

KIỂM TRA SỨC CHỊU TẢI CỌC KHOAN NHỒI

Lê Văn Nam, Nguyễn Chi Đoàn

Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 14 tháng 11 năm 2004, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 04 tháng 01 năm 2005)

TÓM TẮT: Hiện nay trên thế giới có nhiều phương pháp kiểm tra sức chịu tải cho cọc khoan nhồi (CKN); mỗi phương pháp đều có những ưu và nhược điểm riêng. Để hiểu thêm về các ưu và nhược điểm của từng phương pháp, tác giả viết bài phân tích các phương pháp thử tải cho CKN dưới đây để giúp bạn đọc hiểu thêm và lựa chọn phương pháp kiểm tra chất lượng CKN sao cho phù hợp với điều kiện xây dựng nhất, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật và đạt mục tiêu kinh tế.

1. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM ĐỘNG BIẾN DẠNG LỚN PDA (Pile Driving Analyzer)

1.1 Cơ sở của phương pháp

Nguyên lý của phương pháp thử động biến dạng lớn và thiết bị phân tích động cọc PDA dựa trên lý thuyết truyền sóng ứng suất trong bài toán va chạm của cọc, với đầu vào là các số liệu đo gia tốc và biến dạng thân cọc dưới tác dụng của quả búa. Các đặc trưng động theo Smith là đo sóng của lực và sóng vận tốc (tích phân gia tốc) rồi tiến hành phân tích thời gian thực đối với hình sóng (bằng các phép tính lặp) dựa trên lý thuyết truyền sóng ứng suất trong thanh cứng và liên tục do va chạm dọc trục tại đầu cọc gây ra

Cơ sở của phương pháp này dựa vào:

- + Phương trình truyền sóng trong cọc;
- + Mô hình hệ búa – cọc – đất của Smith;
- + Phương pháp case;
- + Phần mềm CAPWAPC;
- + Hệ thống thiết bị phân tích đóng cọc PDA (Pile Driving Analyzer).

2.2 Phương trình truyền sóng

Với giả thiết cọc đàn hồi đồng nhất, đất nền làm việc dẻo lý tưởng, ta có thể xác định được lực kháng tổng cộng của đất khi đóng cọc theo biểu thức sau [1]:

$$R = \frac{F(t_1) + F(t_2) + \frac{V(t_1) - V(t_2)}{L} MC}{2} \quad (1)$$

Trong đó:

- R – Sức kháng tổng cộng của đất;
- F, V – Lực và vận tốc đo được tại đầu cọc;
- M, L – Khối lượng và chiều dài cọc;
- C – Tốc độ truyền sóng ứng suất trong cọc;
- t₁ – Thời điểm va chạm toàn phần (lực va chạm cực đại);
- t₂ – Thời điểm sóng ứng suất đi hết 1 chu kỳ từ đầu đến mũi cọc và phản xạ lại.

3.3 Phương pháp case

Xét theo bản chất vật lý: $R = R_s + R_d$ (2)

Trong đó:

- R – Sức kháng tổng cộng của đất;
- R_s – Sức chịu tải tĩnh, phụ thuộc vào chuyển vị;
- R_d – Sức chịu tải động, do việc búa đập, sức cản động, phụ thuộc vào tốc độ sóng biến dạng.

Để có thể loại bỏ sức cản động khi tính R_s, R_d được định nghĩa: $R_d = J Z V_{mũi\ cọc}$

Trong đó:

- J – Hệ số sức cản động;

Z – Trở kháng của cọc, có thể xác định theo [1]

$$Z = \frac{AE}{C} \text{ hoặc } Z = \frac{MC}{L} \quad (3)$$

Với: A – Tiết diện ngang của cọc; C – Tốc độ sóng;
E – Mô đun đàn hồi của cọc; M – Khối lượng cọc;
L – Chiều dài cọc.

$V_{\text{mũi cọc}}$ – Tốc độ tại mũi cọc, có thể tính được từ tốc độ đo được tại thời điểm t_1 ở đầu cọc:

$V_{\text{mũi cọc}} = 2v(t_1) - R/Z$; sau một số biến đổi ta có [4]:

$$R = \frac{(1 - J) \cdot \{F(t_1) + Z v(t_1)\} + (1 + J) \cdot \{F(t_2) - Z v(t_2)\}}{2} \quad (4)$$

4.4 Phần mềm

1.4.1 Phần mềm CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

CAPWAP là một chương trình phân tích dựa trên các số liệu đo của lực và vận tốc rồi mô hình hoá cọc như là một chuỗi các đoạn nhỏ để tính toán sức kháng của đất nền xung quanh dọc theo thân cọc và tại mũi cọc. CAPWAP cũng cho phép tính chính xác hệ số giảm chấn (j_c -damping factor) giúp cho việc hiệu chỉnh kết quả thí nghiệm PDA theo CASE. Ngoài ra chương trình còn cho phép xây dựng biểu đồ tương quan Lực – Biến dạng giống như biểu đồ nén tĩnh.

Phần mềm này, dùng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán búa – cọc – đất, cọc được chia làm nhiều phân đoạn, sức cản đất sử dụng mô hình của Smith.

1.4.2 Phần mềm PDAPC

PDAPC là phần mềm giúp chuyển số liệu từ máy chính sang máy tính, cho phép xử lý, tính toán và in kết quả theo nhiều yêu cầu khác nhau.

5.5 Thiết bị

1.5.1 Thiết bị PDA (the PAL model)

Là thế hệ mới nhất của PDA thuộc hãng PDI (Mỹ), được thiết kế tối ưu cho công tác thí nghiệm hiện trường ngay cả ở công trình có địa hình phức tạp như ngoài khơi hay trên núi. PAL gồm một máy chính, 2 đầu đo gia tốc và 2 đầu đo biến dạng, dây dẫn và các phụ kiện kèm theo.

1.5.2 Thiết bị PDA (Mỹ)

Có thể dùng búa hơi, búa Diesel có trọng lượng bằng 1-2% sức chịu tải cọc, cấu tạo của thiết bị phân tích búa đập – PDA sử dụng trong phương pháp thử động biến dạng lớn bao gồm:

- Đầu đo ứng suất (2 đầu đo);
- Máy tính điện tử có gắn bộ biến đổi số liệu.

6.6 Các kết quả đo được (Thiết bị phân tích cọc – PDA có thể đưa ra kết quả sau):

- Sức chịu tải của cọc: sức chịu tải của cọc tại từng nhát búa đập, sức chịu tải của cọc tại từng cao độ ngập đất của cọc, ma sát thành bên và sức kháng của mũi cọc.
- Ứng suất trong cọc: ứng suất nén lớn nhất, ứng suất kéo lớn nhất và ứng suất nén tại mũi cọc.
- Sự hoạt động của búa: năng lực truyền lớn nhất của búa lên đầu cọc, lực tác dụng lớn nhất lên đầu cọc, độ lệch tâm giữa búa và cọc, hiệu suất hoạt động của búa, tổng số nhát búa, số nhát búa trong 1 phút và chiều cao rơi búa hoặc độ nảy của phần va đập.
- Tính nguyên dạng hoặc hư hỏng của cọc: xác định mức độ hoặc vị trí hư hỏng của cọc.

7.7 Phạm vi áp dụng

- Thời gian thử nhanh hơn thử tĩnh, chi phí thấp, thử được nhiều cọc trong ngày.
- Lựa chọn được hệ thống đóng cọc hợp lý.
- Tiêu chuẩn áp dụng: theo tiêu chuẩn ASTM – D4945.

8.8 Nhận xét

- Phương pháp thử động biến dạng lớn nhằm đánh giá sức chịu tải của cọc bằng lý thuyết truyền sóng PDA chỉ chính xác khi năng lượng va chạm ở đầu cọc đủ lớn để huy động toàn bộ sức kháng của đất nền và tạo được biến dạng dư từ 3 – 5mm. Với cọc khoan nhồi thường sử dụng quả búa nặng từ 9 đến 21 tấn để thử động lực học.
- So với phương pháp thử tải trọng tĩnh thì phương pháp này 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 nhưng lại gây tiếng ồn và chấn động cho khu vực lân cận.
- Phương pháp này có thể kiểm tra được cả mức độ hoàn chỉnh và đánh giá được sức chịu tải của cọc, nhất là chiều dài, cường độ và độ đồng nhất của bê tông.
- 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 sử dụng thiết bị phân tích đóng cọc – 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, v.v... hoặc các dự án nhỏ mà việc thử tĩnh gặp khó khăn về điều kiện thi công, thời gian chờ đợi làm tăng chi phí thử tải cọc. Khi đó việc thử động biến dạng lớn bằng thiết bị phân tích đóng cọc – PDA là rất thích hợp.
- Sử dụng thiết bị phân tích đóng cọc – PDA giúp ta kiểm soát được chất lượng cọc trong quá trình thi công. Theo dõi những vấn đề có thể xảy ra đối với búa, cọc, đất sẽ sớm phát hiện được các sự cố để xử lý kịp thời những vấn đề ảnh hưởng đến tiến độ thi công và giảm được chi phí, rủi ro.
- Dễ dàng kiểm soát được sự hồi phục hay giãn ra của đất sau khi đóng đi và vỗ lại. Xác định được sức chịu tải của cọc tại từng nhát búa, từng cao độ đặt mũi cọc trong quá trình đóng cọc. Qua đó lựa chọn được chiều dài cọc phù hợp.

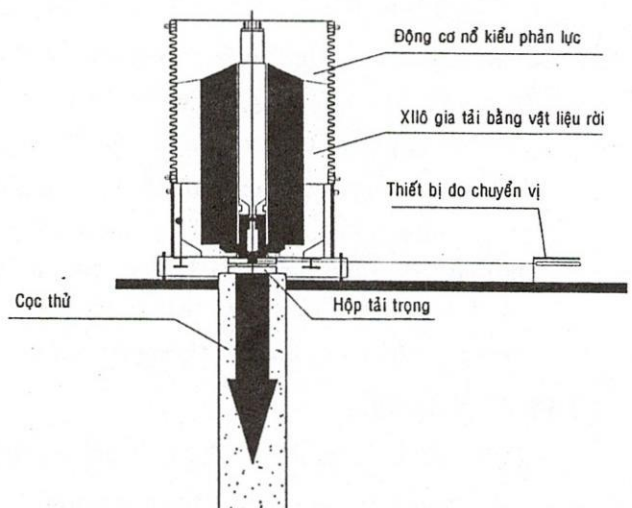
2. PHƯƠNG PHÁP THỬ TĨNH ĐỘNG STN (STATNAMIS)

1.1 Nguyên lý

Dựa trên nguyên tắc phản lực của động cơ tên lửa, người ta tạo ra một thiết bị đặt trên đầu cọc có kèm theo đối trọng vừa đủ, cho nổ gây phản lực trên đầu cọc có thiết bị ghi chuyển vị của cọc trong quá trình nổ, kết hợp đo các thông số biến dạng và gia tốc đầu cọc. Sau đó dùng các phương pháp như phương pháp phương trình truyền sóng hoặc độ cứng động sẽ tính được sức chịu tải của cọc. Trong phương pháp STATNAMIS người ta đã xác định được gia tốc a của khối phản lực dịch chuyển lên phía trên lớn gấp 20 lần gia tốc của cọc dịch chuyển xuống phía dưới. Như vậy trọng lượng của khối phản lực chỉ cần bằng 1/20 đối trọng dự kiến trong thử tĩnh đã tạo nên được lực lớn gấp 20 lần lực truyền lên đầu cọc. Nhờ đó, việc thử tải bằng STATNAMIS sẽ giảm rất nhiều về quy mô và chi phí so với thử tĩnh nhưng kết quả đạt được rất gần với phương pháp thử tĩnh.

2.2 Phạm vi áp dụng

- Cho tất cả các loại cọc đứng và nghiêng trong mọi điều kiện địa chất.
- Từ năm 1988, STATNAMIS đã thử được tải trọng 0.1MN và đến năm 1994 đã phát triển thử được tải trọng đến 30MN. Nó được áp dụng nhiều ở Canada, Mỹ, Hà



Hình 1: Sơ đồ bố trí thiết bị STATNAMIS – thử tải trọng tĩnh

Lan, Nhật bản, Đức, Hàn Quốc, v.v...

3.3 Nhận xét

Việc ứng dụng thử tải STN đang ngày càng cạnh tranh mạnh mẽ với thử tải biến dạng lớn PDA do có độ tin cậy cao, giá thành hợp lý và nhiều ưu điểm hơn so với phương pháp PDA. Đặc biệt có thể thử tải ngang hay với tải trọng rất lớn đến trên 3.000 tấn. Về độ lớn tải trọng thử đạt được cho đến nay nó chỉ kém phương pháp hộp tải trọng Osterberg.

3. PHƯƠNG PHÁP THỬ TẢI TRỌNG TÍNH TRUYỀN THỐNG

Đây là phương pháp trực tiếp xác định sức mang tải của cọc, thực chất là xem xét ứng xử của cọc (độ lún) trong điều kiện cọc làm việc như thực tế dưới tải trọng công trình nhằm mục đích chính là xác định độ lún của cọc ở tải trọng thiết kế, xác định tải trọng giới hạn của cọc, hoặc kiểm tra cường độ vật liệu của cọc với hệ số an toàn xác định bởi thiết kế.

1.1 Nguyên lý và phạm vi áp dụng

Dùng hệ thống cọc neo hoặc các vật nặng chất phía trên đỉnh cọc làm đối trọng để gia tải nén cọc.

Phương pháp này chỉ thích hợp ở nơi có mặt bằng đủ rộng, nơi không có nước mặt (sông) và cọc thử có tải trọng nhỏ (<5000 tấn).

Chi phí cho việc làm đối trọng sẽ càng lớn khi tải trọng cọc thử càng lớn và nhất là nơi sông nước.

2.2 Nhận xét và kết luận

Trong các phương pháp thử tải trọng cọc khoan nhồi, phương pháp thử tải trọng tính truyền thống tuy không dùng thiết bị hiện đại nhưng chi phí cũng sẽ rất cao khi gặp điều kiện khó khăn về mặt bằng. Kết quả thử tải là sức chịu tải tổng cộng của cọc (không cho biết riêng: sức chịu tải của mũi cọc và sức chịu tải thân cọc). Bên cạnh đó đối với các cọc khoan nhồi có sức chịu tải từ 4.000-10.000 tấn hoặc lớn hơn thì hệ đối trọng để gia tải theo phương pháp này cũng sẽ gặp khó khăn, không thực hiện được. Do vậy phạm vi áp dụng thử tải tính truyền thống chủ yếu sử dụng để thử tải các cọc có tải trọng dưới 5.000 tấn và cọc bố trí ở mặt bằng rộng rãi và trên cạn.

Ngoài ra sử dụng phương pháp này tốn nhiều thời gian, phương tiện kỹ thuật. Tuy nhiên phương pháp này cho kết quả được xem là chính xác nhất trong các phương pháp hiện nay, có thể làm cơ sở cho việc kiểm chứng các phương pháp khác.

4. PHƯƠNG PHÁP THỬ TẢI TÍNH BẰNG HỘP TẢI TRỌNG OSTERBERG

1.1 Nguyên lý

Khi cọc có đường kính và chiều dài lớn với sức chịu tải hàng ngàn tấn và cọc nằm trên sông nước, các phương pháp thử tải tính không thực hiện được. Do vậy phải sử dụng phương pháp hộp tải trọng OSTERBERG.

- Dùng một hay nhiều hộp tải trọng OSTERBERG (hộp thủy lực làm việc như 1 kích thủy lực) đặt ở mũi cọc khoan nhồi hay ở 2 vị trí mũi và thân cọc trước khi đổ bê tông thân cọc. Sau khi đổ bê tông đã đủ cường độ, tiến hành thử tải bằng cách bơm dầu thủy lực để tạo áp lực trong hộp kích. Đối trọng chính là trọng lượng cọc và sức chống ma sát hông.
- Theo nguyên lý phản lực, lực truyền xuống đất mũi cọc bằng lực truyền lên thân cọc. Việc thử sẽ đạt tới phá hoại khi một trong hai phá hoại xảy ra ở mũi cọc và quanh thân cọc. Dựa theo các thiết bị đo chuyển vị và đo lực gắn sẵn trong hộp tải trọng OSTERBERG sẽ vẽ ra được các biểu đồ quan hệ giữa lực tác dụng và chuyển vị mũi cọc và thân cọc. Tùy theo trường hợp phá hoại có thể thu được một trong 2 biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị.

Việc gia tải và đo đạc, áp dụng theo tiêu chuẩn ASTM D1143-1995

“Trình tự thử tải nhanh” của Mỹ.

- Cách xác định tải trọng giới hạn: Do có một phá hoại ở mũi hoặc thân cọc nên phải áp dụng phương pháp ngoại suy để tìm phá hoại thứ hai, và được tính theo công thức sau [1]:

$$P_{gh}^{cọc} = P_{gh}^{mũi} + P_{gh}^{thân} \quad (5)$$

- Nếu không tin tưởng ở ngoại suy và thiên về an toàn (lấy trị số bé), ta có thể lấy:

$$P_{gh}^{cọc} = 2 P_{gh}^{thu\ được} \quad (5')$$

- Phương pháp này không phải dùng hệ gia tải bên trên bằng các đối trọng hoặc hệ neo mà dùng ngay trọng lượng bản thân của cọc và ma sát thành bên làm đối trọng. Để tạo tải, trong thân cọc bố trí một hộp tải trọng làm việc như một kích thủy lực thông thường và có cấu tạo phù hợp chôn trước trong thân cọc. Sau khi cọc đủ cường độ tiến hành tạo tải bằng cách bơm dầu vào trong kích đã chôn trong cọc (hình 3). Hệ điều khiển và ghi chép từ mặt đất. Sử dụng phương pháp này có thể thí nghiệm riêng biệt hoặc đồng thời hai chỉ tiêu là sức chịu mũi cọc và lực ma sát bên của cọc. Tải thí nghiệm có thể đạt đến 18.000 tấn, thời gian gian tiến hành thí nghiệm chỉ trong vòng 24 giờ. Sau khi thử xong bơm bê tông xuống lấp đầy hệ kích cho hệ được liên tục.

- Gọi tổng các lực ma sát thành bên trên toàn bộ chiều dài cọc P_{ms} và lực chống mũi là P_m và lực do hộp tải trọng là P_0 thì ta có nhận xét sau: khi tạo lực P_0 trong hộp Osterberg thì theo nguyên lý cân bằng phản lực, một lực P_0 truyền lên thân cọc hướng lên phía trên sẽ cân bằng với lực ma sát thành bên và trọng lượng bản thân cọc (G). Còn một lực P_0 khác hướng xuống dưới và được chống lại bởi sức chống của đất nền dưới mũi cọc. Như vậy trong quá trình chất tải tăng P_0 thì ta có [1]:

$$P_0 = (G + P_{ms}) < G + P_{ms}^{giới\ hạn}; \text{ hoặc } P_0 = (P_m) < P_m^{giới\ hạn} \quad (6)$$

- Cọc thí nghiệm sẽ đạt tới giới hạn phá hoại khi đạt đến cân bằng của một trong hai biểu thức nêu trên, tức là cọc bị phá hoại mũi trước (đất dưới mũi cọc đạt đến phá hoại) hoặc bị phá hoại ở thành bên trước (cọc và đất xung quanh có chuyển dịch dẻo).

2.2 Phạm vi áp dụng

- Có thể thấy ngay phương pháp này phù hợp với các cọc có sức chống giới hạn thành bên và mũi cọc tương đương nhau. Còn trong trường hợp sức chống giới hạn của mũi nhỏ hơn sức chống thành bên thì có thể đặt 2 tầng ở mũi cọc và thân cọc để thử. Cao trình đặt ở tầng thân phải đảm bảo điều kiện $P_{gh}^{mũi} \geq P_{gh}^{đoạn\ thân\ AB}$. Khi đó trình tự chất tải sẽ phức tạp hơn để có thể xác định được $P_{gh}^{mũi}$, $P_{gh}^{đoạn\ thân\ dưới}$ và $P_{gh}^{đoạn\ toàn\ thân\ cọc}$.
- Phương pháp này áp dụng thử tải cho các cọc khoan nhồi có sức chịu tải lớn, những nơi khó khăn về mặt bằng thi công, hay cọc trên sông nước...

3.3 Biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị đầu cọc

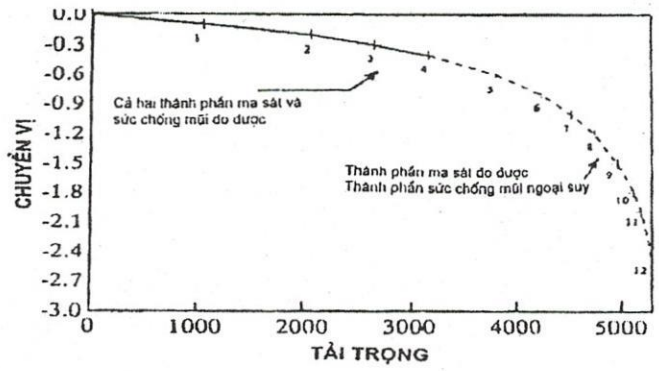
Do kết quả thu được là hai biểu đồ tải trọng – chuyển vị mũi độc lập nhau nên để dễ sử dụng và so sánh với thử tải tĩnh truyền thống phải xây dựng biểu đồ tải trọng – chuyển vị đầu cọc tương đương như trong thử tải tĩnh truyền thống. Muốn vậy phải dựa vào các giả thiết sau:

- Đường cong tải trọng - chuyển vị mũi cọc giống như đường cong tải trọng - chuyển vị trong chất tải truyền thống với tải trọng là dịch chuyển đi xuống của hộp tải trọng.
- Đường cong tải trọng - chuyển vị ma sát bên của chuyển dịch đi lên giống như đường cong tải trọng - chuyển vị đi xuống trong thí nghiệm truyền thống.
- Bỏ qua độ nén co của bản thân cọc khi xem nó là vật rắn.
- Với các giả thiết trên, giả sử chuyển vị tại điểm 4 của đường cong dịch chuyển đi lên (hình 4) ghi lại giá trị tải trọng ứng với chuyển vị đó. Trên đường cong dịch chuyển đi xuống tìm điểm 4 có chuyển vị giống như chuyển vị tại điểm 4 của đường cong dịch chuyển đi lên và ghi lại tải trọng tương ứng. Cộng hai tải trọng đó sẽ cho giá trị tải trọng tổng cộng do ma sát bên và chống mũi tại cùng một chuyển vị của điểm 4. Đường cong xây dựng lại sẽ có chuyển vị bằng chuyển

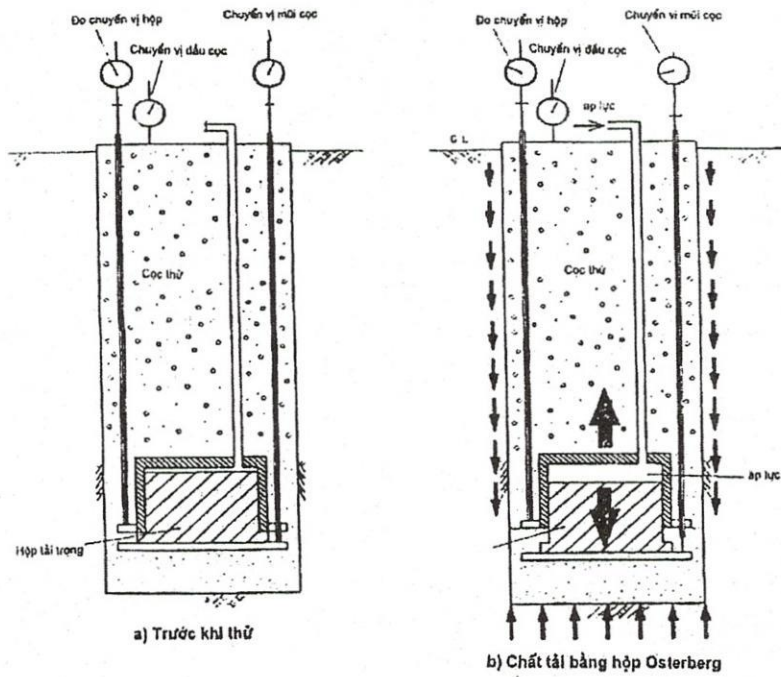
vị điểm 4 của đường cong dịch chuyển đi lên và đi xuống nhưng tải trọng sẽ bằng tổng tải trọng của hai đường nói trên có cùng chuyển vị tại điểm 4 (hình 2).

Tiến hành tương tự cho một số điểm khác cho đến khi chuyển vị cực đại của thí nghiệm hộp tải trọng. Do thí nghiệm này phá hoại xảy ra do ma sát bên nên đường cong sức chống mũi đi xuống được ngoại suy cho đến khi phá hoại. Quá trình này được tiếp tục và dùng đường cong đi xuống ngoại suy và đường cong đi lên đo được như điểm 6 – 12 hình 4, cách xây dựng tương tự cho trường hợp khi phá hoại xảy ra tại sức chống mũi của cọc.

TRƯỜNG HỢP ĐẠT ĐẾN SỨC CHỊU TẢI BÊN GIỚI HẠN



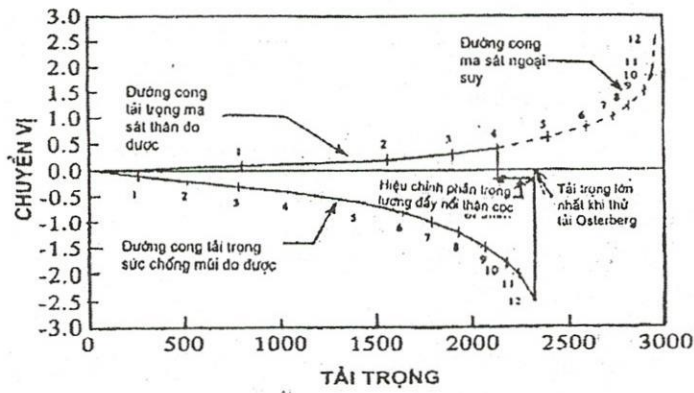
Hình 2: Đường cong chuyển vị do chất tải đỉnh tương đương



Hình 3: Sơ đồ bố trí thiết bị và chất tải theo phương pháp thử tĩnh bằng hộp Osterberg

4.4 Nhận xét

Phương pháp thử tải cọc khoan nhồi bằng hộp tải trọng Osterberg mang lại độ chính xác cao, có thể kiểm tra được khả năng chịu lực của từng lớp đất cọc đi qua (thông qua giá trị sức kháng ma sát thành bên và sức kháng mũi của đất nền). Với thiết bị thí nghiệm gọn nhẹ, loại thí nghiệm dạng hộp tải trọng Osterberg có thể dùng thử tải cọc chịu tải 4.000÷18.000 tấn và có thể lớn hơn. Thử tải bằng hộp tải trọng Osterberg cell khắc phục được khuyết điểm của phương pháp thử tải tĩnh truyền thống như: có thể bố trí thử tải cọc ở nơi sông rộng, sâu nước chảy xiết hoặc nơi mặt bằng chật hẹp v.v.. Nhược điểm của thử tải Osterberg là cần có đội ngũ chuyên gia kỹ thuật cao thực hiện thí nghiệm (hiện nay Công ty LoadTest Inc của Mỹ là đơn vị chuyên trách về thí nghiệm này). Hiện tại tuy chi phí thử tải còn cao, nhưng tương lai về lâu dài phương pháp thử tải tĩnh bằng hộp tải trọng Osterberg có thể sẽ có chi phí thấp và có xu hướng sử dụng thay thế hoàn chỉnh phương pháp thử tải tĩnh truyền thống trong công tác thí nghiệm cọc khoan nhồi đường kính lớn.



Hình 4: Đường cong tải trọng – chuyển vị đạt đến ma sát giới hạn

LOAD ENDURANCE CONTROL FOR BORED PILE

Le Van Nam, Nguyễn Chi Đoàn
University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: Nowadays, all over the world, there are many methods for testing load endurance of bored piles; each method has advantages and disadvantages. To understand more about those advantages and disadvantages, the author shall analyze some methods for testing load endurance of bored piles as follows as to help readers understand more about those methods and facilitate their choices of testing methods which are best fitted to construction conditions, technical requirements while ensuring economic efficiencies.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Hữu Đầu. *Công nghệ mới đánh giá chất lượng cọc*. NXB Xây Dựng Hà Nội (2000).
- [2]. Cọc – phương pháp thí nghiệm bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục TCXDVN 269-2002.
- [3]. Đoàn Thế Phùng. *Vấn đề đánh giá sức mang tải của cọc khoan nhồi đường kính lớn*. Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng số 1-1998.
- [4]. Nguyễn Việt Trung, Lê Thanh Liêm. *Cọc khoan nhồi trong công trình giao thông*. NXB Xây Dựng Hà Nội (2003).