

**ĐÁNH GIÁ SỨC CHỊU TẢI CỰC HẠN CỦA CỌC TỪ THÍ NGHIỆM
NÉN TĨNH VÀ THỬ ĐỘNG BIẾN DẠNG LỚN PDA**
EVALUATION OF ULTIMATE LOAD - BEARING CAPACITY OF PILES BASED ON
STATIC COMPRESSION TEST AND PILE DYNAMIC ANALYSIS (PDA)

NGUYỄN NGỌC THĂNG^{a,*}

^aKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội

*Tác giả đại diện: Email: thangnn@tlu.edu.vn, Tel: 0912640081

Ngày nhận 31/10/2023, Ngày sửa 18/12/2023, Chấp nhận 28/12/2023

<https://doi.org/10.59382/tj-ibst.2023.vi.vol4-7>

Tóm tắt: Xác định sức chịu tải của cọc từ thí nghiệm hiện trường là phương pháp đáng tin cậy, cho phép kiểm nghiệm lại tính toán sức chịu tải theo lý thuyết, từ đó đánh giá được khả năng chịu tải cực hạn của cọc, làm cơ sở lựa chọn sức chịu tải thiết kế cho phù hợp với các điều kiện đất nền. Trong các phương pháp thử tải cọc, phương pháp thử tải nén tĩnh là phương pháp truyền thống cho độ tin cậy cao và cũng được sử dụng sớm nhất. Tuy nhiên, khi các cọc ép được thi công ở độ sâu lớn hoặc cọc khoan nhồi có đường kính cọc lớn, sức chịu tải của cọc lớn, phương pháp thử tải nén tĩnh gặp khó khăn do tải trọng thí nghiệm lớn và thời gian thí nghiệm sẽ kéo dài. Trong khi đó phương pháp thử động biến dạng lớn, PDA, được Viện công nghệ Case, Mỹ đưa ra từ những năm 1960 xác định sức chịu tải của cọc dựa trên lý thuyết truyền sóng ứng suất trong thanh đàn hồi có nhiều ưu điểm hơn về thời gian thí nghiệm, và do không cần tải trọng nén tĩnh nên phù hợp trong điều kiện mặt bằng khó khăn. Hiện nay phương pháp này được sử dụng phổ biến và đã đưa vào quy trình chỉ dẫn thiết kế, tiêu chuẩn thí nghiệm cọc của nhiều quốc gia. Bài báo này, tác giả dựa trên kết quả thí nghiệm nén tĩnh dọc trục và thí nghiệm thử động biến dạng lớn PDA cho cọc ép bê tông cốt thép và cọc khoan nhồi tại một số công trình thực tế để từ đó so sánh, đánh giá sức chịu tải cực hạn và độ tin cậy của các phương pháp.

Từ khóa: Sức chịu tải cọc, thí nghiệm nén tĩnh, phương pháp thử động biến dạng lớn (PDA)

Abstract: Determining the load bearing capacity of piles from field tests is a reliable method that allows for the verification of load carrying capacity according to theoretical calculations, thereby the ultimate load-bearing capacity of the piles can be evaluated, serving as the basis for selecting the design load-bearing capacity that is suitable for the

site conditions. Among the various pile load testing methods, static compression testing is a traditional method known for its high reliability and early adoption. However, when piles are constructed at significant depths or large diameter drilled piles have higher load bearing capacities, static compression testing encounters difficulties due to the large experimental load and extends testing times. In contrast, the pile dynamic analysis method (PDA) introduced by the Case Institute of Technology in the United States in the 1960s determines the load bearing capacity of piles based on stress wave propagation theory in elastic bars. It offers several advantages, including shorter testing times and no need for static loading, making it suitable for challenging terrain conditions. Nowadays, this method is widely used and integrated into the design guidelines and testing standards of many countries. In this article, base on the results of axial static compression tests and PDA method on reinforced concrete piles and drilled piles at several real project to compare and evaluate the load bearing values of the piles and assess the reliability of the testing methods.

Keywords: Load-bearing capacity, static compression tests, pile dynamic analysis method (PDA)

1. Đặt vấn đề

Trong tính toán thiết kế móng cọc, sức chịu tải cọc bê tông cốt thép không chỉ phụ thuộc vào các thông số nền đất, vật liệu, kích thước đường kính và chiều sâu cọc mà còn phụ thuộc vào kỹ thuật và giải pháp công nghệ thi công cọc. Do vậy để chọn được sức chịu tải của cọc sát với tính toán và điều kiện làm việc thực tế cần tiến hành thí nghiệm kiểm tra, đánh giá sức chịu tải cọc tại hiện trường trước khi thiết kế đại trà [1]. Phương pháp thử tải trọng

tính là phương pháp trực tiếp xác định sức chịu tải của cọc, thực chất là xem xét ứng xử của cọc (độ lún) phù hợp với tương tác thực tế giữa cọc với đất nền. Dựa trên quan hệ tải trọng- độ lún, sức chịu tải của cọc được xác định với một hệ số an toàn xác định bởi thiết kế. Phương pháp này đã trở nên quen thuộc và được sử dụng khá phổ biến ở Việt Nam [2].

Tuy nhiên trong một số các công trình cụ thể việc áp dụng phương pháp thí nghiệm thử tải tĩnh cũng không được khuyến khích áp dụng bởi một số các nhược điểm như: Chi phí cho thí nghiệm lớn, đặc biệt đối với các cọc không phải ở trên mặt đất tự nhiên (cọc ép âm); Thời gian cho công tác chuẩn bị và thí nghiệm nên ảnh hưởng đến thời gian xây dựng; Trường hợp tải trọng nén tĩnh lớn sẽ khó khăn thi công do chuẩn bị, vận chuyển và cần lắp số lượng lớn các đối trọng; Các công trình phụ trợ như dầm và neo phản lực là những kết cấu lớn, không phù hợp với các công trình có mặt bằng thi công chật hẹp. Ngoài ra, kết quả từ phương pháp thử tải tĩnh truyền thống có hạn chế là không thể hiện rõ được thành phần sức kháng thành bên và sức kháng mũi cọc mà chỉ có giá trị tổng cộng của hai thành phần đó. Do đó, đối với các cọc có sức chịu tải nhỏ và mặt bằng đủ rộng, nơi không có nước mặt phương pháp nén tĩnh tỏ ra thích hợp, nhưng trong các trường hợp sức chịu tải lớn hơn hoặc mặt bằng khó khăn cho công tác chuẩn bị tải thí nghiệm thì phương pháp này không tối ưu để đánh giá sức chịu tải của cọc [3].

Trong nhóm thí nghiệm động, phương pháp thử động biến dạng lớn (PDA - Pile Driving Analysis) là phương pháp thí nghiệm gián tiếp để xác định sức chịu tải của cọc có độ tin cậy và có thể thay thế cho phương pháp nén tĩnh truyền thống. Phương pháp thử động biến dạng lớn có thể khắc phục được một số nhược điểm của phương pháp nén tĩnh và phân tích đánh giá được sức chịu tải toàn phần từ hai

thành phần riêng là ma sát bên và sức kháng mũi [4]. Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày tóm tắt quy trình thí nghiệm theo hai phương pháp tĩnh và động; đồng thời dựa trên cơ sở kết quả thí nghiệm nén tĩnh dọc trục và thí nghiệm thử động biến dạng lớn PDA cho cọc ép bê tông cốt thép và cọc khoan nhồi tại một số công trình thực tế trên nền đất yếu để đưa ra phân tích, đánh giá giá trị sức chịu tải cọc so với tính toán lý thuyết và nhận định độ tin cậy phương pháp thí nghiệm thử động biến dạng lớn, PDA.

2. Thí nghiệm xác định sức chịu tải cọc

2.1 Phương pháp gia tải bằng tải trọng tĩnh

Phương pháp gia tải bằng tải trọng tĩnh xác định sức chịu tải của cọc được quy định cụ thể trong TCVN 9393:2012 Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục [5] và đã được phân tích chi tiết trong [6]. Phương pháp này sử dụng hệ thống cọc neo hoặc dùng các vật nặng chất phía trên đỉnh cọc là đối trọng để gia tải nén cọc. Trong thí nghiệm này, cọc được gia tải theo từng cấp đến tải trọng thường bằng 1,5-2,0 tải trọng thiết kế. Cấp tải sau được tác dụng khi độ lún ở cấp tải trước đã ổn định. Dựa trên quan hệ tải trọng- độ lún, sức chịu tải của cọc được xác định với một hệ số an toàn xác định bởi thiết kế. Cho đến nay phương pháp này vẫn được coi là phương pháp có độ chính xác cao và được sử dụng khá phổ biến ở Việt Nam. Sơ đồ bố trí thí nghiệm thử tải tĩnh và thiết bị đo biến dạng được thể hiện như trên hình vẽ 1. Tải trọng thí nghiệm được cung cấp bởi các kích thủy lực. Các kích thủy lực này được bố trí trên cọc thí nghiệm và ở dưới dầm ngang. Khi kích hoạt động truyền tải trọng nén xuống cọc thử đồng thời truyền tải trọng lên dầm ngang tạo một phản lực lên dầm. Tải trọng thí nghiệm trên kích được kiểm soát cho từng cấp tải thông qua trọng lượng từ đối trọng truyền xuống dầm tương ứng bằng giá trị với phản lực trên dầm [6, 10].



Hình 1. Thí nghiệm xác định sức chịu tải cọc bằng phương pháp nén tĩnh [6, 10]

Chuẩn bị thí nghiệm:

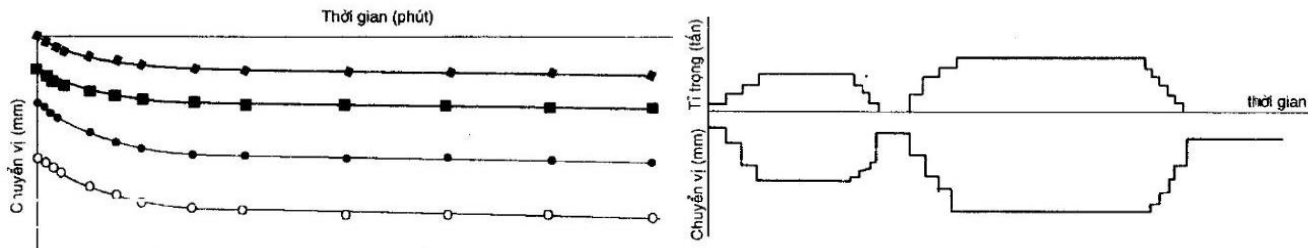
Cọc trước khi tiến hành thí nghiệm cần được kiểm tra chất lượng theo các tiêu chuẩn hiện hành về thi công và nghiệm thu cọc. Công tác thí nghiệm nén tĩnh cọc được tiến hành cho cọc đã đủ thời gian phục hồi cấu trúc của đất bị phá hoại trong quá trình thi công hoặc bê tông đạt cường độ. Đối với cọc ép, thời gian nghỉ từ khi kết thúc thi công ép cọc đến khi thí nghiệm là 07 ngày, đối với cọc khoan nhồi thời gian tương ứng là 21 ngày. Đầu cọc thí nghiệm có thể được cắt bớt hoặc nối thêm nhưng phải đảm bảo các yêu cầu sau: thứ nhất, khoảng cách từ đầu cọc đến dầm chính phải đủ để lắp đặt kích và thiết bị đo; thứ hai, mặt đầu cọc được làm bằng phẳng, vuông góc với trục cọc, nếu cần thiết phải gia cố thêm để không bị phá hoại cục bộ dưới tác dụng tải trọng thí nghiệm; và thứ ba, cần có biện pháp loại trừ ma sát phần cọc cao hơn cốt đáy móng nếu xét thấy nó có thể ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc.

Kích phải đặt trực tiếp trên tấm đệm đầu cọc, chính tâm so với tim cọc. Khi dùng nhiều kích thì phải bố trí các kích sao cho tải trọng được truyền dọc trục, chính tâm lên đầu cọc. Dụng cụ kẹp đầu cọc được bắt chặt vào thân cọc, cách đầu cọc khoảng 0,5 đường kính hoặc chiều rộng tiết diện cọc. Các dầm chuẩn được đặt song song hai bên cọc thí nghiệm, các trụ đỡ dầm được chôn chặt xuống đất. Chuyển vị kế được lắp đối xứng hai bên đầu cọc và được gắn ổn định trên các dầm chuẩn,

chân của chuyển vị kế được tựa lên dụng cụ kẹp đầu cọc hoặc tấm đệm đầu cọc (hoặc có thể lắp ngược lại). Khoảng cách lắp dựng thiết bị được quy định như sau: Từ tâm cọc thí nghiệm đến tâm cọc neo hoặc cánh neo đất lớn hơn 3D nhưng trong mọi trường hợp không nhỏ hơn 2m; Từ cọc thí nghiệm đến điểm gần nhất của các gối kê lớn hơn 3D nhưng trong mọi trường hợp không nhỏ hơn 1,5m; Từ cọc thí nghiệm nén tĩnh đến các gối đỡ dầm chuẩn không nhỏ hơn 1,5m; Từ mốc chuẩn đến cọc thí nghiệm, neo và các gối kê dầm chôn sâu hơn 5D nhưng trong mọi trường hợp không nhỏ hơn 2,5m.

Gia tải thí nghiệm và xử lý số liệu:

Thí nghiệm nén tĩnh sẽ được thực hiện tăng dần rồi giảm dần tải trọng theo từng cấp, không bơm kích một cách đột ngột, Giá trị mỗi cấp tải tính bằng % của sức chịu tải tính toán của cọc theo thiết kế, thời gian duy trì mỗi cấp tải khá lâu nên mới gọi là “Nén tĩnh” với mục đích để tải trọng thí nghiệm gần nhất với sự làm việc thực tế của cọc trong móng: tăng dần theo thi công từng tầng, và duy trì dài hạn. Trong tiêu chuẩn [5] quy định rõ chỉ được tăng tải thí nghiệm lên cấp tiếp theo khi độ lún cọc đạt ổn định quy ước, nghĩa là có thể coi cọc đã tắt lún ở cấp tải hiện tại. Cụ thể ở đây tốc độ biến dạng lún không quá 0,25mm/h đối với cọc chôn vào đất hòn lớn, đất cát, đất sét từ dẻo đến cứng hoặc không quá 0,10mm/h đối với cọc ma sát trong đất dẻo mềm – dẻo chảy.



Hình 2. Đường cong tải trọng – thời gian - chuyển vị theo thí nghiệm nén tĩnh, TCVN 9393:2012 [5]

Báo cáo kết quả thí nghiệm được lập thành biểu đồ tải trọng – độ lún ứng với từng cấp tải từ đó xác định sức chịu tải giới hạn theo phương pháp đồ thị. Các dạng đường cong quan hệ tải trọng – chuyển vị được thiết lập khá đa dạng, tùy thuộc vào phương pháp gia tải và độ lớn các cấp tải hoặc tùy thuộc vào thời gian của các cấp tải. Có hai trường hợp sau: 1) Nếu đường cong tải trọng – chuyển vị $S = f(P)$ có điểm uốn rõ ràng, sức chịu tải giới hạn là tải trọng tương ứng với điểm đường cong bắt đầu thay đổi tốc độ đột ngột hoặc đường cong gần như song song với trục chuyển vị; 2) Trường hợp đường cong $S = f(P)$ thay đổi chậm không thể xác định điểm uốn, khi đó sử dụng phương pháp xác định khác nhau như phương pháp Davisson, phương pháp Chin, phương pháp De Beer và Wallays hay phương pháp Fuller và Hoy,... [2, 6].

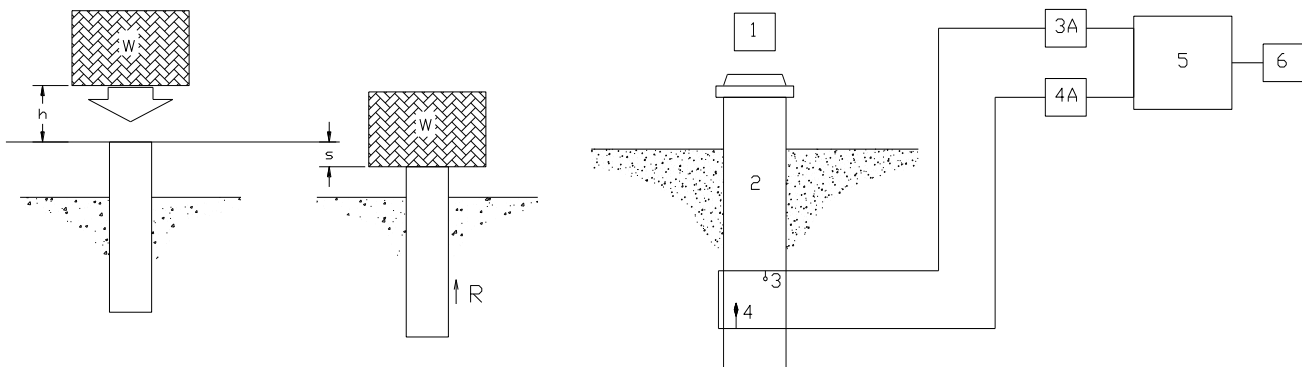
2.2 Phương pháp thử động biến dạng lớn PDA

Nguyên lý của phương pháp thí nghiệm:

Phương pháp thử biến dạng lớn tên tiếng anh Pile Dynamic Analysis (PDA) là phương pháp thử tải trọng động xác định sức chịu tải của cọc dựa trên lý thuyết truyền sóng ứng suất trong thanh đàn hồi. Năng lượng tạo xung phải đủ lớn để gây dịch

chuyển của cọc dưới mỗi nhát búa không nhỏ hơn 3 mm, đủ để huy động toàn bộ sức kháng của đất nền. Phương pháp này được quy định trong TCVN 11321:2016 Cọc - Phương pháp thử động biến dạng lớn [7].

Về cơ sở khoa học, nguyên lý của phương pháp thử động biến dạng lớn PDA dựa trên lý thuyết truyền sóng ứng suất trong bài toán va chạm của cọc. Khi tác dụng lực tại đỉnh cọc, sóng ứng suất sẽ truyền xuống theo thân cọc với vận tốc sóng, ở đó giả thiết là cọc đàn hồi đồng nhất; đất nền làm việc dẻo lý tưởng. Cường độ và vận tốc của sóng ứng suất phụ thuộc vào năng lượng búa và đặc tính cơ học của vật liệu cọc. Quá trình truyền sóng ảnh hưởng bởi cường độ đất xung quanh cọc và đặc tính của vật liệu cọc. Bằng cách đo và phân tích giá trị vận tốc và lực ở đầu cọc tại các thời điểm khác nhau (bao gồm các đầu đo gia tốc và đầu đo biến dạng) có thể cho phán đoán được tình trạng khuyết tật và sự phân bố sức kháng của đất dọc theo thân cọc (sức chịu tải của cọc). Từ các kết quả của lý thuyết phương trình truyền sóng ta có thể xác định được sức kháng tổng cộng của đất khi đóng cọc. Sơ đồ nguyên lý và quy trình thí nghiệm thể hiện trong hình vẽ 3 [8].



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý và quy trình thí nghiệm phương pháp thử biến dạng lớn PDA [8]
(1. Búa; 2. Cọc; 3. Đầu đo gia tốc; 3A. Máy đo gia tốc; 4. Đầu đo ứng suất; 4A. Máy đo ứng suất; 5. Thiết bị phân tích; 6. Máy in kết quả)

Chuẩn bị thí nghiệm:

Chuẩn bị mặt bằng và đầu cọc thí nghiệm gồm các bước: Trước tiên phần đầu cọc phải được đập bỏ hết phần bê tông xấu, tạo phẳng đầu cọc, để tránh đầu cọc bị phá vỡ bởi búa, một đệm được sử dụng trong thử nghiệm. Nệm đầu cọc làm bằng thép dày 10mm, có dạng mũ chụp, đường kính 520mm và chiều cao 300-400mm, phía trong của mũ chụp đệm bằng miếng gỗ tiện tròn (đường kính bằng đường trong của mũ chụp) để tránh cho đầu cọc bị tác dụng lực xung kích lớn có thể làm phá hoại đầu cọc. Tiếp theo đào đất xung quanh cọc sao cho đầu cọc phải lộ thiên một khoảng tối thiểu là 2D (D – Là đường kính cọc) tính từ mặt cọc nổi. Tại vị trí cách đầu cọc một khoảng $L=1.5D$ (D – Là đường kính cọc) mài phẳng và nhẵn mặt bê tông thân cọc đến phần bê tông có chất lượng tốt để khoan và bắt các đầu đo vào thân cọc (hai phía đối diện qua tim cọc). Tạo mặt bằng đủ điều kiện an toàn và thực hiện thí nghiệm cho cầu nâng búa trọng lượng 4 tấn (trọng lượng búa có thể được thay đổi tùy vào tải trọng yêu cầu thí nghiệm) lên độ cao tối đa là 3m (chiều cao búa rơi có thể thay đổi) thả rơi tự do. Sau khi chuẩn bị cọc xong tiến hành đặt búa và giá búa: Đặt khung dẫn hướng và cố định khung dẫn hướng của búa vào thân cọc bằng các bu lông. Căng các dây kéo bằng tăng đơ (nếu cần thiết) để cố định phía trên của khung dẫn hướng. Đưa búa thử vào trong khung dẫn hướng. Bảo đảm búa thử dịch chuyển trong khung theo rãnh dẫn hướng. Gắn các đầu đo lên cọc: Gắn các đầu đo lên cọc bằng ốc vít. Các liên kết này cần đảm bảo không để đầu đo chuyển

dịch so với thân cọc. Sau đó nối dây cáp đầu đo vào dây cáp nối chính với máy PDA. Kiểm tra các đầu đo sau khi gắn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Tính thông suốt của toàn bộ hệ thống. Nhập các dữ liệu mô tả cọc và búa thử, bao gồm chiều dài, đường kính cọc, modun đàn hồi bê tông cọc...

Tiến hành thí nghiệm và xử lý số liệu:

Thí nghiệm PDA thực hiện gồm 05 bước sau (xem thêm hình vẽ 3):

Bước 1: Bắt chặt 2 cặp đầu đo gia tốc (số 3) và biến dạng (số 4) vào thân cọc đối xứng qua tim cọc, cách đỉnh cọc tối thiểu 2 lần đường kính cọc; Bước 2: Vào máy các thông số (số 3A và 4A), kiểm tra tín hiệu các đầu đo và bắt lại đầu đo nếu cần thiết; Bước 3: Dùng búa đóng cọc (số 1) đóng lên đầu cọc 5 nhát; Bước 4: Kiểm tra chất lượng tín hiệu ghi được của từng nhát búa, nếu tín hiệu không được tốt cho đóng lại; Bước 5: Kết thúc tắt máy chuyển sang cọc khác.

Các đầu đo gia tốc và ứng suất được gắn chặt vào cọc, các tín hiệu từ đầu đo được truyền từ cọc gồm: chỉ số năng lượng lớn nhất của búa, ứng suất kéo lớn nhất của cọc, sức chịu tải Case-Goble, hệ số độ nguyên vẹn... được quan sát trong quá trình thí nghiệm trên máy tính phân tích và hiển thị. Các số liệu hiện trường được phân tích bằng chương trình CAPWAP nhằm xác định sức chịu tải tổng cộng của cọc, sức chống ma sát của đất ở mặt bên và ở mũi cọc cùng một số thông tin khác về công nghệ đóng và chất lượng cọc.



Hình 4. Thử tải cọc và thiết bị phân tích thí nghiệm thử động biến dạng lớn PDA [11]

Cho búa thử đập vào đầu cọc. Các đầu đo sẽ thu nhận tín hiệu và truyền về máy ghi và hiển thị PDA. Người vận hành PDA luôn phải kiểm tra độ chính xác của các dữ liệu về độ nhất quán và tính cân bằng trong quá trình thử. Tiến hành đóng loạt búa thử: Búa thử được thả từng cấp một, các cấp thả có cao độ rơi khác nhau: Cấp đầu có búa rơi cách đỉnh cọc 0.3m, cấp thứ hai cách đỉnh cọc 0.7m tương ứng như trong bảng tính. Trong quá trình đóng nếu tải trọng thử đã đạt tải trọng yêu cầu thử của cọc thì quá trình thí nghiệm kết thúc. Quá trình thí nghiệm kết thúc khi tải trọng thử yêu cầu đạt hoặc lớn hơn tải trọng thử yêu cầu của cọc và dữ liệu thu đảm bảo về độ nhất quán và cân bằng trong quá trình thử.

Sau khi thử, dữ liệu ghi tại hiện trường sẽ được số hoá chuyển thành tệp dữ liệu cho chương trình phân tích CAPWAP. Căn cứ vào số liệu hiện trường, người kỹ sư sẽ sử dụng phần mềm phân tích để mô phỏng đánh giá sức chịu tải của cọc. CAPWAP là chương trình phân tích cọc sử dụng những kết quả của các thí nghiệm cọc động để tính toán sức chịu tải tĩnh của cọc (sức kháng thành và sức kháng mũi), hệ số đàn hồi và nhớt của đất, xây

dựng đường quan hệ giữa độ lún và chuyển vị của cọc. Chương trình CAPWAP so sánh kết quả tính toán phương trình sóng trong mô hình đất và cọc giả thiết với kết quả thí nghiệm thực tế. Trên cơ sở đó, phần mềm điều chỉnh các hệ số đặc trưng của mô hình để kết quả giải phương trình sóng theo mô hình này sát với thực tế nhất.

Việc tính toán trong mô hình CAPWAP được thực hiện theo trình tự như sau: đo sóng lực và sóng vận tốc tại đầu cọc khi tải trọng tác dụng; rời rạc hóa mô hình cọc và mô hình đất thành những phần tử xác định; giả định các giá trị thông số cho các phần tử đất nền: khả năng chịu tải R_u , sức kháng động Q , hệ số sức cản động J_c và các thông số khác trong mô hình; tính toán các giá trị sóng phản xạ theo dữ liệu giả định. Bùi Trường Sơn và Phạm Cao Huyền trong [4] đã trình bày chi tiết nghiên cứu các mô hình cơ bản đánh giá khả năng chịu tải của cọc bằng phương pháp thử động biến dạng lớn và đưa ra bảng tham chiếu xác định hệ số cản nhớt J_c cho phương trình truyền sóng ứng suất trong cọc cho các mô hình tính phụ thuộc đặc trưng lớp đất ở mũi cọc, trị số ở bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Tham chiếu hệ số cản nhớt J_c theo [4]

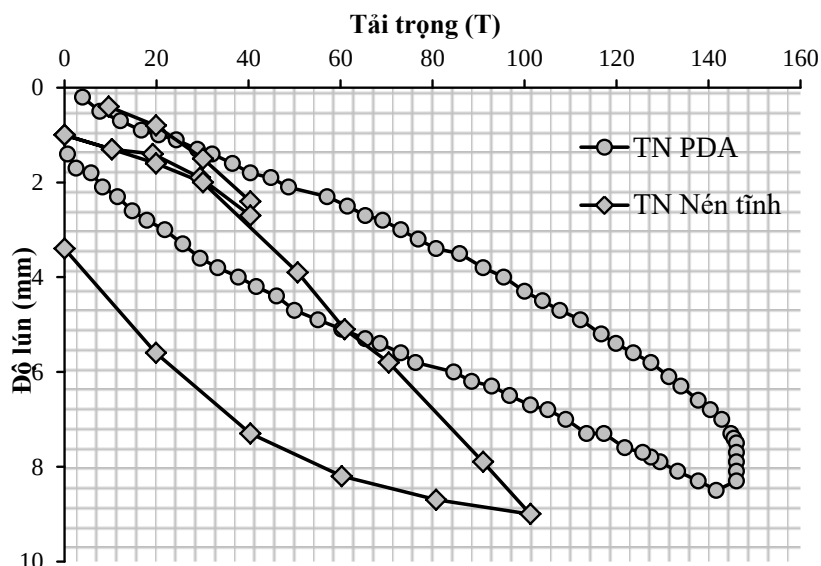
STT	Mô tả đất ở mũi cọc	Trạng thái	Hệ số J_c
1	Cát hạt thô	Chặt, chặt vừa	0,10-0,15
2	Cát lẫn bụi, hạt nhỏ	Chặt vừa	0,15-0,25
3	Bụi mịn	Chặt vừa	0,25-0,40
4	Sét pha lẫn bụi	Chặt vừa	0,40-0,70
5	Sét	Chặt vừa	0,70-1,00

Đo các sóng phản xạ tại đầu cọc; so sánh tín hiệu sóng tính toán và sóng thực đo. Nếu tín hiệu phù hợp thì xuất kết quả và nếu chưa phù hợp thì giả định lại các thông số đất nền, thực hiện vòng lặp đến khi có sự phù hợp tín hiệu. Mô hình CAPWAP xem xét đến những ứng xử khác của hệ cọc - đất mà các mô hình trước chưa đề cập đến như quá trình dỡ tải và tái chất tải, sức kháng động của vật liệu cọc, ứng xử của mũi cọc trên nền đất cứng hay sự lan truyền sức cản động trong cọc.

3. Đánh giá khả năng chịu tải của cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh và PDA

Hình 5 dưới đây biểu diễn quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị đầu cọc theo kết quả thí nghiệm

nén tĩnh và thử động biến dạng lớn PDA theo mô hình CAPWAP cho tương ứng cọc ép bê tông cốt thép tiết diện 300x300mm dài 26,4m tại dự án Chung cư 14 tầng An Lạc, quận Bình Tân [11]. Từ hình vẽ 5 cho thấy trong trường hợp cọc BTCT hạ cọc bằng phương pháp ép biến dạng cọc (độ lún) lớn nhất khi tải trọng thí nghiệm đạt cực hạn ở phương pháp nén tĩnh sẽ lớn hơn so với thí nghiệm PDA nhưng chênh lệch là không đáng kể, cụ thể là 8,9mm so với 8,5mm; chênh lệch xấp xỉ 4,5%. Tuy nhiên khả năng chịu tải từ phương pháp nén tĩnh có giá trị (120T) nhỏ hơn đáng kể so với kết quả thu nhận được từ PDA (tương ứng 149T), chênh lệch lên đến 19,5% ở trường hợp này.



Hình 5. Kết quả thử tải cọc ép bê tông cốt thép theo thí nghiệm nén tĩnh và thử động biến dạng lớn PDA

Kết quả tương tự thu được tại một số các dự án sử dụng cọc BTCT được tổng hợp trong bảng 2 dưới đây.

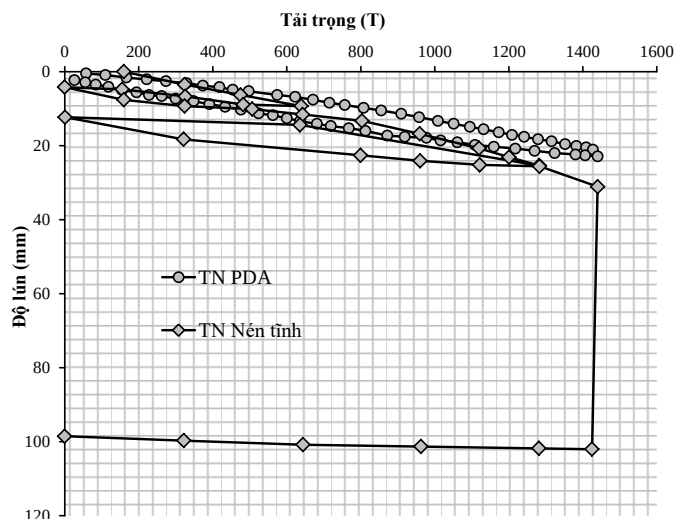
Bảng 2. Sức chịu tải của cọc ép BTCT theo thực nghiệm và tính toán lý thuyết [9]

STT	Tên dự án	Thông số cọc ép BTCT	Nén tĩnh (T)	PDA (T)	SCT theo Cơ lý (T)	Chênh lệch (%)
1	Chung cư 14 tầng An Lạc, quận Bình Tân	300x300mm, L = 26,4m	120	149	60	19,5
2	Chung cư 12 tầng Cù Lao Chàm, quận Bình Thạnh	300x300mm, L = 24,5m	110	170	55	34,1
3	Tòa nhà hỗn hợp R16, phường Phú Mỹ Hưng, Quận 7	350x350mm, L = 30m	150	262	75	42,7
4	Nhà máy dược phẩm 3-2, Khu công nghiệp Cát Lái, Quận 2	300x300mm, L = 27,5m	130	178	65	26,9
5	Bệnh viện tim Tâm Đức, khu đô thị Phú Mỹ Hưng, Quận 7	300x300mm, L = 26m	120	139	60	13,7

Kết quả bảng 2 cho thấy khả năng chịu tải của cọc từ thí nghiệm PDA đều lớn hơn so với kết quả nén tĩnh, chênh lệch thu được biến thiên trong khoảng khá rộng, từ 13,7% đến 42,7%, tải trọng nén tĩnh càng lớn chênh lệch này cũng lớn theo. Điều đó cho thấy trong thí nghiệm nén tĩnh tải trọng cực hạn được khống chế theo số liệu tính toán sức chịu tải của cọc theo các điều kiện đất nền và trong đa số các trường hợp đều chưa đạt đến giá trị cực hạn; trong khi đó tải trọng trong thí nghiệm PDA có thể

đạt đến giá trị cực hạn nên trị số thu được lớn hơn nhiều tại thời điểm biến dạng lún của cọc đạt giá trị lớn nhất.

Để thấy rõ nhận định này kết quả trong hình 6 biểu diễn quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị đầu cọc thu được từ thí nghiệm nén tĩnh và PDA cho tương ứng cọc khoan nhồi đường kính D800 dài 40m tại dự án Cao ốc 14 tầng, Gia Phúc, Quận Thủ Đức [9].



Hình 6. Kết quả thử tải cọc khoan nhồi theo nén tĩnh và thử động biến dạng lớn PDA

Hình 6 cho thấy trong trường hợp cọc khoan nhồi khả năng chịu tải nén từ thí nghiệm nén tĩnh có giá trị (1500T) ngang bằng với kết quả thu được từ PDA (tương ứng 1490T), chênh lệch không đáng kể. Tuy nhiên khi tải trọng thí nghiệm đạt cực hạn ở phương pháp nén tĩnh biến dạng lún của cọc lớn hơn khá nhiều so với PDA, cụ thể là 32mm so với 22,5mm; chênh lệch 4,5% và khi cọc đạt giới hạn có thể gấp hơn 5 lần. Như vậy có thể thấy trong trường hợp này, tải trọng nén tĩnh được thí nghiệm tới sát trị số cực hạn nên khả năng chịu tải xác định theo hai phương pháp thí nghiệm đều có giá trị tương đồng. Kết quả tương tự cho một số cọc khoan nhồi được tổng hợp trong bảng 3 dưới đây.

Như vậy từ bảng 3 thấy rằng đối với cọc thi công bằng phương pháp khoan nhồi, chênh lệch khả năng chịu tải xác định theo hai phương pháp thí nghiệm ở cả 5 dự án khác nhau đều có chênh lệch nhỏ, từ 0,6% đến 4,2%. Kết quả thí nghiệm này cũng phù hợp với kết luận trong nghiên cứu của tác giả Bùi Trường Sơn và Phạm Cao Huyền ở [4] khi kết luận độ chênh lệch giá trị khả năng chịu tải cực hạn theo PDA và nén tĩnh có giá trị trung bình 5,57% cho trường hợp cọc khoan nhồi bê tông cốt thép. Sự chênh lệch không đáng kể cho phép đánh giá rằng với trường hợp cọc khoan nhồi khả năng chịu tải theo PDA có độ tin cậy cao và hoàn toàn phù hợp với kết quả nén tĩnh thực hiện với tải trọng cực hạn.

Bảng 3. Sức chịu tải của cọc khoan nhồi theo thực nghiệm và tính toán lý thuyết [9]

STT	Tên dự án	Thông số cọc khoan nhồi	Nén tĩnh (T)	PDA (T)	SCT theo Cơ lý (T)	Chênh lệch (%)
1	Cao ốc 14 tầng, Gia Phúc, quận Thủ Đức	D800mm, L = 40,4m	1440	1500	720	4,2
2	Dự án Văn phòng Waseco, quận Tân Bình	D1000mm, L = 38,5m	1560	1500	780	4,1
3	Dự án Chung cư 20 tầng An Hòa, Quận 2	D1000mm, L = 56,5m	1640	1650	820	0,6
4	Dự án Cao ốc Diamond Plaza, Quận 1	D1300mm, L = 45m	1980	1950	990	1,5
5	Dự án Cao ốc Thương mại Hiệp Phú, Quận 9	D1200mm, L = 60m	2400	2350	1200	2,2

4. Kết luận

Phương pháp thử PDA có thể kiểm tra được cả tính toán vệt và đánh giá được sức chịu tải của

cọc, nhất là chiều dài, cường độ và độ đồng nhất của bê tông. So với phương pháp thử tải trọng tĩnh thì phương pháp PDA thực hiện nhanh hơn, có thể

thực hiện thí nghiệm được nhiều cọc trong cùng một ngày, ít gây ảnh hưởng đến hoạt động thi công ở công trường tuy nhiên khó sử dụng ở khu vực đông dân cư do nó gây tiếng ồn và chấn động cho khu vực lân cận. Kết quả thí nghiệm cho thấy, với cọc khoan nhồi sức chịu tải lớn, thí nghiệm theo PDA cho sức chịu tải cực hạn của cọc tương đồng với kết quả thu được từ nén tĩnh, phù hợp với sức chịu tải cực hạn, đạt trên 200% giá trị sức chịu tải thiết kế. Phương pháp thử động biến dạng lớn không thay thế hoàn toàn được phương pháp thử tĩnh, nhưng các kết quả thử động biến dạng lớn PDA được phân tích chi tiết, so sánh với thử tĩnh và phân tích CAPWAP tương đương sẽ giúp giảm bớt thử tĩnh. Đối với các công trình dưới nước như móng cảng, cầu... hoặc các dự án nhỏ mà việc thử tĩnh gặp khó khăn thì việc thử động biến dạng lớn PDA là giải pháp thích hợp. Đối với các công trình có nhiều hạng mục, các hạng mục không tập trung thì thời gian chờ đợi kết quả thử tĩnh của từng hạng mục sẽ làm ảnh hưởng đến chi phí cũng như tiến độ công trình, khi đó kết hợp với thử động PDA là phương pháp phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Quảng, (2014), *Đánh giá sức chịu tải cọc khoan nhồi từ thí nghiệm*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Ngọc Thắng, (2023), *Phương pháp đánh giá sức chịu tải cọc ép từ kết quả nén tĩnh tại hiện trường*, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1 năm 2023, pp.27- 36.
- [3] Nguyễn Hữu Đầu, (2014), *Đánh giá sức chịu tải cọc khoan nhồi*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Bùi Trường Sơn và Phạm Cao Huyền, (2011), *Khả năng chịu tải của cọc từ thí nghiệm thử động biến dạng lớn (PDA) và nén tĩnh*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Hà Nội.
- [5] Bộ Xây dựng (2012), *Tiêu chuẩn TCVN 9393:2012 Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục*.
- [6] Nguyễn Ngọc Thắng (2023), *Đánh giá sức chịu tải cọc khoan nhồi từ kết quả nén tĩnh tại hiện trường*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 1 năm 2023, pp.70- 75.
- [7] Bộ Xây dựng (2016), *Tiêu chuẩn TCVN 11321:2016 Cọc - Phương pháp thử động biến dạng lớn*.
- [8] Trần Trung Hiếu, Nguyễn Minh Tâm và Trần Thanh Danh (2022), *Nghiên cứu tương quan giữa lực ép cọc và sức chịu tải của cọc*, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1 năm 2023, pp.27- 38.
- [9] Hội nghị khoa học kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, (2020): *Báo cáo kết quả thử tải cọc khoan nhồi tại các công trình xây dựng Thành phố Hồ Chí Minh*.
- [10] ASTM D1143-1981, Method of Testing Pile under Static Axial Compressive Load.
- [11] ASTM D4595-89, Standard Test Method for High Strain Dynamic Test of Pile.