

# CÁCH ỨNG DỤNG LỜI GIẢI CỌC CHỊU LỰC NGANG TRONG TCXD 205-1998 KHI HỆ SỐ NỀN PHÂN BỐ DẠNG HÌNH THANG THEO CHIỀU SÂU ĐÓNG CỌC

Ts. Phan Dũng

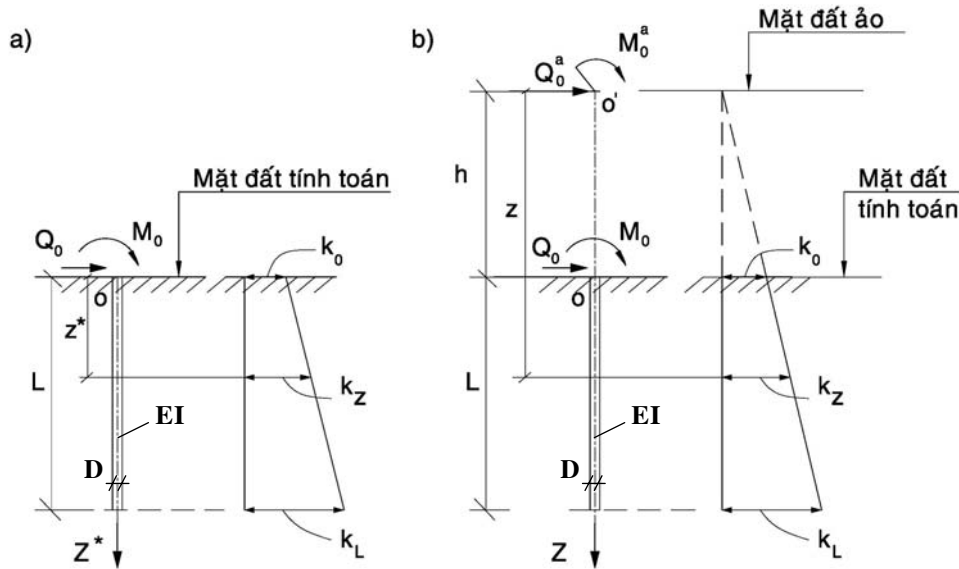
## 1. Đặt vấn đề

1.1 Trong thực tế thiết kế ta có thể gặp trường hợp cọc và móng cọc chịu lực ngang đặt trong nền đào hoặc nền mà với các lý do có căn cứ khoa học xác đáng, phân bố hệ số nền theo chiều sâu đóng cọc cần được chấp nhận quy luật hình thang. Khi đó, giá trị hệ số nền tại mức mặt đất tính toán khác không và biến đổi tuyến tính theo chiều sâu đóng cọc.

1.2 Chuyển vị – nội lực của cọc chịu lực ngang trong nền đất như thế, GS-TS. Lê Đức Thắng đã cho lời giải trong [1], có thể tóm tắt như sau:

### 1. Đặt bài toán:

Xét một cọc không có chiều cao tự do ( $L_0 = 0$ ), chịu lực ngang tại mức mặt đất tính toán (điểm 0) là đầu cọc thực:  $Q_0$  và  $M_0$ . Quy luật phân bố hệ số nền theo chiều sâu đóng cọc có dạng hình thang: tại mức mặt đất (đầu cọc thực) nhận giá trị  $k_0$ , ở chân cọc:  $k_L$ , biến đổi giữa hai giá trị này theo hệ số tỷ lệ của hệ số nền  $k$  ( $\text{kN}/\text{m}^4$ ) ghi trong bảng G.1 [2] (xem hình 1a). Yêu cầu tìm chuyển vị – nội lực trong cọc.



Hình 1: Sơ đồ tính cọc chịu lực ngang khi biểu đồ hệ số nền phân bố hình thang của GS-TS. Lê Đức Thắng

a - Sơ đồ hệ cọc - đất thực (biểu đồ hệ số nền hình thang).

b - Sơ đồ hệ cọc - đất ảo (biểu đồ hệ số nền hình tam giác).

## 2. Cách giải của GS-TS. Lê Đức Thắng:

Ý tưởng của GS-TS. Lê Đức Thắng về cách giải bài toán này được mô tả trên hình 1b: Nếu ta xác định được vị trí mặt đất tính toán ảo để biểu đồ hệ số nền trở thành dạng tam giác, tại đó gọi là đầu cọc ảo (điểm  $O'$ ) chịu các lực ngang ảo:  $Q_0^a$  và  $M_0^a$ , được suy ra từ  $Q_0$  và  $M_0$  dựa trên điều kiện hệ ảo tương đương với hệ thực, thì hoàn toàn có thể sử dụng các công thức tính cọc chịu lực ngang của TCXD 205:1998 để xác định chuyển vị – nội lực trong cọc của hệ thực.

1.3 Dựa trên ý tưởng của GS-TS. Lê Đức Thắng, bài báo này giới thiệu một cách khác đơn giản, tiện dụng và có tính hệ thống để giải bài toán cọc chịu lực ngang với biểu đồ hệ số nền hình thang cho hai trường hợp: cọc không có chiều cao tự do ( $L_0 = 0$ ) và có chiều cao tự do ( $L_0 \neq 0$ ).

## 2. Các công thức tính đối với cọc không có chiều cao tự do

### 2.1. Các lực ngang ảo

Mối quan hệ giữa  $Q_0^a$  và  $M_0^a$  với  $Q_0$  và  $M_0$  được xác lập dựa trên các phương trình (G.17) và (G.18) [2] viết lại như sau:

$$\alpha^2 EI \left[ y_0^a A_3 - \frac{\varphi_0^a}{\alpha} B_3 \frac{C_3}{\alpha^2 EI} M_0^a + \frac{D_3}{\alpha^3 EI} Q_0^a \right] = M_0 \quad (1)$$

$$\alpha^3 EI \left[ y_0^a A_4 - \frac{\varphi_0^a}{\alpha} B_4 \frac{C_4}{\alpha^2 EI} M_0^a + \frac{D_4}{\alpha^3 EI} Q_0^a \right] = Q_0 \quad (2)$$

Thế chuyển vị nằm ngang  $y_0^a$  và chuyển vị xoay  $\varphi_0^a$  tại mặt đất ảo theo các công thức (G.9) đến (G.13) [2] vào (1) và (2) rồi sắp xếp lại sẽ thu được dạng gọn của hệ phương trình chứa các lực ảo:

$$A_q Q_0^a + \alpha B_q M_0^a = Q_0 \quad (3)$$

$$\frac{A_m}{\alpha} Q_0^a + B_m M_0^a = M_0 \quad (4)$$

Ở đây, giống như trong [5]:

$$\left. \begin{aligned} A_q &= A_0 A_4 - B_0 B_4 + D_4 \\ B_q &= B_0 A_4 - C_0 B_4 + C_4 \\ A_m &= A_0 A_3 - B_0 B_3 + D_3 \\ B_m &= B_0 A_3 - C_0 B_3 + C_3 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Giải hệ phương trình này, ta có:

$$Q_0^a = \frac{B_m Q_0 - \alpha B_q M_0}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (6)$$

$$M_0^a = -\frac{\alpha^{-1} A_m Q_0 - A_q M_0}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (7)$$

## 2.2. Đầu cọc tự do:

Chuyển vị – nội lực trong cọc được tính theo trình tự sau:

Bước 1: Tính hệ số biến dạng và chiều sâu đóng cọc tính đối  $\bar{L} = \alpha(L + h)$

Bước 2: Tìm chiều cao tính đối của mặt đất ảo  $\bar{z} = \bar{h} = \alpha h$

Bước 3: Tra bảng 4 trong [5] để có giá trị hệ số  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $A_q$ ,  $B_q$  khi  $\bar{L} \geq 5$

Bước 4: Xác định giá trị lực ảo  $Q_0^a$  và  $M_0^a$  theo (6) và (7).

Bước 5: Tính chuyển vị – nội lực trong cọc tại tiết diện có độ sâu khác nhau nhờ công thức (37) đến (41) trong [5] với  $Q_0$  và  $M_0$  được thay bằng  $Q_0^a$  và  $M_0^a$ :

$$y_z = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_y Q_0^a + \frac{1}{\alpha^2 EI} B_y M_0^a \quad (8)$$

$$\varphi_z = \frac{1}{\alpha^2 EI} A_\varphi Q_0^a + \frac{1}{\alpha EI} B_\varphi M_0^a \quad (9)$$

$$M_z = \frac{1}{\alpha} A_m Q_0^a + B_m M_0^a \quad (10)$$

$$Q_z = A_m Q_0^a + \alpha B_q M_0^a \quad (11)$$

$$p_z = \frac{\alpha}{d_{tt}} A_p Q_0^a + \frac{\alpha^2}{d_{tt}} B_p M_0^a \quad (12)$$

Các hệ số  $(A, B)_{y,\varphi,m,q,p}$  tra ở bảng 4 ứng với  $\bar{z} \geq \alpha h$

Chú ý rằng  $\varphi_z$  và  $p_z$  theo (9) và (12) sẽ có dấu ngược với dấu của chúng nếu tính theo TCXD 205-1998.

### 2.3. Các hệ số độ mềm đầu cọc: $\delta_{HH}^*$ , $\delta_{HM}^*$ , $\delta_{MH}^*$ , $\delta_{MM}^*$

1. Gán  $Q_0 = 1$  và  $M_0 = 0$  vào (3) và (4) sẽ nhận được dạng mới của (6) và (7) như sau:

$$\bar{Q}_{0q}^a = \frac{B_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (13)$$

$$\bar{M}_{0q}^a = -\frac{1}{\alpha} \times \frac{A_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (14)$$

Nếu thế (13) và (14) vào (8) thì  $y_z = \delta_{HH}^*$ :

$$\delta_{HH}^* = \frac{1}{\alpha^3 EI} \frac{A_y B_m - B_y A_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (15)$$

Đặt: 
$$A_0^* = \frac{A_y B_m - B_y A_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (16)$$

Và viết lại (15):

$$\delta_{HH}^* = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_0^* \quad (17)$$

Tương tự như thế, nếu thế (13) và (14) vào (9) thì  $\varphi_z = \delta_{HM}^*$ :

$$\delta_{HM}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} \frac{A_\varphi B_m - B_\varphi A_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (18)$$

Đặt:

$$B_{0q}^* = \frac{A_\varphi B_m - B_\varphi A_m}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (19)$$

Và viết lại (18):

$$\delta_{HM}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_{0q}^* \quad (20)$$

2. Gán  $Q_0 = 0$  và  $M_0 = 1$  vào (3), (4) thì các nghiệm (6) và (7) lại trở thành:

$$\bar{Q}_{0m}^a = -\alpha \frac{B_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (21)$$

$$\bar{M}_{0m}^a = \frac{A_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (22)$$

Sử dụng (21), (22) và làm tương tự như trên ta nhận được kết quả cuối cùng sau:

$$\delta_{MH}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} \frac{B_y A_q - A_y B_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (23)$$

Đặt

$$B_{0m}^* = \frac{B_y A_q - A_y B_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (24)$$

Thì

$$\delta_{MH}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_{0m}^* \quad (25)$$

Sau cùng:

$$\delta_{MM}^* = \frac{1}{\alpha EI} \frac{B_\varphi A_q - A_\varphi B_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (26)$$

Đặt:

$$C_0^* = \frac{B_\varphi A_q - A_\varphi B_q}{A_q B_m - A_m B_q} \quad (27)$$

$$\text{thì:} \quad \delta_{MM}^* = \frac{1}{\alpha EI} C_0^* \quad (28)$$

### 3. Kết luận công thức các hệ số độ mềm:

Như đã nói trước đây, vì quy ước dấu của góc xoay đang tính ngược dấu với TCXD 205-1998 nên các đại lượng  $B_{0q}^*$  và  $C_0^*$  sẽ mang dấu âm, và do vậy  $\delta_{HM}^*$  và  $\delta_{MM}^*$  cũng sẽ là những đại lượng có giá trị âm. Muốn sử dụng kết quả trên để tính cọc chịu lực ngang theo TCXD 205-1998, ta phải chọn dùng giá trị tuyệt đối của chúng. Ngoài ra, theo định lý Mắcxoen thì:

$$|B_{0q}^*| = B_{0m}^* = B_0^* \quad (29)$$

Với những nhận xét như thế, công thức cuối cùng để tính các hệ số mềm đầu cọc khi biểu đồ hệ số nền có dạng hình thang sẽ là:

$$\delta_{HH}^* = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_0^* \quad (30)$$

$$\delta_{HM}^* = \delta_{MH}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_0^* \quad (31)$$

$$\delta_{MM}^* = \frac{1}{\alpha EI} C_0^* \quad (32)$$

Giá trị của các hệ  $A_0^*$ ,  $B_0^*$ ,  $C_0^*$  luôn dương, có thể tính trực tiếp hoặc tra trong bảng 1, phụ thuộc chiều sâu chôn cọc tính đối  $\bar{z}$ .

### 2.4. Đầu cọc ngàm cứng, cho phép chuyển dịch nằm ngang dưới tác dụng của lực ngang $Q_0$ :

Chuyển vị ngang  $y_0$  và góc xoay  $\varphi_0$  của đầu cọc được tính giống như (G.9) và (G.10) trong [2]:

$$y_0 = \delta_{HH}^* Q_0 + \delta_{HM}^* M_0 \quad (33)$$

$$\varphi_0 = \delta_{HM}^* Q_0 + \delta_{MM}^* M_0 \quad (34)$$

#### 1. Momen ngàm $M_{ng}$ :

Điều kiện xác định giá trị momen ngàm:

$$\varphi_0 = 0 \quad (35)$$

Bảng 1: Giá trị các hệ số tính toán khi  $\bar{L} \geq 5,0$ 

$\bar{z}$	$A_0^*$	$B_0^*$	$C_0^*$	$D_0^*$	$E_0^*$
0	2,43148	1,62142	1,74882	0,927151	0,928179
0,1	2,14823	1,46810	1,66032	0,884227	0,850096
0,2	1,92845	1,34819	1,58969	0,848084	0,785072
0,3	1,75270	1,25154	1,53165	0,817119	0,730043
0,4	1,60890	1,17178	1,48277	-0,790264	0,682288
0,5	1,48891	1,10466	1,44087	-0,766662	0,642009
0,6	1,38719	1,04728	1,40438	0,745693	0,606208
0,7	1,29980	0,99752	1,37217	0,826965	0,574638
0,8	1,22387	0,95392	1,34346	0,709578	0,546542
1,0	1,15726	0,91530	1,31759	0,694677	0,521422
1	1,09835	0,88080	1,29410	0,680627	0,498853
1,1	1,05046	0,85432	1,27591	0,669577	0,478427
1,2	0,99880	0,82166	1,25290	0,655807	0,459950
1,3	0,95635	0,79600	1,23460	0,644743	0,443134
1,4	0,91802	0,77260	1,21759	0,634532	0,427780
1,5	0,88315	0,75100	1,20166	0,624969	0,413798
1,6	0,85145	0,73114	1,18675	0,616086	0,401005
1,7	0,82263	0,71286	1,17272	0,607869	0,389304
1,8	0,79633	0,69595	1,15949	0,600221	0,378606
1,9	0,77249	0,68046	1,14708	0,593211	0,368834
2	0,75085	0,66626	1,13544	0,586786	0,359898
2,1	0,73146	0,65350	1,12469	0,581049	0,351744
2,2	0,71415	0,64208	1,11478	0,575970	0,344331
2,3	0,69900	0,63229	1,10610	0,571639	0,337558
2,4	0,68602	0,62429	1,09888	0,568115	0,331352
2,5	0,67520	0,61814	1,09321	0,565420	0,325691
2,6	0,66673	0,61444	1,09018	0,563613	0,320423
2,7	0,66063	0,61330	1,08987	0,562728	0,315509

Từ đó suy ra:

$$M_{ng} = -\frac{1}{\alpha} \frac{B_0^*}{C_0^*} Q_0 = -\frac{1}{\alpha} D_0^* Q_0 \quad (36)$$

Hệ số  $D_0^*$  có thể tra ở bảng 1.

## 2. Chuyển vị-nội lực trong cọc:

Trạng thái chuyển vị-nội lực trong cọc, sau khi đã biết  $M_{ng}$ , được xác định giống như cọc có đầu tự do.

Các điểm đặc trưng của biểu đồ momen uốn có thể tìm như sau:

Điểm momen uốn bằng không lần thứ nhất  $\bar{Z}_{M=0}$  tra trong bảng 2, phụ thuộc vào giá trị hệ số  $t_q$ :

$$t_q = \alpha \frac{M_0^a}{Q_0^a} \quad (37)$$

Bảng 2: Giá trị hệ số  $t_q$  theo  $\bar{Z}_{M=0}$  khi  $\bar{L} \geq 5$

$\bar{Z}_{M=0}$	$t_q$	$\bar{Z}_{M=0}$	$t_q$	$\bar{Z}_{M=0}$	$t_q$
0,1	0,099636	1,2	0,98812	2,3	1,83825
0,2	0,197353	1,3	1,05476	2,4	1,95786
0,3	0,291954	1,4	1,12108	2,5	2,09680
0,4	0,382790	1,5	1,18774	2,6	2,26212
0,5	0,469653	1,6	1,25536	2,7	2,46528
0,6	0,552069	1,7	1,32465	2,8	2,72418
0,7	0,631919	1,8	1,39650	2,9	3,07005
0,8	0,707919	1,9	1,47187	3	3,56282
0,9	0,781069	2	1,55197	3,1	4,33090
1	0,851813	2,1	1,63833	3,2	9,00327
1,1	0,920656	2,2	1,73290	3,3	9,00327
				3,4	27,37290

Xác định giá trị momen uốn dương lớn nhất  $M_{\max}$  và vị trí xuất hiện nó có thể nhờ vào bảng 3.

Bảng 3: Giá trị các hệ số  $t_q$  và  $N_{mq}$  theo  $\bar{Z}_{M\max}$  khi  $\bar{L} \geq 5$

$\bar{Z}_{M\max}$	$N_{mq}$	$t_q$	$\bar{Z}_{M\max}$	$N_{mq}$	$t_q$
1,30	0,733146	0,051877	2,40	0,494101	1,139170
1,40	0,684304	0,123889	2,50	0,167000	1,217790
1,50	0,584364	0,274476	2,60	0,162084	1,298080
1,60	0,503262	0,405971	2,70	0,149351	1,381530
1,70	0,436784	0,522785	2,80	0,138410	1,470010
1,80	0,381822	0,628245	2,90	0,129049	1,565810
1,90	0,336017	0,724950	3,00	0,121132	1,672200
2,00	0,297643	0,814955	3,10	0,114555	1,793690
2,10	0,265145	0,899989	3,20	0,109304	1,936990
2,20	0,237636	0,981484	3,30	0,105494	2,112740
2,30	0,214177	1,060810	3,40	0,103390	2,339030

Hệ số  $t_q$  vẫn dùng (38) còn momen uốn lớn nhất được tính như sau:



$$M_{\max} = \frac{1}{\alpha} N_{\text{qm}} Q_0^a \quad (38)$$

3. Chiều dài chịu uốn của cọc  $L_u^*$ :

Thế (36) vào (33) và biến đổi đơn giản sẽ nhận được chuyển vị nằm ngang đầu cọc:

$$y_0 = \frac{1}{\alpha^3 EI} \frac{A_0^* C_0^* - B_0^{*2}}{C_0^*} Q_0 = \frac{1}{\alpha^3 EI} E_0^* Q_0 \quad (39)$$

Độ cứng chống chuyển vị ngang của đầu cọc sẽ bằng:

$$K_y = \frac{Q_0}{y_0} = \frac{\alpha^3 EI}{E_0^*} \quad (40)$$

Mặt khác, trong cơ học kết cấu, đã biết:

$$K_y = \frac{12EI}{L_u^{*3}} \quad (41)$$

Đồng nhất (40) với (41), ta nhận được chiều dài chịu uốn tính đổi:

$$\bar{L}_u^* = (12E_0^*)^{1/3} \quad (42)$$

Hệ số  $E_0^*$  tra ở bảng 1.

Chiều dài chịu uốn sẽ tính bởi:

$$L_u^* = \frac{\bar{L}_u^*}{\alpha} \quad (43)$$

### 3. Các công thức đối với cọc có chiều cao tự do

Chuyển vị nằm ngang  $\Delta_n^*$  và chuyển vị xoay  $\psi^*$  của cọc tại mức đáy đài:

Xét một cọc có chiều cao tự do  $L_0^*$ , chịu lực ngang  $Q$  và momen  $M$  tại mức đáy đài, cần xây dựng công thức các chuyển vị  $\Delta_n^*$  và  $\psi^*$  (xem hình 2a). Cách làm giống như trong [6] nên ở đây chỉ xin dẫn ra các công thức cuối cùng:

$$\Delta_n^* = \bar{\delta}_{HH}^* Q + \bar{\delta}_{HM}^* M \quad (44)$$

$$\psi^* = \bar{\delta}_{MH}^* Q + \bar{\delta}_{MM}^* M \quad (45)$$

$$\bar{\delta}_{HH}^* = \frac{1}{\alpha^3 EI} \bar{A}_0^* \quad (46)$$

$$\bar{\delta}_{HM}^* = \bar{\delta}_{MH}^* = \frac{1}{\alpha^2 EI} \bar{B}_0^* \quad (47)$$

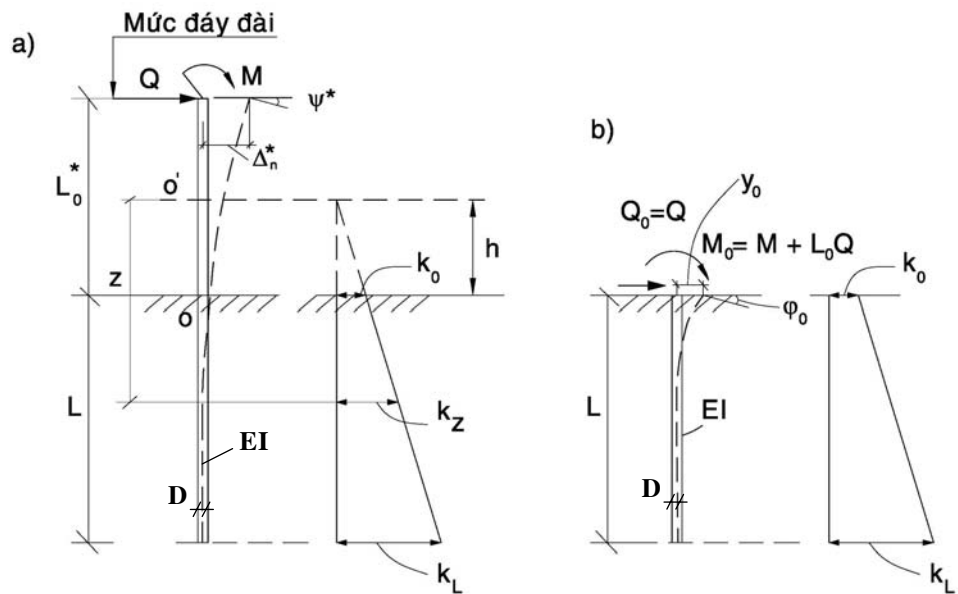
$$\bar{\delta}_{MM}^* = \frac{1}{\alpha EI} \bar{C}_0^* \quad (48)$$

$$\bar{A}_0^* = A_0^* + 2\bar{L}_0 B_0^* + \bar{L}_0^2 C_0^* + \frac{1}{3} \bar{L}_0^3 \quad (49)$$

$$\bar{B}_0^* = B_0^* + \bar{L}_0 C_0^* + \frac{1}{2} \bar{L}_0^2 \quad (50)$$

$$\bar{C}_0^* = C_0^* + L_0^* \quad (51)$$

$$\bar{L}_0^* = \alpha L_0^* \quad (52)$$



Hình 2: Các sơ đồ tính toán chuyển vị tại mức đáy đài của cọc chịu lực ngang với biên độ phân bố hệ số nền hình thang.

Công thức momen ngàm  $M_{ng}$  :

$$M_{ng} = -\alpha^{-1} \frac{\bar{B}_0^*}{\bar{C}_0^*} Q = -\alpha^{-1} \bar{D}_0^* Q \quad (53)$$

Công thức tính chiều dài cột uốn  $L_u^*$  :

$$L_u^* = \left[ 12 \left( \frac{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2}{\bar{C}_0} \right) \right]^{1/3} = (12\bar{E}_0)^{1/3} \quad (54)$$

$$L_u^* = \alpha^{-1} \bar{L}_u^* \quad (55)$$

#### 4. Ví dụ

4.1. Ví dụ 1: Cọc chịu lực ngang, không có chiều cao tự do.

1. Đầu bài: dùng số liệu về cọc, đất nêu ở mục §7.4, trang 196 [1] còn tải trọng ngang lấy ở bảng 7.2:  $Q_0 = 21,1T$  và  $M_0 = 9T$
2. Giải:

##### Chuyển vị – nội lực trong cọc:

Bước 1: Chiều sâu đóng cọc tính đổi:  $\bar{L}^* = \alpha L^* \approx 5,0$

Bước 2: Chiều sâu tính đổi của đầu cọc thực:  $\bar{z} = \alpha h \approx 1,9$

Bước 3: Tra bảng 4 trong [5] ứng với  $\bar{z} = 1,9$

$$A_y = 0,18911; B_y = -0,05453$$

$$A_\varphi = 0,5292418911; B_\varphi = -0,19836$$

$$A_m = 0,66215; B_m = 0,44987$$

$$A_q = -0,33845; B_q = -0,46686$$

Bước 4: Hệ phương trình chứa lực ngang ảo:

$$1,39891Q_0^a + 0,44987M_0^a = 9$$

$$-0,33845Q_0^a - 0,22098M_0^a = 21,1$$

$$Q_0^a = 73,1875T$$

$$M_0^a = -207,577Tm$$

Bước 5: Chuyển vị-nội lực trong cọc ghi ở bảng 2.

Bảng 2: Kết quả tính toán

<b>z</b> (m)	$\frac{-}{z}$	<b>y</b> $10^{-3}$ (m)	$\varphi$ $10^{-3}$ (rad)	<b>M</b> (Tm)	<b>Q</b> (T)	<b>P</b> (T/m <sup>2</sup> )
4	1,9	13,441	-6,377	9,000	21,100	-21,582
5	2,4	7,322	-5,025	22,560	5,527	-14,851
6	2,8	3,692	-3,550	23,577	-2,427	-8,735
7	3,3	0,864	-1,833	18,135	-6,980	-2,400
8	3,8	0,482	-0,538	10,368	-7,170	1,550
9	4,3	0,958	-0,222	3,831	-4,936	3,483
10	4,7	1,077	-0,091	0,741	-2,293	4,277
10,5	5	-1,128	-0,097	0,000	0,000	4,769

Các hệ số độ mềm cọc:

Bước 1: Tính giá trị các hệ số

$$A_0^* = 0,772484$$

$$B_0^* = 0,680456$$

$$C_0^* = 1,14708$$

Bước 2: Giá trị các hệ số độ mềm đầu cọc:

$$\delta_{HH}^* = 5,41 \times 10^{-4}$$

$$\delta_{HM}^* = \delta_{MH}^* = 2,25 \times 10^{-4}$$

$$\delta_{MM}^* = 1,8 \times 10^{-4}$$

Bước 3: Ứng dụng tính chuyển vị ngang  $y_0$  và chuyển vị xoay  $\varphi_0$  đầu cọc:

$$y_0 = 5,41 \times 10^{-4} \times 21,1 + 2,25 \times 10^{-4} \times 9 = 0,01344 \text{ m}$$

$$\varphi_0 = 2,25 \times 10^{-4} \times 21,1 + 1,8 \times 10^{-4} \times 9 = 0,006318 \text{ rad.}$$

Nhận xét: Kết quả tính trùng khớp với con số ghi ở dòng đầu Bảng 2.

Bước 4: Ứng dụng tính độ cứng chống chuyển vị ngang đầu cọc:

$$\rho_2 = \frac{\delta_{MM}^*}{\delta_{HH}^* \delta_{MM}^* - \delta_{HM}^2} = 3849,86 \text{ T/m}$$

$$\rho_3 = \frac{\delta_{HM}^*}{\delta_{HH}^* \delta_{MM}^* - \delta_{HM}^2} = 4812,326 \text{ T}$$

$$\rho_4 = \frac{\delta_{HH}^*}{\delta_{HH}^* \delta_{MM}^* - \delta_{HM}^2} = 11571,0 \text{ Tm}$$

Chiều dài chịu uốn của cọc  $L_u^*$ :

Bước 1: Chiều dài chịu uốn tính đối:  $\bar{L}_u^* = 1,64237$

Bước 2: Chiều sâu đóng cọc tính đối:  $L_u^* = 3,47 \text{ m}$

4.2. Ví dụ 2: Cọc chịu lực ngang, có chiều cao tự do.

1. Đầu bài:

Cho một cọc ống thép đóng thẳng đứng chịu lực ngang biểu diễn trên hình 2a với các tham số sau:

- Tải trọng đầu cọc:  $Q=50\text{kN}$ ,  $M=50\text{kNm}$ .
- Cọc ống thép:  $D=0,7\text{m}$ ;  $t=12\text{mm}$ ;  $L_0^* = 14,8 \text{ m}$ ;  $L=24\text{m}$
- Biểu đồ hệ số nền:  $k_0 = 24800 \text{ kN/m}^3$ ;  $k_L = 173600\text{kN/m}^3$ ;  $h=4\text{m}$  và  $k = 6200\text{kN/m}^4$

Yêu cầu tính chuyển vị tại mức mặt đất và mức đáy đài (chân cọc tựa trong đất).

2. Giải:

Bước 1: Hệ số biến dạng:  $\alpha = \sqrt[5]{\frac{6200 \times 1,55}{322371}} \approx 0,495 \text{ m}^{-1}$

Bước 2: Chiều sâu đóng cọc tính đối:  $\bar{L}^* = 0,495(4 + 24) = 13,86$ ; chọn  $\bar{L}^* = 5,0$

Bước 3: Chiều cao tính đối điểm O':  $\bar{h} = 0,495 \times 4 \approx 2,0$

Tra bảng 4 trong [5]:

$$A_y = 0,13944 ; B_y = -0,07219$$

$$A_\phi = -0,46477 ; B_\phi = -0,15569$$

$$A_m = 0,62664 ; B_m = 0,40377$$

$$A_q = -0,37034 ; B_q = -0,45443$$

Bước 4: Chuyển vị ngang  $y_0$  và chuyển vị xoay  $\phi_0$  tại mặt đất thực:

Giá trị các hệ số:

$$A_0^* = 0,750851$$

$$B_0^* = 0,666255$$

$$C_0^* = 1,13544$$

Giá trị các hệ số độ mềm:

$$\delta_{HH}^* = 0,19 \times 10^{-4}$$

$$\delta_{HM}^* = \delta_{MH}^* = 0,08 \times 10^{-4}$$

$$\delta_{MM}^* = 0,07 \times 10^{-4}$$

Giá trị các chuyển vị:

$$y_0 = 0,19 \times 10^{-4} \times 50 + 0,08 \times 10^{-4} \times 790 = 0,00727 \text{ m}$$

$$\varphi_0 = 0,08 \times 10^{-4} \times 50 + 0,07 \times 10^{-4} \times 790 = 0,00593 \text{ m}$$

Bước 5: Chuyển vị ngang  $\Delta_n^*$  và chuyển vị xoay  $\psi^*$  tại mức đáy đài:

Chiều cao tự do tính đổi  $\bar{L}_0^* = 0,495 \times 14,8 = 7,326$

Giá trị các hệ số:

$$\bar{A}_0^* = 196,256$$

$$\bar{B}_0^* = 35,0621$$

$$\bar{C}_0^* = 8,37144$$

Giá trị các hệ số độ mềm:

$$\bar{\delta}_{HH}^* = 5,019 \times 10^{-3}$$

$$\bar{\delta}_{HM}^* = \bar{\delta}_{MH}^* = 0,444 \times 10^{-3}$$

$$\bar{\delta}_{MM}^* = 0,052 \times 10^{-3}$$

Giá trị các chuyển vị:

$$\Delta_n^* = 5,019 \times 10^{-3} \times 50 + 0,444 \times 10^{-3} \times 50 = 0,27315 \text{ m}$$

$$\psi^* = 0,444 \times 10^{-3} \times 50 + 0,052 \times 10^{-3} \times 50 = 0,0248 \text{ rad.}$$

## 5. Kết luận

- 5.1. Theo các nguồn tài liệu tham khảo có được, ví dụ như [3] và [4], chuyển vị nội lực của cọc chịu lực ngang với biểu đồ hệ số nền dạng hình thang được xác định nhờ các bảng tính lập sẵn phụ thuộc vào tỷ số  $\frac{k_0}{k_L}$ . Bài toán này đã chọn ý tưởng xây dựng lời giải của GS-TS. Lê Đức Thắng, vì vừa đơn giản vừa thể hiện triết lý nhất quán với TCXD 205-1998 khi tính cọc chịu lực ngang.
- 5.2. Trên cơ sở ý tưởng này, bài báo giới thiệu cách thiết lập một hệ thống các công thức tính cọc chịu lực ngang với biểu đồ hệ số nền dạng hình thang:
1. Hoàn thiện các nội dung tính cọc chịu lực ngang không có chiều cao tự do. Đây là bài toán thực tế – cơ bản có tầm quan trọng đầu tiên.
  2. Dựa trên kết quả thu được, phát triển các công thức tính cọc chịu lực ngang có chiều cao tự do. Đây là trường hợp rất thường gặp trong thiết kế các móng cọc ngành cầu và ngành cảng.
  3. Dạng các công thức tính là rất quen thuộc, giống như trong TCXD 205-1998. Mọi phép tính có thể, nếu muốn, thực hiện trực tiếp và bắt đầu từ việc tìm giá trị các hệ số hàm ảnh hưởng  $(A, B, C, D)_{1,2,3,4}$  hoặc lập các bảng để tính toán đơn giản.
- 5.3. Theo các giả thiết đã được chấp nhận trong bài báo này, xin được lưu ý một số vấn đề sau đây:
1. Về điều kiện đúng của giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền  $k$  ( $\text{kN/m}^4$ ) trong bảng G.1 đối với trường hợp này sẽ là:

$$y_0^a \leq 0,01 \text{ m} \quad (56)$$

$$y_0^a = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_0 Q_0^a + \frac{1}{\alpha^2 EI} B_0 M_0^a \quad (57)$$

Để minh họa cho cách áp dụng các công thức này, ta sử dụng số liệu ví dụ 2.

Vì  $\bar{L}^* \geq 5,0$  nên  $A_0 = 2,43148$  và  $B_0 = 1,62142$ .

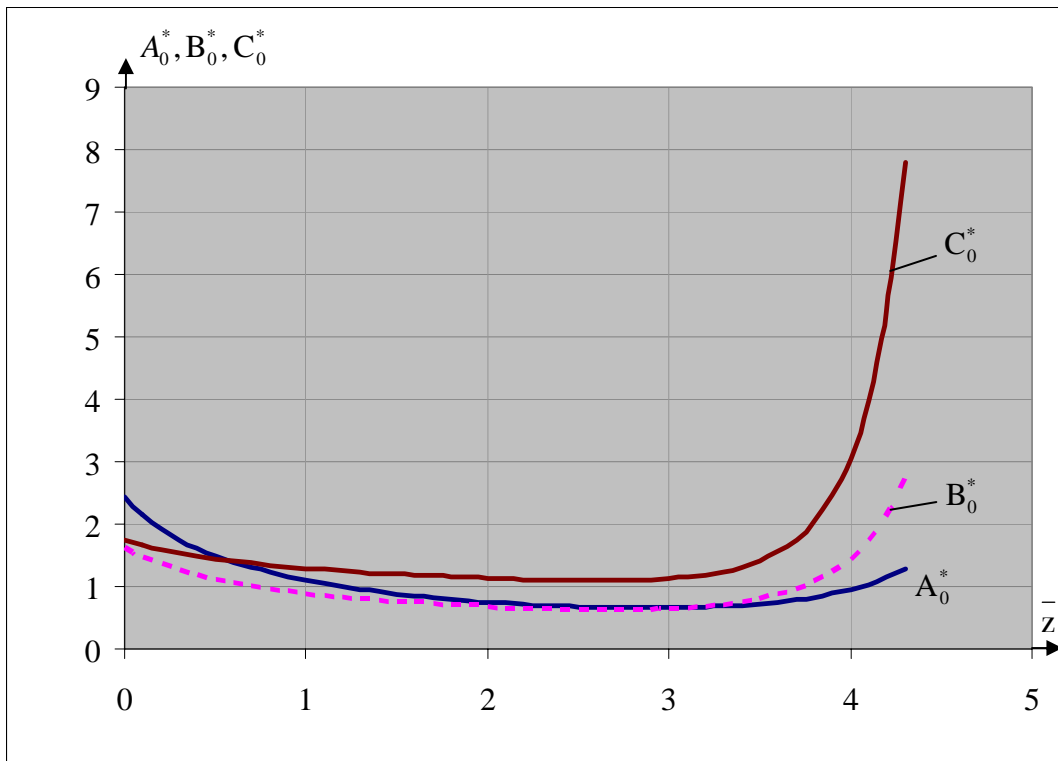
Từ (6) và (7) ta có:  $Q_0^a = 1463,36 \text{ kN}$  và  $M_0^a = -2631,52 \text{ kNm}$

Thế vào số (57) sẽ được:  $y_0^a = 0,0365 \text{ m}$

Như vậy điều kiện (56) không thỏa mãn.

2. Trường hợp nền không đồng nhất có thể vận dụng cách quy đổi về nền đồng nhất nêu trong [7].
3. Giới hạn của chiều dày lớp đất ảo  $h$ :

Giá trị của các hệ số  $A_0^*, B_0^*, C_0^*$  được tính theo (16), (19), (24) và (27), vẽ trên hình 3, cho thấy đồ thị của chúng là những đường cong lõm, có xu hướng tăng rất nhanh khi  $\bar{z}$  tiến gần đến 5,0. Vị trí điểm cực tiểu của đồ thị  $A_0^*$  là  $\bar{z} = 2,9$  còn của  $B_0^*$  và  $C_0^*$  :  $\bar{z} = 2,7$ .



Hình 3 : Đồ thị phụ thuộc của các hệ số  $A_0^*, B_0^*$  và  $C_0^*$  vào  $\bar{z}$

Chúng ta đều biết, vì bản chất cơ học của các hệ số độ mềm buộc giá trị của tất cả các hệ số  $A_0^*, B_0^*$  và  $C_0^*$  phải luôn dương và giảm dần theo chiều tăng của  $\bar{z}$ .

Do đó, giá trị giới hạn của chiều dày lớp đất ảo  $h$  được chọn như sau:

$$h \leq \frac{2,7}{\alpha} \quad (58)$$

Cũng có thể hiểu rằng bất đẳng thức (58) quy định giới hạn của cách giải bài toán cọc chịu lực ngang được đặt ra bởi GS-TS. Lê Đức Thắng.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [ Lê Đức Thắng :  
1]        Tính toán móng cọc. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, 1989,  
220 trang.
- [ TCXD 205 : 1998. Móng cọc- Tiêu chuẩn thiết kế.  
2]
- [ Ignatius (Po) Lam, Geoffrey R.Martin :  
3]        Seismic design of Highway Bridge Foundations FHWA No. RD-  
86/102,1986.
- [ Missouri Department of Transportation Bridge Division.  
4]        Bridge Design Manual, 2002.
- [ Phan Dũng:  
5]        “Chuyển vị-nội lực của cọc chịu lực ngang theo TCXD 205:1998-Mối  
liên hệ giữa lời giải của URBAN với của MATLOCK-REESE và các ứng  
dụng”.  
      Tạp chí Biển & Bờ, No. 5+6/2009, Hội cảng – Đường thủy- Thêm lục  
địa Việt Nam, tr 38-49.
- [ Phan Dũng:  
6]        “Chuyển vị nằm ngang và xoay của cọc ở mức đáy đài theo TCXD  
205:1998-Một dạng khác của công thức tính và các ứng dụng”. tạp chí Biển  
& Bờ, No. 3+4/2009, Hội cảng – Đường thủy- Thêm lục địa Việt Nam, tr50-  
58.
- [ Hướng dẫn thiết kế móng cọc. Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Văn Quang,  
7]        Trịnh Việt Cường biên dịch, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 1993.