

CÁC CÁCH TÍNH TOÁN GIÁ TRỊ HỆ SỐ TỶ LỆ CỦA HỆ SỐ NỀN ĐỐI VỚI ĐẤT SÉT YẾU

Ts. Phan Dũng

1. Giới thiệu chung

1.1 Đối với việc tính toán kết cấu trên nền đàn hồi nói chung và cọc chịu lực ngang nói riêng, vấn đề mấu chốt là xác định giá trị và quy luật phân bố phản lực đất $p(z)$. Muốn thế, ta có thể dùng các phương pháp dựa trên lý thuyết đàn hồi, lý thuyết dẻo và phương pháp phản lực nền hay còn gọi là phương pháp hệ số nền. Ở phương pháp sau cùng này, các tính chất cơ học của kết cấu (cọc) và của đất nền được gộp chung vào trong một tham số: hệ số phản lực nền (hệ số nền). Theo Terzaghi [1], hệ số nền là tỷ số giữa phản lực đơn vị, $p(z)$ và chuyển vị ngang tương ứng, $y(z)$:

$$k(z) = \frac{p(z)}{y(z)} = f(z) \quad (1)$$

Khi tính cọc chịu lực ngang, TCXD 205:1998 [8] đã dùng quan hệ sau:

$$k(z) = kz \quad (2)$$

Vì $k(z)$ có thứ nguyên kN / m^3 nên k , được gọi là hệ số tỷ lệ của hệ số nền, có thứ nguyên kN / m^4 .

1.2 Trong báo cáo tổng kết chuyên đề thiết kế cọc chịu lực ngang [5], Elson (2005) đã giới thiệu ba nhóm phương pháp để xác định hệ số nền, có thể ghi nhận như sau:

1. Nhóm thứ nhất: thiết lập tương quan giữa hệ số nền với các tham số cơ học chủ yếu của đất, đặc biệt đối với đất sét yếu là sức chống cắt không thoát nước, S_u :
2. Nhóm thứ hai: hệ số nền được xác định trực tiếp từ kết quả thí nghiệm đất hiện trường, ví dụ như thí nghiệm nén ngang trong hố khoan: điều kiện ứng suất được tạo ra trong thí nghiệm rất tương đồng với phản lực đất lên một cọc chịu lực ngang.
3. Nhóm thứ ba: hệ số nền có thể thu được từ kết quả thí nghiệm cọc chịu lực ngang.
 - a. Đối với cọc gắn thiết bị đo, từ momen uốn đo được cho phép tìm được phản lực đất và chuyển vị ngang.

- b. Đối với cọc không gắn thiết bị đo, từ đường cong “ $Q_0 \sim y_0$ ” (quan hệ giữa lực ngang và chuyển vị ngang tại mức mặt đất) đo được theo cách làm trong [7] có thể tìm được giá trị hệ số nền. Mặc dù sai số của thí nghiệm này dẫn đến gia tăng sai số của giá trị hệ số nền (vì hệ số biến dạng α là hàm mũ của k) nhưng cách làm trên cũng cho ta số liệu đủ tin cậy để thiết kế.

1.3 Dựa vào các phân tích nêu trên, mục tiêu được đặt ra cho bài viết này là:

1. Xét một cọc chịu lực ngang đóng vào nền đất như trong [9], với lớp chịu lực là một lớp sét yếu dày trên mặt có chỉ số sét $I_L > 1,0$.
2. Đối với những loại đất như thế, giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền không cho trong bảng G.1, phụ lục G, TCXD 205:1998. Hơn nữa, kinh nghiệm cho thấy việc xác định đúng đắn chỉ số sét I_L của đất sét, đặc biệt đối với đất sét yếu bão hòa nước, là rất khó khăn.
3. Do vậy, để có thể tính toán cọc và móng cọc chịu lực ngang theo TCXD 205:1998 thì việc cần thiết đầu tiên là phải biết giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền đối với một cọc cho trước đóng trong nền sét yếu như thế.

Nội dung của bài báo là dựa trên sự phối hợp nhóm thứ nhất và nhóm thứ ba, đề xuất cách xác định giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền k của đất sét yếu bằng tính toán, hay nói chính xác hơn, dựa trên các phương pháp tính toán tin cậy về cọc chịu lực ngang.

2. Ba cách tính giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền

2.1 Phương pháp luận

1. Giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền k (từ nay về sau để cho gọn, ta gọi là hệ số tỷ lệ) của đất sét yếu được xác định đối với cọc đầu tự do, không có chiều cao tự do, chỉ chịu lực nằm ngang Q_0 tại mức mặt đất, gây ra chuyển vị nằm ngang của đầu cọc y_0 theo đúng nội dung mô tả ở nhóm thứ ba b trong mục trước hoặc trong [7].
2. Đối với đất yếu nói chung, và sét yếu bão hòa nước nói riêng, việc xác định đúng đắn các chỉ tiêu trạng thái vật lý của đất để tính toán cọc là rất khó khăn và đôi khi là không thể được. Vì thế, việc đánh giá hệ số tỷ lệ trong trường hợp này, như nhóm thứ nhất đã nêu, sẽ chủ yếu dựa trên sức chống cắt không thoát nước của đất sét có giá trị thay đổi theo độ sâu z với quy luật [9]:

$$S_u = a + bz \quad (3)$$

3. Giá trị hệ số tỷ lệ sẽ được xác định trên đường cong quan hệ giữa lực nằm ngang Q_0 và chuyển vị nằm ngang y_0 tại đầu cọc. Như vậy, thay vì tiến hành

thí nghiệm ta cần phải chọn dùng các phương pháp tính cọc chịu lực ngang thích hợp và tin cậy để thu được đường cong “ $Q_0 \sim y_0$ ”. Đó là:

- Phương pháp Dawson (1980),
- Phương pháp Randolph (1981) và
- Phương pháp Murthy (1995).

Sau khi đường cong “ $Q_0 \sim y_0$ ” được xấp xỉ bởi đường thẳng “ $Q_0 \sim y_0$ ” trong khoảng $[0, y_{0,gh}]$ đối với cọc dài – mềm, biểu thức (G.9) [8] có dạng:

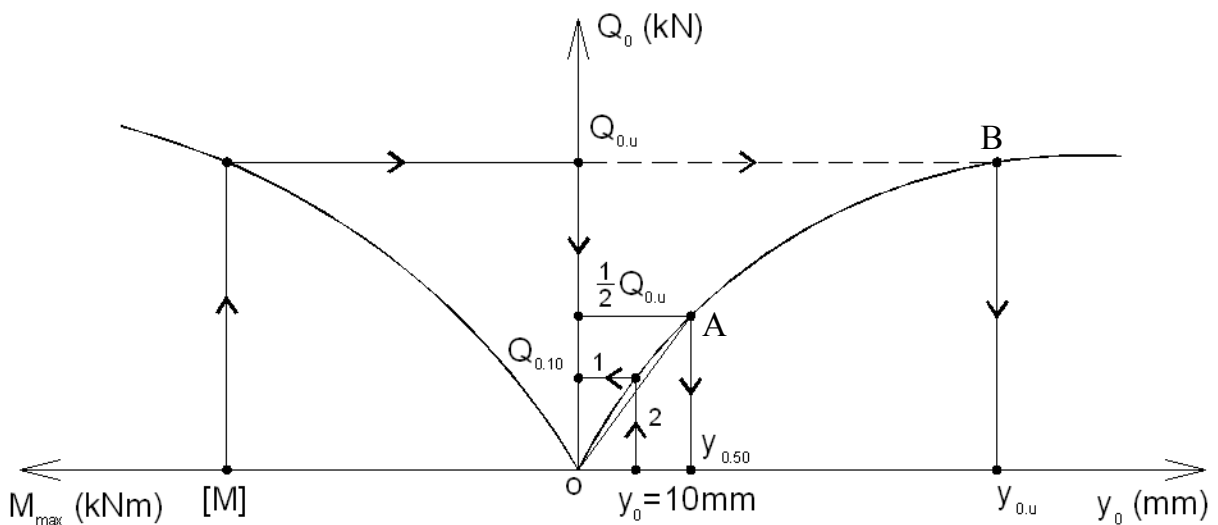
$$y_0 = \frac{2,431}{\alpha^3 EI} Q_0 \quad (4)$$

$$\alpha = \left(\frac{kD_{tt}}{EI} \right)^{0,2} \quad (5)$$

Hai phương trình này cho phép ta tìm được k.

4. Chuyển vị nằm ngang giới hạn, $y_{0,gh}$ là một đại lượng rất quan trọng khi xác định giá trị hệ số tỷ lệ. Khác với một số tiêu chuẩn thiết kế: $y_{0,gh}$ được quy định trước (ví dụ ở TCXD 205:1998, $y_{0,gh} = 10\text{mm}$). Ở đây $y_{0,gh}$ xuất phát từ điều kiện bền chịu uốn của cọc như mô tả trên sơ đồ hình 1. Giá trị $y_{0,gh}$ được chọn ứng với 50% của $Q_{0,u}$ là mức an toàn có thể chấp nhận trong thực tế thiết kế được kí hiệu $y_{0,50}$.

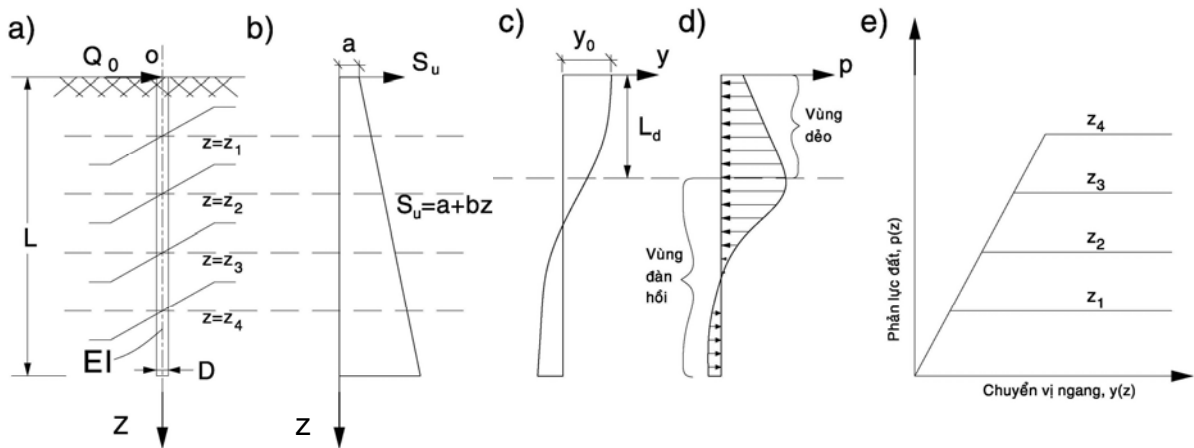
Dựa trên phương pháp luận như vậy, ta có thể đề xuất ba cách cụ thể để tìm giá trị hệ số tỷ lệ như sẽ trình bày sau đây.



Hình 1: Sơ đồ xác định chuyển vị nằm ngang giới hạn.

2.2 **Cách thứ nhất:** dựa trên đường cong “ $Q_0 \sim y_0$ ” của phương pháp Dawson (1980).

1. Nội dung tóm tắt lời giải của Dawson [2].
 - a. Đường cong p-y có dạng đơn giản: đa tuyến tính theo điều kiện ứng suất-biến dạng của vật liệu đàn hồi-dẻo lý tưởng với hai tham số đặc trưng ký hiệu N và k (H.2e).
 - b. Dưới tác dụng của lực ngang đủ lớn, cọc sẽ chuyển vị và trong toàn bộ tầng đất mà cọc đóng qua sẽ hình thành hai vùng phân biệt: vùng phía trên là vùng dẻo còn vùng còn lại phía dưới – vùng đàn hồi (H.2d).
 - c. Chuyển vị - nội lực trong cọc, lúc này được xác định bởi lời giải giải tích của phương trình vi phân uốn cọc bậc 4 với việc quan trọng đầu tiên là đánh giá chiều sâu vùng dẻo L_d .



Hình 2: Sơ đồ tính toán cọc chịu lực ngang của Dawson.

- a) Sơ đồ cọc, b) Biểu đồ sức chống cắt không thoát nước, c) Biểu đồ chuyển vị ngang, d) Biểu đồ phản lực đất, e) Đường cong p-y.

2. Trình tự tính toán

Các công thức tính cụ thể ở đây lấy từ [10].

Bước 1: Tính giá trị một số đại lượng:

- Các hệ số của phản lực đất trong vùng dẻo P_1 và P_2 .
- Hệ số biến dạng β .

Bước 2: Tìm giá trị lực ngang giới hạn $Q_{0,u}$ từ điều kiện momen uốn lớn nhất trong M_{\max} bằng momen khả năng chịu lực của cọc $[M]$. Với cọc thép momen khả năng chịu lực $[M]$ có thể là momen giới hạn chảy hoặc giới hạn dẻo; còn đối với cọc bê tông cốt thép, nên chọn là momen khả năng chống nứt của tiết diện cọc.

Cách tìm momen uốn lớn nhất trong cọc, đơn giản như sau: M_{\max} xuất hiện trong vùng dẻo, do vậy vị trí xảy ra mô men này Z_M được xác định dễ dàng từ điều kiện lực cắt cọc trong vùng dẻo bằng không:

$$\frac{1}{2}P_2Z^2 + P_1Z - Q_0 = 0 \quad (6)$$

Giải phương trình bậc hai này, được Z_M và giá trị momen uốn lớn nhất M_{\max} sẽ bằng:

$$M_{\max} = Q_0Z_M - \frac{1}{2}P_1Z_M^2 - \frac{1}{6}P_2Z_M^3 \quad (7)$$

Ứng với $Q_{0,u}$ ta có $y_{0,u}$.

Bước 3: Cho các giá trị lực ngang Q_0 tăng dần từ 0 đến Q_0 ứng với mỗi giá trị ta tính được chuyển vị ngang đầu cọc. Kết quả là xây dựng được đường cong quan hệ $Q_0 \sim y_0$ tại đầu cọc O1AB (xem hình 1)

Bước 4: Quy định giá trị lực ngang giới hạn tính toán Q_0 . Dựa trên kinh nghiệm thiết kế móng cọc của nhiều nước, chúng tôi đề nghị dùng giá trị sau:

$$Q_0 = \frac{1}{2}Q_{0,u} \quad (8)$$

Sau khi có giá trị lực ngang giới hạn ta xác định được chuyển vị ngang đầu cọc tương ứng $y_{0,50}$.

Bước 5: Tìm giá trị hệ số tỷ lệ k_1 :

Trong phạm vi $\frac{1}{2}Q_{0,u}$ và y_0 , quan hệ $Q_0 \sim y_0$ phi tuyến theo đường O1A được xấp xỉ bằng đoạn thẳng O2A giống như sơ đồ nguyên tắc thí nghiệm cọc chịu lực ngang để xác định hệ số tỷ lệ k_1 .

Lúc này ta có thể dùng công thức (4) và (5) để tính giá trị hệ số tỷ lệ.

Bước 6: Kiểm tra điều kiện sử dụng giá trị k_1 :

Chiều dày lớp đất yếu H_{dy} phải thỏa mãn điều kiện:

$$H_{dy} \geq L_d + \frac{3}{\beta} \quad (9)$$

Ở đây H_{dy} = chiều dày lớp đất yếu (m)

L_d = chiều sâu vùng dẻo (m)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad (10)$$

Ghi chú:

- a. Có thể chọn dùng một phương pháp tính cọc chịu lực ngang đàn hồi – dẻo khác thay cho Dawson, miễn là chính xác, tiện dụng và thích hợp.
- b. Dựa vào đường cong “ $Q_0 \sim y_0$ ” thu được bằng cách nêu trên, nếu ấn định $y_{0,gh} = 10\text{mm}$ ta sẽ tìm được giá trị hệ số tỷ lệ kí hiệu $k_{1,10}$ giống như phụ lục G, TCXD 205:1998 (xem hình 1).

2.3 **Cách thứ hai:** đồng nhất các giá trị chuyển vị nằm ngang của đầu cọc giữa lời giải của Randolph với TCXD 205:1998.

1. Nội dung tóm tắt lời giải của Randolph (1981).

- a. Xét một cọc chịu lực ngang, không có chiều cao tự do, chiều dài trong đất L với tham số chịu uốn đặc trưng: Modun Young có hiệu của cọc E_p :

$$E_p = \frac{EI}{\frac{\pi r_0^4}{4}} \quad (11)$$

$$r_0 = \frac{1}{2} D \quad (12)$$

- b. Nền đất là bán không gian đàn hồi được đặc trưng bởi modun trượt trung bình G_c tính trên toàn bộ chiều dài tới hạn l_c của cọc. Nếu $l_c < L$ thì cọc là loại dài – mềm. Quan hệ giữa l_c và G_c như sau:

$$l_c = 2r_0 \left(\frac{E_p}{G_c} \right)^{\frac{2}{7}} \quad (13)$$

Randolph còn đưa vào hệ số đồng nhất ρ_c để xét mức độ biến đổi độ cứng của nền theo độ sâu

$$\rho_c = \frac{G_c(z = \frac{1}{4} l_c)}{G_c} \quad (14)$$

- c. Ứng dụng phương pháp phân tử hữu hạn kết hợp với phương pháp nghiên cứu tham số để giải bài toán cọc chịu lực ngang. Sau khi xử lý một khối lượng lớn kết quả tính toán, tác giả cho công thức chuyển vị tại mặt đất theo các lực ngang và các tham số đặc trưng vừa nêu với dạng quen thuộc như sau:

$$y_0 = f_{QQ}Q_0 + f_{QM}M_0 \quad (15)$$

$$\varphi_0 = f_{MQ}Q_0 + f_{MM}M_0 \quad (16)$$

$$f_{QQ} = 0,27 \frac{\left(\frac{E_p}{G_c}\right)^{1/7}}{\rho_c G_c} \left(\frac{1}{2}l_c\right)^{-1} \quad (17)$$

$$f_{QM} = f_{MQ} = 0,3 \frac{\left(\frac{E_p}{G_c}\right)^{1/7}}{\rho_c G_c} \left(\frac{1}{2}l_c\right)^{-2} \quad (18)$$

$$f_{MM} = 0,8 \frac{\left(\frac{E_p}{G_c}\right)^{1/7}}{\rho_c G_c} \left(\frac{1}{2}l_c\right)^{-3} \quad (19)$$

2. Trình tự tính toán:

Bước 1: Tính modun Young có hiệu của cọc E_p .

Bước 2: Xác định đồng thời chiều dài tới hạn của cọc l_c và modun trượt trung bình G_c trên chiều dài ấy dựa vào đẳng thức (13) bằng phương pháp lặp đơn.

Bước 3: Tìm hệ số đồng nhất của nền đất ρ_c .

Bước 4: Tính giá trị hệ số biến dạng α thu được nhờ đồng nhất (4) với (15):

$$\alpha = 1,65 \sqrt[3]{\frac{\rho_c G_c l_c}{EI \left(\frac{E_p}{G_c}\right)^{2/7}}} \quad (20)$$

Bước 5: Đặt α vừa tìm được theo (20) vào vế trái của (5) để nhận được giá trị của hệ số tỷ lệ, kí hiệu k_2 .

Bước 6: Kiểm tra điều kiện đúng của k_2 :

$$\left. \begin{array}{l} H_{dy} < l_c \\ y_{0,gh} = 0,1r_0 \end{array} \right\} \quad (21)$$

Ghi chú:

a. Đối với đất sét yếu, mô đun trượt có thể lấy bằng:

$$G_s = (50 \div 80)S_u \quad (22)$$

b. Hệ số Poisson trong điều kiện không thoát nước $\mu_s = 0,5$.

- c. Nếu ấn định $y_{0,gh} = 10\text{mm}$ còn hệ số tỷ lệ tương ứng, kí hiệu $k_{2,10}$ thì theo (20), ta luôn có: $k_2 = k_{2,10}$

2.4 **Cách thứ ba:** Ứng dụng phương pháp trực tiếp của Murthy (1995):

1. Nội dung tóm tắt lời giải của Murthy (1995)

- a. Xét một cọc dài mềm chịu vừa lực ngang Q vừa momen M , có thể nhờ công thức (37) trong [11] để quy đổi về trường hợp cọc chịu một lực ngang tương đương tại mặt đất Q_{0e} bằng:

$$Q_{0e} = Q(1 + 0,167\alpha e) \quad (23)$$

$$e = \frac{M}{Q} \quad (24)$$

Khi đó, công thức tính chuyển vị ngang (37) trở thành:

$$y_0 = \frac{2,43}{\alpha^3 EI} Q_{0e} \quad (25)$$

- b. Dựa trên phân tích thứ nguyên, tác giả thiết lập nên hai nhóm không thứ nguyên đối với cọc trong đất sét là F_n và F_p :

$$F_n = \frac{(kD_{tt})\sqrt{Q_{0e}}(1 + e/D)^{1,5}}{S_u^{1,5}} \quad (26)$$

$$F_p = \frac{\sqrt{EI\gamma D}}{Q_{0e}} \quad (27)$$

- c. Xử lý thống kê rất nhiều số liệu thí nghiệm cọc chịu lực ngang tại hiện trường trong đất sét, tác giả đã thu được quan hệ:

$$F_n = 125F_p \quad (28)$$

- d. Từ đó rút ra công thức trực tiếp tính hệ số tỷ lệ sau đây:

$$(kD_{tt}) = \frac{125S_u^{1,5}\sqrt{EI\gamma D}/(1 + e/D)^{1,5}}{Q_{0e}^{1,5}} \quad (29)$$

2. Trình tự tính toán:

Ngoài phương pháp luận đã nêu, khi ứng dụng phương pháp Murthy vào việc tính toán hệ số tỷ lệ, ký hiệu k_3 , ta còn phải mượn lời giải của Randolph để xác định chiều dài tới hạn l_c .

Bước 1: Giống bước 1 và bước 2 của cách thứ hai

Bước 2: Từ (3), tìm sức chống cắt không thoát nước trung bình của đất sét yếu trên toàn chiều dài tới hạn l_c

$$\bar{S}_u = a + b \times \frac{l_c}{2} \quad (30)$$

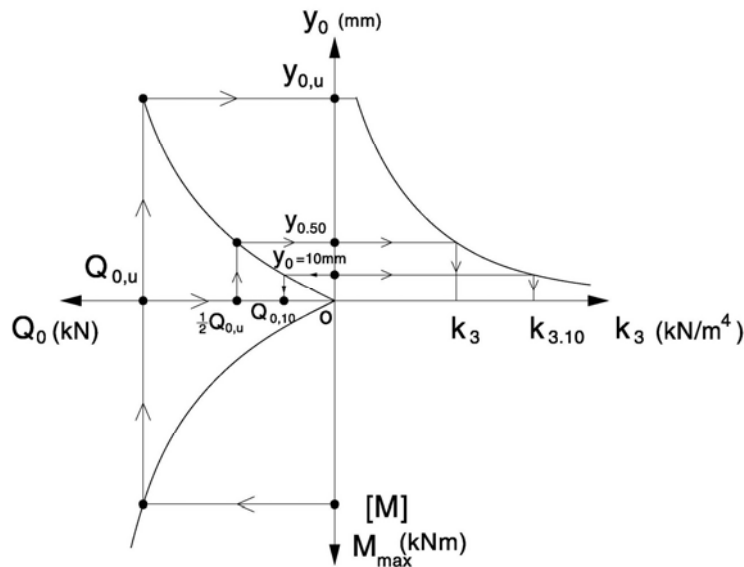
Bước 3: Trong trường hợp này (29) có dạng đơn giản:

$$k_3 = \frac{125\bar{S}_u^{1,5} \sqrt{EI\gamma D}}{D_{tt} Q_0^{1,5}} \quad (31)$$

Cho một giá trị Q_0 , nhờ (31) tính được k_3 , rồi dùng (5) tìm được α . Tiếp theo, chuyển vị ngang y_0 xác định từ (4) còn giá trị momen max M_{\max} được tính nhờ (39) trong [11] ở dạng đơn giản:

$$M_{\max} = \frac{0,77}{\alpha} Q_0 \quad (32)$$

Ứng với một bộ giá trị Q_0 cho trước, bằng tính toán, ta thu được một bộ số liệu gồm (k_3 , y_0 , M_{\max}) và vẽ nên đồ thị hình 3.



Hình 3: Sơ đồ tính hệ số tỷ lệ của hệ số nền theo phương pháp Murthy

Bước 4: Áp momen khả năng chịu lực của cọc $[M]$ vào trục tung, theo hướng mũi tên chỉ trên hình 3 ta xác định được các lực ngang $Q_{0,u}$ và $\frac{1}{2} Q_{0,u}$ rồi tìm được đồng thời $y_{0,50}$ cũng như giá trị hệ số tỷ lệ k_3 .

Ghi chú:

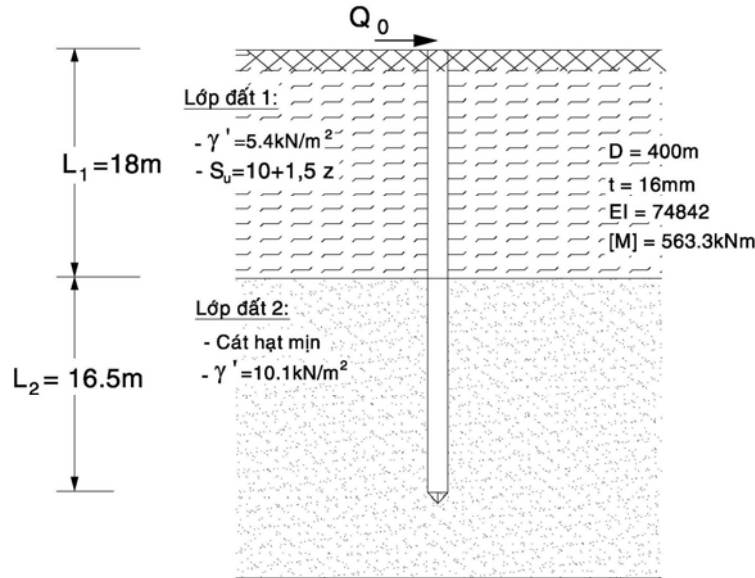
- Nếu ấn định $y_{0,gh} = 10\text{mm}$ ta sẽ tìm được giá trị hệ số tỷ lệ, ký hiệu $k_{3,10}$ như phụ lục G, TCXD 205: 1998.

- b. Cũng giống như ở cách thứ nhất, có thể không nhất thiết phải xây dựng đồ thị hình 3 mà chỉ cần một số phép tính tìm các lực ngang giới hạn. Điều này sẽ được làm sáng tỏ qua ví dụ minh họa.

3. Ví dụ:

- 3.1 Số liệu cho trước: cọc ống thép $D = 400$ đóng trong nền đất 2 lớp với lớp đất sét yếu dày 18m trên mặt (xem hình 4).

Yêu cầu xác định giá trị hệ số tỷ lệ k theo 3 cách như trên.



Hình 4: Sơ đồ cọc cùng với số liệu địa chất

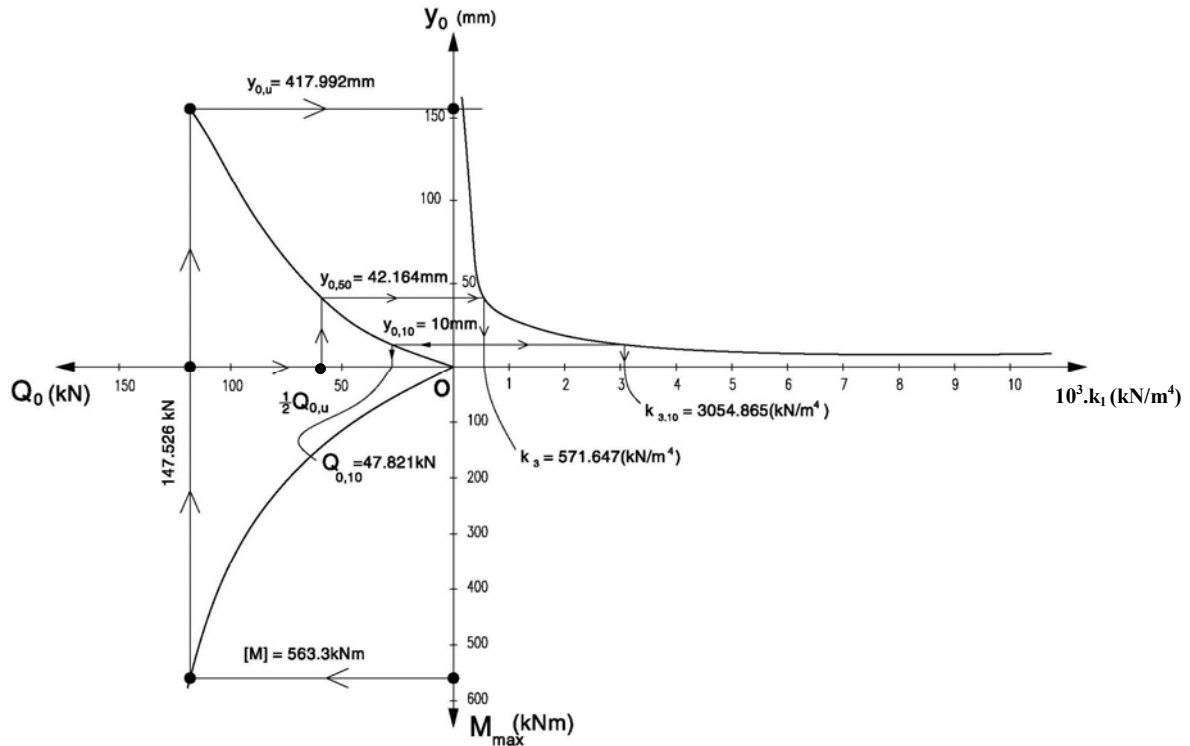
- 3.2 Cách thứ nhất:

- Kết quả tính toán của ba bước đầu tiên là bộ số liệu Q_0 , y_0 và M_{\max} cho ở bảng 1 vẽ nên đồ thị hình 5.

Từ đây xác định được $Q_{0,u} = 147,526$ kN và $Q_0 = \frac{1}{2} Q_{0,u} = 73,763$ kN.

Bảng 1: Chuyển vị nội lực của cọc theo phương pháp Dawson.

STT	Q_0 (kN)	y_0 (mm)	M_{\max} (kNm)	k_1 (kNm ⁴)	STT	Q_0 (kN)	y_0 (mm)	M_{\max} (kNm)	k_1 (kNm ⁴)
1	0	0	0	-	9	80	55.425	184.508	414.756
2	10	0.224	3.406	126398.0	10	90	82.267	229.305	261.324
3	20	0.681	13.223	62896.1	11	100	116.868	278.238	173.511
4	30	2.112	28.953	18744.1	12	110	160.233	331.164	120.195
5	40	5.342	50.198	6447.81	13	120	213.358	387.953	86.2916
6	50	11.298	76.631	2683.9	14	130	277.225	448.489	63.6801
7	60	20.958	107.979	1298.64	15	140	352.806	512.663	48.2105
8	73.763	42.164	158.732	571.647	16	147.526	417.992	563.301	39.657



Hình 5: Đồ thị chuyển vị – nội lực của cọc theo phương pháp Dawson (1980)

2. Thực hiện bước 4:

a. Chiều sâu vùng dẻo L_d :

$$0,3173L_d^3 + 7,7705L_d^2 - 44,4187L_d - 84,4262 = 0$$

$$L_d = 6,0606\text{m}$$

b. Nội lực tại ranh giới vùng dẻo – vùng đàn hồi:

$$Q^* = 51,415\text{kN} \text{ và } M^* = 107,234\text{kNm}.$$

c. Giá trị hằng số tích phân $C_2 = 3155,6166\text{kNm}^3$.

d. Chuyển vị ngang giới hạn tại mặt đất.

$$y_{0,50} = 42,164\text{mm}$$

3. Tìm hệ số biến dạng từ (4):

$$\alpha = \left(\frac{2,431}{EI} \times \frac{Q_0}{y_{0,gh}} \right)^{1/3} = 0,3845\text{m}^{-1}$$

Còn giá trị hệ số tỷ lệ suy ra từ (5):

$$k_1 = \frac{\alpha^5 EI}{D_{tt}} = 571,647\text{kN/m}^4$$

4. Bước 5: Kiểm tra điều kiện (9):

$$L_d + \frac{3}{\beta} = 13,863\text{m} < H_{dy} = 18\text{m}$$

Ghi chú: Nếu ấn định $y_{0,u} = 10\text{mm}$ thì ta sẽ tìm được lực ngang tương ứng $Q_{0,10} = 47,821\text{kN}$. Giá trị hệ số tỷ lệ:

$$k_{1,10} = 3054,865\text{kN/m}^4$$

3.3 Cách thứ hai:

- Bước 1: Modun đàn hồi có hiệu của cọc $E_p = 59557371,3\text{kN/m}^2$
- Bước 2: Chọn dùng $G_s = 50S_u$.
Sau 11 vòng lặp, xác định được đồng thời $l_c = 8,89969 \approx 8,9\text{m}$ và $G_c = 1146,3905\text{kN/m}^2$
- Bước 3: Giá trị của hệ số đồng nhất $\rho_c = 0,7999$.
- Bước 4: Giá trị của hệ số biến dạng được xác định theo (20) $\alpha = 0,4704\text{m}^{-1}$
- Bước 5: Nhờ (5) ta tìm được giá trị hệ số tỷ lệ $k_2 = 1567,023\text{kN/m}^4$
- Bước 6: Kiểm tra điều kiện (21)

$$l_c = 8,9\text{m} < H_{đy} = 18\text{m}$$

Chuyển vị ngang giới hạn: $y_{o,gh} = 35\text{mm}$.

3.4 Cách thứ 3:

- Gộp bước 1 và bước 2: với kết quả của cách hai: $l_c = 8,9\text{m}$ theo (30):

$$\bar{S}_u = 16,675\text{kN/m}^2$$

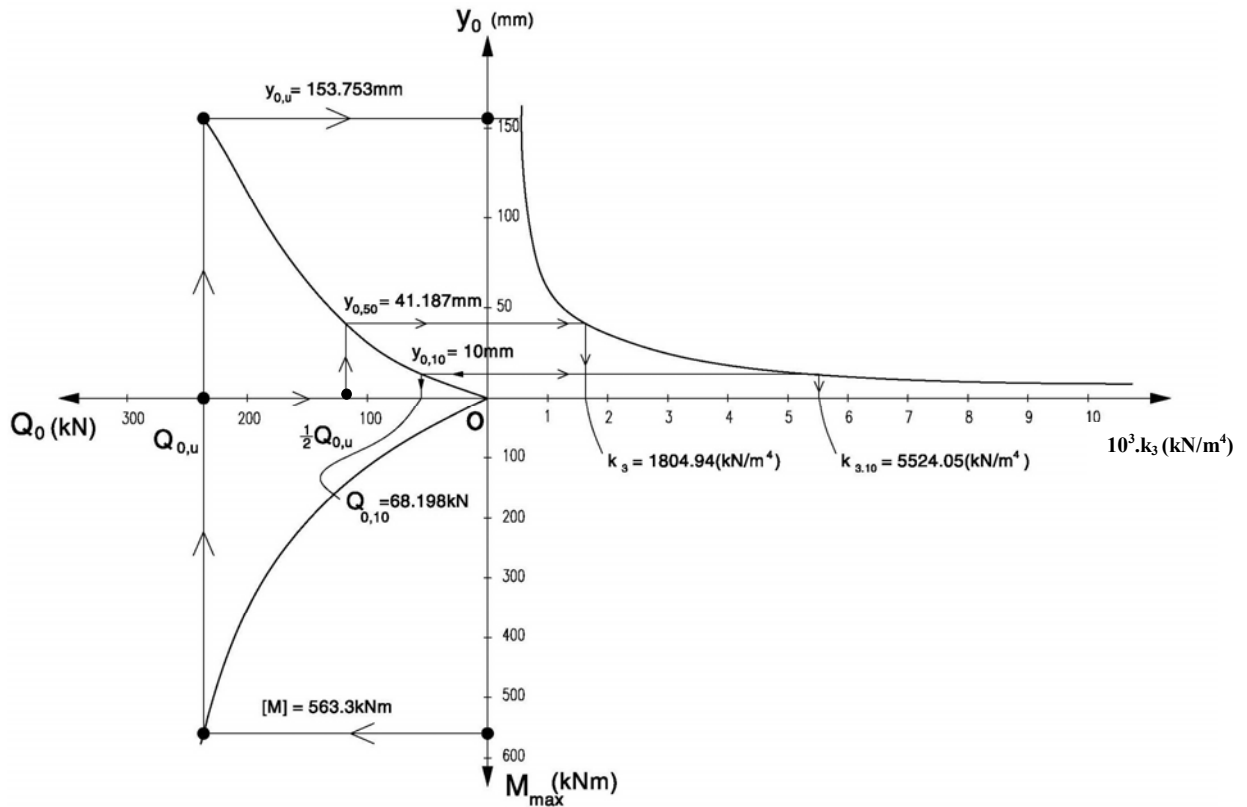
- Bước 3: Công thức (31) có dạng:

$$k_3 = \frac{3,111 \times 10^6}{Q_0^{1,5}}$$

Kết quả tính toán ở bước này cho ta bộ số liệu Q_0 , y_0 , M_{\max} và k_3 ghi ở bảng 2 và vẽ nên đồ thị hình 6.

Bảng 2: Chuyển vị-nội lực của cọc theo phương pháp Murthy

STT	Q_0 (kN)	y_0 (mm)	M_{\max} (kNm)	k_3 (kN/m ⁴)	STT	Q_0 (kN)	y_0 (mm)	M_{\max} (kNm)	k_3 (kN/m ⁴)
1	0	0	0	-	9	140	39.175	221.016	1878.12
2	10	0.26	7.153	98382	10	143.759	41.197	228.762	1804.94
3	20	0.971	17.612	34783.3	11	160	50.488	262.914	1537.22
4	30	2.098	29.834	18933.6	12	180	63.151	306.417	1288.27
5	50	5.539	57.959	8799.55	13	220	92.463	397.748	953.413
6	70	10.497	89.761	5312.12	14	250	117.883	469.656	787.055
7	100	20.671	142.711	3111.11	15	280	146.206	544.206	664.015
8	120	29.229	180.881	2366.7	16	287.517	153.753	563.3	638.146



Hình 6: Đồ thị chuyển vị-nội lực của cọc theo phương pháp Murthy (1995)

3. Bước 4: Áp điều kiện $M_{\max} = [M]$ trên đồ thị hình 6, theo hướng mũi tên ta tìm được $k_3 = 1804,94 \text{ kN/m}^4$.

Ghi chú thứ nhất: Có thể xác định nhanh hệ số tỷ lệ của hệ số nền như sau đây.

Bước 1: Thử và sai để tìm lực ngang giới hạn $Q_{0,u}$

- a. Thực hiện tính toán với hai giá trị lực ngang gần lực ngang giới hạn (bảng 3).

Bảng 3:

	$Q_0 = 280 \text{ kN}$	$Q_0 = 290 \text{ kN}$
$k \text{ (kN/m}^4\text{)}$	664.015	629.968
$\alpha \text{ (m}^{-1}\text{)}$	0.396173	0.392024
$M_{\max} \text{ (kNm)}$	544.206	569.607

- b. Tìm lực ngang giới hạn:

$$Q_{0,u} = 280 + (290 - 280) \frac{563,3 - 544,206}{569,607 - 544,206} = 287,517 \text{ kN}$$

Bước 2: Một nửa giá trị lực ngang giới hạn:

$$Q_0 = \frac{1}{2} Q_{0,u} = 143,759 \text{ kN}$$

Bước 3: Tính hệ số tỷ lệ và các đại lượng tính toán khác:

$$k_3 = 1804,94 \text{ (kN/m}^4\text{)}$$

$$\alpha = 0,483885 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$y_{0,50} = 41,197 \text{ mm}$$

Ghi chú thứ 2: Ta cũng có thể tìm giá trị hệ số tỷ lệ ứng với $y_{0,gh} = 10 \text{ mm}$ bằng phương pháp Murthy, kí hiệu $k_{3,10}$.

Từ bảng 2, ta nhận thấy với $Q_0 = 70 \text{ kN}$ thì $y_0 = 10,497 \text{ mm} > 10 \text{ mm}$. Vậy cần phải tính bổ sung với một lực ngang nhỏ hơn, ví dụ chọn $Q_0 = 65 \text{ kN}$ và thu được chuyển vị ngang tương ứng $y_0 = 9,118 \text{ mm}$. Khi đó lực ngang ứng với chuyển vị giới hạn $y_{0,gh} = 10 \text{ mm}$ sẽ bằng:

$$Q_{0,10} = 65 + (70 - 65) \frac{(10 - 9,118)}{(10,497 - 9,118)} = 68,198 \text{ kN}$$

Nhờ (31) ta có:

$$k_{3,10} = k_3 = 5524,05 \text{ kN/m}^4$$

3.5 Hệ số tỷ lệ đối với cọc đơn chịu lực ngang:

1. Tính thêm giá trị các hệ số tỷ lệ:

Điều kiện đất nền:

A: giống như đã cho trong hình 4

$$B: \begin{cases} S_u = 5,2 + 1,7z \text{ (kPa)} \\ \gamma' = 5,3 \text{ (kN/m}^3\text{)} \end{cases}$$

Điều kiện cọc chịu lực ngang:

Kích thước tiết diện ngang 400 và 600 mm.

Vật liệu cọc: bê tông cốt thép và thép.

Sử dụng ba cách tính kiến nghị trên đây để có thêm giá trị hệ số tỷ lệ trong các điều kiện khác nhau và ghi vào bảng 4.

Bảng 4: Giá trị hệ số tỷ lệ thu được bằng ba cách tính toán kiến nghị

Điều kiện đất		A $\begin{cases} S_u = 10 + 1,5z \text{ (kPa)} \\ \gamma' = 5,4 \text{ (kN/m}^3) \end{cases}$					B $\begin{cases} S_u = 5,2 + 1,7z \text{ (kPa)} \\ \gamma' = 5,3 \text{ (kN/m}^3) \end{cases}$				
Phương pháp tính		Dawson		Randolph	Murthy		Dawson		Randolph	Murthy	
Hệ số tỷ lệ k (kN / m ⁴)		k ₁			k ₃		k ₁			k ₃	
Chuyển vị ngang y _{o,u} (mm)		y _{o,u}	k _{1,10}	k ₂ = k _{2,10}	y _{o,u}	k _{3,10}	y _{o,u}	k _{1,10}	k ₂ = k _{2,10}	y _{o,u}	k _{3,10}
Chuyển vị ngang y _{o,50} (mm)		y _{o,50}			y _{o,50}		y _{o,50}			y _{o,50}	
D400	Cọc tiết diện vuông, bê tông cốt thép, [M]=110kNm	15715	3210	1830	10247	5462	5481	1851	1032	7728	4498
		26.075	10		16.797	10	33.71	10		18.804	10
		2.559			4.501		3.869			5.038	
D400	Cọc ống bê tông cốt thép ứng suất trước [M]=82,3kNm.	18747	3564	2004	9964	5425	6305	2004	1101	7344	4394
		25.21	10		17.255	10	33.29	10		19.474	10
		2.418			4.623		3.709			5.216	
D400	Cọc ống thép [M]=563,3kNm	572	3055	1567	1805	5524	236	1750	897	1383	4578
		417.992	10		153.753		485.67	10		171.058	10
		42.164			41.187		60.874			45.8	
D600	Cọc ống bê tông cốt thép ứng suất trước [M]=243kNm	12714	3300	1213	7949	4878	4834	1972	722	6225	4127
		28.97	10		20.097	10	36.321	10		22.159	10
		3.073			5.385		4.468			5.937	
D600	Cọc ống thép [M]=1272kNm	644	3006	1040	1666	4857	290	1833	637	1150	4283
		356.15	10		148.74	10	403.664	10		162.05	10
		37.992			39.854		52.925			52.869	

2. Bình luận và nhận xét ban đầu:

- a. Giá trị hệ số tỷ lệ thu được bằng tính toán đã phản ánh tương đối đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng như:
- Loại cọc: bê tông cốt thép, thép;
 - Kích thước cọc;
 - Khả năng chịu uốn của cọc;
 - Các tính chất vật lý - cơ học của đất sét yếu, đặc biệt là sức chống cắt không thoát nước;
 - Phương pháp tính cọc chịu lực ngang được chọn dùng;
 - Cách xác định hệ số tỷ lệ, nghĩa là cách chọn giá trị giới hạn của lực ngang và chuyển vị ngang tại đầu cọc.

- b. Cũng chính vì thế mà giá trị hệ số tỷ lệ trong bảng 4 không giống nhau ngay cả trong cùng một điều kiện xuất phát. Vậy chúng ta đánh giá độ chính xác của kết quả thu được như thế nào? Để trả lời câu hỏi này, xin dẫn ra hai cứ liệu sau:

- Thứ nhất: trong [6], bảng 5-6, trang 75 có khuyến nghị giá trị hệ số k (kN/m^3) khi hệ số nền tăng tuyến tính theo chiều sâu theo sức chống cắt không thoát nước S_u của đất sét (trường hợp tải ngang tĩnh) như sau:

$$S_u = 12 - 24 \text{ (kN}/\text{m}^2\text{) (sét yếu), thì}$$

$$k = 7854 \text{ (kN}/\text{m}^3\text{)}$$

Nhiều giá trị hệ số tỷ lệ tính k_1 , k_3 trong bảng 4 rất gần khuyến nghị này.

- Thứ hai: Elson [5] cũng như Zavriev [7] đã chỉ ra rằng, đối với cọc chịu lực ngang, sự sai khác giá trị k có thể dẫn đến sai khác đáng kể về chuyển vị nhưng nội lực trong cọc (mô men uốn) lại sai khác không nhiều. Như thế, ngay cả khi giá trị k thu được với mức độ chính xác không cao cũng chỉ gây ra sai số không lớn đối với mô men uốn trong cọc.

Với quan niệm về độ chính xác như vậy thì kết quả tính toán hệ số tỷ lệ theo ba cách kiến nghị là có thể chấp nhận được.

- c. Từ số liệu bảng 4 có thể phân ra hai loại hệ số tỷ lệ xuất phát từ cách quy định chuyển vị nằm ngang giới hạn tại đầu cọc và xếp chúng vào bảng 5 và bảng 6.

Bảng 5: Hệ số tỷ lệ được xác định từ $y_{0.50}$

Điều kiện đất	A				B			
Loại cọc	Cọc bê tông		Cọc thép		Cọc bê tông		Cọc thép	
Hệ số tỷ lệ	k_1	k_3	k_1	k_3	k_1	k_3	k_1	k_3
k_{\max}	18474 (19%)	10247 (9%)	644 (6%)	1805 (4%)	6305 (14%)	7728 (9%)	290 (10%)	1383 (9%)
$k_{\text{trb.}}$	15725	9387	608	1736	5534	7099	263	1267
k_{\min}	12714 (19%)	7949 (15%)	572 (6%)	1666 (4%)	4834 (13%)	6225 (12%)	236 (10%)	1150 (9%)
k_{\max} / k_{\min}	1,453	1,289	1,126	1,083	1,304	1,241	1,229	1,203

Một số nhận xét từ bảng 5:

- Hệ số tỷ lệ k_1 và k_3 dường như không nhạy với kích thước tiết diện ngang mà phụ thuộc vào:
 - Phương pháp tính cọc chịu lực ngang,
 - Điều kiện đất nền,
 - Loại cọc về vật liệu.
- Trong cùng một điều kiện đất, cùng một cách tính hệ số tỷ lệ tính được sai khác nhau rất ít so với giá trị trung bình; đặc biệt là tỷ số giữa k_{\max} với k_{\min} (ở dòng cuối bảng) khá nhỏ.
- Đối với các cọc làm bằng vật liệu bê tông cốt thép, $y_{0.50}$ quá nhỏ và đều nhỏ hơn 10mm, vì mô men khả năng chịu lực không lớn. Trái lại, các cọc ống thép với momen khả năng chịu lực rất lớn nên $y_{0.50} \gg 10 \text{ mm}$. Hệ số tỷ lệ k_1, k_3 thích hợp với loại cọc này.

Bảng 6: Hệ số tỷ lệ được xác định từ $y_{0.gh} = 10 \text{ mm}$

Điều kiện đất	A			B		
Hệ số tỷ lệ	$k_{1.10}$	k_2	$k_{3.10}$	$k_{1.10}$	k_2	$k_{3.10}$
k_{\max}	3564 (10%)	2004 (31%)	5524 (6%)	2004 (6%)	1107 (27%)	4575 (5%)
$k_{\text{trb.}}$	3227	1531	5229	1882	878	4376
k_{\min}	3006 (7%)	1040 (32%)	4857 (7%)	1750 (7%)	637 (27%)	4127 (6%)
k_{\max} / k_{\min}	1.186	1.927	1.137	1.145	1.645	1.109

Một số nhận xét từ bảng 6:

- Hệ số tỷ lệ $k_{1.10}$, k_2 và $k_{3.10}$ được xác định từ chuyển vị ngang giới hạn, giống như hệ số tỷ lệ k ở bảng G1, phụ lục G, TCXD 205:1998 bằng 10mm [8]. Giá trị của các hệ số tỷ lệ này dường như không nhạy với kích thước tiết diện ngang cọc, vật liệu làm cọc mà chỉ phụ thuộc vào điều kiện đất và phương pháp tính cọc chịu lực ngang. Điều này giải thích vì sao hệ số tỷ lệ k cho trong bảng G1 chỉ phụ thuộc vào điều kiện đất.
- Trong cùng một điều kiện đất, cùng một cách tính thì hệ số tỷ lệ tính được sai khác nhau rất ít (trừ k_2) so với giá trị trung bình và đặc biệt là tỷ số giữa k_{\max} với k_{\min} (ở dòng cuối bảng) rất nhỏ.
- Cách xác định hệ số tỷ lệ này tương đối hợp lý với cọc bằng vật liệu bê tông cốt thép và cả đối với thép nữa nếu chuyển vị cho phép của công trình nhỏ.

4. Kết luận

4.1 Xuất phát từ quan điểm cho rằng đối với đất sét yếu, hệ số tỷ lệ của hệ số nền cần được đánh giá dựa vào sức chống cắt không thoát nước S_u sẽ là hợp lý hơn so với dùng chỉ số sệt I_L , bài viết đã kiến nghị ba cách tính khác nhau để xác định giá trị của hệ số này. Hệ số tỷ lệ thu được bằng tính toán như thế đã phản ánh được nhiều yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự tương tác cọc-đất khi chịu lực ngang. Cách làm này cũng có thể áp dụng để tìm hệ số tỷ lệ cho các lớp đất cát xốp nếu dựa vào góc ma sát trong của chúng.

4.2 Như đã nói ở trên, nhiều nghiên cứu trước đây đã khẳng định hệ số tỷ lệ k có đặc tính là rất không nhạy đối với momen uốn trong một cọc chịu lực ngang còn các chuyển vị thì tỷ lệ thuận rất mạnh với nó.

Tuy nhiên, trong thực tế thiết kế, việc xác định đúng dẫn nội lực trong các bộ phận kết cấu là quan trọng hơn so với chuyển vị của chúng. Bởi vì sai sót trong việc xác định nội lực có thể dẫn đến sự cố công trình còn sai sót khi xác định chuyển vị, thông thường chỉ gây khó khăn cho điều kiện sử dụng.

Nhắc lại vấn đề này để thấy rằng với quan điểm như trên, chúng ta hoàn toàn có thể chấp nhận giá trị tính được của hệ số tỷ lệ để thiết kế sơ bộ của móng cọc trước khi có kết quả thí nghiệm cọc hiện trường.

4.3 Khi sử dụng hệ số tỷ lệ thu được từ tính toán vào việc thiết kế móng cọc có tầng sét yếu dày trên mặt nên xem xét một số khuyến nghị sau đây:

1. Nếu chuyển vị ngang cho phép của móng cọc tương đối lớn thì đối với các cọc thép nên sử dụng hệ số tỷ lệ xuất phát từ $y_{0.50}$, nghĩa là k_1 hoặc k_3 để tận dụng khả năng chịu uốn của vật liệu làm cọc.

2. Với chuyển vị ngang cho phép của móng cọc thường gặp trong thực tế thiết kế thì không phân biệt cọc làm bằng vật liệu nào sử dụng hệ số tỷ lệ được xác định xuất phát từ $y_{o,gh} = 10 \text{ mm}$, nghĩa là $k_{1.10}$, k_2 hay $k_{3.10}$ là hợp lý nhất. Khi đó, đối với các cọc bê tông cốt thép, các hệ số tỷ lệ này cho phép tận dụng khả năng chịu uốn của vật liệu làm cọc.
3. Ứng với một bài toán cọc chịu lực ngang cho trước ta có thể thu được nhiều hệ số tỷ lệ. Hệ số tỷ lệ thiết kế được chọn trong số đó theo nguyên tắc sao cho nội lực trong kết cấu là lớn nhất. Như thế, đối với cọc đơn chịu lực ngang thì hệ số tỷ lệ thiết kế là hệ số có giá trị nhỏ nhất. Việc chọn hệ số tỷ lệ thiết kế cho móng gồm nhiều cọc sẽ phức tạp hơn nhiều, xin được trình bày ở một bài viết khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Terzaghi:
Theoretical Soil Mechanics.
Join Wiley & Sons, Inc. 1943.
- [2] H. Dawson :
“Simplified Analysis of Offshore Piles Cyclic Lateral Loads”.
Ocean Engineering, 1980. Vol. 7, pp. 553-56.
- [3] M.F. Randolph (1981):
“The Responce of Flexible Piles to Lateral Loading”. Geotechnique 31, No. 2,
247-259”.
- [4] V.N.S. Murthy:
Geotechnical Engineering
Principles and Practices of Soil Mechanic and Foundation Engineering, 2002.
- [5] W.K. Elson:
Design of Laterally Loaded Piles
CIRIA Report 103, 2005.
- [6] ASCE:
Bearing Capacity of Soils, 1993.
- [7] K.X. Zavriev, G.X. Shpiro:
Tính toán móng sâu trụ cầu.
Nhà xuất bản “Vận tải”, Matxcova, 1970 (Tiếng Nga).
- [8] TCXD 205:1998 – Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [9] Phan Dũng:
“Cách vận dụng TCXD 205:1998 để dự báo sức chịu tải giới hạn của cọc chịu
lực dọc trục đóng thẳng đứng qua lớp sét yếu dày trên mặt”.
Tạp chí Biển & bờ, No. 11+12/2009, Hội cảng – Đường thủy – Thềm lục địa
Việt Nam, trang...
- [10] Phan Dũng
“Một số cải biến đối với phương pháp tính cọc chịu lực ngang của Dawson”.
Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải, No. 2/2007. Trường Đại học
Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí Minh, trang 69-85.
- [11] Phan Dũng
“Chuyên vị – nội lực của cọc chịu lực ngang theo TCXD 205:1998, mối liên
hệ giữa lời giải của URBAN với Matlock-Reese và các ứng dụng”.
Tạp chí Biển & Bờ, No. 5+6/2009, Hội cảng – Đường thủy – Thềm lục địa
Việt Nam, trang 38-58.