

ÁP DỤNG ĐO CHUYỂN VỊ NGANG CỦA CỌC TRONG THÍ NGHIỆM CỌC CHỊU TẢI TRỌNG NGANG

APPLICATION OF LATERAL DISPLACEMENT MEASUREMENT IN PILE LATERAL LOAD TEST

Phạm Hồng Dương¹, Phạm Văn Giang², Nguyễn Chí Quyết³

^{1,2,3} Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: ¹ duongpink2@gmail.com, ² giang413@gmail.com, ³ ncqibst8866@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-1>

TÓM TẮT: Thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang thông thường không cung cấp được nhiều thông tin hữu ích. Bài báo này trình bày việc áp dụng đo chuyển vị ngang dọc thân cọc bằng các thiết bị đo phù hợp. Kết quả thí nghiệm này có ưu điểm so với các thí nghiệm cũ khi cung cấp được các số liệu về biến dạng thân cọc, nội lực thân cọc, phản lực đất nền... giúp kiểm chứng lại kết quả tính toán cũng như lựa chọn phương pháp tính toán hợp lý hơn.

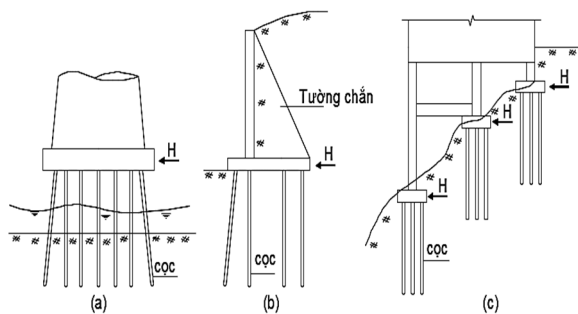
TỪ KHÓA: Tải trọng ngang, chuyển vị ngang, áp lực nền, đường p-y.

ABSTRACT: Usual pile lateral load test does not supply advance results. This paper presents pile lateral load test using suitable instrument to measure lateral movement of pile shaft. The new method of pile test supplies the behavior of pile under lateral load such as pile deformation, pile inner forces, soil pressure... and help to validate the design calculations as well as to choose the reasonable pile-soil calculation method.

KEYWORDS: Lateral load, lateral displacement, soil pressure, p-y curve.

1. GIỚI THIỆU

Móng cọc trong các công trình xây dựng thường chịu tải trọng thẳng đứng và mômen. Tuy nhiên ở một số kết cấu đặc thù như cầu cảng, ống khói, tường chắn đất, công trình xây dựng trên mái dốc, trụ tháp..., tải trọng ngang tác dụng lên cọc là đáng kể.



Hình 1. Một số móng cọc chịu tải trọng ngang lớn

(a) móng trụ các loại; (b) móng tường chắn
(c) móng nhà trên mái dốc

Có nhiều phương pháp tính toán cọc chịu tải trọng ngang theo tải trọng cực hạn hoặc theo chuyển vị cho trước như phương pháp lý thuyết áp lực đất của Broms (1964) và Brinch Hansen (1961), phương pháp phản lực nền Resse và Matlock (1956), phương pháp xấp xỉ đàn hồi Poulos (1971)... [1-3]. Các phương pháp tính toán có ưu điểm và hạn chế khác nhau và kết quả tính toán cần được kiểm chứng, thông số tính toán cần điều chỉnh lại bằng các kết quả thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang.

Phương pháp thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang thường tuân theo các hướng dẫn của tài liệu kỹ thuật dự án hay các quy định của tiêu chuẩn thí nghiệm như ASTM D3966 [4] trong đó cố gắng mô phỏng tốt nhất trạng thái chịu lực của cọc cũng như đo đạc chính xác các chuyển vị biến dạng thân cọc. Thực tế hiện nay đa phần các thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang chỉ áp dụng đo chuyển vị ngang dọc theo đường lực tác dụng do những hạn chế về phương pháp thực hiện. Thí nghiệm như vậy cung cấp rất ít thông tin hữu ích cho thiết kế móng cọc.

Để có thêm nhiều thông tin từ kết quả thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang, có hai phương pháp thí nghiệm sau đây được áp dụng [3]:

- Phương pháp thứ nhất đo biến dạng hai phía gần và xa điểm lực tác dụng dọc theo chiều sâu bằng các cảm biến biến dạng (strain gauge). Các cảm biến được bố trí thành từng cặp cùng cao độ, phân bố đều theo chiều sâu và nằm trong mặt phẳng chịu lực đi qua đường trục tâm cọc.

- Phương pháp thứ hai đo chuyển vị ngang dọc theo chiều sâu cọc, vị trí đo chuyển vị nằm trên đường trục tâm cọc có hướng đo nằm ngang trong mặt phẳng lực tác dụng đi qua trục tâm cọc.

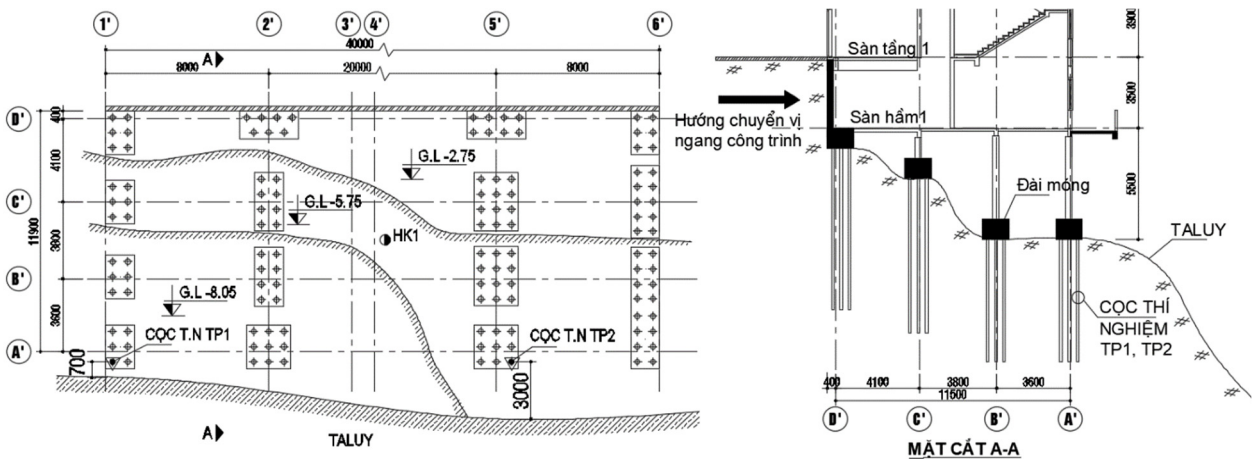
Phương pháp thứ nhất đo biến dạng cọc rồi tính toán ứng suất nén, kéo $\sigma_{n,k}$ và nội lực mô men và lực cắt M, Q và áp lực ngang của đất p và chuyển vị ngang dọc thân cọc y. Còn phương pháp thứ hai thực hiện đo chuyển vị ngang dọc thân cọc y, từ đó tính toán nội lực mô men M, lực cắt Q và suy ra áp lực ngang của đất phân bố trên cọc p. Hai phương pháp có cách tiếp cận thí nghiệm khác nhau nhưng cùng cung cấp thêm các thông tin về nội lực thân cọc, áp lực ngang tuy nhiên phương pháp thứ nhất có chi phí cao hơn và có nhiều rủi ro khi các cảm biến dễ bị ảnh hưởng có thể không làm việc hoặc làm việc không chính xác. Phương pháp thứ hai dễ tiếp cận

hơn về giá thành, lắp dựng cũng như ít rủi ro khi thu thập số liệu.

Nhóm tác giả đã thực hiện thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang có đo chuyển vị ngang theo chiều sâu theo phương pháp thứ hai cho hai cọc đơn tại một dự án xây dựng tại đảo Phú Quốc. Bài báo này trình bày vắn tắt phương pháp thí nghiệm đã thực hiện, các kết quả thu được và những ứng dụng của nó trong tính toán thiết kế móng cọc.

2. THÍ NGHIỆM ĐO CHUYỂN VỊ NGANG DỌC TRỤC CỌC KHI CHỊU TẢI TRỌNG NGANG

Cọc thí nghiệm thuộc dự án Phố thương mại Sun Premier Village – Primavera tại phường An Thới, TP. Phú Quốc, công trình dạng nhà khung bê tông cốt thép nhiều bước cột có chiều cao 5 tầng. Cao độ đài móng thay đổi tùy từng vị trí vì công trình được xây dựng trên địa hình sườn dốc (Hình 2). Cọc thí nghiệm tải trọng ngang với yêu cầu cung cấp biểu đồ mô men dọc thân cọc cho đơn vị thiết kế đối chiếu với kết quả tính toán. Hai cọc chọn thí nghiệm được chỉ định ở vị trí có địa hình địa chất khác nhau trên mặt bằng, cụ thể cọc TP2 cách Taluy ~ 3m còn cọc TP1 nằm ở vị trí bất lợi hơn cách Taluy ~ 0,7m. Các thông số cọc thí nghiệm có thể tham khảo Bảng 1, Bảng 2 và Hình 3 dưới đây. Thông tin về điều kiện địa chất công trình có thể xem tại Hình 3.



Hình 2. Vị trí cọc thí nghiệm và mặt cắt công trình

Bảng 1. Các thông số hình học cọc thí nghiệm

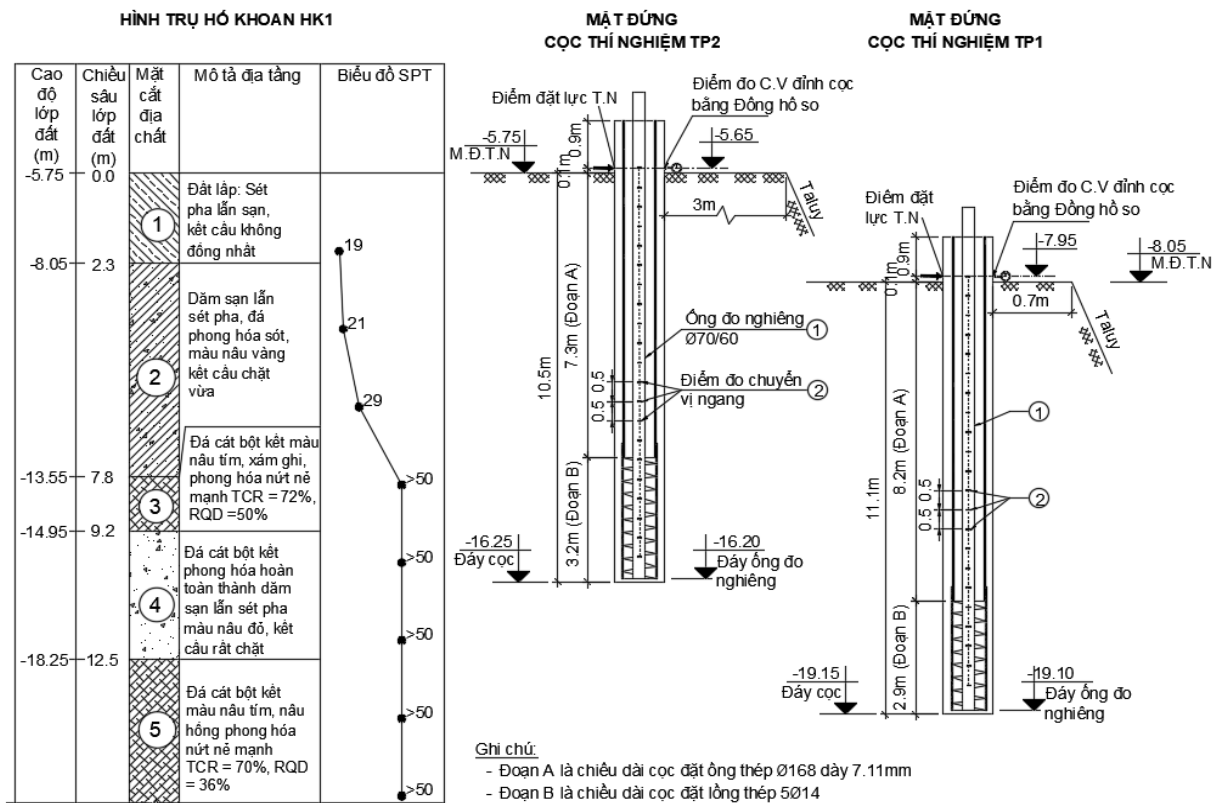
T.T	Tên cọc	Đường kính cọc (mm)	Chiều dài cọc (m)			Chiều dài đo chuyển vị			Cao độ đặt tải trọng và đo chuyển vị ngang đầu cọc (m)
			C.Đ mặt đất (m)	C.Đ đáy cọc (m)	Chiều dài ngàm cọc (m)	C.Đ đáy ống (m)	CĐ điểm đặt lực (m)	Chiều dài (m)	
1	TP1	250	-8.05	-19.15	11.10	-19.10	-7.95	11.15	G.L+ 0.1
2	TP2	250	-5.75	-16.25	10.50	-16.20	-5.65	10.55	G.L+0.1

Bảng 2. Các thông số về vật liệu cọc và tải trọng thí nghiệm

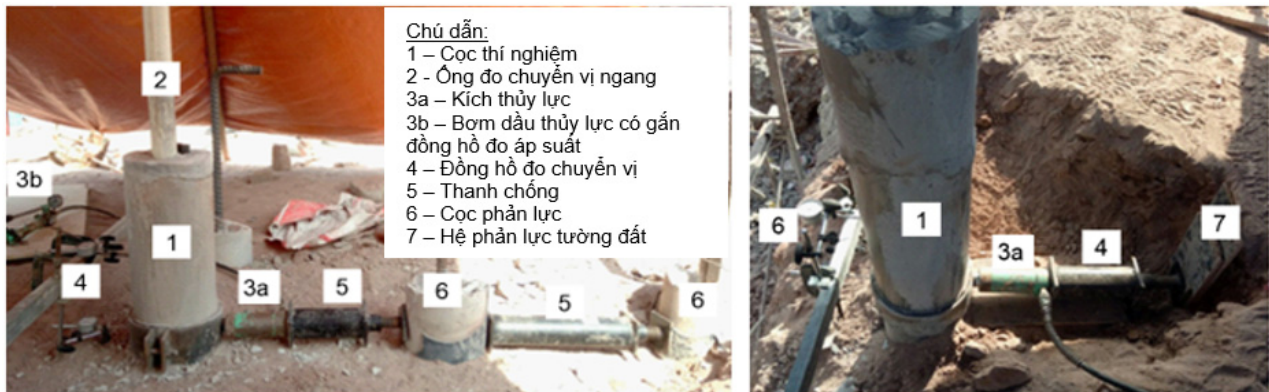
T.T	Tên cọc	Chiều dài cọc đặt ống thép Ø168 (Đoạn A) (m)	Chiều dài cọc đặt lồng thép 5Ø14 (Đoạn B) (m)	Mô đun đàn hồi thép ống Ø168 E _{sb} (T/m ²)	Mô đun đàn hồi thép Ø14 E _{sb} (T/m ²)	Mô đun đàn hồi vật liệu cọc (T/m ²)	Tải trọng ngang, thiết kế (T)	Tải trọng ngang giới hạn (T)	Chuyển vị ngang giới hạn (mm)
1	TP1	8.2	2.9	2.04×10 ⁷	2.0×10 ⁷	3.25×10 ⁶	2	4-6	-25.4
2	TP2	7.3	3.2	2.04×10 ⁷	2.0×10 ⁷	3.25×10 ⁶	2	4-6	-25.4

Các điểm đo chuyển vị ngang bố trí cách đều 0.5m theo chiều sâu tính từ cao độ điểm đặt tải trọng ngang. Cọc TP1 có 22, cọc TP2 có 21 điểm đo chuyển vị ngang (xem Hình 3). Chuyển vị ngang tại

đầu cọc được đo bằng đồng hồ đo chuyển vị cơ khí còn chuyển vị ngang dọc thân cọc đo bằng thiết bị Inplace – inclinometer.



Hình 3. Điều kiện ĐCCT và mặt cắt cọc và vị trí điểm đo chuyển vị



Hình 4. Bố trí thiết bị thí nghiệm, hệ phản lực thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm bao gồm một kích thủy lực 12T, các thanh chông, đồng hồ đo chuyển vị kiểu cơ khí. Tải trọng ngang được tạo và kiểm soát bởi kích thủy lực và đồng hồ đo áp lực. Hệ phản lực tận dụng các cọc liên kề hoặc bờ đất tự nhiên như trên Hình 4.

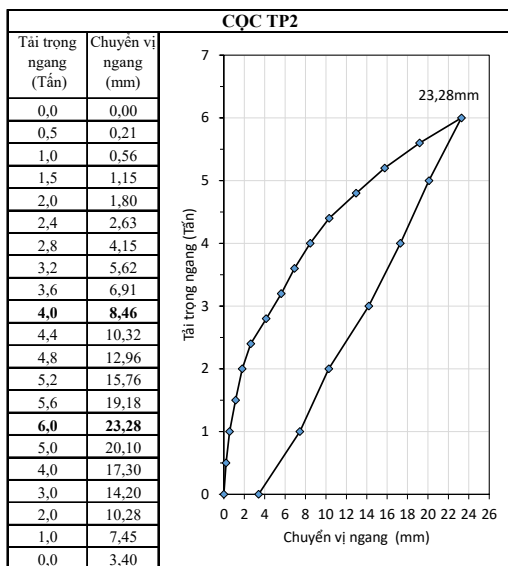
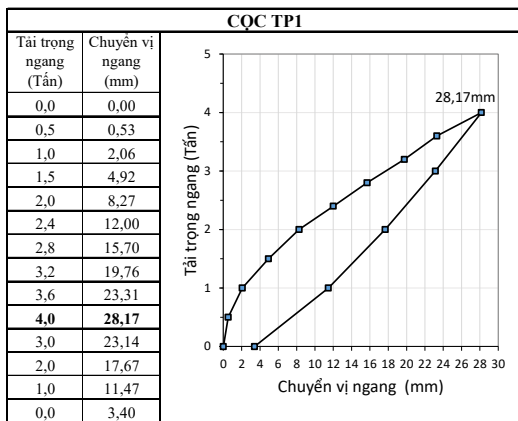
Tải trọng ngang được tăng theo các mức 10% và 12,5% cho đến khi chuyển vị ngang đầu cọc đạt mức giới hạn xấp xỉ 25.4mm. Quy trình tăng giảm tải trọng ngang và thời gian giữ tải và đo ghi số liệu cụ thể như sau [4]:

	Tăng tải ↑															Giảm tải ↓					
% tải trọng lớn nhất	0	12,5	25	37,5	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	125	100	75	50	25	0
Tải trọng TP1 (T)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0								3,0	2,0	1,0	0
Tải trọng TP2 (T)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0
Thời gian giữ tải (phút)	0	10	10	15	20	20	20	20	20	60	20	20	20	20	60	10	10	10	10	10	60

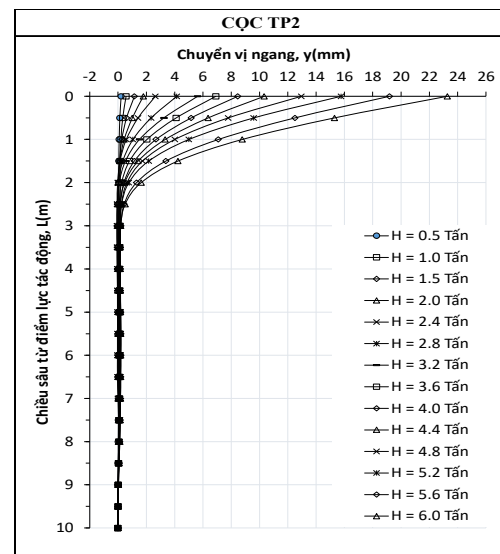
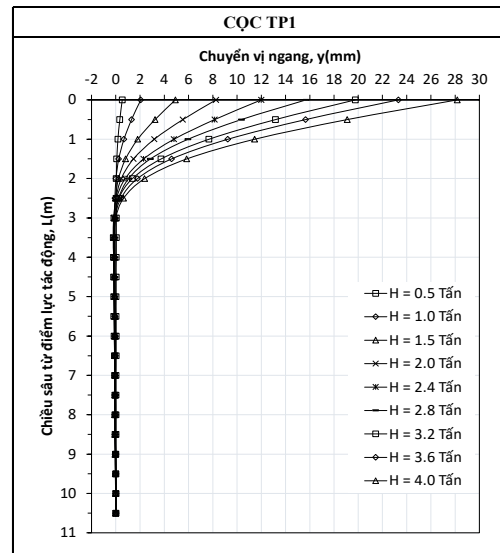
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Cọc TP1 tải trọng ngang tăng từ 0 – 4 tấn còn cọc TP2 từ 0 – 6 tấn. Tải trọng được tăng từng cấp 10% cho đến khi chuyển vị ngang đầu cọc xấp xỉ 25.4 mm thì dừng tăng tải. Đúng với tên gọi của phương pháp thí nghiệm cọc, kết quả thí nghiệm thuần túy là kết quả đo chuyển vị ngang dọc theo chiều sâu cọc. Hình 5 là biểu đồ kết quả đo chuyển vị ngang tại đầu cọc theo các cấp tải trọng ngang khác nhau.

Thiết bị Inplace - inclinometer đo chuyển vị ngang thân cọc qua các ống đo trùng với trục tâm cọc có kết quả đo chuyển vị ngang đầu cọc sát với kết quả đo bằng đồng hồ đo chuyển vị kiểu cơ khí. Hình 6 là biểu đồ chuyển vị ngang theo chiều sâu cọc ứng với từng cấp tải trọng ngang tác dụng tại đầu cọc.



Hình 5. Kết quả đo chuyển vị ngang tại điểm đặt lực đo bằng đồng hồ cọc TP1 và TP2



Hình 6. Kết quả đo chuyển vị ngang theo chiều sâu cọc ứng với các cấp tải khác nhau

Giả thiết tính toán nội lực thân cọc và phản lực đất nền coi cọc như dầm trên nền đàn hồi (mô hình Winkler). Cọc thí nghiệm chỉ chịu tải trọng ngang được coi như dầm trên nền đàn hồi với phương trình như sau [3]:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

E – mô đun đàn hồi của cọc;

I – Mômen quán tính tiết diện cọc;

p – Phản lực nền $p = k_h y$.

Có thể viết lại phương trình (1) như sau:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k_h y}{EI} = 0 \quad (2)$$

Xét mặt cắt cọc tại điểm bất kỳ theo phương x ta có chuyển vị ngang y_m và góc xoay θ_m (đã biết). Theo công thức sức bền vật liệu ta có:

Công thức tính các thành phần nội lực thân cọc mômen, lực cắt và phản lực đất nền được tính theo công thức:

$$M_x = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3)$$

$$Q_x = EI \frac{d^3 y}{dx^3} \quad (4)$$

$$p_x = EI \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (5)$$

Trong đó:

EI - Độ cứng chống uốn thân cọc

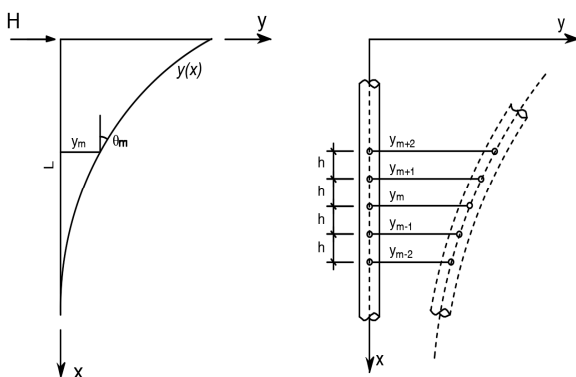
$$\left(\frac{d^2 y}{dx^2}\right)_{x=m} = \frac{y_{m-1} - 2y_m - y_{m+1}}{h^2} \quad (3a)$$

$$\left(\frac{d^3 y}{dx^3}\right)_{x=m} = \frac{y_{m-2} - 2y_{m-1} - 2y_{m+1} + y_{m+2}}{2h^3} \quad (4a)$$

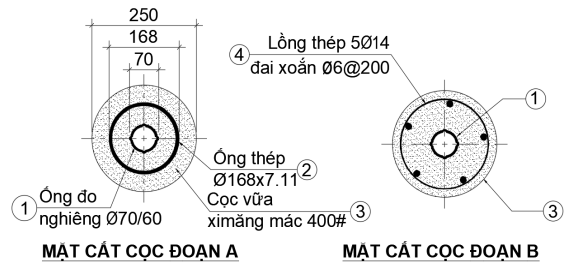
$$\left(\frac{d^4 y}{dx^4}\right)_{x=m} = \frac{y_{m-2} - 4y_{m-1} + 6y_m - 4y_{m+1} - y_{m+2}}{h^4} \quad (5a)$$

y_m – chuyển vị ngang đo tại độ sâu $x = m$ (Hình 7)

h – khoảng cách theo chiều sâu giữa 2 điểm đo chuyển vị ngang (Hình 7).



Hình 7. Chuyển vị ngang theo độ sâu x



Hình 8. Mặt cắt ngang cọc thí nghiệm

Cọc thí nghiệm gồm hai đoạn với cấu tạo khác nhau có mô đun đàn hồi E_A và E_B được tính như sau:

$$E_A = \frac{A_c E_c + A_{sp} E_{sp}}{A_c + A_{sp}} \quad (6)$$

$$E_B = \frac{A_c E_c + A_{sb} E_{sb}}{A_c + A_{sb}} \quad (7)$$

Trong đó:

A_c – diện tích cọc đã trừ diện tích ống đo chuyển vị, $A_c = A_{cf} - A_i = 0.0452 \text{ (m}^2\text{)}$.

A_{cf} – diện tích tiết diện cọc có đường kính $D_c = 0.25 \text{ m}$, $A_{cf} = \frac{3.14 \times 0.25^2}{4} = 0.049087 \text{ (m}^2\text{)}$.

A_i – diện tích tiết diện ống đo nghiêng có đường kính $d_i = 0.07 \text{ m}$, $A_i = \frac{3.14 \times 0.07^2}{4} = 0.00385 \text{ (m}^2\text{)}$.

A_{sp} – diện tích ống thép có đường kính 0.168 m, bề dày ống 0.00711 m, $A_{sp} = 0.00015 \text{ (m}^2\text{)}$.

E_c – mô đun đàn hồi vật liệu cọc là vữa mác 400# (B30), $E_c = 3.25 \times 10^6 \text{ (T/m}^2\text{)}$

E_{sp} – mô đun đàn hồi vật liệu ống thép, $E_{sp} = 2.04 \times 10^7 \text{ (T/m}^2\text{)}$

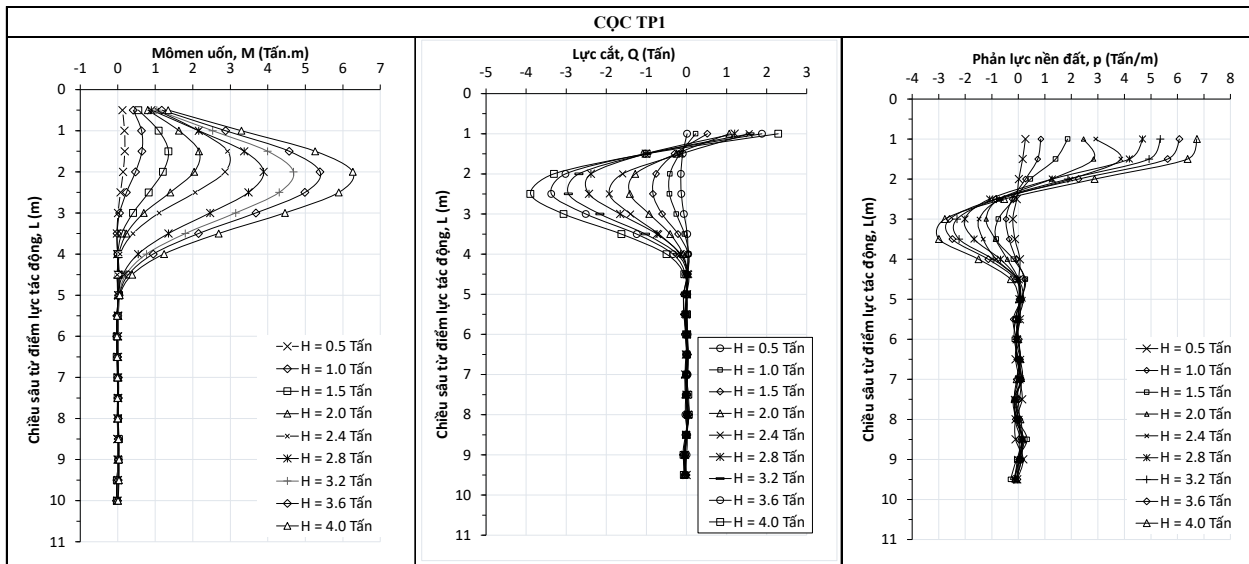
E_{sb} – mô đun đàn hồi thép chủ, $E_{sb} = 2.0 \times 10^7 \text{ (T/m}^2\text{)}$

Mô men quán tính của tiết diện cọc giảm trừ phần tiết diện ống đo chuyển vị:

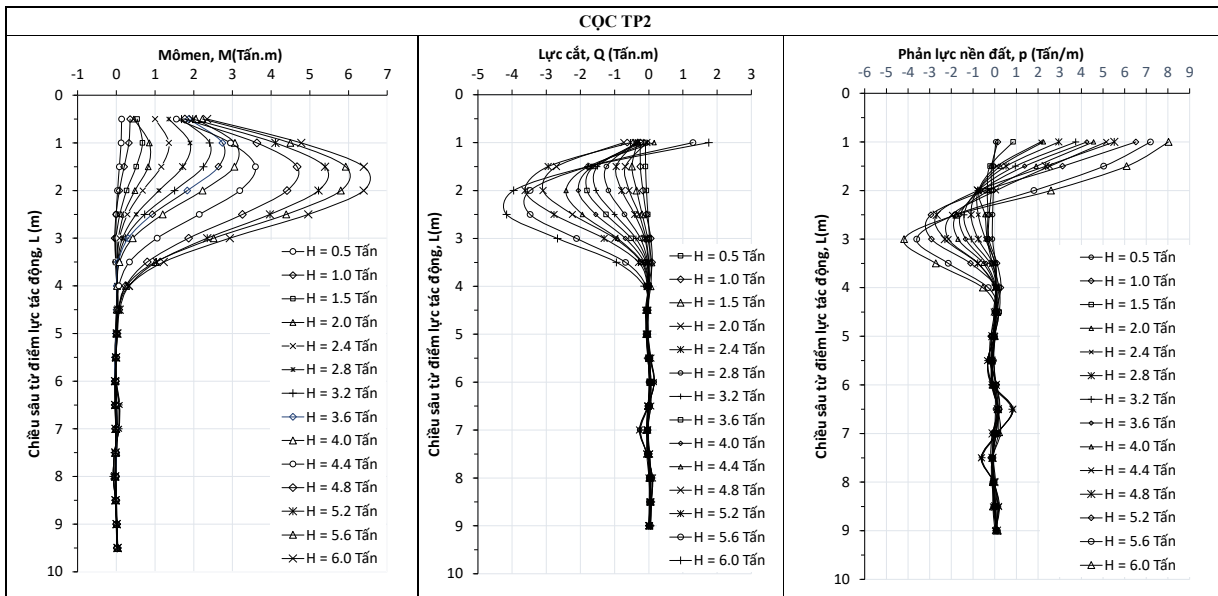
$$I = \frac{\pi}{64} (D_c^4 - d_i^4) = 0.00019 \text{ m}^4 \quad (8)$$

Thay các giá trị trên vào biểu thức (6), (7) và (8) tính được: $E_A I = 869 \text{ T.m}^2$ và $E_B I = 630 \text{ T.m}^2$.

Từ giá trị độ cứng cọc, chuyển vị ngang đã tính ở trên thay vào biểu thức (3), (3a), (4), (4a), (5), (5a) và các giá trị $E_A I$, $E_B I$ tính toán ra các giá trị mô men uốn, lực cắt và phản lực nền đất phân bố theo chiều sâu của hai cọc TP1, TP2 trong các biểu đồ Hình 9, Hình 10.

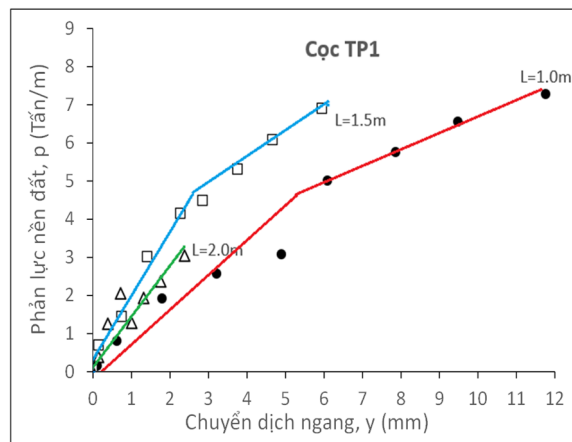


Hình 9. Mômen uốn, lực cắt, phản lực nền đất theo chiều sâu cọc TP1

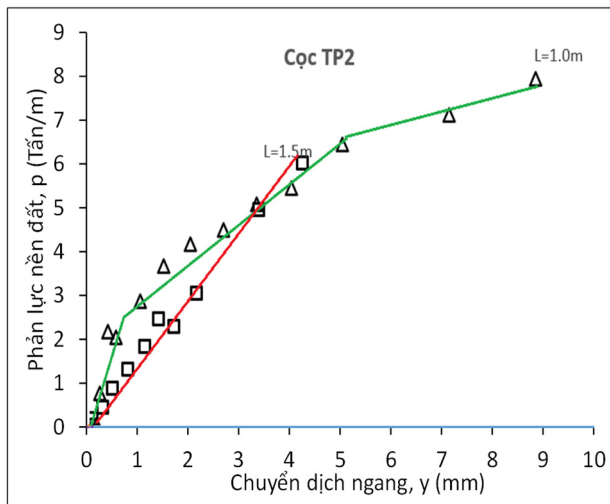


Hình 10. Mômen uốn, lực cắt, phản lực nền đất theo chiều sâu cọc TP2

Từ các số liệu tính toán, thí nghiệm cho phép thiết lập đường quan hệ giữa áp lực ngang của đất và chuyển vị đất nền p-y với các vị trí độ sâu khác nhau. Hình 11a cho thấy ở các vị trí độ sâu 1.0m và 1.5m đã bắt đầu có tính phi tuyến, còn ở độ sâu 2m biến dạng và áp lực ngang nền vẫn giữ quan hệ tuyến tính. Tương tự Hình 11b biến dạng đất nền ở độ sâu 1.0m có tính phi tuyến, độ sâu 1.5m quan hệ p-y vẫn là tuyến tính. Có thể thấy quan hệ p-y sẽ chuyển dần từ tuyến tính sang phi tuyến khi tải trọng ngang tăng lên và theo thứ tự độ sâu từ trên (mặt đất) xuống.



Hình 11a. Đường p-y cọc TP1



Hình 11b. Đường p-y cọc TP2

4. KẾT LUẬN

- Đo chuyển vị ngang dọc trục cọc trong thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang là khả thi và dễ áp dụng. Việc lắp đặt thêm ống đo trong quá trình thi công cọc không cần độ chính xác cao và nhiều dụng cụ hỗ trợ. Các thiết bị đo chuyển vị kiểu Inplace inclinometer cũng rất sẵn có trên thị trường.

- Rõ ràng là các kết quả thí nghiệm cọc có đo chuyển vị ngang dọc trục cung cấp được rất nhiều thông tin hữu ích cho thiết kế như hình thái biến dạng của cọc, nội lực thân cọc, các thay đổi của phản lực đất nền, vị trí điểm xoay cọc so với thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang chỉ đo chuyển vị ngang tại đầu cọc.

- Phương pháp tính toán có hạn chế khi nội lực thân cọc và phản lực nền chỉ được tính toán ở độ sâu

thấp hơn từ một đến hai khoảng đo chuyển vị ngang. Vì vậy kiến nghị, với phương pháp đo chuyển vị ngang cọc theo chiều sâu để xác định nội lực thân cọc từ mặt đất xuống, kiến nghị chiều dài cọc tự do từ hai khoảng đo chuyển vị ngang trở lên.

- Trong điều kiện ban đầu hạn chế của thí nghiệm cọc có đo chuyển vị ngang dọc trục, số lượng cảm biến còn ít nên không đủ bố trí dày hơn để tăng độ chính xác của kết quả đo cũng như kết quả tính toán. Tuy nhiên kết quả và những khai thác từ thí nghiệm ban đầu cũng mở ra hướng mới trong việc sử dụng phương pháp đo này.

- Kiến nghị áp dụng phương pháp thí nghiệm cọc chịu tải trọng ngang có đo chuyển vị ngang dọc trục vào các quy trình, tiêu chuẩn kỹ thuật, đặc biệt áp dụng cho các cọc thử với mục đích cung cấp thông tin cho thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Tài liệu tham khảo là tạp chí:

- [1] Beng B.Broms (1964 a,b). *Lateral resistance of piles in cohesive soil.*
- [2] G.G.Meyerhof (1995). *Lateral resistance and deflection of flexible piles.*

- Tài liệu tham khảo là sách:

- [3] Shamsheer Prakash-Hari D.Sharma. *Pile foundation in engineering practice*

- Tài liệu tham khảo là tiêu chuẩn:

- [4] ASTM Standards: *D3966-07 - Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load¹.*