

PHƯƠNG PHÁP XARATOV ĐỂ DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỰC CỦA CỌC ĐÓNG

Ts. Phan Dũng

I. Giới thiệu chung

1.1 Sức chịu tải dọc trực của cọc là một trong những thông số đầu tiên, cơ bản và quan trọng nhất khi thiết kế, tính toán móng cọc. Bài viết này chỉ giới hạn trình bày về sức chịu tải của cọc đóng dựa trên các tham số vật lý – cơ học của đất nền mà cọc xuyên qua.

1.2 Nếu không kể trọng lượng bản thân của cọc thì sức chịu tải giới hạn, P_u gồm hai thành phần sau:

Sức chịu tải giới hạn mặt bên (mặt tiếp xúc giữa thân cọc và đất), P_{ub} :

$$P_{ub} = U \sum_{i=1}^n f_i h_i \quad (1)$$

Sức chịu tải giới hạn mũi cọc, P_{um} :

$$P_{um} = RF \quad (2)$$

Trong đó:

U và F: chu vi và diện tích tiết diện ngang của cọc.

f_i và h_i : sức kháng mặt bên đơn vị tại điểm giữa lớp đất thứ i , có chiều dày h_i .

n: số lượng lớp đất được phân chia.

R: sức kháng mũi đơn vị của đất tại mặt phẳng mũi cọc.

và: $P_u = P_{ub} + P_{um}$ (3)

Sức chịu tải cho phép của cọc, P_a sẽ thu được từ công thức (3), khi sử dụng một hệ số an toàn chung hoặc các hệ số an toàn riêng phần.

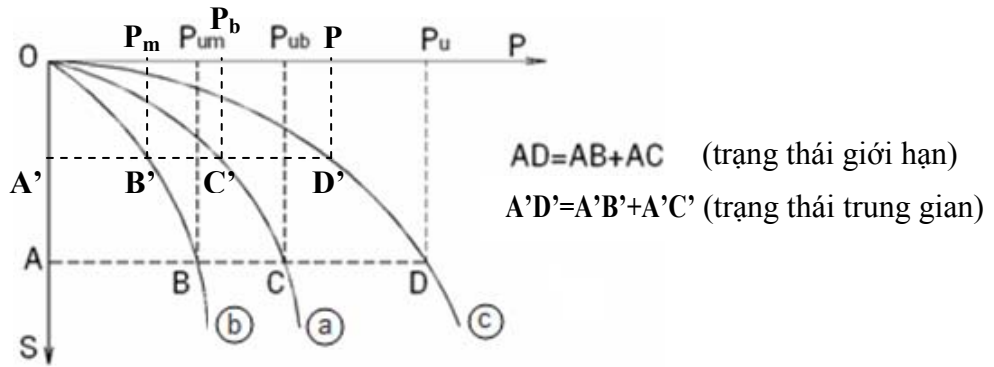
1.3 Ở các công thức (1), (2), điều quan trọng nhất là cần xác định đúng giá trị của sức kháng bên đơn vị, f và sức kháng mũi đơn vị, R . Hai đại lượng sức kháng đơn vị này, ở những mức độ khác nhau, đều phải dựa vào các tham số vật lý – cơ học của đất. Chẩn hạn như TCXD 205 – 1998 [2]:

Ở phụ lục A, giá trị của f và R được lập bảng theo tên đất, trạng thái vật lý của đất và độ sâu của điểm tính dựa trên việc xử lý nhiều kết quả thí nghiệm cọc hiện trường.

Ở phụ lục B của tiêu chuẩn này cũng đã dẫn ra các công thức tính f được chuyển đổi từ áp lực đất vuông góc với mặt bên cọc theo nguyên lý ma sát của áp lực pháp tuyến, còn R thì từ trạng thái cân bằng giới hạn của tầng đất nằm dưới mặt phẳng mũi cọc, nên được gọi là phương pháp dựa vào các tham số vật lý – cơ học (ban đầu) của đất.

1.4 Ngoài việc xác định giá trị sức chịu tải dọc trực của cọc, ta còn cần phải biết mối quan hệ giữa lực dọc trực (nén hoặc kéo) với chuyển vị dọc trực của đầu cọc, được gọi là các đường cong tải – lún của cọc như hình 1: ở trạng thái trung gian ($S < S_u$) thì đẳng thức (3) sẽ là:

$$P = P_b + P_m \quad (3')$$



Hình 1: Các đường cong tải – lún thành phần và tổng.

1.5 Mục đích bài viết này nhằm giới thiệu một cách tính sức chịu tải dọc trục của cọc không chỉ dựa trực tiếp trên các đặc trưng vật lý – cơ học của đất mà còn cho phép xây dựng các đường cong tải – lún. Đây là công trình nghiên cứu đã được kiểm nghiệm thông qua áp dụng thực tiễn thiết kế trong nhiều năm của các nhà khoa học tại Trường Đại học Bách Khoa Xaratov, Liên bang Nga; để cho gọn, ta gọi là: Phương pháp Xaratov.

II. Nội dung cơ bản của phương pháp Xaratov

Nội dung chi tiết của phương pháp này đã được Lapshin, Rikkert và Xavinov trình bày trong [1]. Dựa vào đó cùng với [6], có thể giới thiệu tóm tắt ở cách xác định hai tham số dưới đây.

2.1. Về sức kháng bên đơn vị:

1. Từ kết quả nghiên cứu thí nghiệm, người ta nhận thấy rằng khi đóng cọc vào trong đất sẽ gây ra hiện tượng nén chặt theo hướng xuyên tâm, tạo sinh áp lực ban đầu p tác dụng vuông góc trên chu vi tiết diện cọc:

$$p = \left[\frac{E_o}{4p_p(1-\mu^2) - 2p_o(2-\mu_o)} \right]^{\left(\frac{\sin \phi}{1+\sin \phi} \right)} (p_p + c \cot g\phi) - c \cot g\phi \quad (4)$$

2. Sau đó, áp lực này giảm xuống, đạt đến giá trị p' , được xác định từ việc giải phương trình siêu việt sau:

$$p_p + p_o + c \cot g\phi = (p + c \cot g\phi) \left(\frac{p_p + c \cot g\phi}{p' + c \cot g\phi} \right) - (p - p') \left(\frac{p' + c \cot g\phi}{p_p + c \cot g\phi} \right)^{\left(\frac{1+\sin \phi}{\sin \phi} \right)} \quad (5)$$

Trong đó:

p_o : áp lực tĩnh nằm ngang của đất

$$p_o = \frac{\mu_o}{1-\mu_o} \gamma z = \xi \gamma Z \quad (6)$$

p_p : áp lực nằm ngang trong đất khi bắt đầu hình thành vùng biến dạng dẻo.

$$p_p = p_o(1 + \sin \phi) + c \cos \phi \quad (7)$$

E_o và μ_o : môđun biến dạng và hệ số nở hông của đất.

γ và z : trọng lượng đơn vị của đất và độ sâu của điểm tính.

c và ϕ : các tham số sức chống cắt của đất.

3. Sức kháng ma sát đơn vị trên mặt bên cọc – đất sẽ tính như sau:

$$f_{\max} = p' \tan \phi + c \quad (8)$$

4. Phát triển sức kháng bên đơn vị f_b phụ thuộc vào độ lún thực của cọc S_b theo quy luật đa tuyến tính:

$$f_b = f_{\max} \frac{S_b}{S_{ub}} \quad (9)$$

ở đây: S_{ub} được gọi là độ lún giới hạn hoặc là độ lún trượt, (độ lún của cọc để sức kháng bên đơn vị đạt được sức kháng ma sát) phụ thuộc vào loại đất cho ở bảng 1.

Bảng 1: Giá trị độ lún trượt (giới hạn) S_{ub} [5]

STT	Tên đất và trạng thái vật lý	S_{ub} (mm)
1	Cát nhỏ, chặt vừa	5
2	Cát pha lẫn ít bụi, chặt vừa	6
3	Cát pha lẫn bụi, dẻo mềm	7
4	Sét pha, dẻo chặt	8
5	Sét pha lẫn bụi có sỏi, dẻo mềm	10
6	Sét pha lẫn bụi phân lớp, dẻo mềm	15
7	Sét pha lẫn bụi dạng dải, dẻo mềm	18
8	Sét lẫn bụi dạng dải, dẻo chặt	22
9	Sét lẫn bụi dạng dải, dẻo mềm	25

Những năm sau này, các nhà khoa học ở Leningrad đã đề nghị một công thức kinh nghiệm từ kết quả xử lý hơn 100 số liệu nén tĩnh cọc để tính độ lún giới hạn S_{ub} (đo bằng cm) có dạng [1]:

$$S_{ub} = 0,5 + 10 I_L \times I_p \quad (10)$$

Trong đó:

I_L : giới hạn chảy

I_p : chỉ số dẻo

Từ (9) ta dễ dàng thấy: khi $S_b = S_{ub}$ thì sức kháng bên đơn vị trở thành sức kháng ma sát, nghĩa là $f_b = f_{\max} = f_{ub}$.

5. Nếu cho độ lún S_b của cọc các giá trị từ 0 đến độ giới hạn S_{ub} thì theo (9) sẽ nhận được các giá trị khác nhau của f_b rồi nhờ (1) xác định P_b hoặc P_{ub} . Từ kết quả thu được ta xây dựng nên đường cong tải – lún cho mặt bên (Đường cong a trên hình 1)

2.2. Về sức chịu tải giới hạn mũi cọc:

1. Do đóng cọc, trong vùng đất dưới mũi hình thành một lõi đất nén chặt, ảnh hưởng có tính chất quyết định đến hình dạng phát triển vùng đất bị nén chặt xung quanh mũi khi cọc chịu tải.

Dưới tác dụng của áp lực ngang p_p ở mũi cọc, cọc bị lún với giá trị S_I được tính theo biểu thức có chứa mô đun đàn hồi của đất ở mũi cọc E_s :

$$S_I = (1 - \mu_o^2)(p_{pm} + Bc) \frac{d}{AE_s} \quad (11)$$

Ứng với độ lún này, sức chịu tải của mũi cọc, P_{mI} được xác định như sau:

$$P_{mI} = (p_p + Bc) \frac{d^2}{A} \quad (12)$$

2. Khi chịu tải trọng nén dọc trục, tại mũi cọc, áp lực ngang p_p sẽ tăng lớn đến giá trị p_F , gây ra biến dạng nén chặt về mọi phía. Sức chịu tải của mũi cọc P_{mII} ở giai đoạn này cũng có dạng như (12):

$$P_{mII} = (p_F + Bc) \frac{d^2}{A} \quad (13)$$

Giá trị của áp lực nằm ngang p_F tìm được từ việc giải phương trình sau:

$$S_m - S_I = \frac{1}{E_0} [0,3(1 + \mu_0)dD] \left[p_p \left(\frac{p_F + c \cot g\varphi}{p_p + c \cot g\varphi} \right)^{\left(\frac{1 + \sin \varphi}{\sin \varphi} \right)} - p_F \right] \quad (14)$$

Gọi:

S_m là độ lún mũi cọc ($S_m > S_I$).

S_{um} là độ lún cần thiết để huy động tối đa sức kháng của đất ở mũi cọc, có thể xác định bằng công thức kinh nghiệm [3], [4] sau:

$$S_{um} = 0,05 d \quad (15)$$

Khi $S_m = S_{um}$ thì sức kháng mũi đạt đến sức kháng giới hạn, nghĩa là $P_{mII} = P_{umII}$.

Trong các công thức từ (11) đến (14): A, B, D là các hệ số, phụ thuộc vào góc mũi cọc, α và góc ma sát trong của đất φ , cho ở bảng 2.

Bảng 2: Giá trị các hệ số A, B và D

α (độ)	Hệ số	Góc ma sát trong φ (độ)							
		8	12	16	20	24	28	32	36
45°	A	0,448	0,384	0,332	0,288	0,250	0,217	0,188	0,162
	B	1,056	0,935	0,836	0,753	0,682	0,619	0,564	0,513
	D	0,717	0,960	1,158	1,323	1,466	1,591	1,702	1,802
60°	A	0,47	0,408	0,355	0,308	0,267	0,230	0,195	0,164
	B	0,929	0,844	0,772	0,708	0,652	0,601	0,555	0,511
	D	0,452	0,622	0,767	0,893	1,006	1,108	1,201	1,287
90°	A	0,480	0,413	0,353	0,297	0,244	0,195	0,147	0,101
	B	0,877	0,825	0,777	0,733	0,692	0,653	0,615	0,579
	D	0,247	0,351	0,446	0,534	0,616	0,694	0,769	0,842

3. Sức chịu tải giới hạn mũi cọc được tính như là tổng các sức chịu tải mũi thành phần đã nêu:

$$P_{um} = P_{mI} + P_{umII} \quad (16)$$

Nếu cho vế trái của phương trình (14) biến đổi trong phạm vi độ lún từ 0 đến độ lún giới hạn S_{um} thì sẽ nhận được các giá trị khác nhau tương ứng của p_F ; và do đó, các giá trị khác nhau của P_m hoặc P_{um} . Từ kết quả thu được ta xây dựng đường cong tải – lún cho mũi cọc (Đường cong b trên hình 1).

- 2.3. Các phương trình (5) chứa ẩn số p' và (14) chứa ẩn số p_F là những phương trình siêu việt phức tạp lại phải giải nhiều lần trong quá trình tính toán. Để khắc phục khó khăn này chúng tôi đã biến đổi chúng thành những phương trình đại số chính tắc, dễ giải hơn và cũng là nội dung của các mục tiếp sau.

III. Thực hành tính toán sức chịu tải giới hạn mặt bên, P_{ub} :

3.1. Biến đổi phương trình (5) để tìm giá trị p' :

Gọi p_o^* là vế trái của phương trình (5), VTR:

$$VTR = p_o^* = p_p + p_o + c \cot g \varphi \quad (17)$$

$$\text{Đặt: } k = \frac{1 + \sin \varphi}{\sin \varphi} \quad (18)$$

Nếu chú ý đến (6), (7) và (18), ta viết lại (17):

$$\text{VTR} = p_o^* = p_p + p_o + c \cot g \varphi \quad (19)$$

Ký hiệu VPH là vế phải của phương trình (5):

$$\text{VPH} = (p + c \cot g \varphi) \left(\frac{p_p + c \cot g \varphi}{p' + c \cot g \varphi} \right) - (p - p') \left(\frac{p' + c \cot g \varphi}{p_p + c \cot g \varphi} \right)^{-k} \quad (20)$$

Đặt:

$$p^* = p + c \cot g \varphi \quad (21)$$

$$p_p^* = p_p + c \cot g \varphi \quad (22)$$

$$p'^* = p' + c \cot g \varphi \quad (23)$$

Chú ý rằng, từ (21) và (23), ta có:

$$p - p' = p^* - p'^* \quad (24)$$

Viết lại (20):

$$\text{VPH} = p^* \left(\frac{p_p^*}{p'^*} \right) - (p^* - p'^*) \left(\frac{p'^*}{p_p^*} \right)^{-k} \quad (25)$$

$$\text{Hay } \text{VPH} = p^* \left(\frac{p_p^*}{p'^*} \right) - p^* \left(\frac{p'^*}{p_p^*} \right)^{-k} + p_p^* \left(\frac{p'^*}{p_p^*} \right)^{(1-k)} \quad (26)$$

$$\text{Đặt: } X = \frac{p'^*}{p_p^*} \quad (27)$$

Viết lại (24):

$$\text{VPH} = p^* \frac{1}{X} - p^* X^{-k} + p_p^* X^{(1-k)} \quad (28)$$

$$\text{VPH} = \frac{1}{X} [p^* - p^* X^{(1-k)} + p_p^* X^{(2-k)}] \quad (29)$$

Đặt vế trái (19) bằng vế phải (29), ta có:

$$p_o^* = \frac{1}{X} [p^* - p^* X^{(1-k)} + p_p^* X^{(2-k)}] \quad (30)$$

Hay:

$$X^{(2-k)} - \left(\frac{p_p^*}{p'^*} \right) X^{(1-k)} - \left(\frac{p_o^*}{p_p^*} \right) X - \left(\frac{p_p^*}{p'^*} \right) = 0 \quad (31)$$

$$\text{Đặt: } V = \frac{p_o^*}{p_p^*} \quad (32)$$

$$N = \frac{p_p^*}{p'^*} \quad (33)$$

Từ (4), nếu chú ý đến (21) và (22) thì giá trị N có thể tính theo công thức:

$$N = \left[\frac{E_o}{4p_p(1 - \mu_o^2) - 2p_o(2 - \mu_o)} \right]^{k-1} \quad (34)$$

Viết lại (31), ta có dạng gọn, dễ giải của phương trình (5) ban đầu:

$$X^{(2-k)} - NX^{(1-k)} - VX + N = 0 \quad (35)$$

3.2. Thực hành tính toán P_{ub} (Bảng 3):

Bảng 3: Trình tự tính toán P_{ub}

Bước tính	Công thức	Số thứ tự công thức
1	$p_o = \xi\gamma Z$	(6)
2	$p_p = p_o(1 + \sin \varphi) + c \cos \varphi$	(7)
3	$k = (1 + \sin \varphi) / \sin \varphi$	(18)
4	$p_o^* = p_p + p_o + c \cot g \varphi$	(19)
5	$p_p^* = p_p + c \cot g \varphi$	(22)
6	$N = \left\{ \frac{E_o}{4p_p(1 - \mu_o^2) - 2p_o(2 - \mu_o)} \right\}^{k-1}$	(34)
7	$p^* = Np_p^*$	(36)
8	$V = p_o^* / p_p^*$	(32)
9	$X^{(2-k)} - NX^{(1-k)} - VX + N = 0$	(35)
10	$p^* = Xp_p^*$	(37)
11	$p' = p^* - c \cot g \varphi$	(38)
12	$f_{max} = p' \operatorname{tg} \varphi + c$	(8)
13	$f_b = f_{max} \frac{S_b}{S_{ub}}$	(9)
14	$P_{ub} = U \sum_1^n f_i h_i$	(1)

IV. Thực hành tính toán sức chịu tải giới hạn mũ, P_{um}

4.1. Biến đổi phương trình (14) để tìm giá trị p_F :

Gọi S là vế trái của phương trình (14):

$$VTR = S_{um} - S_1 = S \quad (39)$$

Vế phải của phương trình (14):

$$VPH = N_m \times M_m \quad (40)$$

$$\text{với: } N_m = \frac{1}{E_o} [0,3(1 + \mu_o)(1 - 2\mu_o)dD] \quad (41)$$

$$M_m = p_p \left(\frac{p_F + c \cot g \varphi}{p_p + c \cot g \varphi} \right) - p_F \quad (42)$$

Ta triển khai (42) có chú ý đến (22):

$$M_m = p_{pm} \left(\frac{p_F}{p_{pm}^*} \right)^k + p_{pm} \left(\frac{c \cot g \varphi}{p_{pm}^*} \right) - p_F \quad (43)$$

$$M_m = p_{pm} \left(\frac{p_F}{p_{pm}^*} \right)^k + p_p \left(\frac{c \cot g \varphi}{p_{pm}^*} \right)^k - p_{pm}^* \left(\frac{p_F}{p_{pm}} \right) \quad (44)$$

$$\text{Đặt: } Y = \frac{p_F}{p_{pm}^*} \quad (45)$$

Viết lại (42):

$$M_m = p_{pm} Y^k - p_{pm}^* Y + p_{pm} \left(\frac{ccotg\varphi}{p_{pm}^*} \right) \quad (46)$$

Phối hợp (37) với (38) có chú ý đến (39) và (44), ta được dạng mới của (14):

$$S = N_m \left[p_{pm} Y^k - p_{pm}^* Y + p_{pm} \left(\frac{ccotg\varphi}{p_{pm}^*} \right)^k \right] \quad (47)$$

$$Y^k - \left(\frac{p_{pm}^*}{p_{pm}} \right) Y + \left(\frac{ccotg\varphi}{p_{pm}^*} - \frac{S}{p_{pm} N_m} \right) = 0 \quad (48)$$

Đặt: $K = \frac{p_{pm}^*}{p_{pm}} \quad (49)$

$$L = \frac{ccotg\varphi}{p_{pm}^*} - \frac{S}{p_{pm} N_m} \quad (50)$$

Dạng gọn, dễ giải của phương trình (14) ban đầu sẽ trở thành:

$$Y^k - KY + L = 0 \quad (51)$$

$$p_F = Y p_{pm}^* \quad (52)$$

4.2. Thực hành tính toán P_{um} (Bảng 4):

Bảng 4: Trình tự tính toán P_{um}

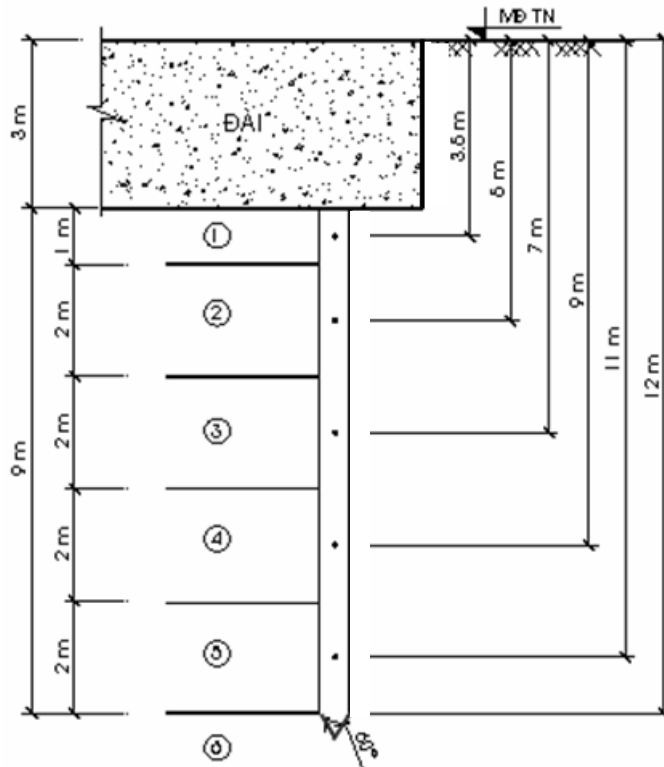
Bước tính	Công thức	Số thứ tự công thức
1	$p_{om} = \xi\gamma Z$	(6)
2	$p_{pm} = p_{om} (1 + \sin \varphi) + c \cos \varphi$	(7)
3	$p_{pm} = p_{pm} + p_{om} + c \cot g \varphi$	(22)
4	$p_{uml} = (p_{pm} + Bc) \frac{d^2}{A}$	(12)
5	$S_I = (1 - \mu_o^2) (p_{pm} + Bc) \frac{d}{(AE_s)}$	(11)
6	$S_{um} = 0,05d$	(15)
7	$S = S_{um} - S_I$	(39)
8	$N_m = \frac{0,3(1 + \mu_o)(1 - 2\mu_o) dD}{E_o}$	(41)
9	$k = (1 + \sin \varphi) / \sin \varphi$	(18)
10	$K = \frac{p_p^*}{p_p}$	(49)
11	$L = \frac{ccotg\varphi}{p_{pm}^*} - \frac{S}{p_{pm} N_m}$	(50)
12	$Y^k - KY + L = 0$	(51)
13	$p_F = Y p_{pm}^*$	(52)
14	$P_{umII} = (p_F + Bc) \frac{d^2}{A}$	(13)
15	$P_{um} = P_{uml} + P_{umII}$	(16)

V. Ví dụ minh họa

5.1. Ví dụ 1

Cho một cọc BTCT tiết diện vuông 35x35cm, đóng trong nền cát nhỏ chặt vừa đồng nhất có các đặc trưng cơ học – vật lý như hình vẽ 2.

Hãy tính sức chịu tải giới hạn (chịu nén) của cọc đã cho bằng phương pháp Xaratov.



$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,65 \\ \gamma &= 16\text{kN/m}^3 \\ \varphi &= 32^\circ \\ E_o &= 28 \times 10^3 \text{ kPa} \\ \mu_o &= 0,3 \\ E_s &= 71,76 \times 10^3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Hình 2: Số liệu của ví dụ 1

Giải:

1. Sức chịu tải giới hạn mặt bên P_{ub} :

Theo chiều dài, cọc được chia thành 5 đoạn. Sức kháng ma sát được tính tại các điểm từ (1) đến (5) (xem hình vẽ). Với $k = 2,88684$, kết quả tính được tóm tắt ở bảng 5

Bảng 5: Sức kháng ma sát ở mặt bên cọc.

Điểm tính	Độ sâu (m)	p_o (kPa)	p_p (kPa)	p (kPa)	X	p' (kPa)	$\frac{f_{\max} \text{ (kPa)}}{\text{Xaratov}}$ TCXD 205 – 1998
1	3,5	24,002	36,721	324,205	1,0502	38,564	$\frac{24,098}{36,5}$
2	5,0	34,288	52,458	409,316	1,059	55,553	$\frac{34,714}{40,0}$
3	7,0	48,003	73,441	509,996	1,0695	78,545	$\frac{49,081}{43,0}$
4	9,0	61,718	94,424	601,042	1,0789	101,874	$\frac{63,658}{45,0}$
5	11,0	75,434	115,407	685,278	1,0877	125,528	$\frac{78,439}{47,0}$
6	12,0	82,291	125,899	$P_{ub} = 666,232 \text{ kN}$			

Theo TCXD 205-1998: $P_{ub} = 541,1 \text{ kN}$, chênh sai: +23,1%.

2. Sức chịu tải giới hạn mũ, P_{um} .

(1) Độ lún S_I :

$$S_I = (1 - 0,3^2)(125,899)(0,35)/(0,195 \times 71760) = 0,002866m$$

(2) Giá trị P_{umI} :

$$P_{umI} = 125,899 \times (0,35)^2 / 0,195 = 79,094kN$$

(3) Độ lún mũ:

$$S = 0,05 \times 0,35 - 0,002866 = 0,014634m$$

(4) Tính giá trị N_m :

$$N_m = \frac{(0,3)(1 + 0,3)(1 - 2 \times 0,3)(0,35)(1,20034)}{28000} \cong 2 \times 10^{-6}$$

(5) Tính giá trị L:

$$L = \frac{-0,014634}{125,899 \times 2 \times 10^{-6}} = -58,118$$

(6) Lập phương trình:

$$Y^{2,88684} - Y - 58,118 = 0$$

Giải ra, được:

$$Y = 4,18423$$

(7) Tính giá trị p_F :

$$p_F = 4,18423 \times 125,899 = 526,79 \text{ kPa}$$

(8) Sức chịu tải mũ P_{umII} :

$$P_{umII} = (526,79)(0,35)^2 / (0,195) = 330,923 \text{ kN}$$

(9) Sức chịu tải giới hạn mũ cọc:

$$P_{um} = 79,094 + 330,932 = 410,026 \text{ kN}$$

Theo TCXD 205-1998: $P_{um} = 325,85 \text{ kN}$, chênh sai: +26%.

3. Sức chịu tải giới hạn của cọc:

$$P_u = 666,232 + 410,026 = 1076,26 \text{ kN}$$

Theo TCXD 205-1998: $P_u = 866,95 \text{ kN}$, chênh sai: +24%.

4. Vẽ các đường cong tải – lún của cọc:

Nếu chấp nhận $S_{ub} = 6mm$ thì đường cong phát triển sức kháng bên theo chuyển dịch (độ lún) S_b tại một số điểm như bảng 6.

Bảng 6: Giá trị các điểm đặc trưng trên đường cong phát triển sức kháng bên

S_b (mm)	2,866	4,0	5,0	6,0
P_b (kN)	318,237	444,155	555,193	666,232

Kết quả tính toán đường cong phát triển sức kháng mũ theo chuyển dịch (độ lún) S ghi ở bảng 7, còn sức chịu tải toàn bộ của cọc: bảng 8.

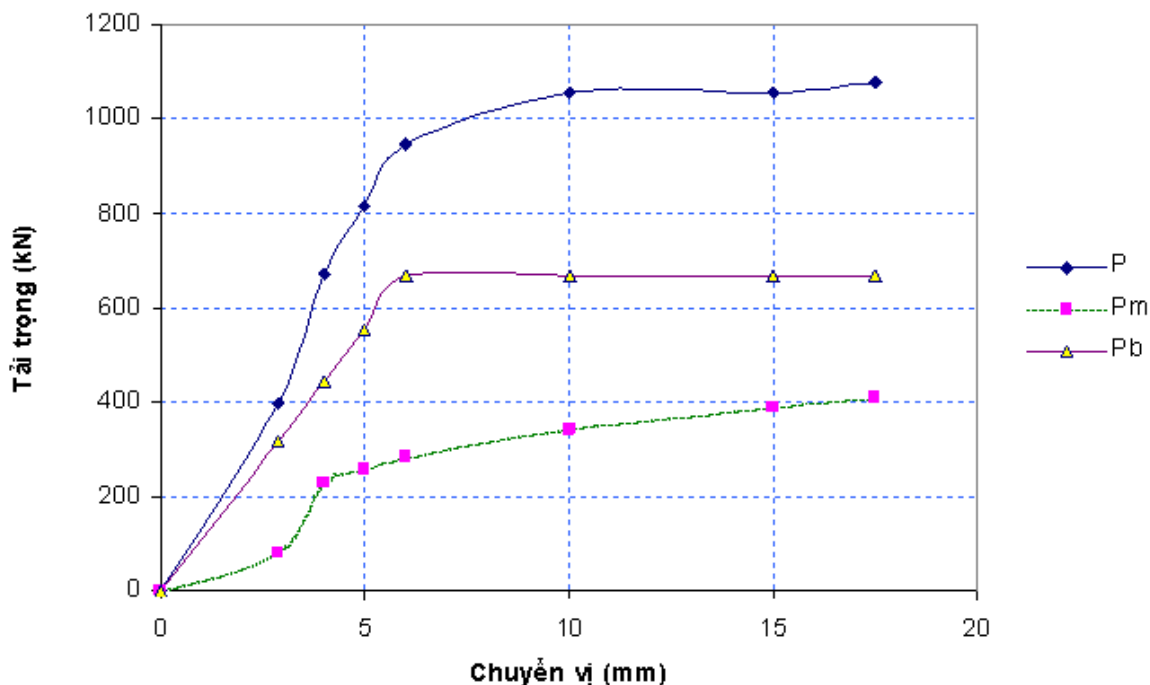
Bảng 7: Đường cong phát triển sức kháng mũ theo độ lún

S_{um} (mm)	2,866	4	5	6	10	15	17,5
S (m)	0	0,00134	0,002134	0,003134	0,007134	0,012134	0,014634
L	0	-4,50361	-8,47505	-12,4465	-28,3322	-48,1894	-58,118
Y	1	1,90289	2,27669	2,55513	3,30892	3,93349	4,18423
p_F (kN)	125,899	239,572	286,633	321,689	416,59	495,222	526,790
P_{umII} (kN)	79,094	150,5	180,064	202,087	261,704	311,101	330,923
P_{um} (kN)	79,094	229,594	259,158	281,181	340,798	390,195	410,026

Bảng 8: Giá trị các điểm đặc trưng trên đường cong tải – lún của cọc

S (mm)	0	2,866	4,0	5,0	6,0	10,0	15,0	17,5
P (kN)	0	397,331	673,749	814,351	947,413	1007,03	1056,493	1076,26

Dựa vào số liệu của bảng 6, dòng 1 và 7 của bảng 7 và bảng 8 ta vẽ được các đường cong đặc trưng truyền tải trên hình 3.



Hình 3: Đường cong tải – lún của cọc

5.2. Ví dụ 2

Sử dụng ví dụ 1 nhưng nền đất sét đồng nhất dẻo cứng với các đặc trưng vật lý – cơ học sau:

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 15,7 \text{ kN/m}^3 & \mu_0 &= 0,35 \\
 \varepsilon &= 0,85 & E_s &= 29000 \text{ kPa} \\
 I_L &= 0,40 & \varphi &= 16^\circ \\
 E_0 &= 15000 \text{ kPa} & c &= 12 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Hãy tính sức chịu tải giới hạn của cọc.

Giải:

1. Sức chịu tải giới hạn mặt bên:

Với $k = 4,62795$, kết quả tính ghi tóm tắt ở bảng 9.

Bảng 9: Sức kháng ma sát ở mặt bên cọc

Điểm tính	Độ sâu (m)	p_o (kPa)	p_p (kPa)	p_p^* (kPa)	p_o^* (kPa)	N	V	X	p'^* (kPa)	p' (kPa)	f_{max} (kPa) Xaratov TCXD 205 – 1998
1	3,5	29,589	49,279	91,125	120,717	3,13902	1,32475	1,05038	95,715	53,870	$\frac{27,447}{26,0}$
2	5,0	42,269	65,455	107,301	149,574	3,0873	1,39396	1,06634	114,419	72,574	$\frac{32,810}{29,0}$
3	7,0	59,177	87,024	128,869	188,05	2,89148	1,45923	1,09468	141,07	99,225	$\frac{40,452}{32,0}$
4	9,0	76,085	108,592	150,437	226,525	2,78953	1,50578	1,12134	168,691	126,846	$\frac{48,373}{33,5}$
5	11,0	92,992	130,16	172,005	265,001	2,70499	1,54066	1,15164	198,088	156,243	$\frac{56,802}{34,8}$
6	12,0	101,446	140,944	182,789	P _{ub} = 538,05kN. Theo TCXD: P _{ub} = 398,44; chênh sai: +35%						

2. Sức chịu tải giới hạn mũi, P_{um} :

- (1) $S_I = 0,004205$ m
- (2) $P_{uml} = 50,832$ kN
- (3) $S = 0,013295$ m
- (4) $N_m = 2 \times 10^{-6}$
- (5) $K = 1,29689$
- (6) $L = -46,9352$
- (7) $Y = 2,32832$
- (8) $p_F = 425,575$ kPa
- (9) $P_{umII} = 150,5$ kN
- (10) $P_{um} = 202,332$ kN

Theo TCXD 205-1998: $P_{um} = 306,25$ kN, chênh sai -34%.

3. Sức chịu tải giới hạn của cọc:

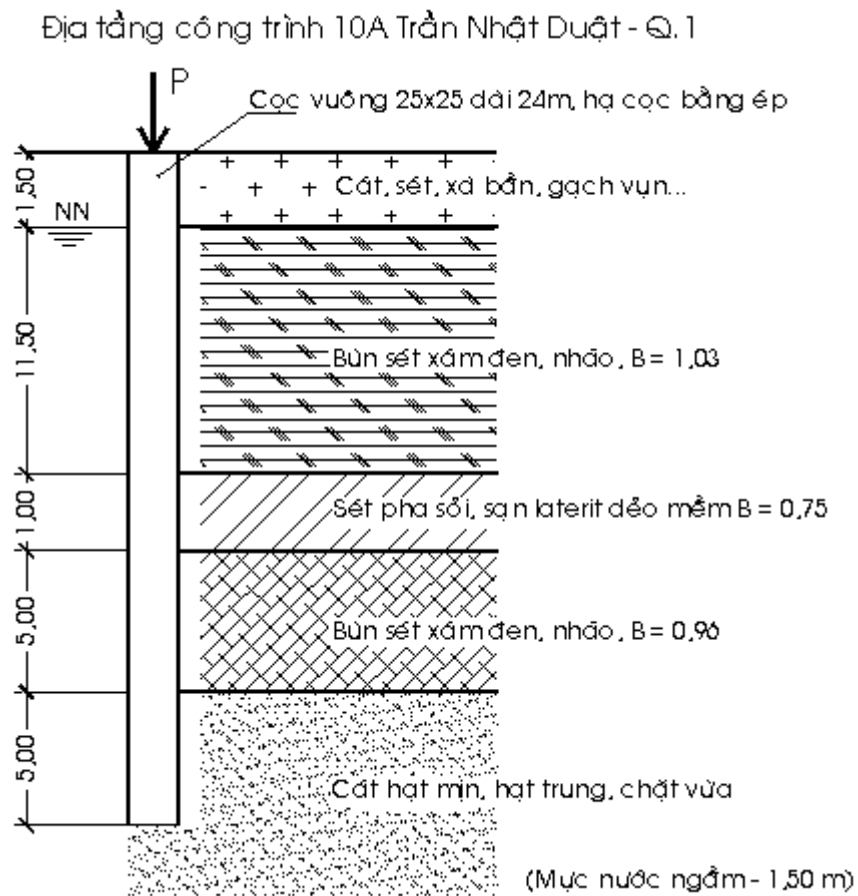
$$P_u = 538,05 + 202,332 = 740,382 \text{ kN}$$

Theo TCXD 205-1998: $P_u = 704,69$ kN, chênh sai +5%.

VI. So sánh kết quả tính toán theo phương pháp Xaratorov với nén tĩnh cọc ở một số công trình tại Tp. Hồ Chí Minh

6.1 Công trình chung cư 10A Trần Nhật Duật, Q1

1. Số liệu xuất phát



Hình 4: Sơ đồ cọc – đất chung cư Trần Nhật Duật

Bảng 10: Các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị tính	Lớp Thứ 2	Lớp Thứ 3	Lớp Thứ 4	Lớp Thứ 5
Phân loại theo TCVN			Bùn CH	Sét CH	Sét	Cát SM
Chiều dày lớp đất	h_i	m	11,5	1,000	5,000	5,000
Độ ẩm tự nhiên	W	%	72,540	50.130	65,180	23,650
Giới hạn dẻo	Wd	%	36,809	33,870	41,305	-
Chỉ số dẻo	I_p	%	34,690	21,680	24,870	-
Độ sệt	B		1,030	0,750	0,960	-
Dung trọng ướt tiêu chuẩn	γ_{tc}	kN/m^3	15,57	17,80	16,30	18,40
Hệ số rỗng	e		1,923	1,252	1,696	0,781
Dung trọng khô	γ_k	kN/m^3	9,10	11,86	9,87	14,88
Lực dính tiêu chuẩn	C_{tc}	kN/m^2	5,6	12	6,5	4,1
Góc ma sát trong t/chuẩn	ϕ	Độ	4°39'	15°13'	5°41'	25°43'
Hệ số poisson	μ		0,45	0.35	0,45	0.24
Moduyn đàn hồi	E	kN/m^2	2000	21 000	2000	35 000

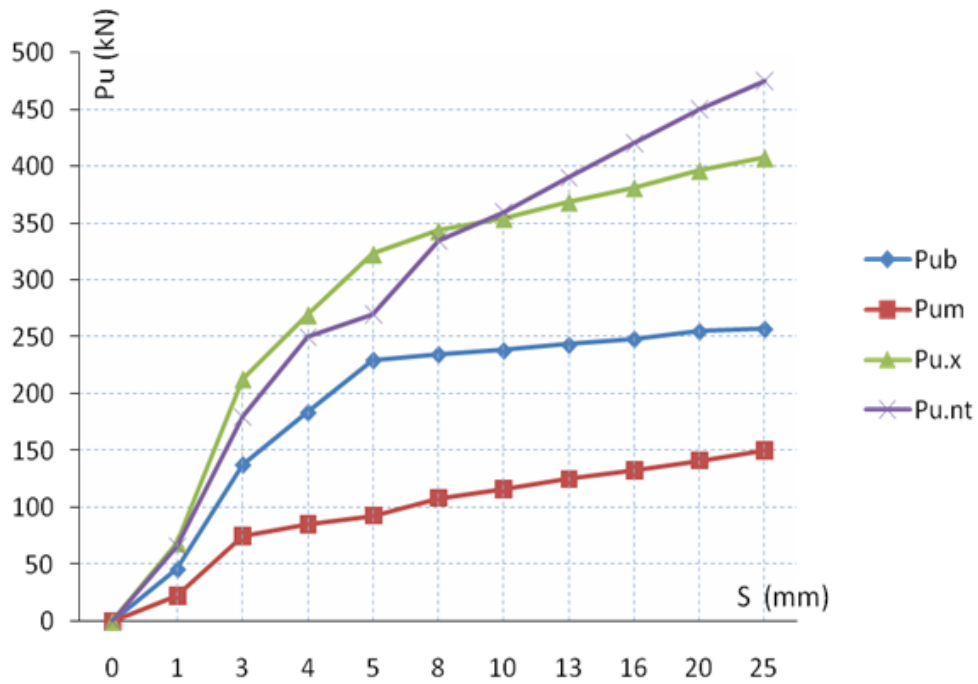
2. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov

Bảng 11: Mối quan hệ giữa các sức chịu tải với độ lún

Độ lún S (mm)	P_{ub} (kN)	P_{um} (kN)	F_{ux} (kN)	$P_{u,nt}$ (kN)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	45.940	22.945	68.885	66.000
3	137.820	75.242	213.062	180.000
4	183.760	85.678	269.438	250.000
5	229.700	93.140	322.840	270.000
8	234.738	108.575	343.313	335.000
10	238.096	116.099	354.195	360.000
13	243.134	125.284	368.418	390.000
16	248.171	132.888	381.059	420.000
20	254.888	141.453	396.341	450.000
25	257.004	150.484	407.488	475.000

Theo TCXD 205 : 1998:

$$P_u = P_{ub} + P_{um} = 256,97 + 215,0 = 471,97 \text{ kN}$$

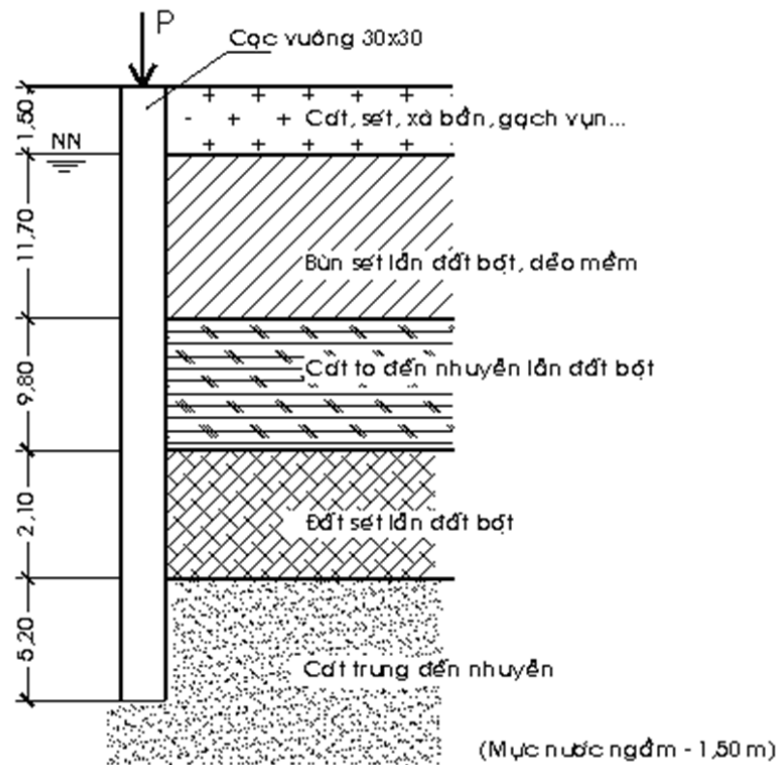


Hình 5: Đường cong tải – lún tính toán và thí nghiệm nén tĩnh chung cư Trần Nhật Duật

6.2 Công trình chung cư Ngô Tất Tố - Bình Thạnh

1. Số liệu xuất phát

Địa tầng công trình chung cư Ngô Tất Tố - Bình Thạnh



Hình 6: Sơ đồ cọc – đất chung cư Ngô Tất Tố

Bảng 12: Chỉ tiêu cơ lý của các lớp

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị tính	Lớp Thứ 2	Lớp Thứ 3	Lớp Thứ 4	Lớp Thứ 5
Phân loại theo TCVN			Sét CH	Cát SC	Sét Cl	Cát SM
Chiều dày lớp đất	h_i	m	11,700	9,800	2,100	5,200
Độ ẩm tự nhiên	W	%	94,700	46,300	69,900	21,600
Giới hạn dẻo	Wd	%	31,500	18,50	23,30	-
Chỉ số dẻo	I_p	%	32,900	18,30	23,70	-
Độ sệt	B		1,920	-	1,970	-
Dung trọng ướt tiêu chuẩn	γ_{tc}	kN/m ³	14,66	17,00	15,54	19,84
Hệ số rỗng	e		2,565	1,292	1,935	0,632
Dung trọng khô	γ_k	kN/m ³	7,53	11,62	9,15	16,32
Lực dính tiêu chuẩn	C_{tc}	kN/m ²	6,7	5,3	8,1	-
Góc ma sát trong t/chuẩn	ϕ	Độ	3°26'	24°14'	8°21'	31°23'
Hệ số poisson	μ		0,45	0,30	0,45	0,25
Moduyn đàn hồi	E	kN/m ²	2000	35 000	2000	45 000

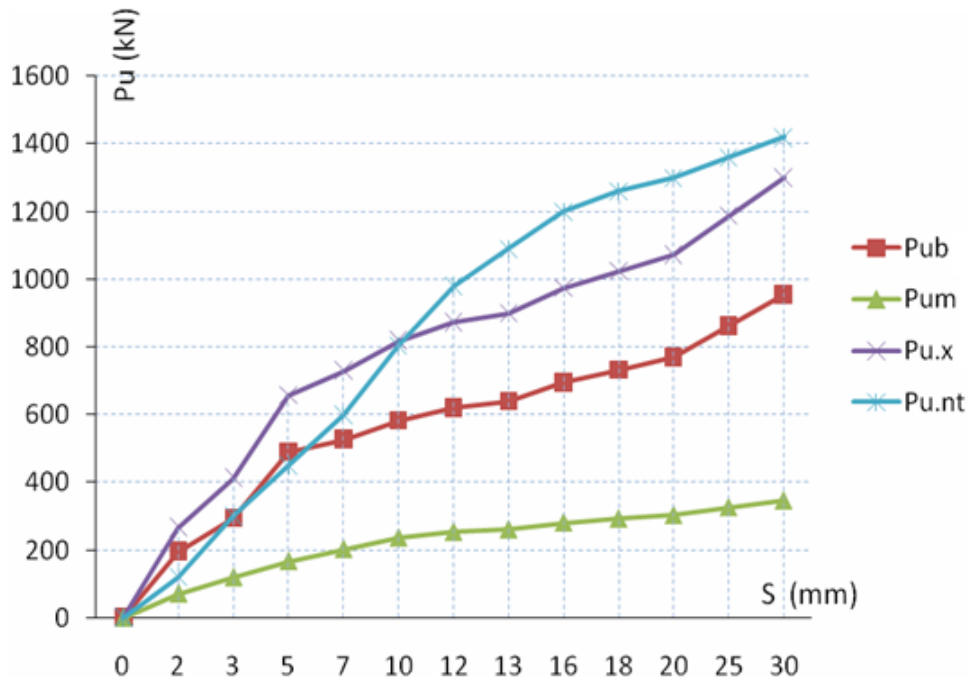
2. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov:

Bảng 13: Mối quan hệ giữa các sức chịu tải với độ lún

Độ lún S (mm)	P_{ub} (N)	P_{um} (kN)	P_{ux} (kN)	$P_{u,nt}$ (kN)
0	0	0	0	0
2	195.997	72.000	267.997	120.000
3	293.996	120.000	413.996	300.000
5	489.994	167.854	657.848	450.000
7	527.227	203.154	730.381	600.000
10	583.077	236.711	819.788	805.000
12	620.311	253.716	874.027	980.000
13	638.927	261.255	900.182	1090.000
16	694.778	281.171	975.949	1200.000
18	732.011	292.771	1024.782	1260.000
20	769.244	303.373	1072.617	1300.000
25	862.328	326.649	1188.977	1360.000
30	955.411	346.619	1302.030	1420.000

Theo TCXD 205 : 1998

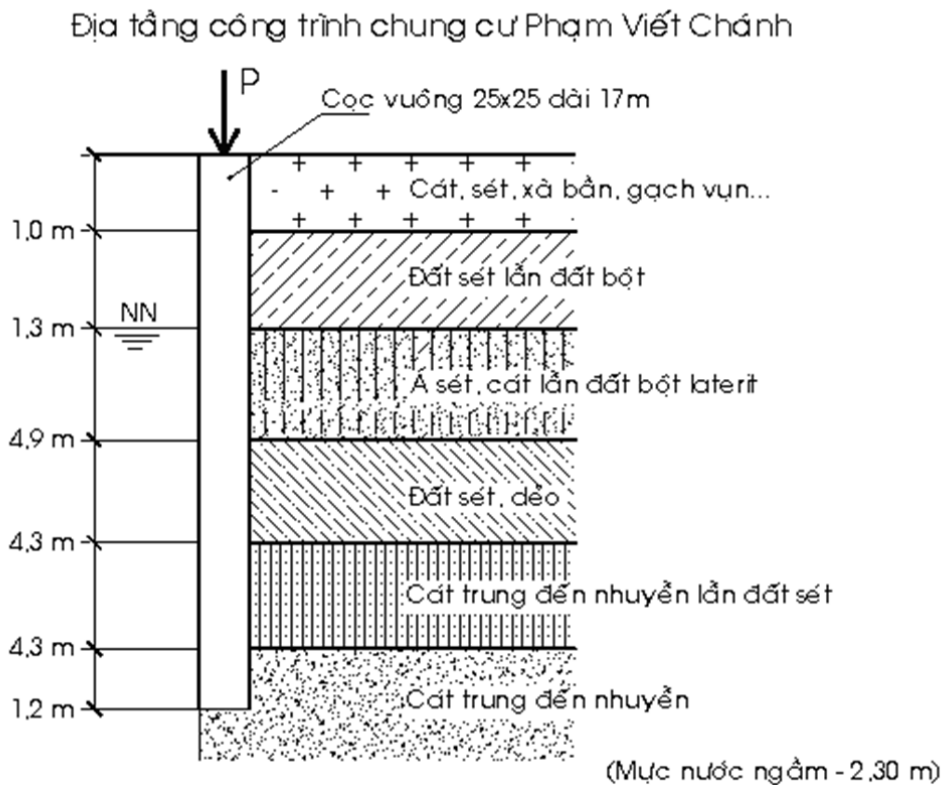
$$P_u = P_{ub} + P_{um} = 752,8 + 342,0 = 1094,8 \text{ kN}$$



Hình 7: Đường cong tải – lún tính toán và thí nghiệm nén tĩnh chung cư Ngô Tất Tố

6.3 Công trình chung cư Phạm Viết Chánh

1. Số liệu xuất phát:



Hình 8: Sơ đồ cọc – đất chung cư Phạm Viết Chánh

Bảng 14: Chỉ tiêu các lớp đất nền

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị tính	Lớp Thứ 2	Lớp Thứ 3	Lớp Thứ 4	Lớp Thứ 5	Lớp Thứ 6
Phân loại theo TCVN			Sét CH	SM	CH	Á Cát SC	Cát SM
Chiều dày lớp đất	h_i	m	1,300	4,900	4,300	4,300	1,200
Độ ẩm tự nhiên	W	%	37,400	19,40	59,400	20,800	15,600
Giới hạn dẻo	Wd	%	29,900	-	30,400	17,200	-
Chỉ số dẻo	I_p	%	31,600	-	30,900	16,800	-
Độ sệt	B		0,240	-	0,940	0,21	-
Dung trọng ướt tiêu chuẩn	γ_{tc}	kN/m ³	17,39	19,82	16,240	19,95	19,65
Hệ số rỗng	e		1,123	0,605	1,635	0,614	0,566
Dung trọng khô	γ_k	kN/m ³	12,65	16,60	10,19	16,51	17,60
Lực dính tiêu chuẩn	C_{tc}	kN/cm ²	14,0	-	10,7	4,0	1,0
Góc ma sát trong t/chiều	ϕ	Độ	4°34'	30°58'	4°43'	26°34'	30°32'
Hệ số poisson	μ		0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
Modul đàn hồi	E	kN/m ²	10 000	20 000	15 000	30 000	40 000

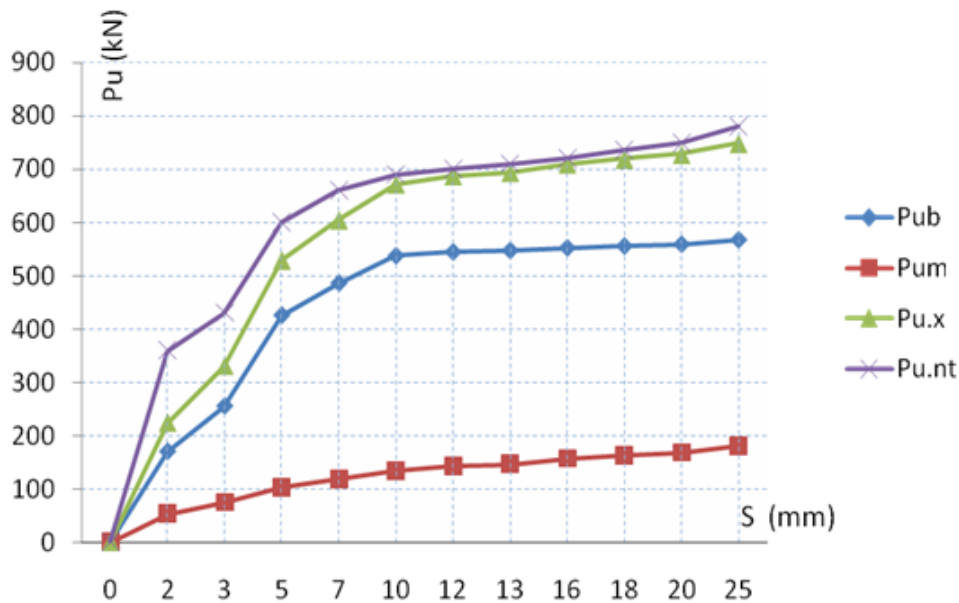
2. Kết quả tính toán theo phương pháp Xaratov

Bảng 15: Mối quan hệ giữa các sức chịu tải với độ lún

Độ lún S (mm)	P_{ub} (kN)	P_{um} (kN)	F_{ux} (kN)	$P_{u,nt}$ (kN)
0	0	0	0	0
2	170.277	54.000	224.277	360
3	255.415	75.364	330.779	430
5	425.692	102.872	528.564	600.000
7	485.926	118.164	604.090	660.000
10	537.087	134.406	671.493	690.000
12	544.075	142.988	687.063	700.000
13	546.813	146.843	693.656	710.000
16	551.847	157.142	708.989	720.000
18	555.203	163.202	718.405	735.000
20	558.559	168.771	727.330	748.000
25	566.948	181.076	748.024	780.000

Theo TCXD 205 : 1998

$$P_u = P_{ub} + P_{um} = 531,5 + 190,6 = 722,1\text{kN}$$



Hình 9: Đường cong tải – lún tính toán và thí nghiệm nén tĩnh chung cư Phạm Viết Chánh

6.4 Nhận xét

- 1- Với giải thuật cụ thể đã kiến nghị và sử dụng các số liệu khảo sát địa chất công trình đã cho, đường cong tải - lún tính theo phương pháp Xaratov khá phù hợp với kết quả nén tĩnh cả về xu thế lẫn về giá trị.
- 2- Sức chịu tải giới hạn dự báo theo phương pháp Xaratov cũng không chênh nhiều so với kết quả tính theo Phụ lục A, TCXD 205: 1998.

VII. Kết luận:

- 6.1. Có thể tóm tắt bản chất cơ học của phương pháp Xaratov như sau: chấp nhận cơ chế tạo lỗ – chèn đất khi đóng cọc vào trong môi trường đất đã dẫn đến tạo sinh áp lực nằm ngang p_p có phương vuông góc với mặt bên cọc. Dưới tác dụng của tải trọng nén dọc trục, trên mặt bên cọc, áp lực p_p giảm xuống, đạt giá trị p' quyết định giá trị sức kháng mặt bên giữa cọc với đất; ngược lại, trên mặt bên mũi cọc, áp lực p_p tăng lên đến giá trị p_F , quyết định giá trị sức kháng mũi cọc. Thông qua cơ chế chuyển hoá áp lực ngang p_p , phương pháp dự báo sức chịu tải giới hạn của cọc nói trên dẫn đến các công thức hoàn toàn dựa trên các đặc trưng vật lý – cơ học ban đầu của các lớp đất mà cọc xuyên qua. Không chỉ có thế, cách tính này còn cho phép xây dựng các đường cong tải lún của cọc, là một công cụ cần thiết và hữu ích giúp phân tích chuyển vị – nội lực của cọc cũng như móng cọc.
- 6.2. Một nội dung quan trọng về mặt thực hành là đề xuất một thuật toán hợp lý để giải các phương trình (5) và (14) cũng như trình tự các bước tính để xác định giá trị các sức chịu tải giới hạn thành phần gắn chặt với đặc trưng vật lý – cơ học của các lớp đất.

Hy vọng rằng với giải thuật này, việc áp dụng phương pháp Xaratov để dự báo sức chịu tải của cọc vào trong thực tiễn thiết kế móng cọc sẽ dễ dàng hơn, thuận lợi hơn.

6.3. Ở hai ví dụ bằng số có dẫn ra độ chênh sai giữa kết quả tính theo phương pháp Xaratov với cách tính theo TCXD 205-1998 (Phụ lục A). Các đặc trưng vật lý – cơ học của đất dùng trong các tính toán này không phải là số liệu từ khảo sát địa chất công trình mà được chọn dùng có đối chiếu với giá trị tiêu chuẩn và thực tế. Độ chênh sai thu được ở đây cũng nằm trong phạm vi đánh giá của các tác giả phương pháp này [1] và hoàn toàn có thể chấp nhận được.

Năm 2000, chúng tôi đã dùng phương pháp Xaratov phân tích sức chịu tải của gần 40 số liệu nén tĩnh cọc đóng bê tông cốt thép tiết diện vuông 40x40cm của các công trình bến thuộc dự án nâng cấp cảng Sài Gòn. Những nhận xét rút ra được từ các tính toán này cũng giống như những gì đã thấy ở ba trường hợp nén tĩnh cọc dưới các chung cư cao tầng nêu ở phần cuối của bài báo.

6.4. Tuy vậy, cần nhấn mạnh rằng, giá trị đúng đắn của các đặc trưng vật lý – cơ học của đất có ý nghĩa quyết định đối với độ chính xác của dự báo; đặc biệt là hệ số nở hông, môđun biến dạng, môđun đàn hồi và các tham số sức chống cắt của đất (c , φ). Đối với các đất dính mà lực dính lớn thì rất có thể phương pháp này cho kết quả chênh cao nhiều hơn so với TCXD 205-1998.

Tiếc rằng, các tác giả của phương pháp Xaratov đã không có bất kỳ hướng dẫn hay khuyến nghị nào về các phương pháp thí nghiệm đất hợp lý để bảo đảm độ tin cậy của kết quả dự báo.

Nhân đây tác giả cảm ơn Ths. Trần Thanh Xa đã thực hiện các tính toán và cung cấp số liệu cho toàn bộ nội dung mục VI.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F.K. Lapshin, E.F. Rikkert và A.B. Xavinov: “Tính toán nền cọc đơn theo số liệu khảo sát địa chất công trình”, tr. 51-59. Maxcova, Nhà xuất bản Xây dựng, 1990 (Tiếng Nga).
- [2]. Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế TCXD 205 -1998.
- [3]. D.D. Barkan: “Dynamics of Bases and Foundations” – Mc Graw Hill, 1962.
- [4]. I.P. Lam and G.R. Martin (1986): “Seismic Design of Highway Bridge Foundations”. Vol.2, Report No. FHWA/RD – 86/102, Federal Highway Administration, Mc Lean, Virginia.
- [5]. B.I. Dalmatov, F.K. Lapshin, U.V. Roxsikhin: “Thiết kế móng cọc trong điều kiện đất yếu”. Nhà xuất bản Xây dựng, Leningrad, 1975 (Tiếng Nga).
- [6]. Phan Dũng:
“Về một phương pháp dự báo sức chịu tải dọc trục của cọc dựa trên các đặc trưng vật lý – Cơ học của đất”.
Tạp chí khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải, No.1/2007, Trường Đại học Giao thông Vận tải Tp.Hồ Chí Minh, tr.22 -30.