

PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY CỦA MÓNG CỌC TRÊN NỀN ĐẤT YẾU

RELIABILITY ANALYSIS OF PILE FOUNDATIONS ON SOFT GROUND

Đặng Công Thuật¹, Nguyễn Văn Lộc²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; dangcongthuat@dut.udn.vn

²BQL Các dự án XD CB huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long; nguyenloc17@gmail.com

Tóm tắt - Móng cọc là một trong những giải pháp móng được ứng dụng phổ biến khi xây dựng công trình quan trọng, vì vậy đánh giá độ tin cậy là một khía cạnh quan trọng trong thiết kế kết cấu. Dữ liệu đầu vào khi tính toán móng cọc như chỉ tiêu cơ lý đất nền, tải trọng tác dụng... sẽ là các biến ngẫu nhiên tuân theo một qui luật phân phối xác suất nhất định. Sự ngẫu nhiên này làm cho ứng xử đầu ra của kết cấu cũng ngẫu nhiên và đôi khi vượt quá giới hạn cho phép, dẫn đến phá hủy kết cấu móng. Bên cạnh đó, lực ma sát âm, một trong những yếu tố làm giảm sức chịu tải của cọc, sẽ được xem xét và so sánh với trường hợp không xét ảnh hưởng của thành phần này. Mục tiêu của bài báo là phân tích ảnh hưởng ngẫu nhiên của tính chất cơ lý của đất nền và ma sát âm đến độ tin cậy của móng cọc. Kết quả phân tích được minh họa bằng ví dụ số thông qua phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

Từ khóa - móng cọc; nền đất yếu; ma sát âm; độ tin cậy; mô phỏng Monte Carlo.

Abstract - Pile foundations are often used for important structures, and thus, reliability evaluation is an important aspect of the design of such structures. The design of pile foundations still involves many limitations and uncertainties, particularly when there is not enough investment in soil characterisation and pile load tests. Besides, negative skin friction is considered one of the problems in the design of piled foundations in soft soil. Ignoring the effect of negative skin friction in the design of piles leads to structural, and serviceability problems. The purpose of this paper is to examine the influence of geotechnical uncertainties and the negative skin friction on the reliability of pile foundations. Reliability analyses are conducted by means of Monte Carlo simulations.

Key words - Pile foundations; soft soil; negative skin friction; reliability; Monte Carlo simulations.

1. Đặt vấn đề

Móng cọc là một trong những giải pháp được ứng dụng phổ biến khi thiết kế móng cho các công trình xây dựng có tải trọng lớn [1], [3]. Tuy nhiên, các thiết kế trước đây cũng như hiện nay rất ít đề cập đến tương tác giữa cọc và đất nền, đặc biệt là nền đất yếu. Việc này đồng nghĩa với việc bỏ qua lực ma sát âm, một trong những yếu tố làm giảm sức chịu tải của cọc. Đó cũng là lý do có sự khác biệt trong tính toán sức chịu tải của cọc khi không xét và có xét đến ảnh hưởng của ma sát âm [4], [5]. Mặt khác, những dữ liệu đầu vào khi tính toán móng cọc như chỉ tiêu cơ lý đất nền, tải trọng tác dụng... sẽ không có giá trị tất định, mà dao động ngẫu nhiên quanh giá trị thiết kế ban đầu tuân theo một qui luật phân phối xác suất nhất định [6]. Sự dao động này làm cho ứng xử đầu ra của kết cấu cũng dao động và đôi khi vượt quá giới hạn cho phép, dẫn đến phá hủy kết cấu móng. Vì vậy, bài báo sẽ đề cập đến việc đánh giá độ tin cậy (xác suất phá hủy) của kết cấu móng xét đến ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm khi móng được xây dựng trên nền đất yếu.

2. Thiết kế móng cọc theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10304:2014 [7]

2.1. Quy trình thiết kế

Quy trình tính toán móng cọc thông thường trải qua các bước sau:

2.1.1. Sơ bộ chọn kích thước tiết diện cọc

a. Chọn chiều sâu chôn móng (h_m)

- Chọn chiều sâu chôn móng thỏa mãn điều kiện làm việc của móng cọc;

- Kiểm tra điều kiện móng làm việc là móng cọc áp dụng theo công thức:

$$h_{\min} = t_g(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \sqrt{\frac{2Q_n}{\gamma \cdot B_d}} \quad (1)$$

- Để đầu cọc không bị dịch chuyển và cọc không bị uốn, ta phải đặt cọc ở độ sâu sao cho đủ ngàm vào đất $h_m > h_{\min} \times 0,7$.

Trong đó:

φ : Góc ma sát trong của lớp đất đặt đài cọc;

Q_n : Tải trọng tính toán tác dụng vào móng;

γ : Dung trọng tự nhiên của lớp đất đặt đài;

B_d : Bề rộng đài cọc.

b. Chọn vật liệu và kích thước cọc

- Chọn mác bê tông (cấp độ bền);

- Diện tích cốt thép, theo quy phạm, hàm lượng cốt thép trong cọc khoan nhồi là (thỏa theo TCVN 10304:2014)

$$F_a = \frac{\pi x D^2}{4} x (0,4 \div 0,65) \% \quad (2)$$

2.1.2. Xác định sức chịu tải của cọc theo độ bền vật liệu làm cọc

Sức chịu tải tính toán của cọc theo điều kiện làm việc được xác định công thức (Theo TCXD 195:1997 [8])

$$P_{vt} = (R_n F_b + R_{an} F_a) \quad (3)$$

Trong đó:

$\Psi = 1$: Hệ số uốn dọc (cọc khoan nhồi không có uốn dọc);

R_n : Cường độ tính toán của bê tông cọc nhồi;

Đối với đồ bê tông cọc nhồi dưới mực nước trong dung dịch bùn bentonite ($R_n < 60 \text{ daN/cm}^2$).

R : Mác thiết kế của bê tông cọc;

F : Diện tích tiết diện cọc;

R_{an} : Cường độ tính toán cốt thép;

F_a : Diện tích cốt thép.

$$R_{an} = \frac{R_c}{1,5} \quad (4)$$

2.1.3. Xác định sức chịu tải của cọc theo tính chất cơ lý của đất nền

Theo TCVN 10304:2014[7]:

$$Q_{tc} = m(m_R q_p A_p + u \sum m_f f_i l_i) \quad (5)$$

Trong đó:

$m = 1$: Hệ số điều kiện làm việc;

m_R : Hệ số điều kiện làm việc của đất dưới mũi cọc;

A_p Diện tích mũi cọc, $A_p = \frac{\pi \times d^2}{4}$

d Đường kính cọc;

m_f Hệ số điều kiện làm việc của đất ở mặt bên của cọc;

U Chu vi tiết diện ngang cọc, $u = \pi d$;

q_p Cường độ chịu tải của đất ở mũi cọc;

l_i Chiều dài của lớp đất thứ i tiếp xúc với mặt bên cọc;

f_i Ma sát bên của lớp đất thứ i ở mặt bên cọc.

2.1.4. Xác định sức chịu tải của cọc theo chỉ tiêu cường độ đất nền (TCVN 10304:2014 [7])

Sức chịu tải cho phép của cọc được tính theo công thức:

$$Q_a = \frac{Q_p}{FS_p} + \frac{Q_s}{FS_s} = \frac{A_p q_p}{FS_p} + \frac{A_s q_s}{FS_s} \quad (6)$$

Do cọc đi qua nhiều lớp đất nền công thức được mở rộng:

$$Q_a = \frac{A_p q_p}{FS_p} + \frac{u \sum (f_{si} l_i)}{FS_s} \quad (7)$$

Trong đó:

FS_s : Hệ số an toàn dọc thân cọc ($FS_s = 1,5 - 2,0$);

FS_p : Hệ số an toàn cho sức chống dưới mũi cọc ($FS_p = 2,0 - 3,0$);

Q_s Sức chịu tải cực hạn do ma sát bên;

Q_p Sức chịu tải cực hạn dưới mũi cọc;

f_s Ma sát bên đơn vị giữa cọc và đất;

q_p Cường độ chịu tải của đất dưới mũi cọc;

A_s Diện tích mặt bên cọc;

A_p Diện tích tiết diện dưới mũi cọc;

f_{si} Ma sát bên tại lớp đất thứ i ;

l_i Chiều dày lớp đất thứ i ;

u Chu vi cọc.

Ma sát trên đơn vị diện tích mặt bên cọc f_{si} tính theo công thức sau:

$$f_{si} = c_{ai} + \sigma_{vi} K_{si} \tan \varphi_{ai} \quad (8)$$

Trong đó:

c_a : Lực dính giữa thân cọc và đất, $c_a = c \times 0,7$;

j_a : Góc ma sát giữa cọc và đất nền $\varphi_a = \varphi$;

σ_{vi} : Ứng suất hữu hiệu theo phương thẳng đứng do trọng lượng bản thân cột đất (có xét đầy nổi khi lớp đất nằm dưới mực nước ngầm);

K_s : Hệ số áp lực ngang trong đất, với cọc khoan nhồi

$$K_s = 1 - \sin \varphi_a.$$

Cường độ chịu tải dưới mũi cọc tính theo công thức:

$$q_p = c N_c + \sigma_{vp} N_q + \gamma d N_\gamma \quad (9)$$

Trong đó:

γ : Trọng lượng thể tích của đất ở độ sâu mũi cọc;

C : Lực dính đất nền dưới mũi cọc;

σ_{vp} : Ứng suất theo phương thẳng đứng tại độ sâu mũi cọc:

$$\sigma_{vp} = \sum \gamma_i h_i \quad (10)$$

Cường độ chịu tải của đất dưới mũi cọc:

$$Q_p = A_p (c N_c + \sigma_{vp} N_q + \gamma d N_\gamma) \quad (11)$$

Trong đó: N_c, N_q, N_γ : hệ số sức chịu tải, phụ thuộc vào góc ma sát của đất.

Chọn sức chịu tải thiết kế:

$$P_n = \min(P_{vl}, Q_{tt}, Q^{(b)}_a) \quad (12)$$

2.1.5. Xác định số cọc, kích thước đài cọc

Ứng suất trung bình sơ bộ dưới đáy móng

$$\sigma_{tb}^{sb} = \frac{P_n}{(3d)^2} \quad (13)$$

Sơ bộ tính diện tích đáy đài:

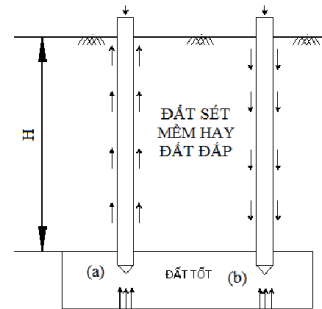
$$F_{sb} = \frac{N_{tt}}{\sigma_{tb}^{sb} - \gamma_{tb} \times h_d \times 1,1} \quad (14)$$

Xác định số lượng cọc theo công thức:

$$n_c'' = \frac{\beta \times N_0''}{F_{sb}} \quad (15)$$

2.2. Ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm

Đối với công trình có sử dụng móng cọc, khi cọc được đóng vào trong tầng đất có tính nén lún hoặc đất vừa mới đắp mà mũi cọc đặt trong tầng đất chặt. Sẽ xảy ra đồng thời quá trình lún của đất và cọc sau khi đóng cọc và đặt tải. Trong một số trường hợp độ lún của đất có thể lớn hơn của cọc, sự chuyển vị tương đối này phát sinh ra lực kéo xuống của tầng đất đối với cọc gọi là hiện tượng ma sát âm, lực kéo xuống gọi là lực ma sát âm.



Hình 1. Cọc trong nền đất mềm và chống vào lớp đất tốt; (a): Lực ma sát dương ngay và trong khi đóng cọc; (b): Lực ma sát âm

Ta có thể so sánh sự phát sinh ma sát âm và ma sát dương thông qua Hình 1. Ma sát âm có thể xuất hiện trong một phần đoạn của thân cọc hay toàn thân cọc, phụ thuộc vào chiều dày của lớp đất yếu chưa cố kết. Trong trường hợp ma sát âm tác dụng trên toàn thân cọc thì rất nguy hiểm, sức chịu tải của cọc không những không kể đến sức chịu tải do ma sát hông của đất và cọc mà còn bị ma sát âm

kéo xuống. Sức chịu tải lúc này chủ yếu là sức chịu tải của mũi, chống lên nền đất cứng hay đá.

Các ảnh hưởng và cách xác định hiện tượng ma sát âm sẽ được trình bày chi tiết trong ví dụ ở phần dưới đây.

3. Ví dụ minh họa

Trong ví dụ này, chúng ta xét ảnh hưởng của ma sát âm đến sự làm việc của cọc đơn bê tông cốt thép (BTCT) cạnh 30x30cm, dài 30m, gồm 3 đoạn cọc nối lại, cọc được đóng vào tầng đất có các thông số địa chất như trong Bảng 1 (Xem chi tiết trong tài liệu [9]).

Bảng 1. Số liệu địa chất

Thông số	Ký hiệu	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4
Chiều dày	h (m)	17,9	5,6	1,5	18
Dung trọng tự nhiên	γ_n (kN/m^3)	16	20	192	19,6
Dung trọng đầy nổi	γ_{dn} (kN/m^3)	6	10	9,2	9,6
Module đàn hồi	E (kN/m^2)	2000	7000	15000	17000
Lực dính	C (kN/m^2)	9	24,5	6	9,1
Góc ma sát trong	φ (°)	6	27,1	27	27,2
Hệ số poisson	μ	0,25	0,3	0,3	0,3

Mức nước ngầm sâu cách cốt $\pm 0,00$ là 5 (m).

Mô đun đàn hồi của cọc $E = 26,5 \times 10^6$ (kN/m^2).

Lực tác dụng lên đầu cọc $P = 550$ (kN); $\beta = 0,8$.

3.1. Tính toán ảnh hưởng ma sát âm

a. Xác định độ gia tăng áp lực bên trên

Nhằm tôn tạo bãi, nâng cao trình nền, người ta đắp một khối đất có chiều cao 2m, $\gamma_m = 14,0$ (kN/m^2).

Áp lực gây lún: $P_{gl} = 14,0 \times 2 = 28,0$ (kN/m^2)

b. Tính toán độ lún cho lớp đất sét yếu

Tính độ lún của lớp sét yếu:

$$S_{pi} = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{E_i} P_{gl} h_i = \frac{0,8}{2000} \times 28 \times 17,9 = 0,2005 \text{ (m)}$$

c. Tính toán độ lún của cọc

Biến dạng đàn hồi của bản thân cọc:

$$\Delta L = \frac{P \times L}{A_p \times E_c} = \frac{55 \times 30}{0,3 \times 0,3 \times 2,65 \times 10^6} = 0,69 \times 10^{-2} \text{ (m)}$$

Độ lún của đất ở mũi cọc (không xét đất đắp):

$$S_m = \frac{q_p \times B \times \omega(1 - \mu^2)}{E_i}$$

Ứng suất hữu hiệu do nền gây ra tại mũi cọc:

$$\sigma'_{vp} = \sum \gamma'_i H_i = 275,2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Cọc được ngầm vào lớp 4: $\varphi = 27,2^\circ$; $c = 9,1$ (kN/m^2).

Tra theo bảng tra của Vesic ta được: $N_q = 13,5$; $N_c = 24,31$; $N_\gamma = 14,9$

Cường độ đất nền dưới mũi cọc:

$$q_p = c \times N_c + \sigma'_{vp} \times N_q + \gamma \times d \times N_\gamma$$

$$q_p = 9,1 \times 24,31 + 275,2 \times 13,5 + 9,6 \times 0,3 \times 14,9 = 3,981 \times 10^3 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Vậy độ lún của đất ở mũi cọc:

$$S_m = \frac{3,981 \times 10^3 \times 0,3 \times 0,88(1 - 0,3^2)}{17000} = 0,0563 \text{ (m)}$$

Độ lún của đất ở thân cọc:

$$S_b = B \sum \frac{f_{si} \omega_i (1 - \mu^2)}{E_{oi}}$$

Lưu ý: Ở đây chúng ta có 4 lớp đất (1, 2, 3, 4) và chiều sâu mực nước ngầm nằm ở độ sâu -5m, tức là nằm giữa lớp đất 1, vì vậy để thuận tiện, ta chia lớp đất 1 thành 2 phần: nằm trên (1a) và dưới (1b) mực nước ngầm. Chúng ta có bảng tính các giá trị S_{bi} như sau:

Bảng 2. Tính toán độ lún do lực thân cọc

Lớp đất	U/s hữu hiệu theo phương đứng σ_{vi}	Lực ma sát bên f_{si}	Hệ số ω_{bi}	Độ lún do lực thân cọc S_{bi}
Lớp 1a: $\varphi = 6^\circ$; $C = 9$; $\gamma = 16$; $H_{1a} = 5$	40,0	10,06	3,42	0,0049
Lớp 1b: $\varphi = 6^\circ$; $C = 9$; $\gamma = 6$; $H_{1b} = 12,9$	118,7	17,47	4,29	0,0106
Lớp 2: $\varphi = 27,1^\circ$; $C = 24,5$; $\gamma = 10$; $H_2 = 5,6$	185,4	23,74	3,51	0,0117
Lớp 3: $\varphi = 27^\circ$; $C = 6$; $\gamma = 9,2$; $H_3 = 1,5$	220,3	78,52	2,78	0,0085
Lớp 4: $\varphi = 27,2^\circ$; $C = 9,1$; $\gamma = 9,6$; $H_4 = 5,0$	251,2	74,08	3,42	0,0046

$$S_b = \sum S_{bi} = 0,0403 \text{ (m)}$$

Độ lún toàn bộ của cọc:

$$\begin{aligned} S &= \Delta L + S_m + S_b \\ &= 0,69 \times 10^{-2} + 5,63 \times 10^{-2} + 4,03 \times 10^{-2} \text{ (m)} \\ &= 10,35 \times 10^{-2} \text{ (m)} \end{aligned}$$

d. Xác định chiều dài của cọc chịu ma sát âm

Chiều sâu ảnh hưởng đến ma sát âm

$$z = \left(1 - \frac{S_d}{S_{pi}}\right) H_1 = \left(1 - \frac{10,35 \times 10^{-2}}{20,05 \times 10^{-2}}\right) 17,9 = 8,66 \text{ (m)}$$

e. Xác định sức chịu tải của cọc khi không có ma sát âm

Sức chịu tải cực hạn ban đầu khi chưa có khối đắp:

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p = 3,98 \times 10^3 \times 0,3 \times 0,3 \\ &= 358,24 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$Q_s = u \sum f_s \times H_i$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 4 \times 0,3 \times \left(10,06 \times 5 + 17,47 \times 12,9 + 23,74 \times 5,6 + 78,52 \times 1,5 + 74,08 \times 5,0\right) \\ &= 1076,3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$Q_a = \frac{Q_s}{FS_s} + \frac{Q_p}{FS_p} = \frac{1076,3}{2} + \frac{358,24}{3} = 657,57 \text{ (kN)}$$

f. Xác định sức chịu tải của cọc khi có xét ma sát âm

Xét lớp đất 1 chiều dày 17,9m với chiều sâu đoạn ma

sát âm trong lớp đất này là $z = 8,66\text{m}$ lớn hơn chiều sâu mực nước ngầm, vì vậy chúng ta có thể chia cọc thành 03 đoạn như sau:

+ Đoạn ma sát âm dài 5m (trên mực nước ngầm):

$$\sigma'_{v1} = 16 \times \frac{5}{2} = 40,0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_{s1} = (1 - \sin 6^\circ) \times 40 \times \text{tg}(6^\circ) + 9 = 10,06 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

+ Đoạn ma sát âm dài $(8,66 - 5) = 3,66\text{m}$ (dưới mực nước ngầm):

$$\sigma'_{v2} = 16 \times 5 + 6 \times \frac{3,66}{2} = 90,98 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_{s2} = (1 - \sin 6^\circ) \times 90,98 \times \text{tg}(6^\circ) + 9 = 14,86 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

+ Đoạn ma sát dương dài $(17,9 - 8,66) = 9,24\text{m}$

$$\sigma'_{v3} = 16 \times 5 + 6 \times 3,66 + \frac{9,24}{2} = 129,68 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_{s3} = (1 - \sin 6^\circ) \times 129,68 \times \text{tg}(6^\circ) + 9 = 18,50 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Như vậy:

$$Q_s^{\text{MSA}} = 4 \times 0,3 \times \left(-40 \times 10,06 - 90,98 \times 14,86 + 129,68 \times 18,5 + \right. \\ \left. + 23,74 \times 5,6 + 78,52 \times 1,5 + 74,08 \times 5,0 \right)$$

$$Q_s^{\text{MSA}} = 824,85 \text{ (kN)}$$

$$Q_a^{\text{MSA}} = \frac{Q_s^{\text{MSA}}}{FS_s} + \frac{Q_p}{FS_p} = \frac{824,85}{2} + \frac{358,24}{3} = 531,84 \text{ (kN)}$$

Độ giảm sức chịu tải của cọc khi xét ma sát âm:

$$\Delta Q = Q_a - Q_a^{\text{MSA}} = 657,57 - 531,84 = 125,73 \text{ (kN)}$$

Kết luận: Khi có kể đến ma sát âm, sức chịu tải của cọc giảm 125,73kN (khoảng 19%) trong trường hợp có phụ tải đất đắp trên nền đất yếu.

3.2. Biến ngẫu nhiên

Biến ngẫu nhiên được chọn trong bài toán là các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất nền gồm góc nội ma sát (ϕ), lực dính (c), dung trọng tự nhiên (γ). Giả định các biến ngẫu nhiên này tuân theo quy luật phân bố chuẩn (normal) với giá trị trung bình (μ) được lấy từ Bảng 1. Hệ số biến thiên (c_v) của các biến ngẫu nhiên được lấy khoảng 10% ($c_v = 0,1$). Từ đó, độ lệch chuẩn của các biến ngẫu nhiên sẽ là $\sigma = 10\%\mu$. Như vậy, với 3 chỉ tiêu cơ lý (ϕ, c, γ) của 4 lớp đất nền, chúng ta sẽ có tất cả 12 biến ngẫu nhiên.

3.3. Hàm trạng thái giới hạn

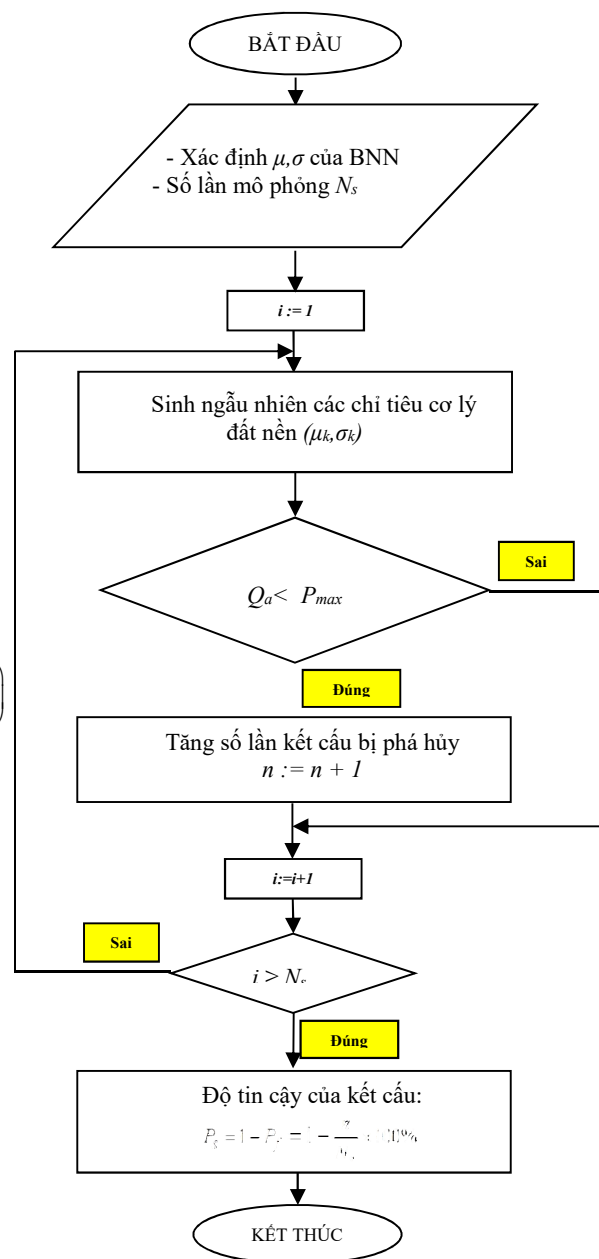
Hàm trạng thái giới hạn được đại diện bởi hai thành phần và có dạng như sau:

$$g(\mathbf{x}) = Q_a(\mathbf{x}) - P(16)$$

với $\mathbf{x}$ là véc tơ chứa các biến ngẫu nhiên; $Q_a(\mathbf{x})$ là biến vô hướng đại diện cho khả năng chịu tải cho phép của kết cấu móng cọc; P là hằng số đại diện cho tải trọng lớn nhất tác dụng lên đầu cọc. Kết cấu được xem là an toàn khi $g(\mathbf{x}) \geq 0$, và ngược lại bị xem phá hủy khi $g(\mathbf{x}) < 0$. Nghĩa là kết cấu móng sẽ được coi là phá hủy khi lực tác dụng lên đầu cọc lớn hơn sức chịu tải cho phép của cọc.

3.4. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo

Sơ đồ khối của phương pháp mô phỏng Monte Carlo [10], [12] được mô tả trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối phương pháp Monte Carlo

4. Kết quả và thảo luận

Trở lại với bài toán phân tích độ tin cậy của móng cọc trong hai trường hợp có và không xét ma sát âm. Số lần mô phỏng chọn là $N_s = 100.000$ lần. Khi đó, giá trị Q_a sẽ được xác định khi không xét đến ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm và có xét ma sát âm được thể hiện trên Hình 4.

Từ kết quả mô phỏng ta so sánh với giá trị P_{max} , khi đó kết quả độ tin cậy (xác suất phá hủy) của kết cấu móng ở hai trường hợp như sau:

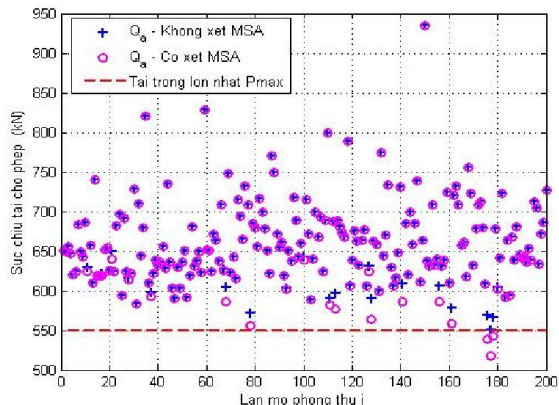
Không xét ma sát âm:

$$P_s = 1 - P_f = 1 - \frac{193}{100000} \times 100\% = 99,80\%$$

Có xét ma sát âm:

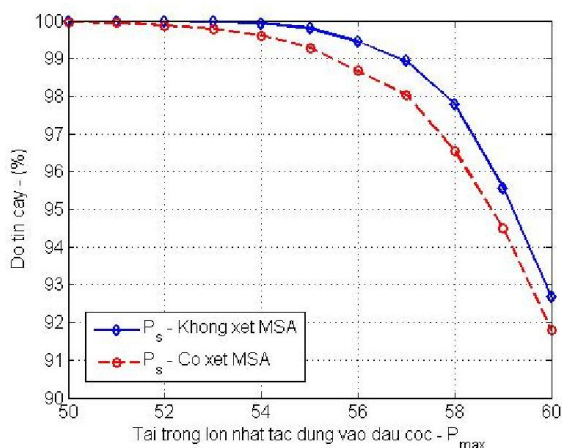
$$P_s = 1 - P_f = 1 - \frac{733}{100000} \times 100\% = 99,26\%$$

Như vậy, ta thấy rằng móng thiết kế theo trên là tương đối an toàn (>99%), tuy nhiên khi có kể đến ma sát âm, xác suất an toàn (99,26%) của móng cọc sẽ nhỏ hơn trường hợp không xét ma sát âm (99,80%).

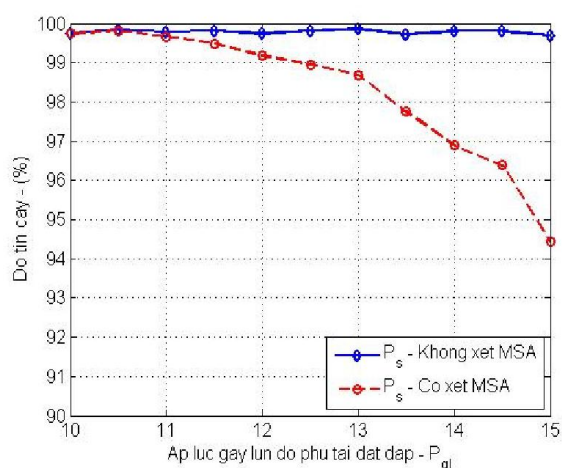


Hình 4. Sức chịu tải cho phép Q_a với 200 lần mô phỏng

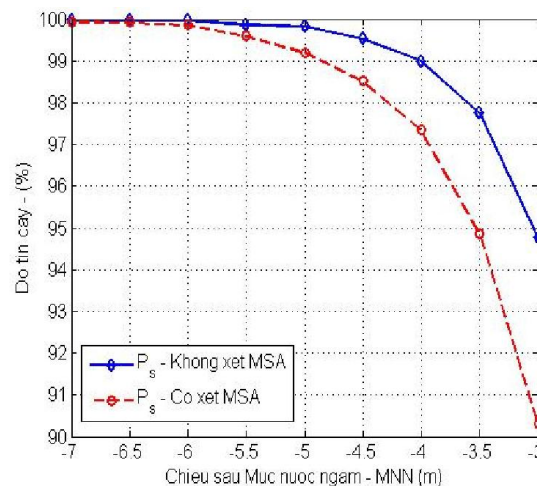
Mặt khác, để quan sát ảnh hưởng của các yếu tố đến độ tin cậy của móng cọc như tải trọng tác dụng lớn nhất lên cọc (P_{max}), áp lực gây lún do phụ tải đất đắp (P_{gl}) và chiều sâu mực nước ngầm (MNN), tác giả tiến hành khảo sát độ tin cậy của móng cọc khi thay đổi các yếu tố trên. Kết quả tính toán cho cả hai trường hợp được thể hiện trong các Hình 5, 6 và 7.



Hình 5. Khảo sát ảnh hưởng của P_{max}



Hình 6. Khảo sát ảnh hưởng của P_{gl}



Hình 7. Khảo sát ảnh hưởng của mực nước ngầm

Nhận xét:

i) Trường hợp thay đổi giá trị P_{max} tác dụng vào đầu cọc (Hình 5) thì sự thay đổi kết quả độ tin cậy của hai trường hợp (có và không có MSA), P_{max} càng lớn thì độ tin cậy (P_s) của kết cấu càng nhỏ.

ii) Trường hợp thay đổi phụ tải đất đắp (Hình 6), chúng ta có thể nhận thấy rằng, khi kể đến hiện tượng ma sát âm, độ tin cậy của kết cấu sụt giảm nghiêm trọng (còn 94,4% đối với $P_{gl} = 15\text{kN}$). Phụ tải đất đắp càng tăng (áp lực gây lún càng lớn), sức chịu tải của cọc giảm mạnh và khi đó độ tin cậy của kết cấu móng càng giảm mạnh. Trong khi đó, đối với trường hợp không xét ma sát âm, kết quả độ tin cậy gần như không thay đổi, tức là không phụ thuộc vào P_{gl} . Từ kết quả thu được, có thể kết luận rằng, ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm đến khả năng chịu tải của móng cọc là rất đáng kể. Chính vì vậy, đối với những công trình có công tác san lấp thì việc kể đến hiện tượng ma sát âm trong quá trình thiết kế là cực kỳ quan trọng.

iii) Đối với trường hợp thay đổi chiều sâu mực nước ngầm (Hình 7), ta nhận thấy hiện tượng ma sát âm chỉ ảnh hưởng trong khoảng nhất định khi thay đổi mực nước ngầm, giá trị này còn tùy thuộc vào mỗi bài toán khác nhau. Với trường hợp đang xét, nếu chiều sâu mực nước ngầm sâu hơn khoảng 6m thì kết quả hai trường hợp là như nhau.

5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của ma sát âm trong 2 trường hợp có phụ tải đất đắp và hạ mực nước ngầm đối với móng cọc có xét đến các yếu tố đầu vào ngẫu nhiên. Có thể nhận thấy rằng khi kể đến hiện tượng ma sát âm, trong trường hợp có phụ tải đất đắp, độ tin cậy của kết cấu giảm đi nghiêm trọng. Chính vì vậy, đối với những công trình có công tác san lấp thì việc kể đến hiện tượng ma sát âm trong quá trình thiết kế là cực kỳ quan trọng. Đối với trường hợp hạ mực nước ngầm, có thể nhận thấy độ chênh lệch sức chịu tải tăng lên khi hạ mực nước ngầm. Mặc dù khi hạ MNN, ảnh hưởng của hiện tượng ma sát âm cũng tăng lên nhưng vẫn không đáng kể so với tăng phụ tải đất đắp và không làm giảm khả năng làm việc của cọc khi so sánh với trường hợp không xét ma sát âm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. G. Poulos and E. H. Davis, Pile foundation analysis and design. 1980.
- [2] K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, and K. Elson, Piling engineering. CRC press, 2008.
- [3] Châu Ngọc Ân, Nền móng, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia, Thành phố Hồ Chí Minh. 2002.
- [4] E. E. Alonso, A. Josa, and A. Ledesma, “Negative skin friction on piles: a simplified analysis and prediction procedure,” Geotechnique, vol. 34, no. 3, pp. 341–357, 1984.
- [5] H. B. Poorooshasb, M. Alamgir, and N. Miura, “Negative skin friction on rigid and deformable piles,” Computers and Geotechnics, vol. 18, no. 2, pp. 109–126, 1996.
- [6] K.-K. Phoon, Reliability-based design in geotechnical engineering: computations and applications. CRC Press, 2008.
- [7] TCVN10304:2014, Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Xây dựng, 1998.
- [8] TCXDVN 195:1997, Nhà cao tầng - Thiết kế cọc khoan nhồi, Bộ Xây dựng, 1997.
- [9] Nguyễn Văn Lộc, Nghiên cứu ảnh hưởng của ma sát âm có xét đến yếu tố đầu vào ngẫu nhiên khi tính toán móng cọc, Luận văn Thạc sỹ, Đại học Đà Nẵng, 2015.
- [10] C. Z. Mooney, Monte carlo simulation, vol. 116. Sage Publications, 1997.
- [11] J. E. Hurtado and A. H. Barbat, “Monte Carlo techniques in computational stochastic mechanics,” Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 5, no. 1, pp. 3–29, 1998.
- [12] A. S. Nowak and K. R. Collins, Reliability of structures. CRC Press, 2012.

(BBT nhận bài: 11/07/2016, phản biện xong: 22/07/2016)