện.

Có thể áp dụng logic này trong thiết kế nhà cao tầng, tuy nhiên cần có một số cân nhắc thích hợp. Các tòa nhà cao tầng cần cung cấp khí tươi, vì vậy cần có kích thước ống gió và lỗ kỹ thuật lớn hơn. Việc bố trí không gian này trong lõi có thể làm giảm hiệu quả của nó. Ngoài ra, còn phải chừa lỗ trên vách để đi được các đường ống này. Kích thước của lỗ mở đôi khi khá lớn, làm giảm đáng kể độ cứng và khả năng chịu lực của vách lõi, thi công tạo lỗ phức tạp, làm giảm tốc độ thi công.

Do đó, trục kỹ thuật đôi khi được đặt ngay bên ngoài lõi, loại bỏ nhu cầu thâm nhập của vách lõi trong khi duy trì các vị trí và tiếp cận, ví dụ, tại các khu vực hành lang. Tuy nhiên, việc truyền tải trọng đứng và tải trọng ngang từ các tấm sàn vào hệ lõi cũng rất quan trọng, phải đảm bảo rằng việc truyền tải như vậy không bị ảnh hưởng bởi các lỗ mở lớn tại các khu vực chính. Khi các lỗ mở dịch vụ được yêu cầu xuyên qua các vách lõi, chúng phải được đặt ở vị trí trung bình dọc theo lõi và tránh vùng ứng suất ở đầu và góc của vách lõi.

2.5.1 Tác động của việc sử dụng tòa nhà

Công năng sử dụng ảnh hưởng lớn đến việc thiết kế lõi, do đó ảnh hưởng đến thiết kế tổng thể, chi phí và hiệu quả của tòa nhà. Các tòa nhà cao tầng thường có bốn mục đích sử dụng chính:

- Nhà ở dạng căn hộ với một hoặc hai phòng ngủ hoặc có thể là một vài căn hộ lớn hơn hoặc căn hộ áp mái. Mỗi căn hộ sẽ có không gian sinh hoạt, nhà bếp và phòng tắm, với cách bố trí thường lặp lại giữa các tầng. Việc cách âm giữa các tầng, và giữa các căn hộ là một yếu tố quan trọng trong thiết kế. Thông thường các căn hộ hai tầng (duplex) cũng được cung cấp, điều này cần thiết phải tạo ra các khoảng hở tương đối lớn ở các tầng trung gian để cho phép đi cầu thang giữa các tầng.
- Tầng khách sạn phía trên khu vực lễ tân chính và sảnh đa chức năng hoặc không gian ăn uống thường bao gồm các không gian phòng ngủ có phòng tắm riêng lặp đi lặp lại. Phòng khách sạn cũng cần cách âm tốt.
- Công năng thương mại có xu hướng đòi hỏi không gian mở lớn để cho phép bố trí văn phòng linh hoạt.
- Công năng bán lẻ thường nằm trong các tầng phía dưới của các tòa nhà cao tầng, có thể là trong kết cấu khối đế. Chúng cũng yêu cầu không gian mở lớn và cũng có thể yêu cầu chiều cao từ sàn đến trần lớn hơn.

Mặc dù việc sử dụng có thể đưa ra các yêu cầu thiết kế riêng về bố cục, chiều cao từ sàn đến sàn và yêu cầu cách âm, nhưng yếu tố thiết kế chính là tỷ lệ lấp đầy. Ví dụ: nhìn vào một tòa nhà cao tầng điển hình có diện tích sàn khoảng 1000 m² (thông thủy) :

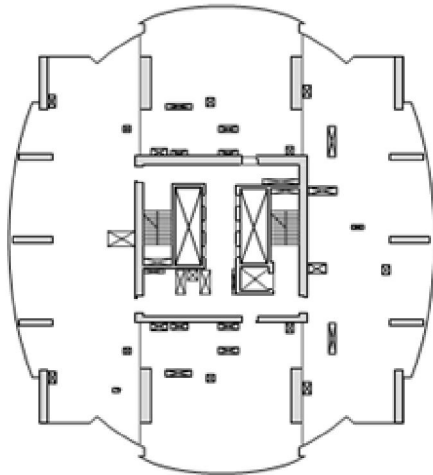
- Số lượng người cho mỗi tầng ở khoảng 20-30 người, 35-40 người cho khách sạn và 80-120 người cho văn phòng không gian mở. Do đó, đối với một tòa nhà 40 tầng, tổng công suất sử dụng có thể từ 800 người (nhà ở) đến hơn 4.000 người (thương mại).
- Tác động đến việc bố trí thang máy là đáng kể và trong trường hợp sử dụng cho mục đích thương mại, sẽ dẫn đến nhu cầu thang máy tăng lên vào khoảng thời gian sử dụng cao điểm trùng với thời gian đến và đi của nhân viên văn phòng. Ví dụ đã cho, số lượng thang máy cần thiết có thể thay đổi từ 3~10, tùy thuộc vào tốc độ nâng và kích thước thang được sử dụng.
- Thường thì một tòa nhà đa năng có thể mang lại hiệu quả kinh tế nhất định, nhưng thường cần bố trí thang máy chuyên dụng cho mỗi mục đích sử dụng vì lý do an ninh và tách biệt với người ở.

Đối với nhà ở và cả khách sạn, thường yêu cầu các tầng được ngăn cách bằng các bức tường chắc chắn, có thể vừa cách âm vừa chống cháy. Trong trường hợp này, dạng kết cấu có thể sử dụng các bức tường này như một phần của hệ kết cấu. Hoạt tải của nhà ở tương tự như của một tòa nhà thấp tầng và có thể tương đối thấp. Tuy nhiên, do yêu cầu ngăn cách không gian, tĩnh tải của tường ngăn có thể tương đối cao.

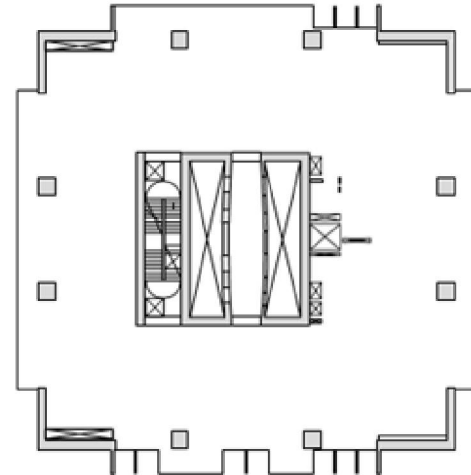
Đối với việc sử dụng văn phòng và bán lẻ, người ta thường mong muốn cung cấp không gian mở thông thoáng, mang lại sự linh hoạt về bố cục cho người sử dụng. Trong các không gian này không cho phép bố trí hệ vách ngăn kết cấu. Hoạt tải thiết kế tường lớn hơn so với nhà ở.

2.5.2 Các mặt bằng điển hình

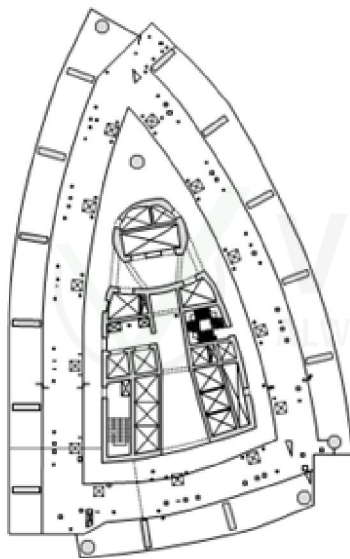
Mặt bằng của các tòa nhà cao tầng có thể thay đổi tùy theo yêu cầu của từng dự án và bị ảnh hưởng bởi diện tích địa điểm xây dựng, các công trình lân cận và quy hoạch sử dụng. Các mặt bằng điển hình sau có thể áp dụng cho mặt bằng căn hộ, tầng thương mại và sử dụng hỗn hợp. Chương 14 cung cấp thêm một số cách bố trí mặt bằng cho các công trình cụ thể.



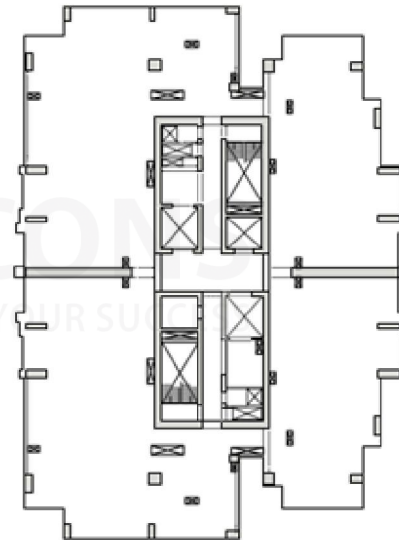
Văn phòng/Căn hộ



Văn phòng



Khách sạn/Văn phòng/Căn hộ



Căn hộ

Hình 2.2 – Bố trí mặt bằng điển hình

2.6 Giao thông theo phương đứng

Phần lõi cung cấp điểm truy cập chính cho tất cả người dùng của tòa nhà và thường là nơi chứa tất cả các hệ thống giao thông theo phương thẳng đứng, cụ thể là thang máy và cầu thang bộ. Trong khâu thiết kế, tốt nhất bạn nên lắng nghe ý kiến tư vấn của các chuyên gia về thang máy. Ví dụ, khi lựa chọn số lượng thang máy tối ưu, kích thước thang máy và các thông số kỹ thuật khác, phương thức di chuyển, tỷ lệ lấp đầy và thời gian chờ phải được xem xét.

Có nhiều giải pháp thang máy để tối ưu hóa cấu hình thang máy, ví dụ: hai toa thang hoạt động độc lập trong một palăng đơn hoặc thang máy hai tầng phục vụ các tầng lẻ hoặc tầng chẵn; tuy nhiên, những hệ thống này có thể đắt tiền và không phổ biến. Đối với những tòa nhà rất cao, thang máy tốc hành đưa người sử dụng lên sảnh trung chuyển, và sau đó thang máy tốc độ

chậm hơn sẽ đưa họ đến tầng mong muốn, có thể cao hơn hoặc thấp hơn tầng trung chuyển của tòa nhà.

Các hệ thống phức tạp hơn cũng có sẵn để giám sát các mẫu thang máy và cho phép người dùng chọn trước điểm đến của họ, trực tiếp hoặc thông qua giám sát tự động thẻ quẹt ID; hệ thống sau đó hướng người dùng đến thang máy nhanh nhất. Hệ thống như vậy có thể giảm số lượng thang máy cần thiết trong các tòa nhà, tiết kiệm không gian có giá trị trong lõi, nhưng cần được điều tra và kết hợp đúng giai đoạn trong quy trình, nếu không một số lợi ích có thể bị mất.

Tính toán chuyển động của thang máy cần thiết và xác định tốc độ thang máy là một lĩnh vực chuyên môn và nên tìm lời khuyên từ một chuyên gia thang máy ở giai đoạn đầu của quá trình thiết kế.

2.7 Yêu cầu phòng cháy

Khi lập kế hoạch bố trí các tòa nhà cao tầng, các yêu cầu thoát hiểm cũng phải được xem xét sớm trong quá trình này, với các điều khoản về không gian được đưa vào mặt bằng lõi. Phương thức thoát hiểm là chìa khóa cho nhiều khía cạnh của thiết kế, bao gồm:

- Vị trí, kích thước và số lượng cầu thang thoát hiểm
- Chiều rộng và các chi tiết cho cầu thang thoát hiểm
- Hệ thống phun nước
- Cung cấp và yêu cầu đối với thang máy / trục chữa cháy
- Yêu cầu về ngăn, cửa chống cháy và sảnh thoát hiểm
- Các điều khoản về kiểm soát khói.

Tất cả những yếu tố này có thể ảnh hưởng đến các hoạt động thiết kế tiếp theo, và do đó cần có sự tư vấn sớm của chuyên gia để tránh công việc bị bỏ dở.

Điều quan trọng là phải có xác nhận về khoảng thời gian chịu lửa tối thiểu được khuyến nghị, thời gian này đối với các cấu kiện kết cấu phần thân thường là 90 phút nhưng có thể lâu hơn đối với các mục đích sử dụng tòa nhà nhất định hoặc các khu vực nhất định của tòa nhà, ví dụ như tầng hầm.

2.8 Tính khả thi khi thi công

Tốc độ thi công có thể là yếu tố quan trọng đối với khả năng tồn tại của các tòa nhà cao tầng. Với chi phí vốn đại diện cho một khoản đầu tư lớn cho khách hàng và nhà phát triển, thu được lợi tức đầu tư thường là động lực chính.

Khu vực lõi đại diện cho một tỷ lệ đáng kể của diện tích tòa nhà. Phần lõi thường nằm ở trung tâm của khu vực xây dựng và chắc chắn sẽ được sử dụng theo một cách nào đó để tiếp

cận theo chiều dọc trong quá trình xây dựng. Do đó, các nhà thiết kế phải xem xét làm thế nào để xây dựng phần lõi một cách nhanh chóng. Trong thi công hiện đại, hầu hết các nhà thầu sẽ thi công các bức tường lõi bằng kỹ thuật cốp pha trượt [2]. Việc bố trí các bức tường có thể bị ảnh hưởng bởi kỹ thuật đổ bê tông được áp dụng.

Các yếu tố khác của kết cấu cũng phải được thiết kế để cho phép xây dựng hiệu quả và nhanh chóng. Thời gian luân chuyển từ sàn đến sàn có thể ảnh hưởng lớn đến giải pháp thi công tổng thể. Do đó, nhà thiết kế phải lựa chọn cẩn thận hình thức của cột, vách và sàn và xem xét phương lý tưởng nhất là các nhà thiết kế nên xin ý kiến chuyên gia về thi công.

Khả năng thi công được thảo luận thêm trong Chương 6.

2.9 Chuyển vị lệch tầng và ứng xử động

Các công trình cao tầng chắc chắn sẽ bị biến dạng ngang dưới tác động của tải trọng gió và động đất. Các nhà thiết kế thường đặt giới hạn về độ lớn của chuyển vị này và thường thể hiện dưới dạng tỷ số liên quan đến tổng chiều cao H . Thông thường, giới hạn của chuyển vị ngang là $h/500$, nhưng trong thiết kế của hệ thống mặt dựng, sự chuyển dịch của một tầng so với tầng tiếp theo (độ lệch tầng) cũng rất quan trọng. Trước đây, các giá trị độ lệch tầng giữa các tầng trong khoảng từ $h/500$ đến $h/200$ đã được sử dụng thành công, **$h/300$ có thể đã đạt đến sự cân bằng** tốt và $h/400$ thuận tiện hơn cho các nhà cung cấp tấm ốp mặt dựng.

Mặc dù giá trị độ lệch tầng có thể phản ánh ứng xử của kết cấu, nhưng yếu tố quan trọng hơn là phản ứng động của kết cấu và người thiết kế phải có hiểu biết đầy đủ về ứng xử động lực này. Yếu tố chính ảnh hưởng đến ứng xử động lực học là mức độ giảm chấn vốn có của kết cấu.

Tất cả các tòa nhà đều phản ứng động với tải trọng thay đổi. Các tòa nhà có tần số riêng và các dạng dao động liên quan. Khi được kích thích bằng cách thay đổi tải, tần số riêng sẽ phản hồi. Đối với tải trọng tĩnh (chẳng hạn như tải trọng gây ra bởi trọng lực), tần số tự nhiên của phản ứng không ảnh hưởng đến tải trọng và chuyển vị của kết cấu. Tuy nhiên, đối với tải trọng động như gió và động đất, tần số tự nhiên của kết cấu cần được xem xét. Trường hợp tần số của tải gần với tần số riêng của phản ứng của tòa nhà, nó sẽ gây ra cộng hưởng, làm khuếch đại lực và chuyển vị.

Tuy nhiên, các tòa nhà cao tầng làm bằng bê tông cốt thép tại chỗ có khả năng giảm chấn tự nhiên vốn có. Độ cản là thước đo khả năng tiêu tán năng lượng của một tòa nhà. Nó có tác động đáng kể đến hiệu suất động của tòa nhà và hạn chế sự tích tụ của dịch chuyển cộng hưởng khi chịu tải trọng gió hoặc địa chấn lặp lại.

Giá trị độ cản thường được biểu thị bằng phần trăm của độ cản tới hạn, được định nghĩa là độ cản cần thiết để dừng chuyển động sau một chu kỳ. Vì nứt vỡ sẽ gây ra tiêu tán năng lượng

nên giá trị độ cản áp dụng cũng liên quan đến giá trị ứng suất làm việc trong kết cấu. Mỗi quan hệ này làm cho quá trình thiết kế kết cấu là quá trình lặp.

Các giá trị giảm chấn tự nhiên không thể thay đổi ngoài việc chấp nhận mức độ nứt gia tăng và vì chúng không chắc chắn về độ lớn, đầu ra của các mô hình phân tích động cũng sẽ không chắc chắn. Mặc dù có thể thêm giảm chấn vào kết cấu bằng các phương tiện cơ học khác nhau, điều này có thể có những hạn chế về mặt thực tế và chi phí. Khuyến nghị rằng hiệu suất động của các tòa nhà được điều tra ở giai đoạn thiết kế ban đầu bằng cách sử dụng một loạt các giá trị giảm chấn để thiết lập độ nhạy của phản ứng. Mô hình này đặc biệt quan trọng đối với các tháp mảnh.

Việc xác định sớm các vấn đề về cộng hưởng sẽ cho phép có thời gian sửa đổi cấu trúc hoặc xác định xem có cần thêm một số hình thức giảm chấn hoặc hệ thống tiêu tán năng lượng bổ sung hay không. Nếu cần, các khía cạnh thực tế của chỗ ở và chi phí có thể được đưa vào kế hoạch tổng thể. Việc sử dụng phụ Giảm xóc, nếu được yêu cầu để đáp ứng các trạng thái giới hạn khả năng sử dụng, phải được xem xét trong bối cảnh hình thức xây dựng và ngân sách xây dựng và bảo trì, để cân bằng nguyện vọng của khách hàng với chức năng và khả năng phục vụ.

Để biết thêm thông tin về động lực học của tòa nhà, hãy tham khảo Chương 8.

2.10 Các hư hỏng bất thường

Mục đích tổng thể của việc thiết kế nhà cao tầng là phải chịu được tải trọng bất thường tương tự như đối với tất cả các tòa nhà, trong đó hệ kết cấu phải duy trì sự làm việc hoặc độ ổn định sau khi xảy ra một sự kiện ngẫu nhiên, chẳng hạn như va chạm, nổ hoặc do lỗi của con người. Điều này sẽ đòi hỏi kết cấu phải có các đường truyền lực dự phòng và các lực buộc cân đối phù hợp để có độ chắc chắn. Như với tất cả các kết cấu, điều quan trọng là hệ thống kết cấu phải được bố trí để tránh sự sụp đổ dây truyền. Quan trọng hơn, tính toàn vẹn của kết cấu sẽ phụ thuộc vào việc duy trì một đường dẫn tải thích hợp đảm bảo rằng tất cả các tải trọng, bao gồm cả sự kết hợp ngẫu nhiên, được chuyển đến nền sau một sự kiện ngẫu nhiên. Theo đó, một kết cấu cần có đủ dự phòng hoặc nhiều đường truyền tải.

Các tòa nhà cao được xây dựng với lõi ổn định bê tông trung tâm được bao quanh bởi khung bê tông cốt thép tại chỗ có độ bền vốn có tốt chống lại một tác động hoặc sự kiện lớn. Một số yếu tố góp phần tạo nên sự liên tục tốt, giữ khung với nhau, đồng thời khối lượng và khả năng biến dạng dẻo mang lại mức độ hấp thụ năng lượng cao. Khả năng chống cháy tốt vốn có cũng là một lợi ích chính. Các cột bê tông được thiết kế cho tải trọng dọc trục đáng kể thường được tìm thấy để chống lại tải trọng tác động tiêu chuẩn được quy định trong tiêu chuẩn thiết kế mà không cần bất kỳ xử lý đặc biệt nào.

Để biết thêm thông tin về tải ngẫu nhiên, hãy tham khảo Chương 7.

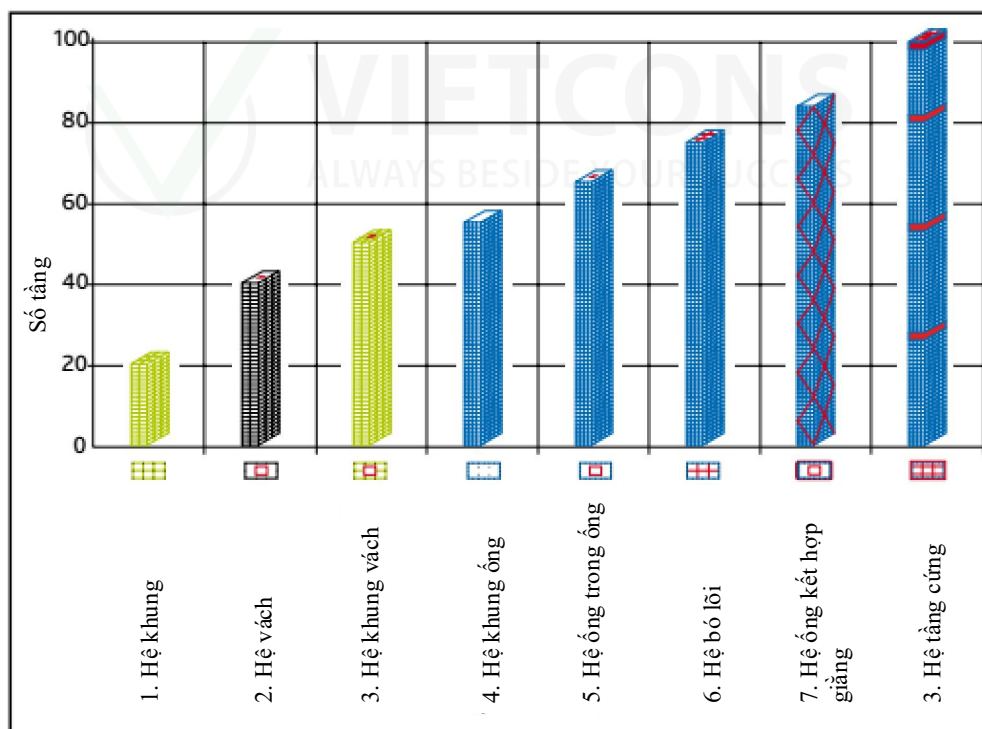


3 Hệ kết cấu chịu lực

Việc lựa chọn hệ kết cấu phù hợp cho nhà cao tầng phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm địa điểm xây dựng, trình độ thi công, chiều cao công trình, kích thước mặt bằng và mục đích sử dụng, cũng như yêu cầu về hình thức kiến trúc bên ngoài. Việc bổ sung đầy đủ các thông số nằm ngoài tầm kiểm soát của kỹ sư kết cấu.

Hệ kết cấu khung bê tông cốt thép của nhà cao tầng hầu như luôn dựa vào lõi thang máy và cầu thang bộ để có được độ ổn định kháng lật lớn. Kỹ sư kết cấu cần đặc biệt chú ý đến vị trí, kích thước và cách bố trí của lõi. Lõi thường được ưu tiên bố trí ở vị trí trung tâm nhưng đây không phải là yêu cầu tuyệt đối. Khi lõi bố trí ở xa trung tâm của công trình, thì có thể cần bố trí thêm hệ giữ ổn định chống xoắn cho tòa nhà.

Tất cả các hệ kết cấu nêu dưới đây đều dựa trên công nghệ thi công đổ tại chỗ truyền thống và không bao gồm hệ thống giảm chấn phụ trợ để kiểm soát chuyển dịch và gia tốc. Đối với những tình huống cần tăng sự thoải mái cho người sử dụng, hệ thống giảm chấn phụ có thể được sử dụng để cải thiện tính năng của công trình, xem thêm ở phần 8.1.



Hình 3.1 – Các hệ kết cấu chính

Bảng lựa chọn hệ kết cấu của Khan - Việc Fazlur R. Khan (1929–1982) đưa ra hệ kết cấu khung ống vào những năm 1960, cùng với sự phát triển toàn ngành trong việc tìm hiểu phạm vi áp dụng của các hệ kết cấu phù hợp với các tòa nhà cao tầng, là một đóng góp lớn cho sự phát triển xây dựng của các tòa nhà chọc trời.

Phương châm của Khan là "Hệ thống kết cấu được xác định bởi logic kết cấu". Ông đã thay đổi quy trình thiết kế các tòa nhà cao tầng và phát triển biểu đồ lựa chọn hệ kết cấu cho các tòa nhà cao tầng, xem Hình 3.1.

Sự phát triển của các hệ kết cấu khác nhau đã cho phép các kỹ sư phát triển thiết kế của họ rõ ràng hơn. Hầu hết hệ kết cấu của các tòa nhà cao tầng đương đại đều bao gồm trong "Biểu đồ hệ kết cấu" của Khan.

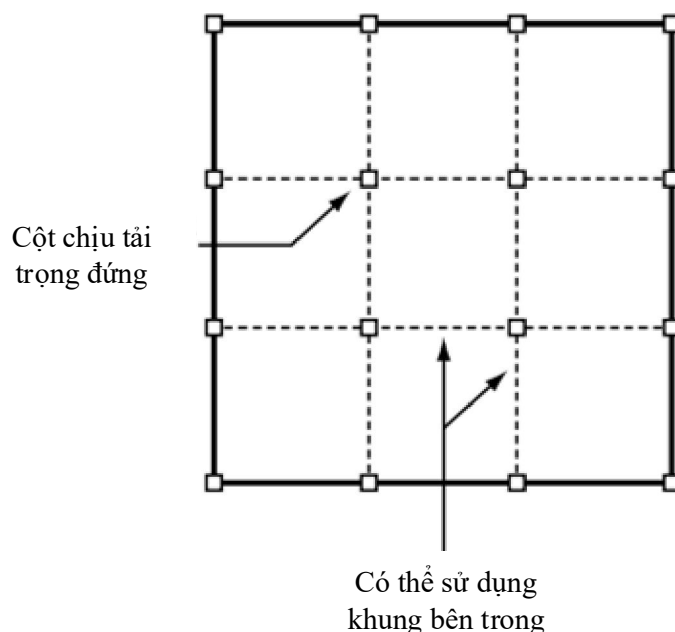
Đối với hầu hết các tòa nhà cao tầng, tổ hợp hệ kết cấu có thể được áp dụng và kỹ sư nên dành thời gian để xác định hệ kết cấu phù hợp nhất trong từng tình huống. Với việc tích lũy kinh nghiệm, nhiệm vụ này trở nên dễ dàng hơn, và thường được thực hiện thông qua quá trình loại dần.

Trong các phần dưới đây thuộc chương này sẽ giải thích các nguyên lý làm việc và các khía cạnh quan trọng của mỗi hệ kết cấu. Trong một phạm vi cao độ nhất định, có thể sẽ có sự giao thoa trong việc đánh giá hiệu suất của các hệ kết cấu liên kế và quyết định cuối cùng sẽ được đưa ra bởi kỹ sư kết cấu sau khi xem xét chi phí và hiệu quả.

Đối với nhà cao tầng (lớn hơn 200 m), một số hệ kết cấu nhất định sẽ có tác động đáng kể đến thẩm mỹ của công trình, vì vậy cần có sự hợp tác nhiều hơn với kiến trúc sư.

3.1 Loại 1 – Hệ khung

Đây là hệ kết cấu tương đối đơn giản, trong đó dầm và cột được liên kết cứng để tạo thành hệ khung chịu mô men theo hai phương vuông góc để chịu tải trọng ngang và lực trọng trường.



Hình 3.2 – Loại 1 – Hệ khung

Mỗi khung chịu một tỷ lệ nhất định của tải trọng ngang, được xác định theo tỷ lệ độ cứng của nó so với tổng độ cứng của hệ. Để tăng chiều cao của kết cấu, cần tăng kích thước của các phần tử khung để đáp ứng các giới hạn về độ lệch tầng và chuyển vị ngang.

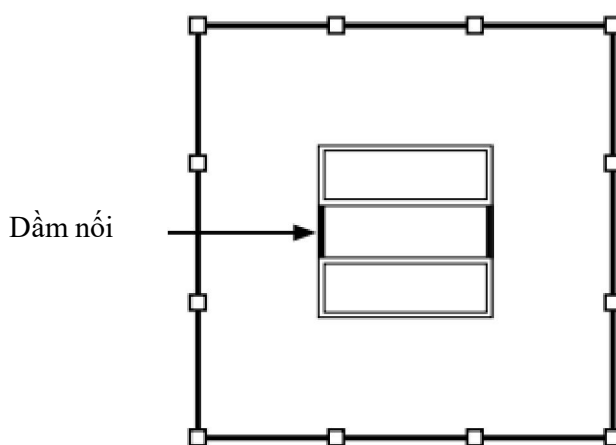
Cách bố trí kinh tế nhất, đảm bảo phương pháp thi công tương đối dễ dàng, là hệ kết cấu khung cứng sàn phẳng. Độ cứng kháng uốn của các cấu kiện khung (sàn phẳng, cột và nút liên kết), phụ thuộc vào nhịp vào chiều cao tầng, chi phối độ cứng của cả hệ kết cấu. Thông thường, nhịp sàn phẳng tiết kiệm nhất trong khoảng 8-9 m, nhưng điều này cũng sẽ phụ thuộc vào chiều cao của tòa nhà và cả chiều cao tầng.

Một ưu điểm lớn của hệ thống khung chịu lực mô men bê tông cốt thép tại chỗ là tính liên tục vốn có của bê tông. Độ cứng của công trình có thể xác định thông qua độ cứng của các cấu kiện và các nút liên kết.

Hệ thống kết cấu này thích hợp cho các tòa nhà có chiều cao khoảng 75 m.

3.2 Loại 2 - Hệ vách

Hệ kết cấu bao gồm các vách chịu cắt được thiết kế để kháng lại tải ngang theo hai phương trực giao. Hình 3.3 mô tả một cách bố trí điển hình: các vách chịu cắt được bố trí gần trung tâm của kết cấu tại khu vực thang máy, thang bộ thoát hiểm và các dịch vụ khác của tòa nhà, tạo thành kết cấu xương sống của công trình để chịu tải trọng ngang theo cả hai phương. Đây thường được gọi là "hệ lõi", được thiết kế để làm việc như một công xôn thẳng đứng có với đủ độ cứng kháng uốn, xoắn.



Hình 3.3 – Loại 2 – Hệ vách

Một biến thể của hệ kết cấu này là bổ sung thêm các vách chịu cắt đồng đều trên toàn mặt bằng của công trình. Nếu việc bố trí này được chấp thuận, thì nên bố trí các vách này đối xứng (cả về kích thước và vị trí) trên toàn bộ mặt bằng để giảm thiểu tác động vặn xoắn đối với công trình.

Cần đặc biệt chú ý đến các lỗi đặt cách xa tâm hình học (đối với tải trọng gió) hoặc tâm khối lượng (đối với tải trọng động đất) theo một hoặc cả hai phương. Trong trường hợp này, tải trọng xoắn lên lõi cần được xác định và thiết kế chính xác.

Hệ thống lõi trung tâm thuần túy. Trong trường hợp này, các vách làm việc như một công xôn thẳng đứng, truyền tải trọng ngang xuống móng. Đối với hệ kết cấu này, do độ cứng ngang của vách lớn hơn nhiều độ cứng của các phần tử cột còn lại, nên có thể quan niệm rằng vách chịu cắt chịu toàn bộ tải trọng ngang. Khi đó, cột được thiết kế chỉ để chịu tải trọng đứng, điều này giúp đơn giản hóa quá trình thiết kế và thi công kết cấu sàn phẳng.

Các yêu cầu về kiến trúc và nhu cầu bố trí đường ống kỹ thuật bên trong lõi đến các khu vực sàn dẫn đến việc bố trí vách và lỗ mở lặp đi lặp lại. Điều này có thể dẫn đến việc một nhóm hoặc một nhóm vách chịu cắt bị ngăn cách hiệu quả trên cùng một mặt phẳng. Các vách hoặc nhóm vách chịu cắt này phải được ngăn cách một khoảng nhất định, chẳng hạn như sảnh thang máy. Trong các tòa nhà cao tầng, các vách này thường được nối với nhau bằng các tấm cứng và các dầm được nối ở mỗi tầng. Bằng cách này, hệ vách được gọi là "vách ghép nối" được hình thành và nó có được độ cứng kháng uốn lớn hơn so với độ cứng của vách đơn.

Việc liên kết nhiều phần của lõi vào dầm nối có thể gây ra đường cong biến dạng "hyperbol" bên trong lõi, như trong Hình 3.5.

Lực cắt và mô men xuất hiện trong các dầm này thường làm cho việc thiết kế và cấu tạo thêm phức tạp, đặc biệt khi các dầm này mảnh, nhưng mặt tích cực là có thể làm giảm đáng kể chuyển vị của hệ kết cấu.

Việc áp dụng hệ kết cấu này (hay bất kỳ hệ kết cấu nào mà các phần tử kết cấu lớn được gắn với nhau để đạt được độ cứng kháng uốn lớn) có thể dẫn đến lực kéo lớn ở móng do mô men lật của tải trọng ngang ở đỉnh gây ra. Kỹ sư kết cấu cần nghiên cứu bố trí các vách chịu cắt hợp lý để giữ được ổn định tổng thể và cân bằng với lực trọng trường.

Hệ kết cấu này thích hợp cho các tòa nhà cao đến 120 m. Mặc dù có thể thiết kế vách chịu cắt lớn hơn và dài hơn trong phạm vi của mặt bằng để đạt đến độ cao lớn hơn, nhưng các hệ kết cấu khác có thể tiết kiệm hơn.

3.3 Loại 3 – Hệ khung vách

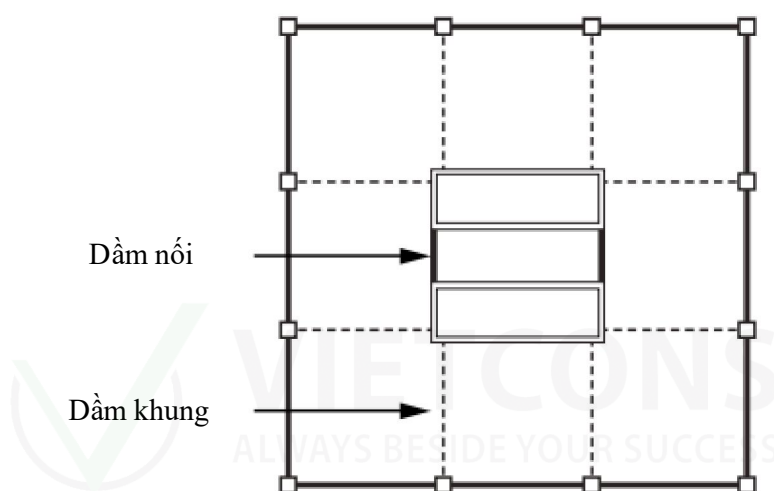
Hệ kết cấu này thực chất là sự kết hợp của hệ kết cấu khung và hệ vách đã nêu ở trên.

Độ cứng theo phương ngang của hệ khung cứng hoặc khung nửa cứng với hệ lõi vách cho phép kỹ sư thiết kế cho công trình cao đến 160m một cách hiệu quả.

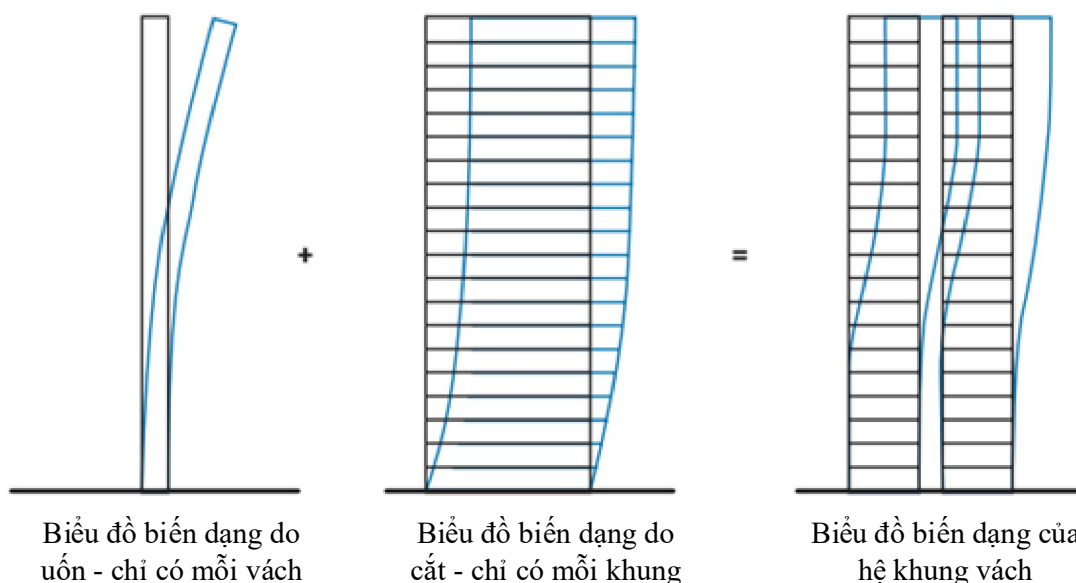
Hệ kết cấu này là hệ khung thường dùng cho nhiều công trình cao tầng. Tuy nhiên, trong các công trình sử dụng giải pháp sàn phẳng (thường do việc không chế chiều cao tầng trong các công trình nhà ở tương đối chặt), nên hiệu ứng khung không được phát huy nhiều trong

việc giữ ổn định tổng thể. Việc sử dụng giải pháp sàn sườn (sàn dầm) sẽ huy động được sự làm việc của khung tốt hơn, đưa đến giải pháp tiết kiệm.

Một lợi thế của hệ kết cấu kết hợp, bên cạnh khả năng xây dựng cao hơn, còn nằm ở việc giảm chuyển vị ngang ở đỉnh của tòa nhà. Ở phần trên cùng của tòa nhà, các hệ vách chịu cắt được hạn chế bởi hệ khung trong khi ở phía dưới của tòa nhà, hệ khung lại bị hạn chế bởi các hệ vách chịu cắt. Sự tương tác này làm sơ đồ biến dạng ngang của công trình theo dạng đường cong ngược, do đó các biến dạng ngang tổng thể được duy trì trong giới hạn thiết kế có thể chấp nhận được và sẽ đạt được khả năng chịu lực ngang lớn hơn. Hình 3.5 thể hiện ảnh hưởng của loại hệ kết cấu liên hợp này đối với biến dạng ngang gần đỉnh của công trình.



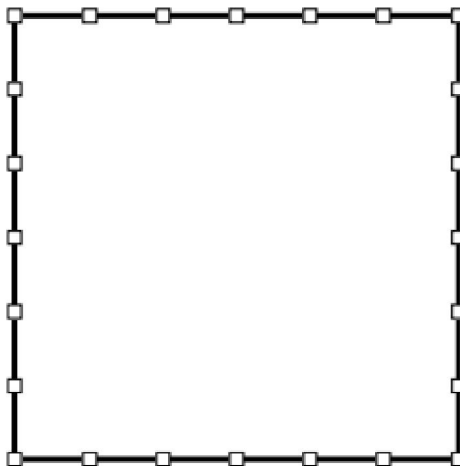
Hình 3.4 – Loại 3 – Hệ khung vách



Hình 3.5 – Biểu đồ biến dạng do uốn và cắt

3.4 Loại 4 – Hệ khung ống

Về mặt khái niệm, hệ kết cấu này dựa trên một ống rỗng có khoảng cách lớn giữa các phần tử chịu kéo và nén theo cả hai hướng, có thể kháng lại tải trọng ngang. Nguyên lý kết cấu dựa vào cánh của hệ khung ống vuông góc với lực do, được liên kết với bản bụng được bố trí song song với hướng gió.



Hình 3.6 – Loại 4 – Hệ khung ống

Để tạo thành hệ ống rỗng đủ cứng, phải tiến hành nghiên cứu để xác định kích thước và khoảng cách thích hợp của các cấu kiện bên ngoài. Thông thường, cột nên được bố trí gần nhau với khoảng cách từ 2-4 m và được kết nối bằng các dầm để tạo thành một khung cứng bên ngoài. Nó tạo thành một ống kín làm việc như một công xôn đứng rỗng, trong đó các cấu kiện bên trong được bố trí để chịu tải trọng trọng trường từ hệ sàn. Đặc điểm chính của hệ ống là có độ cứng lớn theo cả hướng uốn chính và hướng uốn phụ, có thể chống lại toàn bộ mômen lật trên khung.

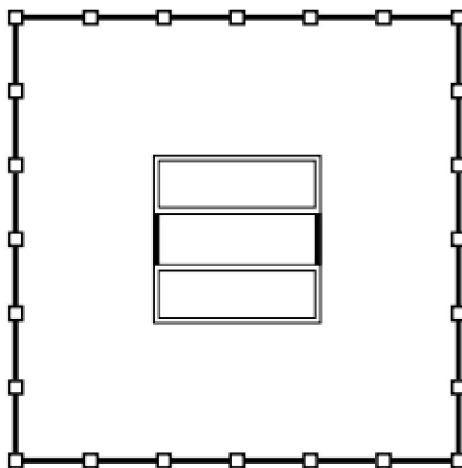
Việc phát minh ra hệ ống là một tiến bộ lớn trong công nghệ xây dựng nhà cao tầng. Sự lặp lại của mô hình kết cấu cho phép việc thi công đơn giản và tương đối nhanh chóng, điều này được tăng cường hơn nữa bằng cách sắp xếp hệ sàn bên trong. Tuy nhiên, hệ thống này sẽ có ảnh hưởng lớn đến thẩm mỹ kiến trúc và thoát đầu có thể bị coi là không phù hợp.

Khi đề xuất hệ kết cấu khung ống, tác giả đã chứng minh rằng bê tông cốt thép kinh tế hơn các kết cấu thép có cùng chiều cao. Mặc dù điều kiện kinh tế và chi phí nguyên vật liệu tại bất kỳ thời điểm nào có thể có ảnh hưởng đến hệ kết cấu này.

Hệ kết cấu khung ống phù hợp với các công trình có chiều cao khoảng 150-170 m.

3.5 Loại 5 – Hệ ống trong ống

Hệ kết cấu này kết hợp độ cứng của hệ khung - ống ngoài (Loại 4) với hệ lõi bê tông cốt thép cứng bên trong. Theo đó hệ kết cấu này sẽ làm việc tương tự như hệ kết cấu vách và khung vách nhưng có độ cứng lớn hơn nhiều do sự làm việc của hệ ống ngoài.



Hình 3.7 – Loại 5 – Hệ ống trong ống

Sự sắp xếp cuối cùng của lõi bên trong và khung bên ngoài, và mức độ kết hợp hai hệ thống khung này sẽ chi phối khả năng uốn, xoắn và cắt tổng thể của kết cấu. Cần phải có mức độ phân tích, lập kế hoạch và phối hợp cao để đạt được sự cân bằng kinh tế nhất cho một tòa nhà cụ thể và như đã nêu rõ trong Loại 4, hệ thống này sẽ quyết định phần lớn diện mạo của tòa nhà.

Ứng dụng của hệ kết cấu này cho phép thiết kế các tòa nhà cao đến khoảng 180-200 m.

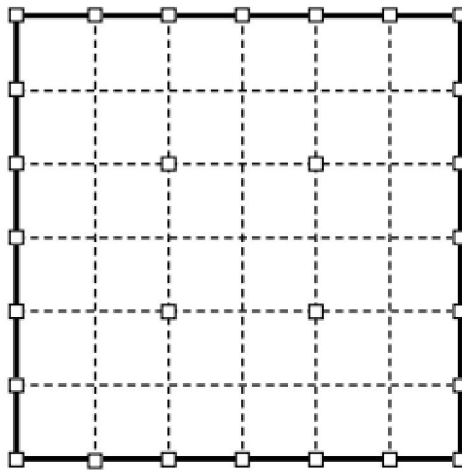
Loại 6-8 phù hợp nhất cho các tòa nhà siêu cao tầng và nằm ngoài phạm vi của hướng dẫn này, nhưng được đưa vào đây để cung cấp cái nhìn tổng thể về các tùy chọn có sẵn.

3.6 Loại 6 – Hệ bó lõi

Hệ kết cấu này phù hợp nhất với các công trình trên 70 tầng hoặc các công trình siêu cao tầng. Mặc dù hiệu suất của hệ kết cấu giống như của hệ ống, số lượng khung ở cánh có thể được tăng lên bằng cách bố trí các vách (phần bụng) bên trong để chia mặt bằng thành các mô-đun. Thuật ngữ "kết hợp" mô tả tính chất liên kết của các mô-đun và tất cả các mô-đun nên được chia sẻ để chịu tải trọng ngang dọc theo chiều rộng của tòa nhà theo cả hai hướng.

Lợi ích chính của hệ thống này nằm ở sự liên kết mạnh mẽ của các phần cánh tương đối nhỏ hơn bởi nhiều phần tử bụng. Điều này làm giảm ảnh hưởng của độ trễ cắt trong phần cánh hiệu quả, do đó sử dụng hiệu quả hơn độ bền của khung ngoài. Hệ thống này thường cho phép nhiều khoảng trống hơn giữa các cột bên ngoài, điều này vô tình có lợi cho bố cục kiến trúc.

Hệ kết cấu này được gọi là "ống cứng" và "công xôn thực", và độ cứng tăng lên đáng kể sẽ giúp thiết kế hiệu quả đối với các tòa nhà cao đến 225 m.



Hình 3.8 – Loại 6 – Hệ bó lõi

3.7 Loại 7 – Hệ ống kết hợp giằng

Đặc điểm hệ gồm các giằng chéo bao quanh công trình nên có tác dụng giảm độ trễ cắt ở cả mặt cánh và mặt bụng. Bởi vậy, giải pháp này cho phép sử dụng cho các công trình cao hơn và với bước cột rộng hơn so với hệ kết cấu ống thông thường.

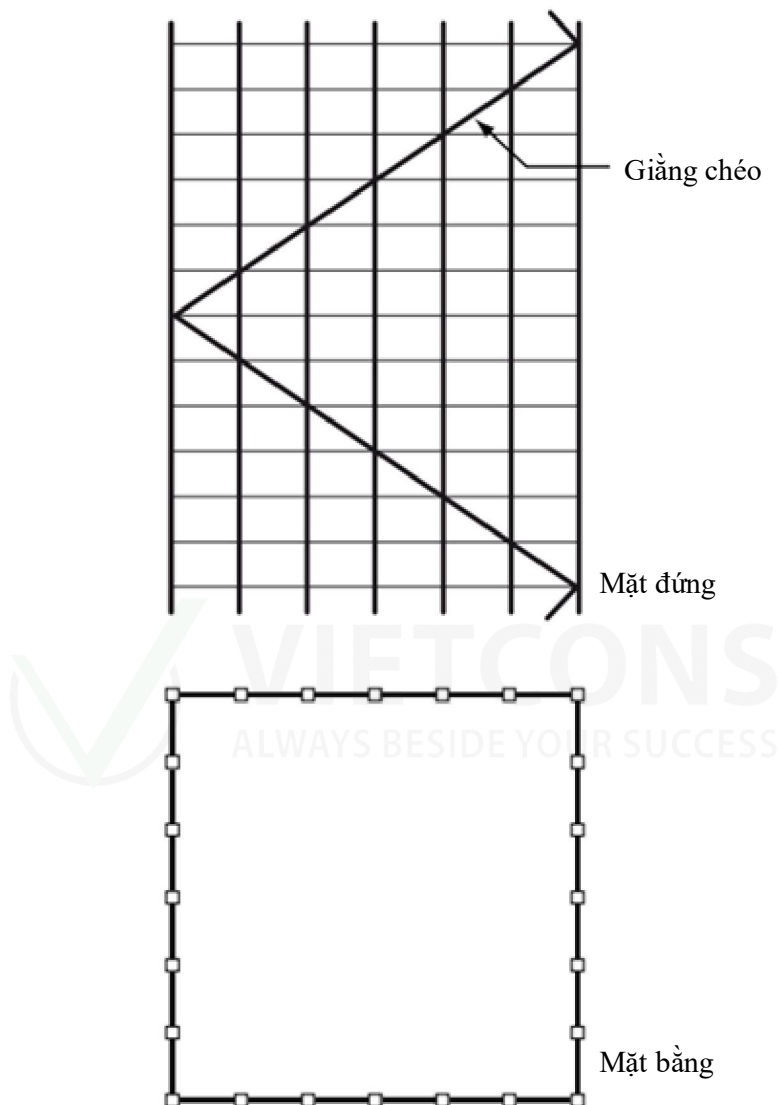
Kết cấu khung ống như đã thảo luận ở trên, ngay cả khi các cột được đặt sát nhau thì vẫn là yếu do lực trong các cột chịu lực lớn không thể truyền hiệu quả sang các cột góc. Để có hiệu quả tối đa nhất, kết cấu ống cần đáp ứng yêu cầu chống lại tải trọng ngang theo dạng đơn thuần như một thanh công xôn, với giá trị lực kéo và nén là đều nhau trên bề mặt đón gió và hút gió. Kết cấu khung ống này làm việc giống như một ống thành mỏng có lỗ. Lực dọc trong cột có xu hướng giảm dần khi dịch dần về phía các góc, kết quả là các cột ở giữa của mặt đón gió và hút gió có thể không duy trì được sự chia sẻ về lực nén và lực kéo. Hiệu ứng này đã được gọi ở trên là hiệu ứng trễ cắt.

Đến nay, với công trình cao tầng sử dụng kết cấu thép, việc bổ sung thêm các giằng chéo ở bên ngoài như trong Hình 3.9 là một phương pháp thông thường nhất có thể làm tăng hiệu quả cho kết cấu khung ống. Các giằng chéo tương tác với dạng kết cấu dàn trên các bề mặt vuông góc tạo nên hiệu ứng ba chiều có tác dụng loại bỏ hầu như toàn bộ độ trễ cắt trong cả phần cánh và phần bụng ống. Do đó khoảng cách giữa các cột có thể tăng lên và kích thước các cột và dầm bao có thể giảm đi.

Các thanh giằng cũng góp phần tăng khả năng làm việc của kết cấu ống với tải trọng thẳng đứng. Điểm khác biệt của tải trọng đứng trong hệ thống cột chống lại tải trọng ngang là sự

truyền tải của hệ thống thanh giằng, nó đóng vai trò phân phối lực dọc từ các cột chịu tải trọng lớn sang các cột chịu ít hơn..

Hệ thống này phù hợp cho các tòa nhà lên đến 300 m hoặc siêu cao tầng.

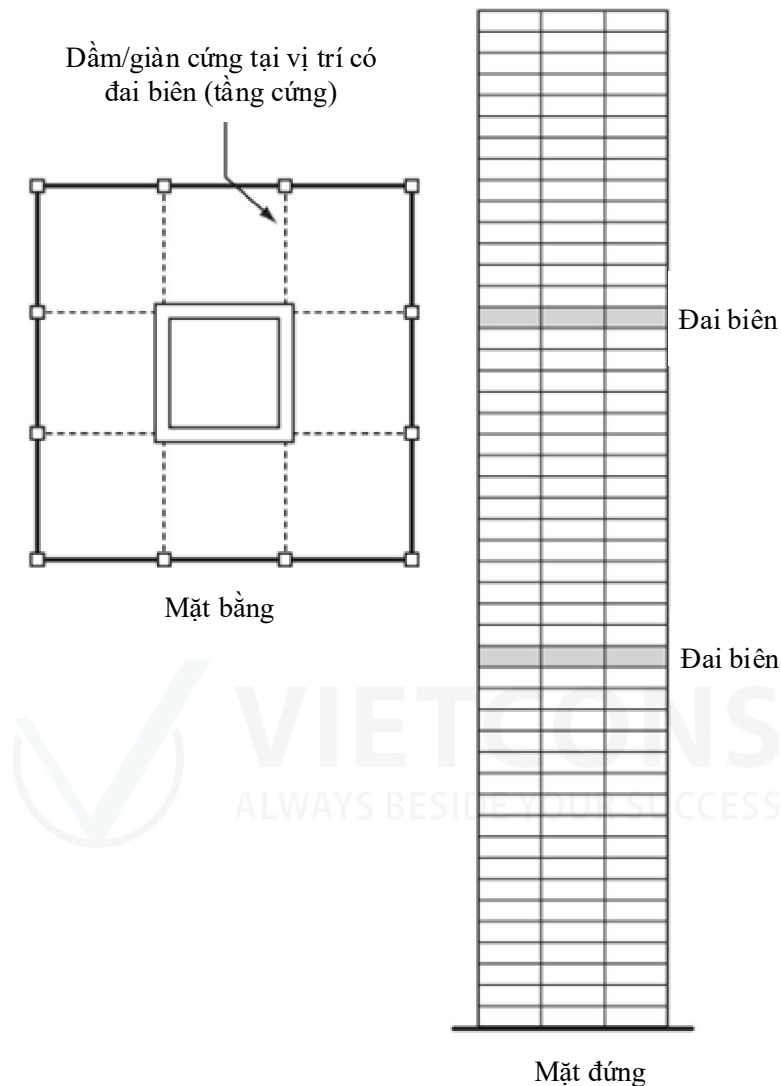


Hình 3.9 – Loại 7 – Hệ ống kết hợp giằng

3.8 Loại 8 – Hệ tầng cứng

Hệ kết cấu này sử dụng để thiết kế các công trình cao đến 350 m hoặc siêu cao tầng. Bản chất làm việc của hệ kết cấu này là khá đơn giản. Khi kết cấu chịu lực ngang, các cột được liên kết với outrigger sẽ làm giảm chuyển vị xoay cho lõi, điều này cũng sẽ dẫn làm giảm đáng kể chuyển vị ngang trên đỉnh công trình so với trường hợp lõi đứng tự do. Mô men do ngoại lực bên ngoài không chỉ được chống lại bởi lõi cứng mà còn được chống lại bởi cặp ngẫu lực kéo nén trong các cột liên kết với outrigger. Bởi vậy khả năng kháng uốn của kết cấu được tăng lên,

khi lõi cứng chịu uốn các cột trong mặt đón gió sẽ chịu kéo và các cột trên mặt hút gió chịu nén.



Hình 3.10 – Loại 8 – Hệ tầng cứng

Ngoài các cột liên kết với outrigger, các cột khác trên chu vi công trình cũng có thể được huy động để kiểm chế góc xoay của outrigger tại điểm kết nối. Để có được kết quả này, các cột bên sẽ được kết nối lại với nhau bằng một vách cao (từ 1 đến 2 lần chiều cao tầng). Vách cao này được gọi là vách đai biên (belt wall).

Để đạt được hiệu quả, các outrigger và vách đai biên thường được thiết kế bằng chiều cao của một đến hai tầng nhà, trong đó có bố trí các lỗ mở (cửa) để phục vụ cho đi lại. Nó cũng có thể là dạng hệ khung dầm (vierendeel frame) kết nối với các sàn hoặc sử dụng hệ dầm vát tại từng tầng. Trong mọi trường hợp, outrigger chỉ có tác dụng làm tăng khả năng chống uốn cho lõi mà không có tác dụng chống cắt, toàn bộ lực cắt cần phải được đảm bảo bởi hệ lõi.

4 Các cấu kiện chịu lực

Hệ kết cấu nhà cao tầng cũng được tạo thành từ các cấu kiện điển hình được sử dụng trong xây dựng nhà thấp tầng như là vách, cột và sàn/dầm. Tuy nhiên, có thể có thêm một số yêu cầu về tính năng đối với các cấu kiện này trong thiết kế nhà cao tầng, việc này sẽ do kỹ sư xem xét và quyết định trong giai đoạn thiết kế và thi công xây dựng..

Hiện nay, khi thiết kế các tòa nhà cao tầng, các kỹ sư thường sử dụng phần mềm máy tính 3D, sử dụng công nghệ mô hình hóa phần tử hữu hạn (FEM). Nhiều gói phần mềm cung cấp mức độ phức tạp cao khi mô hình hóa cho phép các kỹ sư hiểu rõ ứng xử của kết cấu trong các điều kiện tải trọng khác nhau. Tuy nhiên, cần có sự thận trọng và kinh nghiệm khi sử dụng phần mềm này để đảm bảo mô hình hóa đúng các phần tử kết cấu khác nhau.

Để đảm bảo chất lượng và độ tin cậy của kết quả phân tích kết cấu bằng phần mềm FEM (thường có hàng nghìn nút), cần thực hiện các biện pháp phòng ngừa cơ bản, bao gồm:

- Kiểm tra các kết quả chính sau đây dựa trên các phép tính đơn giản và cách tiếp cận truyền thống:
 - Tổng tải trọng đứng của công trình và nội lực theo phương đứng trong các phần tử chịu lực chính (cột, vách);
 - Chuyển vị theo phương ngang tại đỉnh công trình dưới tác dụng của tải trọng ngang;
 - Chu kỳ dao động và đánh giá gia tốc dao động lớn nhất ở đỉnh công trình.
- Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn không chỉ phản ánh hình dạng hình học của kết cấu (kích thước tổng thể, chiều dày móng, chiều dày bản sàn, kích thước cột, v.v.) mà còn thể hiện tốt nhất các đặc tính cơ học và ứng xử dài hạn của bê tông cốt thép
- Mô hình hóa phù hợp tương tác giữa kết cấu và nền. Điều này thường yêu cầu xây dựng một mô hình FE riêng biệt đối với nền và tiến hành một chu trình tính lặp để điều chỉnh ứng xử của kết cấu và mô hình nền, xem Chương 5.

Điều quan trọng là kỹ sư phải xem xét trình tự thi công trong việc xây dựng mô hình phân tích và trong thiết kế các cấu kiện kết cấu. Trình tự và phương pháp thi công có thể gây thêm các trường hợp tải trọng và các cân nhắc trong thiết kế, ví dụ, trong đó lõi có thể được thi công trước các cột xung quanh.

4.1 Sàn

Nhiệm vụ chính của kết cấu sàn là phân phối tải trọng trên sàn lên vách và cột. Tùy thuộc vào hệ kết cấu được sử dụng, kết cấu sàn cũng có thể đóng góp vào hệ kết cấu chịu tải trọng ngang thông qua tác động của tấm cứng hoặc theo những cách phức tạp hơn. Đối với một số hệ kết cấu, hệ sàn có thể đóng góp trực tiếp và tạo thành phần tử nằm ngang của hệ khung chịu

mô men. Trong một số trường hợp, việc bổ sung dầm tích hợp vào kết cấu sàn có thể cải thiện độ cứng và khả năng chịu tải. Nếu sàn có đóng góp vào hệ kết cấu chịu tải ngang, có thể xảy ra hiện tượng tải trọng đổi chiều và cần thông qua việc phân tích kiểm tra khả năng chịu lực để đảm bảo rằng tất cả các trường hợp tải trọng đều đã được xét đến.

4.1.1 Các yêu cầu về tính năng

Sàn phải chịu tải trọng uốn, cắt và tải trọng dọc trục, đồng thời cần có đủ độ bền và độ cứng để chống lại tải trọng tác dụng trong khi vẫn nằm trong giới hạn độ võng và độ rung quy định. Mặc dù tất cả các hệ thống sàn được sử dụng trong các tòa nhà thấp tầng đều có thể được sử dụng trong các tòa nhà cao tầng, nhưng nhiều yếu tố làm hạn chế phạm vi lựa chọn. Những cân nhắc chính được thảo luận trong phần này.

Chiều dày của sàn

Vì sàn trong một tòa nhà bê tông cao tầng được lặp lại nhiều lần, nên việc làm giảm chiều dày của sàn dù là nhỏ cũng có thể trở nên đáng kể. Ví dụ, tiết kiệm 100 mm mỗi tầng sẽ tiết kiệm 4 m chiều cao của một tòa nhà 40 tầng, tương đương với việc thêm 01 tầng nữa và tạo ra những lợi ích bổ sung đáng kể. Ngoài ra, có thể tiết kiệm 4 m chiều cao vách ngăn, có thể tiết kiệm rất nhiều chi phí trên toàn bộ chu vi của tòa nhà.

Trọng lượng

Bất kỳ sự tiết kiệm trọng lượng nào sẽ nhân lên giữa các tầng lặp lại, do đó, việc giảm trọng lượng sẽ có tác động đáng kể đến kích thước của cấu kiện đứng và kích thước của móng. Ngoài ra, việc tiết kiệm trọng lượng và vật liệu cũng có thể làm tăng tốc độ xây dựng bằng cách giảm yêu cầu về cầu nâng.

Tốc độ thi công

Tốc độ xây dựng đóng một vai trò quan trọng đến sự làm việc của một tòa nhà cao tầng. Thời gian cần để thu được lợi tức đầu tư là rất quan trọng đối với việc thu xếp vốn; chi phí xây dựng bị ảnh hưởng rất nhiều bởi thời gian xây dựng. Do đó, kết cấu sàn sẽ ảnh hưởng đến khả năng thi công nhanh chóng của nhà thầu. Khi so sánh các hệ kết cấu sàn, một trong những tiêu chí quan trọng phải là thời gian thi công từ sàn này sang sàn khác. Đối với hầu hết các tòa nhà cao tầng, nhà thầu sẽ đặt mục tiêu đạt được thời gian thi công trong khoảng từ bốn đến bảy ngày. Đây là một giai đoạn rất ngắn và cần lưu ý rằng giai đoạn này bao gồm cả thời gian cần thiết để xây dựng các cột và vách ở mỗi tầng. Thiết kế sàn cần tạo điều kiện thuận lợi cho nhu cầu xây dựng nhanh chóng như vậy và nhà thiết kế sẽ cần xem xét các yếu tố như cường độ bê tông, yêu cầu chống đỡ và các chi tiết cố định cốt thép. Ví dụ, việc đúc sẵn các lồng gia cố có thể mang lại lợi thế.

Ngoài ra, các tiêu chuẩn về khả năng bảo trì thông thường sẽ cần được xem xét trong quá trình thiết kế, bao gồm nứt, độ võng, hiệu suất âm thanh và phản ứng rung. Dung sai của tòa

nhà và độ võng của sàn phải được xem xét cẩn thận, đặc biệt là xung quanh tấm sàn nơi lắp đặt hệ mặt dựng.

Ảnh hưởng co ngấn dọc trục

Đối với nhà cao tầng, ảnh hưởng của chênh lệch co ngấn dọc trục phải được xem xét trong thiết kế sàn. Hiệu ứng này có thể xảy ra ở tất cả các tòa nhà, nhưng nó trở nên rõ ràng hơn khi chiều cao của tòa nhà tăng lên. Chênh lệch co ngấn dọc trục là do độ lớn của ứng suất nén trong cột chênh lệch so với ứng suất trong lõi.

Các vách lõi thường khá lớn và kích thước của nó bị ảnh hưởng bởi cả yêu cầu về ứng suất dọc trục và yêu cầu về độ cứng chịu tải trọng ngang. Ngược lại, các cột thường được giữ càng nhỏ càng tốt, và thường chịu nén nhiều hơn. Trong quá trình thi công, các cột và vách lõi xuất hiện biến dạng đàn hồi và từ biến với mức độ khác nhau. Tác dụng lên bản sàn giống như có lò xo đỡ tại một số vị trí đỡ làm thay đổi sự phân bố mômen và lực cắt xung quanh sàn, đòi hỏi phải điều chỉnh tỷ lệ cốt thép tương ứng trong thiết kế sàn. Độ lún tương đối của gối tựa cũng sẽ ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của sàn, nếu không được xem xét và bù trừ kỹ lưỡng trong thiết kế và thi công có thể gây ra dung sai cho các chi tiết hoàn thiện và ốp của sàn.

Hiệu ứng co ngấn dọc trục sẽ được thảo luận kỹ hơn trong Chương 11.

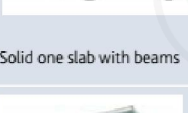
Mô hình hóa sàn

Khi lập mô hình các phần tử sàn bằng phần mềm phần tử hữu hạn, cần xem xét các điểm sau:

- Khoảng cách nút trong lưới FEM không được quá sát, đặc biệt là trong các khu vực tập trung ứng suất, ví dụ: gần với gối đỡ. Nên tìm kiếm lời khuyên từ nhà cung cấp phần mềm FEM nếu cần.
- Sàn bê tông cốt thép ít khi được cố định hoàn toàn vào lõi do những cân nhắc thực tế, ví dụ, giới hạn về đường kính / khoảng cách của cốt thép gia cường thụ động nhô ra khỏi lõi. Do đó, liên kết sàn/vách phải được mô hình hóa phù hợp để độ cứng của liên kết vách/sàn không bị ước tính quá mức.
- Vết nứt sẽ xuất hiện trong sàn, điều này sẽ ảnh hưởng đến độ cứng của sàn.
- Các thuộc tính vật liệu được sử dụng trong mô hình FEM nên được thiết lập cho phù hợp.
- Khi sàn bao gồm các phần tử dầm, mô hình phải phù hợp với độ lệch tâm của dầm và đường tâm sàn. Những tác động như vậy có thể gây ra sự uốn trong sàn và dầm, đặc biệt khi các phần tử nằm ngang cũng truyền lực trong mặt phẳng là đáng kể.

4.1.2 Hệ kết cấu sàn

Bảng 4.1 – Các giải pháp sàn

Slab type	Floor depth	Overall weight	Speed of construction	Overall rating	Comments
 Flat slab	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	Easy to form and quick to construct. Offers a thin floor plate, which is good for coordination with building services.
 Flat slab with drops	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	Structurally efficient but slower to form and construct. Overall depth can be efficient if building services and dropped panels can be coordinated.
 Solid two-way slab with beams	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	Structurally efficient but slower to form and construct. Beams can be useful where flooring system is used to contribute to lateral stability system.
 Waffle slab	✓	✓✓✓	✓	✓	Structurally efficient in terms of material weight but considerably slower to form and construct. Also produces a large overall depth and hence is rarely economic for tall buildings.
 Solid one slab with beams	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	Structurally efficient but can be slower to form and construct. Beams can be useful where flooring system is utilised to contribute to lateral stability system in the direction of the beams. Overall depth can be efficient if building services and beams can be coordinated. This arrangement is suitable for use with precast components
 Solid flat slab with band beams	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	Structurally efficient but can be slower to form and construct. Beams can be useful where flooring system is used to contribute to lateral stability system in the direction of the beams.
 Ribbed slab with beams	✓	✓✓✓	✓	✓	Structurally efficient in terms of material weight but slow to form and construct. Also produces a large overall depth and hence is rarely economic for tall buildings.
Key to ratings:- ✓ - Poor ✓✓ - Good ✓✓✓ - Excellent					

Đối với tất cả các phương án trên, có thể sử dụng sàn bê tông cốt thép hoặc sàn bê tông dự ứng lực. Sàn bê tông dự ứng lực là một lựa chọn phổ biến cho các nhà cao tầng do những cải tiến mà nó mang lại trong việc giảm độ dày và trọng lượng tổng thể, đồng thời tăng tốc độ xây dựng. Khi sử dụng sàn dự ứng lực, cần lưu ý các điểm sau:

- Ảnh hưởng ngăn cản co ngấn khi kéo căng của vách lõi và cột.
- Vị trí kéo căng cáp thường được yêu cầu từ chu vi tòa nhà
- Phương pháp liên kết sàn với lõi được thi công trước

Dự ứng lực nói chung sẽ chỉ được thiết kế để chịu tải trọng trọng trường và có thể cần bố trí thêm cốt thép thường để chịu tải trọng ngang do gió và động đất gây ra.

Việc sử dụng hệ thống sàn bê tông đúc sẵn có thể mang lại một số lợi thế về tốc độ xây dựng và cũng có thể cung cấp sàn nhịp lớn, hấp dẫn cho mục đích sử dụng văn phòng và bán lẻ. Các giải pháp đúc sẵn cũng có những lợi ích liên quan đến việc cung cấp bê tông ở cấp độ cao, chống đỡ và cường độ đạt được. Khi sàn đúc sẵn được sử dụng, kỹ sư cần phải xem xét đầy đủ về độ chắc chắn của kết cấu và cung cấp các mối quan hệ cần thiết giữa các phần tử đúc sẵn riêng lẻ để đảm bảo rằng toàn bộ kết cấu có thể hoạt động đầy đủ trong trường hợp tải sự cố.

Hệ kết cấu đúc sẵn đòi hỏi nhiều khối lượng cầu hơn khi thi công tòa nhà. Nếu một hệ thống sàn đúc sẵn được đề xuất, thì điều cần thiết là biện pháp cầu nâng được sử dụng cho công trình cần được xem xét trao đổi với nhà thầu thi công.

Tóm tắt các giải pháp sàn điển hình được cung cấp trong Bảng 4.1

4.2 Cột

Mục đích chính của cột là đỡ các tầng và phân phối tải trọng thẳng đứng xuống nền. Các cột thường được đặt cách nhau đều đặn dọc theo chu vi của hệ kết cấu, nhưng đối với các tấm sàn lớn hơn, thường cần các cột bên trong để giảm bớt nhịp của sàn.

Tải trọng đứng tác dụng lên lõi sẽ giúp lõi kháng lật tốt hơn. Do vậy, khoảng cách giữa cột và lõi nên được tăng lên thì càng tốt. Lõi trung tâm thường đỡ khoảng 60% tải đứng, với các cột đỡ 40% tải trọng còn lại.

Các cột có thể được bố trí để tạo thành một phần của hệ kết cấu chịu tải ngang, như đã thảo luận trong Phần 4.2.1, và điều này sẽ tạo ra các yêu cầu cao hơn về hiệu suất của các cột.

4.2.1 Các yêu cầu về tính năng

Cột chủ yếu chịu nén dọc trục. Khi lựa chọn cách bố trí cột, các kỹ sư nên xem xét các yếu tố sau:

- Giảm kích thước của cột để tăng tầm nhìn đối với mặt tiền và tăng thêm diện tích sàn.
- Dễ dàng cấu tạo và liên kết với hệ kết cấu sàn
- Tăng tốc độ thi công
- Độ bền của cấu kiện và khả năng chịu lửa
- Giảm ảnh hưởng đến hệ mặt dựng

Bê tông rất phù hợp về mặt kinh tế vì có khả năng chịu nén cao và có thể được bơm ở độ cao lớn (cách mặt đất 614 m cho tòa nhà Burj Khalifa ở Dubai).

Có thể sử dụng bê tông cường độ cao cho công trình để làm giảm diện tích cột, tăng diện tích sàn sử dụng để bù cho chi phí phát sinh nếu có.

Mô hình hóa cột

Khi lập mô hình các phần tử cột bằng phần mềm FEM, cần xem xét các điểm sau:

- Khi cột thay đổi kích thước, thì mô hình tính phải xét được độ lệch tâm tại vị trí thay đổi. Tình huống này thay xuất hiện đối với cột ở mặt ngoài công trình;
- Khi sử dụng "cột lệch", độ lệch của các cột có thể đáng kể và sẽ tạo ra lực ngang lớn lên kết cấu sàn.

4.2.2 Khoảng cách cột

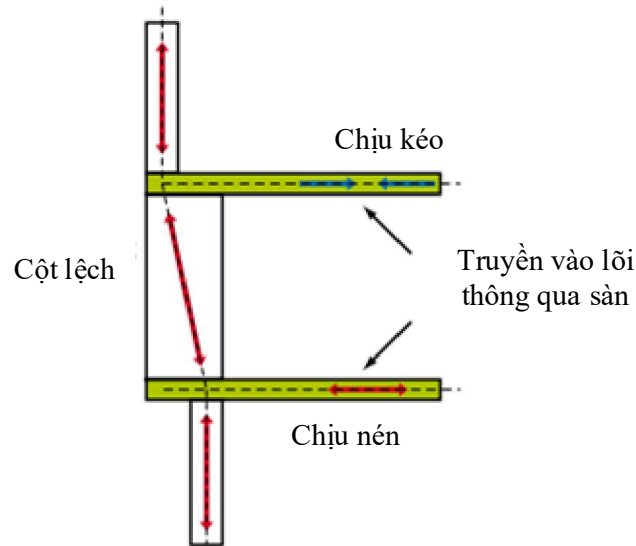
Làm việc với khách hàng và kiến trúc sư để xác định khoảng cách cột trong khuôn viên của tòa nhà. Vị trí của các cột phải thuận tiện để đơn giản hóa bố trí để sử dụng hợp lý không gian sàn. Do kích thước của cột trong các tòa nhà cao tầng tương đối lớn, nên thường không thể giấu chúng vào tường như ở các tòa nhà thấp tầng. Các điều chỉnh đối với bố cục cột nên được giữ ở mức tối thiểu, vì mọi thay đổi vị trí trên mặt bằng đều cần hệ chuyển để thích ứng, điều này có thể tốn kém, làm chậm quá trình xây dựng và cần chiều cao tầng lớn hơn các tầng điển hình.

Khoảng cách cột thường được giữ trong phạm vi 6-10m, vì điều này có thể tạo ra kích thước cột và chiều dày sàn tiết kiệm. Nói chung, khoảng cách rộng hơn phù hợp hơn cho việc sử dụng văn phòng, trong khi khoảng cách nhỏ hơn có thể được sử dụng cho mục đích dân dụng. Nếu công năng tòa nhà thay đổi trong suốt chiều cao, thì có thể sử dụng một tầng chuyển là phù hợp, thường có thể được bố trí ở tầng kỹ thuật như một phần của hệ kết cấu của tòa nhà.

Vị trí của cột có thể được di chuyển dần trên nhiều tầng bằng cách sử dụng "cột lệch" để đạt được độ lệch yêu cầu tổng thể, do đó thực hiện các điều chỉnh nhỏ đối với vị trí của cột. Xem Hình 4.1.

Độ lệch tâm của tải trọng thẳng đứng tại mỗi tầng được chống lại bởi lực căng và lực nén trong kết cấu sàn. Do đó, sàn nhà trở thành một phần của hệ thống chịu tải trọng thẳng đứng và, ngoài tải trọng trọng lực, phải được thiết kế và gia cố để chống lại tải trọng bên bổ sung và được xử lý thích hợp về khả năng đáp ứng của chúng đối với tải trọng ngẫu nhiên, độ chắc chắn và sự sụp đổ không tương xứng.

Khoảng cách cột ở ngoại vi của tòa nhà có thể bị ảnh hưởng bởi mặt tiền đã chọn. Trong các tòa nhà hiện đại, một mặt đứng thường được cung cấp và trọng tâm của cột được tối đa hóa để giảm thiểu sự xâm nhập vào đường mặt tiền và tầm nhìn của những người trong tòa nhà.



Hình 4.1 – Cột lệch

Thông thường, một tấm công xôn ngăn được cung cấp ở ngoại vi của tòa nhà để mặt tiền có thể đi qua cột bên ngoài mà không bị gián đoạn. Điều này có thể đơn giản hóa và chuẩn hóa các chi tiết của diện mạo, đồng thời giúp chỉ định kết nối cột / sàn.

Nếu các cột bên ngoài của một tòa nhà được sử dụng như một phần của hệ thống chịu lực bên (ví dụ, trong kết cấu khung), khoảng cách của các cột sẽ nhỏ hơn nhiều (có thể 2-4m) và các cạnh của bản sàn sẽ tạo thành các dầm liên kết cứng.

4.2.3 Kích thước cột

Khi xác định kích thước sơ bộ của cột cần xét đến các yếu tố sau:

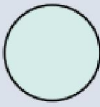
- Ứng suất nén, uốn
- Độ mảnh, đặc biệt đối với các cột có chiều dài lớn (cột khu vực sảnh, khu vực thông tầng)
- Khả năng chịu lửa, yêu cầu về chiều dày lớp bảo vệ, đặc biệt đối với cột sử dụng bê tông tính năng cao;
- Tiêu chí thiết kế kết cấu;

Khi xác định kích thước của cột trong nhà cao tầng, người thiết kế cũng nên xem xét các yếu tố sau:

- Ứng suất nén trung bình trong tiết diện cột vách trong cùng một tầng nên đồng đều để làm giảm hiệu ứng co ngót không đều;
- Lưu ý rằng những thay đổi quá mức và đột ngột về cường độ bê tông - ví dụ, sàn bê tông C40 giữa hai cột sử dụng bê tông C80 có thể gây ra sự cố;

- Chú ý đến sự chênh lệch nhiệt độ của các cột mặt tiền tiếp xúc trực tiếp với ánh nắng mặt trời.

Bảng 4.2 - So sánh các hình dạng cột thường được sử dụng

Column shape	Technical feasibility	Economy	Ease Of planning	Overall rating	Comments
 Circular	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓	A regular and compact shape, convenient to accommodate. Forming shape can be more expensive.
 Square	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	The most relevant shape to resist bending effects; also the easiest one to construct. A regular and compact shape which is very convenient to accommodate.
 Rectangle $b:h < 3:1$	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	Strength influenced by slenderness for smaller side dimension. A regular and compact shape which is convenient to accommodate.
 Rectangular $b:h > 3:1$	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	Strength influenced by slenderness for smaller side dimension. Likely to attract lateral loading and hence may need to be considered as a shear wall. Can be convenient in structures where cross walls suit the intended use.
Key to ratings:- ✓ - Poor ✓✓ - Good ✓✓✓ - Excellent					

4.2.4 Tải trọng đứng và ngang

Ứng suất nén tác dụng lên cột có thể được xác định nhanh chóng bằng cách tính toán thủ công theo diện chịu tải của cột tại mỗi tầng. Kỹ thuật tính này cũng có thể được dùng để xác định gần đúng phân bố của tải trọng ngang.

Ngoài ra, có thể xác định sự phân phối của tải trọng đứng thông qua phân tích mô hình tổng thể. Kiến nghị sử dụng cả hai cách tính tay và tính máy để hiểu rõ hơn về đường truyền tải trọng trong hệ kết cấu, và đây cũng là phương pháp tốt để kiểm tra tính chính xác của kết quả phân tích.

Chịu lực trong quá trình thi công

Việc phân tích kết cấu toàn bộ tòa nhà chỉ xét đến kết cấu đã hoàn chỉnh mà không xét đến các điều kiện chịu tải trong quá trình thi công, trong một số tình huống sẽ là trường hợp tải

trọng bất lợi. Ví dụ, trong trường hợp không có tải trọng dọc trục lớn, có thể sẽ phải bố trí thêm cốt thép trong cột chịu ứng suất uốn lớn.

Thay đổi kích thước cột

Khi chọn kích thước cột, tải trọng dọc trục có thể được giảm đáng kể trên chiều cao của kết cấu. Mặc dù tiết diện cột có thể được thay đổi một cách thích hợp, nhưng ảnh hưởng của việc xây dựng và thiết kế cần được xem xét, vì việc thay đổi thường xuyên có thể gây ra chi phí cao cho ván khuôn và tốc độ thi công. Các thay đổi về tiết diện cột nên được hạn chế, lý tưởng là thay đổi một lần cho mỗi 5 tầng.

Nếu tâm của cột không thẳng hàng, sự thay đổi kích thước cột cũng sẽ tạo ra lực uốn bổ sung cục bộ trong kết cấu. Thiết kế kiến trúc thường yêu cầu bề mặt ngoài của cột phải phẳng, điều này dẫn đến lệch tâm giữa cột phía trên và phía dưới, làm thay đổi đường tác dụng của tải trọng thẳng đứng. Cần có tính toán, thiết kế, cấu tạo thích hợp tại các vị trí này.

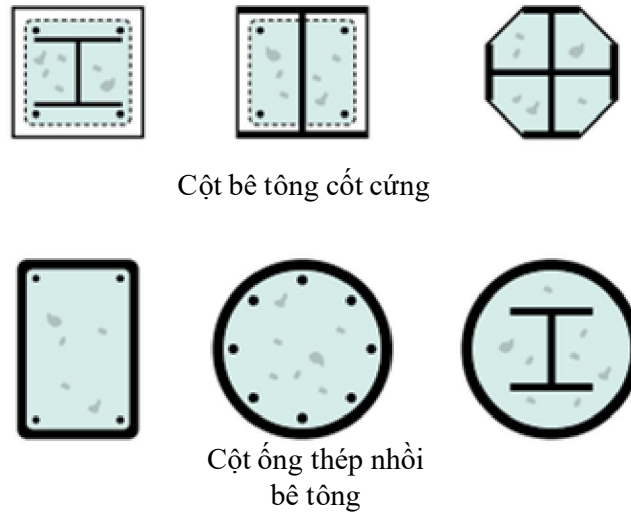
Sử dụng bê tông cường độ cao

Việc sử dụng bê tông cường độ cao, lên đến 80 N/mm^2 , cho cột là hoàn toàn bình thường. Bê tông cường độ cao (lên đến 120 N/mm^2) cũng đã được dùng cho một số công trình cao tầng, tuy không phổ biến lắm. Tính năng của bê tông cường độ cao trong điều kiện cháy có thể khác nhau, do đó khi sử dụng bê tông cường độ cao, khả năng chống cháy của nó cần được nghiên cứu và xác minh kỹ lưỡng.

Nếu bạn chọn sử dụng bê tông cường độ cao trong các cột, bạn nên chú ý đến thiết kế và thông số kỹ thuật của sàn giữa các cột. Ví dụ, nếu bê tông C80 được chỉ định cho cột và C40 cho bản sàn, thì việc kiểm tra thiết kế sẽ được yêu cầu để xác nhận rằng tải trọng của cột có thể được truyền một cách thích hợp qua khu vực bản có cường độ thấp. Hầu hết các tiêu chuẩn quốc gia đưa ra hướng dẫn cho tình huống này và có thể yêu cầu gia cố thêm cốt thép cho kết cấu sàn, hoặc hạn chế sự khác biệt về cường độ bê tông giữa cột và tấm. Có thể chỉ định mức bê tông cao hơn ở khu vực bản sàn bên cạnh cột, mặc dù việc này khó thực hiện trong thực tế và không được khuyến khích trừ khi thực hiện các quy trình nghiêm ngặt tại chỗ để đảm bảo tuân thủ.

4.2.5 Cột liên hợp

Đối với các cột chịu tải lớn, một cân nhắc giải pháp sử dụng các cột liên hợp. Cột bê tông thép liên hợp sử dụng thép hình được đặt bên trong/hoặc bao ngoài tiết diện để tăng khả năng chịu tải dọc trục. Một số dạng tiết diện điển hình được minh họa trong Hình 4.2.



Hình 4.2 – Các dạng cột liên hợp

Việc sử dụng cột liên hợp có thể làm tăng giá thành và làm chậm quá trình thi công, chúng thường chỉ được sử dụng ở các vị trí có yêu cầu hạn chế về kích thước cột mà cột bê tông cốt thép thông thường không thể đáp ứng.

Hướng dẫn thiết kế cột liên hợp có sẵn trong một số tiêu chuẩn Thiết kế, bao gồm Eurocode 4: Thiết kế kết cấu bê tông và thép liên hợp. Hướng dẫn thiết kế khác có trong các ấn phẩm sau:

- Thiết kế cột liên hợp theo EC4 (SCI, 1994)
- Hướng dẫn thiết kế theo EN 1994-1-1 (Johnson and Anderson, 2004)

4.3 Vách

Vách chịu lực được bố trí trong nhà cao tầng với mục đích tăng độ cứng chịu tải trọng ngang cho công trình. Đồng thời là cấu kiện đỡ hệ dầm sàn để truyền tải trọng đứng xuống móng. Trong điều kiện có thể, nên thiết kế để các cấu kiện vách chịu nhiều tải trọng đứng nhất để cân bằng mô men lật do tải ngang gây ra.

Như đã nêu trong các phần trước, hệ lõi của nhà cao tầng có thể chịu phần lớn tải trọng ngang, và thường đỡ khoảng 60% tổng tải trọng đứng của tòa nhà.

Các vách riêng lẻ của lõi thường được liên kết với nhau bởi dầm nối. Các dầm nối này được sử dụng để kết nối các vách riêng lẻ để làm việc đồng thời và do đó làm tăng độ cứng tổng thể của lõi. Các dầm nối này chịu lực lớn, cần phải được tính toán thiết kế và cấu tạo phù hợp.

4.3.1 Các yêu cầu về tính năng

Vách thường chịu đồng thời lực nén và lực cắt trong mặt phẳng. Khi lựa chọn bố trí vách, các kỹ sư cần xem xét các yếu tố sau:

- Giảm kích thước vách để tăng diện tích sử dụng
- Dễ dàng cấu tạo, liên kết với kết cấu sàn
- Thi công nhanh, phù hợp với biện pháp thi công cốp pha trượt
- Khả năng chịu lửa tốt

Vật liệu bê tông rất thích hợp để sử dụng cho các vách chịu lực của các tòa nhà cao tầng, vì nó có thể dễ dàng chịu được lực cắt trong mặt phẳng và lực nén liên quan. Vì kích thước vách thường được thiết lập dựa trên các yêu cầu về độ cứng hơn là cường độ, nên bê tông cường độ cao không được sử dụng phổ biến trong việc xây dựng, ngoại trừ các kết cấu siêu cao.

Mô hình vách và dầm nối

Khi mô hình hóa các phần tử vách và dầm nối trong mô hình phần tử hữu hạn, cần xem xét các điểm sau:

- Cần xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm khi vách thay đổi chiều dày. Hiện tượng này thường xảy ra đối với các vách lõi thang, khi mà luôn giữ cho mặt trong của lõi phẳng.
- Khi sử dụng các dầm nối để liên kết các vách riêng lẻ, thì việc mô phỏng độ cứng của dầm là đặc biệt quan trọng để đảm bảo độ cứng tổng thể của lõi.
- Phải xét đến ảnh hưởng của nứt đối với độ cứng của dầm nối. Thông thường, các dầm nối phần lớn là dầm cao, nên ảnh hưởng của biến dạng cắt lớn hơn so với biến dạng uốn. Điều này có thể làm tăng mức độ nứt của tiết diện dầm. Độ cứng (EI) của dầm nối thường được điều chỉnh (giảm) để tính đến mức độ nứt gia tăng này.
- Trong phần mềm FEM các dầm nối thường được biểu diễn bằng các phần tử dầm liên kết giữa các phần tử vách của lõi. Thực tiễn tốt là tăng chiều dài của các phần tử FE thêm một hoặc hai nút lưới FE ở mỗi đầu để thể hiện chính xác hơn sự gắn kết của các dầm vào thành lõi.

4.3.2 Bố trí vách

Cho dù việc quyết định khoảng cách của các vách trong công trình là do yêu cầu của khách hàng và kiến trúc sư, nhưng các kỹ sư kết cấu có vai trò quan trọng trong việc xác định vị trí của các vách chịu tải trọng ngang quan trọng đối với ứng xử của tòa nhà.

Tốt nhất, các vách nên được bố trí đối xứng xung quanh tâm chung của tòa nhà theo mỗi trục ngang chính, để giảm hiệu ứng xoắn của tòa nhà đối với tải trọng ngang. Việc bố trí vách giao nhau có thể làm tăng đáng kể độ cứng và độ ổn định của tổng thể bản thân các vách, cho phép chúng hoạt động hiệu quả hơn khi chịu tải trọng ngang.

Thông thường, các vách chính trong nhà cao tầng được bố trí xung quanh lõi trung tâm, nơi đặt trục thang máy và cầu thang bộ phục vụ tòa nhà. Đây là vị trí thuận tiện để bố trí các vách chịu lực để có được giải pháp kết cấu hiệu quả. Đây thường là cách bố trí vách sơ bộ ban đầu làm cơ sở để tối ưu thông qua một quy trình lặp.

4.3.3 Kích thước vách

Việc xác định kích thước vách ban đầu cần xét đến các yếu tố sau:

- Ứng suất nén và uốn
- Độ cứng tổng thể và giới hạn về chuyển vị ngang
- Độ ổn định, đặc biệt đối với các vách cao (ở vị trí sảnh, vị trí thông tầng)
- Khả năng chịu lửa và yêu cầu về chiều dày lớp bảo vệ (được nêu trong phần lớn quy chuẩn, tiêu chuẩn xây dựng)
- Tiêu chí về độ cứng, độ bền của kết cấu.

Ngoài ra, các quyết định về kích thước vách phải tính đến các yếu tố sau cụ thể đối với nhà cao tầng:

- Tiêu chuẩn hóa kích thước tiết diện để tăng tốc độ thi công.
- Có được mức ứng suất đồng đều trong vách và cột ở cùng một tầng để giảm ảnh hưởng biến dạng dọc trục không đều.
- Giảm thiểu sự điều chỉnh vị trí vách, đặc biệt là ở phần dưới của các tháp rất cao.

Khi thiết lập kích thước mặt cắt ngang của vách, chiều dài vách thường được thiết lập theo bố cục kiến trúc và ví dụ, số lượng thang máy. Cần tính toán để xác định chiều dài này một cách hợp lý đáp ứng độ cứng tổng thể cần thiết, các kỹ sư có thể tinh chỉnh các yêu cầu về độ cứng và độ bền bằng cách điều chỉnh độ dày của tường. Độ dày tường dao động từ 350-800mm không phải là hiếm ở các nhà cao tầng.

4.3.4 Tải trọng đứng và ngang

Tương tự như đối với cột, ứng suất nén tác dụng lên vách có thể được xác định nhanh chóng bằng cách bóc tải thủ công theo từng tầng dựa trên diện tích chịu tải của vách. Cần xét đến tính liên tục của sàn, do độ cứng của vách lớn, nên diện tích chịu tải của vách có thể tăng lên đáng kể.

Phương pháp phân phối tải thủ công cũng có thể áp dụng cho việc xác định gần đúng ứng suất do tải trọng ngang gây ra. Kết quả tính tay có thể dùng để kiểm chứng với kết quả phân tích bằng phần mềm.

Tải trọng trong quá trình thi công

Một lần nữa, như đối với cột, cần nhớ rằng việc phân tích toàn bộ công trình sẽ chỉ xem xét kết cấu tổng thể, do đó có thể bỏ sót điều kiện gia tải trong quá trình xây dựng. Các điều kiện tạm thời có thể tạo ra nhiều trường hợp chịu tải bất lợi hơn, đặc biệt khi sử dụng công nghệ cốp pha trượt để thi công phần lõi trước khi thi công phần còn lại của kết cấu. Trong một số trường hợp, lõi có thể thi công cao thêm 10 tầng hoặc nhiều hơn, do đó, chúng chịu tải trọng và điều kiện biên rất khác so với thiết kế cuối cùng. Các nghiên cứu nên được tiến hành để xem xét ứng xử và độ bền của vách trong quá trình xây dựng.

Thay đổi về chiều dày

Tải trọng dọc trục lên vách sẽ giảm đáng kể trên toàn bộ chiều cao của kết cấu. Mặc dù độ dày của vách đôi khi bị giảm khi tăng chiều cao của tòa nhà, nhưng khó khăn trong thi công có thể xảy ra, và ảnh hưởng của độ cứng tổng thể của vách phải được tính vào phạm vi thiết kế.

Nếu đường tâm của vách không thẳng hàng, sự thay đổi chiều dày của vách sẽ tạo ra mômen uốn ngoài mặt phẳng. Thiết kế kiến trúc thường yêu cầu một mặt của vách phẳng khi kích thước thay đổi, do đó làm thay đổi đường tâm của mặt cắt ngang dẫn đến thay đổi đường tác dụng của tải trọng thẳng đứng, gây ra mô men lớn ngoài mặt phẳng, cho dù chúng thường có thể được điều chỉnh bằng các chi tiết gia cường cục bộ thích hợp.

Vị trí lỗ mở trong vách

Hầu hết các vách chịu lực cần phải có lỗ mở (ví dụ, cửa thang máy) để tạo thuận lợi cho người sử dụng tòa nhà và các dịch vụ cơ điện. Vị trí lỗ mở sẽ ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng và khả năng chịu lực của vách. Mọi lỗ mở qua vách chính nên được đặt cách xa các đầu mút hoặc ở bất kỳ điểm tiếp giáp nào với vách vuông góc, vì những khu vực này có xu hướng chịu nhiều áp lực hơn. Lý tưởng nhất, lỗ mở nên bố trí ở giữa vách.

Đối với cửa thang máy, việc mở lặp đi lặp lại ở mỗi tầng có thể chỉ để lại một phần tương đối nông (hoặc dầm nổi) để kết nối hai phần tường dài hơn. Các dầm liên kết bắt buộc phải truyền lực cắt lớn vì chúng thường tác dụng lên hai phần của tường. Khi mô hình hóa hoạt động của các dầm liên kết, hãy xem xét cẩn thận thiết kế và chi tiết của chúng để đảm bảo rằng các dầm liên kết có thể chống lại lực tác dụng và có thể được thi công một cách hiệu quả.

5 Móng

Ở giai đoạn khởi đầu, nhà cao tầng thường được xây dựng ở các khu vực như Chicago và New York, nơi có điều kiện địa chất tốt, có thể chịu được tải trọng lớn. Khi việc xây dựng nhà cao tầng lan rộng ra các khu vực khác trên thế giới, việc thiết kế nền móng nhà cao tầng đã gặp phải các thách thức khó khăn hơn do điều kiện địa chất không tốt.

Điều này chắc chắn đã dẫn đến việc áp dụng các giải pháp móng khác nhau để phù hợp với cường độ và khả năng nén lún của các lớp trầm tích phía dưới. Ví dụ, trong khi địa chất ở Chicago và New York được bao phủ bởi các loại đá cường độ cao - Dolomite và Metamorphic - thì tại Thượng Hải thuộc đồng bằng sông Dương Tử nằm trên lớp trầm tích mềm dày hơn 100m và vẫn có các tòa nhà siêu cao đã và đang được xây dựng (ví dụ tòa nhà Trung tâm Tài chính Thế giới tại Thượng Hải cao 492 m). Phần lớn các khu vực ở London nằm trên một lớp đất sét cứng, và móng của các tòa nhà như ở Canary Wharf sử dụng giải pháp cọc khoan nhồi có mũi cọc tụt vào lớp cát chặt phía dưới lớp đất sét này.

Luôn luôn cần có chuyên gia địa kỹ thuật để tư vấn giải pháp nền móng cho nhà cao tầng.

Điều kiện địa chất

Khi tồn tại lớp trầm tích có cường độ cao và độ nén lún thấp, và khi nền đất có thừa khả năng chịu tải trọng dự kiến của tòa nhà, thì việc xác định chính xác các thông số của đất nền không phải là yếu tố quan trọng nhất. Tuy nhiên, việc không lấy mẫu, kiểm tra và đánh giá đúng nhiều loại trầm tích có thể dẫn đến các giải pháp nền móng không hiệu quả và tốn kém.

Trong những năm gần đây, đã có nhiều nỗ lực vào việc cải tiến các phương pháp thử nghiệm trong phòng và thí nghiệm hiện trường để xác định được chính xác hơn các thông số sử dụng trong thiết kế.

Trong lịch sử, các thiết kế phần lớn dựa trên mối tương quan thực nghiệm để lựa chọn giải pháp móng (theo phương pháp gần đúng) thiên về an toàn, do vậy các thiết kế móng thường tương đối tốn kém.

Các điều kiện đất nền và khảo sát hiện trường cần hướng đến phương pháp thiết kế nền móng cơ bản. Các giải pháp có thể lựa chọn bao gồm móng cọc để truyền tải trọng từ lớp đất yếu vào lớp đất tốt hơn phía dưới hay giải pháp móng bè để truyền toàn bộ tải trọng của công trình trực tiếp lên lớp đất phía dưới chân công trình.

Trong nhiều trường hợp, các kỹ sư chọn một trong hai cách tiếp cận cơ bản này. Tuy nhiên, sự ra đời của các kỹ thuật mô hình hóa tốt hơn cho phép sử dụng móng hỗn hợp giữa giải pháp móng cọc và móng bè. Hệ móng hỗn hợp có thể giải quyết tốt hơn các yếu tố không chắc chắn trong nền đất và ứng xử của các thành phần riêng lẻ của hệ móng. Ví dụ, nếu phần bè có xu hướng lún nhiều hơn dự kiến, thì phần cọc sẽ chịu tải trọng lớn hơn trong khi nếu cọc hoạt

động kém hơn dự kiến, thì phần móng bè sẽ chịu tải trọng bổ sung. Ở một mức độ nào đó, hệ thống móng kết hợp này có khả năng tự bù trừ (điều chỉnh).

Tầng hầm

Đa số diện tích tầng hầm của nhà cao tầng thường lớn hơn diện tích phần hình chiếu của phần tháp bên trên. Thông thường, mực nước ngầm vĩnh viễn thường cao hơn cao độ sàn hầm, nên có thể gây ra lực đẩy nổi đáng kể. Phần tầng hầm mở rộng phía bên ngoài hoặc phải neo xuống (cọc chịu kéo hoặc neo đất) hoặc phải có giải pháp thoát nước cho toàn bộ diện tích hầm.

Tải trọng ngang do áp lực đất và nước lên tường tầng hầm sẽ do các sàn tầng hầm chịu, trừ phi sử dụng neo đất cố định. Sàn tầng hầm nên được bố trí liên tục trong toàn bộ khu vực tầng hầm. Ngoài ra, tại những vị trí nhịp lớn, cần phải xem xét đến phương pháp thi công để đảm bảo ảnh hưởng của co ngót và từ biến của bản sàn không gây ra chuyển vị quá lớn của tường tầng hầm.

5.1 Khảo sát địa chất

Yếu tố chính để đảm bảo việc thiết kế nền móng phù hợp và hiệu quả là tiến hành đánh giá và điều tra kỹ lưỡng các điều kiện nền đất. Các phương pháp khảo sát hiện trường trên toàn thế giới thường phản ánh sự thận trọng và không được tối ưu hóa để có được thiết kế tốt nhất. Ở nhiều quốc gia, điều này được cân bằng với việc sử dụng các kinh nghiệm có được từ ứng xử của các công trình đã thi công. Tuy nhiên, việc sử dụng kinh nghiệm có những hạn chế sau:

- Các quan trắc và kết quả thực nghiệm được giới hạn trong các địa tầng cụ thể.
- Có sự không chắc chắn khi sử dụng kinh nghiệm lịch sử để thiết kế các tòa nhà cao và nặng hơn đáng kể so với những tòa nhà đã được xây dựng trước đây trong khu vực.

Nếu không có một kế hoạch khảo sát địa chất hiện trường thích hợp, thì phần lớn giải pháp móng được sử dụng đều thiên rất an toàn (bảo thủ). Các kỹ sư nên xem xét:

- Đánh giá nguy cơ xảy ra các sự cố về địa chất như hang caster, trượt đất của các lớp đất tại hiện trường;
- Khoan đủ số lượng lỗ khoan khảo sát và hồ thử để sự thay đổi của các lớp địa tầng trên toàn khu vực.
- Chiều sâu lỗ khoan phải đủ để kiểm tra khả năng chịu tải của các lớp đất. Móng bè sẽ ảnh hưởng đến địa tầng sâu hàng chục mét dưới đáy móng. Ở những chỗ trầm tích yếu, cọc có thể phải kéo dài đến 80-100m dưới mặt đất.
- Sử dụng các phương pháp lấy mẫu ít gây ra sự xáo trộn của mẫu.
- Đảm bảo thí nghiệm trong phòng được thực hiện trên các mẫu không bị xáo trộn, đại diện cho địa tầng gặp phải.

- Thực hiện thử nghiệm hiện trường, như đo mô đun đàn hồi bằng áp kế, để so sánh với các kết quả trong phòng thí nghiệm.

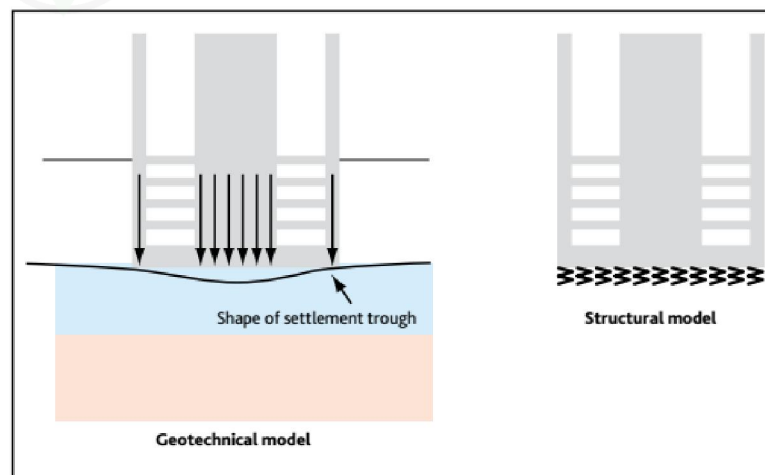
Mức nước ngầm và tính thấm của các tầng cũng cần được xem xét. Mức nước ngầm được sử dụng để thiết kế là mức nước thu được trong quá trình khảo sát từ số đo của một hoặc hai áp kế được lắp đặt. Tuy nhiên, mức nước ngầm có thể bị đánh giá sai theo mùa hoặc trong các lớp trầm tích có độ thấm thấp, nơi áp lực lỗ rỗng có thể mất nhiều tuần để cân bằng và có thể bị ảnh hưởng bởi sự phát triển của chính nó trong thời gian dài.

5.2 Tương tác nền – công trình

Các tòa nhà cao tầng phải được neo chắc chắn trong lớp đất phía dưới. Dưới tác dụng của tải trọng ngang, kết cấu của nhà cao tầng có thể so sánh với một thanh công xôn được ngàm ở chân; nếu độ cứng tại chân không đảm bảo có thể ảnh hưởng đến ứng xử của tổng thể của công trình. Tùy thuộc vào tính chất của đất nền, móng nhà cao tầng có thể là móng bè hoặc móng cọc như đã mô tả trong các phần trước.

Tương tác đất - kết cấu là một hiện tượng phải được các kỹ sư xem xét khi trong giai đoạn thiết kế kết cấu và thi công công trình.

Tương tác đất - kết cấu ảnh hưởng đến sự phân bố tải trọng thẳng đứng trên mặt đất và ứng suất trong kết cấu, thiết kế nền móng, nghiên cứu độ lún của đất và ứng xử động của công trình dưới tác dụng của lực ngang (gió và lực địa chấn).



Hình 5.1 – So sánh mô hình phân tích địa kỹ thuật và mô hình kết cấu

Việc đánh giá không chính xác có thể dẫn đến nứt do lún chênh lệch. Nó cũng có thể dẫn đến kết cấu không đáp ứng được các tiêu chí về sự thoải mái của người sử dụng do đánh giá quá cao độ cứng của tòa nhà. Việc xét đến hiện tượng này một cách chính xác cho phép đánh giá chính xác độ lún trên các công trình lân cận.

Khi xem xét tải trọng thẳng đứng trong công trình và sự phân bố của nó trên nền đất (thông lực dọc trong lõi và cột), sẽ xác định được đường cong biến dạng tương ứng, dẫn đến phân bố

độ cứng theo phương đứng trên toàn bộ diện tích chịu tải của tải trọng thẳng đứng. Theo cách tương tự, cũng sẽ xác định được sự phân bố độ cứng của nền khi chịu tải trọng ngang.

Sự phân bố của lò xo đất nền phía dưới các phần tử kết cấu tiếp xúc với nền đất có ảnh hưởng trực tiếp đến sự phân bố tải trọng thẳng đứng.

Do đó, nguyên tắc của nghiên cứu tương tác kết cấu – nền sẽ cần sự tương tác giữa các kỹ sư địa kỹ thuật và kết cấu để có được sự nhất quán giữa các tính toán tương ứng của họ. Biểu đồ lún (Hình 5.1) do kỹ sư địa kỹ thuật tính toán trên cơ sở tải trọng thẳng đứng do kỹ sư kết cấu đưa ra phải phù hợp với biểu đồ lún do sự rút ngắn của lò xo đất trong tính toán kết cấu.

5.3 Các phương pháp phân tích móng

Nền móng nhà cao tầng chắc chắn phải chịu tải trọng rất cao. Thông thường, các nhà thiết kế thích áp dụng giải pháp móng cọc sâu, để truyền tải trọng xuống lớp đất tốt phía dưới. Tuy nhiên, với sự hiểu biết tốt về ứng xử của đất và đá dự kiến, các kỹ sư nên xem xét nhiều lựa chọn khác nhau để thiết kế kết cấu móng vừa an toàn mà đạt được yếu tố kinh tế.

Khi xây dựng trên nền đá rắn, nền móng có thể chỉ đơn giản là một số móng băng, được sử dụng kết hợp với bè để đỡ hệ lõi chính của công trình. Tuy nhiên, trên cơ sở tổng quát hơn, các nhà thiết kế nên đánh giá việc sử dụng giải pháp bè và cọc kết hợp.

5.3.1 Móng bè

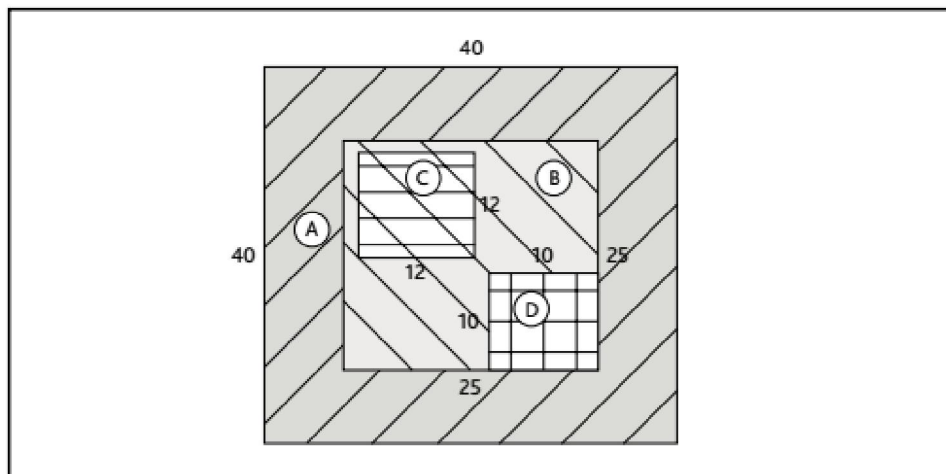
Khi các tòa nhà trở nên cao hơn, các nhà bè đã trở thành những kỳ công phức tạp của kỹ thuật theo đúng nghĩa của chúng. Các bè có thể dày vài mét để chịu được tác động cắt đột của các cột chịu tải nặng, trong khi cần đảm bảo độ lan truyền tải trọng phù hợp lên các tầng bên dưới. Các khía cạnh đòi hỏi sự đánh giá thích hợp của các kỹ sư kết cấu thực hiện bất kỳ hình thức mô hình nào bao gồm:

Khi các tòa nhà ngày càng cao hơn, việc thiết kế móng bè tương đối phức tạp. Móng bè có thể dày vài mét để đáp ứng khả năng chịu chọc thủng tại vị trí cột chịu tải trọng lớn, đồng thời đảm bảo khả năng phân phối tải trọng xuống nền đất bên dưới. Các vấn đề đòi hỏi sự đánh giá thích hợp từ các kỹ sư kết cấu dưới bất kỳ hình thức mô hình nào bao gồm:

- Quyết định xem ứng xử của móng bè là đàn hồi hay không; bê tông được giả định là không xuất hiện nứt hay có xét ảnh hưởng của nứt.
- Xem xét lợi ích của cốt thép, thường có tỷ lệ rất đáng kể, và đóng góp của nó trong việc phân bố tải trọng và độ uốn của bè.
- Quyết định độ cứng tổng hợp của bè và kết cấu bên trên; ví dụ, các vách lõi sẽ làm giảm đáng kể khả năng biến dạng do uốn của phần bè nằm bên dưới các cấu kiện này.

Khi xem xét sự tương tác giữa bè và nền đất, các kỹ sư kết cấu thường đơn giản hóa toàn bộ lớp nền thành một chuỗi các lò xo. Quá trình này đòi hỏi phải xác định các khu vực trên bè

với tải trọng tương đương. Một 'lò xo' thích hợp được suy ra dựa trên diện tích chất tải và mô đun của nền đất bên dưới. Một quy trình đơn giản được trình bày trong Hình 5.2.



Hình 5.2 – Phương pháp lò xo

Một cách tiếp cận thay thế trong việc đánh giá độ cứng của lò xo bao gồm quy trình lập của chương trình máy tính, phần mềm kết cấu kết hợp lò xo và phần mềm địa kỹ thuật để đánh giá độ lún bên dưới các khu vực chịu tải khác nhau. Ví dụ về phân tích 2D theo quy trình này được đưa ra trong Hình 5.3 a) và b).

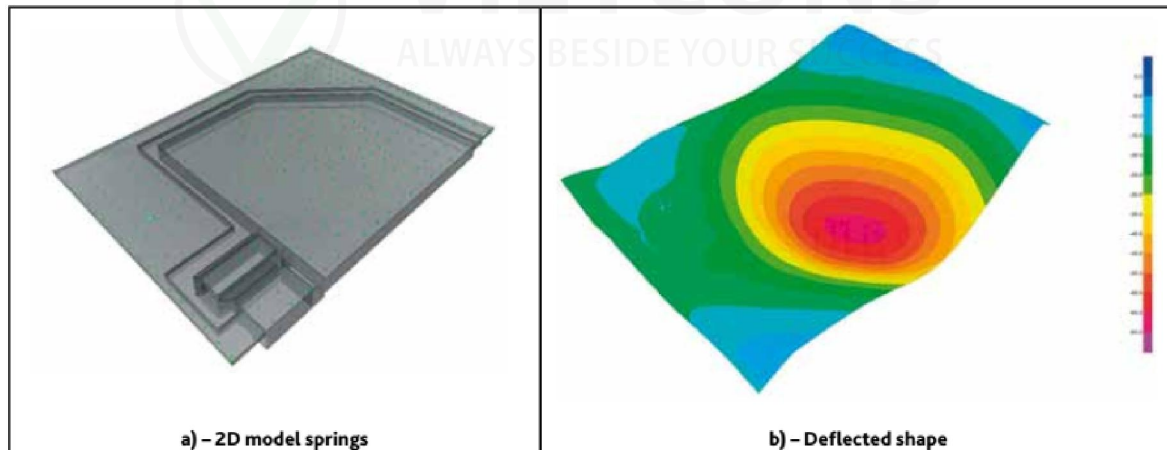


Figure 5.3 - 2D Model Analysis.

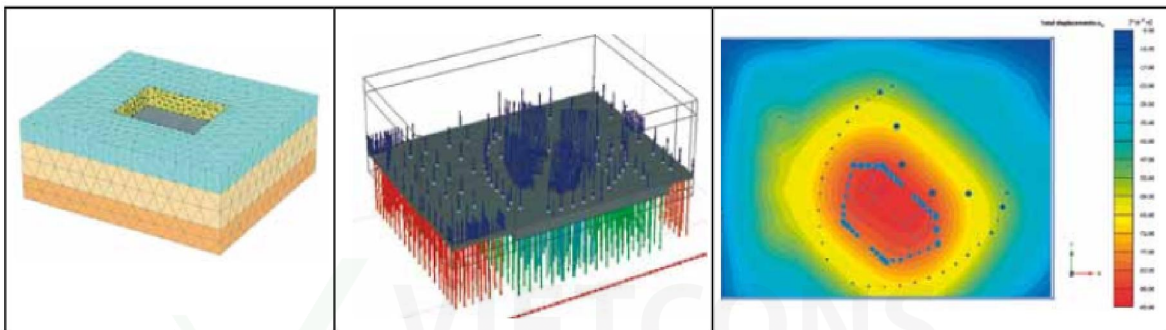
Bằng cách sử dụng phần mềm tương tác kết cấu - nền theo phương pháp phần tử hữu hạn 2D, ứng xử của tương tác nền - bệ có thể được thể hiện tốt hơn. Mặc dù bệ được biểu diễn như một phần tử đàn hồi ở dạng đơn giản nhất của nó, toàn bộ các lớp đất và đá có thể được mô hình hóa với một mô đun đàn hồi thích hợp dưới bệ.

Làm việc theo mô hình phẳng có nghĩa là phần được sử dụng chỉ có thể liên quan đến phân bố tải trọng cụ thể, được giả định là giống nhau trong toàn bộ phạm vi bệ, trong khi chiều thứ ba là vô hạn và các cột và lõi được biểu diễn bằng các vách liên tục. Bất chấp những hạn chế

này, các nhà lập mô hình số địa kỹ thuật xuất sắc có thể đưa ra đánh giá hợp lý về độ cứng lò xo được sử dụng trong mô hình kết cấu và có thể kiểm tra tốt biến dạng của bệ.

Một giải pháp tối ưu là sử dụng phần tử hữu hạn 3D, xét đến tương tác kết cấu – nền, mô hình phân tích như trong Hình 5.4. Nó có thể được sử dụng để cung cấp thông tin chi tiết về biến dạng của bệ do các lực uốn và cắt gây ra, với độ chính xác của mô hình phụ thuộc vào tính chính xác của dữ liệu đầu vào.

Sai số về độ cứng của đất hoặc tải trọng lan truyền qua bệ chắc chắn sẽ tạo ra các mức độ sai số khác nhau trong kết quả cuối cùng. Để giải quyết vấn đề này, các thông số đất thường được xem xét trong một khoảng biến thiên nhất định, để kiểm tra sự thay đổi về biến dạng của bệ, làm căn cứ để tính toán bố trí cốt thép.



Hình 5.4 – Mô hình tương tác không gian kết cấu – nền

Quy trình mô hình hóa tương tác kết cấu – nền

Khi thực hiện mô hình tương tác kết cấu – nền, quy trình sau đây được khuyến nghị.

Mô hình kết cấu nền bao gồm:

- Kích thước bệ (chiều dày, lỗ mở, vị trí cột / lõi), bao gồm cả độ cứng của vách lõi được xem là đáng kể;
- Tải trọng (tải trọng tập trung - từ cột, tải trọng phân bố theo đường thẳng - từ vách, tải trọng phân bố trên diện tích - từ bản/ phòng kỹ thuật)
- Một lưới lò xo với khoảng cách nút không đổi (thường là 20% khoảng cách cột trung bình).

Mô hình địa kỹ thuật nên bao gồm:

- Điều kiện nền đất (địa tầng, giá trị độ cứng, v.v.) dựa trên dữ liệu điều tra hiện trường.
- Lưới và các nút giống như đối với mô hình kết cấu, ở chân bệ.

Tương tác kết cấu – nền nên được thực hiện theo quy trình sau:

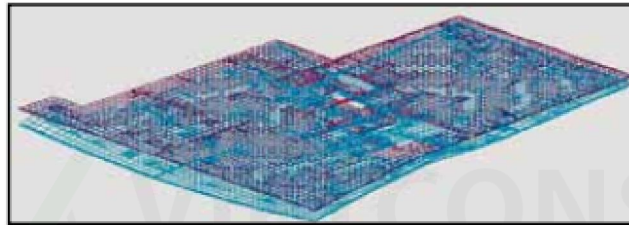
1. Gán một lò xo không đổi dưới mỗi nút trong mô hình kết cấu để đạt được độ lún tổng thể xấp xỉ 50mm khi mô hình được chạy.
2. Nhập từng phản ứng nút từ mô hình cấu trúc vào mô hình địa kỹ thuật.

3. Chạy mô hình địa kỹ thuật để tính toán độ lún của từng nút.
4. Đối với mỗi nút, tính toán độ cứng của lò xo (k) bằng cách sử dụng biểu thức;

$$k = \frac{\text{Pressure (from structural model)}}{\text{Settlement (from geotechnical model)}}$$

5. Gán bộ giá trị lò xo (k) này cho tất cả các nút trong mô hình cấu trúc để suy ra một tập hợp các phản ứng nút mới.
6. Lặp lại các bước 2, 3 và 4 để suy ra một bộ giá trị lò xo mới. Quá trình này được lặp lại cho đến khi độ lún nút từ mô hình kết cấu và địa kỹ thuật khớp với nhau. Điều này thường có thể đạt được trong khoảng ba và năm chu kỳ lặp lại.

Khi độ lún trong cả hai mô hình phần mềm hội tụ (như được thiết lập từ việc so sánh các kết quả độ lún, xem Hình 5.5) thì có thể xác định được mômen uốn, lực cắt, áp lực đáy bệ và độ võng của bệ.



Hình 5.5 - Sự hội tụ của độ lún từ phần mềm kết cấu và địa kỹ thuật

5.3.2 Móng cọc

Khi giải pháp cọc được áp dụng dưới các tòa nhà cao tầng, các nhà thiết kế thường đánh giá việc áp dụng các nhóm cọc có đường kính lớn. Mặc dù người ta thường nhấn mạnh đến các chế độ thử nghiệm của cọc đơn để xác nhận thiết kế tổng thể của cọc, nhưng có sự khác biệt rõ rệt giữa tính năng của cọc đơn và của một nhóm cọc lớn.

Hiệu suất của cọc đơn bị chi phối bởi hai khía cạnh riêng biệt:

- Ma sát giữa cọc và nền;
- Cường độ của đất / đá bên dưới mũi cọc.

Đối với một nhóm cọc, cọc bao gồm một khối lượng đất lớn và tác động của cọc và đất kết hợp với nhau sẽ quyết định hiệu suất của nhóm. Giống như móng bệ, phần đất phía dưới mũi của nhóm cọc sẽ chịu tải đáng kể và sẽ ảnh hưởng đến độ lún của nhóm cọc.

Một số quy trình tương đối đơn giản đã được phát triển cho phép các nhà thiết kế đánh giá hiệu suất của nhóm cọc, tuy nhiên, khuyến nghị nên tìm lời khuyên từ một chuyên gia địa kỹ thuật.

Như với phân tích móng bệ, việc sử dụng phân tích 2D có xét đến tương tác giữa kết cấu và nền đòi hỏi phải lựa chọn mô hình phân bố toàn bộ trọng lượng của tòa nhà. Các cọc có thể

được xem như các vách tương đương. Bất chấp những hạn chế này đối với các trường hợp tải đơn giản, các nhà phân tích có thể đưa ra các dự đoán hợp lý tốt.

Trong khi phân tích tương tác kết cấu – nền bằng phần mềm phần tử hữu hạn 3D có thể dễ dàng đạt được, nhưng số lượng các phần tử cần để mô phỏng cọc trong một nhóm cọc lớn có thể là quá nhiều và không thực hiện được. Hầu hết các gói phân tích cho phép mỗi cọc được mô phỏng bằng một phần tử dầm, với các giới hạn được thiết lập đối với ma sát và khả năng chịu tải ở mũi. Toàn bộ tải trọng của tòa nhà, kết cấu móng, đài cọc có thể được mô hình hóa phù hợp và các dự đoán về ứng xử tổng thể của nền móng được cho là chính xác khi có số liệu cụ thể cho từng loại nền.

5.3.3 Móng bè cọc

Ngoài việc có thể lựa chọn giải pháp móng bè đơn giản hoặc giải pháp móng cọc thì lợi ích của giải pháp kết hợp giữa hai loại móng này – giải pháp móng bè cọc là giải pháp có hiệu quả đáng kể trong việc chịu tải cũng như giảm bớt lún quá mức.

Thông thường, trong hệ móng bè cọc kết hợp, cọc sẽ được bố trí ngay bên dưới các vị trí cột chịu tải trọng lớn, để giảm tải trọng truyền lên bè và hạn chế độ lún. Tuy nhiên, cần thực hiện phân tích đầy đủ để dự đoán một cách có cơ sở về việc phân bố tải trọng giữa bè và từng cọc.

Việc phân tích móng bè cọc tương đối phức tạp, tải trọng công trình tác dụng lên đỉnh bè và được phân phối lên các cọc (do cọc có độ cứng lớn hơn nền) sau đó mới truyền đến phần nền phía dưới bè khi cọc bị lún. Tải trọng truyền trong nền lại làm tăng ứng suất trong thân cọc.

Mặc dù phần mềm tương tác kết cấu – nền bằng phương pháp phần tử hữu hạn 3D có thể mô phỏng sự tương tác phức tạp giữa nền – bè – cọc, nhưng sự không chắc chắn không thể tránh khỏi liên quan đến các thông số đất nền vẫn cần được giải quyết bằng cách thay đổi các giá trị này như một phần của quá trình thiết kế.

Tóm lại, móng bè cọc kết hợp cung cấp một giải pháp móng tương đối kinh tế trong nhiều tình huống. Ở một mức độ nào đó, rủi ro liên quan đến sự thay đổi trong phân tích và hiệu suất hiện trường được bù đắp bằng phương pháp kết hợp, trong khi việc sử dụng bè cũng có khả năng làm giảm hệ số an toàn để đề phòng sự cố cọc không mong muốn.

5.4 Thiết kế tầng hầm

Các vấn đề liên quan đến việc thi công tầng hầm cần được xem xét bao gồm:

- Chịu áp lực đất xung quanh trong quá trình đào và sau xây dựng.
- Đảm bảo sự dịch chuyển của nền không làm ảnh hưởng đến công trình và cơ sở hạ tầng xung quanh.
- Kiểm soát áp lực nước ngầm và áp lực đẩy nổi trong quá trình thi công.

- Thiết kế, thi công chống thấm.
- Giải pháp kháng đẩy nổi hoặc thoát nước dưới tầng hầm.
- Kháng trôi nền trong thời gian dài.

Các vấn đề sau được xem là đặc thù riêng của nhà cao tầng:

- Đảm bảo tính liên tục sàn tầng hầm để chống lại áp lực của đất và nước.
- Không chế ảnh hưởng do co ngót và từ biến của bản sàn gây ra tác động “kéo vào” đối với tường tầng hầm;
- Thích ứng với những thay đổi tải trọng đáng kể xảy ra ở xung quanh chân tháp và vùng chuyển tiếp để đảm bảo không thay đổi đột ngột về độ dày bê/sàn hoặc cốt thép để tránh nứt cục bộ.

Do có nhiều thông số nêu trên, khó có thể đưa ra hướng dẫn chính xác về các vấn đề liên quan đến thi công tầng hầm trong nhà cao tầng. Tuy nhiên, hướng dẫn chung về thiết kế tầng hầm bê tông cốt thép có thể được lấy từ ấn phẩm của Trung tâm Bê tông: Tầng hầm bê tông, CCIP-044 ^[3].



6 Tính khả thi khi thi công

Sự tham gia sớm của nhà thầu là cần thiết để cung cấp thông tin để đưa ra các quyết định trong quá trình thiết kế nhà cao tầng. Khi đơn vị thiết kế và nhà thầu hợp tác làm việc ngay từ giai đoạn đầu, có thể đưa ra các lựa chọn về giải pháp có thể ảnh hưởng đến thiết kế, chẳng hạn như phương pháp thi công lõi, cần trục tháp, lối tiếp cần (vận thăng và cầu thang) và lưới an toàn. Ngoài ra, việc hợp tác sớm sẽ đảm bảo tất cả các bên có thể nhận ra, phát triển và hiểu được trình tự thi công thuận lợi nhất.

Các vấn đề chính mà nhà thầu quan tâm là:

- An toàn của con người trên công trường và khu vực xung quanh;
- Sử dụng cần trục;
- Các khu vực hậu cần, sắp xếp và lưu kho;
- Vận chuyển vật liệu và thao tác theo phương đứng;
- Tiêu chuẩn hóa các cấu kiện kết cấu mà lắp đi lắp lại trong quá trình làm ván khuôn.

6.1 Thi công lõi

Hệ thống ván khuôn được sử dụng cho thi công lõi cần được xem xét tích hợp với các giải pháp cầu lắp và vận chuyển cho công trình, bao gồm vị trí tương đối và chiều cao của lõi khi liên kết với cần trục. Nếu cần trục được giằng vào lõi, thì cả hai có thể cùng tiến, trong khi nếu cần trục được giằng vào sàn, thì tiến trình thi công lõi sẽ phụ thuộc vào tiến trình thi công của sàn.

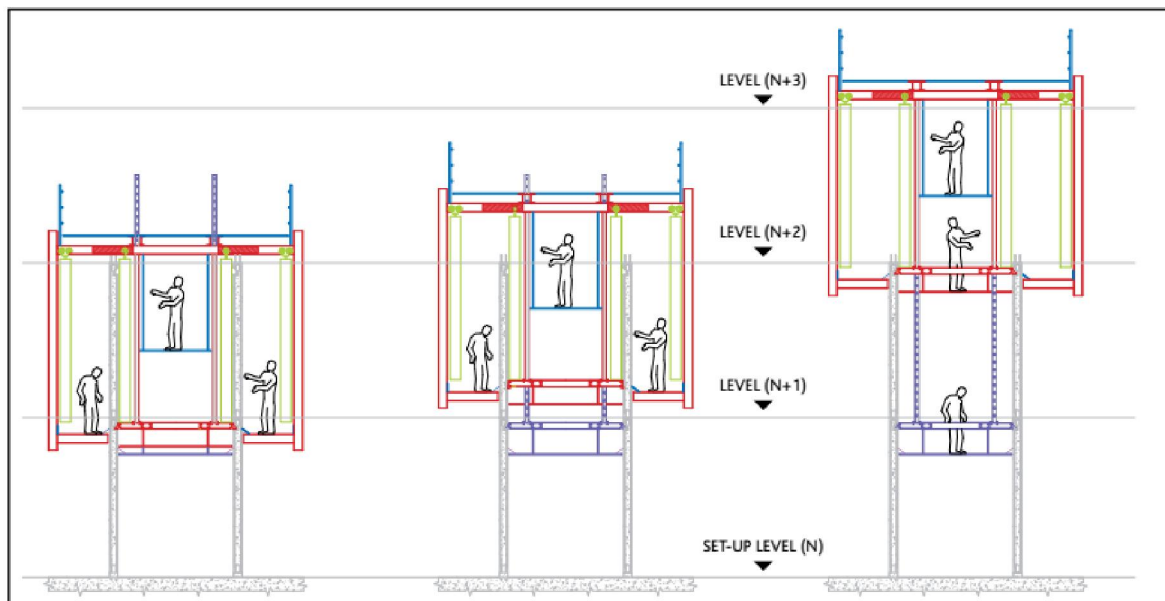
Các kỹ sư kết cấu và nhà thầu nên tham gia hội thảo ngay từ giai đoạn đầu, để các bên có thể hiểu đầy đủ về các hạn chế về chiều cao của lõi vượt ngoài phạm vi đổ sàn. Có thể cần phải kiểm tra lại giải pháp nền móng để đảm bảo nó có thể đối phó với các trường hợp tải trọng khác nhau khi lõi đã được thi công trước phần còn lại của tòa nhà.



Hình 6.1 – Thi công nhà cao tầng

Attributes	Crane climbed jump-form	Self-climbing jump-form	Self-climbing slip-form	Self-climbing intermittent slip-form (Stutterform)
Concrete finish and density	Good	Good	Requires making good	Requires making good
Concrete required	Early age strength for cycle times	Early age strength for cycle times	As per structural requirements	As per structural requirements
Concrete placement	Skip or placing boom	Skip or placing boom	Skip	Skip
Wall thickness range (typical)	200-800mm	200-800mm	200- 450mm	200- 450mm
Frame-to-core connection	Embedded plate or cast-in couplers or pull-out bars	Concrete corbel or embedded plate or cast-in couplers or pull-out bars	Embedded plate or cast-in couplers or pull-out bars	Embedded plate or cast-in couplers or pull-out bars
Average cycle time	4 days	4 days	250mm per hour	250mm per hour
Craneage required	Very high demand	Moderate demand	High demand	High demand
Can work continue below (hanging platforms)	Yes	Yes	Yes	Yes
Special considerations	N/A	N/A	24/7 working required to realise advantages of system	Slipform started each morning then stopped each night to avoid 24/7 working - requires heavily retarded concrete

Bảng 6.1 – Các phương án thi công lõi và một số thuộc tính chính



Hình 6.2 – Sơ đồ làm việc của hệ ván khuôn tự leo



Figure 6.3 – Ví dụ về hệ ván khuôn nhấc bằng cầu

Hệ ván khuôn để thi công lõi

Tuy tất cả các hệ thống đều có thể thích ứng với những thay đổi về độ dày của lõi nhưng các thay đổi này cần được giảm thiểu càng nhiều càng tốt. Tham khảo Hình 6.1, 6.2 và 6.3.

Với tất cả các hệ thống đã nêu, đều cần có một mức độ tích hợp nhất định giữa các công tác tạm thời và các công tác vĩnh cửu. Mặt bằng bố trí vách, chiều cao từ sàn đến sàn và vị trí của các lỗ mở cần được xác định từ giai đoạn đầu.

Mặc dù đây là những hệ thống ván khuôn tiêu chuẩn, việc tham gia sớm có thể dẫn đến một hệ thống hoàn thiện hơn. Mục đích là để được càng nhiều cấu kiện kết cấu càng tốt trong mỗi lần đổ để giảm thiểu việc quay lại thi công. Các cải tiến khác có thể được thực hiện để lắp đặt cầu thang đúc sẵn trong hệ ván khuôn. Một lần nữa, điều này cần được tất cả các bên hiểu đầy đủ để đảm bảo rằng phần lõi, đang được thi công trước phần còn lại của kết cấu, có sự ổn định cần thiết.

Cần phải phối hợp để đặt các hốc bổ sung hoặc các chi tiết đặt sẵn trong bất kỳ hệ thống nào, vì vị trí ưu tiên có thể không thực hiện được do thiết kế của lõi. Nói chung, các hốc này nên được coi là các lỗ xuyên thủng và phải được cấu tạo gia cố thêm để có thể chịu được tải trọng tập trung.

Cần chi tiết trình tự thi công lõi, vì một số vách và sàn có thể được đổ từ hệ cốp pha leo. Liên kết giữa các cấu kiện này cần được thiết kế đầy đủ để có thể cấu tạo được chính xác. Cần xem xét sớm các dầm bên trong lõi để bố trí thép chờ một cách có hiệu quả.



Hình 6.4 – Ví dụ về cốt pha trượt

Tiêu chuẩn hóa là điều cần thiết để cải thiện độ lặp lại, chất lượng và đầu ra tiếp theo. Chúng tôi đặc biệt khuyên bạn nên sử dụng các chuyên gia có kinh nghiệm để bố trí thép cho phần lõi. Các thành phần đúc sẵn, các cấu kiện nằm ngang hoặc thẳng đứng có thể đổ liên kết với nhau khi thi công phần lõi.

Kỹ sư kết cấu và nhà thầu phải thương lượng để đảm bảo rằng nhà thầu có thể “định trước” chiều cao của tòa nhà để giải quyết các vấn đề về lún và co ngấn dọc trục trong giai đoạn xây dựng. Trình tự và tải tại mọi điểm trong chương trình phải được hiểu và tính toán đầy đủ.

Cao độ của cấu kiện của mỗi sàn sẽ cần được đo cao hơn so với cao độ mong muốn, lượng bù thêm được dự đoán bằng các tính toán lý thuyết. Trong quá trình thi công, nhà thầu cần thường xuyên quan trắc cao độ của các cấu kiện trên mỗi tầng và báo cáo kết quả quan trắc cho nhà thiết kế để so sánh với giá trị tính toán lý thuyết và cao độ mục tiêu, đồng thời thực hiện các điều chỉnh nếu cần. Chương 11 cung cấp thêm hướng dẫn về việc lập kế hoạch và giám sát kết cấu trong quá trình thi công.

6.2 Thi công cột, vách

Ngoài các cấu kiện theo phương đứng trong kết cấu lõi, cần xác định phương pháp thi công đối với các cột và các vách khác. Ưu điểm của bê tông đúc sẵn thể hiện ở việc giảm thiểu thời gian cầu và rủi ro do thời tiết bất lợi, khi mà việc tiết kiệm thời gian có thể lớn hơn mức tăng chi phí tiềm năng.

Tuy nhiên, nếu giải pháp đúc sẵn không khả thi, thì có thể lựa chọn giải pháp thi công tại chỗ. Để lựa chọn phương pháp thích hợp, phải xem xét tác động đến việc bố trí mặt bằng và cầu lắp.

Có thể sẽ có lợi khi gia công cốt thép ở mặt đất và sau đó cẩu vào vị trí, có thể sử dụng lồng kép để giảm thiểu số lần cẩu, trong khi liên kết giữa sàn và cột cần được xem xét để đảm bảo tính khả thi khi thi công.

Điều quan trọng là phải đạt được tiêu chuẩn về kích thước tiết diện cột, với những thay đổi được giảm thiểu để đảm bảo tỷ lệ tái sử dụng ván khuôn cao. Ưu tiên sẽ là giảm hàm lượng cốt thép hoặc cường độ bê tông và sau đó thỏa thuận trước với nhà thầu những thay đổi về mặt cắt trên các tầng cố định. Các vách phải được xử lý theo cách tương tự, với các giải pháp đúc sẵn và đổ tại chỗ đều được xem xét.

Lồng thép có thể được gia công bên ngoài và đưa đến hiện trường chỉ khi cần. Cấu tạo cốt thép cần phản ánh điều này, bất cứ khi nào có thể.

6.3 Thi công sàn

Cần xem xét ảnh hưởng của giải pháp kết cấu sàn tới quá trình thi công. Dưới đây là một số hướng dẫn:

- Giải pháp sàn toàn khối thường được áp dụng cho các kết cấu bê tông cốt thép cao tầng. Tuy nhiên, các giải pháp sàn đúc sẵn hoặc đúc sẵn kết hợp với toàn khối cần được đánh giá về lợi ích tiềm năng của chúng về thời gian luân chuyển, độ an toàn và chất lượng. Ngoài ra, cũng phải đánh giá cả về thời gian cẩu lắp.
- Đối với giải pháp sàn toàn khối thì giải pháp sàn phẳng có lợi thế về tốc độ thi công. Nếu có thể nên tránh việc tạo vòng trước, tuy nhiên nếu bắt buộc phải làm như vậy, thì có thể thiết kế hệ giáo chống phù hợp để thực hiện.
- Kích thước khối đổ phải càng lớn càng tốt. Kích thước khối đổ tối đa phụ thuộc vào khả năng cung cấp bê tông và tổ độ hoàn thiện yêu cầu.
- Chiều dày sàn ảnh hưởng đến chi phí và trọng lượng vật liệu sử dụng. Ví dụ, nếu giảm được chiều dày 25mm cho mỗi sàn của công trình 50 tầng, tương ứng với việc tiết kiệm được 1.25m chiều cao.

Đối với sàn toàn khối, có thể lựa chọn giải pháp sàn bê tông cốt thép hoặc giải pháp sàn ứng lực trước căng sau. Nếu lựa chọn giải pháp sàn ứng lực trước căng sau, cần chú ý đến các vấn đề sau:

- Mạch ngừng và các dải đổ
- Lực kéo do bê tông co ngấn gây ra nứt ở cột biên;
- Độ võng của sàn
- Vị trí các đầu neo cần tránh các điểm cố định cho mặt dựng và các chi tiết đặt sẵn.

Các nhà thầu thi công có thể thích một phương án sàn ứng lực trước vì có thể giảm chu kỳ xoay vòng của giáo đồng thời giảm được lượng cốt thép trong sàn.

6.4 Đổ bê tông

Thông thường, lõi được đổ bằng cách sử dụng hỗn hợp bê tông đạt cường độ sớm (thường là C50/60) được đổ thông qua một cần phân phối. Cần hạn chế tối đa việc sử dụng cần trực để đổ bê tông qua phễu.

Thông thường, nhà thầu sẽ sử dụng một máy bơm tĩnh công suất lớn để đổ bản sàn, và cho đường ống chạy dọc theo đường ống trên công trình và kết nối với phần lõi. Nói chung, hỗn hợp bê tông C32/40, S3 hoặc S4 sẽ được sử dụng. Nhà thầu phải làm việc với nhà cung cấp bê tông trộn sẵn càng sớm càng tốt để đảm bảo rằng hỗn hợp được phát triển và kiểm tra đầy đủ, đặc biệt là khi bơm qua nhiều lớp. Ngoài ra, có thể có lợi khi sử dụng theo dõi nhiệt tại chỗ và các phương pháp thuần thực để cải thiện thời gian ngừng thi công.

Bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ có thể là vấn đề đối với quá trình bơm đường dài và hoàn thiện bê tông, và cần được tìm hiểu chi tiết với các nhà thầu và nhà cung cấp bê tông trước khi quy định kỹ thuật để sử dụng cho các tòa nhà cao tầng.

6.5 Dung sai

Các tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu không phải lúc nào cũng đưa ra các quy định liên quan đến dung sai về vị trí của các cấu kiện trong thi công nhà cao tầng. Dung sai trong thi công được coi là xảy ra trước và không bao gồm dịch chuyển hoặc độ võng sau khi tháo ván khuôn, hoặc độ lún, co ngót, từ biến hoặc ảnh hưởng của thời tiết.

Trong các hướng dẫn chung, dung sai vị trí ± 25 mm trên mặt bằng và ± 15 mm theo phương đứng tại mỗi tầng đối với lõi và dung sai cao độ mặt sàn là ± 10 mm là có thể đạt được. Các dung sai có thể đạt được cần được thảo luận với các nhà thầu địa phương trước khi hoàn thiện báo cáo dung sai và dịch chuyển của công trình.

Các vấn đề về dung sai có thể trở nên trầm trọng hơn khi lựa chọn bê tông nhẹ do bởi việc bơm và hoàn thiện có thể khó khăn hơn và tốn nhiều thời gian hơn.

Các nhóm trắc đạc cần thực hiện việc quan trắc càng nhanh càng tốt để đảm bảo có đủ thời gian để thống nhất và hoàn thành các giải pháp khắc phục mà không ảnh hưởng đến các công việc tiếp theo. Sẽ rất tốt nếu có thể giám sát độ lún của nền móng trong giai đoạn xây dựng dựa trên các dữ liệu hiện trường. Ngoài ra, có thể thực hiện quan trắc các công trình lân cận để giám sát ảnh hưởng của việc thi công xây dựng cao tầng đối với công trình xung quanh.

7 Tải trọng

Tải trọng không chế việc thiết kế nhà cao tầng là tải trọng gió và động đất. Độ lớn của tải trọng được xác định theo các tiêu chuẩn tải trọng thích hợp. Việc xác định chính xác các lực và hệ quả của chúng là cần thiết trong quá trình xác định kích thước của các cấu kiện kết cấu chính.

Như với tất cả các kết cấu, các cấu kiện thẳng đứng cần phải chịu được tác động của tổ hợp bất lợi nhất của tải trọng đứng và tải trọng ngang. Mặc dù tải trọng trọng lực sẽ lớn (đặc biệt là trong các nhà rất cao), nhưng tải trọng gió và động đất về cơ bản tác động lên một công xôn thẳng đứng lớn, chi phối việc xác định kích thước của hệ kết cấu chịu tải trọng ngang.

Việc lựa chọn hệ kết cấu thường phụ thuộc vào quy mô của tòa nhà. Mặc dù có khá nhiều giải pháp có thể lựa chọn cho các kỹ sư kết cấu, nhưng với kỹ sư có kinh nghiệm có thể xác định được sơ bộ tỷ lệ giữa các cấu kiện khác nhau. Tuy nhiên, phân tích sơ bộ là cần thiết trong giai đoạn đầu và cần đánh giá sơ bộ về tải trọng ngang và lực trọng trường.

Từ thông tin sơ bộ này, kích thước và cách bố trí các cấu kiện kết cấu sẽ được phát triển cùng với các kiến trúc sư. Các phân tích, đánh giá chi tiết về tất cả các tải trọng thường sẽ được thực hiện trong các giai đoạn tiếp theo của dự án.

Các nhà thiết kế phải xem xét tất cả các tĩnh tải và hoạt tải tác dụng lên công trình, bao gồm cả ảnh hưởng nhiệt độ. Sau khi phân tích các trường hợp tải riêng lẻ, các nhà thiết kế nên tập hợp đầy đủ các tổ hợp tải trọng để tính toán ổn định tổng thể và thiết kế trạng thái giới hạn cực hạn.

Tải trọng trọng trường

Có hai loại tải trọng trọng trường – là tải trọng tĩnh và động. Tải trọng tĩnh tương đối ổn định và không thay đổi trong thời gian dài trong suốt tuổi thọ của công trình. Tải trọng động phụ thuộc vào thời gian và thường thay đổi giữa một loạt giá trị trên và dưới trong một khoảng thời gian tương đối ngắn. Chúng thường chỉ được xét đến khi đánh giá ứng xử động của sàn.

Tải trọng trọng trường tĩnh được chia thành tĩnh tải và hoạt tải. Tĩnh tải là tải trọng tác dụng lên công trình trong suốt tuổi thọ của tòa nhà, chẳng hạn như các cấu kiện kết cấu chính và phụ kiện dịch vụ. Hoạt tải được tạo ra bởi mục đích sử dụng, bao gồm cả trọng lượng của các vách ngăn di động trong các tòa nhà văn phòng.

Tải trọng gió

Mặc dù có thể sử dụng các quy tắc thực hành thích hợp để xác định tải trọng gió sơ bộ lên nhà cao tầng, tuy nhiên, trong phân tích chi tiết, khi công trình tương đối mảnh hoặc có hình dạng phức tạp, thì tải trọng gió lên công trình cần được xác định thông qua thí nghiệm ống thổi khí động, chi tiết xem Chương 9.

Mặc dù độ lớn của tải trọng trọng trường sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến kích thước của các bộ phận kết cấu chính, nhưng khi đánh giá lực lật của dầm tòa nhà, độ lớn của tải trọng trọng trường cũng nên được coi là một phần của lực kháng lật trong phương trình ổn định tổng thể của tòa nhà.

Lợi thế lớn của nhà bê tông cao là trọng lượng bản thân vốn có của chúng, giúp tăng cường độ ổn định của kết cấu một cách tự nhiên. Khối lượng này và tính chất tiếp giáp của việc xây dựng các tháp khung bê tông cũng cung cấp mức độ giảm chấn của cấu trúc lớn hơn, làm tiêu tan sự lắc lư theo chu kỳ từ các lực tác động bên.

Tác động của động đất

Trong khi tải trọng động đất tác động theo hướng ngang và dọc, tải trọng ngang thường có ý nghĩa hơn đối với các nhà cao tầng. Nếu được coi là đáng kể và có thể kiểm soát đối với hệ kết cấu tổng thể, tải trọng động đất thường có thể được lý tưởng hóa như lực cắt ngang tĩnh tương đương hoặc đối với các kết cấu mảnh hoặc khi điều kiện nền quy định, như một tải trọng hoặc phổ phản ứng. Nên đọc thêm Chương 10 và quy tắc thực hành áp dụng, cùng với các văn bản và bài báo chuyên môn về thực hành.

7.1 Tĩnh tải

Tĩnh tải tác động vĩnh viễn lên kết cấu thường có thể được tính toán với độ chính xác cao, ngay cả ở giai đoạn sơ bộ ban đầu của thiết kế ý tưởng. Tĩnh tải được tạo thành từ trọng lượng bản thân của các bộ phận kết cấu chính và các đồ đạc và phụ kiện của tòa nhà.

Như với bất kỳ thiết kế tòa nhà nào khác, việc ước tính giá trị của tĩnh tải là tương đối dễ và mặc dù có thể xảy ra những sai sót nhỏ, nhưng các giả định ban đầu về trọng lượng vật liệu và tải trọng thành phần có thể được điều chỉnh trong giai đoạn thiết kế chi tiết để đảm bảo độ chính xác của giải pháp cuối cùng.

Trọng lượng bản thân kết cấu của sàn, cột và tường và các bộ phận chính khác là hàm của kích thước ba chiều của các phần tử kết cấu và trọng lượng riêng của vật liệu đã biết hoặc ước tính. Tĩnh tải phụ thêm xét đến các thiết bị cố định bao gồm:

- Lớp hoàn thiện sàn và lớp láng bề mặt
- Tường không chịu lực và lớp hoàn thiện
- Tải tọng bao che
- Sàn nâng và trần
- Các thiết bị như đèn chiếu sáng, thiết bị sưởi và đường ống cố định.

Ở giai đoạn thiết kế sơ bộ hoặc thiết kế ý tưởng, nhiều trọng lượng của các phần khác nhau như lớp nền và lớp phủ vẫn chưa được xác định. Trong khi mọi nỗ lực cần được thực hiện để đánh giá chính xác các trọng số này, các nguồn lực luôn sẵn có để hỗ trợ đánh giá sớm.

Các nhà thiết kế có thể cân nhắc việc lấy vượt tĩnh tải một cách hợp lý cho đến khi có thể xác nhận được giá trị chính xác, tuy nhiên không được ước tính quá mức tĩnh tải và lực kháng lật dựa trên giá trị này.

7.2 Hoạt tải

Hoạt tải là tải trọng trường được quy định phù hợp với sức chứa của không gian và mục đích sử dụng. Hoạt tải thường được định nghĩa là tải trọng phân bố đều lên sàn và ảnh hưởng đến thiết kế của tất cả các tòa nhà.

Đối với đánh giá tổng thể về độ ổn định bên, thông thường chỉ xem xét các tải trọng khu vực chung nhưng ở một số khu vực nhất định, chẳng hạn như phòng kỹ thuật và khu vực đỗ xe, thiết kế cuối cùng của các cấu kiện riêng lẻ có thể phụ thuộc vào việc áp dụng trường hợp tải trọng tập trung thích hợp liên quan đến việc sử dụng không gian.

Thông thường, hoạt tải không tác động đồng thời trên toàn bộ mặt bằng của công trình. Tiêu chuẩn cho phép sử dụng giá trị giảm tải của hoạt tải, phụ thuộc vào số tầng và diện tích chịu tải liên quan.

Cần tham khảo các tiêu chuẩn thực hành thích hợp để xác định hệ số giảm hoạt tải phù hợp với loại công trình. Các nhà thiết kế kết cấu cũng nên tham khảo hướng dẫn mới nhất về tải trọng sàn ‘thực tế’ dài hạn phù hợp để sử dụng ở các giai đoạn khác nhau của thiết kế.

7.3 Tổ hợp tải trọng

Mọi kết cấu chịu trọng lực tác dụng theo hướng từ trên xuống và tải trọng ngang tác dụng theo các phương ngang khác nhau. Tất cả tổ hợp của các tác động bất lợi nhất đều phải được kiểm tra.

Các tổ hợp theo trạng thái giới hạn về sử dụng được dùng để kiểm tra ổn định ngang tổng thể công trình. Tương tự như vậy, các tổ hợp tải trọng không hệ số được sử dụng để kiểm tra kết cấu móng (móng cọc hoặc móng nông), theo thực hành thiết kế truyền thống.

Việc thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép được tiến hành theo các tổ hợp giới hạn cực hạn (ULS). Theo các điều khoản về trạng thái ULS, cường độ thiết kế triết giảm của cấu kiện phải lớn hơn hoặc bằng ảnh hưởng của tổ hợp tải trọng ULS bất lợi nhất.

Tiêu chuẩn thiết kế thường quy định một số trường hợp tổ hợp với các hệ số tổ hợp khác nhau, tùy thuộc vào bản chất của tải trọng và loại tổ hợp. Tất cả trường hợp tổ hợp có thể xảy ra phải được kiểm tra trong giai đoạn thiết kế chi tiết; thường là bằng các phần mềm phân tích phần tử hữu hạn (FEM) không gian 3 chiều.

Với các công trình nhỏ, điều kiện tải trọng bất lợi nhất thường được đảm bảo thông qua việc xây dựng và khảo sát các giải pháp khung ở mức độ tổng thể. Tuy nhiên, với các kết cấu cao tầng, các tổ hợp tải trọng chính phụ thuộc nhiều vào đặc trưng của hệ kết cấu khung và

giảng. Hơn nữa, tổ hợp gây ra ảnh hưởng bất lợi nhất đối với một cấu kiện quan trọng có thể không phải là tổ hợp bất lợi nhất đối với cấu kiện khác.

Khi thiết kế kết cấu sàn, dạng phân bố của hoạt tải cần được chất tải cách-nhịp theo tiêu chuẩn áp dụng.

Đối với các công trình đặc biệt mảnh, dễ bị phản ứng *kích-xoáy*, việc thí nghiệm hầm gió gần như chắc chắn được xem xét để đánh giá tải trọng gió thiết kế. Loại thí nghiệm chi tiết này cũng có thể giúp điều chỉnh các hệ số tải trọng trong tiêu chuẩn (xem thêm Chương 9).

7.4 Tải trọng thi công

Việc xem xét tải trọng thi công trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế là rất quan trọng. Trong một số trường hợp, tải trọng thi công lớn hơn tải trọng tác dụng trong toàn bộ quá trình sử dụng của công trình, đặc biệt là đối với tầng đế và hầm cũng như ở các tầng tháp phía trên, nơi sẽ sử dụng để chứa vật liệu (xem thêm Chương 6).

Đưa tải trọng thi công vào thiết kế mặt bằng

Mặc dù các bộ phận tạm và tải trọng thi công của chúng là trách nhiệm của nhà thầu, nhưng quan trọng là hồ sơ thiết kế phải chỉ định các giá trị tải trọng cho phép. Các tải trọng lớn hơn có thể được tính đến trong thiết kế kết cấu, cho phép việc chống-lại có thể được tháo dỡ sớm hơn thông lệ trong quá trình thi công, tạo lối mở và không gian thi công thông thoáng hoặc chỗ cho công tác hoàn thiện.

Điều này đặc biệt quan trọng đối với công tác thi công các sàn điển hình. Tùy thuộc vào phương pháp xây dựng, mà chu kỳ thi công một sàn có thể được đẩy nhanh còn bốn đến năm ngày, và tùy từng dự án mà tốc độ này có thể thay đổi đáng kể.

Một sàn mới đổ sẽ không đủ cường độ để đỡ trọng lượng của giáo chống, ván khuôn và bê tông tươi của sàn kế tiếp bên trên (hoặc có thể là hai hoặc ba sàn tiếp theo). Để giảm thiểu rủi ro nhầm lẫn trách nhiệm giữa đơn vị thiết kế và nhà thầu, đảm bảo các sàn không bị hư hỏng, phương pháp thi công cần được thiết lập rõ ràng càng sớm càng tốt. Điều này đặc biệt liên quan đến các dự án triển khai theo hình thức “*thiết kế và xây dựng*”, trong đó nhà thầu sẽ trực tiếp tham gia vào nhóm kỹ sư thiết kế.

Trong trường hợp trình tự xây dựng yêu cầu kết cấu lõi cần được thi công cao vượt xa kết cấu sàn, đơn vị thiết kế cần xem xét các tải trọng tạm thời liên quan. Điều này đặc biệt liên quan khi kết cấu lõi có liên kết với dầm, nhưng chưa được liên kết trong giai đoạn thi công. Tùy thuộc vào bố trí kết cấu, các chuyển vị và lực tạo ra mà có thể phải thay đổi thiết kế của một số cấu kiện, hoặc cần xem xét quá trình tự thi công một cách chi tiết để giảm thiểu các ảnh hưởng bất lợi.

Tải trọng do cần cầu tháp

Một tải trọng quan trọng khác có khả năng ảnh hưởng đáng kể đến thiết kế cấu kiện đó là tải trọng do các cần trục tháp. Cần trục thường được đặt trên đài cọc, đúc liền với kết cấu hầm và trong một số trường hợp có thể được cố định với lõi hoặc sàn dọc theo chiều cao công trình. Các tải trọng liên quan cần được xem xét trong thiết kế kết cấu.

Không may là các thông tin chi tiết liên quan tới cần tháp thường được cung cấp sau khi hoàn thành thiết kế chi tiết, dẫn tới việc (cần tháp) phải tương thích với hồ sơ thiết kế kết cấu.

Để đánh giá các yếu tố khác nhau liên quan đến quy trình xây dựng nhà cao tầng, có thể sẽ có lợi khi nhà thầu được tham gia sớm, theo đó nhà thầu sẽ làm việc với đơn vị thiết kế trong quá trình thiết kế.



Hình 7.1 – Tải trọng do vật liệu và hoạt động thi công có thể là tải trọng thiết kế chính

7.5 Tải trọng đặc biệt và sụp đổ nghiêm trọng

Như với tất cả các công trình xây dựng, nhà cao tầng cần được thiết kế để tránh các tác động quá lớn từ các *tác động đặc biệt*. Trong hầu hết các tiêu chuẩn xây dựng, tầm quan trọng được xác định theo hậu quả khi xảy ra sự cố và các tòa nhà cao tầng nói chung sẽ thuộc nhóm hậu quả cao về tính mạng con người. Do đó, các tiêu chuẩn thường yêu cầu đánh giá rủi ro cụ thể về thiệt hại do các hư hại đặc biệt và đưa ra điều khoản tương ứng trong thiết kế. Phương pháp áp dụng để tránh sự sụp đổ nghiêm trọng (vượt xa mức độ phá hủy ban đầu) cần được thống nhất với cơ quan phê duyệt.

Đảm bảo tính vững chắc về tổng thể của kết cấu trong thiết kế

Mặc dù đã có nhiều cố gắng để thiết kế công trình chịu các tình huống *tải trọng đặc biệt*, ví dụ như một vụ va chạm máy bay, nhưng cách tiếp cận này thường không được khuyến khích. Tốt hơn hết là nên đưa một cấp độ vững chắc tổng thể của kết cấu vào trong giải pháp thiết kế và thiết kế chi tiết, bằng cách đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn hoặc thiết kế kết cấu sao cho

vẫn giữ được ổn định khi bất kỳ một cấu kiện nào bị mất khả năng chịu lực. Các cấu kiện giữ ổn định tổng thể của kết cấu trong các tình huống như vậy được hiểu là “*cấu kiện trọng yếu*”, cần được chú ý đặc biệt trong thiết kế.

Việc áp dụng một cách đơn giản các quy tắc “*giằng*” sẽ không phải lúc nào cũng là đủ cho các công trình cao tầng nằm trong phạm vi của tài liệu này. Tuy nhiên, việc đánh giá rủi ro cụ thể đối với dự án có thể cho phép xác định được mức độ vững chắc thích hợp của kết cấu thông qua việc áp dụng các nguyên tắc *giằng*. Hệ thống giằng ngang đảm bảo khả năng chịu lực của các cấu kiện đứng được giằng trong hệ kết cấu sàn để ngăn kết cấu đứng bị bật ra khỏi vị trí làm sàn bị mất gối đỡ đứng, trong khi các giằng đứng đảm bảo cột liên tục và trong trường hợp cột bên dưới bị mất tác dụng, thì cột bên trên sẽ hoạt động như một kết cấu treo các sàn từ bên trên.

Phân tích tĩnh mô hình kết cấu

Việc kiểm tra loại bỏ cấu kiện thường liên quan tới phân tích tĩnh một mô hình kết cấu mà trong đó một cấu kiện “*bị loại bỏ*” sẽ được bỏ bớt. Trong thực hành, việc loại bỏ một cấu kiện trong tình huống đặc biệt có thể gây ra tác động động lớn, phụ thuộc vào cơ chế phá hủy của cấu kiện bị loại bỏ nói trên và hệ kết cấu công trình sau khi cấu kiện bị loại bỏ. Điều này có thể chấp nhận được bằng cách áp dụng một hệ số tăng đối với tải trọng tính toán, sau khi đánh giá cẩn thận.

Một *cấu kiện trọng yếu*, khi loại bỏ nó có thể dẫn đến sự sụp đổ toàn bộ hoặc một phần đáng kể hệ kết cấu, thường được thiết kế để chịu các *tải trọng đặc biệt* như sự quá tải hoặc tải trọng va chạm. Khi việc đánh giá rủi ro cho thấy rằng các tải trọng va chạm theo tiêu chuẩn là không đủ, thì cần tăng lên tương ứng. Kết cấu chuyển, ví dụ như dầm cao đỡ cột, thường được xem là các cấu kiện trọng yếu.

7.6 Tải nhiệt độ

Tải trọng nhiệt độ là đặc biệt quan trọng cần xem xét đối với các cấu kiện nằm bên ngoài mặt bao che, tiếp xúc với sự tăng giảm nhiệt độ hàng ngày hoặc theo mùa. Mặc định thì các tổ hợp tải trọng được quy định đối với kết cấu ở nhiệt độ môi trường bình thường, chẳng hạn 20 °C. Do vậy, nhiệt độ tăng hoặc giảm so với nhiệt độ môi trường nói trên cần được xác định để tổ hợp với các loại tải trọng khác.

Với các khả năng thay đổi điều kiện môi trường tại thời điểm xây dựng, và bản chất của sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian trong nội tại kết cấu (theo độ dày), việc thiết lập một bộ thông số nhiệt độ thực tế để thiết kế là không đơn giản.

Nhiệt độ - một tải trọng nội biến dạng

Tải trọng nhiệt độ về cơ bản là khác với các ngoại lực (tải trọng tác dụng bên ngoài) như hoạt tải hoặc gió. Kết cấu siêu tĩnh có khả năng phân phối lại khả năng chịu lực dựa trên độ

ứng tương đối giữa các cấu kiện trong hệ kết cấu, nhưng về tổng thể hệ kết cấu phải thỏa mãn điều kiện cân bằng tĩnh với ngoại lực tác dụng để duy trì trạng thái ổn định.

Tải trọng tác dụng là hoàn toàn độc lập với đặc điểm bản thân kết cấu. Trong trường hợp *nội biến dạng*, “*tải trọng*” tác dụng ít nhất là có liên quan một phần đến đặc điểm của hệ kết cấu, do sự thay đổi về thể tích của chính cấu kiện.

Các nguồn nội tải trọng và ứng suất phổ biến khác, ngoài nhiệt độ, là sự lún không đều của nền móng, và các ảnh hưởng của từ biến và co ngót.

Ứng suất phát triển trong các cấu kiện do nội biến dạng là hàm của độ cứng cấu kiện và của bất kỳ cấu kiện nào khác ngăn cản biến dạng của các cấu kiện đang xét.

Trong trường hợp cấu kiện bê tông cốt thép bị ngăn cản biến dạng dưới sự thay đổi nhiệt độ, ứng suất dọc trục phát sinh là một hàm của độ cứng cấu kiện hoặc mô đun đàn hồi, hệ số giãn nở nhiệt của bê tông và thép, và mức độ thay đổi của nhiệt độ. Trong trường hợp nhiệt độ giảm, khi đó cấu kiện co lại, ứng suất phát sinh do điều kiện bị ngăn cản ứng suất kéo chịu bởi tiết diện bê tông. Khi ứng suất kéo vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông, hiện tượng nứt sẽ bắt đầu, làm giảm độ cứng của cấu kiện do ứng suất truyền từ bê tông sang cốt thép, do vậy ứng suất được giải tỏa một cách hiệu quả khi nứt phát triển.

Xác định một cách chính xác là khó chắc chắn

Việc dự đoán ứng suất *nội biến dạng* trở nên khá khó khăn do ứng xử phi đàn hồi của bê tông cốt thép một khi đã bắt đầu nứt, khiến cho việc thiết kế đối với các ứng suất như vậy thường là không thực tế.

Trong thực hành thiết kế, cách tốt nhất là giảm thiểu hoặc tránh ứng suất do nội biến dạng. Trong trường hợp tải trọng nhiệt, điều này có thể đạt được thông qua việc đưa vào các khe co/khe giãn, và bằng cách bao bọc kết cấu bê tông cốt thép trong một môi trường được kiểm soát nhiệt, miễn sao phù hợp với các giải pháp thiết kế tổng thể.

Nếu không thể đạt được điều này, cần phải xét đến ứng suất nội và nứt có thể phát sinh trong các cấu kiện trong quá trình thiết kế, với độ chính xác phụ thuộc vào phân tích có xét đến tính chất phi tuyến của vật liệu.

Phân tích đàn hồi sẽ thiên về quá an toàn trong thiết kế cường độ, và trong nhiều trường hợp sẽ dẫn đến các thiết kế rất tốn kém nhưng ngược lại có thể là rất thiếu an toàn về mặt sử dụng nếu hiệu ứng giảm độ ứng do nứt không được xem xét.

8 Động lực công trình

Thiết kế theo trạng thái giới hạn về điều kiện sử dụng bình thường (SLS) là một khía cạnh quan trọng trong thiết kế kết cấu, và các vấn đề cần được xem xét kỹ lưỡng xuyên suốt trong giai đoạn sớm của bất kỳ dự án nào. Ổn định ngang và cường độ chịu tải trọng đứng của cầu kiện phải được xem xét và thiết kế đối với các tác động bất lợi nhất của tổ hợp tải trọng cực hạn và duy trì được công năng sử dụng bình thường. Cùng với những tiến bộ không ngừng trong thiết kế và thi công công trình, xu hướng kết cấu ngày càng mạnh mẽ do sử dụng các loại vật liệu tốt ngày càng hiệu quả, việc thiết kế kết cấu mà điều kiện không chế là giới hạn về sử dụng không còn là chuyện hiếm gặp trong thiết kế kết cấu bê tông cốt thép.

Tải trọng gió và động đất là các tải trọng ngang chính cần phải xem xét trong thiết kế nhà cao tầng. Tải trọng gió thường xảy ra hơn động đất và có thể là tải trọng khống chế thiết kế trong phần lớn, dù không phải tất cả, các khu vực địa lý trong cả hai trạng thái giới hạn về cường độ và sử dụng.

Ảnh hưởng của tải trọng ngang đối với nhà cao tầng

Nhà cao tầng, về ứng xử chung, là một thanh công xôn đứng, và phản ứng đối với lực ngang bằng cách dịch chuyển theo hướng lực tác dụng, và vì lực gió và động đất không phải là tĩnh nên kết cấu sẽ có xu hướng dịch chuyển qua lại. Tải trọng ngang tác dụng với giá trị thay đổi và cơ bản là lặp theo chu kỳ, ví dụ, gió giật trong một cơn bão. Bất kể tải trọng tác dụng thế nào, lý tưởng hóa một lần hay lặp theo chu kỳ, sẽ đều làm cho công trình chuyển động cần phải được xem xét trong thiết kế. Hệ kết cấu và trọng lượng công trình đóng vai trò quan trọng đối với phản ứng của công trình, xác định các yếu tố như hướng lực, độ lớn của lực, chiều cao công trình và dạng kết cấu móng.

Độ cản tự nhiên của công trình

Công trình cao tầng bê tông cốt thép toàn khối có độ cản nội tại nhất định, là thước đo khả năng phân tán năng lượng của kết cấu. Độ cản tự nhiên có thể ảnh hưởng lớn tới sự làm việc và ứng xử của công trình, và cần được xem xét trong giai đoạn sớm của thiết kế. Giá trị độ cản thường được cho dưới dạng tỉ lệ phần trăm của độ cản tối hạn, định nghĩa bằng độ cản yêu cầu cần để kết cấu giao động chuyển về trạng thái đứng yên chỉ sau một chu kỳ. Ở giai đoạn sớm của quá trình thiết kế, có thể dùng mô hình hóa đơn giản để đánh giá tần số và dạng giao động của công trình, bằng các công cụ từ tính toán bằng tay cho tới mô hình FEM 3 chiều bởi phần mềm. Nên sử dụng công cụ chính xác hơn đối với các công trình cao tầng có độ mạnh lớn.

Trong một số trường hợp, có thể cần sử dụng thiết bị giảm chấn để giúp công trình đáp ứng được các yêu cầu về sử dụng, nhưng cần phải xem xét tới các yếu tố như dạng công trình, chi phí xây dựng và bảo dưỡng, cân bằng kỳ vọng của chủ đầu tư về công năng và yêu cầu sử dụng.

Nhận diện sớm vấn đề cộng hưởng, khả năng cần sử dụng hệ giảm chấn hoặc phân tán năng lượng, sẽ cho phép xem xét chi phí hệ thống hỗ trợ trong quá trình xây dựng giá dự án.

8.1 Độ cản

Độ cản là thước đo khả năng phân tán năng lượng của kết cấu. Công trình cao tầng bê tông cốt thép toàn khối có độ cản tự nhiên tương đối cao, so với kết cấu thép và hỗn hợp. Độ cản có ảnh hưởng lớn tới sự làm việc và ứng xử động của công trình và là một đặc trưng có vai trò giới hạn chuyển vị cộng hưởng trong quá trình giao động lặp đi lặp lại khi chịu tải trọng gió và động đất.

Nguồn của độ cản tự nhiên của công trình gồm các thành phần được liệt kê dưới đây:

- Độ cản vốn có của vật liệu cấu kiện bê tông dưới biến dạng đàn hồi
- Độ cản vật liệu và cơ học do biến dạng phi đàn hồi (ví dụ, sự hình thành vết nứt của *dầm-nối*)
- Độ cản có được từ các bộ phận phi kết cấu, như tường bao che và tường ngăn phòng
- Độ cản động lực học do tương tác của chuyển động công trình khi chịu gió, mặc dù trong một số trường hợp có thể có giá trị âm.

Độ cản càng cao, sự phân tán năng lượng tăng sẽ làm giảm gia tốc phản ứng ngang của công trình khi chịu gió và động đất. Để đạt được độ giảm gia tốc ngang (ví dụ, để thỏa mãn tiêu chí độ thoải mái cho người ở) cần phải tối ưu hệ kết cấu để tăng độ ứng và điều chỉnh đặc trưng động lực học và/hoặc hình dáng công trình. Vấn đề về hình dáng công trình sẽ cần sự phối hợp với kiến trúc sư trong giai đoạn sớm của dự án, thậm chí trước khi hình dáng công trình được chấp thuận hoàn toàn.

Một cách khác, độ cản cao hơn có thể đạt được bằng cách sử dụng thiết bị giảm chấn. Nếu không sử dụng chúng thì sẽ không đạt được hiệu quả kinh tế để có thể có được mức cản yêu cầu đối với kết cấu.

Sự đóng góp của thành phần phi kết cấu vào tổng độ cản công trình là khó định lượng, chỉ đại diện một phần nhỏ trong tổng độ cản công trình và có thể được xem là nguồn cản ít tin cậy.

Các nghiên cứu đã có và đang tiếp tục thực hiện

Quan điểm của kỹ sư về giá trị độ cản thích hợp đối với công trình cao tầng với các loại vật liệu khác nhau là có sự khác biệt, với sự hạn chế về cơ sở dữ liệu hiện tại; phần lớn được xác định ở mức thấp hoặc điều kiện gió thông thường nằm ngoài khoảng vận tốc gió sử dụng cho thiết kế kết cấu. Do độ cản phụ thuộc vào cường độ, gió mạnh hơn gây chuyển vị lớn hơn, làm tăng độ cản tới mức tương ứng với chuyển vị của kết cấu. Độ cản giảm theo chiều cao và sẽ, với mức độ thay đổi, phụ thuộc vào hiệu yếu tố.

Thu thập dữ liệu trong quá trình vận hành công trình là khó khả thi, với sai số đo đạc và phương pháp đánh giá đặc trưng độ cản công trình, dẫn tới kém tin cậy. Thu nhận dữ liệu về sự tiêu tán (nghĩa là với dao động tự do) của độ lớn hoặc gia tốc giao động là điều đặc biệt khó.

Để ước lượng gia tốc ngang, tổng độ cản trong khoảng 1.5-3.0 % độ cản tới hạn thường được sử dụng cho kết cấu BTCT ở mức tải sử dụng. Không có thống kê về các vấn đề gặp phải khi áp dụng tỉ lệ độ cản nói trên nhưng nghiên cứu về độ cản thực tế và tiêu chí chấp nhận đối với gia tốc ngang là quan trọng và đưa ra một khoảng giá trị (Smith et al, 2010[4], and Ellis, 1996[5] and Suda et al, 1996[6] and Kijewski-Correa, Baker et al, 2005[7]). Dù vậy, có một sự đồng thuận rằng cận trên của khoảng giá trị thường được đề cập nói trên có thể là quá mức thực tế của độ cản được xem xét trong thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn.

Kỹ sư phải nhận ra rằng việc đánh giá các yếu tố ảnh hưởng tới thiết kế theo trạng thái sử dụng của nhà cao tầng là có thể sai số lớn, ví dụ, định lượng sự nứt của bê tông thường là lớn hơn thực tế trong khi độ cứng và mô đun đàn hồi thì thường là dưới thực tế. Ước lượng chu kỳ giao động của kết cấu có thể sai số 20% hoặc hơn do các giả thiết trên, mà có thể dẫn tới xác định tải trọng gió thiên về an toàn ở thành phần động.

Sai số thu thập dữ liệu khác có thể xảy ra nếu dữ liệu được thu thập trong một “ngày gió mạnh”, khi độ lớn của chuyển động là nhỏ và độ cản sẽ thấp và không phải là tiêu chí đại diện cho thiết kế.

Cần cẩn thận khi lựa chọn các giá trị quá nhỏ, khi làm như vậy có thể ảnh hưởng lớn tới tính kinh tế của thiết kế công trình cao tầng.

Độ cản của công trình bê tông cốt thép

Kết cấu bê tông có độ cản lớn hơn kết cấu thép. Độ cản được sinh ra, một phần, do nứt bê tông và như vậy hấp thụ năng lượng. Độ cản phụ thuộc vào độ lớn của dịch chuyển, dịch chuyển càng lớn thì càng có nhiều vết nứt, độ cản càng tăng. Khi thiết kế kỹ sư cần đánh giá để xác định độ cản phù hợp trong phân tích.

Kỹ sư thường sử dụng các giá trị độ cản khác nhau cho thiết kế về giới hạn sử dụng, như ước lượng gia tốc, đối lập với thiết kế về cường độ khi mà nứt xuất hiện trong kết cấu nhiều hơn. Đối với thiết kế về sử dụng, tải trọng gió sẽ được dựa trên chu kỳ lặp thấp hơn, trong khi chu kỳ lặp dài hơn sẽ được sử dụng cho thiết kế về cường độ.

Còn nhiều tranh cãi trong cộng đồng kỹ sư, gồm cả kỹ sư có kinh nghiệm, liên quan tới giá trị độ cản được xem là phù hợp đối với bất kỳ hệ kết cấu nào. Việc lựa chọn giá trị độ cản trong thiết kế có thể là điểm mấu chốt, khi tác động lên lực ngang thiết kế là đáng kể. Để cẩn thận, *phân tích độ nhạy* đối với giá trị độ cản thường được sử dụng.

Trong quá khứ, giá trị độ cản từ 2% tới 5% độ cản cực hạn được áp dụng; tuy nhiên, dữ liệu gần đây đem tới sự nghi ngờ đối với việc áp dụng các giá trị ở vùng cận trên, đặc biệt là

với điều kiện chu kỳ lặp ngắn. Các dự án nghiên cứu gần đây đã đo đặc độ cản công trình thực tế và cho thấy độ cản trong khoảng 1% và nhỏ hơn (Smith, R. Merello, R. and Willford, M. 'Intrinsic and Supplementary Damping in Tall Buildings'). Cần lưu ý, dữ liệu về độ cản đã được thu nhận từ các điều kiện gió thông thường, mà độ lớn dịch chuyển, do vậy tổng độ cản có thể thấp hơn so với ở các điều kiện hiếm gặp hơn (chu kỳ lặp dài).

Độ cản cũng bị ảnh hưởng bởi hệ kết cấu, bố trí công trình, hệ móng và điều kiện địa chất; bằng chứng cho thấy độ cản giảm khi chiều cao công trình tăng. Do vậy, sự cân trọng và kinh nghiệm là cần thiết đối với việc lựa chọn giá trị độ cản trong thiết kế. Điều này trở nên quan trọng và nhạy cảm hơn đối với nhà siêu cao tầng.

Khi bắt đầu thiết kế, với công trình BTCT có chiều cao tới 250m, các giá trị độ cản sau có thể được xem xét:

- Chu kỳ lặp 1 - 10 năm (SLS) = (1.0% tới) 1.5%
- Chu kỳ lặp 700 - 1000 năm (ULS) = 2.0% (tới 2.5%)

Ghi chú: giá trị cho trong ngoặc là giá trị thay thế.

Khi thiết kế ở các giai đoạn sau, độ cản có thể được điều chỉnh khi quan tâm tới chiều cao công trình kết hợp với hệ kết cấu, mà có thể bao gồm hệ kết cấu chịu tải ngang chính và phụ, và đặc điểm biến dạng, mà có thể phụ thuộc vào biến dạng cắt hoặc uốn hoặc kết hợp cả hai.

Các giá trị nêu trên có thể được sử dụng như là một gợi ý ban đầu. Kỹ sư thiết kế các kết cấu nhà siêu cao tầng nhạy cảm về mặt động lực học cần dành nhiều nỗ lực để xem xét các nghiên cứu cập nhật nhất đối với vấn đề phức tạp này. Có thể là phù hợp khi tham vấn chuyên gia về gió hoặc thí nghiệm hầm gió, những người có khả năng đưa ra gợi ý cho việc đánh giá hoặc áp dụng các giá trị độ cản phù hợp.

Thiết bị giảm chấn

Các thiết bị giảm chấn có thể được sử dụng để tăng đáng kể độ cản kết cấu và giảm gia tốc lớn nhất. Cả thiết bị “chủ động” và “bị động” đều không phải là lựa chọn đầu tiên để giảm chuyển động công trình nhưng ngày càng được quan tâm nhiều hơn trong thiết kế công trình cao tầng, đặc biệt khi dự án bị hạn chế làm cho các biện pháp khác không thể khả thi trong việc đạt được tiêu chí về điều kiện sử dụng.

Thiết bị chủ động dựa trên sự kiểm soát từ bên ngoài để tạo ra lực phản ứng với chuyển động của công trình, đặc biệt trong tình huống động đất.

Trong trường hợp gió, giảm chấn bị động thường phù hợp hơn, dựa trên chính khối lượng và độ cản của chúng để tác động ngược lại với chuyển động của công trình từ đó giảm phản ứng đối với gió. Ví dụ hay gặp gồm có giảm chấn con lắc ngược, cột chất lỏng ngược, bể chất lỏng, mà hai loại sau được áp dụng trước tiên cho công trình bê tông cốt thép.

Giảm chấn trong công trình BTCT phải có khối lượng đủ để tác động tới chuyển động công trình (xấp xỉ 1% khối lượng giao động của công trình) và phải cho phép thay đổi hoặc vi chỉnh chu kỳ giao động công trình.

Các dạng thiết bị giảm chấn

Một đặc điểm của thiết bị giảm chấn cột-chất lỏng và bể chất lỏng, mà cả hai đều sử dụng nước, là chúng cho phép tùy chỉnh. Bất kỳ thiết bị giảm chấn đề cập không gian lắp đặt và có thể làm tăng đáng kể chi phí dự án và kế hoạch bảo trì trong tương lai. Một phương trình theo dõi công trình cũng là điều cần thiết để đánh giá sự làm việc của thiết bị và xác định khi nào hoặc sự cần thiết phải vi chỉnh thiết bị sau này để đạt được hoạt động tối ưu.

Khi tăng được độ cản và giảm ứng xử động của kết cấu, lực quán tính giảm sẽ giúp giảm nội lực trong kết cấu. Tuy nhiên, hiếm khi sự giảm nội lực trong kết cấu (do sử dụng thiết bị giảm chấn) được xét đến trong thực hành khi thiết kế kết cấu ở trạng thái giới hạn cường độ.

Sử dụng thiết bị giảm chấn thường chỉ được xem như là cách thức để đảm bảo trạng thái giới hạn về sử dụng và được cân nhắc dựa trên điều kiện dạng công trình, chi phí xây dựng và bảo dưỡng. Sự xem xét sau cùng phải được đánh đổi với kỳ vọng của chủ đầu tư, cân bằng với yêu cầu đạt được đối với công năng và tính sử dụng của công trình.

8.2 Tiêu chí về độ thoải mái của người ở (trong công trình)

Công trình cao và mảnh hơn thể hiện một trạng thái giới hạn sử dụng độc đáo liên quan tới cảm nhận của cư dân sống bên trong đối với chuyển động ngang của công trình. Đôi khi được biết đến như là trạng thái về “điều kiện sống”, nó chỉ ảnh hưởng tới cư dân của công trình thay vì các chức năng cơ học khác. Kết cấu BTCT vốn dĩ có độ cứng, khối lượng và độ cản vật liệu tương đối cao, mà tất cả đều có lợi trong việc giảm độ lớn chuyển động công trình khi chịu tải trọng gió. Tuy vậy, với công trình siêu cao tầng hơn 300m, dường như giới hạn về điều kiện sống có thể trở thành trạng thái giới hạn chi phối thiết kế kết cấu công trình.

Các chu kỳ giao động riêng của kết cấu ở một vài dạng giao động đầu tiên là chi thị đối với phản ứng động tiềm tàng do gió gây ra. Khi xem xét sơ bộ, chu kỳ cơ bản có thể được ước lượng bằng chiều cao chia cho “46” hoặc số tầng chia cho 10. Phân tích FEM 3D thường được sử dụng để xác định chính xác hơn chu kỳ giao động.

Mô hình phân tích chỉ cần xét tới các cấu kiện đóng góp tới độ cứng ngang của kết cấu và không nên phức tạp quá mức cần thiết. Phân tích tần số giao động riêng cần quan tâm tới các yếu tố sau:

- Độ cứng của nút và dạng mối nối
- Mức độ nứt dự kiến ứng với trạng thái sử dụng
- Ảnh hưởng của hiệu ứng bậc 2 P-delta

- Độ cứng của móng
- Dự kiến thực tế của tải trọng phụ thêm (khối lượng)

Cho dù phân tích FEM chi tiết nhất cũng chỉ được xem là tính toán gần đúng chu kỳ giao động riêng thực sự của công trình, khi kết cấu BTCT vốn có sự biến thiên cao của độ cứng tổng thể.

Một số yếu tố góp phần vào sự biến thiên nói trên gồm có sự đơn giản hóa mô đun đàn hồi của bê tông và đặc trưng thay đổi của nó theo thời gian, sự khó khăn trong xác định mức độ nứt thực tế của bê tông kết cấu chịu tải trọng ngang và sự thay đổi mức độ nứt khi tải trọng thay đổi, cùng với ảnh hưởng của từ biến và co ngót. Việc đánh giá thấp hơn thực tế độ cứng công trình nhìn chung sẽ dẫn tới ước lượng thiên về an toàn lực động do gió gây ra.

Trong kết cấu cao và mảnh, hiện tượng xảy ra chuyển vị ngang tương đối lớn nhất và gia tốc lớn nhất theo hướng vuông góc với hướng tác động của gió là khá phổ biến (National Research Council of Canada, 2010). Điều này được gọi là chuyển động “gió-ngang”, do ảnh hưởng của kích động sau gây ra bởi hiện tượng *dòng khí xoáy*. Hiện tượng này được trình bày kỹ hơn trong Mục 9.

Cảm nhận của con người

Cảm nhận và mức độ nhạy cảm của con người đối với chuyển động của công trình thay đổi nhiều và phụ thuộc vào đặc trưng phức tạp của thể chất và hệ thần kinh. Điều này gồm cả sự hiểu biết của từng cá nhân về hiện tượng vật lý mà họ trải qua và sự sợ hãi trong nhận thức của họ về rủi ro và chấn thương.

Ngoài ra, sự nhạy cảm tăng cường đối với chuyển động vật lý của công trình có thể được khơi dậy bởi hình ảnh và âm thanh ban đầu, hoặc bởi phản ứng của các cá nhân khác. Các yếu tố khác ngoài chuyển động vật lý góp phần vào sự nhạy cảm chung của người ở trong công trình và mức độ thoải mái, gồm có vị trí của họ như đứng, ngồi hay nằm và mức độ hoạt động của họ trong khi công trình chuyển động.

Các yếu tố phức tạp này, cùng với việc thiếu dữ liệu tin cậy từ các chương trình thí nghiệm, gây nên khó khăn cho việc phát triển các tiêu chí chuyển động công trình một cách súc tích để đảm bảo độ thoải mái của con người. Tuy nhiên, trong vài thập kỷ qua nhiều tổ chức đã phát triển các tiêu chí giới hạn về chuyển động công trình. Giới hạn gia tốc ngang và vận tốc xoắn, sử dụng trong nghiên cứu động học công trình, cần giới hạn rủi ro về cảm nhận khó chịu của cư dân đối với chuyển động của công trình.

Ví dụ về tiêu chí chuyển động do gió hay được áp dụng tại Bắc Mỹ cho chu kỳ lặp của gió 10 năm được liệt kê dưới đây, quy đổi theo gia tốc trọng trường, nhưng các giá trị này cần được kiểm tra so với tài liệu hiện tại (NBC và CTBUH):

Trung cư: 10 tới 15 milli-g

Vấn phòng: 20 tới 30 milli-g

8.3 Gia tốc công trình

Trong công trình cao và mảnh, dịch chuyển ngang (thẳng và xoay) của kết cấu chịu tải trọng gió cần được giới hạn để giảm mức độ cảm nhận khó chịu của người ở đối với chuyển động công trình. Công trình BTCT vốn dĩ có khối lượng, độ cứng và độ cản lớn, mà tất cả sẽ giúp giảm chuyển động bất lợi của công trình, đối với công trình cao mảnh điều này có thể sẽ chi phối thiết kế.

Tiêu chuẩn National Building Code of Canada (NBC) trình bày cách đánh giá giá trị lớn nhất của gia tốc theo hướng gió và vuông góc hướng gió tại đỉnh công trình, khuyến nghị một loạt công thức để tính toán sơ bộ. Tuy vậy, thí nghiệm hầm gió sẽ luôn cung cấp các giá trị chính xác nhất đối với gia tốc công trình và có thể xét tới cả phản ứng động của công trình và tương tác giữa gió và công trình. Trong một số trường hợp tương tác này có thể làm giảm giá trị lớn nhất của phản ứng công trình.

Trong các năm gần đây, giới hạn về gia tốc thường hay được chấp nhận trong thực hành hơn, ở ngoài khu vực có bão, là dựa trên các tiêu chí đối với gió có tần xuất cao hơn (ví dụ 1 năm). Khi chuyển động lớn hơn ít xuất hiện, chúng có thể được chấp nhận như là một hiện tượng đơn lẻ hiếm gặp và do vậy không phải là vấn đề cần kiểm soát, trong khi các gió có tần xuất cao hơn mới có nguy cơ gây nên sự mất thoải mái cho người ở và là vấn đề cần khống chế đối với trạng thái về sử dụng.

Phát triển các tiêu chí giới hạn gia tốc

Mối tương quan giữa chu kỳ giao động riêng của kết cấu và cảm nhận đối với chuyển động của con người đã được đồng thuận trong giới kỹ thuật.

Ví dụ, khi một công trình có chu kỳ giao động 5s và một công trình khác là 10s nhưng cả hai công trình giao động với cùng một giá trị lớn nhất của gia tốc, thì công trình có chu kỳ 5s sẽ có sự thay đổi về gia tốc lớn hơn, đột ngột hơn, so với công trình có chu kỳ 10s. Sự thay đổi về gia tốc nói trên sẽ dễ cảm nhận mạnh hơn bởi đa số cư dân. Hiệu ứng này đã được minh họa khá rõ ràng thông qua các thí nghiệm mô phỏng chuyển động, và được phản ánh trong các nghiên cứu mới nhất về giới hạn gia tốc công trình. Ngoài ra, sự phụ thuộc vào tần số được thể hiện trong các tiêu chí của ISO 10137.

Một số kỹ sư quan tâm tới khái niệm “*thiết kế dựa trên tính năng*” đối với sự thoải mái của con người khi công trình chuyển động, yêu cầu chủ đầu tư xem xét các thông tin từ kỹ sư kết cấu về mức tính năng kỳ vọng đối với công trình của họ, để từ đó thiết lập các mức chấp nhận đối với chuyển động của công trình và tần xuất xảy ra tương ứng.

Mô hình “*thiết kế dựa trên tính năng*” đối với trạng thái giới hạn về sử dụng nói trên được trình bày chi tiết hơn trong tài liệu Hướng dẫn sử dụng về tiêu chí độ thoải mái con người do Architectural Institute of Japan (AIJ) biên soạn.

Các lựa chọn để giảm gia tốc giao động

Nếu các ước đoán ở giai đoạn đầu cho thấy gia tốc công trình vượt quá giới hạn cho phép, thì có một số lựa chọn để giúp giảm gia tốc này. Trong phần lớn trường hợp, việc tăng độ cứng tổng thể của kết cấu sẽ là hiệu quả để giảm gia tốc đỉnh. Thường là không phổ biến về mối tương quan giữa bộ phận kết cấu chịu tải trọng ngang của công trình cao tầng theo tiêu chí về sử dụng hoặc độ cứng, ngược với trạng thái giới hạn về cường độ.

Tăng khối lượng của kết cấu có thể là có ích trong việc giảm gia tốc công trình nhưng điều này cần được xem xét cùng với độ cứng tổng thể công trình, mà có thể làm thay đổi do tăng khối lượng và chu kỳ giao động.

Hình dáng của mặt cắt ngang công trình và đặc điểm của mặt bao che cũng ảnh hưởng tới tương tác của công trình với gió. Việc điều chỉnh khí động học của kết cấu hoặc kết hợp với các bố trí về khí động học chủ động trong kiến trúc công trình, gồm cả mặt dựng bao che, có thể cải thiện cơ bản trong quá trình phát triển thiết kế công trình cao, và đặc biệt là siêu cao tầng. Bất kỳ sự điều chỉnh nào kiểu này cũng cần được kiểm tra bởi thí nghiệm hầm gió, cũng như sự chấp thuận của kiến trúc sư.

9 Kỹ thuật gió

Kỹ thuật gió - theo định nghĩa của Tiến sĩ Jack Cermak [12] vào năm 1975 - là "việc xử lý hợp lý các tương tác giữa gió trong lớp biên khí quyển với con người và các công trình trên bề mặt Trái đất".

Nhà cao tầng hiện đại - thường có các hình dáng kiến trúc phi thông thường - ngày càng trở nên cao hơn, nhẹ hơn và kiểu dáng đẹp hơn và do đó, dễ bị ảnh hưởng bởi gió giật hơn. Gió ảnh hưởng đến một số khía cạnh thiết kế nhà cao tầng như sau:

- Đóng một vai trò quan trọng trong việc thiết kế nền móng và hệ thống ổn định ngang phân thân
- Kiểm soát độ lệch tổng thể và độ lệch tầng
- Đo mức độ thoải mái của những người ở các tầng cao nhất (và đất liền nhất)
- Đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế hệ thống kính/bao che và mặt tiền công trình
- Việc thay đổi cả mô hình luồng gió tổng thể và cục bộ có thể làm tăng mức độ gió xung quanh giá trị cơ sở của nó.

Để tối ưu hóa thiết kế nhà cao tầng và giảm thiểu các rủi ro liên quan, các nghiên cứu kỹ thuật gió chuyên biệt có khả năng cung cấp thông tin cho quá trình thiết kế từ những giai đoạn đầu bao gồm, nhưng không giới hạn ở:

- Khí hậu gió
- Tải gió
- Giảm thiểu kích động xoáy
- Độ cân bằng
- Áp lực lên mặt dựng
- Độ thoải mái/môi trường gió ở cao độ người đi bộ
- Phân tán plume.

Chương này được giới hạn trong các nghiên cứu kỹ thuật gió liên quan trực tiếp đến thiết kế sức bền và điều kiện sử dụng của nhà cao tầng.

Điều gì sẽ dẫn tới yêu cầu thí nghiệm ống thổi khí động?

Một số thông số mà kỹ sư thiết kế cần xem xét để xác định xem công trình nhà cao tầng hiện đang được thiết kế có khả năng nhạy cảm với gió hay không, bao gồm:

Tỷ lệ độ mảnh: nhà cao tầng có mảnh không? Nếu $h/d > 5$, với h là chiều cao của nhà cao tầng và d là kích thước nhỏ hơn của mặt bằng nhà.

Tần số kết cấu: dạng dao động thứ nhất của kết cấu là dạng uốn conxon với tần số thấp hơn $46/h$ [m] (h [m] là chiều cao của nhà cao tính bằng mét).

Hình dạng dao động: các dạng dao động đầu tiên của kết cấu có xu hướng ba chiều không? (Ứng xử xoắn của nhà cao tầng có đáng lo ngại không?)

Tính chất của khu vực xung quanh địa điểm công trình: có phải nhà cao tầng tương đối gần với một số công trình cao có khối lượng và quy mô tương tự không? (Có cần quan tâm đến hiệu ứng giao thoa không?)

Tất nhiên cũng cần xem xét các giới hạn về khả năng áp dụng của các tiêu chuẩn thiết kế gió (xem thêm Chương 13).

9.1 Khí hậu gió

Một số lượng nhiều các loại bão có thể tạo ra các hiện tượng gió cực mạnh chi phối việc thiết kế các hệ thống ổn định ngang cho nhà cao tầng.

Từ quan điểm kết cấu, các loại bão có liên quan nhất là:

- Gió synop (gales, mặt trước, áp thấp, xoáy thuận ngoài nhiệt đới, v.v.) điển hình với các vĩ độ từ 40° đến 60°
- Các cơn bão nhiệt đới (thường có cường độ lớn hơn) chủ yếu ảnh hưởng đến các vĩ độ từ 10° đến 30° .

Các khu vực chịu ảnh hưởng của bão nhiệt đới bao gồm các vùng hướng ra Biển Đông, bờ biển phía nam Nhật Bản và Vịnh Thái Lan (bão); Biển San hô, bờ biển phía bắc của Úc và Vịnh Bengal (xoáy thuận); và Vịnh Mexico, Biển Caribe và bờ biển phía Tây Mexico (bão).

Thiết kế trong một khu vực dễ bị ảnh hưởng bởi bão nhiệt đới đòi hỏi những yêu cầu khắt khe về thiết kế. Nếu hai công trình nhà cao tầng giống hệt nhau về hình dáng và kết cấu lần lượt được đặt ở Thượng Hải (Trung Quốc) - một khu vực dễ bị bão - và ở Jeddah (Ả Rập Xê Út) - một khu vực ít khắc nghiệt hơn nhiều, thì trung bình, kết cấu thứ nhất sẽ chịu tải trọng gió và gia tốc do gió gây ra cao hơn lần lượt 1,6 và 2,0 lần so với kết cấu thứ hai.

9.2 Tải trọng gió cho thiết kế cực hạn và sử dụng

Khác biệt với các hiểm họa tự nhiên khác như động đất, 'năng lượng' liên quan đến gió rối và gió giật được địa phương hóa ở giải thấp của phổ tần số (khoảng dưới 1 Hz) và cho thấy xu hướng giảm dần khi tần số tăng lên.

Lực khí động học do gió là kết quả của việc gió tương tác với hình dạng/hình học bên ngoài của nhà cao tầng, trong khi kết quả của sự tương tác giữa lực khí động học do gió tác dụng lên nhà cao tầng và hệ thống kết cấu của chúng được gọi là 'phản ứng do gió gây ra'.

Phản ứng do gió gây ra có thành phần 'trung bình' (liên quan trực tiếp tới vận tốc gió trung bình cụ thể tại địa điểm công trình); thành phần 'dải rộng' - hiệu quả tựa tĩnh (do kích thích bởi nhiễu loạn tần số thấp), thường được gọi là thành phần 'nền' (thường được ký hiệu với chữ 'B' trong tiêu chuẩn thực hành); và thành phần 'dải hẹp' (độ khuếch đại gần cộng hưởng của các thành phần phổ của tải gần với bất kỳ tần số nào của kết cấu), thường được ký hiệu với chữ cái 'R' trong các tiêu chuẩn thực hành.

Do đó, thành phần dải hẹp quy định kết cấu 'động' như thế nào và được điều khiển bằng độ cản; ví dụ, giảm từ 2% độ cản tới hạn (giảm 0,13 logarit) sang 1% độ cản tới hạn (giảm 0,06 logarit) sẽ làm tăng gia tốc do gió gây ra lên khoảng 40% và tải trọng gió thiết kế khoảng 30% (giả sử 50% của giá trị này được quyết định bởi 'thành phần động').

Phương pháp thống kê mô tả cách thức hoạt động của cơ chế tải gió được giới thiệu lần đầu tiên vào những năm 1960 bởi Alan Davenport [13,14,15,16].

9.2.1 Kích động xoáy

Kết quả của sự tương tác giữa gió và các công trình, các dòng xoáy xen kẽ được tạo ra ở phía hạ lưu luồng gió sau khi tương tác với nhà cao tầng (xem Hình 9.1).



Hình 9.1 - Biểu diễn giản đồ 2D của các xoáy được tạo ra khi gió tác động vào vật hình trụ

Hiện tượng "kích động xoáy" này tạo ra một lực dao động thực kích thích kết cấu theo phương gió ngang vuông góc với luồng gió trung bình. Các lực này tương đối nhỏ nhưng khi chúng xuất hiện ở tần số gần với tần số của kết cấu, chúng có thể bị khuếch đại đáng kể, đặc biệt khi độ cản thấp.

Kích động xoáy xảy ra ở bất kỳ tốc độ gió nào và đối với bất kỳ dạng mặt bằng nào, và thường được tăng cường bởi mức độ thấp của gió rối (ví dụ như tiếp xúc với biển/sa mạc) và đôi khi do nhiễu động từ các kết cấu ngược gió. Tốc độ gió kích động xoáy tới hạn, tại đó tần số của gió xoáy trùng với tần số của kết cấu, có thể được tính như sau:

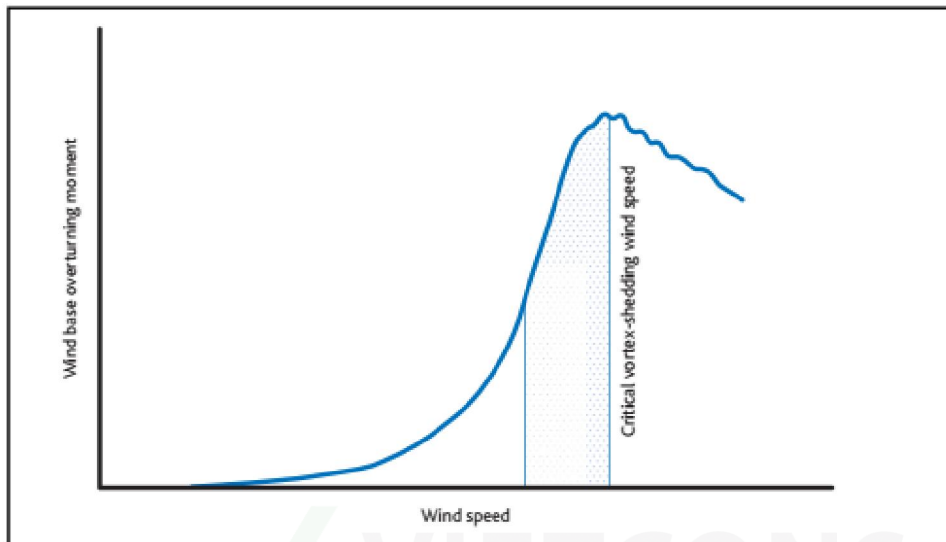
$$V_c = \frac{n \cdot D}{St}$$

trong đó n là tần số kết cấu được xem xét.

D là kích thước tham chiếu của mặt cắt ngang của nhà cao tầng (thường chiều rộng của nó được đo vuông góc với hướng của vận tốc gió trung bình).

St là số Strouhal, một hàm đại lượng không thứ nguyên của dạng mặt bằng của nhà cao tầng (thường nằm trong khoảng 0,1 đối với hình vuông và 0,2 đối với hình tròn).

Các lực Kích động xoáy có thể có năng lượng trên một dải đáng kể của tần số, dẫn đến phản ứng đáng kể ở tốc độ gió thấp hơn tốc độ gió tới hạn được chỉ ra bởi các số Strouhal đã công bố (xem Hình 9.2).



Hình 9.2 - Đường cong phản ứng (mô men gây lật ở đáy do hiệu ứng động lớn nhất của gió ngang so với tốc độ gió thiết kế).

Phản ứng cộng hưởng do gió ngang thường gây ra các chuyển động quan trọng nhất mà người ở trong các công trình nhà cảm nhận được và có thể chi phối thiết kế sức kháng của nhà có độ mảnh lớn. Những ứng xử này không được đề cập kỹ trong các tiêu chuẩn thiết kế nhưng thường xuyên được nghiên cứu trong các thí nghiệm ống thổi khí động.

Với điều kiện không có hiện tượng kích động xoáy cũng như các hiệu ứng nhiễu khí động học gây ra bởi khoảng cách gần với các nhà cao tầng khác có thể tương “tác động” với hệ kết cấu của công trình, kích thích 'làn tính' hơn và có thể dự đoán được theo gió/đệm sẽ trở thành cơ chế tải gió chi phối đối với kết cấu.

9.2.2 Điều kiện sử dụng

Phản ứng của con người đối với chuyển động của nhà - một hiện tượng phức tạp liên quan đến nhiều yếu tố sinh lý và tâm lý – thường được đánh giá thông gia tốc hơn là các đại lượng khác.

Khả năng cảm nhận chuyển động do gió gây ra tỷ lệ nghịch với căn bậc hai của tích khối lượng, độ cứng và độ cản (NBCC, NRCC, 2005); do đó, để giảm một nửa cảm nhận chuyển động của người, ‘khối lượng x độ cứng x độ cản’ phải được tăng lên bốn lần.

Các tiêu chí như trong ISO 10137-2007 (ISO, 2007) [17] thường được sử dụng làm tiêu chuẩn để đánh giá ứng xử do gió gây ra đối với một công trình nhà cao tầng.

Mặc dù theo quan điểm điều kiện về sử dụng, cần phải kiểm tra độ lệch dưới tác dụng tải trọng gió, tuy nhiên trong một số trường hợp, việc kiểm tra gia tốc do gió gây ra có thể dẫn tới các yêu cầu cao hơn. Ví dụ, một công trình căn hộ cao tầng cao 150m với dạng giao động thứ nhất là công xôn ở tần số 0,30 Hz đang chịu gió với chu kỳ lặp dưới 10 năm sẽ đáp ứng tiêu chuẩn thực hành nghiêm ngặt nhất nếu độ lệch tổng thể do gió là 0,25m. Nếu 10% của độ lệch tổng thể bị chi phối bởi “thành phần động”, thì gia tốc đỉnh do gió gây ra sẽ là 9 mili-g ($10\% \cdot 0,25 \text{ m} \cdot (2 \times \pi \times 0,30 \text{ Hz})^2 \sim 0,09 \text{ m/s}^2 \sim 9 \text{ milli-g}$); đây là một con số nằm trong ngưỡng thường được chấp nhận về mức độ thoải mái cho người ở trong công trình (thường là trong khoảng 10-15 mili-g). Đối với nhà cao tầng dễ bị uốn và mảnh hơn, tỷ lệ phần trăm độ lệch tổng thể bị chi phối bởi “thành phần động” có thể lên tới 50%. Trong trường hợp này, gia tốc cực đại do gió gây ra có thể lên đến 45 mili-g, vượt quá bất kỳ tiêu chí nào về sự thoải mái cho người sử dụng.

9.2.3 Giảm thiểu tải trọng gió

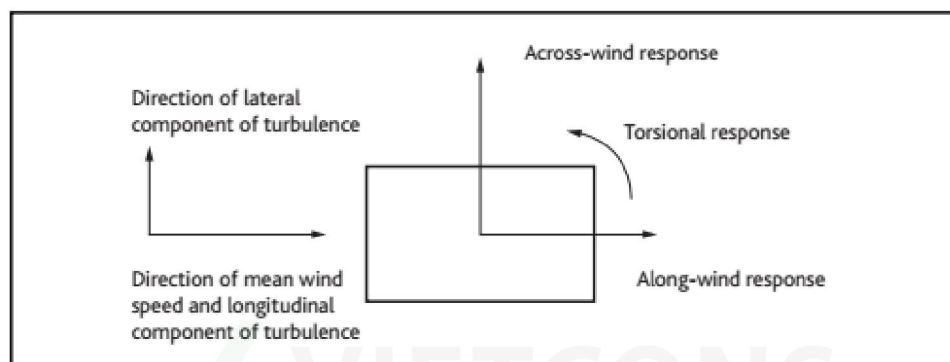
Thành phần cộng hưởng của tải trọng gió (liên quan trực tiếp đến gia tốc do gió gây ra trong nhà cao tầng) có thể được giảm thiểu bằng cách:

- Tăng độ cứng của kết cấu - do đó tăng tần số giao động của kết cấu.
- Tăng khối lượng ở đỉnh của công trình - yêu cầu thêm sức kháng của công trình để giảm thiểu sự giảm tần số giao động của kết cấu.
- Tăng độ cản cho kết cấu.
- Sử dụng một thiết bị giảm chấn thụ động điều chỉnh khối lượng, có thể nặng tương đương 1% khối lượng tham gia dao động của công trình, để tăng tỷ lệ độ cản lên 3-4% độ cận tới hạn (giảm 0,19-0,25 logarit) - các hệ thống chủ động hoặc chạy bằng năng lượng cũng có thể được áp dụng.
- Sử dụng các hệ thống giảm chấn đàn nhớt, nhớt hoặc thủy lực khác để đưa tổng tỷ lệ độ cản tới giá trị khoảng 6-8% độ cản tới hạn (giảm 0,38-0,50 logarit).
- Thay đổi khí động học (các biện pháp khí động học có thể mang tính tổng thể như: - áp dụng hình dạng hình thang, xoắn, lỗ xuyên suốt công trình và lỗ thông gió ở đỉnh- hoặc mang tính cục bộ như – sử dụng các vây (phần chia ra) đặc hoặc có lỗ ở góc và các góc bo tròn hoặc cắt vát).

Có thể thực hiện phân tích chi phí - lợi ích như một phần của quá trình thiết kế sơ bộ để thiết lập các kế hoạch phù hợp nhất để đạt được các giá trị cụ thể của tải trọng gió động cực đại/gia tốc do gió gây ra.

9.2.4 Tiêu chuẩn thực hành

Trong khi tất cả các tiêu chuẩn gió đều cung cấp hướng dẫn để đánh giá phản ứng dọc theo hướng gió của nhà cao tầng (xem Hình 9.3), chỉ một số ít có thể hỗ trợ các kỹ sư thiết kế dự đoán cường độ của phản ứng do gió ngang - phản ứng của kết cấu với thành phần gió rối theo phương ngang và kích động xoáy. Đó là: tiêu chuẩn Úc (2002) [18], tiêu chuẩn Canada (NBCC, 2005) [10], Eurocode (2005) [19] và tiêu chuẩn Nhật Bản (2004) [20] (hiện tại là tiêu chuẩn sẵn có về gió duy nhất đưa ra hướng dẫn về đánh giá phản ứng xoắn của nhà cao tầng đối với kích thích của tải trọng gió). Cần lưu ý rằng các hướng dẫn chỉ giới hạn ở một số dạng hình học và độ đón gió đơn giản.



Hình 9.3 - Sơ đồ biểu diễn phản ứng do gió của nhà cao tầng.

9.3 Thử nghiệm ống thổi khí động

Khi nói đến 'kỹ thuật gió' và cụ thể hơn là tải trọng gió trên nhà cao tầng và kỹ thuật ống thổi khí động nhà cao tầng, các tiêu chuẩn thiết kế có phạm vi áp dụng tương đối hạn chế; chiều cao thường bị hạn chế ở mức 200m và hình dạng mặt cắt tương đối chính thống; ví dụ, hình vuông hoặc hình chữ nhật. Do đó, nhiều công trình nhà cao tầng nằm ngoài phạm vi cho phép áp dụng của các yêu cầu về tải trọng gió trong các tiêu chuẩn địa phương.

Do đó, thí nghiệm ống thổi khí động thường được thực hiện trên nhà để cung cấp cái nhìn chi tiết về lực thiết kế và phản ứng tổng thể và ứng xử tính năng của kết cấu.

Các kỹ thuật ống thổi khí động áp dụng để đánh giá tải trọng gió trên các kết cấu có chiều cao lớn là: cân bằng lực tần số cao (HFFB), tích hợp áp suất đồng thời (SPI) và khí đàn hồi. Hai phương pháp đầu tập trung vào việc đo các lực khí động học của gió tác động lên nhà cao tầng và đánh giá phản ứng của nhà do gió gây ra với yêu cầu dữ liệu ống thổi khí động được kết hợp với các đặc tính kết cấu do các kỹ sư kết cấu cung cấp. Kỹ thuật khí đàn hồi tập trung vào việc đo trực tiếp phản ứng kết cấu của nhà cao tầng do gió gây ra.

Cân bằng lực tần số cao (HFFB)

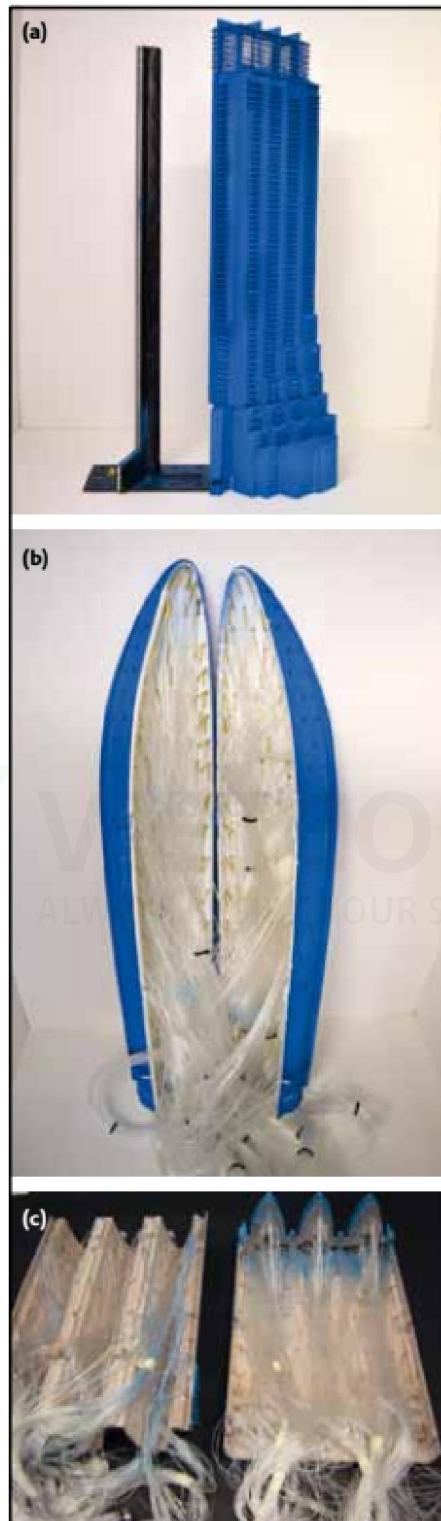
Các mô hình ống thổi khí động HFFB phải được thiết kế để đảm bảo cứng và nhẹ. Để tránh bị nhiễu mạnh đối với tín hiệu đo được, tần số tự nhiên thấp nhất của mô hình - thường

là trong vùng 100 Hz - phải lớn hơn ít nhất hai lần so với tần số tự nhiên thấp nhất dự kiến của công trình ở quy mô kích thước thật.

Các mô hình ống thổi khí động HFFB thường được xây dựng xung quanh một lõi trung tâm cứng và nhẹ được sản xuất bằng vật liệu như polyme gia cường sợi các bon (CFRP) với bột nhẹ để tạo ra lớp vỏ bên ngoài có hình dạng chính xác của nhà cao tầng (xem Hình 9.4a). Không có mối quan hệ nào giữa lõi bên trong của mô hình ống thổi khí động và lõi kết cấu của nhà cao tầng thực.

Các mô hình ống thổi khí động HFFB thường được gắn trên các bàn cân bằng cứng có khả năng đo đồng thời lịch sử thời gian của lực cắt đáy do gió, mô men lật tại đáy do gió và lực xoắn. Kỹ thuật này thường có khả năng xoay nhanh chóng và mức độ linh hoạt cao cho việc phân tích lặp lại. Miễn là hình dạng bên ngoài của tháp không thay đổi, dữ liệu ống thổi khí động có thể được xử lý lại để phản ánh quá trình phát triển của sự bố trí kết cấu của nhà cao tầng.

Vì các phép đo tại chân đế là các số liệu được tích hợp hiệu quả nên sự phân bố tải trọng gió từng tầng dọc theo chiều cao của kết cấu được ước tính chứ không phải đo trực tiếp. Do đó, sự đóng góp vào tải trọng gió từ các dạng dao động bậc cao, thường quan trọng trong thiết kế nhà siêu cao hơn 300 m, đặc biệt nếu là dạng hình thang (Camelli, 2011)^[21] - không thể được định lượng một cách chính xác.



Hình 9.4 - Các mô hình ống thổi khí động:

- (a) Lõi CRFP và thành phần bột nhẹ của mô hình ống thổi khí động HFFB.
- (b) bên trong mô hình đo áp suất ống thổi khí động.
- (c) bên trong mô hình đo áp suất ống thổi khí động.

Tích hợp áp suất đồng thời (SPI)

Một phương pháp khác để đánh giá tải trọng gió tác động lên nhà cao tầng cũng như phản ứng của công trình do gió gây ra là đo đồng thời áp lực gió trên toàn bộ vỏ công trình và sau đó tính tải trọng gió tổng thể bằng cách tích hợp thông qua SPI.

Tương tự như kỹ thuật HFFB, SPI có độ linh hoạt cao trong việc phân tích lặp lại với chi phí thời gian lâu hơn một chút, chủ yếu quyết định bởi trình tự thi công mô hình. Vì các phép đo được thực hiện đồng thời trên toàn bộ kết cấu, nên phân bố tải trọng gió từng tầng dọc theo chiều cao của kết cấu công trình có thể được đánh giá chính xác và có thể tính toán cụ thể đóng góp vào tải trọng gió từ các dạng dao động bậc cao.

Các mô hình đo áp suất ống thổi khí động thường được xây dựng bằng cách sử dụng các vật liệu như chất dẻo, nhựa và sợi thủy tinh hoặc bằng các kỹ thuật tạo mẫu nhanh như thiêu kết laser chọn lọc (SLS) hoặc kỹ thuật in li-tô lập thể (SLA). Lớp vỏ bên ngoài của mô hình ống thổi khí động được gắn với vài trăm cảm biến áp suất (thường là 500-800 nhưng thường lớn hơn 1.000 trong trường hợp bố trí mặt tiền rất phức tạp, các tổ hợp nhà cao tầng được nối với nhau về mặt kết cấu hoặc nhà siêu cao) để đo lịch sử thời gian của áp lực gió dao động cục bộ (xem Hình 9.4b và 9.4c).

Nói chung, và trong trường hợp không có hiệu ứng đáng kể từ các công trình lân cận, mật độ của các cảm biến áp suất (thường được gọi là vòi) phải dày hơn ở khu vực một phần ba phía trên cùng của kết cấu và có thể thưa hơn ở phần giữa. Mật độ trung bình của các vòi phải có tỷ lệ xấp xỉ một cảm biến trên 120 m² bề mặt công trình: mật độ này sẽ cần được tăng lên (đặc biệt là ở phần trên của công trình nhà cao tầng) nếu cần phải kể đến đóng góp vào tải trọng gió đến từ các dạng dao động bậc cao. Đối với các kết cấu mà cả hai mặt tiếp xúc trực tiếp với gió như mái sảnh, vây (phần chia ra) tạo kiến trúc và lan can có chiều cao lớn, áp suất cần được đo đồng thời ở cả hai mặt của đối tượng.

Cũng có thể sử dụng các phép đo từ các mô hình đo áp suất trong ống thổi khí động để đánh giá áp lực gió nhằm hỗ trợ thiết kế các hệ thống mặt dựng và sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí.

Kỹ thuật mô hình khí đàn hồi

Cách duy nhất để đánh giá và xác định sự tương tác của kết cấu với gió là sử dụng kỹ thuật mô hình khí đàn hồi. Các mô hình ống thổi khí động đàn hồi được thiết kế và xây dựng trong ống thổi khí động để ứng xử, dao động và phản ứng với kích thích do tải trọng gió giật giống hệt như kết cấu thực.

Việc thiết kế một mô hình ống thổi khí động khí đàn hồi đòi hỏi cả lớp vỏ bên ngoài của nhà cao tầng và sự sắp xếp kết cấu bên trong phải đủ tiên tiến. Nó cần được xây dựng để phù hợp chính xác với bố trí kết cấu của nhà cao tầng thực và thường được gắn các máy đo gia tốc

và/hoặc phiên đo biến dạng để đo phản ứng của kết cấu nhà cao tầng với tải trọng trong thời gian thực. Tỷ lệ độ cản kết cấu vốn có của mô hình ống thổi khí động đàn hồi phải được giữ ở mức thấp nhất có thể (0,5% của độ cản tới hạn/0,03 độ giảm logarit hoặc ít hơn).

Giống như phương pháp SPI, Kỹ thuật khí đàn hồi cho phép thiết lập sự phân bố tải trọng gió từng tầng theo chiều cao của nhà, cũng như đóng góp vào tải trọng gió từ các dạng dao động bậc cao. Cần lưu ý rằng cần nhiều thời gian hơn để thực hiện các phương pháp khí đàn hồi, chủ yếu do thời gian bổ sung dành cho giai đoạn thiết kế/chế tạo mô hình và quá trình hiệu chuẩn mô hình.

Lựa chọn kỹ thuật ống thổi khí động phù hợp

Các nghiên cứu HFFB thường được tiến hành ở giai đoạn thiết kế sơ đồ (TKKT) và đôi khi ngay từ giai đoạn nghiên cứu khả thi/y tưởng, để cho phép sử dụng trực tiếp trong quá trình thiết kế kết cấu các phản ứng chi tiết với hình dạng cụ thể do gió gây ra.

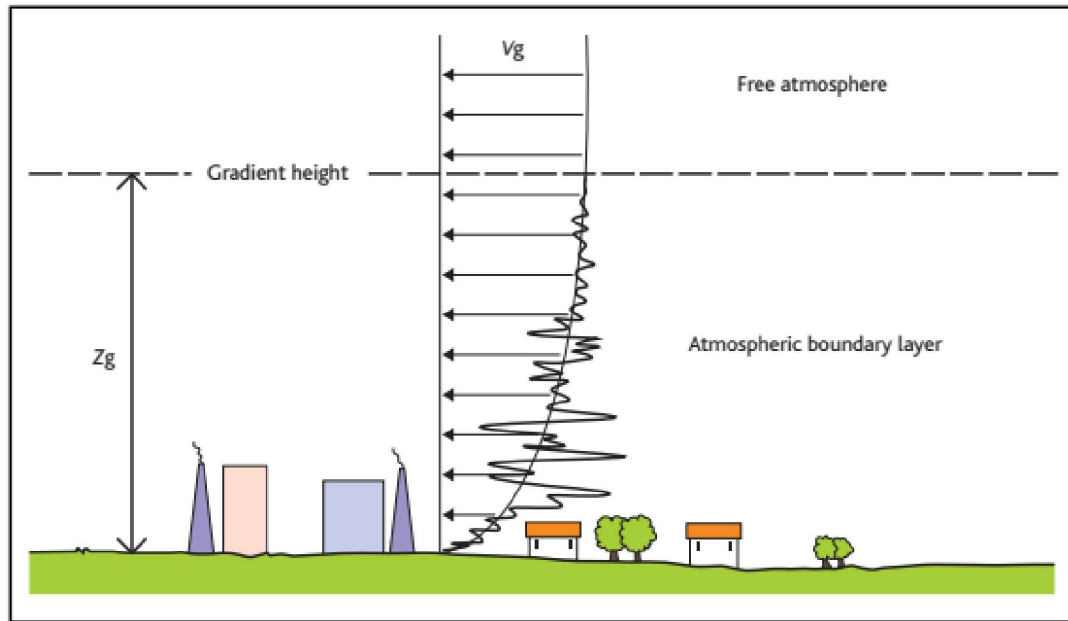
Các nghiên cứu SPI thường theo sau trong quá trình thiết kế chi tiết (TKTC) để tinh chỉnh dự đoán được thực hiện trong quá trình TKKT. Các nghiên cứu về khí đàn hồi thường được sử dụng trong thiết kế nhà cao tầng (ở giai đoạn thiết kế chi tiết) khi phản ứng của kết cấu bị chi phối mạnh bởi kích động xoáy tiếp cận gần tới 'cộng hưởng' hoặc khi bắt buộc phải có phép đo trực tiếp về sự đóng góp vào tổng độ cản do tương tác kết cấu với gió ('độ cản khí động học').

9.4 Thuê chuyên gia tư vấn về kỹ thuật gió

Mục đích của phần này là giúp các kỹ sư thiết kế thu thập thông tin do các chuyên gia tư vấn về gió yêu cầu để tiến hành các nghiên cứu về kỹ thuật gió, và đảm bảo cho kết quả đúng và phù hợp với thực tiễn thực hành.

9.4.1 Mô phỏng profile lớp biên khí quyển

Thuật ngữ 'lớp biên khí quyển' dùng để chỉ phần thấp nhất của tầng đối lưu (thường là 2-3 km trên bề mặt Trái đất), nơi các tác động của độ nhám bề mặt cũng như địa hình cục bộ kiểm soát sự phân bố/profile theo phương đứng của cả vận tốc gió trung bình và cường độ rối (xem Hình 9.5).



Hình 9.5 - Biểu diễn giản đồ của lớp biên khí quyển.

Các nhà tư vấn kỹ thuật gió cần ghi lại đầy đủ sự so sánh trực tiếp trên toàn bộ chiều cao của nhà cao tầng giữa về mức đón gió đặc trưng đã chọn cho địa điểm dự án (được xác định bằng cách sử dụng các mô hình gió như mô hình do Harris và Deaves^{(1981)[22]} đề xuất) và vận tốc gió trung bình, cường độ của độ rối và các profile tốc độ gió giạt thích hợp đo được trong ống thổi khí động.

Trước khi thử nghiệm, phòng thí nghiệm ống thổi khí động phải cung cấp cho nhóm thiết kế tài liệu cho thấy rằng vận tốc gió trung bình /cường độ độ rối đo được và quy mô chiều dài độ rối trong ống thổi khí động lần lượt nằm trong khoảng 10% và hệ số 2 so với dự đoán ở trên Mô hình lý thuyết.

9.4.2 Các mô hình ống thổi khí động

Các tỷ lệ hình học nằm trong khoảng từ 1:200 đến 1:500 thường được sử dụng cho các nghiên cứu ống thổi khí động và vật cản của phần thí nghiệm ống thổi khí động gây ra bởi sự hiện diện của mô hình và môi trường xung quanh nó phải được giữ ở mức tối thiểu; lý tưởng nhất là trong vùng 5% và không lớn hơn 10%.

Thông thường, cần lập mô hình khu vực xung quanh địa điểm dự án - thường là bán kính 500 m (xem Hình 9.6). Có thể cần đưa vào các công trình quan trọng bên ngoài khu vực này như một phần của khu vực xung quanh ở các góc gió đã chọn. Các kịch bản môi trường xung quanh khác nhau, chẳng hạn như điều kiện hiện tại của địa điểm, điều kiện được quy hoạch hoặc điều kiện trong tương lai của khu vực xung quanh và quy hoạch tổng thể/phân kỳ dự án, cũng cần được xem xét trong nghiên cứu. Nếu công trình nhà cao tầng là một phần của quy

hoạch tổng thể lớn, trong đó không có đủ thông tin chi tiết về trình tự thi công thì nên khảo sát về kết cấu trong tình trạng đứng 'biệt lập'.



Hình 9.6 – Khu vực xung quanh mô hình ống thổi khí động.

Thông tin điển tử cần thiết để xây dựng các mô hình bao gồm:

- Bản đồ khảo sát (thường là định dạng .dwg / .dxf)
- Chiều cao/số tầng của nhà
- Hình ảnh quá trình khảo sát địa điểm (nếu có)
- Bản vẽ mặt bằng/quy hoạch tổng thể.

Để thiết kế và xây dựng HFFB, cần bổ sung các mô hình chịu áp suất và khí đàn hồi bao gồm - sơ đồ mặt bằng, mặt đứng và mặt cắt của công trình nhà được đề xuất (thường là định dạng .dwg / .dxf) hoặc mô hình bề mặt 3D đầy đủ (thường là định dạng 3D CAD / Rhino). Đối với các mô hình khí đàn hồi, cũng cần có một tập hợp các đặc tính kết cấu đủ ổn định (xem thêm Chương 13).

Đối với các mô hình áp suất trong ống thổi khí động, các cảm biến áp lực do các nhà tư vấn kỹ thuật gió thiết kế cần được cấp cho các kỹ sư thiết kế để xem xét và phê duyệt trước khi thử nghiệm ống thổi khí động. Đối với các mô hình ống thổi khí động gió đàn hồi, việc so sánh trực tiếp giữa các tần số kết cấu kích thước thật, hình dạng dao động và đặc tính quán tính với các giá trị được đo trực tiếp trên mô hình ống thổi khí động khí đàn hồi phải được các nhà tư vấn kỹ thuật gió ghi lại đầy đủ.

Nhìn chung, trong thiết kế HFFB, các mô hình áp lực và khí đàn hồi, các nhà tư vấn kỹ thuật gió cần hết sức lưu ý để giảm thiểu và kiểm soát các hiệu ứng thu nhỏ kích thước liên quan đến hình dạng của công trình, điều này có thể dẫn đến kết quả nhạy cảm với vận tốc gió trong ống thổi khí động. Phòng thí nghiệm ống thổi khí động phải chứng minh rằng các đại lượng như hệ số động lực học trung bình (cản và nâng) cũng như số Strouhal là ổn định trong một loạt các tốc độ ống thổi khí động.

9.4.3 Nghiên cứu ống thổi khí động

Tần số đo được của HFFB, cũng như phạm vi tốc độ gió hoạt động trong ống thổi khí động trong quá trình thử nghiệm, phải được nhà tư vấn kỹ thuật gió ghi lại.

HFFB do các chuyên gia kỹ thuật gió sử dụng cần cung cấp các phép đo đồng thời về lực cắt đáy do gió, mômen lật tại đáy do gió và lực xoắn.

Các phép đo đối với các nghiên cứu về tải trọng gió (HFFB, SPI hoặc khí đàn hồi) cần được thực hiện suốt ngày đêm với bước góc đo tối thiểu là 10° . Các phép đo trung gian ở các bước góc đo bé hơn cần được thực hiện để nắm bắt đỉnh phản ứng do tải trọng gió.

Quá trình hậu xử lý dữ liệu lịch sử thời gian đo được của tải trọng tại đáy do gió (HFFB) hoặc áp suất gió bên ngoài (SPI) cần có thông tin về các đặc tính kết cấu của công trình được cung cấp bởi các kỹ sư kết cấu. Các thông tin này phải kể đến khối lượng, độ lệch tâm trong mặt phẳng và sự phân bố mômen quán tính của khối lượng dọc theo chiều cao của nhà cao tầng, tần số kết cấu và hình dạng dao động tương ứng cho các dạng dao động cơ bản và - nếu cần - các dạng dao động bậc cao hơn, cũng như các giả thiết về mức độ độ cản của kết cấu được nghiên cứu.

Sự thay đổi theo hướng của tải trọng do gió tại đáy bao gồm lực cắt, mômen uốn và lực xoắn để phục vụ thiết kế nền móng thường được tính toán với tốc độ gió thiết kế chu kỳ lặp 50 năm hoặc cao hơn – và phải được cung cấp cả giá trị trung bình, giá trị tĩnh tại đỉnh (bao gồm cả thành phần ‘băng rộng’) và đỉnh giá trị động (bao gồm cả thành phần ‘băng hẹp’).

Để giúp cho việc thiết kế kết cấu phần thân, tải trọng gió cần được cung cấp theo số liệu từng tầng. Sự thay đổi theo hướng của gia tốc đỉnh do gió thường được tính toán cho tốc độ gió thiết kế chu kỳ lặp 1 và 10 năm. Cần so sánh các kết quả với các tiêu chí phụ thuộc vào tần số được khuyến cáo như trong ISO 10137-2007 (ISO 2007) (xem thêm Chương 13).

Khi được yêu cầu và khi có thỏa thuận với các kỹ sư thiết kế, các nhà tư vấn kỹ thuật gió có thể cung cấp các phân tích độ nhạy để kể đến các yếu tố không chắc chắn đối với các thông số kết cấu như tần số tự nhiên, độ cản kết cấu và đặc trưng quán tính.

Khi các nghiên cứu về HFFB, SPI và khí đàn hồi được thực hiện trên nhà cao tầng, việc so sánh trực tiếp giữa các phương pháp khác nhau cần được thực hiện bởi các nhà tư vấn kỹ thuật gió.

Để biết thêm thông tin về chủ đề thí nghiệm ống thổi khí động, vui lòng tham khảo Sổ tay hướng dẫn thực hành số 67 của ASCE về Nghiên cứu ống thổi khí động (ASCE 1998)^[23] và Sổ tay đảm bảo chất lượng AWES-QAM-1-2001 (AWES, 2001)^[24].

Bảng 9.1 cho thấy các ngân sách về tài chính và thời gian cần có cho các nghiên cứu kỹ thuật gió cho một dự án nhà cao tầng điển hình dạng một tháp đơn.

Type of study	Indicative budget fees ¹ in USD	Timescales in weeks
Wind microclimate	15-20k	2-3
Wind loading	20-25k	3-4
Cladding pressure	20-30k	3-4
Aeroelastic	50k+	5-6

Bảng 9.1 – Ngân sách tài chính và thời gian.

Ghi chú: 1. Giá tham khảo năm xuất bản của tài liệu này.

9.4.4 Tính toán động lực học chất lỏng

Tính toán động lực học chất lỏng (CFD) được sử dụng trong các ứng dụng kỹ thuật như hàng không và khảo sát các dòng chảy bên trong, nhưng các dòng chảy bên ngoài xung quanh công trình trong môi trường đô thị phức tạp không được sắp xếp hợp lý và bị chi phối bởi các hiện tượng phân tách.

Mô hình toán học chính xác của sự rối ảnh hưởng đến phản ứng động của một kết cấu nhất định nằm trong loại môi trường dòng chảy này vẫn còn là chủ đề tranh luận trong cộng đồng nghiên cứu, ngay cả đối với các hình dáng hình học khá đơn giản. Trong vài thập kỷ nữa, có thể vẫn chưa thể lập mô hình nhiễu loạn ở tất cả các quy mô cần thiết về kích thước để lập mô hình ứng xử phân tách gió-dòng chảy một cách đáng tin cậy.

Mặc dù trong một số trường hợp có thể đạt được các kết quả tốt một cách rõ ràng, nhưng trong một số trường hợp khác thì không. Các phát triển về mô hình mô phỏng xoáy lớn có nhiều khả năng thực hiện hơn các phương pháp CFD khác hiện nay nhưng đòi hỏi nhiều sức mạnh tính toán hơn so với thông thường hiện nay trên thị trường tư vấn xây dựng.

Việc sử dụng CFD không được khuyến khích nếu không có sự kiểm chứng trên quy mô kích thước thực hoặc quy mô mô hình đối với các kết quả chính.

Thí nghiệm ống thổi khí động không mắc phải những nhược điểm nêu trên và là một phương pháp mang tính thực hành (với lợi thế về thời gian) và đã được chứng minh rõ ràng, với phương pháp luận đã đạt được sự đồng thuận của cả cộng đồng khoa học và kỹ thuật.

10 Kỹ thuật kháng chấn

Kỹ thuật kháng chấn bao gồm khái niệm, phương pháp phân tích, thiết kế và cấu tạo cho các kết cấu, các cấu kiện kết cấu và các cấu kiện xây dựng phi kết cấu để chịu được các trận động đất có cường độ và tần suất khác nhau.

Các đặc điểm của một công trình nhà cao tầng khiến ứng xử của nó là duy nhất khi gặp động đất bao gồm:

- Một chu kỳ dao động cơ bản theo hướng tịnh tiến lớn hơn hai giây.
- Sự tham gia đáng kể của khối lượng và phản ứng theo phương ngang ở các dạng dao động bậc cao.
- Hệ thống kháng lực động đất với một tỷ số cạnh tương đối mảnh sao cho giá trị đáng kể của chuyển vị ngang là do biến dạng dọc trục của vách và/hoặc cột so với biến dạng cắt của khung và vách.

Các tiêu chuẩn truyền thống áp dụng phân tích phản ứng đàn hồi với hệ số giảm lực R không phù hợp với thiết kế kháng chấn cho nhà cao tầng. Chúng không tính đến ứng xử phi tuyến của nhà cao tầng khi nhiều dạng dao động đóng góp đáng kể vào phản ứng kháng chấn của kết cấu.

Mục đích của chương này là cung cấp hướng dẫn cho các kỹ sư thiết kế nhà cao tầng ở các vùng có hoạt động địa chấn.

10.1 Rủi ro và biên soạn tiêu chuẩn

Mức độ cho phép đối với cường độ dự kiến của các trận động đất được sử dụng trong thiết kế nhà được xác định từ đánh giá thống kê về dữ liệu lịch sử và mức độ rủi ro được chấp nhận.

Các kết quả thống kê này được sử dụng để tạo ra các bảng và bản đồ về gia tốc nền thiết kế, được gọi là bản đồ nguy cơ địa chấn, để sử dụng trong phân tích động đất. Trong trường hợp nhà cao tầng, thông thường phải thực hiện các phân tích rủi ro/nguy hiểm cụ thể, bao gồm việc xác định đặc điểm của đầu vào địa chấn cụ thể, chẳng hạn như gia tốc và chuyển vị địa chấn đến từ các vùng nguồn khác nhau.

Đối với mỗi chu kỳ lặp riêng biệt, có những yêu cầu tương ứng khác nhau đối với tính năng kết cấu và những yêu cầu này tạo thành cơ sở của phương pháp thiết kế dựa trên tính năng phù hợp cho nhà cao tầng.

Eurocode 8 (EC8), cũng như Hội đồng về nhà cao tầng và môi trường sống đô thị (CTBUH) [1] trong các Khuyến nghị về Thiết kế kháng chấn của nhà cao tầng, thúc đẩy cách tiếp cận như vậy với yêu cầu cụ thể để đáp ứng hai hoặc nhiều tiêu chí tính năng riêng biệt.

10.1.1 Thiết kế dựa trên tính năng

Thiết kế dựa trên tính năng là cách tiếp cận được khuyến khích đối với kỹ thuật kháng chấn trong các tiêu chuẩn hiện đại. Đặc biệt, đối với nhà cao tầng, cần xem xét rõ ràng hai hoặc nhiều cấp ứng xử khác nhau.

EC8 đưa ra hai yêu cầu cơ bản: giới hạn hư hỏng, theo đó kết cấu phải chịu được tác động địa chấn với xác suất xảy ra lớn hơn (trận động đất có chu kỳ lặp 95 năm) mà không bị hư hại và đảm bảo giới hạn liên quan đến sử dụng, và yêu cầu không sụp đổ theo đó kết cấu phải giữ được tính toàn vẹn của nó và khả năng chịu lực còn lại sau một trận động đất cực mạnh (trận động đất chu kỳ lặp 475 năm).

Trong tài liệu hướng dẫn CTBUH Khuyến nghị cho Thiết kế kháng chấn của Nhà cao tầng, ba mức chuyển động nền được xem xét với các kỳ vọng khác nhau:

- Đối với các trận động đất thường xuyên xảy ra (trận động đất có chu kỳ lặp 95 năm), công trình nhà sẽ bị hư hại ít hoặc không bị hư hại. Sức kháng đối với các tải trọng thẳng đứng và các tác động trong tương lai của nhà phải còn nguyên vẹn. Công trình nhà và các cấu kiện kết cấu của nó phải nằm trong phạm vi đàn hồi.
- Đối với các trận động đất hiếm gặp (trận động đất chu kỳ lặp 475 năm như được sử dụng trong một số tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn), nhà thông thường có thể có hư hỏng không sửa chữa được nhưng vẫn giữ được khả năng chịu tải trọng lực và một số khả năng chịu tải ngang trong khi công trình quan trọng về cơ bản vẫn còn nằm trong phạm vi đàn hồi.
- Đối với những trận động đất rất hiếm gặp (trận động đất chu kỳ lặp 2475 năm), một công trình nhà thông thường sẽ bị hư hỏng nặng nề, không thể sửa chữa và khả năng chịu tải ngang sẽ không còn. Tuy nhiên, nó phải giữ được sức kháng tải trọng thẳng đứng thực/dự kiến, đủ thời gian cho phép di tản người khỏi công trình. Công trình quan trọng hơn cần giữ lại được một phần khả năng chịu tải ngang.

Cả phương pháp tiếp cận của EC8 và của CTBUH đều đưa ra định nghĩa chính xác về các giới hạn biến dạng và các mức độ hư hỏng tương ứng được dự kiến cho mỗi cấp tính năng.

Các giá trị giới hạn thường được thiết lập trong tiêu chuẩn hiện đại và trong một số trường hợp, là thỏa thuận giữa CĐT và kỹ sư thiết kế.

10.1.2 Ảnh hưởng do địa điểm xây dựng của điều kiện nền

Địa tầng tại một khu vực dự án cụ thể có tác động lớn đến độ lớn của gia tốc địa chấn của nền mà một công trình phải chịu. Thông thường, địa tầng yếu bên dưới công trình sẽ khuếch đại cường độ của gia tốc nền ở bề mặt.

Các thành phần chu kỳ dài (tần số thấp) của một trận động đất thường được khuếch đại trong các lớp đất yếu do cộng hưởng với chu kỳ tự nhiên của đất. Các trường hợp này đặc biệt ảnh hưởng đến nhà cao tầng vì có chu kỳ cơ bản thường dài hơn (tần số cơ bản thấp).

Các vấn đề khác liên quan đến điều kiện đất nền tại một địa điểm cụ thể bao gồm sụt lún đất, sự cố kết của đất rồi dẫn đến lún tổng thể và chênh lún, và hiện tượng hóa lỏng của đất. Tùy thuộc vào đỉnh gia tốc nền dự kiến của một vị trí và các đặc điểm của địa tầng bên dưới, cần đánh giá các nguy cơ địa chấn cụ thể tại địa điểm xây dựng. Những đánh giá như vậy sẽ kiểm tra các đặc trưng của đất tại vị trí phía trên lớp đá gốc và vị trí của các đứt gãy địa chấn đã biết có thể có tác động đến địa điểm công trình.

Hóa lỏng là hiện tượng liên quan đến sự cố kết của các loại đất rời, trong đó quá trình lún xảy ra trong thời gian rất ngắn, gây ra sự tăng đột ngột áp lực nước lỗ rỗng. Kết quả là, ứng suất hiệu quả giảm về 0 và đất dễ dàng chuyển sang thể lỏng, sau đó sẽ mất khả năng chịu lực. Các loại đất có cấp phối kém và đất lấp có nguy cơ bị hóa lỏng cao nhất và trong những trường hợp như vậy, cần sử dụng các móng cọc để cho phép truyền lực dọc đến các tầng đất không bị hóa lỏng.

10.2 Tác động động đất

Thiết kế kháng chấn của nhà cao tầng yêu cầu kể đến ít nhất hai cấp động đất: động đất cấp sử dụng để kiểm tra các yêu cầu về hư hỏng và động đất lớn nhất được xem xét để đảm bảo yêu cầu không sụp đổ.

Nhìn chung, các nguy cơ động đất được mô tả trong tiêu chuẩn dưới dạng một tham số duy nhất, cụ thể là giá trị của đỉnh gia tốc nền tham chiếu liên quan đến một loại đất cụ thể và khu vực có công trình.

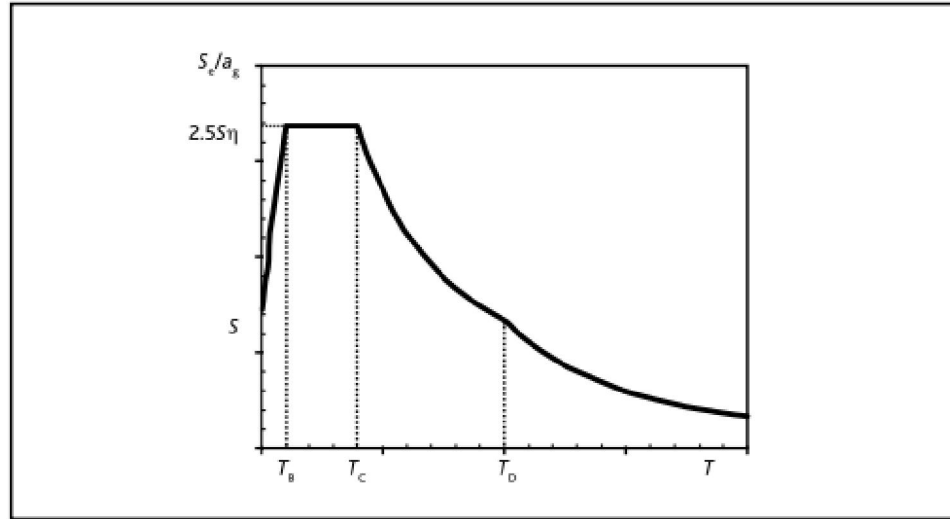
Khi xem xét đánh giá cụ thể hơn về tác động động đất, có thể tiến hành phân tích nguy cơ động đất cụ thể để xác định biên độ của các cấp động đất đó.

Cần sử dụng phân tích xác suất nguy cơ địa chấn. Ở những nơi gần đứt gãy đang hoạt động (dưới 10km) có khả năng tạo ra động đất có cường độ vượt quá M6, phân tích tiên định nguy cơ địa chấn cũng cần được sử dụng để xác định các trận động đất lớn nhất được kể đến (ví dụ, xem ASCE 7).

10.2.1 Phổ phản ứng đàn hồi

Tác động động đất được biểu diễn ở dạng cơ bản bằng chuyển động động đất tại một điểm nhất định trong phổ phản ứng gia tốc nền đàn hồi.

Thường thì hình dạng của phổ phản ứng đàn hồi được coi là giống nhau đối với hai cấp tác động địa chấn là các yêu cầu về giới hạn hư hỏng và không sụp đổ.



Hình 10.1 - Hình dạng điển hình của phổ phản ứng đàn hồi EC8.

Điều quan trọng cần lưu ý là phổ được cung cấp bởi tiêu chuẩn thường tương ứng với độ cản 5%. Trong trường hợp nhà cao tầng, giá trị này rất cao và phổ phải được khuếch đại tương ứng. Ví dụ, trong EC8, hệ số hiệu chỉnh độ cản η có thể được xác định bằng biểu thức:

$$n = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55$$

Trong đó ξ là tỷ số cản nhớt của kết cấu được biểu thị bằng phần trăm. Do đó, đối với nhà cao tầng có giá trị kỳ vọng $\xi = 2,5$, hệ số khuếch đại của phổ phải là 1,15.

Hình dạng điển hình của phổ trong các tiêu chuẩn có hai đoạn giảm (xem Hình 10.1):

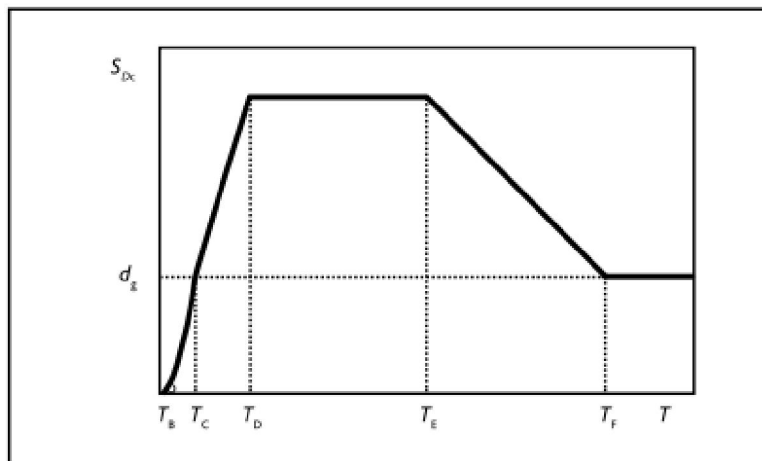
Đối với $T_C \leq T \leq T_D$, gia tốc tỷ lệ với $1/T$

Đối với $T \geq T_D$, gia tốc tỷ lệ với $1/T^2$

Ví dụ trong EC8, phụ thuộc vào loại đất, giá trị của T_C (cuối phần đi ngang) thay đổi từ 0,4 đến 1,0 (giới hạn giữa vùng gia tốc $1/T$ và $1/T^2$), giá trị $T_D = 2,0$ s.

Vì dạng giao động đầu tiên trong nhà cao tầng thường lớn hơn 2,0 s, nên dạng dao động chính của nhà cao tầng thường nằm trong vùng đường cong gia tốc $1/T^2$.

Phổ trong tiêu chuẩn thường được tính toán từ các trận động đất được ghi lại với thời gian không dài. Do đó, việc sử dụng trực tiếp phổ trong tiêu chuẩn phải được hiệu chuẩn cẩn thận. Ví dụ, EC8 cung cấp phổ phản ứng cụ thể cho các kết cấu có thời gian dao động dài như nhà cao tầng. Hình 10.2 cho thấy phổ phản ứng-chuyển vị đàn hồi được sử dụng để phân tích các kết cấu trong đó T_E thay đổi từ 4,5 đến 6,0 s tùy thuộc vào loại đất và $T_F = 10$ s. Phổ gia tốc đàn hồi có thể được suy ra trực tiếp từ phổ chuyển vị.



Hình 10.2 - Phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi cho chu kỳ dài (EC8)

Điều quan trọng là khi tăng cường độ trong khoảng chu kỳ chiếm ưu thế, phổ dịch chuyển đến các giá trị cao hơn. Hiện tượng tương tự có thể thấy khi khoảng cách từ tâm chấn tăng lên và khi nền mềm hơn (Kalkan và Chopra 2010). Do đó, các nhà cao tầng nhạy cảm hơn với các trận động đất cường độ cao ở khoảng cách xa, đặc biệt là khi nền đất yếu.

10.2.2 Lịch sử thời gian

Chuyển động động đất cũng có thể được biểu diễn dưới dạng quan hệ lịch sử thời gian của gia tốc nền và các đại lượng liên quan: vận tốc và chuyển vị.

Tùy thuộc vào loại hình áp dụng và dữ liệu sẵn có, việc mô hình chuyển động động đất có thể được tạo ra bằng cách sử dụng các giản đồ gia tốc nhân tạo và các giản đồ gia tốc được ghi lại hoặc được mô phỏng. Trong trường hợp giản đồ gia tốc nhân tạo, khoảng thời gian của giản đồ phải phù hợp với cường độ và các đặc điểm liên quan khác của trận động đất. Việc lựa chọn và sửa đổi các giản đồ gia tốc dùng cho các phân tích động lực học là một nhiệm vụ quan trọng phải được thực hiện bởi các chuyên gia về kỹ thuật kháng chấn. EC8 và cụ thể hơn là trong Hướng dẫn thiết kế kháng chấn dựa trên tính năng của nhà cao tầng do TBI biên soạn cung cấp các hướng dẫn cho quy trình này.

10.3 Thiết kế cơ sở cho kháng chấn nhà cao tầng

10.3.1 Bố trí công trình

Đối với tất cả các công trình và đặc biệt là nhà cao tầng, các quyết định về kiến trúc có tác động lớn đến an toàn và tính năng chịu động đất.

Trong các khu vực có hoạt động địa chấn, nên bố trí nhà và hệ chịu lực của chúng một cách rõ ràng và đơn giản. Việc bố trí các phần tử kết cấu phải được sắp xếp với sự đều đặn và đường dẫn tải rõ ràng để tránh sự không chắc chắn và khó khăn trong phân tích. Do đó nên tránh các dạng hình học và bố trí có ứng xử phức tạp.

Chúng bao gồm:

- Thay đổi lớn về độ cứng của nhà
- Thay đổi lớn về khối lượng nhà
- Thay đổi bố trí các cấu kiện giằng từ sàn này sang sàn khác
- Tương tác của hai hoặc nhiều tháp với cùng một khối đế
- Việc chuyển đáng kể vị trí cột giữa các tầng
- Lực cắt theo phương ngang do trọng lực gây ra bởi độ lệch tâm của mặt bằng
- Khả năng kết nối hạn chế của các cấu kiện giằng với tấm sàn cứng.

Không phải lúc nào cũng có thể tránh được các bố trí nói trên. Tuy nhiên, việc tránh sử dụng chúng sẽ mang đến mức độ tin cậy cao hơn trong việc dự đoán ứng xử kết cấu. Nói chung, khi hệ thống kết cấu trở nên phức tạp hơn, sự không chắc chắn trong việc dự đoán phản ứng của kết cấu sẽ càng cao.

Như một công cụ thiết kế cho các kiến trúc sư và kỹ sư, chương 5 của FEMA 454 cung cấp các phương pháp khả thi để kết hợp ý tưởng kiến trúc và ứng xử kháng chấn phù hợp.

10.3.2 Phân cấp tính năng kết cấu

Bước đầu tiên trong thiết kế kháng chấn là phải xác định các khu vực hoặc cấu kiện mà phản ứng phi tuyến được dự đoán. Đối với kết cấu khung hoặc khung có giằng, khuyến khích việc chảy dẻo được phân bố đều theo chiều cao hơn là việc chảy dẻo tập trung ở một trong một vài tầng. Kết cấu vách lõi được sử dụng nhằm hướng tới việc chảy dẻo tại dầm nối lỗ mở trên toàn bộ chiều cao của nhà và chảy dẻo của vách ở móng của chúng.

Thiết kế sơ bộ còn nhằm mục đích làm cho chảy dẻo xảy ra trong các cấu kiện có khả năng ứng xử dẻo một cách đáng tin cậy. Các dạng ứng xử không đàn hồi mong muốn bao gồm:

- Chảy dẻo do uốn trong dầm, sàn, móng của vách BTCT và trong dầm nối lỗ mở được thiết kế cốt thép thông thường với tỷ lệ kích thước tương đối mảnh
- Chảy dẻo của cốt thép xiên trong dầm nối lỗ mở
- Chảy dẻo của các cấu kiện bằng thép chịu kéo như giằng thép
- Chảy dẻo trong khớp dẻo định hướng (ductile fuse) hoặc thiết bị tiêu tán năng lượng.

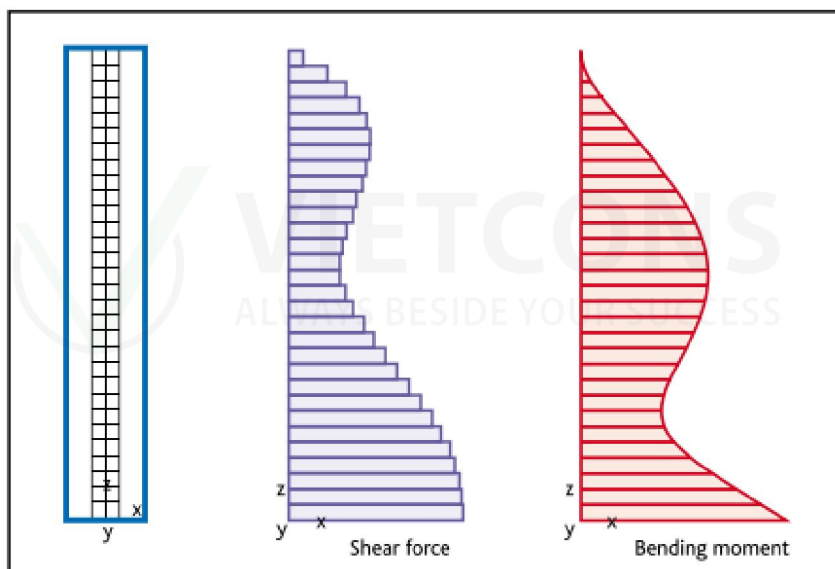
10.3.3 Ứng xử động kháng chấn của nhà cao tầng

Tải trọng gió thường là tác động chi phối trong nhà cao tầng ngay cả trong các khu vực có hoạt động địa chấn. Trong các khu vực có động đất vừa phải, một công trình được thiết kế để có ứng xử phù hợp với tác động gió chỉ cần những điều chỉnh nhỏ nhưng cần thiết để có thể ứng xử thích hợp với tác động của động đất.

Ngay cả ở những khu vực có hoạt động địa chấn mạnh, yêu cầu chịu lực về gió vẫn có thể lớn hơn Động đất theo yêu cầu cấp sử dụng hoặc, đối với một số cấu kiện, thậm chí là yêu cầu chịu lực cho dao động do trận động đất lớn nhất được xem xét. Ngoài ra, mômen lật do gió có thể lớn hơn mômen lật do động đất khi xác định giới hạn dưới về cường độ của hệ kết cấu. Do đó, tính năng kháng gió cần được đánh giá song song với phân tích kháng chấn.

Một trong những đặc điểm cụ thể của ứng xử kháng chấn trong nhà cao tầng là ảnh hưởng lớn của các dạng dao động bậc cao. Kinh nghiệm thiết kế truyền thống cho nhà thấp tầng chủ yếu tập trung vào dạng dao động đầu tiên khi kiểm tra các yêu cầu về cường độ. Đối với nhà cao tầng, dạng dao động thứ hai hoặc thậm chí thứ ba có thể có mức độ quan trọng bằng, nếu không muốn nói là hơn, đối với thiết kế tổng thể.

Như minh họa trong Hình 10.3, ảnh hưởng của các dạng dao động bậc cao này có thể dẫn đến các giá trị lớn về uốn cũng như lực cắt ở các vị trí cách xa so với đáy công trình.



Hình 10.3 - Phản ứng đàn hồi địa chấn của công trình nhà cao 135m với một lõi trung tâm.

10.4 Phân tích kháng chấn

Có thể sử dụng các cách phân tích khác nhau cho các cấp độ và yêu cầu thiết kế khác nhau. Cần sử dụng mô hình 3D để xác định được các hiệu ứng chuyển vị tịnh tiến cũng như xoắn.

Phân tích đàn hồi và phân tích lịch sử- ứng xử tuyến tính thích hợp để đánh giá giới hạn về sử dụng, vì ứng xử của các cấu kiện nhỏ hơn các giá trị gây ra chảy dẻo.

Cần có phân tích lịch sử- ứng xử phi tuyến để đánh giá yêu cầu chống sụp đổ (trạng thái cực hạn). Mục tiêu của việc đánh giá chống sụp đổ có thể đạt được bằng cách sử dụng cách phân tích này để chứng minh rằng, trong trận động đất lớn nhất được xem xét, sự sụp đổ không xảy ra trong khi các lực và biến dạng nằm trong giới hạn chấp nhận được.

Do đó, các công cụ cơ bản để thiết kế là phổ phản ứng đàn hồi cho động đất cấp độ sử dụng và phân tích lịch sử - ứng xử phi tuyến để đánh giá khả năng không sụp đổ (trạng thái cực hạn). Phân tích phi tuyến yêu cầu kiến thức về cốt thép trong vùng không đàn hồi; do đó, việc phân tích kháng chấn đối với các tình huống không sụp đổ thường được tiến hành theo hai giai đoạn:

Giai đoạn 1: Phân tích phổ phản ứng có tính đến ứng xử phi tuyến của kết cấu bằng cách sử dụng hệ số điều chỉnh phản ứng (hệ số ứng xử). Với kết quả phân tích này, cốt thép của kết cấu sẽ được tính toán.

Giai đoạn 2: Phân tích phi tuyến sử dụng cốt thép đã được xác định trước đó. Với phân tích này, các tiêu chí tính năng của công trình sẽ được kiểm tra.

10.4.1 Mô hình hóa

Mô hình toán học của kết cấu phải thể hiện sự phân bố trong không gian của khối lượng và độ cứng. Mô hình tuyến tính phải luôn là lựa chọn đầu tiên để hiểu được ứng xử động của nhà dưới tác động của động đất.

Mô hình kết cấu tuyến tính cần kể đến các dự đoán thực tế về độ cứng để xem xét mức độ hư hỏng dự kiến. Các tham số mong đợi, trái với các đặc tính danh nghĩa, cần được sử dụng khi tính toán mô đun đàn hồi. Đối với các cấu kiện bê tông cốt thép, hầu hết các tiêu chuẩn quốc tế cung cấp hướng dẫn về các hệ số điều chỉnh độ cứng thích hợp cho các giá trị độ cứng sau nứt.

Thông thường, các tiêu chuẩn đưa ra hai bộ giá trị: một cho giai đoạn giới hạn hư hỏng (động đất mức độ sử dụng) và gió, và một cho trạng thái giới hạn cực hạn (hoặc trận động đất lớn nhất có thể xảy ra). Ví dụ, LATBSDC đưa ra các giá trị trong Bảng 10.1 cho các cường độ vật liệu dự kiến và ước tính hệ số độ cứng tương ứng.

Element	Serviceability – Damage limitation level	No-Collapse Earthquake Nonlinear Model
Structural walls	Flexural – $0.9 I_g$ Shear – $1.0 A_g$	Flexural – * Shear – $1.0 A_g$
Basement walls	Flexural – $1.0 I_g$ Shear – $1.0 A_g$	Flexural – $0.8 I_g$ Shear – $0.8 A_g$
Coupling beams	Flexural – $0.5 I_g$ Shear – $1.0 A_g$	Flexural – $0.2 I_g$ Shear – $1.0 A_g$
Diaphragm (in-plane-only)	Flexural – $0.5 I_g$ Shear – $0.8 A_g$	Flexural – $0.25 I_g$ Shear – $0.25 A_g$
Moment frame beams	Flexural – $0.7 I_g$ Shear – $1.0 A_g$	Flexural – $0.35 I_g$ Shear – $1.0 A_g$
Moment frame columns	Flexural – $0.9 I_g$ Shear – $1.0 A_g$	Flexural – $0.7 I_g$ Shear – $1.0 A_g$
Note * Nonlinear fibre elements automatically account for cracking of concrete due to the concrete zero-tension stiffness		

Bảng 10.1 - Giá trị độ cứng các cấu kiện bê tông cốt thép (2011 LATBSDC)

Trong đó:

- I_g là giá trị tổng của mômen quán tính
- A_g là giá trị tổng của diện tích bê tông

Các mô hình toán học phải chỉ ra các hiệu ứng xoắn, bao gồm cả độ lệch tâm ban đầu do sự phân bố của khối lượng và độ cứng.

Việc mô hình các nút trong khung chịu mô men phải tính toán chính xác độ cứng của nút, bao gồm cả vùng cứng nút khung.

Các sàn tấm cứng cần được kể đến trong mô hình sử dụng độ cứng thực tế. Cần mô hình rõ ràng các tấm cứng tại các vị trí có sự truyền lực lớn. Các giả định phổ biến về độ cứng tuyệt đối nói chung sẽ không dự đoán chính xác về lực truyền.

Các mô hình phân tích của kết cấu cần kể đến toàn bộ công trình, bao gồm cả sàn, cột và vách. Mô hình phải kể đến khối lượng và mômen quán tính khối lượng của các phần tử đó.

Nhà cao tầng là hệ thống động lực phức tạp. Mục tiêu quan trọng là xác định tất cả các vùng có khả năng ứng xử không đàn hồi, cho dù chúng có được xác định trong thiết kế sơ bộ như các vùng mong muốn có ứng xử không đàn hồi hay không. Một ví dụ điển hình về 'vùng không mong muốn' của ứng xử không đàn hồi là chảy dẻo do uốn của vách ở các tầng giữa hoặc tầng trên, thường do hiệu ứng dạng dao động bậc cao gây ra.

Một ví dụ khác là chảy dẻo do uốn của các cột ở các tầng giữa hoặc tầng trên của khung mô men, mặc dù cột được thiết kế để chịu uốn tốt hơn dầm. Tất cả các khu vực như trên liên quan đến khả năng xảy ra ứng xử phi tuyến phải được cấu tạo để có độ dẻo.

Cần mô hình hóa tất cả các phần tử kết cấu có thể xảy ra suy giảm độ bền đáng kể để tính đến khả năng hư hỏng.

Độ cản là thước đo khả năng tiêu tán năng lượng tự nhiên của công trình nhà thông qua một loạt các cơ chế bao gồm:

- Nội ma sát tại các nút kết cấu
- Ma sát giữa kết cấu và các thành phần kiến trúc và phụ kiện
- Chảy dẻo cục bộ của các phần tử kết cấu khi công trình bị uốn khi chịu tải trọng động.

Nói một cách dễ hiểu, mức độ độ cản trong một công trình nhà là khả năng dập tắt biên độ dao động của nó theo thời gian.

Các giá trị độ cản điển hình được khuyến khích cho nhà bê tông cốt thép khi chịu các trận động đất cực hạn là 5% độ cản tới hạn; bao gồm sự hấp thụ năng lượng do khớp dẻo và độ cản thực tế có sẵn của kết cấu trong phạm vi đàn hồi của nó. Các giá trị được sử dụng trong phân tích sẽ phụ thuộc vào loại phân tích được thực hiện. Ví dụ: đối với phân tích lịch sử thời gian phi tuyến, thành phần hấp thụ năng lượng được tính toán một cách rõ ràng và giá trị cho phép được tính riêng cho độ cản nội tại của công trình nhà, thường vào khoảng 2,5%.

10.4.2 Phân tích dạng dao động phổ phản ứng

Phân tích phổ phản ứng đàn hồi là thích hợp nếu yêu cầu sức kháng của mỗi cấu kiện kết cấu nhỏ hơn cường độ danh nghĩa của nó và nói chung áp dụng đối với trạng thái giới hạn hư hỏng: đánh giá ở giới hạn sử dụng.

Khi sử dụng phân tích dạng dao động phổ phản ứng, phổ phải được điều chỉnh để xem xét giá trị thực tế của độ cản dự kiến. Hơn nữa, phải kể đến đủ số dạng dao động để đảm bảo đạt được 95% tổng khối lượng theo mỗi hướng.

Cần sử dụng phương pháp tổ hợp bậc hai hoàn chỉnh (CQC) để kết hợp các phản ứng của các dạng dao động để thể hiện phản ứng tổng thể của kết cấu xét đến tất cả các dạng dao động quan trọng. Các tác động của tải nhiều hướng cần được xem xét theo tiêu chuẩn áp dụng.

Trong nhà thông thường và trong cầu, thông thường sử dụng hệ số giảm R để gián tiếp tính đến ứng xử phi tuyến đối với các tình huống không sụp đổ. Như đã đề cập trước đây, cách tiếp cận này không thích hợp để đánh giá phản ứng phi tuyến của nhà cao tầng vì độ dẻo liên quan đến dạng dao động cơ bản thường được áp dụng cho tất cả các dạng dao động trong tính toán. Tuy nhiên, trong thực tế, phản ứng kết cấu không giống nhau ở các dạng dao động và thực sự, độ dẻo cũng không giống nhau ở tất cả các dạng dao động. Tuy nhiên, thông thường phổ phản ứng đã điều chỉnh được sử dụng để thiết kế trước cốt thép trước khi thực hiện phân tích lịch sử thời gian phi tuyến của kết cấu.

10.4.3 Phân tích tuyến tính lịch sử thời gian

Trong phân tích lịch sử thời gian, một trận động đất được ghi lại hoặc động đất nhân tạo được sử dụng làm hàm đầu vào để phân tích động lực học tổng thể của kết cấu và phản ứng của tất cả các dạng dao động đối với đầu vào thay đổi theo thời gian này được ghi lại. Vì phản ứng phụ thuộc vào thời gian nên kể đến tính đến tương tác thực sự của các dạng dao động riêng lẻ.

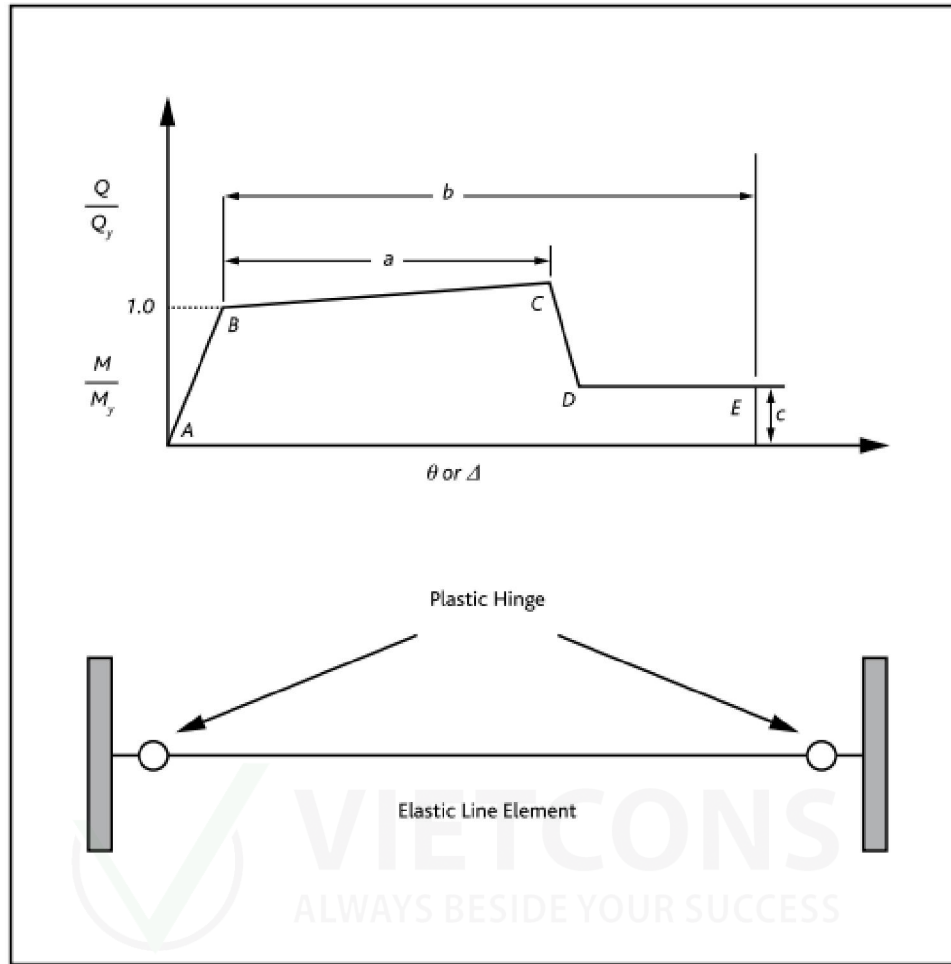
Do đặc điểm riêng của các trận động đất khác nhau, cần có một số lượng đáng kể đầu vào của dữ liệu lịch sử thời gian để đánh giá phản ứng của kết cấu đối với một loạt các sự kiện được dự kiến.

Khuyến khích thực hiện phân tích lịch sử thời gian tuyến tính trước khi thực hiện phân tích lịch sử thời gian phi tuyến, hiệu chỉnh các kết quả đàn hồi và so sánh chúng với các kết quả phổ phản ứng đàn hồi.

10.4.4 Phân tích lịch sử thời gian phản ứng phi tuyến

Phân tích lịch sử - phản ứng phi tuyến cần được sử dụng trong các đánh giá liên quan đến phản ứng phi tuyến đáng kể trong các phần tử kết cấu, và do đó là công cụ lý tưởng để đánh giá giới hạn động đất không sụp đổ. Phân tích phi tuyến cần kể đến các hiệu ứng bậc hai, có tính đến tất cả các tải trọng thẳng đứng (tĩnh tải cộng với một phần hoạt tải) hiện diện trong các trận động đất.

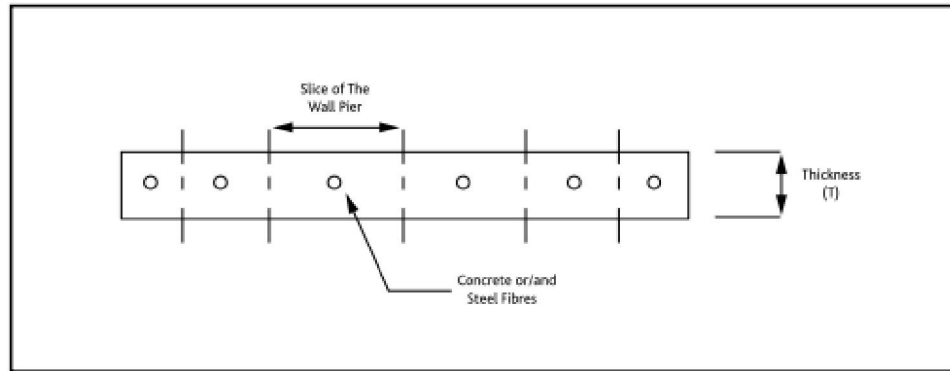
Phân tích lịch sử thời gian phi tuyến được thực hiện để nắm bắt ứng xử sau chảy dẻo của kết cấu, sử dụng các bản ghi chuyển động nền đã chọn. Trong mô hình, phải kể đến ứng xử sau tuyến tính của các phần tử đóng góp vào độ cứng theo phương ngang. Người ta thường sử dụng một đường cong lực-biến dạng chuẩn hóa để mô hình ứng xử của các cấu kiện của khung chịu mô men.



Hình 10.4 - Quan hệ lực-biến dạng chuẩn hóa điển hình cho các phần tử bê tông của các cấu kiện và vùng phi tuyến tập trung.

Đối với dầm, có thể phản ánh sự chảy dẻo cục bộ bằng cách gán một khớp dẻo chịu mô men ở mỗi đầu. Góc quay của khớp dẻo phụ thuộc vào: hàm lượng cốt thép, lượng cốt thép ngang và bố trí cốt thép, và độ lớn của lực cắt. Trong trường hợp cột, các góc xoay dẻo cũng phụ thuộc vào độ lớn của lực dọc. ASCE 41 - 06 đưa ra các giá trị cho các góc xoay của khớp dẻo, cùng với các tiêu chí chấp nhận có tính đến cấp tính năng yêu cầu.

Để mô hình vách và lõi, thường sử dụng các phần tử thớ (fibre) (tường được chia thành các lát ở dạng phần tử dọc trục 2D rời rạc với độ không tuyến tính đồng nhất trong suốt chiều dày của chúng).



Hình 10.5 – Mặt bằng của một vách được định nghĩa bởi các phần tử thớ.

Để tính đến ảnh hưởng của cốt thép ngang trong ứng xử của bê tông hạn chế nở ngang, mô hình Mander thường được sử dụng. Mô hình Mander xác định mối quan hệ ứng suất-biến dạng trong bê tông không được hạn chế và được hạn chế nở ngang; trong trường hợp thứ hai, mô hình kể đến hiệu ứng tăng cứng và sự gia tăng của các giới hạn biến dạng do cốt thép ngang.

10.4.5 Phân tích tĩnh phi tuyến

Các quy trình tĩnh phi tuyến (phân tích đẩy dần) có thể hữu ích như một biện pháp hỗ trợ thiết kế nhưng không nên dựa vào đó để định lượng ứng xử cho các nhà cao tầng. Tuy nhiên, có nhiều giá trị bên trong đối với phân tích tĩnh phi tuyến trong việc hình dung sự tiến triển của ứng xử không đàn hồi và hỗ trợ việc xác định các dạng dao động chính của phản ứng ứng xử không đàn hồi. Ngoài ra, phải kể đến đủ dạng dao động, chiếm 90% tổng khối lượng theo mỗi phương ngang.

10.4.6 Tương tác kết cấu móng-nền

Theo quan điểm địa chấn, tác động chính của hiệu ứng móng-nền là:

- Hệ thống nền móng sẽ có một số khối lượng và độ uốn ảnh hưởng đến các chu kỳ tự nhiên và hình dạng dao động của toàn bộ kết cấu.
- Năng lượng dao động của kết cấu có thể được truyền xuống đất và bị tiêu tán bởi đất (độ cản vật liệu) và năng lượng bức xạ (độ cản bức xạ). Vì độ cản bức xạ thường thấp đối với móng giao động trong các chu kỳ dài, nó thường bị bỏ qua đối với các nhà cao tầng.
- Độ cứng và chiều sâu ngàm của móng ảnh hưởng đến các chuyển động động đất truyền đến công trình. Vì các sóng địa chấn không đến tất cả các điểm của móng cùng một lúc, nên có sự giảm tác động đối với các độ dài sóng ngắn hơn (thời gian ngắn hơn).

Do sự không chắc chắn trong việc xác định các thông số đất, cần tiến hành nghiên cứu về độ nhạy, sử dụng các giá trị cận trên và dưới để khảo sát ứng xử kháng chấn.

10.4.7 Chuyển vị và góc xoay mục tiêu

Cần kiểm tra các tiêu chí tính năng và việc đáp ứng các tiêu chí chấp nhận đối với tất cả các cấu kiện quan trọng của kết cấu và trong hệ thống kết cấu tổng thể.

ASCE 41-06 là tài liệu được sử dụng rộng rãi nhất, cung cấp các mức tính năng và các chỉ tiêu chấp thuận dạng bảng biểu cho các thành phần kết cấu. Ngoài ra, PEER (2010) cung cấp thông tin cơ bản để thiết lập các tiêu chí tính năng và các cách thiết lập mô hình.

10.5 Thiết kế

Như đã đề cập ở trên, do tính chất tương đối hiếm của các trận động đất thiết kế cực đoan, cho phép kể đến trong thiết kế một sự hư hỏng đáng kể cũng như thiết kế ứng xử không đàn hồi.

Triết lý này có cơ sở trong việc cho phép sự hình thành có kiểm soát của các khớp dẻo trong các bộ phận kết cấu thích hợp để cho phép công trình tiếp tục chuyển dịch ngang thông qua sự quay của các khớp mà không gây ra thêm mô men uốn hoặc lực cắt.

Do tính chất dẻo của chảy dẻo do uốn - cơ chế khớp dẻo được khuyến khích - cần hết sức cẩn thận để tránh hiện tượng chảy dẻo do cắt do có tính giòn. Khi các cơ chế phá hoại dẻo được khuyến khích, thiết kế và cấu tạo phù hợp, các phần tử kết cấu còn lại có thể được thiết kế đàn hồi với lực giảm đi.

Các hệ thống/cấu kiện cụ thể hoặc phù hợp với nhà cao tầng bao gồm lõi và vách; dầm gác (outrigger); khung có giằng và thanh lưới không gian (diagrid); kết cấu chuyển; và kết cấu khối đế/tầng hầm.

10.5.1 Lõi và vách

Lõi và vách thường là hệ thống chịu tải ngang chính trong nhiều nhà cao tầng. Một số phản ứng phi tuyến của các phần tử này được dự tính xảy ra.

Một điều kiện cần thiết trong thiết kế vách và lõi kết cấu dẻo là chảy dẻo do uốn trong các vùng dẻo được xác định rõ ràng phải kiểm soát độ bền, biến dạng không đàn hồi và tiêu tán năng lượng trong kết cấu. Không được phép sử dụng cơ cấu phá hoại giòn hoặc những cơ cấu có độ dẻo hạn chế. Nguồn tiêu tán năng lượng chính trong vách lõi phải là chảy dẻo của cốt thép chịu uốn trong các vùng khớp dẻo; thông thường, nhưng không giới hạn, là ở móng tường. Chảy dẻo do uốn của dầm nổi lõ mở cũng cung cấp khả năng hấp thụ năng lượng.

Các dạng hư hỏng cần được ngăn ngừa là do nén xiên gây ra bởi lực cắt, sự mất ổn định của các tiết diện thành mỏng hoặc của cốt thép chịu nén chính, trượt cắt dọc theo các mạch ngừng thi công và phá hoại cắt hoặc bám dính dọc theo các mối nối chồng hoặc neo cốt thép.

Nếu lực cắt là hiệu ứng chi phối thì ứng xử của vách như vậy khi phản ứng với tải trọng lặp đảo chiều sẽ được đặc trưng bởi sự giảm đều của cường độ và khả năng tiêu tán năng lượng.

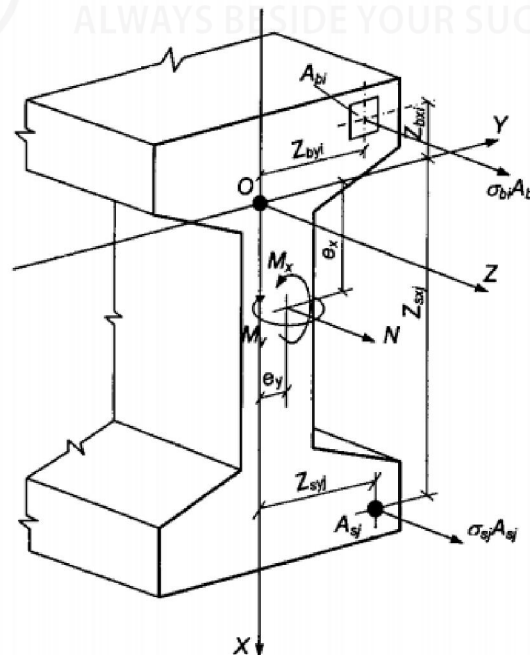
Tuy nhiên, vách được thiết kế cho độ dẻo chịu uốn và được bảo vệ chống lại phá hoại cắt cho thấy ứng xử được cải thiện đáng kể. Cần lưu ý rằng lực cắt tại chân của một công trình được tính toán bằng phân tích lịch sử - ứng xử phi tuyến có thể vượt quá đáng kể so với lực cắt được tính bằng phân tích phổ phản ứng tuyến tính.

Dưới đây, trình bày cách tính toán cốt thép của lõi, vách

1) *Tính toán độ bền tiết diện thẳng góc theo mô hình biến dạng phi tuyến*

Khi tính toán độ bền thì nội lực và biến dạng trong tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện được xác định dựa trên mô hình biến dạng phi tuyến có sử dụng các phương trình cân bằng ngoại lực và nội lực trong tiết diện cấu kiện, cũng như dựa trên các giả thiết sau:

- Sự phân bố biến dạng tương đối của bê tông và cốt thép theo chiều cao tiết diện cấu kiện được lấy theo quy luật tuyến tính (giả thiết tiết diện phẳng);
- Quan hệ giữa ứng suất dọc trục và biến dạng tương đối của bê tông và cốt thép được lấy theo biểu đồ biến dạng của bê tông và cốt thép;
- Cường độ chịu kéo của bê tông vùng chịu kéo cho phép không cần kể đến, với ứng suất $\sigma_{bi} = 0$ khi $\varepsilon_{bi} > 0$. Trong các trường hợp riêng (ví dụ, các kết cấu bê tông chịu uốn và chịu nén lệch tâm, mà trong đó không cho phép có vết nứt), thì tính toán độ bền được tiến hành có kể đến sự làm việc của bê tông chịu kéo.



Hình 10-6: Sơ đồ tính toán tiết diện thẳng góc của cấu kiện BTCT

Để tính nội lực tổng quát từ biểu đồ ứng suất trong bê tông thì sử dụng quy trình tích phân số các ứng suất trên tiết diện thẳng góc. Để làm được điều này, tiết diện thẳng góc được quy ước chia ra thành nhiều phần nhỏ: khi nén (kéo) lệch tâm xiên và uốn xiên - theo chiều cao và

chiều rộng tiết diện; khi nén (kéo) lệch tâm và uốn trong mặt phẳng chứa trục đối xứng của tiết diện ngang của cầu kiện - chỉ theo chiều cao tiết diện, ứng suất trong phạm vi các phần nhỏ này được coi như phân bố đều (lấy trung bình).

Khi tính toán cầu kiện theo mô hình biến dạng, sử dụng:

- Giá trị của lực nén dọc trục, cũng như của ứng suất nén và biến dạng co ngắn của bê tông và cốt thép, lấy với dấu "trừ";
- Giá trị của lực kéo dọc trục, cũng như của ứng suất kéo và biến dạng dãn dài của bê tông và cốt thép, lấy với dấu "cộng".

Các dấu của tọa độ các trọng tâm của các thanh cốt thép và các phần bê tông tách ra, cũng như các điểm đặt lực dọc lấy phù hợp với hệ tọa độ đã lựa chọn XOY. Trong trường hợp tổng quát, gốc tọa độ của hệ này (điểm O trên Hình 10-10-6) nằm tại vị trí bất kỳ trong phạm vi tiết diện ngang của cầu kiện.

Khi tính toán tiết diện thẳng góc theo độ bền trong trường hợp tổng quát (xem Hình 10-10-6) thì sử dụng:

- Các phương trình cân bằng ngoại lực và nội lực trong tiết diện thẳng góc của cầu kiện:

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{sxj} \quad (10-1)$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj} \quad (10-2)$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} \quad (10-3)$$

- Các phương trình xác định sự phân bố biến dạng trên tiết diện cầu kiện:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} Z_{byi} \quad (10-4)$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r_x} Z_{sxi} + \frac{1}{r_y} Z_{syi} \quad (10-5)$$

- Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng tương đối của bê tông và cốt thép

$$\sigma_{bi} = E_b \nu_{bi} \varepsilon_{bi} \quad (10-6)$$

$$\sigma_{sj} = E_s \nu_{sj} \varepsilon_{sj} \quad (10-7)$$

Trong các phương trình từ (10-1) đến (10-7):

- M_x, M_y là các mô men uốn do ngoại lực đối với các trục tọa độ đã chọn nằm trong phạm vi tiết diện ngang của cầu kiện (lần lượt tác dụng trong các mặt phẳng XOZ và YOZ hoặc song song với chúng), được xác định theo các công thức:

$$M_x = M_{xd} + Ne_x \quad (10-8)$$

$$M_y = M_{yd} + Ne_y \quad (10-9)$$

ở đây:

- M_{xd}, M_{yd} là các mô men uốn trong các mặt phẳng tương ứng do ngoại lực, được xác định từ tính toán tĩnh học kết cấu;
- N là lực dọc do ngoại lực;
- e_x, e_y là các khoảng cách từ điểm đặt lực dọc N đến các trục đã chọn tương ứng;
- $A_{bi}, Z_{bxi}, Z_{byi}, \sigma_{bi}$ là diện tích, tọa độ trọng tâm phần bê tông thứ i và ứng suất tại mức trọng tâm của nó;
- $A_{sj}, Z_{sxj}, Z_{syj}, \sigma_{sj}$ là diện tích, tọa độ trọng tâm thanh cốt thép thứ j và ứng suất trong nó;
- ε_0 là biến dạng tương đối của thớ nằm tại giao điểm các trục đã chọn (điểm O);
- $1/r_x, 1/r_y$ là độ cong của trục dọc tại tiết diện ngang đang xét của cầu kiện trong các mặt phẳng tác dụng của các mô men M_x và M_y ;
- E_b là mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông;
- E_{sj} là mô đun đàn hồi của thanh cốt thép thứ j ;
- ν_{bi} là hệ số đàn hồi của phần bê tông thứ i ;
- ν_{sj} là hệ số đàn hồi của thanh cốt thép thứ j .
- Các hệ số ν_{bi} và ν_{sj} lấy theo các biểu đồ biến dạng tương ứng của bê tông và của cốt thép nêu trong mục **Error! Reference source not found.** và **Error! Reference source not found.**

Giá trị các hệ số ν_{bi} và ν_{sj} được xác định bằng tỉ số giữa các giá trị ứng suất và biến dạng đối với các điểm đang xét của các biểu đồ biến dạng tương ứng của bê tông và cốt thép đã chọn trong tính toán, chia cho mô đun đàn hồi của bê tông E_b và cốt thép E_s (với biểu đồ biến dạng hai đoạn thẳng của bê tông - chia cho mô đun biến dạng quy đổi của bê tông chịu nén $E_{b,red}$). Khi đó, sử dụng các quan hệ “ứng suất - biến dạng” từ **Error! Reference source not found.** đến **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.** và **Error! Reference source not found.** trên các đoạn đang xét của các biểu đồ biến dạng.

$$\nu_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_{bi}\varepsilon_{bi}} \quad (10-10)$$

$$\nu_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj}\varepsilon_{sj}} \quad (10-11)$$

Tính toán tiết diện thẳng góc của các cấu kiện bê tông cốt thép theo độ bền được tiến hành theo các điều kiện:

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b,u} \quad (10-12)$$

$$|\varepsilon_{s,max}| \leq \varepsilon_{s,u} \quad (10-13)$$

trong đó:

- $\varepsilon_{b,max}$ là biến dạng tương đối của thớ bê tông chịu nén nhiều nhất trong tiết diện thẳng góc của cấu kiện do tác dụng của ngoại lực;
- $\varepsilon_{s,max}$ là biến dạng tương đối của thanh cốt thép chịu kéo nhiều nhất trong tiết diện thẳng góc của cấu kiện do tác dụng của ngoại lực;
- $\varepsilon_{b,u}$ là giá trị giới hạn của biến dạng tương đối của bê tông chịu nén;
- $\varepsilon_{s,u}$ là giá trị giới hạn của biến dạng giãn dài tương đối của cốt thép.

Đối với các cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của các mô men uốn theo hai phương và lực dọc (Hình 10-10-6) thì biến dạng của bê tông $\varepsilon_{b,max}$ và của cốt thép $\varepsilon_{s,max}$ tại tiết diện thẳng góc có hình dạng bất kỳ được xác định từ việc giải hệ các phương trình (10-10) đến (10-13) có sử dụng các phương trình (10-4) và (10-5).

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{12} \frac{1}{r_y} + D_{13} \varepsilon_0 \quad (10-14)$$

$$M_y = D_{12} \frac{1}{r_x} + D_{22} \frac{1}{r_y} + D_{23} \varepsilon_0 \quad (10-15)$$

$$N = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{23} \frac{1}{r_y} + D_{33} \varepsilon_0 \quad (10-16)$$

Các đặc trưng độ cứng D_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) trong hệ các phương trình từ (10-14) đến (10-16) được xác định theo các công thức:

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi}^2 E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj}^2 E_{sj} v_{sj} \quad (10-17)$$

$$D_{22} = \sum_i A_{bi} Z_{byi}^2 E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{syj}^2 E_{sj} v_{sj} \quad (10-18)$$

$$D_{12} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} Z_{byi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} Z_{syj} E_{sj} v_{sj} \quad (10-19)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} E_{sj} v_{sj} \quad (10-20)$$

$$D_{23} = \sum_i A_{bi} Z_{byi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{syj} E_{sj} v_{sj} \quad (10-21)$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} E_{sj} v_{sj} \quad (10-22)$$

Dưới đây là một số trường hợp đặc biệt:

- Đối với các cầu kiện bê tông cốt thép chỉ chịu tác dụng của các mô men uốn theo hai phương M_x và M_y (uốn xiên), thì trong phương trình (10-16) lấy $N = 0$.
- Đối với các cầu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm trong mặt phẳng đối xứng của tiết diện ngang và trục X nằm trong mặt phẳng này, thì trong các phương trình từ (10-14) đến (10-16) lấy $M_y = 0$ và $D_{12} = D_{22} = D_{23} = 0$. Trong trường hợp này, các phương trình cân bằng có dạng:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{12} \varepsilon_0 \quad (10-23)$$

$$N = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{33} \varepsilon_0 \quad (10-24)$$

- Đối với các cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn trong mặt phẳng đối xứng của tiết diện ngang và trục X nằm trong mặt phẳng này thì trong các phương trình từ (10-14) đến (10-16) lấy $N = 0$, $M_y = 0$ và $D_{12} = D_{22} = D_{23} = 0$. Trong trường hợp này, các phương trình cân bằng có dạng:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{13} \varepsilon_0 \quad (10-25)$$

$$0 = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{33} \varepsilon_0 \quad (10-26)$$

2) Ảnh hưởng của độ lệch tâm ngẫu nhiên và uốn dọc

a) Cầu kiện chịu nén đúng tâm

Khi tính toán độ bền các cầu kiện bê tông chịu lực nén dọc trục thì cần kể đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a . Độ lệch tâm e_a này lấy không nhỏ hơn:

- 1/600 của chiều dài của cầu kiện hoặc của khoảng cách giữa các tiết diện của nó được liên kết chận chuyển vị;
- 1/30 chiều cao tiết diện cầu kiện;
- 10 mm.

Đối với các cầu kiện của kết cấu siêu tĩnh, giá trị độ lệch tâm e_0 của lực dọc đối với trọng tâm của tiết diện quy đổi lấy bằng giá trị độ lệch tâm đã xác định được từ tính toán tĩnh học, nhưng không nhỏ hơn e_a .

Đối với các cầu kiện của kết cấu tĩnh định, độ lệch tâm e_0 lấy bằng tổng độ lệch tâm xác định được từ tính toán tĩnh học và độ lệch tâm ngẫu nhiên.

Khi độ mảnh của các cấu kiện $L_0/i > 14$ thì phải kể đến ảnh hưởng của uốn dọc đến khả năng chịu lực của chúng bằng cách nhân giá trị độ lệch tâm e_0 với hệ số η được xác định theo công thức.

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (10-27)$$

trong đó N_{cr} là lực tới hạn quy ước, được xác định theo công thức:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{L_0^2} \quad (10-28)$$

trong đó:

L_0 là chiều dài tính toán của cấu kiện.

D là độ cứng của cấu kiện ở trạng thái giới hạn về độ bền, cho phép xác định theo công thức:

$$D = k_b E_b I + k_s E_s I_s \quad (10-29)$$

trong đó:

E_b, E_s là mô đun đàn hồi lần lượt của bê tông và của cốt thép;

I, I_s là mô men quán tính của diện tích tiết diện lần lượt của bê tông và của toàn bộ cốt thép dọc đối với trọng tâm tiết diện ngang của cấu kiện;

$$k_s = 0,7$$

$$k_b = \frac{0,15}{\varphi_L (0,3 + \delta_e)} \quad (10-30)$$

là hệ số, kể đến ảnh hưởng của thời hạn tác dụng của tải trọng

$$\varphi_L = 1 + \frac{M_{L1}}{M_L} \quad (10-31)$$

nhưng không lớn hơn 2;

M_L là mô men đối với trọng tâm của thanh thép chịu kéo nhiều nhất hoặc chịu nén ít nhất (khi toàn bộ tiết diện chịu nén) do tác dụng của toàn bộ tải trọng;

M_{L1} là mô men đối với trọng tâm của thanh thép chịu kéo nhiều nhất hoặc chịu nén ít nhất (khi toàn bộ tiết diện chịu nén) do tác dụng của tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn;

δ_e là giá trị độ lệch tâm tương đối của lực dọc ($\delta_e = e_0/h$), lấy không nhỏ hơn 0,15 và không lớn hơn 1,5.

Cho phép giảm giá trị hệ số η để kể đến sự phân bố mô men uốn theo chiều dài cầu kiện, đặc điểm biến dạng của nó và ảnh hưởng của uốn dọc đến giá trị mô men uốn trong tiết diện tính toán bằng cách tính toán kết cấu như một hệ đàn hồi.

b) Cầu kiện chịu nén lệch tâm

Tính toán cầu kiện bê tông chịu nén lệch tâm với lực nén dọc nằm trong phạm vi tiết diện ngang của cầu kiện được tiến hành theo điều kiện:

$$N \leq R_b A_b \quad (10-32)$$

trong đó:

N là lực dọc tác dụng;

A_b là diện tích vùng chịu nén của bê tông, được xác định từ điều kiện trọng tâm của nó trùng với điểm đặt lực dọc N (có kể đến uốn dọc).

Đối với các cầu kiện tiết diện ngang chữ nhật:

$$A_b = bh \left(1 - \frac{2e_0\eta}{h} \right) \quad (10-33)$$

Bảng 10-2 – Hệ số φ khi có tác dụng dài hạn của tải trọng

L_0 / h	6	10	15	20
φ	0,92	0,90	0,80	0,60
<i>Ghi chú: Đối với các giá trị trung gian của L_0 / h thì lấy các giá trị của φ theo nội suy tuyến tính.</i>				

Cho phép tính toán các cầu kiện chịu nén lệch tâm tiết diện chữ nhật với độ lệch tâm của lực dọc $e_0 \leq h/30$ và $L_0 \leq 20h$ theo điều kiện:

$$N \leq \varphi R_b A \quad (10-34)$$

trong đó:

A là diện tích tiết diện ngang của cầu kiện;

φ là hệ số, phụ thuộc vào độ mảnh của cầu kiện, lấy như sau:

Khi có tác dụng dài hạn của tải trọng: theo **Bảng** ;

Khi có tác dụng ngắn hạn của tải trọng: xác định theo quy luật tuyến tính với $\varphi = 0,9$ khi $L_0 / h = 10$ và $\varphi = 0,85$ khi $L_0 / h = 20$;

L_0 là chiều dài tính toán của cầu kiện, được xác định như đối với cầu kiện bê tông cốt thép.

$$N \leq \frac{R_{bt} A}{\frac{A}{I} e_0 \eta y_t - 1} \quad (10-35)$$

Đối với cầu kiện tiết diện ngang chữ nhật thì điều kiện (10-35) có dạng:

$$N \leq \frac{R_{bt} b h}{\frac{6 e_0 \eta}{h} - 1} \quad (10-36)$$

Trong các điều kiện (10-35) và (10-36):

A là diện tích tiết diện ngang của cầu kiện bê tông;

I là mô men quán tính của tiết diện cầu kiện bê tông đối với trọng tâm của nó;

y_t là khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cầu kiện đến thớ chịu kéo nhiều nhất;

η là hệ số uốn dọc, xác định theo công thức (10-27).

Khi tính toán các cầu kiện bê tông chịu nén lệch tâm khi lực nén dọc trục nằm ngoài phạm vi tiết diện ngang của cầu kiện được tiến hành theo các điều kiện (10-35) và (10-36).

Tính toán cốt thép ngang

Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép chịu cắt theo dải bê tông giữa các tiết diện nghiêng được tiến hành theo điều kiện:

$$Q \leq \varphi_{b1} R_b b h_0 \quad (10-37)$$

trong đó:

Q là lực cắt trong tiết diện thẳng góc của cầu kiện;

φ_{b1} là hệ số, kể đến ảnh hưởng của đặc điểm trạng thái ứng suất của bê tông trong dải nghiêng, lấy bằng 0,3.

Tính toán cầu kiện bê tông chịu uốn theo tiết diện nghiêng (**Hình**) được tiến hành theo điều kiện:

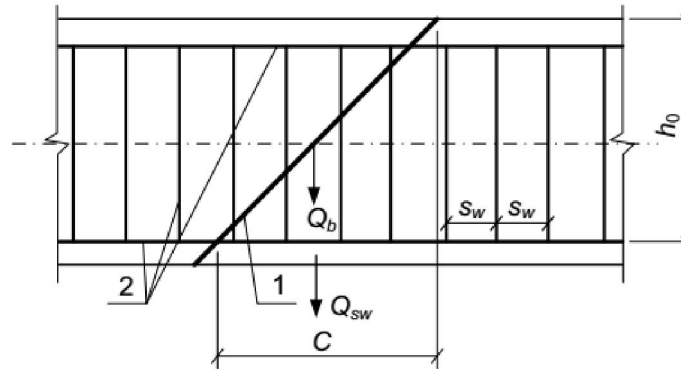
$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (10-38)$$

trong đó:

Q là lực cắt trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu C lên trục dọc cầu kiện, được xác định do tất cả các ngoại lực nằm ở một phía của tiết diện nghiêng đang xét; khi đó, cần kể đến tác dụng nguy hiểm nhất của tải trọng trong phạm vi tiết diện nghiêng;

Q_b là lực cắt chịu bởi bê tông trong tiết diện nghiêng;

Q_{sw} là lực cắt chịu bởi cốt thép ngang trong tiết diện nghiêng.



Chú dẫn: 1 - Tiết diện nghiêng; 2 - Cốt thép

Hình 10-7: Sơ đồ nội lực khi tính toán cầu kiện BTCT theo tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt

Lực cắt Q_b được xác định theo công thức:

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{C} \quad (10-39)$$

nhưng không lớn hơn $2,5 R_{bt} b h_0$ và không nhỏ hơn $0,5 R_{bt} b h_0$.

trong đó: φ_{b2} là hệ số, kể đến ảnh hưởng của cốt thép dọc, lực bám dính và đặc điểm trạng thái ứng suất của bê tông nằm phía trên vết nứt xiên, lấy bằng 1,5.

Lực cắt Q_{sw} đối với cốt thép ngang nằm vuông góc với trục dọc cầu kiện được xác định theo công thức:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} C \quad (10-40)$$

trong đó:

φ_{sw} là hệ số, kể đến sự suy giảm nội lực dọc theo chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C , lấy bằng 0,75;

q_{sw} là lực trong cốt thép ngang trên một đơn vị chiều dài cầu kiện, được xác định theo công thức:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{S_w} \quad (10-41)$$

Cần tiến hành tính toán đối với một loạt tiết diện nghiêng, nằm dọc theo chiều dài cầu kiện, với chiều dài nguy hiểm nhất của hình chiếu tiết diện nghiêng C . Khi đó, chiều dài hình chiếu C trong công thức (10-39) lấy không nhỏ hơn h_0 và không lớn hơn $2h_0$.

Ảnh hưởng của ứng suất nén và kéo do lực dọc trong vách gây ra khi tính toán dải bê tông giữa các tiết diện nghiêng và khi tính toán các tiết diện nghiêng cần được kể đến hệ số φ_n mà về phải của các điều kiện (10-37), (10-39) phải nhân vào.

Giá trị hệ số φ_n lấy bằng

$1 + \frac{\sigma_m}{R_b}$	khi	$0 \leq \sigma_m \leq 0,25R_b$
1,25	khi	$0,25R_b \leq \sigma_m \leq 0,75R_b$
$5 \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_b} \right)$	khi	$0,75R_b \leq \sigma_m \leq R_b$
$1 - \frac{\sigma_t}{2R_{bt}}$	khi	$0 \leq \sigma_t \leq R_{bt}$

trong đó:

σ_m là ứng suất nén trung bình trong bê tông do tác dụng của lực dọc, lấy dấu “dương”.

Đại lượng σ_m tính bằng ứng suất trung bình trong tiết diện cấu kiện có kể đến cốt thép;

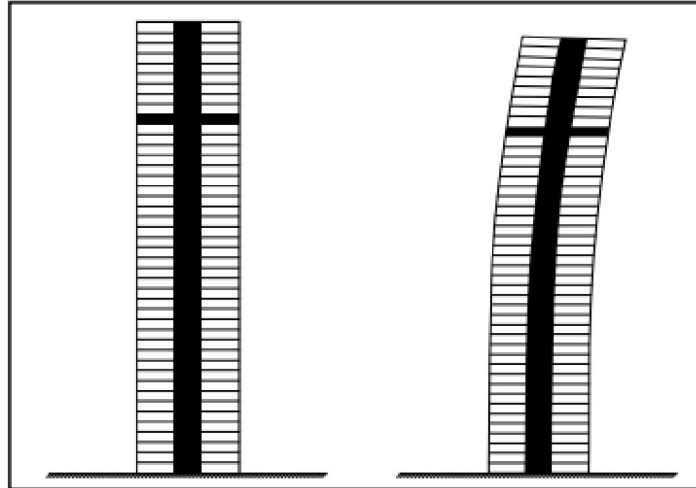
σ_t là ứng suất kéo trung bình trong bê tông do tác dụng của lực dọc, lấy dấu “dương”.

Cho phép xác định các đại lượng σ_m và σ_t mà không kể đến cốt thép khi hàm lượng cốt thép dọc không quá 3 %.

10.5.2 Hệ thống dầm gánh (Outrigger)

Hệ thống dầm gánh (Outrigger) thường được sử dụng như một phần của hệ thống chịu lực ngang của nhà cao tầng và thường bao gồm dầm / tường bê tông chiều cao lớn, hoặc giàn bê tông hoặc thép kết nối lõi trung tâm với hệ thống kết cấu chu vi. Đối với các phần tử dầm gánh, đòi hỏi yêu cầu cao về chịu cắt và/hoặc nén/kéo, mang lại ít điều kiện để xảy ra chảy dẻo do uốn, dẫn đến vấn đề lo ngại về phá hoại giòn của các dầm gánh. Độ dẻo có sẵn không đáng tin cậy hoặc không nhất quán và các loại công trình như vậy yêu cầu phân tích chi tiết, cụ thể để thiết lập ứng xử dẻo của các phần tử đó.

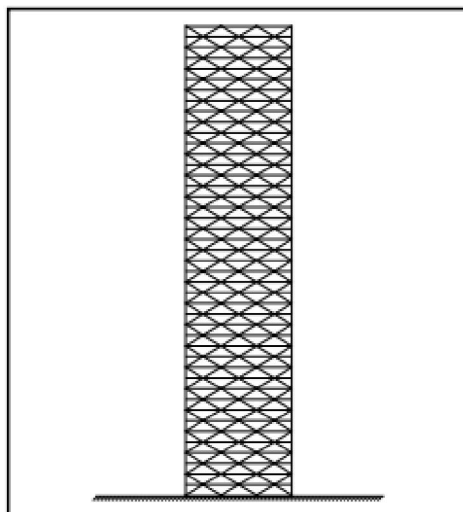
Một vấn đề gặp phải khi sử dụng dầm gánh là sự thay đổi của lực kéo-nén được chuyển sang các cột biên khi tính năng thực của dầm gánh khác xa với ứng xử đàn hồi.



Hình 10.8 – Sự không chắc chắn của các lực dọc trục trong các cột biên trong trường hợp ứng xử phi tuyến của dầm gánh.

10.5.3 Hệ thanh lưới không gian (diagrid)

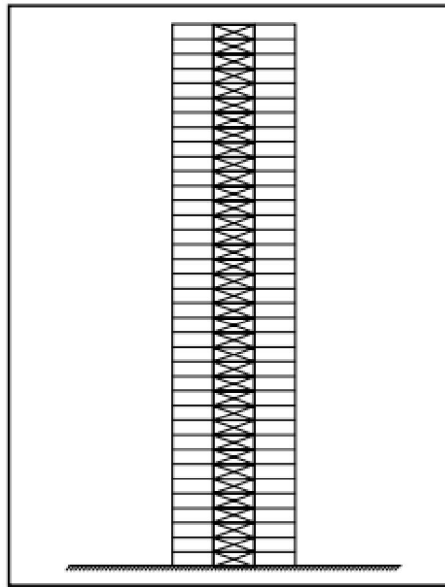
Các hệ thanh lưới không gian, tương tự như các dầm gánh, ứng xử chủ yếu ở lực nén và lực kéo dọc trục. Bất kỳ sự tiêu tán năng lượng địa chấn nào sẽ chủ yếu xảy ra thông qua ứng xử uốn và ứng xử sau mất ổn định/chảy dẻo do kéo của các cấu kiện xiên. Khi tải ngang và tải trọng thẳng đứng được chịu bởi cùng các cấu kiện, sẽ có một độ dẻo giới hạn mà không ảnh hưởng đến khả năng chịu lực thẳng đứng. Không giống như các hệ thống dầm gánh, các hệ thanh lưới không gian thường có các đường dẫn tải dự phòng, giúp chúng hiệu quả hơn các hệ thống dầm gánh trong việc chịu được các tác động địa chấn. Các hệ này cần được phân tích cụ thể để kiểm tra ứng xử phi tuyến của chúng.



Hình 10.9 - Hệ thống thanh lưới không gian.

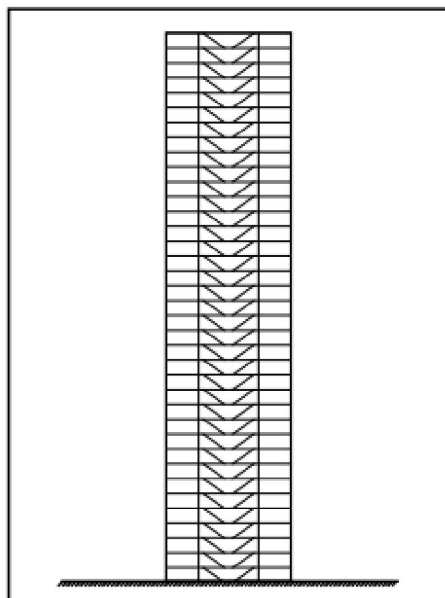
10.5.4 Khung giằng

Khung giằng được phân loại là giằng đồng tâm hoặc giằng lệch tâm, phụ thuộc vào việc các phần tử giằng có kết nối trực tiếp với nhau tại các mối nối hay không.



Hình 10.10 - Hệ giằng đồng tâm.

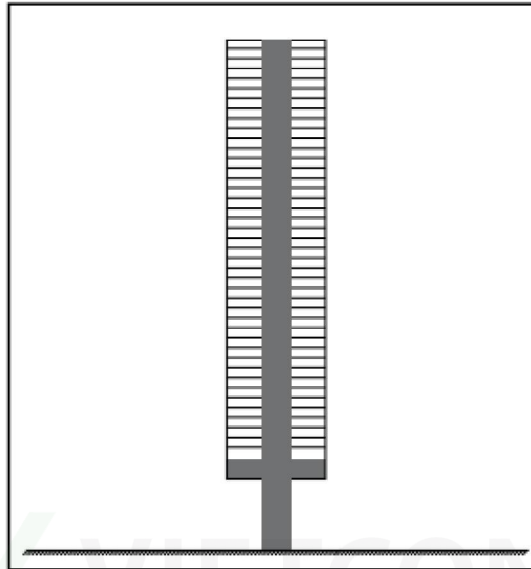
Khung giằng đồng tâm có độ dẻo hạn chế do ứng xử chủ yếu của chúng là dọc trục, trong khi các khung giằng lệch tâm tạo ra mômen uốn cục bộ. Bằng độ lệch tâm đó, lợi thế được tận dụng bởi các đoạn dẻo ngăn giữa các đầu của các cấu kiện giằng. Các đầu đó cung cấp độ dẻo đáng kể, cho phép các phần tử giằng vẫn đàn hồi trong khi xảy ra hiện tượng chảy dẻo không đàn hồi đáng kể của khớp dẻo định hướng (ductile fuse).



Hình 10.11 - Hệ giằng lệch tâm.

10.5.5 Kết cấu chuyển

Kết cấu chuyên thường là các phần tử chịu lực cắt lớn dưới tải trọng thẳng đứng; sự phá hoại của chúng có thể dẫn đến sự sụp đổ không cân xứng của kết cấu được đỡ. Các phần tử này phải được thiết kế để đảm bảo duy trì khả năng chịu tải theo phương thẳng đứng của chúng dưới biến dạng dự kiến do động đất và không được tham gia vào khả năng chịu tải ngang của kết cấu. Do đó, ứng xử kháng chấn của nó về cơ bản nên nằm trong phạm vi đàn hồi.



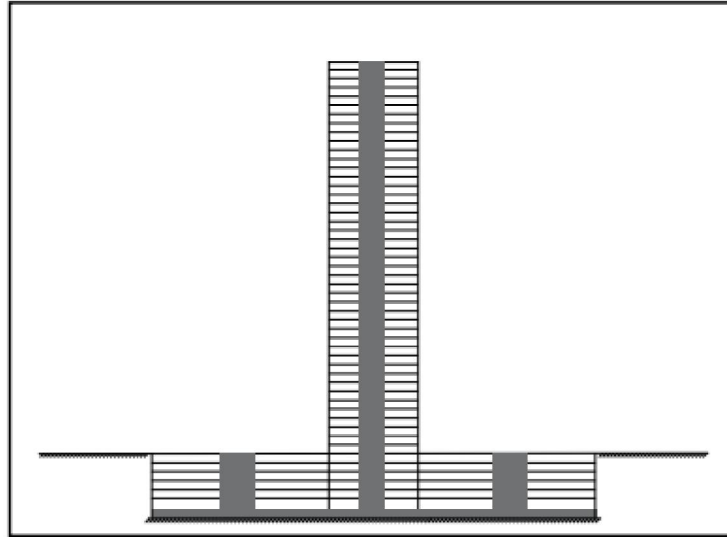
Hình 10.12 - Các kết cấu chuyên.

10.5.6 Khối đế và tầng hầm

Kết cấu khối đế và tầng hầm thường được đặc trưng bởi độ cứng lớn của chúng.

Sự gia tăng đột ngột về độ cứng này ở gần chân kết cấu có thể tạo ra các lực tác động rất đáng kể lên hệ thống chịu tải ngang chính của nhà cao tầng, dẫn đến sự đảo chiều lực cắt lớn tại mặt tiếp giáp, có thể làm tăng đáng kể lực thiết kế.

Các sàn tấm cứng có thể cần được tăng cường độ bền để tính đến các lực và lực cắt bổ sung này.



Hình 10.13 - Hiệu ứng của khối đế và tầng hầm.

Việc kết hợp hai công trình nhà cao tầng với kết cấu chung khối đế cũng có thể tạo ra tải trọng đáng kể trong khối đế, nếu nhà di chuyển lệch pha.

Các kết cấu khối đế và tầng hầm cũng làm tăng độ cứng của công trình nhà, dẫn đến các chu kỳ cơ bản thấp hơn và sau đó là lực cắt đáy cao hơn. Tầng hầm thường đủ lớn để các lực tác động lên tường tầng hầm nằm trong phạm vi đàn hồi. Việc tách biệt (cách chân) tòa tháp với tầng hầm thường là không cần thiết và cũng không nên, trừ khi tầng hầm nông. Trong những trường hợp như vậy, có thể cần phải xem xét việc tách biệt các kết cấu tháp qua các tầng hầm/khối đế.

10.5.7 Tấm sàn

Vai trò chính của các tấm sàn là đóng vai trò như các tấm cứng ngang để chuyển thành phần nằm ngang của lực động đất từ mỗi tầng đến hệ kết cấu chịu tải ngang. Vì chúng thường có độ dẻo rất nhỏ, lực thiết kế cho tấm cứng cao hơn lực tương ứng với hệ thống chịu tải ngang. Chúng phải đủ khỏe để chống lại lực được truyền bởi hệ thống chịu tải ngang, nếu cường độ 'như được xây dựng' của hệ thống thực tế lại lớn hơn cường độ tính toán. Điều này thường được tính đến trong tiêu chuẩn thực hành bằng cách sử dụng một hệ số "vượt cường độ".

Do có sức kháng trong mặt phẳng cao, bản thân thiết kế của sàn dưới những tải trọng này hiếm khi nguy hiểm và việc liên kết với hệ thống chịu lực ngang trở thành yếu tố được xem xét chính. Tuy nhiên, nên cẩn thận khi có các lỗ mở lớn trên tấm sàn. Việc sử dụng sàn phẳng như một phần của hệ thống chịu tải ngang phải được xem xét cẩn thận và tránh khi có thể, do tính chất ưu thế của phá hoại cắt trong sàn phẳng.

10.5.8 Các cấu kiện kết cấu khác

Đối với các phần tử không được coi là một phần của hệ thống chịu tải ngang, lực động đất không được tính đến trong thiết kế của chúng và độ cứng của chúng không cần được xem xét trong phân tích kháng chấn. Tuy nhiên, để đảm bảo tính ổn định và khả năng tương thích về chuyển vị, chúng phải được thiết kế và/hoặc cấu tạo để truyền và chịu được các lực thẳng đứng dưới tác động của chuyển vị ngang dự kiến được gọi là khả năng tương thích chuyển vị ngang.

10.5.9 Các cấu kiện kiến trúc

Các cấu kiện kiến trúc, chẳng hạn như vách ngăn và lớp bao che, phải được cấu tạo một cách thích hợp, xem xét các chuyển vị lớn do chuyển động do động đất gây ra. Một ví dụ cụ thể là cấu tạo chính xác của mối nối phân cách giữa các khối tường bao che bên trong tiếp giáp với cột và sàn. Nếu một cấu kiện kết cấu được làm cứng giả bởi các vách ngăn như vậy hoặc bằng lớp bao che được xây dựng dựa vào nó, tải trọng bổ sung không được kể đến trong thiết kế hoặc cấu tạo của nó có thể tác dụng vào cấu kiện này và có thể dẫn tới phá hoại cục bộ.

10.5.10 Bộ giảm chấn

Độ cản bổ sung được cung cấp để giảm ảnh hưởng của khuếch đại động. Hệ thống giảm chấn bao gồm giảm chấn nhớt lỏng, giảm chấn đàn hồi nhớt, thanh giằng ma sát và thanh giằng không bám dính, cho phép giải phóng năng lượng có kiểm soát.

Đối với việc mô hình hóa, nếu có sự thay đổi đáng kể trong các đặc tính của các thiết bị đó, cần thực hiện phân tích độ nhạy kết hợp giới hạn trên và dưới của các đặc tính đó.

Khi thiết bị có giới hạn chuyển vị chức năng vượt quá giới hạn này mà phần tử sẽ mất các đặc tính của nó, thì nên kiểm tra kết cấu để đảm bảo rằng nó có thể chấp nhận được ở giá trị 50% của giới hạn này.

10.6 Cấu tạo

Xem xét cẩn thận cấu tạo kết cấu là một phần quan trọng của kỹ thuật kháng chấn, để đảm bảo kết cấu có khả năng biến dạng không đàn hồi.

Cần phải cấu tạo cẩn thận các mối nối chồng và neo cốt thép để đảm bảo cốt thép có thể đạt được cường độ chảy cực hạn của nó.

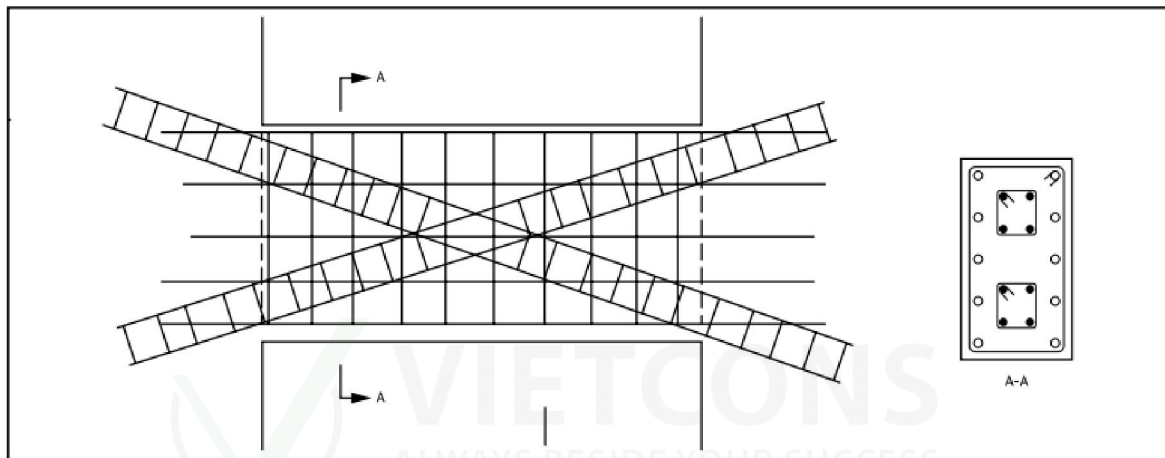
Các cấu kiện kết cấu, ngoài yêu cầu về tính dẻo, cũng cần có khả năng chịu tải nhiều chu kỳ mà không bị đứt, điều này đòi hỏi phải xem xét thêm cấu tạo. Các tiêu chuẩn thường đưa ra các điều khoản để tăng độ dài neo và chiều dài nối.

10.6.1 Dầm

Dầm thường được kỳ vọng là nơi xuất hiện của hầu hết các cơ chế khớp dẻo quay trong các kết cấu và cần có cấu tạo cẩn thận để đảm bảo rằng các cơ chế phát triển theo hướng chịu uốn mà không gây ra phá hoại cắt.

Khi các dầm có tỷ số nhịp trên chiều cao thấp, điển hình như trong các dầm nổi lõm mở của hệ thống chịu tải ngang vách lõi thường được sử dụng trong các nhà cao tầng, ứng xử của chúng chủ yếu được quyết định bởi lực cắt thay vì uốn.

‘Lực cắt’ được truyền qua một thanh chống chéo dưới lực nén lớn và lực kéo theo phương vuông góc; với các dạng dao động bậc cao liên quan đến nhà cao tầng, có thể có số lượng đáng kể sự đảo chiều mômen uốn khi xảy ra động đất, đặt ra yêu cầu về khả năng chịu lực cao hơn đối với các bộ phận này. Để ngăn ngừa phá hoại giòn của các phần tử này, các thanh chống được bố trí thép theo đường chéo thường được cấu tạo để phát triển độ bền cắt cần thiết và tạo độ dẻo đáng kể.



Hình 10.14 – Dầm cao nổi lõm mở được cấu tạo cốt thép chéo.

10.6.2 Cột

Dưới chuyển dịch ngang lớn không đàn hồi, các lực đáng kể được tạo ra trong các cột dẫn tới yêu cầu phải có hạn chế nở ngang hiệu quả vì hai lý do:

- Để đảm bảo cường độ yêu cầu được phát triển, sau khi lớp bê tông bảo vệ có thể bị bong do lực lớn đảo chiều.
- Để đảm bảo đạt được các mức độ biến dạng cần thiết để ứng xử dẻo có thể xảy ra.

Trong trường hợp sử dụng bê tông cường độ cao trong vùng không đàn hồi, cần có mức độ hạn chế nở ngang cao hơn để đạt được độ dẻo và cường độ thích hợp.

Để đảm bảo cung cấp đủ khả năng hạn chế nở ngang, cốt thép dọc và ngang cần phải được cấu tạo để tạo ra sự khống chế cho lõi bê tông. Việc giảm khoảng cách của các thanh dọc xung quanh chu vi tiết diện mang lại lợi ích, và việc giảm khoảng cách của cốt thép ngang cũng đặc biệt quan trọng trong việc hạn chế nở ngang của lõi, đồng thời hỗ trợ ngăn ngừa sự oằn của cốt thép chịu nén.

Đai xoắn hoặc đai tròn kín hiệu quả hơn các đai kín hình vuông hoặc hình chữ nhật, vì chúng cung cấp sự hạn chế đồng đều xung quanh chu vi thay vì chỉ ở các góc bằng cách thiết

lập ứng suất vòng. Đối với các đai hình vuông hoặc hình chữ nhật, tương đương, khả năng hạn chế hiệu quả chỉ được cung cấp thông qua việc đưa thêm các nhánh đai phụ vuông góc.

10.6.3 Vách

Ở những vùng có động đất ở mức từ thấp đến trung bình, khớp dẽo được cấu tạo để phát triển chủ yếu ở các bộ phận dầm và cơ chế này thường là đủ.

Đối với các vùng địa chấn mạnh, thông thường, sự tiêu tán năng lượng do độ dẻo của dầm là không đủ và cần có thêm một số độ dẻo từ vách để đảm bảo một giải pháp kết cấu hiệu quả. Sự đảo ngược tải trọng một cách đáng kể cũng được dự đoán xảy ra trong các vùng địa chấn mạnh và có thể dẫn đến các vấn đề lớn nếu không có các cấu tạo đặc biệt. Vấn đề trở nên trầm trọng hơn đối với lực cắt do sự hư hỏng của các mặt giao bê tông, đặc biệt là khi có thể có lực kéo thuần túy ở các đầu dầm, làm cho cốt thép là cơ chế duy nhất để chống cắt. Trong những điều kiện này, các thanh thép xiên thường được sử dụng để chống lại lực 'cắt' do kéo theo mỗi hướng.

Đối với các vùng chịu nén lớn ở các đầu của vách chịu uốn, cần có mức độ hạn chế nở ngang cao của bê tông vì những lý do tương tự như những lý do đã thảo luận trước đó đối với cột. Các vùng này, thường có tiết diện dày hơn và có thể chống lại tất cả các lực uốn trong vách, được gọi là các phần tử biên.

10.6.4 Cấu tạo liên kết cột sàn

Cấu tạo sàn-cột phù hợp là yêu cầu cơ bản để đảm bảo tính toàn vẹn của kết cấu trong các trận động đất lớn. Các liên kết cột sàn chịu chuyển vị ngang, dẫn đến sự gia tăng yêu cầu về mômen và lực cắt. Những yêu cầu này có thể dẫn đến chảy dẻo của cốt thép sàn. Điều quan trọng hơn nữa là yêu cầu chịu cắt tăng; do đó, cấu tạo để ngăn ngừa phá hoại do chọc thủng là rất quan trọng.

10.6.5 Cấu tạo liên kết sàn-vách

Trong nhà chịu lực ngang một phần hoặc toàn bộ bởi vách hoặc lõi, tính toàn vẹn của các liên kết sàn-vách đóng một vai trò quan trọng trong ứng xử của kết cấu. Khi lõi chuyển dịch ngang do tác động của địa chấn, sẽ gây ra một góc xoay đáng kể tại liên kết giữa các sàn và vách. Các góc xoay này được tăng lên bởi các chuyển dịch theo phương đứng liên quan đến việc kéo dài và co ngắn vách lõi so với chiều cao của nó do tác động uốn. Để biết thêm thông tin về cấu tạo, xem Klemencic (2006).

10.6.6 Cấu tạo thanh neo

Trong nhà cao tầng, thường có sự truyền lực ngang giữa lõi trung tâm và vách khác ở tầng cao nhất của khối đế.

Trong những trường hợp này, các cấu tạo thanh neo sàn là rất cần thiết để đảm bảo truyền lực qua các phần tử kết cấu khác nhau. Cần có các giải pháp phòng ngừa đặc biệt khi lực cắt kết hợp với lực kéo dọc trực do lực kéo sẽ làm giảm đáng kể khả năng chịu cắt của bê tông.



10.6.7 Ứng xử phụ thuộc vào thời gian

Ngoài dung sai trong xây dựng, một cấu kiện kết cấu có thể lệch khỏi kích thước và vị trí lý thuyết của nó do các chuyển dịch sau khi cấu kiện được thi công. Mặc dù độ lệch này là phổ biến đối với tất cả các kết cấu, các chuyển dịch trong nhà cao tầng cần được xem xét cụ thể do tác động tự nhiên của trọng lực và tải trọng lệch tâm xuất hiện do kích thước và hình dạng của nhà.

Chuyển dịch của công trình xảy ra theo cả hướng thẳng đứng (co ngấn dọc trục) và hướng ngang (lệch so với phương thẳng đứng) do tải trọng tích lũy, các đặc tính vật liệu phụ thuộc vào thời gian (như từ biến và co ngót) và trình tự xây dựng. Sự chuyển dịch này rất quan trọng trong việc thiết kế và xây dựng nhà cao tầng vì nó cung cấp nhiều thông tin cần xem xét về kết cấu và phi kết cấu.

Chuyển dịch trong nhà cao tầng và các vấn đề liên quan nếu chỉ được tính toán vào giai đoạn gần cuối của quá trình thiết kế kết cấu và trước khi xây dựng có thể dẫn đến các giải pháp vừa không hiệu quả vừa khó thực hiện trong quá trình xây dựng. Các vấn đề liên quan đến chuyển dịch của công trình được giải quyết tốt nhất trong giai đoạn thiết kế, dựa trên kết quả của phân tích quá trình thi công theo giai đoạn.

Chương này cung cấp thông tin về dự đoán chuyển dịch công trình và các biến đổi của nội lực do trình tự thi công và các đặc tính vật liệu phụ thuộc thời gian. Thông tin được đưa ra nhằm hỗ trợ việc thiết kế kết cấu, cung cấp cấu tạo về mặt tiếp xúc của kết cấu với các thiết bị/vật liệu hoàn thiện sau và xác định dữ liệu về dung sai và chuyển dịch cần được biên soạn để người sử dụng công trình nhà tham khảo trong tương lai. Tham khảo thêm Chương 2 và 8 liên quan đến việc chuyển vị ngang của nhà và ứng xử động.

10.7 Định nghĩa

10.7.1 Co ngấn dọc trục

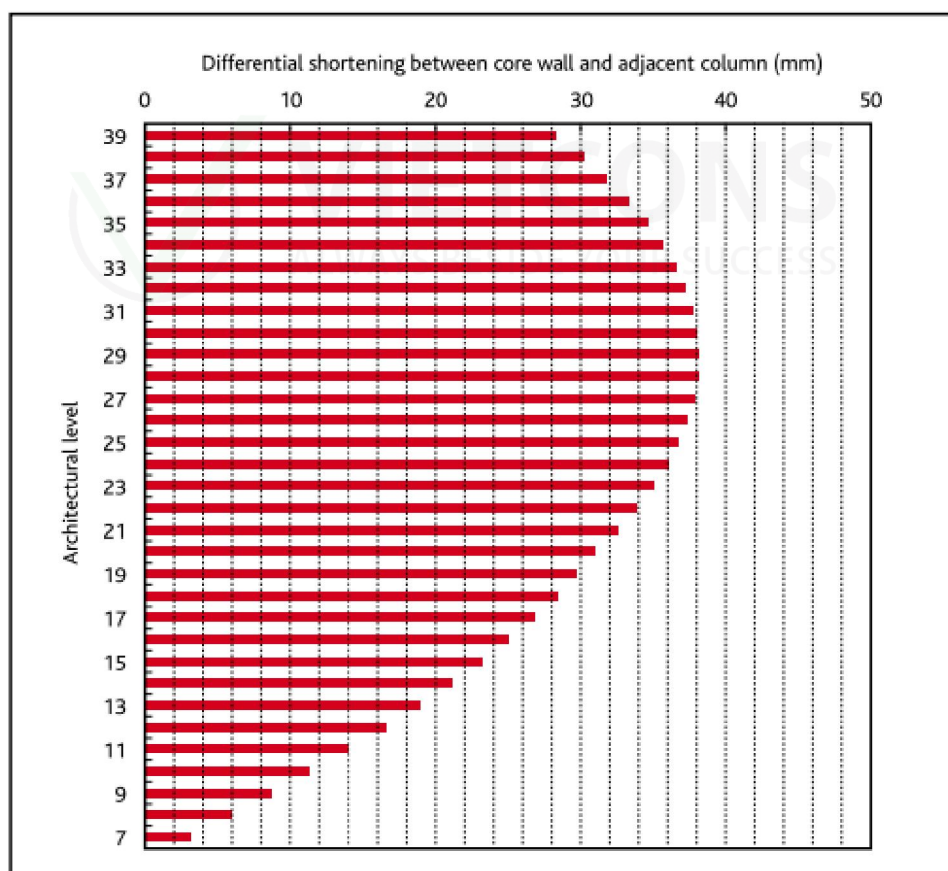
Sự co ngấn dọc trục của một công trình nhà là sự chuyển vị theo phương thẳng đứng của công trình nhà do tổng các biến dạng dọc trục của các cấu kiện thẳng đứng tại mỗi tầng. Trong các cấu kiện thẳng đứng bằng bê tông cốt thép (cột và/hoặc vách), biến dạng dọc trục ban đầu do tải trọng tác dụng (biến dạng đàn hồi) được kết hợp bởi biến dạng bổ sung do từ biến và co ngót của bê tông, thường có độ lớn lớn hơn biến dạng đàn hồi.

Cột bê tông trong nhà cao tầng có thể bị biến dạng đàn hồi ước tính hơn 100 mm đối với chiều cao công trình nhà 200 m (tương đương 500 $\mu\epsilon$ hoặc 2 mm/tầng trong trường hợp nhà văn phòng điển hình). Các giá trị này có thể tăng gấp đôi theo thời gian bằng cách kể thêm co ngấn do co ngót và từ biến.

Sự chênh co ngắn dọc trục phát sinh do sự khác nhau về ứng suất dọc trục giữa các cột và các vách lõi. Các vách lõi của nhà cao tầng nói chung là khá lớn, và kích thước của chúng không chỉ bị ảnh hưởng bởi các yêu cầu ứng suất dọc trục mà còn bởi các yêu cầu về độ cứng để chống lại tải ngang.

Tiết diện của cột thường được thiết kế càng nhỏ càng tốt nên cột thường chịu lực nặng hơn vách lõi. Khi quá trình xây dựng tiến triển, cột và vách lõi chịu giá trị và tốc độ co ngắn đàn hồi, từ biến và co ngót khác nhau. Sau khi hoàn thành công trình, hiện tượng co ngắn do từ biến và co ngót tiếp tục phát triển khác nhau ở các vách lõi và cột trong suốt thời gian sử dụng của công trình. Ngoài ra, sự chênh co ngắn giữa các cột liên kề là đáng kể khi vị trí và mức ứng suất tương ứng của chúng khác nhau, ví dụ như giữa các cột bên trong, bên ngoài và ở góc.

Sự chênh co ngắn giữa các vách lõi và cột thường lớn nhất ở giữa hai phần ba và ba phần tư chiều cao của một nhà cao tầng, nhưng không phải ở đỉnh của công trình, vì sự co ngắn dựa trên chuyển động SUBTO (xem Hình 11.1 và Phần 11.1.4).



Hình 11.1 - Ví dụ về sự chênh co ngắn giữa vách lõi và cột trong nhà cao tầng.

Các cấu kiện sau đây được coi là có ảnh hưởng đến việc co ngắn dọc trục và do đó, cần được xem xét khi tính toán co ngắn:

- Thuộc tính của bê tông (đặc tính ban đầu và phụ thuộc vào thời gian)

- Cường độ nén
- Môđun đàn hồi ban đầu danh nghĩa
- Từ biến
- Co ngót.
- Các giả thuyết thiết kế cho cột và vách
 - Diện tích mặt cắt ngang
 - Tỷ lệ cốt thép dọc
 - Diện tích của phần thép hình bên trong (đối với các cấu kiện liên hợp)
 - Tỷ lệ thể tích trên bề mặt (độ dày hiệu dụng).
- Giả thiết về tải trọng
 - Trình tự xây dựng
 - Tiến độ lấp đầy sử dụng
 - Điều kiện môi trường (độ ẩm tương đối).

10.7.2 Độ lệch so với phương thẳng đứng

Khi một công trình nhà cao tầng có mặt bằng lệch tâm hoặc không đều hoặc có sự thay đổi lớn về hình dạng theo chiều cao, nó có thể phải chịu một lượng chênh co ngấn đáng kể, do đó có thể khiến nhà bị nghiêng dài hạn hoặc sai lệch so với phương thẳng đứng trong quá trình thi công và sau khi bắt đầu sử dụng.

Ngoài ra, nhà cao tầng có mặt bằng đối xứng có thể lệch khỏi phương thẳng đứng do trình tự thi công không đối xứng. Vì độ lệch so với phương thẳng đứng là trường hợp cực đoan của việc chênh co ngấn dọc trục, nó có tác động bất lợi đáng kể đối với các nhà cao tầng do đó, Các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ lệch so với phương thẳng đứng tương tự như các yếu tố ảnh hưởng đến sự co ngấn dọc trục.

10.7.3 Thời gian mục tiêu

Vì chuyển dịch của nhà phát triển theo thời gian, nên cần phải xác định một ‘thời gian mục tiêu’; là thời điểm mà chuyển dịch được dự đoán. Sự chuyển dịch là kết quả của các tác động tổng hợp của tải trọng tích lũy, từ biến và co ngót trong quá trình xây dựng và tác động còn lại của từ biến và co ngót khi sử dụng.

Do đó, thời gian mục tiêu cuối cùng thường là một thời gian sau khi hoàn thành xây dựng. Dựa trên đặc tính co ngót và từ biến của bê tông, thời gian mục tiêu có thể là ít nhất ba năm sau khi hoàn thành xây dựng, khi hơn 90% từ biến và co ngót dự kiến phát triển trong thời gian sử dụng đã xảy ra. Một thời gian mục tiêu khác có thể được chọn để xác định chuyển dịch của công trình nhà tại một thời điểm cụ thể, chẳng hạn như lúc lắp đặt thang máy.

10.7.4 Chuyển dịch UPTO và SUBTO

Chuyển dịch của công trình là tổng các biến dạng của tất cả các bộ phận của công trình sau khi chúng được xây dựng xong. Vì các cấu kiện được xây dựng liên tục, nói chung là từng tầng, tổng chuyển dịch của công trình có thể được phân loại là chuyển dịch xảy ra trước khi hoàn thành xây dựng một tầng nhất định (UPTO) hoặc sau khi hoàn thành xây dựng tầng đó (SUBTO).

Chuyển dịch UPTO tại một tầng cụ thể là chuyển dịch đã phát triển hoặc tích lũy trong thời gian từ khi bắt đầu xây dựng công trình đến khi hoàn thành tầng được xem xét. Chuyển dịch này là không đáng kể nếu một công trình được xây dựng sao cho mọi tầng đều phù hợp với vị trí được thiết kế của nó tại thời điểm xây dựng. Đối với việc co ngấn dọc trục, thông lệ xây dựng tiêu chuẩn là mọi tầng đều được làm phẳng và do đó, độ co ngấn chênh lệch UPTO luôn bằng không.

Chuyển dịch SUBTO tại một tầng cụ thể liên quan đến chuyển dịch được phát triển hoặc tích lũy tại một thời điểm mục tiêu sau khi tầng được xem xét được xây dựng. Nó thường lớn nhất từ 2/3 đến 3/4 chiều cao của nhà cao tầng và giảm dần trên chiều cao đó do trọng lượng của các tầng còn lại ở trên thấp hơn và thời gian xây dựng còn lại ngắn hơn. Chuyển dịch SUBTO quan trọng hơn chuyển dịch UPTO vì nó gây ra chênh lệch chuyển dịch của các phần tử xây dựng liền kề hoặc cạnh nhau; do đó tạo ra các lực (cường bức) bổ sung lên các thành phần kết cấu và các tác động bất lợi lên các phần tử phi kết cấu, chẳng hạn như mặt tiền và thang máy.

10.8 Tác động bất lợi

10.8.1 Sàn - lực và độ võng

Sự chênh co ngấn của các phần tử kết cấu theo phương thẳng đứng sẽ gây ra chuyển dịch liên đới trong tấm sàn, có thể gây nứt và phân bố lại nội lực. Vấn đề này rất có thể xảy ra giữa các vách lõi trung tâm (nếu có) và các cột chu vi, gây ra độ lệch trong khung sàn giữa các cấu kiện thẳng đứng này.

Vì lõi trung tâm thường có ứng suất thấp hơn các cột chu vi và có thể được thi công trước bằng cách sử dụng ván khuôn leo, nên việc co ngấn của lõi và đặc biệt là co ngấn SUBTO sẽ ít hơn đáng kể so với co ngấn của cột chu vi.

Ảnh hưởng của sự chênh co ngấn trên bản sàn về mặt nội lực là sự thay đổi lũy tiến của sự phân bố mômen uốn và lực cắt trong các phần tử kết cấu của bản sàn do các lực cường bức bổ sung phát triển theo thời gian. Cần ghi nhận sự phân bố lại này phải trong quá trình thiết kế các kết cấu sàn và các cấu kiện nằm ngang phải được bố trí cốt thép cho phù hợp.

Hơn nữa, độ chênh lún của các gối đỡ có thể ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của sàn và nếu không được xem xét cẩn thận hoặc được đổ bù trong thiết kế và thi công, sự không phẳng này có thể làm phát sinh các vấn đề về dung sai đối với lớp hoàn thiện sàn và các cấu tạo mặt dựng.

10.8.2 Dầm / dầm gác / dàn đai biên - lực cưỡng bức

Ở các tầng trên của nhà, sự chênh co ngấn tích lũy giữa các thành phần thẳng đứng có thể gây nghiêng các dầm (cao) liên kề, dẫn đến lực cưỡng bức (mô men và lực cắt).

Các lực này có thể là một vấn đề thiết kế nghiêm trọng nếu một số hệ thống ổn định ngang nhất định như các dầm gác và/hoặc dàn đai biên tham gia vào các bộ phận thẳng đứng này, vì hệ thống ổn định ngang được thiết kế để có độ cứng lớn hơn các bộ phận kết cấu khác. Trong trường hợp cực đoan, tổng lực tác dụng lên cấu kiện, bao gồm cả lực cưỡng bức, có thể vượt quá khả năng của cấu kiện; vấn đề này chỉ có thể được giải quyết thông qua thay đổi thiết kế hoặc quy trình thi công thay thế (xem Phần 11.4).

Ngoài ra, sự phân bố lại nội lực trong các cấu kiện ngang đến lượt nó lại tác dụng phản lực lên các cấu kiện thẳng đứng và điều này có thể trở thành vấn đề cần quan tâm khi có sự thay đổi đáng kể theo thời gian. Cần dự đoán các thay đổi này trong phân tích và ảnh hưởng của chúng đối với an toàn phải được xem xét một cách thích hợp.

10.8.3 Sự không tương thích về kích thước

Việc chuyển dịch trong nhà cao tầng có thể làm phát sinh các vấn đề về thi công và khả năng sử dụng do sự không tương thích về kích thước giữa kết cấu công trình và các cấu kiện phi kết cấu.

Về vấn đề co ngấn dọc trục, kết cấu thẳng đứng bị co ngấn có thể truyền lực nén sang các phần tử phi kết cấu lân cận như vách ngăn, mặt dựng, đường ống và ray dẫn hướng thang máy không được thiết kế để chịu tải trọng thẳng đứng (xem Hình 11.2). Một tấm sàn bị nghiêng do sự chênh co ngấn hoặc sai lệch so với phương thẳng đứng có thể gây ra nứt hoặc cong các vách ngăn, trừ khi có các mối nối đủ đảm bảo chuyển dịch của vách ngăn.

Sai lệch so với phương thẳng đứng chủ yếu ảnh hưởng đến thang máy vì phương thẳng đứng là mối quan tâm chính trong quá trình lắp đặt và bảo trì. Độ lệch tổng thể của nhà cao tầng trong quá trình xây dựng sẽ làm cho trục thang máy bị lệch theo cùng một hướng và do đó làm giảm không gian thẳng đứng có sẵn cho việc lắp đặt thang máy.

Đôi khi cần phải loại bỏ một phần của thành lõi nếu xảy ra sự biến dạng của lõi thang trong quá trình lắp đặt thang máy. Nếu sai lệch so với phương thẳng đứng xảy ra sau khi lắp đặt thang máy, có thể phát sinh các vấn đề khác như suy giảm tính năng hoặc độ bền. Trong một công trình có độ lệch quá lớn so với phương thẳng đứng, thang máy sẽ tiếp xúc với ray dẫn hướng

bị lệch, làm giảm tốc độ tối đa của thang máy và gây mòn sớm các thành phần cơ học của chúng như thanh kẹp và con lăn.

Ảnh hưởng của sự không tương thích về kích thước thường lớn hơn ở các tầng trên do chuyển dịch chênh lệch tích lũy giữa các phần tử kết cấu và phi kết cấu. Tuy nhiên, đôi khi sự không tương thích là lớn nhất ở phần dưới cùng của công trình, nơi mà cả ứng suất đàn hồi và ứng suất phụ thuộc vào thời gian đều tăng đáng kể trong thời gian thi công.



Hình 11.2 - Phá hoại bám dính giữa keo và sàn (trên) và vết xước trong ray dẫn hướng thang máy (dưới) do chuyển dịch xuống của kết cấu công trình nhà (90 mm) so với các phần tử phi kết cấu (Bast và cộng sự 2003) ^[25].

Các cấu tạo để gắn các phần tử phi kết cấu vào kết cấu phải được xem xét để chuyển dịch hoặc biến dạng của chúng so với kết cấu sẽ không gây ra ứng suất. Tất cả các chuyển dịch và biến dạng của công trình nhà cao tầng cần được hiểu và xem xét cùng với các thành viên khác của nhóm thiết kế để đảm bảo cung cấp đầy đủ cấu tạo và tránh ảnh hưởng xấu đến khả năng sử dụng và kiến trúc của công trình.

10.9 Dự đoán và kiểm tra

10.9.1 Phân tích chuyển dịch

Phân tích co ngấn một cột

Sự co ngấn dọc trục của một công trình nhà cao tầng có thể được dự đoán tương đối dễ dàng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Dự đoán được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng gần đúng của việc co ngấn dọc trục và hướng dẫn thiết kế kết cấu. Co ngấn dọc trục là tổng các biến dạng đàn hồi, từ biến và co ngót, và phụ thuộc vào trình tự xây dựng (Fintel và cộng sự 1986) [27].

Phân tích co ngấn một cột có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các phép tính bảng tính lặp đi lặp lại với các đại lượng như kích thước hình học cấu kiện thu được từ bản vẽ, đặc tính vật liệu từ quy định tiêu chuẩn, tải trọng tác dụng lên mỗi cấu kiện từ tính toán các diện tích dồn tải, điều kiện môi trường từ hồ sơ khí tượng và các trình tự thi công từ tiến độ xây dựng.

Phương pháp phân tích này đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều thập kỷ, nhưng trong những năm gần đây đã có xu hướng chuyển sang phân tích trình tự thi công và phân tích lịch sử thời gian bằng mô hình 3D. Vì phân tích cột đơn chỉ tính đến các thành phần kết cấu được kết nối nên không thể xem xét các tác động hạn chế chống lại sự chệnh co ngấn của dầm hoặc sàn được liên kết với cột hoặc vách. Khi những tác động hạn chế này là đáng kể, cần tiến hành các phân tích kết cấu bổ sung dựa trên các kết quả dự kiến từ phân tích co ngấn một cột. Phân tích trình tự thi công và phân tích lịch sử thời gian của mô hình 3D cung cấp một phương pháp tính toán trực tiếp hơn cho những ảnh hưởng này.

Phân tích trình tự thi công

Phân tích trình tự thi công, tiếp theo là phân tích lịch sử thời gian bằng mô hình 3D và kể đến tuổi thọ của công trình, cho kết quả chính xác và toàn diện hơn so với phân tích co ngấn một cột cho các chuyển dịch của công trình. Các phân tích về trình tự thi công và lịch sử thời gian xem xét các tác động của chuỗi tải trọng và những thay đổi liên tiếp trong hệ thống kết cấu trong tiến trình xây dựng. Các phương pháp này bổ sung đánh giá ảnh hưởng của các đặc tính phụ thuộc thời gian khác nhau của các phần tử cụ thể của kết cấu lên phản ứng của kết cấu công trình (tức là các chuyển dịch, sự thay đổi của nội lực, mô men và sự phân bố ứng suất, và sự phát triển của các lực cưỡng bức).

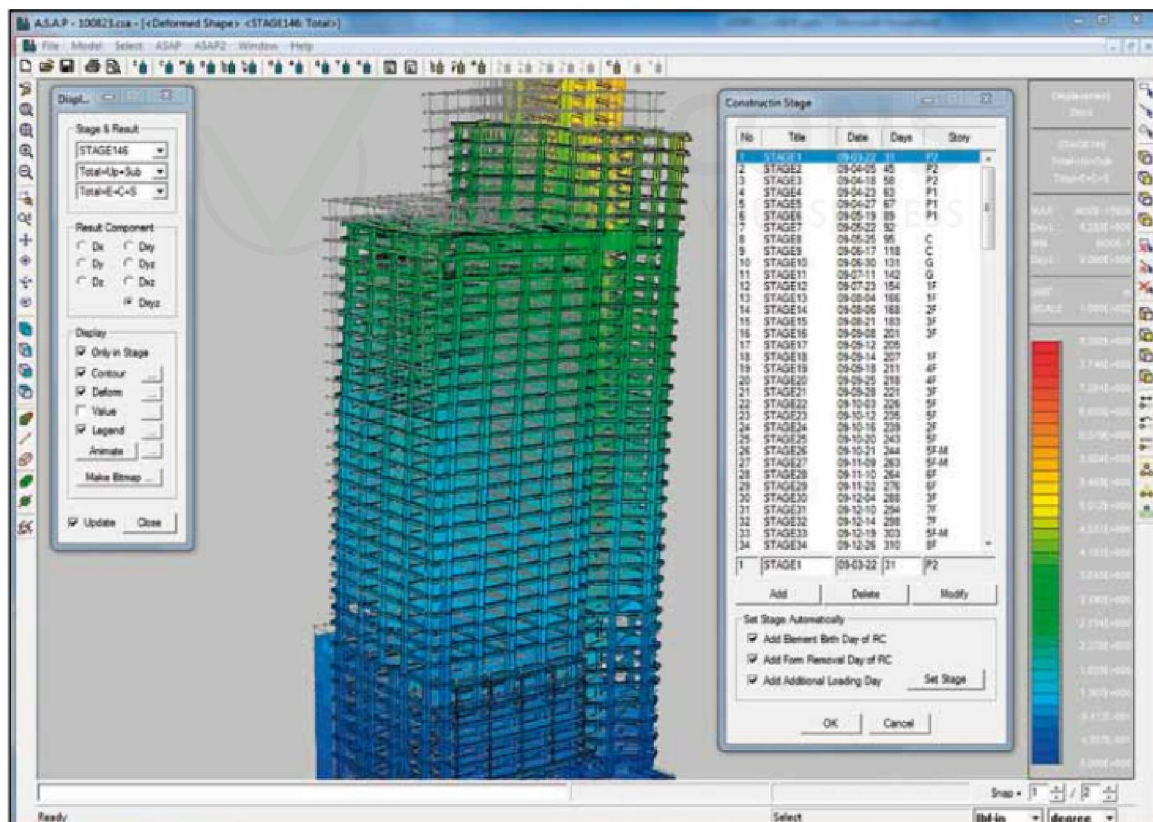
Phân tích trình tự thi công phải được theo sau bởi phân tích lịch sử thời gian để nghiên cứu thêm những thay đổi theo thời gian của phản ứng kết cấu của công trình nhà đối với tải trọng thẳng đứng duy trì sau khi hoàn thành, do ảnh hưởng bởi từ biến và co ngót trong các phần tử kết cấu bê tông. Việc phân tích được thực hiện trong một thời gian mục tiêu và tuổi thọ sử dụng cụ thể. Cần có chú ý đến ảnh hưởng của tiết diện nứt có thể có đối với kết quả của các phân tích này.

Các chuyển dịch của công trình theo hướng ngang và thẳng đứng có thể được dự đoán ở bất kỳ giai đoạn nào của quá trình xây dựng. Việc xử lý các kết quả phân tích đơn giản hơn so với phân tích một cột và kết quả có thể được biểu diễn trực tiếp bằng giao diện người dùng đồ họa (xem Hình 11.3). Các lực cưỡng bức do chuyển dịch của các bộ phận nằm ngang, chẳng

hạn như dầm chuyển, dầm gách và dầm/vách đai biên, được tính toán và có thể đánh giá tác động lên các phần tử phi kết cấu khác bằng cách phân tích các thành phần của chuyển dịch.

Mặc dù phân tích trình tự thi công được thực hiện trong một thời gian mục tiêu được chỉ định, có thể dùng phân tích này để dự đoán các thay đổi trong chuyển dịch và nội lực của công trình trong quá trình xây dựng để so sánh với dữ liệu từ các việc đo đạc và khảo sát thực địa (Ha et al.2011) [28]. Kết quả phân tích trình tự thi công được cập nhật dựa trên những so sánh này, với tần suất đo theo yêu cầu. Việc giám sát hiện trường và cập nhật mô hình ứng xử của công trình có thể tiếp tục sau khi kết thúc quá trình xây dựng, thông qua việc so sánh với kết quả phân tích lịch sử thời gian để có được những dự đoán tốt hơn về ứng xử của công trình theo thời gian.

Có thể kết hợp phân tích trình tự thi công với phân tích các tương tác của đất nền-kết cấu để xác định các tác động của những thay đổi trong điều kiện biên. Trên thực tế, bản chất tuần tự của phân tích này có thể kết hợp các tương tác của đất nền-kết cấu bao gồm các tác động của chênh lún của nền đến phản ứng của kết cấu công trình.



Hình 11.3 - Ví dụ về biểu diễn đồ thị kết quả phân tích trình tự thi công (Ha et al. 2011)^[28].

Để đánh giá phản ứng kết cấu của các kết cấu phức tạp và nhạy như nhà cao tầng theo thời gian, bao gồm cả các tác động cơ ngót và từ biến, cách tiếp cận chung nhất là kết hợp các quan hệ mô hình vật liệu phụ thuộc thời gian của bê tông vào các phương pháp số cho cơ học liên tục hoặc cho kết cấu cấu tạo từ phần tử dầm (thường là các phương pháp phần tử hữu hạn).

Liên quan đến từ biến, cần lưu ý rằng các mô hình dự báo từ biến được sử dụng trong các khuyến nghị thiết kế hiện hành và hướng dẫn kỹ thuật được đề cập trong phần 11.3.2 dựa trên giả định rằng đặc tính đàn hồi tuyến tính của bê tông thay đổi theo tuổi, kết hợp các giả định về tuyến tính và cộng tác dụng của các ứng xử biến dạng đối với các ứng suất được tác dụng tuần tự. Mô hình này dẫn đến một công thức tích phân di truyền cho mô hình vật liệu của từ biến và do đó, dẫn đến một hệ phương trình tương thích tích phân Volterra tuyến tính hoặc phương trình cân bằng trong đó tương ứng các phương pháp lực hoặc chuyển vị được sử dụng để phân tích kết cấu.

Một quy trình tổng quát và hiệu quả cần thu được dạng số gia của mô hình vật liệu từ biến kiểu tích phân trong một bước thời gian nhỏ trước tiên. Hướng dẫn chi tiết cho quy trình này có thể được tìm thấy trong phần 7.2.4 của fib (Fédération internationale du béton hoặc International Federation for Structural Concrete) Tiêu chuẩn mẫu cho kết cấu bê tông 2010 (fib 2013)^[29], trong sách giáo khoa về Bê tông kết cấu của fib (Chiorino & Sassone 2010)^[30], và ở dạng mở rộng hơn trong hướng dẫn ACI (Viện Bê tông Hoa Kỳ) ACI 209.3R (Ủy ban ACI 209 2011)^[31].

Có một số chương trình phần mềm phân tích kết cấu thương mại được biết đến là có các tính năng phân tích lịch sử thời gian và trình tự thi công. Hầu hết các chương trình này ban đầu được phát triển cho cầu, nơi mà những phân tích này rất cần thiết trong giai đoạn thiết kế và xây dựng.

10.9.2 Kiểm tra vật liệu về từ biến và co ngót

Các đặc tính phụ thuộc vào thời gian của bê tông, chẳng hạn như biến dạng do ứng suất (ban đầu cộng với từ biến) và biến dạng co ngót được sử dụng trong phân tích chuyển dịch của kết cấu, hầu hết được dựa trên các mô hình dự đoán đề xuất bởi các tiêu chuẩn thiết kế và khuyến nghị, hướng dẫn kỹ thuật và tài liệu chuyên ngành (ACI Ủy ban 209 2005, 2008 và 2011^[31, 32, 33, 34], Bažant & Baweja 2000^[35,36,37], fib 2013^[29], Gardner 2004^[38]). Mặc dù phạm vi áp dụng của các mô hình gần đây đã được mở rộng dần bao gồm các loại bê tông có cường độ nén trung bình cao hơn - đạt tới 120 MPa cho mô hình dự đoán từ biến của Mô hình Tiêu chuẩn fib 2010 (fib 2013^[29]) - một số mô hình được chứng minh là có thể không đủ cho việc dự đoán các đặc tính phụ thuộc vào thời gian của bê tông cường độ cao hoặc tính năng cao.

Ngoài ra, các kỹ sư thiết kế phải nhận thức được một vấn đề dai dẳng đối với sự không chắc chắn của mô hình, đặc biệt là trong dự đoán từ biến. Sự không chắc chắn này được phản ánh trong sự khác biệt đáng kể tồn tại giữa các mô hình dự đoán được sử dụng rộng rãi nhất, cả về các giá trị dự đoán dài hạn của các biến dạng từ biến và ứng xử của chúng theo thời gian. Hiện chưa có sự đồng thuận về cách tiếp cận để giải quyết những khác biệt này (Chiorino & Carreira 2013^[37]; Ủy ban ACI 209 2008 và 2011^[31, 32, 33]).

Cho dù thực hiện bất kỳ phương pháp để giảm tính chất từ biến và co ngót của loại bê tông cụ thể được sử dụng, cần cố gắng giảm mức độ không chắc chắn của mô hình trong dự đoán các biến dạng phụ thuộc vào thời gian. Việc này có thể thực hiện bằng cách sử dụng các phương pháp hiệu chỉnh các thông số quan trọng trong mô hình với các đặc tính cụ thể của hỗn hợp bê tông được sử dụng trong xây dựng.

Hai tùy chọn hiệu quả nhất là:

1. Phương pháp thống kê Bayes, cải thiện dự đoán bằng cách sử dụng dữ liệu hiện có về các loại bê tông tương tự trong cùng khu vực.
2. Việc sử dụng các thí nghiệm ngắn hạn trong thời gian từ một đến ba tháng trên loại bê tông nhất định và thiết lập các công thức đường cong với phương pháp bình phương cực tiểu (Bažant & Baweja, 2000 [35]; Bažant và cộng sự, 2009 [38]) (xem Hình 11.4).

Mặc dù các thí nghiệm có thể được tiến hành trên các mẫu lấy từ bê tông thực tế được đổ tại hiện trường, nhưng tốt hơn hết là nên thiết lập một quy trình thử nghiệm có hệ thống sớm hơn nhiều trong quá trình này, sau khi hoàn thành quá trình thiết kế cấp phối bê tông. Các mô hình dự báo cập nhật cho các đặc tính phụ thuộc vào thời gian của bê tông sau đó có thể được sử dụng trong phân tích chuyển dịch để tăng độ chính xác của nó.



Hình 11.4 - Đo biến dạng từ biến từ các mẫu bê tông trong buồng khí hậu.

10.9.3 Đo đạc hiện trường

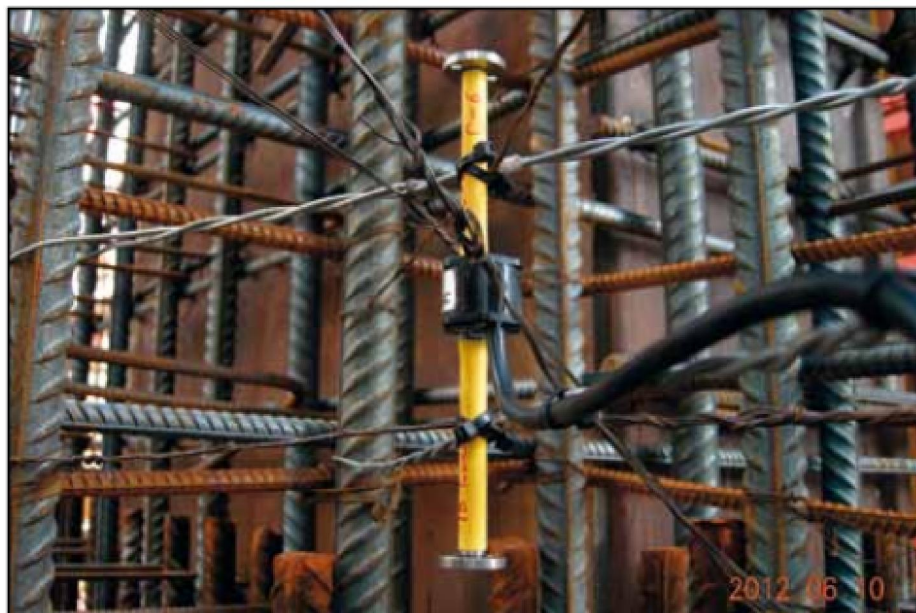
Trong quá trình thi công, một công trình nhà cao tầng được theo dõi để ghi lại chuyển dịch thực tế để so sánh với chuyển dịch dự đoán. Để đo lường các tác động lâu dài của từ biến và

co ngót bê tông, thời gian theo dõi có thể được kéo dài đến thời gian mục tiêu. Trong trường hợp đổ bù được áp dụng trong quá trình xây dựng, ảnh hưởng của đổ bù có thể được theo dõi. Nếu chuyển động thực tế khác với dự đoán, mục tiêu và lượng đổ bù có thể được điều chỉnh dựa trên kết quả giám sát.

Có thể sử dụng hai phương pháp quan trắc để đo chuyển dịch thực tế của công trình nhà trong quá trình xây dựng. Các phép đo dựa trên cảm biến về biến dạng và chuyển vị của từng bộ phận liên quan đến việc thí nghiệm hiện trường vật liệu, với các mẫu thử có kích thước thực và cốt thép dưới tải tuần tự trong các điều kiện môi trường khác nhau. Cách thứ hai là khảo sát tình trạng 'hoàn công' của một công trình để xác định chuyển dịch bằng cách đo những thay đổi theo trình tự thời gian ở các vị trí ba chiều của các điểm được chỉ định trên công trình nhà.

Tuy nhiên, cách làm này nhìn chung không khả thi, nếu xét đến tổng số cột và vách và thời gian đo dài. Thông thường, chỉ những cột và vách nhất định trên một tầng cụ thể mới được chọn để quan trắc. Các tầng ưu tiên được đo là tầng thấp nhất, nơi có thể ghi lại sự co ngấn từ tất cả các tải tác dụng theo thứ tự từ đầu đến cuối quá trình xây dựng. Các tầng bổ sung có thể được chọn khi có sự thay đổi đột ngột trong mặt bằng công trình hoặc vật liệu kết cấu, ví dụ, từ bê tông cốt thép sang thép.

Để theo dõi sự thay đổi của các giá trị co ngấn thực tế, biến dạng nén của cột và vách lõi được đo bằng máy đo biến dạng dây rung. Đối với các kết cấu bê tông cốt thép, các thiết bị đo này có thể được đặt vào cấu kiện trước khi đổ bê tông (xem Hình 11.5) hoặc gắn vào bề mặt của cấu kiện sau khi dỡ ván khuôn. Nếu máy đo biến dạng có thể được lắp đặt ở mọi cột từ tầng hầm đến mái nhà, thì tổng độ co ngấn của công trình có thể thu được bằng cách cộng các phép đo cho từng tầng.

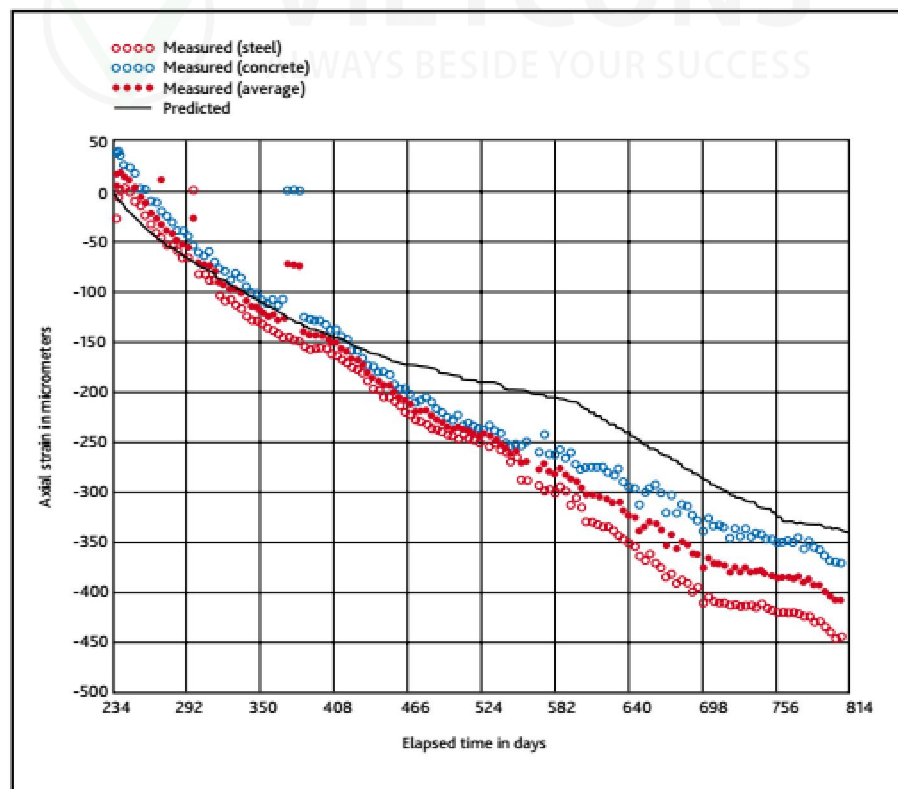


Hình 11.5 - Máy đo biến dạng dây rung.

Các biến dạng đo được được so sánh định kỳ với các biến dạng dự đoán từ phân tích chuyển dịch (xem Hình 11.6). Việc phân tích phải có dữ liệu đầu vào được cập nhật về các đặc tính của vật liệu và trình tự xây dựng càng thực tế càng tốt, để đưa ra dự đoán chính xác về các biến dạng. Khi hệ thống giám sát thời gian thực được triển khai để so sánh mức độ biến dạng và/hoặc ứng suất thực tế so với kết quả phân tích, có thể dùng phân tích ngược và sửa đổi thiết kế công trình trong trường hợp các phép đo thực tế sai lệch so với mục tiêu (McCafferty et al. . 2011^[39]).

Ngoài máy đo biến dạng dây rung, có thể sử dụng các cảm biến khác độc lập hoặc kết hợp để đo các dạng chuyển dịch khác nhau. Ví dụ, có thể sử dụng đầu đo chuyển vị tịnh tiến (LVDT) để đo chuyển vị, đồng hồ đo cao độ để đo độ bằng phẳng, đồng hồ đo nghiêng để đo góc quay và cảm biến lực để đo ứng suất.

Các phép đo có thể được thực hiện thủ công bằng máy ghi dữ liệu di động hoặc thiết bị đo và máy ghi có thể là một phần của hệ thống đo tự động. Phép đo biến dạng ban đầu được thực hiện trước khi đổ bê tông, sau đó là các phép đo định kỳ, ví dụ bốn lần một ngày sau khi đổ bê tông và sau đó giảm xuống còn một lần đo mỗi tuần. Khi hệ thống đo tự động được sử dụng, bộ ghi dữ liệu có thể được cấu hình để thay đổi khoảng thời gian giữa các lần đo. Bộ ghi dữ liệu hiện đại có thể được truy cập thông qua một mô-đun mạng không dây gửi dữ liệu đo được đến văn phòng công trường hoặc bất kỳ vị trí nào khác.

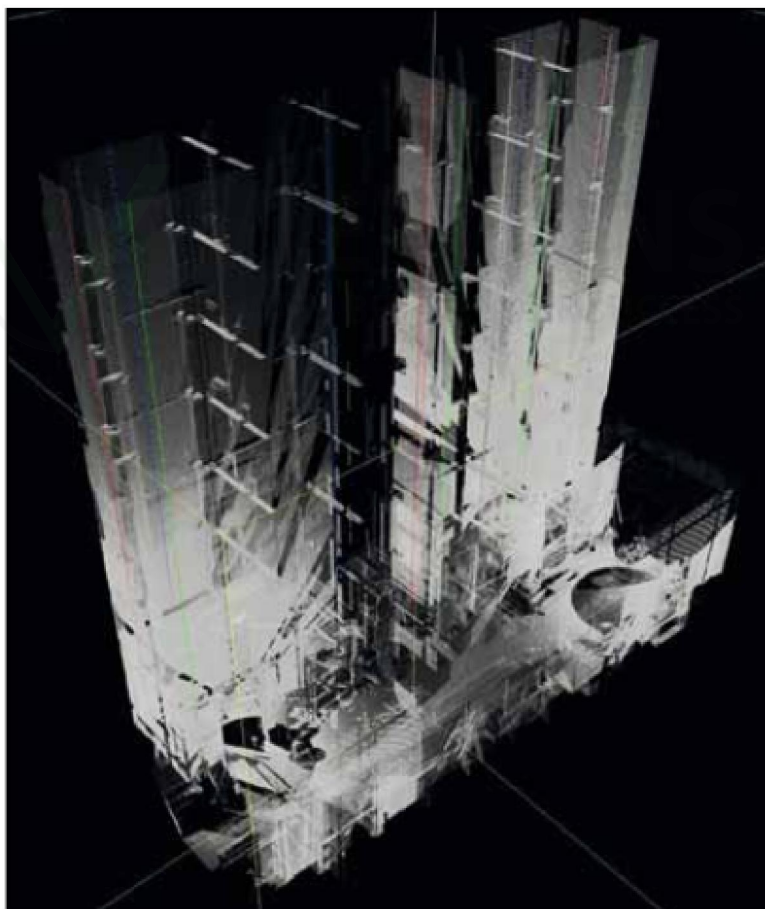


Hình 11.6 - So sánh các biến dạng dọc trục đo được và dự đoán của cột bê tông cốt thép trong nhà cao tầng trong quá trình xây dựng.

Trong khi các phép đo chỉ được thực hiện từ các bộ phận kết cấu được chọn và các chuyển dịch của các bộ phận khác được giả định, việc khảo sát áp dụng cho toàn bộ công trình khi đang được xây dựng. Việc khảo sát thường được thực hiện bằng đo quang học bởi các kỹ sư khảo sát chuyên nghiệp tại các khoảng thời gian xây dựng cụ thể, ví dụ: mỗi tầng 10 và những thay đổi ở các vị trí đã chọn được ghi lại cho đến khi hoàn thành công trình.

Xem xét dung sai cho phép của công trình ở mọi tầng và sai số khảo sát tiềm ẩn, kết quả khảo sát có thể không phản ánh chính xác chuyển dịch của công trình nhưng kết quả thể hiện xu hướng chung của chuyển dịch. Vì vậy, không cần thiết phải thực hiện khảo sát khi xây dựng xong từng tầng.

Hiện nay các công nghệ tiên tiến như quét laser 3D (xem Hình 11.7) và các hệ thống đo lường dựa trên vệ tinh đang được giới thiệu để nâng cao độ chính xác của khảo sát và khắc phục các sai sót của con người trong các phương pháp khảo sát thông thường.



Hình 11.7 - Hình ảnh **mây dạng điểm được quét của các trục thang máy của một công trình nhà cao tầng được tạo ra bởi máy quét laser 3 chiều.**

10.10 Các biện pháp khắc phục

Các biện pháp khắc phục ảnh hưởng của chuyển dịch của công trình có thể được thực hiện ở cả giai đoạn thiết kế hoặc xây dựng nhưng tốt hơn hết là nên xác định và giải quyết các vấn đề ở giai đoạn thiết kế. Đối với các biện pháp khắc phục được thực hiện trong quá trình thi công, cần tập trung vào cách giải quyết vấn đề chứ không chỉ tập trung vào cách bù chuyển dịch (Ha và cộng sự 2011^[28]).

Hầu hết các tác động bất lợi nêu trong phần 11.2 có thể được giải quyết bằng cách điều chỉnh thiết kế hoặc vật liệu để có các chuyển dịch nhỏ hơn hoặc bằng nhau, thiết lập các nút để ứng xử với chênh lệch chuyển dịch hoặc làm cho các cấu kiện phi kết cấu hấp thụ chuyển dịch của kết cấu. Có thể sử dụng một giá trị điều chỉnh trước (**đổ bù**) của kết cấu trong quá trình xây dựng một cách thận trọng. Các cân nhắc ở giai đoạn thiết kế và xây dựng và phương pháp được khuyến nghị để **điều chỉnh trước** trong quá trình thi công được chỉ dẫn trong Phần 11.4.1 dưới đây.

10.10.1 Cân nhắc thiết kế

Cần xem xét khả năng chuyển dịch trong giai đoạn thiết kế để xác định tính phù hợp của hệ thống kết cấu được đề xuất và **tỷ lệ cân xứng của** cấu kiện. Để giảm thiểu ảnh hưởng của chuyển dịch công trình, các cấu kiện riêng lẻ phải cư xử hoặc biến dạng (co ngấn) với cường độ và tốc độ tương tự. Ứng xử này có thể được xác định trong phân tích sơ bộ. Các vật liệu thích hợp sau đó có thể được lựa chọn và đặt hàng, và thiết kế của kết cấu được điều chỉnh để phù hợp với chuyển dịch (Carreira & Poulos 2007^[40]).

Tối ưu hóa mặt bằng và kích thước cấu kiện

Có thể giảm hoặc tránh ảnh hưởng của việc chênh lệch co ngấn đàn hồi bằng cách đảm bảo các mức ứng suất dọc trục là tương tự trong các cấu kiện thẳng đứng liền kề và có mô đun đàn hồi giống nhau, tuy nhiên điều này có thể khó thực hiện trong một số trường hợp. Ví dụ: nếu có sự chuyển đổi trong mặt bằng khu vực hoặc hình dạng của công trình trên một tầng cụ thể, do đó một cột có thể chịu tải trọng nhỏ hơn nhiều so với một cột liền kề.

Có thể giảm thiểu các tác động của biến dạng từ biến và co ngót bằng cách bổ sung thêm cốt thép, đảm bảo bảo dưỡng đầy đủ và sử dụng hỗn hợp bê tông có khả năng co khô thấp. Việc chuẩn bị chỉ dẫn kỹ thuật đầy đủ bao gồm tất cả các yêu cầu về vật liệu bê tông, kỹ thuật bảo dưỡng và thi công là rất quan trọng.

Lựa chọn và mua sắm vật liệu

Có thể sử dụng công nghệ bê tông để tăng mô đun đàn hồi của bê tông, giảm biến dạng đàn hồi và giảm thiểu ảnh hưởng của biến dạng từ biến và co ngót; sự tăng mô đun đàn hồi sẽ phụ thuộc vào hàm lượng của chất kết dính (xi măng, tro bay, hoặc silica fume) và độ cứng của cốt liệu (Carreira & Poulos 2007^[40]).

Cấu tạo

Các vách ngăn, mặt dựng, vách kính, thang máy và hệ thống ống nước phải được thiết kế để điều chỉnh cho phù hợp với chuyển dịch tổng thể của công trình và các biến dạng giữa các tầng. Các tiêu chí về khả năng sử dụng bình thường bao gồm nứt, võng, tính năng cách âm, khả năng chống cháy và phản ứng rung phải được xem xét trong quá trình thiết kế. Cần xem xét cẩn thận về dung sai xây dựng và độ võng của sàn, đặc biệt là ở chu vi sàn nơi gắn hệ thống mặt dựng.

Liên kết kết cấu

Do những khó khăn và sự không chắc chắn trong việc dự đoán các lực cường bức phát triển do hệ quả của cả những thay đổi trong cả hệ thống kết cấu trong quá trình xây dựng và sự chênh lệch dọc trục, nên trong giai đoạn thiết kế ý tưởng cần có xu hướng tránh sử dụng các liên kết nút khung ngàm của sàn và dầm với lõi và cột và thay vào đó nên sử dụng liên kết khớp.

Tuy nhiên, kỹ thuật này làm giảm bậc siêu tĩnh của kết cấu công trình, do đó làm giảm độ cứng tổng thể và khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu công trình đối với các nhiễu động như gió và tác động động đất (xem Chương 9 và 10).

10.10.2 Biện pháp thi công

Các nghiên cứu chi tiết về chuyển dịch cần được thực hiện trước khi xây dựng để điều chỉnh trình tự xây dựng và chống lại các tác động của chuyển dịch khi kết cấu được thi công. Ngoài ra, những ảnh hưởng này có thể được bù đắp bằng cách lắp vòng ván khuôn hoặc bằng cách sử dụng các mối nối thi công mềm hoặc dải đỡ sau, có thể được đỡ muộn hơn trong quá trình thi công.

Khó có thể đánh giá chính xác ảnh hưởng của các biện pháp thi công lỗi tiên tiến nhưng có thể kiểm tra bằng cách sử dụng phần mềm phân tích trình tự thi công được đề cập trong Phần 11.3.1 hoặc bằng cách thủ công hơn, thông qua tính toán bảng tính theo biện pháp phân tích một cột. Theo quy tắc chung đối với kết cấu bê tông cốt thép, vì vách lõi biến dạng ít hơn cột, các biện pháp thi công lỗi tiên tiến làm tăng độ chênh chuyển vị. Tuy nhiên, đối với kết cấu lai với vách lõi bê tông cốt thép và cột thép, phương pháp thi công này sẽ làm giảm độ lệch chuyển vị.

Cần có các quy trình đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng để đảm bảo rằng các yêu cầu thiết kế được đáp ứng trong quá trình xây dựng và để tránh các vấn đề phát sinh do từ biến và co ngót (Carreira & Poulos 2007^[40]).

Điểm lưu ý chính trong chuyển dịch của nhà cao tầng là mặt tiếp xúc của kết cấu với các thiết bị hoặc vật liệu hoàn thiện sau khác nhau, ví dụ, việc gắn các tấm ốp mặt dựng và các vách ngăn bên trong. Cần chuẩn bị một tài liệu chỉ dẫn kỹ thuật để đưa ra các tiêu chí rõ ràng

về dung sai, chuyển dịch và độ võng đối với các điều kiện khác nhau ở trong nhà và ở biên vì chúng liên quan đến các cấu kiện sau:

Mặt tiền và lớp bao che

Các chuyển dịch ngang và thẳng đứng của nhà cao tầng có thể ảnh hưởng đến việc thiết kế các liên kết giữa các tấm ốp mặt dựng, đặc biệt là ở các tầng chuyển trong kết cấu và có khả năng xảy ra ở các tầng lánh nạn và tầng kỹ thuật kết hợp các cấu kiện như dầm gánh và dầm đai biên.

Chuyển dịch phải được kể đến trong khớp nối tại các vị trí này chủ yếu là do chênh chuyển dịch thẳng đứng giữa các tầng và tác động của việc co ngấn dọc trục.

Đối với hệ thống tường bên ngoài hoặc lớp mặt dựng được cố định vào chu vi của công trình tại dầm hoặc mép sàn, cần phải hiểu và xem xét những điều sau:

- Các mối nối tấm ốp theo phương ngang và dọc và dung sai của tấm ốp
- Dung sai theo phương ngang của sàn biên trong mặt phẳng và theo chiều dọc
- Dung sai chèn ngang hoặc dầm chìa đồ tại chỗ
- Trình tự của việc lắp mặt dựng liên quan đến tất cả thiết bị liên kết.

Thang máy

Các nhà sản xuất thang máy thường sẽ phối hợp với kiến trúc sư về kích thước mặt bằng tổng thể của tất cả các trục thang máy và kích thước hố thang, và các kích thước này cần được xem xét trong giai đoạn thiết kế chi tiết.

Thiết bị liên kết

Các kỹ sư cần hiểu rõ các yêu cầu hoặc giới hạn cho phép chuyển dịch ở các đầu vách ngăn để phù hợp với cả mặt bằng và chuyển dịch thẳng đứng của các tầng bên trên.

10.10.3 Điều chỉnh trước (đổ bù)

Phân tích chuyển dịch được thực hiện trong giai đoạn thiết kế chi tiết cần xác định các vấn đề liên quan đến chuyển dịch, và thiết lập các biện pháp thích hợp bao gồm cả yêu cầu đổ bù.

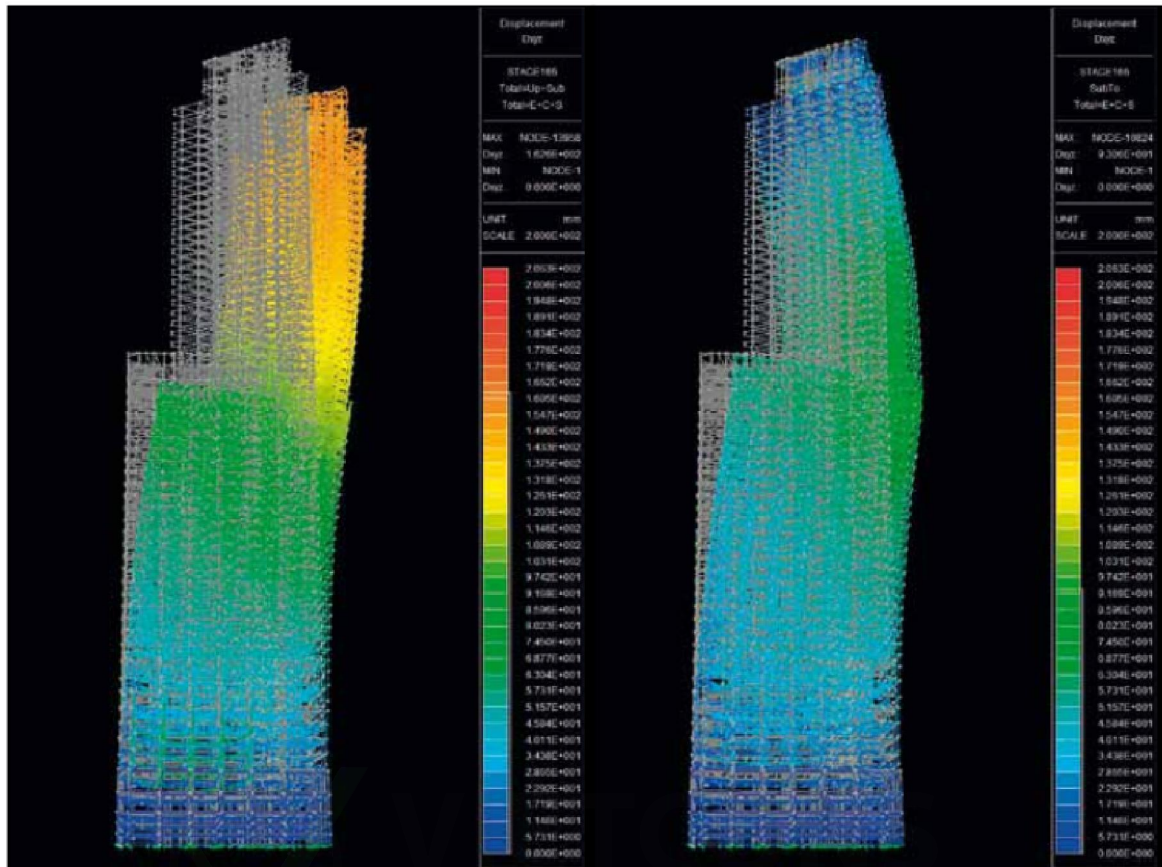
Mục đích chính của việc điều chỉnh trước hoặc đổ bù thi công là cung cấp cấu tạo hình học tốt hơn cho công trình trong suốt thời gian sử dụng của nó, bao gồm cả thời gian mục tiêu.

Các vấn đề sau đây cần được xem xét:

- Điều chỉnh trước/đổ bù bao gồm các biện pháp thụ động về cơ bản nhằm hạn chế những thay đổi không mong muốn đối với hình dạng của kết cấu công trình nhà do chuyển dịch theo thời gian;
- Tải trọng bổ sung được tạo ra bởi các phần đua ra của kết cấu có thể được thi công sau đó. Hiệu chỉnh chuyển dịch ngang có tác dụng hạn chế và tạm thời trong việc giảm tác

dụng bậc hai và những thay đổi liên quan về nội lực do các tải trọng này gây ra trong các cấu kiện thẳng đứng;

- Giá trị điều chỉnh trước hình học theo phương đứng chủ yếu được sử dụng để cho phép các tầng giữ nguyên cao độ; chúng không ảnh hưởng đến sự phát triển của các lực cưỡng bức gây ra bởi sự chênh co ngấn của các cấu kiện thẳng đứng;
- Có thể sử dụng các phương pháp khác nhau để điều chỉnh trước. Việc lựa chọn phụ thuộc vào những tác động và những khó khăn để đưa ra mức độ bù cần thiết và lợi ích mong đợi trong tính năng của công trình;
- Nếu sử dụng biện pháp điều chỉnh trước, thường chỉ có độ chênh chuyển dịch UPTO mới được đổ bù (xem phía bên tay phải trong Hình 11.8) và đổ bù bổ sung hình học được sử dụng để chống lại tác động của các chênh chuyển dịch SUBTO dự kiến, bỏ qua các hệ quả hình học của việc co ngấn tuyệt đối;
- Nếu hình dạng lý thuyết của công trình phải được duy trì tại một thời gian mục tiêu, thì việc đổ bù hình học phải bù lại tổng chuyển dịch UPTO và SUBTO dự kiến tại thời điểm đó. Nên giảm thiểu số lượng điều chỉnh trước trong quá trình xây dựng thông qua việc sử dụng giá trị điều chỉnh trước một phần và cho phép phần chuyển dịch còn lại được hấp thụ bởi các phần tử phi kết cấu;
- Nếu sự chuyển dịch yêu cầu một lượng lớn giá trị điều chỉnh trước thay vào việc đổ bù, cần xem xét việc thay đổi về thiết kế.



Hình 11.8 - Ví dụ về chuyển dịch của công trình nhà trong không gian ba chiều (trái) và kết quả của điều chỉnh trước chỉ cho chuyển dịch UPTO (phải).

Cần thực hiện việc tham vấn giữa kỹ sư kết cấu và nhà thầu để đảm bảo nhà thầu có thể điều chỉnh trước các cao độ và vị trí của nhà để tính đến độ lún, co ngấn dọc trục và độ lệch so với phương thẳng đứng của kết cấu trong quá trình xây dựng. Đây phải là một nỗ lực chung vì trình tự, tải và các tác động tiếp theo tại mọi thời điểm trong quá trình này phải được hiểu và tính toán đầy đủ.

Cao độ của các phần tử nhất định trên mỗi tầng có thể phải được đồ cao hơn cao độ cuối cùng mong muốn với các lượng khác nhau được dự đoán bằng tính toán. Nhà thầu cần thường xuyên theo dõi cao độ của tất cả các cấu kiện trên mỗi tầng khi tiến độ xây dựng và báo cáo những điều này cho kỹ sư thiết kế. Các cao độ này cần được so sánh với các giá trị được tính toán; các cao độ mục tiêu cho các tầng tiếp theo có thể được điều chỉnh dựa trên chuyển dịch thực tế. Có thể cải thiện đáng kể kết quả đạt được nếu được quy trình được tiến hành một cách hợp tác, sử dụng cách tiếp cận tương tự như trong thiết kế ban đầu.

10.11 Dung sai

Ngoài các thay đổi về kích thước trong chế tạo và lắp đặt, mỗi phần tử của công trình còn chịu tác động của môi trường, gây ra các chuyển dịch bổ sung và thay đổi kích thước sau khi

lắp đặt. Nhiều tiêu chuẩn xây dựng và các tiêu chuẩn công nghiệp khác cung cấp dung sai xây dựng, với một số tiêu chuẩn tính đến hiệu ứng do chuyển dịch.

Tuy nhiên, những dung sai này không bao gồm một cách rõ ràng những thay đổi về vị trí do các chuyển dịch của kết cấu do võng, lún và thay đổi nhiệt độ. Tuy nhiên, sự thiếu sót này thường không phải là một vấn đề, vì dung sai xây dựng thường khá tự do và chuyển dịch kết cấu đối với hầu hết công trình, thậm chí cả nhà cao tầng, là tương đối nhỏ.

Dung sai thường được chỉ định liên quan đến các đường trục lý thuyết và thông thường là tập trung vào những dung sai dự kiến có ý nghĩa đối với các thiết bị hoặc vật liệu hoàn thiện sau và người dùng trong tương lai. Dung sai hoặc sai lệch tổng thể của công trình phải được tổng hợp hoặc lập bảng cho từng loại phần tử hoặc chức năng bao gồm nhưng không giới hạn ở những điều sau:

- Vị trí mặt bằng cọc và vị trí cắt đầu cọc
- Vị trí tường chắn
- Vị trí mặt bằng và hình dạng của vách, cột và lỗ mở
- Độ thẳng đứng của cột và các cấu kiện vách
- Vị trí vòng trước
- Độ phẳng của sàn trên toàn bộ mặt bằng
- Dung sai theo phương dọc của tấm ốp mặt dựng
- Thay đổi đột ngột về cao độ bề mặt
- Vị trí và cao độ của các cấu kiện đặt chèn/chèn
- Độ thẳng và độ dài.

Việc gắn các thiết bị sau thi công phần thô như tấm mặt dựng, sàn nâng và trần nhà phải cho phép kết hợp của dung sai xây dựng và các chuyển dịch khi công trình nhà đi vào hoạt động.

Các tiêu chuẩn và quy chuẩn xây dựng địa phương không phải lúc nào cũng cung cấp hướng dẫn liên quan về dung sai đối với thi công nhà cao tầng (BSI 1990 [41] và ACI Committee 107 2010 [42]). Dung sai xây dựng liên quan đến vị trí mà các phần tử của kết cấu được đúc và được coi là chịu lực trước. Không kể đến bất kỳ chuyển dịch hoặc độ võng nào sau khi tháo ván khuôn/giáo chống hoặc độ lún từ trung hạn đến dài hạn, co ngót, từ biến, co ngán hoặc các hiệu ứng nhiệt.

Trong BS 5606:1990, chuyển dịch của nhà được phân loại là 'sai lệch cố hữu' do hình dạng kết cấu, tải trọng, đặc tính vật liệu và trình tự xây dựng. Do đó, các điều khoản sẽ phụ thuộc vào các thiết kế ý tưởng, các chi tiết mối nối, vật liệu liên quan và ứng xử dự đoán của chúng (BSI, 1990 [41]). Do đó, dung sai về chuyển dịch của nhà và các kết quả cần được thảo luận,

hiểu và chia sẻ đầy đủ giữa các kỹ sư thiết kế, tổng thầu và nhà thầu phụ có chuyên môn để giảm thiểu các vấn đề tiềm ẩn trong trình tự thi công và khi sử dụng.



11 Vật liệu

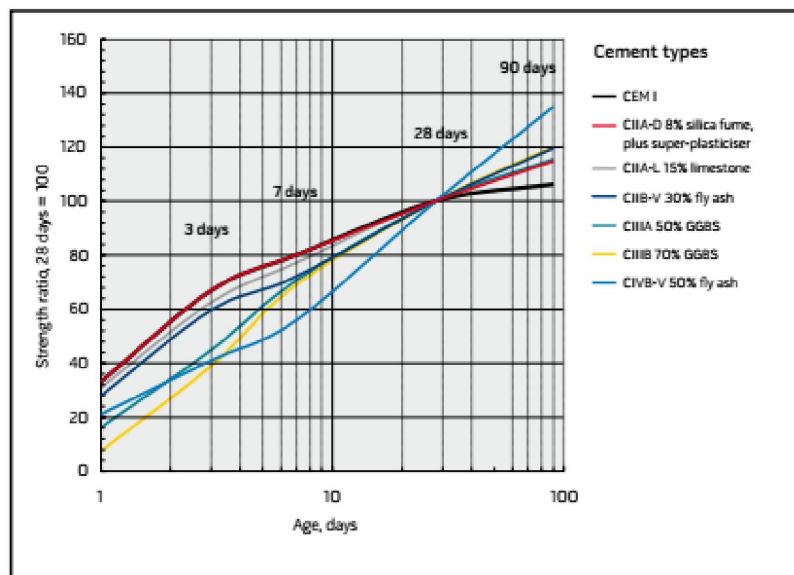
Công nghệ vật liệu đã phát triển vượt bậc, cùng với sự phát triển của sản phẩm xây dựng, mang đến cho các kỹ sư thiết kế tiềm năng và khả năng tăng hiệu quả thi công lớn hơn rất nhiều. Công nghệ bê tông đã được hưởng lợi từ việc tập trung vào nghiên cứu và thị trường, cho phép các kỹ sư thiết kế tinh chỉnh bê tông cho các ứng dụng chuyên môn, bao gồm cả xây dựng nhà cao tầng.

11.1 Bê tông

Trong suốt hướng dẫn này, ký hiệu của tiêu chuẩn Châu Âu cho cường độ bê tông được sử dụng, chẳng hạn như C50/60. Tiền tố ‘C’ được sử dụng cho bê tông thường và bê tông nặng. Tiền tố ‘LC’ được sử dụng cho bê tông nhẹ. Con số đầu tiên là cường độ mẫu trụ tính bằng MPa. Con số thứ hai là cường độ mẫu lập phương, cũng tính bằng MPa.

11.1.1 Móng

Nền móng cho nhà cao tầng có xu hướng yêu cầu đồ khối lớn cho móng bè hoặc bè cọc. Cần xem xét việc sử dụng các chất bổ sung như xỉ lò cao dạng hạt xay (ggbs) hoặc tro bay để giảm nhiệt ban đầu của quá trình thủy hóa và do đó, giảm nứt sớm do nhiệt. Mức độ bổ sung có xu hướng vào khoảng 50-70% mặc dù có thể sử dụng đến 80% ggbs. Mặc dù thông thường quy định cường độ của bê tông là 28 ngày, móng được chọn kích thước dựa trên tĩnh tải và ứng suất ban đầu áp dụng của móng thường thấp hơn đáng kể so với ứng suất do tĩnh tải. Do đó, Có thể cho phép bê tông mất 56 hoặc 90 ngày để đạt được cường độ yêu cầu.



Hình 12.1 - Tỷ lệ cường độ của các mức phụ gia khác nhau trong khoảng thời gian từ một ngày đến 90 ngày. Thông thường, cường độ được chỉ định là cường độ 28 ngày [5].

11.1.2 Kết cấu phần thân

Nhà cao tầng có xu hướng sử dụng bê tông cường độ cao cho các cấu kiện kết cấu thẳng đứng để giúp tiết kiệm đáng kể diện tích bị chiếm bởi kết cấu thẳng đứng. Bê tông cường độ cao có thể được coi là có cường độ trên C50/60. Hầu hết các nhà cao tầng bằng bê tông trên 30 tầng đều sử dụng bê tông cường độ cao, nếu có thể.

Bê tông cho nhà cao tầng phải đảm bảo có thể bơm được từ nền lên đến tầng được thi công. Yêu cầu này ảnh hưởng đến thiết kế của cấp phối bê tông. Nếu bê tông được bơm cao hơn 30 tầng, công nghệ bê tông hiện tại thường sẽ dùng bê tông cường độ cao ngay cả khi bê tông thường được quy định trong thiết kế. Có thể xem xét điều này trong thiết kế ban đầu để tối ưu hóa thiết kế của các cấu kiện theo phương ngang cũng như các cấu kiện thẳng đứng.

Lợi ích của việc sử dụng bê tông cường độ cao [43] đặc biệt đáng chú ý đối với các cấu kiện thẳng đứng, là nơi bê tông cường độ cao phát huy tác dụng. Kích thước của các cột có thể giảm khoảng 40% bằng cách tăng gấp đôi cường độ của bê tông. Vách có xu hướng không chịu ứng suất cao như cột vì tải trọng tương tự như tải trong cột nhưng được trải rộng trên diện tích lớn hơn của vách.

Bê tông cường độ cao có Mô-đun đàn hồi cao hơn bê tông thường và do đó ít bị biến dạng hơn. Từ biến và co ngót cũng thấp hơn ở các loại bê tông cường độ cao. Để giảm bớt sự chênh lệch giữa các cột và vách, người thiết kế cần xem xét sử dụng các cường độ khác nhau của bê tông cho từng loại cấu kiện, nếu ứng suất không giống nhau.

Vì Mô-đun đàn hồi của bê tông cao hơn trong bê tông cường độ cao, các sàn (thường bị chi phối bởi các tiêu chí về độ võng) cũng có thể được hưởng lợi từ việc sử dụng bê tông cường độ cao.

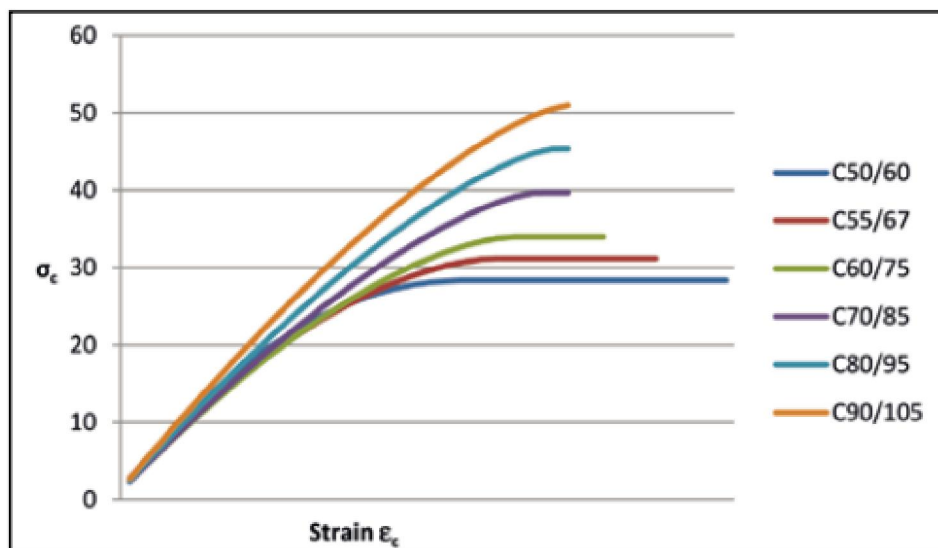
Trong khung tại chỗ, mối nối giao giữa sàn với cột hoặc dầm với cột cần được xem xét nếu bê tông cường độ cao được sử dụng trong kết cấu theo phương đứng nhưng không được sử dụng trong kết cấu theo phương ngang. Phần bê tông tại chỗ tiếp giáp giữa dầm với cột hoặc sàn với cột thường được đổ cùng với dầm hoặc sàn. Điều này tạo ra một phần bê tông có cường độ thấp hơn trong cột ở vị trí nút giao. Tại các cột bên trong, phần bê tông này có thể được coi là bị hạn chế nở ngang và do đó có thể chịu ứng suất lớn hơn so với bê tông không hạn chế nở ngang. Theo nguyên tắc chung, khả năng tăng lên này có thể được coi là $1,4 \times f_{cd}$ của bê tông sàn hoặc dầm [44].

Bê tông cường độ cao có độ dẻo kém hơn bê tông thường và do đó, cốt thép phải cung cấp độ dẻo dưới dạng cốt đai cho cột và cho cả vách nếu cần.

Hình 12.2 đưa ra đường cong ứng suất/biến dạng được tạo thành bằng các thông số trong Eurocode 2 (EN 1992-1-1) cho thấy rằng, khi cường độ của bê tông tăng lên, vùng dẻo nằm

ngang, tính từ biến dạng mà tại đó cường độ đặc trưng đạt được cho đến biến dạng cực hạn, giảm từ 1,5 đến 0 phần nghìn (‰).

Sự thiếu độ dẻo này cũng đã được giải quyết bằng cách sử dụng cốt thép sợi cùng với cốt thép thanh thông thường ^[45].



Hình 12.2 - Đường cong ứng suất / biến dạng được trình bày chi tiết theo các tham số trong Eurocode 2 (EN 1992-1-1).

Các loại bê tông cường độ cao và tính năng cao có thể dễ bị nứt vỡ/bong hơn các loại bê tông thường. Hiện tượng này sẽ tăng lên nếu sử dụng silica fume trong hỗn hợp bê tông, điều khá phổ biến đối với bê tông cường độ cao hơn (> C70/85). Bê tông silica-fume có tính nhạy với hiện tượng nở gây bong, đây là hình thức nứt vỡ/bong cần tránh nhất. Loại cốt liệu cũng có ảnh hưởng đến tính nhạy với nứt vỡ/bong. Các cốt liệu nhẹ và bazan ít có khả năng bị bong trong khi các cốt liệu sỏi silic có nhiều khả năng hơn ^[46].

Nghiên cứu về một loạt các vụ cháy đường hầm ở Châu Âu đã kết luận rằng việc sử dụng sợi siêu nhỏ polypropylene trong hỗn hợp bê tông có ảnh hưởng có lợi nhất đến khả năng nứt vỡ/bong, loại bỏ rủi ro trong bê tông cường độ cao (nhưng không phải cường độ siêu cao) (> 150 MPa). EN 1992-1-2 quy định liều lượng nhiều hơn 2 kg/m³ sợi monofilament, polypropylene để giảm khả năng nứt vỡ/bong trong bê tông cường độ cao nhưng liều lượng này có thể giảm nếu được kiểm chứng bởi thử nghiệm. Việc bổ sung sợi siêu nhỏ có ảnh hưởng đến khả năng bơm và cường độ của bê tông, do đó, nhà cung cấp bê tông cần được tư vấn để tối ưu hóa thiết kế của cấp phối bê tông.

11.1.3 Tính dễ xây dựng

Tính dễ xây dựng đã được thảo luận trong Chương 6; cấp phối bê tông sẽ bị ảnh hưởng nhiều bởi các yêu cầu về tính dễ xây dựng. Các yêu cầu về phát triển cường độ sớm sẽ khác nhau giữa các phương pháp thi công khác nhau và do đó, cấp phối bê tông cũng sẽ khác nhau.

Nhà sản xuất bê tông nên thí nghiệm các cấp phối bê tông khác nhau dự kiến được sử dụng trước khi bắt đầu đổ bê tông tại công trường.

Có thể sử dụng bê tông tự đầm khi xây dựng các nhà cao tầng, nơi cốt thép có thể được bố trí dày đặc với ít không gian cho phương pháp đầm thông thường. Cần xem xét vấn đề này trong giai đoạn thiết kế nếu cốt thép được bố trí quá dày đặc ^[47].

11.2 Cốt thép

Thị trường sản xuất và cung cấp cốt thép rất khác nhau trên khắp thế giới. Trong thời gian cao điểm của hoạt động xây dựng, cốt thép cũng có thể được nhập khẩu và cần đảm bảo nó tuân thủ đặc điểm kỹ thuật của dự án. Các kỹ sư nên sớm tìm hiểu thị trường về việc cung cấp vật liệu trong quá trình thiết kế.

Các đặc tính chính của vật liệu mà các kỹ sư quan tâm là cường độ và độ dẻo. Độ dẻo đặc biệt quan trọng trong các khu vực ảnh hưởng bởi động đất. Tuy nhiên, các đặc tính khác cũng có thể quan trọng, ví dụ, độ bám dính và khả năng hàn. Các kỹ sư cũng sẽ cần đảm bảo rằng cốt thép tương thích với tiêu chuẩn thiết kế bê tông.

Hệ thống cấu tạo cốt thép chế tạo sẵn

Có rất nhiều hệ thống chế tạo sẵn có sẵn để tăng hiệu quả xây dựng bao gồm:

- Hệ thống liên kết thanh - chẳng hạn như hệ thống coupler và thanh uốn cong
- Cốt thép gia công đầu chữ T
- Hệ đỉnh chống cắt và chống chọc thủng chế tạo sẵn
- Cốt thép chế tạo sẵn (chẳng hạn như lưới, lồng thép dầm và cột) bao gồm cả lưới thép uốn
- Hệ ban công đúc sẵn (để ngăn hiện tượng cầu dẫn nhiệt (thermal bridge)).

Không thể liệt kê hết ở đây danh sách các sản phẩm toàn cầu nhưng các kỹ sư nên nghiên cứu và thảo luận các vấn đề này sớm với nhà thầu.

11.3 Thuộc tính phụ thuộc thời gian

Các đặc tính phụ thuộc vào thời gian của bê tông đóng rắn ảnh hưởng đến chuyển dịch của công trình và sự thay đổi của nội lực là các biến dạng do ứng suất (biến dạng ban đầu cộng với từ biến) và các biến dạng không phụ thuộc ứng suất như biến dạng co ngót và biến dạng do nhiệt độ gây ra. Ở đây, cần chú ý tới các biến dạng co ngót và do ứng suất gây ra; ảnh hưởng nhiệt độ được thảo luận trong Phần 7.6.

Đối với các mô hình dự báo trong các khuyến nghị thiết kế hiện tại và các hướng dẫn kỹ thuật được đề cập trong Phần 11.3.2, Tiêu chuẩn mô hình bê tông fib 2010 (fib 2013 ^[29]) và hướng dẫn ACI 209 (Ủy ban ACI 209 2005, 2008 và 2011 ^[31, 32, 33, 34]) đưa ra các định nghĩa

và giả định cơ bản đối với các biến dạng do ứng suất gây ra và các biến dạng co ngót trong bê tông và thông tin chi tiết về cơ chế vật lý và các yếu tố ảnh hưởng của chúng.

Đối với mục đích và phạm vi của chương này, cần lưu ý các yếu tố cơ bản sau đây:

- Các biến dạng co ngót và các biến dạng do ứng suất được cộng thêm.
- Các biến dạng do ứng suất thường được phân thành biến dạng đàn hồi danh nghĩa ban đầu và biến dạng từ biến; tuy nhiên, các kỹ sư thiết kế phải lưu ý rằng sự tách biệt này mang tính quy ước. Biến dạng từ biến phát triển rất nhanh trong và ngay sau khi tác dụng của ứng suất, và do đó, biến dạng đàn hồi danh nghĩa ban đầu chứa từ biến xuất hiện trong khoảng thời gian từ khi đặt ứng suất đến khi đo biến dạng. Nếu sự phân tách này được giả định, thì biến dạng ban đầu và biến dạng từ biến phải được xác định một cách nhất quán sao cho tổng của chúng tương ứng với biến dạng đo được phụ thuộc thời gian, gây ra bởi ứng suất.
- Trong phạm vi ứng suất sử dụng, biến dạng do ứng suất gây ra được coi là một ứng xử đàn hồi tuyến tính phụ thuộc vào tuổi của bê tông, kết hợp các giả định về tuyến tính và cộng tác dụng của biến dạng do ứng suất áp dụng tại các thời điểm khác nhau.

Theo các định nghĩa và giả thiết cơ bản này, khi chỉ coi co ngót là biến dạng không phụ thuộc ứng suất, thì tổng biến dạng phụ thuộc thời gian $\xi(t)$ trong bê tông đóng rắn tại thời điểm t dưới ứng suất tác dụng không đổi σ ở tuổi bê tông t' có thể là được xác định bởi các phương trình sau:

$$\begin{aligned}\xi(t) &= \xi_{\sigma}(t, t') + \xi_{sh}(t) \\ &= \sigma J(t, t') + \xi_{sh}(t) \\ J(t, t') &= \frac{1}{E_c(t')} + C(t, t')\end{aligned}$$

trong đó $\xi_{\sigma}(t, t')$ là biến dạng do ứng suất gây ra, $\xi_{sh}(t, t')$ là biến dạng co ngót, $J(t, t')$ là hàm phù hợp biểu thị biến dạng phụ thuộc ứng suất trên một đơn vị ứng suất, $E_c(t')$ là mô đun đàn hồi ban đầu danh nghĩa của bê tông liên quan đến biến dạng đàn hồi danh nghĩa ban đầu $1/E_c(t')$ trên một đơn vị ứng suất, và $C(t, t')$ là biến dạng từ biến trên một đơn vị ứng suất.

Đối với ứng suất tác dụng thay đổi $\sigma(t)$, trong trường hợp thường được giả định rằng quy luật biến thiên của ứng suất tác dụng là liên tục sau một bước hữu hạn ban đầu $\sigma(t_0)$ ở tuổi t_0 , biến dạng do ứng suất gây ra tại thời điểm t được cho bởi công thức:

$$\xi_{\sigma}(t) = \sigma(t_0)J(t, t_0) + \int_{t_0}^t J(t, t') d\sigma(t')$$

Phương trình này, một phương trình tích phân Volterra tuyến tính, đại diện cho một mô hình vật liệu cho ứng xử biến dạng của bê tông đối với các ứng suất tác dụng thay đổi. Các mô hình dự báo về từ biến bê tông thường cung cấp thông tin để dự đoán sự phù hợp của $J(t, t')$ trên cơ sở tập hợp các tham số quan trọng nhất.

12 Thiết kế kết cấu

Chương này đưa ra các lưu ý, nhằm tạo thành một tài liệu tham khảo nhanh cho các kỹ sư có kinh nghiệm cần hướng dẫn về các khía cạnh của thiết kế và phân tích cụ thể đối với nhà cao tầng.

Các lưu ý đều ngắn gọn, để có thể tham khảo nhanh. Nếu cần thêm chi tiết về việc áp dụng các phương pháp khác nhau, người đọc nên tham khảo tài liệu chuyên ngành liên quan. Tài liệu tham khảo được liệt kê ở cuối hướng dẫn.

Những lưu ý này tập hợp những kinh nghiệm tốt nhất của quốc tế. Ngoài ra, tất nhiên, các kỹ sư thiết kế nên tham khảo và tuân thủ tiêu chuẩn xây dựng hoặc quy định hiện hành trong khu vực tài phán nơi công trình được xây dựng.

Các lưu ý được sắp xếp trùng khớp với ba giai đoạn thiết kế chính:

- **Thiết kế ý tưởng.** Ở giai đoạn này, khuyến nghị thực hiện các phân tích tối thiểu và đề ra các 'mục tiêu kỹ thuật về kết cấu' theo quy tắc chung. Mục đích là để đạt được một thiết kế phù hợp một cách nhanh chóng. Xem Phần 13.1.
- **Thiết kế sơ đồ (kỹ thuật).** Ở giai đoạn này, cần có các thử nghiệm và phân tích chuyên biệt để kiểm tra tính phù hợp của thiết kế. Nhiều phương pháp được liệt kê trong thiết kế sơ đồ (kỹ thuật) sẽ thay thế các phương pháp nhanh và gần đúng được khuyến nghị trong giai đoạn thiết kế ý tưởng. Xem Phần 13.2.
- **Thiết kế chi tiết.** Cần có đầy đủ các tài liệu chi tiết, chứng minh khả năng được chấp nhận của thiết kế và các tính toán để chứng minh thiết kế đáp ứng được chúng. Các phương pháp sử dụng cần tuân theo chặt chẽ những phương pháp được dùng trong thiết kế sơ đồ. Xem Phần 13.3.

Các mục đích và yêu cầu cơ bản đối với thiết kế kết cấu của một công trình là không thay đổi dọc theo chiều cao của nó. Tuy nhiên, có một số phần sẽ trở nên quan trọng hơn khi nhà trở nên cao hơn. Chúng được liệt kê dưới đây:

- **Thành phần động của tải trọng gió.** Tải trọng gió giật, thay đổi theo thời gian có thể tạo ra phản ứng lắc cộng hưởng của toàn bộ công trình nhà.
- **Tiêu chí thoải mái cho người sử dụng.** Các chuyển động ngang của công trình khi có gió bão có thể gây khó chịu và/hoặc tạo cảm giác say xe.
- **Phản ứng với rung động nền do động đất.** Các chuyển vị và lực gây ra do rung động nền do động đất rất phức tạp. Cần sử dụng hình thức phân tích chính xác hơn cho nhà cao tầng có tính đến tính chất phi tuyến và tính chất đa dạng dao động của phản ứng công trình.
- **Chênh chuyển dịch thẳng đứng.** Sự co ngãn theo chiều dọc của kết cấu là lớn hơn; sự chênh chuyển dịch giữa các cấu kiện liên kề có thể đáng kể.

- **Liên kết cản cản chuyển vị cột.** Các lực cột là lớn, cũng như các yêu cầu ngăn cản chuyển vị.
- **Ứng xử và sức chịu tải nền.** Sức chịu tải tổng thể của nền móng có thể giới hạn chiều cao khả thi. Các chuyển dịch của nền móng có thể gây ra những ảnh hưởng đáng kể đến kết cấu phần thân.

12.1 Thiết kế ý tưởng

12.1.1 Mục tiêu

Cần làm việc với các bộ môn khác của nhóm thiết kế để quyết định:

- **Chiều cao**
- **Số tầng**
- **Dạng của hệ thống ổn định ngang**
 - Cột, lõi, khung mô-men, dầm gánh, ống ngoài, dàn đai biên, bổ sung độ cản, v.v.
- **Các kích thước kết cấu chính**
 - Vị trí cột và tường và chiều dày của sàn và dầm.
- **Hình thức kết cấu của tấm sàn và khung**
 - Các lực cột lớn và cần có liên kết ngăn cản chuyển vị.

12.1.2 Những điều cần thiết

- **Đánh giá nguy cơ địa chấn tại hiện trường.** Nếu có nghi ngờ, hãy tìm lời khuyên của một chuyên gia có thẩm quyền. EC8 phần 1 mục 3.2.1 (2011) có định nghĩa hữu ích về động đất 'rất thấp' và 'thấp'. Nếu động đất là 'rất thấp', nói chung không cần thực hiện phân tích bổ sung và kiểm tra các hiệu ứng giao động nền do động đất.
- **Xem xét tính linh hoạt khi chịu cắt của lõi.** Phần lõi sẽ bao gồm một số phần tử vách được liên kết với nhau bằng dầm nối (dầm lỗ mở). Độ cứng của các dầm này sẽ có ảnh hưởng rất đáng kể đến mức độ mà lõi hoạt động như một phần tử kết cấu đồng nhất.
- **Xem xét ảnh hưởng của các ô cửa và các lỗ mở khác ở dầm gánh.** Độ cứng của phần tử dầm gánh có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng tổng thể của hệ thống ổn định ngang.
- **Xem xét sự hạn chế chuyển vị theo phương ngang của vách.** Một số vách có thể không được giữ theo phương ngang bởi các tấm sàn; ví dụ, khi vách ngăn chia trực thang máy với trực cầu thang. Cần chú ý đến độ mảnh của chúng.
- **Đảm bảo độ cứng xoắn trong thiết kế.** Ứng xử xoắn đối với gió hoặc động đất sẽ tạo ra gia tốc ngang lớn tại một số điểm trong tấm sàn. Điều này có thể dẫn đến sự khó chịu cho người sử dụng công trình và/hoặc biến dạng lớn do động đất.
- **Bố trí hệ thống kết cấu để tiêu tán đủ năng lượng khi xảy ra động đất.** Là yêu cầu thiết yếu, ngoại trừ các khu vực có động đất thấp hoặc rất thấp.

- **Không có phá hoại giòn của các phần tử khi xảy ra động đất thiết kế.** Luôn luôn cần thiết, mặc dù không cần kiểm tra bổ sung ở các khu vực có động đất rất thấp.

Ngoài ra, trong các khu vực có hoạt động địa chấn thấp, trung bình hoặc cao:

- **Dầm yếu, cột khỏe.** Sự ổn định của một công trình khi xảy ra động đất phụ thuộc vào sự biến dạng dẻo lặp. Lựa chọn hệ thống kết cấu và hình dạng là rất quan trọng: kích thước cần thiết của các phần tử dẻo để có thể trở nên dẻo. Kích thước các phần tử không dẻo, chẳng hạn như cột, để vẫn đàn hồi ngay cả khi sự biến dạng của các phần tử dẻo đang tạo ra mômen và lực lớn hơn khả năng danh định của phần tử.
- **Tránh các kết cấu chuyển.** Rung động nền theo phương thẳng đứng có thể tạo ra các lực thẳng đứng bổ sung rất đáng kể lên các kết cấu chuyển và các nhịp hoặc công xôn dài và nặng.
- **Hình dạng mặt bằng và mặt đứng điển hình.** Những thay đổi đột ngột về độ cứng và sự phân bố khối lượng tạo ra các biến dạng và lực bổ sung lớn.
- **Tâm cứng trùng với tâm khối lượng.** Các tấm sàn lệch tâm bị xoắn trong các điều kiện động đất, tạo ra các biến dạng và lực bổ sung lớn.
- **Xem xét đường truyền tải đối với lực cắt đáy và mô men do động đất.** Nền móng sẽ chịu lực rất lớn khi động đất xảy ra.

12.1.3 Các mục tiêu kỹ thuật kết cấu

- **Giảm thiểu trọng lượng của tấm sàn và khung.** Điều này sẽ làm giảm tải trọng của cột, tăng tần số tự nhiên và giảm yêu cầu kháng chấn. Nó cũng sẽ làm giảm nhu cầu sử dụng carbon và các tài nguyên tự nhiên. Cần nhận thức được tính kinh tế các ngành công nghiệp có liên quan; khả năng tồn tại của dự án của bạn có thể phụ thuộc vào nó.
- **Tối đa hóa tỷ lệ tĩnh tải của công trình do hệ thống ổn định ngang chịu.** Hệ thống ổn định ngang phải chống lật, chống mômen hoặc lực nhỏ. Cột, vách và móng đều đơn giản hơn, cứng hơn và rẻ hơn nếu chúng luôn ở trạng thái nén. Điều này cũng sẽ làm giảm yêu cầu về nền móng chống lại lực kéo/nhỏ.
- **Kích thước hệ thống ổn định ngang để không chịu kéo khi ở trạng thái sử dụng.** Trong các cấu kiện thẳng đứng của hệ thống ổn định ngang, nứt có ảnh hưởng rất đáng kể đến độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép. Nếu vách và cột không có ứng suất kéo khi ở trạng thái sử dụng, có thể giả thiết sử dụng các thuộc tính của tiết diện không nứt trong phân tích. Điều này làm giảm yêu cầu về khả năng chịu kéo của nền móng.
- **Chuyển vị tổng thể dưới tải trọng gió phải nhỏ hơn, ví dụ, $H/500$.** Mục đích ở đây là đạt được tiêu chí thiết kế đảm bảo thoải mái cho người sử dụng, để hạn chế hiệu ứng p-delta và cho phép sử dụng các cấu tạo thông thường của mặt dựng. Giá trị $H/500$ sẽ được

thay thế trong các giai đoạn thiết kế sau bằng cách kiểm tra cụ thể hơn về sự thoải mái và chuyển dịch của mặt dựng.

- **Không nên có chuyển dịch ngang khi chịu tải thẳng đứng.** Các hiệu ứng có thể được bù đắp bằng cách điều chỉnh trước nhưng sẽ làm phức tạp quá trình xây dựng.
- **Ưu tiên chênh co ngắn của kết cấu thẳng đứng nhỏ hơn 1/500 nhịp.** Khoảng cách nhịp = khoảng cách giữa các cầu kiện thẳng đứng. Đây là một tiêu chí về khả năng sử dụng và không được tiêu chuẩn hóa hóa rộng rãi. Có thể sử dụng giá trị 1/200 nhịp, miễn là tác động của điều này được tuân theo trong thiết kế nhà và đặc điểm kỹ thuật của các lớp hoàn thiện về sau.
- **Ưu tiên cốt thép chịu nén của vách không cần đai chống phình ngang.** Chỉ áp dụng trong các khu vực có độ địa chấn rất thấp và phụ thuộc vào tiêu chuẩn. Ở tỷ lệ thép chịu nén 2%, BS 8110 yêu cầu các đai bổ sung, và gây tăng chi phí một cách không tương xứng.
- **Tích hợp bố trí vách chịu lực cùng với thang máy, cầu thang và hệ thống hộp kỹ thuật.** Việc bố trí lõi một cách hiệu quả có thể có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng kinh tế của dự án.
- **Tích hợp các cầu kiện dầm gác với công năng của công trình, chẳng hạn như tầng trồng cây.**
- **Phối hợp các tuyến giao thông trong sử dụng với chiều cao của dầm lỗ mở và/hoặc lỗ mở.**
- **Thiết kế vách lõi tự ổn định trong quá trình thi công.** Việc này giúp cho quá trình xây dựng đơn giản và an toàn hơn và sẽ giảm chi phí xây dựng.

12.1.4 Phương pháp phân tích

- **Xây dựng mô hình phân tích.** Sử dụng phần mềm phân tích yêu thích của bạn. Một số kỹ sư sẽ tính bằng tay ở giai đoạn này. Mô hình phải đơn giản cho việc xây dựng và sửa đổi, để có thể xem xét các giải pháp thay thế một cách nhanh chóng. Tuy nhiên, nó cần phải đủ chi tiết để thu được các hiệu ứng kết cấu quan trọng.
- **Mô hình lõi bằng các phần tử thanh được liên kết hoặc sử dụng các phần tử 2D.** Phương pháp mô hình hóa phần tử 1D được Cross khuyến nghị trong cuốn sách do Melchers và Hough biên tập thể hiện mỗi tiết diện của vách như một phần tử thanh đơn và liên kết chúng với các cánh tay cứng ngang và các dầm nối. Cách thức này tạo ra kết quả chính xác với một số phần tử nhỏ. Có thể dễ dàng sử dụng kết quả nội lực và mômen trong việc kiểm tra khả năng cực hạn và thiết kế cốt thép. Ngoài ra, các chương trình như Etabs và Strand cho phép thể hiện vách bằng cách sử dụng các phần tử 2D.

- **Sử dụng đủ các phần tử để mô hình hóa ứng xử khi sử dụng 2D.** Lưới chia cần phải được chia cẩn thận tại các dầm nối lỗ mở, liên kết của dầm nối và xung quanh các lỗ mở thi công. Lưới chia 2D quá thô có thể gây ra lỗi đáng kể.
- **Trong phân tích 2D,** hãy chú ý rằng các bậc tự do liên kết không giới hạn hoạt động kết cấu của các phần tử dầm nối. Liên kết các bậc tự do ở các mức sàn sẽ gây ra lỗi nếu các dầm nối được mô hình hóa bằng cách sử dụng các phần tử 2D.
- **Mô hình khả năng xoay của nút liên kết dầm nối với vách.** Nhịp dầm nối có thể được tăng thêm $d/2$ mỗi đầu hoặc có thể giảm EI hiệu dụng.
- **Ảnh hưởng của tấm cứng sàn thường có thể được mô hình hóa bằng cách liên kết các bậc tự do trong mô hình.** Một liên kết cứng trong mặt phẳng xy ở mỗi tầng là một cách thuận tiện để đơn giản hóa mô hình. Tuy nhiên, cần phải cẩn thận để đảm bảo không làm mất các hiệu ứng kết cấu quan trọng. Chỉ sử dụng nếu hiệu ứng trong mặt phẳng không đáng kể. Cẩn trọng khi dùng nếu kết cấu có dầm gác hoặc hệ giằng lớn.
- **Trong mô hình phần tử thanh, xem xét việc bỏ qua các ảnh hưởng của trục theo phương yếu và hiệu ứng xoắn.** Nếu các ảnh hưởng của trục theo phương yếu và hiệu ứng xoắn là không cần thiết cho hoạt động của hệ thống ổn định ngang, cần cân nhắc đặt các giá trị I và J cho vách lõi bằng 0 để chúng không được kể đến trong phân tích.
- **Sử dụng các giá trị E thích hợp cho thời gian chịu tải.** Có thể sử dụng E ngắn hạn đối với tải gió; cần sử dụng E dài hạn để phân tích tĩnh tải và hoạt tải.
- **Sử dụng phân tích kể đến tiết diện nứt.** Nứt có ảnh hưởng rõ rệt đến sự phân bố lực trong kết cấu và độ võng tổng thể của công trình nhà. Tuy nhiên, ở giai đoạn này có thể phù hợp khi sử dụng $I(\text{nứt}) = I(\text{không-nứt}) / 2$. Các tiết diện không có ứng suất kéo khi sử dụng sẽ không bị nứt. Lý tưởng nhất là điều kiện này bao gồm tất cả các cột và vách. Các tiết diện chịu ứng suất kéo sẽ bị nứt, có thể gồm tất cả các dầm nối và các tiết diện khác.
- **Sử dụng tải trọng gió từ tiêu chuẩn, với độ tăng thành phần động thích hợp.** Nếu có nghi ngờ, hãy tham khảo ý kiến của chuyên gia có thẩm quyền.
- **Kể đến tải trọng ngang danh nghĩa theo yêu cầu tiêu chuẩn đang sử dụng.**
- **Sử dụng hệ số giảm hoạt tải theo tiêu chuẩn đang sử dụng.**
- **Có thể cần phân tích P-delta.** Ứng xử của hệ thống ổn định ngang đối với tải trọng ngang có thể được khuếch đại bởi ảnh hưởng tổng hợp của tải trọng thẳng đứng và độ biến dạng của hệ thống. Cần đánh giá tác động này và sử dụng phân tích P-delta nếu đáng kể.

Ngoài ra, trong các khu vực có hoạt động địa chấn thấp, trung bình hoặc cao:

- **Mở rộng mô hình phân tích tĩnh.** Mở rộng mô hình phân tích tĩnh để sử dụng trong phân tích phổ phản ứng tuyến tính. Mô hình sẽ cần phải đại diện cho tất cả khối lượng công trình, sự phân bố của nó trong mặt bằng trên mỗi tầng và các cột đỡ nó.
- **Thực hiện phân tích phổ phản ứng tuyến tính theo EC8 hoặc IBC.** Điều này sẽ cung cấp một dự đoán ban đầu về chuyển vị và lực động đất.
- **Phân tích các dạng dao động đủ để huy động ít nhất 90% khối lượng công trình theo các hướng x, y và z.** Phần mềm phân tích phải cho phép mở rộng các kết quả động của dạng dao động thành phổ phản ứng thích hợp cho vùng được xem xét.
- **Sử dụng phương pháp CQC.** Kết hợp các tác động của các dạng dao động riêng lẻ thành tổng phản ứng cho mỗi hướng.
- **Kết hợp các kết quả từ các phản ứng theo phương x, y và z.** Theo yêu cầu tiêu chuẩn; phương pháp SRSS được khuyến nghị.
- **Chọn q hoặc R thích hợp.** Hãy hỏi ý kiến chuyên gia nếu có nghi ngờ về giá trị của q hoặc R để sử dụng. Điều này sẽ có ảnh hưởng rất đáng kể đến thiết kế vì ảnh hưởng trực tiếp đến yêu cầu về sức kháng của tiết diện.
- **Thêm ‘lực xoắn ngẫu nhiên’.** Theo yêu cầu tiêu chuẩn.
- **Đảm bảo tất cả các tiết diện có thể được thiết kế với đủ độ dẻo.** Sử dụng các quy tắc từ tiêu chuẩn thiết kế đã chọn.
- **Sử dụng hệ số vượt cường độ.** Trong tính toán yêu cầu độ bền cho các phần tử không dẻo như thanh nẹp, tấm cứng và nền móng.

12.2 Thiết kế sơ đồ (kỹ thuật)

12.2.1 Mục tiêu

- **Hoàn thiện kích thước và bố trí của hệ thống kết cấu.** Vị trí và kích thước của tất cả các kết cấu thẳng đứng, các cấu kiện của hệ thống ổn định ngang, và các biên sàn phải được thống nhất với nhóm thiết kế và quyết định lựa chọn.
- **Phối hợp chi tiết với các bộ môn khác.** Quyết định liên kết bề mặt giữa các hệ hoàn thiện sau và hệ thống ổn định ngang.
- **Xây dựng các bản vẽ thiết kế kỹ thuật.** Thuyết minh mô tả hệ thống và cách giao diện với thiết kế công trình cũng thường hữu ích ở giai đoạn này.
- **Đưa ra các ước tính về khối lượng bê tông và cốt thép.** Thường cần để kiểm tra chi phí.

12.2.2 Những điều cần thiết

- **Xác định xem có cần thử nghiệm ống thổi khí động hay không.**

- Kiểm tra các giới hạn áp dụng tiêu chuẩn gió của bạn. Các giới hạn trong BS EN 1992-1.4 là một hướng dẫn hữu ích:
 - + $H < 200\text{m}$
 - + $H/d < 5$; trong đó d là kích thước ngang nhỏ nhất vuông góc với gió.
 - + Dạng mặt bằng là hình chữ nhật
 - + Công trình là hình lăng trụ.

Nếu công trình nằm ngoài các giới hạn này, có thể cần phải thí nghiệm ống thổi khí động. Tìm kiếm lời khuyên của chuyên gia có thẩm quyền.

- **Xác định xem có cần phải Phân tích lịch sử Thời gian Phi tuyến hay không.**
- Các khuyến nghị của CTBUH 2008 cho Thiết kế kháng chấn của Công trình nhà cao tầng đưa ra quan điểm đồng thuận của các kỹ sư thiết kế có kinh nghiệm nhất thế giới về các kết cấu cao tầng trong các vùng địa chấn. Khuyến nghị cần phân tích lịch sử thời gian phi tuyến (NLTHA) khi:
 - + $H > 50\text{m}$
 - + **Nguy cơ địa chấn ở mức trung bình hoặc cao.**

Trong các vùng địa chấn thấp, trung bình hoặc cao:

- **Tất cả kết cấu và lớp bao che cần duy trì tính đàn hồi khi xảy ra động đất với chu kỳ lặp trung bình là 50 năm.** Có thể sử dụng phân tích phổ phản ứng đàn hồi. Xem phụ lục B về các khuyến nghị của CTBUH (2008).
- **Không sụp đổ kết cấu khi xảy ra động đất với chu kỳ lặp trung bình là 2.500 năm.** Có thể cần phải phân tích phản ứng lịch sử thời gian phi tuyến. Tham khảo các khuyến nghị của CTBUH (2008). Tham khảo ý kiến của chuyên gia có năng lực đối với loại phân tích này nếu cần thiết.

Trong các vùng có địa chấn trung bình đến cao:

- **Trong phân tích kháng chấn, biến dạng là thông số quyết định.** Sự sụp đổ được ngăn chặn bởi khả năng của kết cấu có thể chấp nhận một mức độ biến dạng không đàn hồi vừa đủ.
- **Sức kháng thích hợp ngăn ngừa sự biến dạng quá mức.** Tuy nhiên, sức kháng dư thừa sẽ dẫn đến lực quá lớn trong kết cấu.
- **Cần nhắc dùng khung trọng lực.** Điều này có thể làm cứng công trình một cách đáng kể và có thể có lợi khi đưa vào phân tích NLTHA.
- **Các mặt cắt giòn phải ứng xử đàn hồi.** Các phần tử không có khả năng biến dạng ngoài chảy dẻo không được phép có biến dạng không đàn hồi

- **Yêu cầu biến dạng được tính toán trong phân tích phải nhỏ hơn giá trị cho phép đối với loại cầu tạo đố trong ASCE 7-10 (2010).** Áp dụng đối với mọi cấu kiện kết cấu. Nếu điều kiện này được đáp ứng, yêu cầu chống sụp đổ được thỏa mãn.

12.2.3 Các chỉ tiêu kỹ thuật kết cấu

- **Đảm bảo tất cả các tiết diện có thể được bố trí cốt thép một cách kinh tế.** Kiểm tra tất cả các cấu kiện, đặc biệt là các cấu kiện dầm gánh nối thành hệ khung với vách lõi, lực cắt trong dầm nối lỗ mở, neo cốt thép ở vị trí dầm nằm vuông góc với vách mỏng, khu vực ứng suất kéo trong vách lõi và khu vực giao giữa nhiều dầm của khung với nhau thành một nút.
- **Chuyển vị ngang của tầng do tải trọng gió cần được kiểm tra trong thiết kế mặt dựng.** Chuyển vị tương đối của một tầng so với tầng liền kề rất quan trọng trong việc thiết kế hệ thống mặt dựng. Giới hạn sử dụng trong thiết kế cần được thỏa thuận với nhà cung cấp mặt dựng. Các giá trị trong phạm vi $h/500$ đến $h/200$ đều đã được sử dụng thành công trong quá khứ và $h/300$ có thể là một giá trị cân bằng, trong khi $h/400$ sẽ dễ dàng hơn cho các nhà cung cấp mặt dựng.
- **Gia tốc ngang do tải trọng gió có thể chấp nhận được đối với người sử dụng.** Một sự kiểm tra về động lực học được tính toán trong phòng thí nghiệm ống thổi khí động: nó bị ảnh hưởng bởi khí hậu gió, hình học của công trình nhà, sự phân bố khối lượng và độ cứng của công trình, hình dạng của môi trường xung quanh và độ cản sẵn có.

12.2.4 Các phương pháp phân tích ở giai đoạn thiết kế kỹ thuật

- Mô hình phân tích giai đoạn TKKT cần kể đến đầy đủ chi tiết để cho phép thiết kế mọi cấu kiện kết cấu quan trọng.
- Có những yêu cầu cụ thể nếu thử nghiệm ống thổi khí động và/hoặc phân tích thời gian phi tuyến.

1) Phân tích nếu không yêu cầu thử nghiệm ống thổi khí động

- Các phương pháp phân tích như được mô tả trong phần thiết kế ý tưởng nhưng với mức độ chính xác cao hơn và sự phối hợp chặt chẽ hơn với nhóm thiết kế.
- Có khả năng các gia tốc theo phương ngang sẽ không gây ra sự khó chịu đáng kể hoặc than phiền từ những người sử dụng công trình.
- Giới hạn độ lệch tổng thể ở mức $H/500$ hoặc kiểm tra gia tốc theo phương ngang, như theo dự đoán của Quy chuẩn Xây dựng Quốc gia Canada, nằm trong giới hạn chấp nhận được.

2) Phân tích nếu cần thử nghiệm ống thổi khí động

Tiến hành phân tích động lực học đối với phản ứng do gió. Đầu tiên, hãy xác định:

- **Điểm gốc của mô hình.** Ở mô hình 3D, ở cao độ móng, càng gần tâm cắt của công trình nhà càng tốt.
- **Các trục của mô hình.** Trùng với hướng chuyển động trong hai dạng giao động đầu tiên, nếu có thể. Những điều cần ghi nhớ:
- **Mô hình momen quán tính quay của các tấm sàn.** Để mô hình các hiệu ứng xoắn.
- **Đảm bảo hai dạng giao động đầu tiên là tịnh tiến.** Thay vì xoắn.
- **Có thể không cần phân tích p-delta.** Giá trị giới hạn Lamda cho trạng thái sử dụng phải lớn hơn 10 khá nhiều.

Sau đó, sử dụng phân tích động học dạng dao động để chuẩn bị dữ liệu này gửi đến phòng thí nghiệm ống thổi khí động:

- **Các tần số dạng dao động.** Đối với ba dạng giao động đầu tiên.
- **Hình dạng dao động.** Đối với ba dạng giao động đầu tiên.
- **Khối lượng và vị trí từng tầng.** Ở tâm của mỗi khối lượng sàn, ở dạng 3D.

3) Thử nghiệm ống thổi khí động

Hãy tìm kiếm lời khuyên từ chuyên gia có năng lực, người có khả năng sẽ đề xuất thử nghiệm Cân bằng lực tần số cao (HFFB) hoặc thử nghiệm Tích hợp áp suất đồng thời. Quá trình này sẽ gồm hai phần: kiểm tra mô hình và hậu xử lý số liệu. Giai đoạn hậu xử lý có thể được lặp lại mà không cần phải thí nghiệm lại.

Đối với giai đoạn thử nghiệm, phòng thí nghiệm ống thổi khí động cần có kích thước hình học bên ngoài 3D của công trình và môi trường xung quanh và điểm gốc phân tích và các trục được xác định liên quan đến dữ liệu hình học 3D.

Đối với giai đoạn hậu xử lý số liệu, phòng thí nghiệm cần:

- **Kết quả từ phân tích động của bạn.**
- **Hệ số độ cản của kết cấu.** Số lượng dữ liệu đáng tin cậy về độ cản thực tế trong nhà bị hạn chế. Theo kinh nghiệm, các kỹ sư đã sử dụng giá trị độ cản lên đến 3%. Tuy nhiên, nghiên cứu gần đây về ứng xử của nhà đã thi công xong cho thấy rằng đây có thể là một ước tính quá cao. Thông tin thêm có thể được tìm thấy trong CTBUH 2008, bài báo của Smith, Merello và Willford, EN1991-1-4, và các dữ liệu nghiên cứu khác.
- **Dải tần số và khối lượng dùng cho các phân tích độ nhạy.** Ví dụ: sử dụng +/- 20% để tính chênh lệch giữa tính toán và ứng xử công trình thực tế.
- **Cao độ của tầng cao nhất được sử dụng để phân tích.**
- **Công năng của nhà.** Văn phòng hay để ở?

- **Tiêu chí chấp nhận.** Sử dụng ISO 10137 (2007), cũng như tiêu chuẩn quốc gia thích hợp. Phòng thí nghiệm ống thổi khí động gió sẽ cung cấp cho bạn
- **Dự đoán gia tốc ngang.** Ở tầng phía trên có người ở.
- **Khả năng chấp nhận của các giá trị gia tốc.** Liên quan đến tiêu chí.
- **Tải trọng từng tầng.** Để sử dụng như các trường hợp tải gió trong phân tích chi tiết.

4) Phân tích, nếu lịch sử thời gian phi tuyến là không cần thiết

Nếu $H < 50\text{m}$: Thiết kế theo EC8 hoặc IBC bằng cách sử dụng phân tích phổ phản ứng đàn hồi.

Nếu $H > 50\text{m}$ nhưng nguy cơ địa chấn thấp: Có thể sử dụng phân tích phổ phản ứng đàn hồi. Phụ lục B của CTBUH 2008 đưa ra các khuyến nghị cho việc phân tích:

- **Nguy cơ địa chấn dựa trên chu kỳ lặp 2.500 năm.**
- **Phổ phản ứng dựa trên độ cản 2%.**
- **Tỷ lệ yêu cầu trên khả năng lớn nhất = 2.** Hiệu quả tương đương với giả định về q , hoặc $R_s = 2$.
- **Cần có cấu tạo dẻo khi tỷ số yêu cầu trên khả năng > 1 .** Các thành phần kết cấu có tỷ lệ về yêu cầu cường độ trên khả năng $> 1,0$ phải được cấu tạo như các thành phần của hệ khung chịu động đất cấp trung bình theo ASCE 7-10. Khi yêu cầu cường độ nhỏ hơn khả năng, không cần cấu tạo kháng chấn cụ thể.
- **Nền móng được thiết kế cho yêu cầu đàn hồi.** Hoặc mômen và lực cắt đáy lớn nhất mà kết cấu có thể truyền cho nền móng, tính đến tất cả các dự trữ về cường độ có thể có.

5) Phân tích nếu cần có lịch sử thời gian phi tuyến

Nếu $H > 50\text{ m}$ và nguy cơ địa chấn ở mức trung bình hoặc cao: Hãy hỏi ý kiến của chuyên gia có năng lực: Có hai giai đoạn trong quy trình: Không hư hại trong động đất chu kỳ lặp 50 năm, không sụp đổ trong động đất chu kỳ lặp 2.500 năm. Có thể cần phải có phân tích dựa trên tiêu chuẩn để tuân thủ các quy định của địa phương, cũng như để thực hiện quy trình 'thiết kế dựa trên tính năng' được mô tả bên dưới.

Phân tích phổ phản ứng đàn hồi cho động đất chu kỳ lặp 50 năm:

- **Mô hình tương tự như mô hình cần thiết để phân tích gió.**
- **Nguy cơ động đất dựa trên chu kỳ lặp 50 năm.** Trên thực tế, điều này sẽ thay đổi tùy theo cơ quan có thẩm quyền và tầm quan trọng của công trình.
- **Phổ phản ứng dựa trên độ cản 2%.** Xem CTBUH 2008 phụ lục A.
- **Không cần phải tính đến lực xoắn ngẫu nhiên.**
- **Tất cả kết cấu phải duy trì trạng thái đàn hồi.**

Phân tích phản ứng lịch sử thời gian phi tuyến cho trận động đất chu kỳ lặp 2.500 năm:

- **“Nguy cơ động đất dựa trên chu kỳ lặp 2.500 năm.** Trên thực tế, điều này sẽ thay đổi tùy theo cơ quan có thẩm quyền và tầm quan trọng của công trình.
- **Chọn lịch sử động đất.** Phù hợp với ASCE 7-10 (2010) và đánh giá nguy cơ địa chấn cho địa điểm xây dựng.
- **Độ cứng ban đầu cần tính đến nứt cho đến điểm chảy dẻo.** ASCE 41-06 (2007) Phần bổ sung 1 cung cấp hướng dẫn phù hợp.
- **Độ cứng trước khi bắt đầu chảy dẻo không được lớn hơn 2%.** Xem CTBUH 2008, phụ lục A. Sự hấp thụ năng lượng sau khi bắt đầu chảy dẻo sẽ được mô hình hóa rõ ràng trong phân tích NLTHR.
- **Mối quan hệ lực-chuyển vị sau chảy dẻo dựa trên ASCE 41-06 (2007).** Hoặc các mối quan hệ theo tiêu chuẩn ngành khác, chúng xuất hiện ở vị trí nào, và chúng phù hợp với vị trí nào.
- **Các tấm cứng tầng.** Việc lập mô hình phải cho phép tính toán các lực từ tấm cứng và thanh nóc và các lực trong mặt phẳng từ các kết cấu chuyển và dầm gác.
- **Cần tính các hiệu ứng bậc hai và p-delta.** Phân tích này cần tính đến ảnh hưởng của chuyển vị đáng kể.
- **Không cần phải tính đến lực xoắn ngẫu nhiên.**
- **Số lượng phân tích.** Cần thiết. Sẽ phụ thuộc vào sự lựa chọn lịch sử chuyển động nền.
- **Biến dạng lệch (méo) lớn nhất ra và gia tốc sàn.** Chúng được sử dụng để đánh giá các thành phần phi kết cấu. Biến dạng lệch (méo) thường có ý nghĩa hơn so với độ lệch tầng.

12.3 Thiết kế chi tiết

12.3.1 Mục tiêu

- Bộ bản vẽ thi công đầy đủ.
- Một tập hợp đầy đủ các tính toán chứng minh kết cấu.
- Một tập hợp đầy đủ các vật liệu và thông số kỹ thuật cho tay nghề.

12.3.2 Những điều cần thiết

- **Đảm bảo đủ sức kháng cho tất cả các phần tử ở trạng thái giới hạn cực hạn.** Trong thiết kế không kháng chấn.
- **Đảm bảo độ lệch tầng.** Liên quan đến các giới hạn đã thỏa thuận với nhà cung cấp mặt dựng và có thể cả nhà cung cấp vách ngăn.
- **Đảm bảo các chuyển dịch phù hợp trong quá trình xây dựng.** Những điều này có thể ảnh hưởng đến thang máy, vách ngăn, mặt dựng và các thiết bị hoàn thiện sau.

- **Đảm bảo sự thoải mái cho người sử dụng do gia tốc theo phương ngang.** Điều này thay thế một cách hiệu quả giới hạn trực tiếp về độ lệch tổng thể.
- **Không có hư hỏng trong trận động đất chu kỳ lặp 50 năm.** Không cần tính toán cụ thể ở những khu vực có độ địa chấn rất thấp.
- **Công trình không sụp đổ trong trận động đất chu kỳ lặp 2.500 năm.** Không cần tính toán cụ thể ở những khu vực có độ địa chấn rất thấp.
- **Kết cấu đủ độ khỏe trong các sự kiện cực đoan.** Theo quy định của địa phương và/hoặc đánh giá rủi ro cụ thể cho công trình nhà.
- **Liên kết ngăn cản của cột.** Giới hạn bên của cột ở các tầng: thường là tỷ lệ phần trăm của tải trọng cực hạn của cột.
- **Giăng các cột.** Để đảm bảo đủ độ khỏe. Các quy tắc địa phương có thể được áp dụng.
- **Thiết kế độ chắc chắn của cột ở biên.** Để phù hợp với việc đánh giá rủi ro cho công trình nhà. Có thể cần có thiết kế đối với tải trọng do phương tiện va đập hoặc cần kiểm tra về đường dẫn tải thay thế trong trường hợp bị mất cột.
- **Dạng phá hoại của tấm sàn đúc tại chỗ phải có tính dẻo.** Khi các liên kết vào vách lõi phụ thuộc vào các cấu tạo thép liên kết đổ tại chỗ, cần đảm bảo rằng dạng phá hoại đối với cấu tạo liên kết là dẻo. Điều này có nghĩa là các dầm nối với các tấm có thể được thiết kế mà không cần đánh giá ảnh hưởng của các góc xoay đầu dầm.

Ngoài ra, trong các khu vực có hoạt động địa chấn thấp, trung bình hoặc cao:

- **Cấu tạo cấu kiện.** Phải tuân thủ các yêu cầu của EC8 (2011) hoặc ACI 318 (2008), nếu thích hợp.

12.3.3 Các chỉ tiêu về kết cấu - kỹ thuật

- **Các mạch ngừng thi công trong lõi.** Cần phải phối hợp với thiết kế ván khuôn và biện pháp thi công. Điều này sẽ có tác động đến cấu tạo cốt thép.
- **Cấu tạo của lõi.** Phải tính đến việc thiết kế ván khuôn leo hoặc trượt.
- **Dầm và sàn tạo thành khung với lõi.** Cần phải được cấu tạo bằng cách sử dụng thanh uốn hoặc coupler.
- **Tổng hợp và các cho phép về dung sai xây dựng.** Thiết kế chi tiết các cấu kiện tạo thành khung với lõi hoặc nối với lõi.
- **Lỗ mở tạm.** Có thể phải có trong các vách lõi cho thanh treo, dây buộc cần trục hoặc lõi tiếp cận với vận thăng.
- **Tải trọng tạm thời.** Trong quá trình thi công, CĐT có thể muốn thiết kế lõi để đỡ cho cần trục, vận thăng hoặc sàn thao tác.

12.3.4 Phương pháp phân tích

Trạng thái giới hạn cực hạn và phân tích kháng chấn

Tương tự như các phân tích trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật ngoại trừ:

- **Án định kích thước và cấu tạo.**
- **Tải trọng gió từ các kết quả của ống thổi khí động.**

Phân tích trạng thái giới hạn về sử dụng

- **Phân tích chuyển vị do gió.** Tương tự như phân tích ULS nhưng sử dụng tải tiêu chuẩn và (có thể) không cần phân tích p-delta. Cung cấp độ lệch tầng cho kỹ sư thiết kế mặt dựng và kỹ sư thiết kế các vách ngăn bên trong.
- **Phân tích độ võng do tĩnh tải.** Có thể phải cung cấp dữ liệu để tính toán các giá trị đổ bù: theo phương đứng, phương ngang hoặc độ dốc sàn. Cần tính đến từ biến và co ngót trong phân tích nhiều giai đoạn.



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. CTBUH – Council on Tall Buildings and Urban Habitat, www.ctbuh.org
2. Rohan Rupasinghe and Eanna Nolan, Formwork for Modern, Efficient Concrete Construction, BRE, 2007
3. MPA The Concrete Centre, Concrete Basements, CCIP-044, 2012
4. Smith, R. Morello, O. Wallingford, M. ‘Intrinsic and supplementary damping in tall buildings’ Proceedings of the ICE - Structures and Buildings, Vol. 163, (2), April, pp. 111-118, 2010.
5. Ellis, B. ‘Full-scale measurements of the dynamic characteristics of buildings in the U.K.’ Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 59, (2-3), March, pp. 365-382, 1996.
6. Suda, K. Satake, N. Ono, J. Sasaki, A. ‘Damping properties of buildings in Japan’ Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 59, (2-3), March, pp. 383-392, 1996.
7. Kijewski-Correa, T. Young, B. Baker, W. Sinn, R. Abdelrazaq, A. Isyumov, N. Kareem, A.
8. ‘Full-scale validation of finite element models for tall buildings’ CTBUH 7 th World Congress, New York, October 16-19, 2005.
9. Balendra, T. Vibration of Buildings to Wind and Earthquake Loads, London, Springer-Verlag, 1993
10. CTBUH - Council of Tall Buildings and Urban Habitats, <<http://www.ctbuh.org/>>. June 2012.
11. National Research Council of Canada. Canadian Commission on Building and Fire Codes, National Building Code of Canada, National Research Council Canada, 2010.
12. Architectural Institute of Japan (AIJ)
13. Cermak, J.E. Applications of fluid mechanics to wind engineering - A Freeman Scholar Lecture, Journal of Fluids Engineering, ASME, (March): pp. 9-38, 1975
14. Davenport, A.G. The implication of statistical concepts to the wind loading of structures, Proceedings of the Institute of Civil Engineers 19, August, pp.447-472, 1961
15. Davenport, A.G. The response of slender, line-like structures to a gusty wind, Proceedings of the Institute of Civil Engineers 23, November, pp. 389-407, 1962
16. Davenport, A. G. The buffeting of structures by gusts, International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings, Teddington, 1963
17. Davenport, A.G. ‘A note on the distribution of the largest value of a random function,’ Proceedings of the Institute of Civil Engineers 28, June, pp. 187-196. 1964

18. ISO 10137–2007, Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations, ISO (International Organization for Standardization), Geneva, Switzerland, 2007
19. Standards Australia/Standards New Zealand 1170.2, Structural design actions, Part 2: Wind actions, Standards Australia/Standards New Zealand, 2002
20. EN 1991-1-4, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions, European Committee for Standardization, 2005
21. AIJ-RLB, Recommendations for Loads on Buildings, Architectural Institute of Japan, 2004
22. Cammelli, S., Wyatt, T.A. 'Higher modes of vibration in response of super-tall buildings to wind,' 35th Annual Symposium of IABSE / 52nd Annual Symposium of IASS / 6th International conference on Space Structures, London, September 20-23, 2011
23. Harris, R.I., Deaves, D.M. 'The Structure of Strong Winds,' Paper No. 4, Proceedings of the CIRIA Conference on Wind Engineering in the Eighties, London, 12-13 November, Construction Industry Research and Information Association, London, 1981
24. American Society of Civil Engineers (ASCE), ASCE Manual of Practice No.67 for Wind Tunnel Studies, American Society of Civil Engineers, 1998
25. Australasian Wind Engineering Society, Quality Assurance Manual - Wind Engineering Studies of Buildings, AWES-QAM-1-2001, 2001
26. Bast, W. D., McDonnell, T. R., Parker, L., and Shanks, S. P., 'Measured shortening and its effects in a Chicago high-rise building', Proceedings of the Third Forensic Engineering Congress, San Diego, CA, pp. 564-576, 2003
27. Fintel, M., Ghosh, S. K., and Iyengar, H., 'Column shortening in tall structures – prediction and compensation (EB108.01D)', Portland Cement Association, 1986.
28. Fintel, M., and Khan, F. R., 'Effect of column creep and shrinkage in tall structures – Prediction of inelastic column shortening', ACI Journal, Dec., Vol. 66, No. 2, pp. 957-967, 1969.
29. Ha, T., Lee, S. and Oh, B., 'Prediction and control of movement of high-rise buildings during construction', fib Symposium PRAGE 2011, Session 2B-4: Construction Technology, pp. 482-486, 2011.
30. fib, 'fib Model Code 2010', Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2013.
31. Chiorino, M. A. and Sassone, M., 'Further considerations and updates on time dependent analysis of concrete structures', Structural Concrete - Textbook on behaviour, design and performance, 2nd edition, Vol. 2, Sec. 4.16, fib Bulletin 52, Lausanne, pp. 43-69, 2010.
32. ACI Committee 209, 'Analysis of creep and shrinkage effects in concrete structures (ACI 209.3R-XX)', American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 229 pp.

34. ACI Committee 209, 'Guide for modelling and calculating shrinkage and creep in hardened concrete (ACI 209.2R-08)', American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 48 pp.
35. ACI Committee 209, 'Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures (ACI 209R-92, Reapproved 2008)', American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 47 pp.
36. ACI Committee 209, 'Report on factors affecting shrinkage and creep of hardened concrete (ACI 209.1R-05)', American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 12 pp.
37. Bažant, Z. P., and Baweja, S., 'Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures - Model B3', in: A. Al-Manaseer ed., The A. Neville Symposium: Creep and Shrinkage - Structural Design Effects, ACI SP-194, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 1-83, 2000.
38. Bažant, Z.P., Hubler, M.H., and Yu, Q., 'Excessive creep deflections: An awakening',
39. ACI Concrete International, August, pp. 44-46, 2011.
40. Bažant, Z. P., Li, G.-H., and Yu, Q., 'Prediction of creep and shrinkage and their effects in concrete structures: Critical appraisal', Proceeding of 8th International Conference on Creep, Shrinkage and Durability of Concrete and Concrete Structures - CONCREEP 8, Vol. 2, T. Tanabe, et al. eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 2009, pp. 1275–1289, 2009.
41. Gardner, N. J., 'Comparison of prediction provisions for drying shrinkage and creep of normal-strength concretes', Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 31, pp. 767-775, 2004.
42. McCafferty, P., Brodtkin, D., Farnsworth, D., and Scott, D., 'Engineering an icon – The Marina Bay Sands® Integrated Resort', STRUCTURE magazine, June, pp. 29-33, 2011.
43. Carreira, D. J., and Poulos, T. D., 'Designing for effects of creep and shrinkage in high-rise concrete buildings', ACI SP 246-07, pp. 107-132, 2007.
44. BSI, Guide to accuracy in building (BS 5606:1990), British Standards Institution, 1990, 60 pp.
45. ACI Committee 107, 'Specification for tolerances for concrete construction and materials (ACI 117-10)', American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 80 pp.
46. fib bulletin 42 Constitutive modelling of high strength / high performance concrete:
47. fib 2008
48. The Concrete Society, Technical Report 49 Design guidance for high strength concrete. 2010
49. The Concrete Society, Technical Report 63 Guidance for the Design of Steel-Fibre-Reinforced Concrete. 2007
50. The Concrete Centre, CCIP-031 Performance of Concrete Structures in Fire. 2011
51. The Concrete Society, Technical Report 62 Self-compacting Concrete: A review. 2005.

52.A working group of The Concrete Centre and fib Task Group 1.6, Tall Buildings
Structural design of concrete buildings up to 300 m tall. 2014

