

Tính toán cọc chịu tải trọng ngang – phân tích đàn hồi

Calculation of piles subjected to lateral loads - elastic analysis

Nguyễn Tiến Dũng

Tóm tắt

Cọc trong móng cọc đài cao, kết cấu tường chắn, móng cọc chịu tải trọng động đất... không chỉ chịu tải trọng thẳng đứng mà còn chịu tải trọng ngang. Cọc chịu tải trọng ngang sẽ làm việc như cấu kiện chịu uốn, trong quá trình tính toán thiết kế cần xác định được chuyển vị, mô-men, lực cắt của cọc và áp lực ngang của đất tác dụng lên thân cọc. Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán cọc chịu tải trọng ngang theo Reese và Matlock. Phương pháp phân tích đàn hồi thuộc nhóm phương pháp dầm trên nền Winkler, giả thiết cọc ứng xử như dầm đàn hồi trên đất ứng xử như một chuỗi lò xo đàn hồi. Phương pháp này áp dụng được cho trường hợp cọc thẳng đứng đầu tự do hoặc cọc đầu cố định chịu tải trọng ngang ở đầu cọc.

Từ khóa: móng cọc, cọc chịu tải trọng ngang, Reese và Matlock, tải trọng ngang, phân tích đàn hồi

Abstract

Piles in the foundation of high pile cap, retaining wall structures, pile foundations subjected to earthquake loads... are designed to bear not only vertical loads but also horizontal loads. Piles subjected to horizontal loads will work as flexural members; during design calculations, it is necessary to determine the displacement, moment, shear force of the pile and the horizontal pressure of the soil acting on the pile body. This paper introduces the method of calculating piles subjected to lateral loads according to Reese and Matlock. The method of elastic analysis belongs to the group of beam-on-Winkler foundation methods, assuming that the pile behaves like an elastic beam on a soil behaving as a series of elastic springs. This method is applicable to the case of free-headed vertical piles or fixed-head vertical piles which subjected to lateral loads at the pile head.

Key words: pile foundation, laterally loaded piles, Reese and Matlock, lateral load, elastic analysis

ThS. Nguyễn Tiến Dũng

Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Xây dựng

ĐT: 0988120252

Email: nguyentindungkta@gmail.com.vn

Ngày nhận bài: 27/4/2022

Ngày sửa bài: 12/5/2022

Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, phương pháp phân tích cọc chịu tải trọng ngang và mô-men trong tiêu chuẩn còn hạn chế. Do đó, chúng ta cần bổ sung thêm phương pháp tính toán thực hành để có thêm kết quả đối chiếu, nâng cao độ tin cậy trong bài toán thiết kế cọc chịu tải trọng ngang. Nhóm phương pháp dầm trên nền Winkler hay còn gọi hướng tiếp cận mô đun theo phương ngang của đất (modulus of horizontal subgrade reaction) tập trung nghiên cứu mô đun theo phương ngang của đất (hệ số nền) là tỷ số giữa áp lực ngang của đất trên một đơn vị dài của dầm, p với chuyển vị ngang của dầm, y . Chính cách thiết lập mối quan hệ giữa p và y là tiền đề cho sự khác nhau giữa các phương pháp tính sử dụng lý thuyết dầm trên nền Winkler. Tính toán cọc chịu tải trọng ngang theo Reese và Matlock giả thiết mối quan hệ p - y (hệ số nền k) tăng tuyến tính với chiều sâu khá tương đồng với lý thuyết tính trong Tiêu chuẩn Việt Nam; vì vậy phương pháp có thể áp dụng để đối chiếu, nâng cao độ tin cậy trong quá trình thiết kế.

Tính toán cọc thẳng đứng chịu tải trọng ngang và mô-men- phân tích đàn hồi

Reese và Matlock đã tiến hành thực nghiệm và thiết lập một loạt các đường cong cho các loại đất có kết cấu thông thường và đất rời, trong đó mô đun đàn hồi của đất, E_s được giả định là tăng từ 0 trên bề mặt đất tỷ lệ thuận với độ sâu.

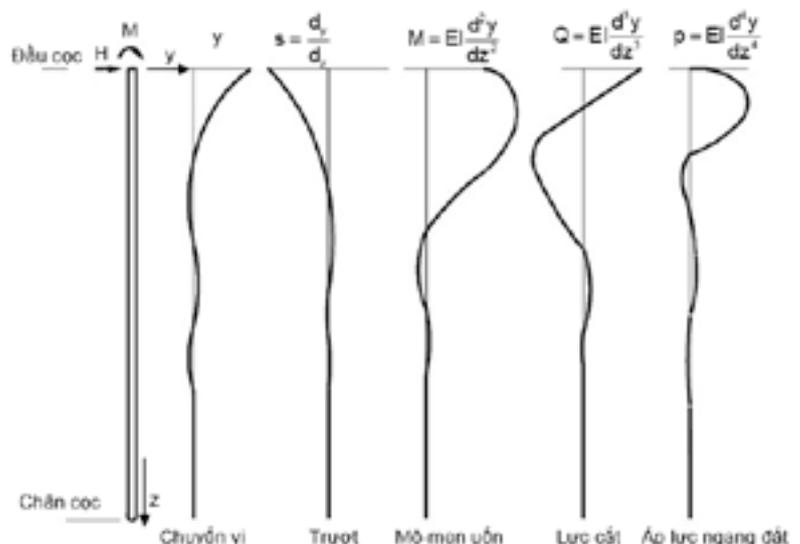
Khi cọc đầu tự do chịu tải trọng ngang H và mô-men tại đầu cọc thì hình dạng chuyển vị, trượt, mô-men uốn, lực cắt của cọc và áp lực theo phương ngang của đất tương ứng được thể hiện trên hình 2.1, các phương trình cơ bản như sau:

$$y = y_A + y_B = \frac{A_y H T^3}{EI} + \frac{B_y M_t T^2}{EI} \quad (1)$$

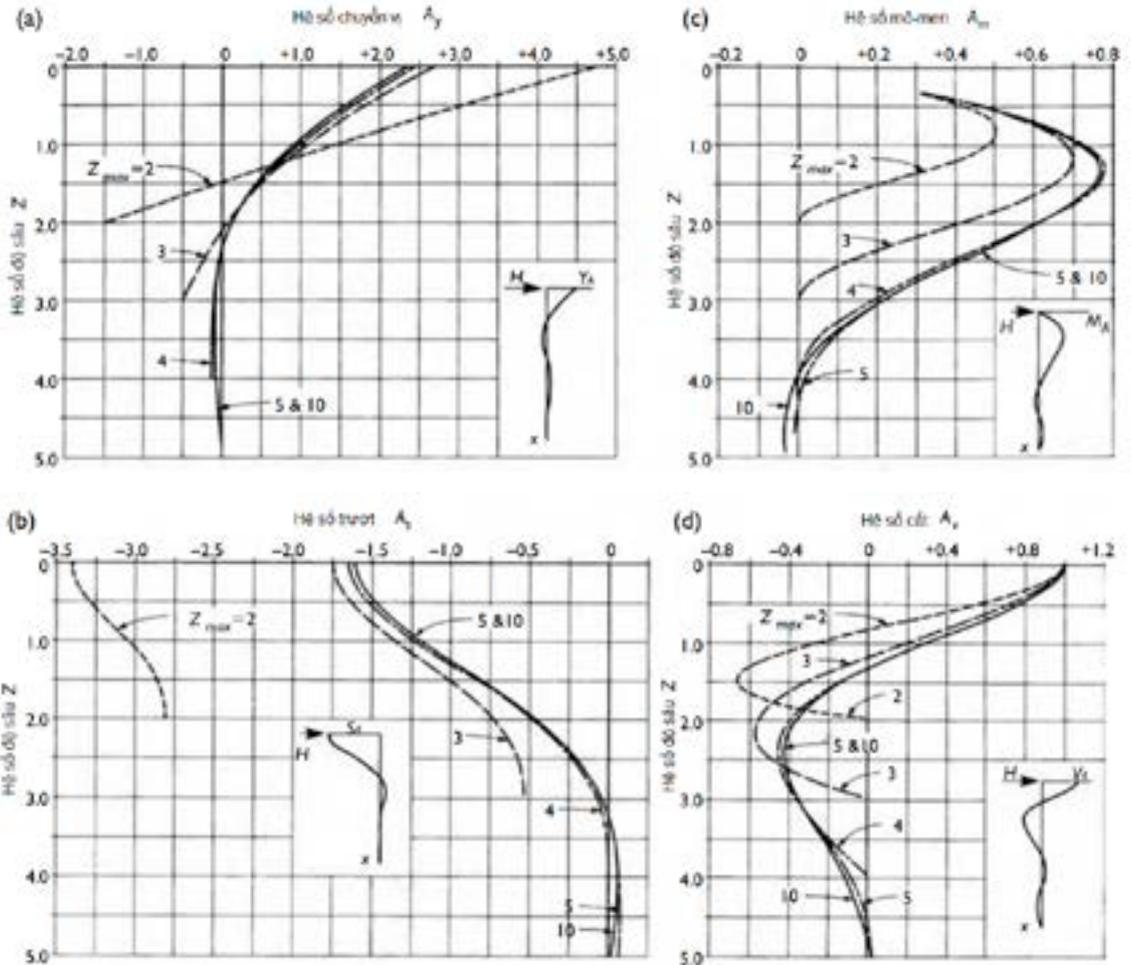
$$s = s_A + s_B = \frac{A_s H T^2}{EI} + \frac{B_s M_t T}{EI} \quad (2)$$

$$M = M_A + M_B = A_m H T + B_m M_t \quad (3)$$

$$V = V_A + V_B = A_v H + \frac{B_v M_t}{T} \quad (4)$$



Hình 2.1 Biểu đồ chuyển vị, trượt, mô-men, lực cắt của cọc và áp lực ngang của đất đối với điều kiện đàn hồi [2]



Hình 2.2 Các hệ số đối với cọc đầu tự do chịu tải trọng ngang [2]

(a) hệ số chuyển vị, (b) Hệ số trượt, (c) Hệ số mô-men uốn, (d) Hệ số lực cắt, (e) Hệ số áp lực ngang của đất

$$p = p_A + p_B = \frac{A_p H}{T} + \frac{B_p M_t}{T^2} \quad (5)$$

Trường hợp cọc đầu cố định, phương trình cơ bản như sau:

$$y = y_F = \frac{F_y H T^3}{EI} \quad (6)$$

$$M = M_F = F_m H T \quad (7)$$

$$p = p_F = \frac{F_p H}{T} \quad (8)$$

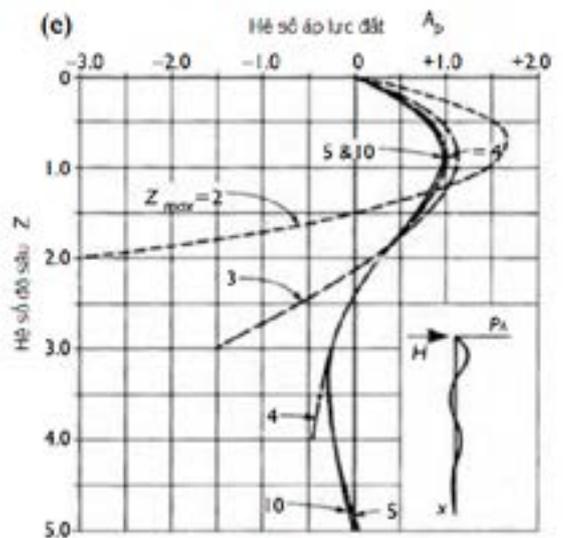
Trong đó: - H , M_t lần lượt là tải trọng ngang, mô-men tác dụng tập trung tại đầu cọc.

EI là đại lượng đặc trưng cho độ cứng kháng uốn của cọc.

Hệ số A_y, A_s, A_m, A_v, A_p tra hình 2.2 cho trường hợp cọc đầu tự do chỉ chịu tải trọng ngang, H ở đầu cọc.

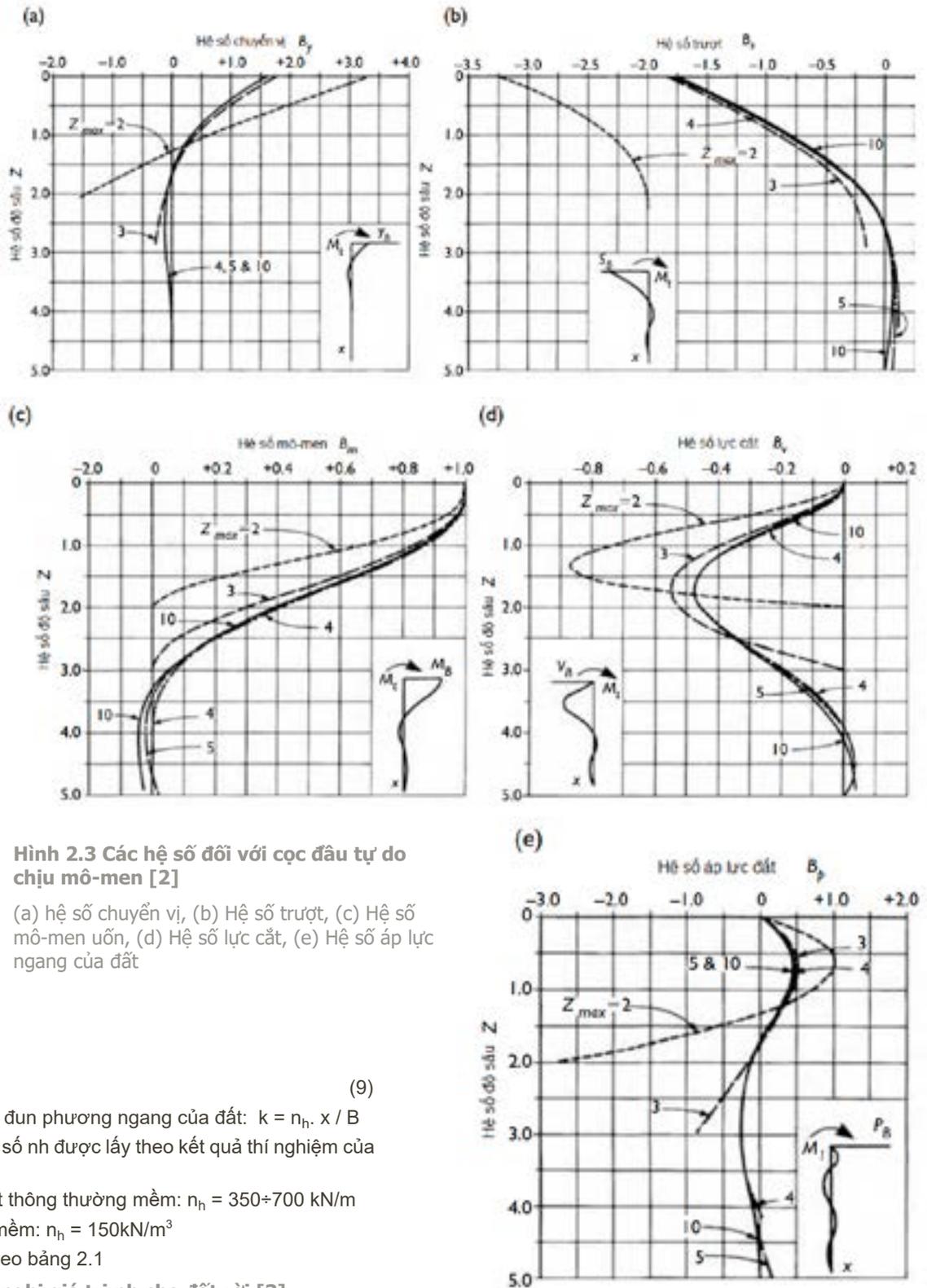
Hệ số B_y, B_s, B_m, B_v, B_p tra hình 2.3 cho trường hợp cọc đầu tự do chỉ chịu mô-men, M_t ở đầu cọc.

Hệ số F_y, F_m, F_p tra hình 2.4 cho trường hợp cọc đầu cố định chỉ chịu tải trọng ngang, H ở đầu cọc.



Trong Hình 2.2 đến 2.4, các hệ số trên có liên quan đến hệ số độ sâu Z và các giá trị khác nhau của Z_{max} , trong đó Z bằng độ sâu x tại bất kỳ điểm chia cho T (tức là $Z=x/T$) và Z_{max} bằng L/T (L là chiều dài của cọc trong đất).

T là hệ số độ cứng. Trường hợp đất dính có kết thông thường và đất rời, mô đun phương ngang của đất (hệ số nền), k thường được coi là tăng tuyến tính theo độ sâu x . Độ cứng T xác định như sau:



Hình 2.3 Các hệ số đối với cọc đầu tự do chịu mô-men [2]

(a) hệ số chuyển vị, (b) Hệ số trượt, (c) Hệ số mô-men uốn, (d) Hệ số lực cắt, (e) Hệ số áp lực ngang của đất

$$T = 5 \sqrt{\frac{EI}{n_h}} \quad (9)$$

Trong đó, mô đun phương ngang của đất: $k = n_h \cdot x / B$

Giá trị của hệ số n_h được lấy theo kết quả thí nghiệm của Terzaghi (1955):

Đất sét cổ kết thông thường mềm: $n_h = 350 \div 700 \text{ kN/m}$

Bùn hữu cơ mềm: $n_h = 150 \text{ kN/m}^3$

Đất rời, lấy theo bảng 2.1

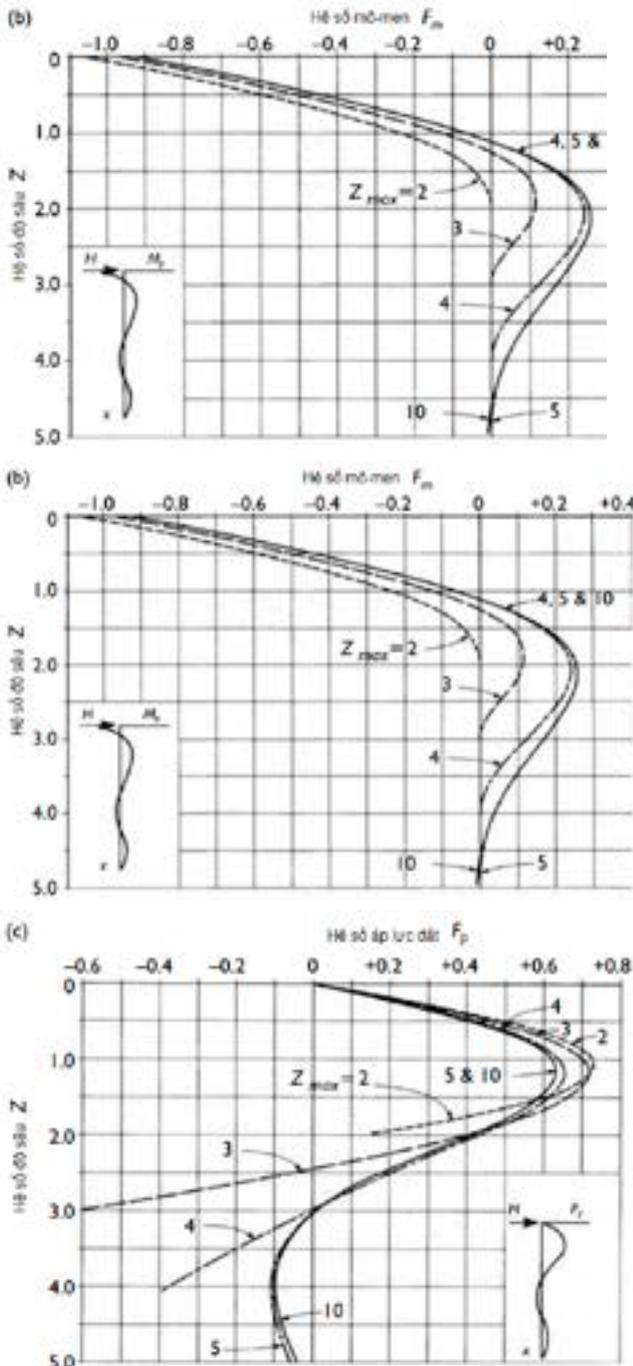
Bảng 2.1. Kiến nghị giá trị n_h cho đất rời [3]

Độ chặt của đất	Xốp	Chặt vừa	Chặt
Phạm vi giá trị n_h (MN/m ³)	0.72÷2.13	0.13÷7.20	7.20÷14.13

Nhận xét: Phương pháp tính có thể áp dụng được cho cọc ngắn (short piles, short rigid piles) và cọc dài (long piles, long flexible piles) thông qua hệ số $Z_{max} = L/T$. Cụ thể: $Z_{max} \leq 2$ là cọc ngắn, $Z_{max} \geq 4$ là cọc dài [4].

Ví dụ tính toán

Một nhóm cọc gồm 16 cọc thép hộp dài 9m trong đất, cạnh $d=0,4\text{m}$, khoảng cách các tim cọc 1,2m được liên kết với nhau bằng đài cứng trên mặt đất. Cọc được đóng trong lớp cát chặt vừa, tải trọng ngang thiết kế lên mỗi cọc là 240kN. Tính chuyển vị ngang, mô-men uốn và áp lực đất dọc thân cọc; cọc có $I_p = 58064 \text{ cm}^4$, $E_p = 20 \text{ MN/cm}^2$.



Hình 2.4 Các hệ số đối với cọc đầu cố định chịu tải trọng ngang [2]

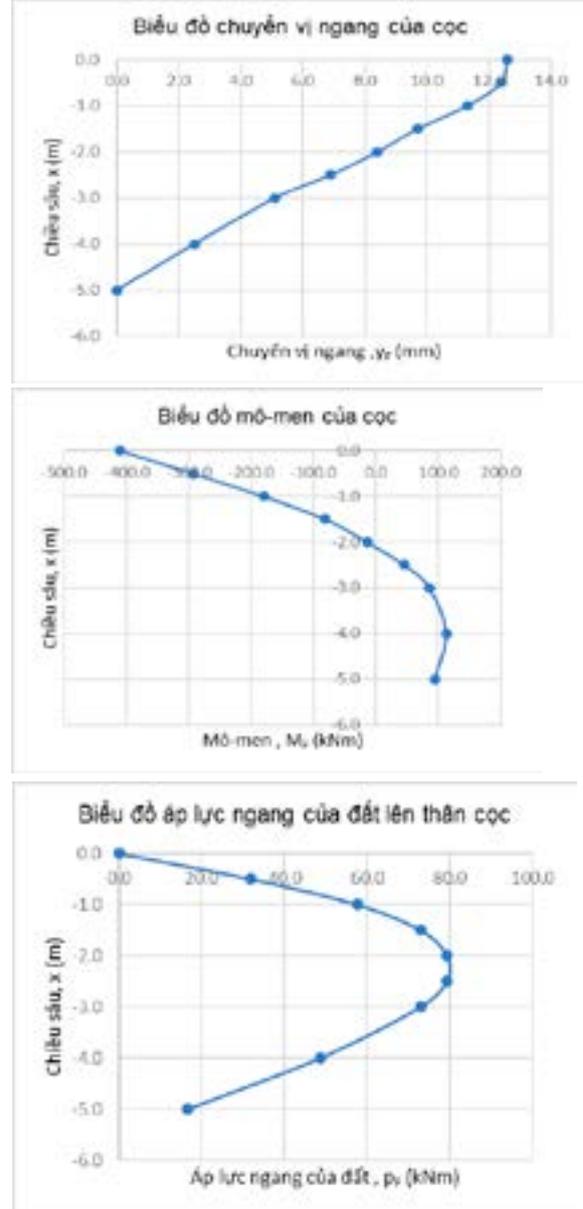
(a) hệ số chuyển vị, (b) Hệ số mô-men uốn, (c) Hệ số áp lực ngang của đất

Lời giải:

Cọc đóng trong cát chặt vừa nên theo bảng 2.1 lấy hệ số nh = 5 MN/m³, hệ số T tính theo công thức (9):

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{20 \times 58064}{5 \times 10^{-6}}} = 188 \text{ cm}$$

Trường hợp cọc đầu cố định chịu tải trọng ngang, theo phương trình (4),(5),(6) ta có chuyển vị ngang, mô-men uốn của cọc và áp lực đất như sau:



Hình 2.5 Biểu đồ chuyển vị ngang, mô-men uốn và áp lực đất lên thân cọc

$$y_F = \frac{F_y H T^3}{EI} = \frac{240 \times 188^3}{20 \times 10^3 \times 58064} F_y = 1,373 F_y \text{ (cm)} = 13,73 F_y \text{ (mm)}$$

$$M_F = F_m H T = 240 \times 188 \times F_m = 45120 F_m \text{ (kNcm)} = 451,2 F_m \text{ (kNm)}$$

$$p_F = \frac{F_p H}{T} = \frac{240}{188} F_p = 1,28 F_p \text{ (kN/cm)} = 128 F_p \text{ (kN/m)}$$

Ta có: $Z_{max} = L/T = 9/1,88 = 4,8m$ từ đó tra được các hệ số F_y, F_m, F_p trên hình 2.4 phụ thuộc vào Z_{max} và $Z=x/T$, kết quả tính toán y, M_F, p_F được tổng hợp ở bảng 2.2, biểu đồ chuyển vị ngang, mô-men uốn của cọc và áp lực đất lên thân cọc thể hiện hình 2.5.

Nhận xét kết quả tính toán: Chuyển vị ngang đầu cọc ($y_F=12,6mm$) khá lớn, cần điều chỉnh lại thiết kế cho phù hợp. Theo các chuyên gia nền – móng cầu Xô Viết cũ, các

(Xem tiếp trang 65)

Bảng 4. Hệ thanh bụng chữ N

Thanh bụng	L100X100X12	L100X100X10	L100X100X8	L90X90X10	L90X90X8	L90X90X7
S _v	4540,00	3840,00	3420,00	3100,00	2780,00	2440,00
N _{cr}	11603,55	11523,17	11459,93	11400,89	11329,09	11233,58

Bảng 5. Hệ thanh bụng chữ A

Thanh bụng	L100X100X12	L100X100X10	L100X100X8	L90X90X10	L90X90X8	L90X90X7
A _{d1}	4540,00	3840,00	3420,00	3100,00	2780,00	2440,00
N _{cr}	11675,61	11607,28	11553,42	11503,05	11441,68	11359,88

Giá trị α_1 tra theo bảng 1.1 với $\theta=60^\circ$ ta được $\alpha_1=26$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{\alpha_1 A}{A_{d1}}} = \sqrt{41,92^2 + \frac{26 \times 10240}{3840}} = 42,74$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_0^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 10240}{43,54^2} = 11607,28 \text{ KN}$$

Kết quả tính toán với các hệ thanh bụng khác nhau thành lập thành các bảng 4 và 5.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày ảnh hưởng của biến dạng cắt đến giá trị lực nén tới hạn của cột rỗng thanh giằng 2 nhánh khi tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam 5574-2012 và tiêu chuẩn châu âu EC3.

Đối với các hệ thanh bụng bố trí khác nhau ảnh hưởng của biến dạng cắt đến lực nén tới hạn cột rỗng khác nhau.

Do đó thực tiễn thiết kế việc bố trí hệ thanh bụng hợp lý sẽ nâng cao khả năng chịu lực của cột.

Khi tính toán theo tiêu chuẩn châu âu ảnh hưởng của biến dạng cắt đến lực nén tới hạn của cột thể hiện tường minh qua đại lượng S_v của từng loại hệ thanh bụng.

Cách lập luận công thức tính lực nén tới hạn của 2 tiêu chuẩn khác nhau, tuy nhiên kết quả tính toán thực tế không chênh lệch nhiều giữa 2 tiêu chuẩn./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 5575:2012 Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế
2. Eurocode 3: “Design of Steel Structures”: ENV 1993-1-1: Part 1.1: General rules and rules for buildings
3. Phạm Văn Hội - Nguyễn Quang Viên - Phạm Văn Tư - Lưu Văn Tường, Kết cấu thép phần Cấu kiện cơ bản, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.

Tính toán cọc chịu tải trọng ngang...

(tiếp theo trang 55)

Bảng 2.2. Kết quả tính toán

x(m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Z=x/T	0.00	0.27	0.53	0.80	1.06	1.33	1.60	2.13	2.66
F _y	0.92	0.90	0.82	0.71	0.61	0.50	0.37	0.18	0.04
y _F (mm)	12.6	12.4	11.3	9.70	8.40	6.90	5.10	2.50	0.00
F _m	-0.91	-0.65	-0.40	-0.18	-0.03	0.10	0.19	0.25	0.21
M _F (kN/m)	-411	-293	-180	-81.0	-14.0	45.1	86.0	113	95.0
F _p	0.00	0.25	0.45	0.57	0.62	0.62	0.57	0.38	0.13
p _F (kN/m)	0.00	32.0	57.6	73.0	79.4	79.4	73.0	48.6	16.6

tài liệu trong nước [5,6,7,8]... chuyển vị ngang giới hạn của cọc tại mặt đất thường được chọn [y_F]=10mm.

3. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu một phương pháp tính toán thực

hành cho cọc đơn thẳng đứng chịu tải trọng ngang tập trung và mô-men ở đỉnh cọc theo lý thuyết đàn hồi. Phương pháp áp dụng được cho cọc có đầu tự do hoặc cố định, cọc ứng xử như cọc ngắn hoặc cọc dài./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 10304:2014. Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế, NXB Xây dựng, Hà Nội.
2. REESE, L. C. and MATLOCK, H. Non-dimensional solutions for laterally-loaded piles with soil modulus assumed proportional to depth, Proceedings of the 8th Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Austin, Texas, 1956, pp. 1–41.
3. Terzaghi, k. Evaluation of coefficient of subgrade reaction, Geotechnique, Vol. 5, No. 4, 1995, pp. 297-326.
4. Tomlinson, M, Woodward, J, Pile Design and Construction Practice, New York, Taylor & Francis, 2008, pp. 327-333.
5. DAVISSON, M. T. and GILL, H. L. Laterally-loaded piles in a layered soil system, Journal of the Soil Mechanics Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 89, No. SM3, May 1963, pp. 63–94.
6. Nguyễn Bá Kế, Thiết kế và thi công hố móng sâu, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2009.
7. Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Văn Quang, Trịnh Việt Cường, Hướng dẫn thiết kế móng cọc, NXB Xây dựng, Hà Nội, 1993.
8. Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Tiến Chương, Nguyễn Hiến, Trịnh Thành Huy, Móng nhà cao tầng kinh nghiệm nước ngoài, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2004.