

CHUYỂN VỊ NẪM NGANG VÀ CHUYỂN VỊ XOAY CỦA CỌC Ở MỨC ĐÁY ĐÀI THEO TCXD 205: 1998 – MỘT DẠNG KHÁC CỦA CÔNG THỨC TÍNH VÀ CÁC ỨNG DỤNG

Ts. Phan Dũng

I. Đặt vấn đề

1.1. Như đã biết chuyển vị nằm ngang Δ_n và chuyển vị xoay ψ của cọc tại mức đáy đài được tính từ các tài liệu tiêu chuẩn sau:

1. Theo TCXD 205-1998 [1], đó là các công thức (G.7) và (G.8):

$$\Delta_n = y_0 + \varphi_0 L_0 + \frac{L_0^3}{3EI} Q + \frac{L_0^2}{2EI} M \quad (1)$$

$$\psi = \varphi_0 + \frac{L_0^2}{2EI} Q + \frac{L_0}{EI} M \quad (2)$$

2. Với những điều kiện nhất định, các đại lượng chuyển vị nói trên còn có thể tính gần đúng thông qua chiều dài chịu uốn của cọc, L_u theo các công thức (13) và (14) trong [2]:

$$\Delta_n = \frac{L_u^3}{3EI} Q + \frac{L_u^2}{2EI} M \quad (3)$$

$$\psi = \frac{L_u^2}{2EI} Q + \frac{L_u}{EI} M \quad (4)$$

Ký hiệu các đại lượng của những công thức trên rất quen thuộc xin xem ở tài liệu gốc đã dẫn.

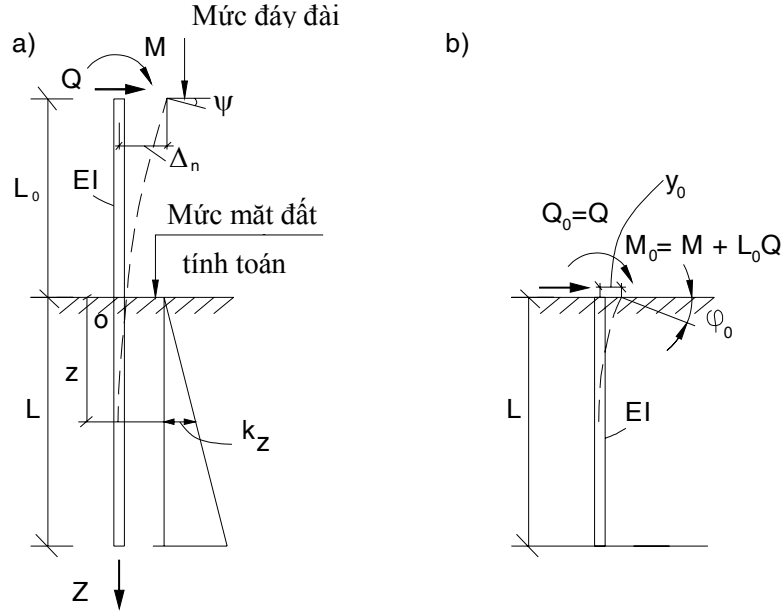
1.2. Chuyển vị của cọc chịu lực ngang là các tham số cần thiết đối với việc tính toán móng cọc theo trạng thái giới hạn thứ hai cũng như việc phân tích chuyển vị nội lực trong móng cọc hoặc tường cừ [6], [7].

Thực tế tính toán cho thấy bốn công thức trên chưa thật tiện dụng vì hoặc chứa đồng thời các thông số chuyển vị và lực hoặc phụ thuộc vào tham số L_u chưa chỉ dẫn cách xác định.

Mục tiêu của bài báo này là trình bày cách thiết lập một dạng khác của (1) và (2) đồng thời giới thiệu nhiều ứng dụng hữu ích trong việc tính toán móng cọc theo TCXD 205: 1998 (Phụ lục G).

II. Dạng khác của các công thức tính chuyển vị

Xét một cọc chịu lực ngang có chiều cao tự do L_0 (Hình 1a) cần tính Δ_n và ψ . Trước hết phải tìm chuyển vị nằm ngang và xoay tại mức mặt đất (Hình 1b) gồm y_0 và φ_0 theo các công thức (G.9) và (G.10) có sử dụng (G.11) đến (G.13):



Hình 1: Sơ đồ tính toán chuyển vị tại mức đáy đài của cọc chịu lực ngang.

$$y_0 = \left(\frac{A_0}{\alpha^3 EI} + \frac{L_0 B_0}{\alpha^2 EI} \right) Q + \frac{B_0}{\alpha^2 EI} M \quad (5)$$

$$\varphi_0 = \left(\frac{B_0}{\alpha^2 EI} + \frac{L_0 C_0}{\alpha EI} \right) Q + \frac{C_0}{\alpha EI} M \quad (6)$$

Thế (5) và (6) vào (1) và (2) rồi sắp xếp lại:

$$\Delta_n = \frac{1}{\alpha^3 EI} \left[A_0 + 2(\alpha L_0) B_0 + (\alpha L_0)^2 C_0 + \frac{1}{3} (\alpha L_0)^3 \right] Q + \frac{1}{\alpha^2 EI} \left[B_0 + (\alpha L_0) C_0 + \frac{1}{2} (\alpha L_0)^2 \right] M \quad (7)$$

$$\psi = \frac{1}{\alpha^2 EI} \left[B_0 + (\alpha L_0) C_0 + \frac{1}{2} (\alpha L_0)^2 \right] Q + \frac{1}{\alpha EI} [C_0 + (\alpha L_0)] M \quad (8)$$

$$\text{Đặt: } \bar{L}_0 = \alpha L_0 \quad (9)$$

Rồi lại đặt :

$$\bar{A}_0 = A_0 + 2B_0 \bar{L}_0 + C_0 \bar{L}_0^2 + \frac{1}{3} \bar{L}_0^3 \quad (10)$$

$$\bar{B}_0 = B_0 + C_0 \bar{L}_0 + \frac{1}{2} \bar{L}_0^2 \quad (11)$$

$$\overline{C}_0 = C_0 + \overline{L}_0 \quad (12)$$

Lúc này (7) và (8) sẽ có dạng:

$$\Delta_n = \frac{1}{\alpha^3 EI} \overline{A}_0 Q + \frac{1}{\alpha^2 EI} \overline{B}_0 M \quad (13)$$

$$\psi = \frac{1}{\alpha^2 EI} \overline{B}_0 Q + \frac{1}{\alpha EI} \overline{C}_0 M \quad (14)$$

Đối với cọc có chiều cao tự do ta nhận được các đại lượng hệ số độ mềm sau:

$$\overline{\delta}_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \overline{A}_0 \quad (15)$$

$$\overline{\delta}_{HM} = \overline{\delta}_{MH} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \overline{B}_0 \quad (16)$$

$$\overline{\delta}_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \overline{C}_0 \quad (17)$$

Khi $L_0 = 0$, các công thức này sẽ trở về (G.11) đến (G.13) vì theo (10), (11) và (12) thì $\overline{A}_0 = A_0$, $\overline{B}_0 = B_0$ và $\overline{C}_0 = C_0$.

Dạng cuối cùng của công thức tính chuyển vị nằm ngang và chuyển vị xoay của cọc ở mức đáy đài chỉ chứa các lực ngang sẽ là:

$$\Delta_n = \overline{\delta}_{HH} Q + \overline{\delta}_{HM} M \quad (18)$$

$$\psi = \overline{\delta}_{MH} Q + \overline{\delta}_{MM} M \quad (19)$$

III. Các đại lượng chuyển vị giới hạn của cọc chịu lực ngang

Ứng dụng các công thức (18) và (19) để xác định một số đại lượng chuyển vị giới hạn của cọc chịu lực ngang:

3.1. Momen ngàm tính toán M_{ng} :

Giá trị momen ngàm tính toán được tính theo công thức (G.20) [1]. Ta có thể tìm được dạng khác từ các công thức tính chuyển vị mới thu được ở trên kia.

Từ (19), đặt $\psi = 0$, suy ra:

$$M_{ng} = M = -\frac{\overline{\delta}_{MQ}}{\overline{\delta}_{MM}} Q \quad (20)$$

Thế (16), (17) vào (20) và đặt:

$$\overline{D}_0 = \frac{\overline{B}_0}{C_0}; \quad (21)$$

sẽ nhận được công thức tính momen ngàm:

$$M_{ng} = -\alpha^{-1} \overline{D}_0 Q \quad (22)$$

3.2. Chuyển vị nằm ngang giới hạn của cọc tại mức đáy đài xuất phát từ điều kiện chuyển vị nằm ngang giới hạn của cọc tại mức mặt đất tính toán.

Giá trị hệ số tỷ lệ của hệ số nền k (kN/m^4) trong bảng G.1 chỉ đúng khi chuyển vị nằm ngang của cọc tại mức mặt đất tính toán $y_0 \leq 0,01\text{m}$. Vì vậy, ở đây chọn giá trị chuyển vị nằm ngang giới hạn:

$$y_{0,gh} = 0,01\text{m} \quad (23)$$

Trong trường hợp cọc có chiều cao tự do, chịu lực ngang Q và đầu ngàm cứng vào đáy bệ thì:

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= Q \\ M_0 &= (\overline{L}_0 - \alpha^{-1} \overline{D}_0) Q \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Thế (24) vào (G.9) ta được chuyển vị nằm ngang tại mức mặt đất:

$$y_0 = \frac{1}{\alpha^3 EI} [A_0 + B_0 (\overline{L}_0 - \overline{D}_0)] Q \quad (25)$$

Mặt khác, nếu thế (22) vào (18) có chú ý đến (15) và (16) và sau một số biến đổi đơn giản ta nhận được chuyển vị nằm ngang của cọc đầu ngàm cứng vào mức đáy bệ:

$$\Delta_n = \frac{1}{\alpha^3 EI} (\overline{A}_0 - \overline{B}_0 \overline{D}_0) Q \quad (26)$$

Dựa vào (25) và (26) ta lập tỷ số giữa hai chuyển vị nằm ngang như sau:

$$\frac{\Delta_n}{y_0} = \frac{\overline{A}_0 - \overline{B}_0 \overline{D}_0}{A_0 + B_0 (\overline{L}_0 - \overline{D}_0)} \quad (27)$$

Chú ý rằng khi chấp nhận điều kiện (23): $y_0 = y_{0,gh}$ thì $\Delta_n = \Delta_{n,gh}^k$ và từ (27) ta thu được công thức tính chuyển vị nằm ngang giới hạn tại mức đáy đài theo chuyển vị nằm ngang giới hạn tại mặt đất:

$$\Delta_{n,gh}^k = \frac{\overline{A}_0 - \overline{B}_0 \overline{D}_0}{A_0 + B_0 (\overline{L}_0 - \overline{D}_0)} \cdot 10^{-2} \quad (28)$$

3.3. Chuyển vị nằm ngang giới hạn của cọc tại mức đáy xuất phát từ điều kiện bền chịu uốn của vật liệu làm cọc:

Điều kiện bền của vật liệu làm cọc được thỏa mãn nếu momen uốn lớn nhất trong cọc $M_{\max} = |M_{\text{ng}}|$ không vượt quá momen khả năng chịu lực chính của nó $[M]$, nghĩa là:

$$|M_{\text{ng}}| \leq [M]; \quad (29)$$

Và chọn: $|M_{\text{ng}}| = [M]$ (30)

Từ (22) rút ra được lực cắt Q:

$$Q = \alpha \frac{\bar{C}_0}{\bar{B}_0} |M_{\text{ng}}| \quad (31)$$

Sử dụng điều kiện (30), viết lại (31):

$$Q = \alpha \frac{\bar{C}_0}{\bar{B}_0} [M] \quad (32)$$

Chuyển vị nằm ngang theo (19), khi Q thỏa mãn phương trình (32) còn M thỏa mãn đẳng thức (30) thì $\Delta_n = \Delta_{n,\text{gh}}^{\text{VL}}$; nghĩa là:

$$\Delta_{n,\text{gh}}^{\text{VL}} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \left(\frac{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2}{\bar{B}_0} \right) [M] \quad (33)$$

Đặt $\bar{E}_0 = \frac{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2}{\bar{B}_0}$ (34)

Viết lại (33) để có công thức đơn giản tính chuyển vị nằm ngang giới hạn sau:

$$\Delta_{n,\text{gh}}^{\text{VL}} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \bar{E}_0 [M] \quad (35)$$

3.4. Chuyển vị nằm ngang giới hạn của cọc tại mức đáy đài xuất phát từ điều kiện bền của đất nền xung quanh cọc chịu lực ngang.

Cọc chịu lực ngang không chỉ cần thỏa mãn điều kiện bền về mặt vật liệu làm cọc (29) mà còn phải đảm bảo độ bền của đất nền xung quanh cọc theo điều kiện (G.14), nghĩa là áp lực nằm ngang lớn nhất của cọc lên đất $p_{\max}(z)$ xảy ra tại độ sâu $z = z_{\max}$ không được vượt quá áp lực nằm ngang cho phép của đất cũng chính tại độ sâu ấy $[p(z)]$:

$$p_{\max}(z) \leq [p(z)] \quad (36)$$

Và chọn: $p_{\max}(z) = [p(z)]$ (37)

Cách tìm giá trị $p_{\max}(z)$ đã được giới thiệu chi tiết trong [3] theo trình tự như sau:

- Tính tham số t_p :

$$t_p = \bar{L}_0 - \bar{D}_0 \quad (38)$$

- Tra bảng 3 để có được giá trị hệ số N_p và vị trí xảy ra áp lực max: \bar{Z}_{\max} .

- Giá trị áp lực đất lớn nhất được tính theo công thức sau:

$$p_{\max}(z) = \frac{\alpha N_p}{d_{tt}} Q \quad (39)$$

Nếu $p_{\max}(z)$ thỏa mãn điều kiện (37) thì $Q = Q_{gh}^{dn}$ và từ (39) ta rút ra:

$$Q_{gh}^{dn} = \frac{d_{tt}}{\alpha N_p} [p(z)] \quad (40)$$

Thế (40) vào (26) để nhận được $\Delta_n = \Delta_{n,gh}^{dn}$:

$$\Delta_{n,gh}^{dn} = \frac{1}{\alpha^3 EI} (\bar{A}_0 - \bar{B}_0 \bar{D}_0) \frac{d_{tt}}{\alpha N_p} [p(z)] \quad (41)$$

$$\text{Đặt} \quad \bar{F}_0 = \bar{A}_0 - \bar{B}_0 \bar{D}_0 \quad (42)$$

Viết lại (41) để có công thức đơn giản xác định chuyển vị nằm ngang giới hạn sau:

$$\Delta_{n,gh}^{dn} = \frac{1}{\alpha^4 EI} \bar{F}_0 \frac{d_{tt}}{N_p} [p(z)] \quad (43)$$

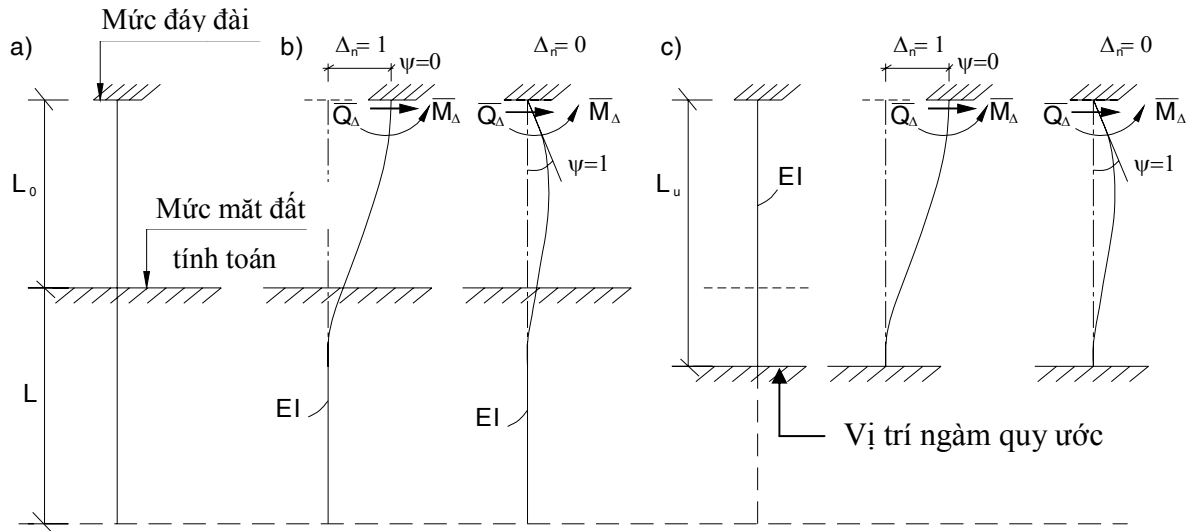
IV. Các tham số của cọc chịu lực ngang khi phân tích chuyển vị – nội lực của cọc

Ứng dụng các công thức (18) và (19) để xác định các tham số của cọc chịu lực ngang khi phân tích chuyển vị – nội lực của cọc:

4.1. Hai sơ đồ để xác định các tham số của cọc chịu lực ngang:

Khi phân tích chuyển vị – nội lực của móng cọc theo phương pháp chuyển vị ta cần phải xác định các hệ số độ cứng của hệ cọc – đất chịu lực ngang. Muốn thế, hệ cọc – đất có thể được xét theo một trong hai sơ đồ sau:

1. Sơ đồ chính xác (Hình 2b).
2. Sơ đồ gần đúng (Hình 2c).



Hình 2: Sơ đồ tính toán hệ cọc – đất chịu lực ngang

a – Sơ đồ hệ cọc – đất; b – Sơ đồ chính xác; c – Sơ đồ gần đúng.

Các tham số độ cứng của cọc chịu lực ngang bao gồm:

\bar{Q}_Δ và \bar{M}_Δ : phản lực ngang và momen phát sinh tại tiết diện đầu cọc khi đáy dài chuyển vị nằm ngang đơn vị, $\Delta_n = 1$ còn $\psi = 0$.

\bar{Q}_ψ và \bar{M}_ψ : phản lực ngang và momen phát sinh tại tiết diện đầu cọc khi đáy dài chuyển vị xoay đơn vị, $\psi = 1$ còn $\Delta_n = 0$.

Theo định lý L. Relây: $\bar{M}_\Delta = \bar{Q}_\psi$

Các tham số độ cứng nói trên được xác định trực tiếp nếu dùng sơ đồ chính xác, còn khi dùng sơ đồ gần đúng thì được tính gián tiếp qua tham số một “chiều dài chịu uốn” L_u .

4.2. Cách tính độ cứng chống chuyển vị ngang của đầu cọc theo sơ đồ chính xác:

Sử dụng đồng thời hệ các phương trình (18) và (19), gán điều kiện chuyển vị cưỡng bức: $\Delta_n = 1$, $\psi = 0$ thì $Q = \bar{Q}_\Delta$ và $M = \bar{M}_\psi$; nghĩa là:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\delta}_{HH} \bar{Q}_\Delta + \bar{\delta}_{HM} \bar{M}_\Delta &= 1 \\ \bar{\delta}_{MH} \bar{Q}_\Delta + \bar{\delta}_{MM} \bar{M}_\Delta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Giải hệ (45) có chú ý đến (15), (16) và (17) ta được:

$$\bar{Q}_\Delta = \alpha^3 EI \bar{H}_2 \quad (46)$$

$$\bar{M}_\Delta = -\alpha^2 EI \bar{H}_3 \quad (47)$$

với:
$$\bar{H}_2 = \frac{\bar{C}_0}{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2} \quad (48)$$

$$\bar{H}_3 = \frac{\bar{B}_0}{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2} \quad (49)$$

Làm tương tự như vậy với điều kiện chuyển vị cưỡng bức: $\psi = 1$, $\Delta_n = 0$, sẽ thu được:

$$\bar{M}_\psi = \alpha EI \bar{H}_4 \quad (50)$$

với
$$\bar{H}_4 = \frac{\bar{A}_0}{\bar{A}_0 \bar{C}_0 - \bar{B}_0^2} \quad (51)$$

Vận dụng kiến thức cơ học kết cấu có xét đặc điểm làm việc của hệ cọc – đất chịu lực ngang, người ta đem vào 3 chiều dài chịu uốn phân biệt: L_{u2} , L_{u3} và L_{u4} để xác định độ cứng chống chuyển vị ngang của đầu cọc:

$$\bar{Q}_\Delta = \frac{12EI}{L_{u2}^3} \quad (52)$$

$$\bar{M}_\Delta = \bar{Q}_\psi = -\frac{6EI}{L_{u3}^2} \quad (53)$$

$$\bar{M}_\psi = \frac{4EI}{L_{u4}} \quad (54)$$

Thực hiện đồng nhất tương ứng từng đôi một: (46) với (52), (47) với (53) và (50) với (54) sẽ thu được giá trị các chiều dài chịu uốn tính đối \bar{L}_{ui} :

$$\bar{L}_{u2} = \left(\frac{12}{\bar{H}_2} \right)^{1/3}, \quad (55)$$

$$\bar{L}_{u3} = \left(\frac{6}{\bar{H}_3} \right)^{0,5}, \quad (56)$$

và
$$\bar{L}_{u4} = \frac{4}{\bar{H}_4} \quad (57)$$

Giá trị chiều dài chịu uốn sẽ tìm được nhờ:

$$L_{ui} = \frac{\bar{L}_{ui}}{\alpha}, \quad (i = 2, 3, 4) \quad (58)$$

4.3. Cách tính các độ cứng chống chuyển vị ngang của đầu cọc theo sơ đồ gần đúng:

Ở sơ đồ gần đúng của hệ cọc – đất, người ta dùng một chiều dài chịu uốn chung L_u để tính các chuyển vị ngang Δ_n và xoay ψ theo (3) và (4).

Từ (3), nếu gán $\psi = 0$ thì (4) sẽ trở thành:

$$\Delta_n = \frac{QL_u^3}{12EI} \quad (59)$$

Đồng nhất (59) với (26) ta rút ra công thức tính chiều dài chịu uốn sau:

$$L_u = \alpha^{-1}[12(\bar{A}_0 - \bar{B}_0\bar{D}_0)]^{1/3} \quad (60)$$

Để thấy rằng giá trị chiều dài chịu uốn L_u tính theo (60) bằng giá trị chiều dài chịu uốn L_{u2} tính theo (58) nếu chú ý tới (55).

V. Kết luận

5.1. Chuyển vị nằm ngang và chuyển vị xoay của cọc tại mức đáy dài được tính bởi (1) và (2) theo TCXD 205 – 1998, sau một số phép biến đổi đơn giản đã trở thành một dạng khác: công thức (18) và (19).

Sự thay đổi về hình thức này khiến cho công thức tính chuyển vị ngang và chuyển vị xoay đầu cọc thể hiện được:

- Tính tổng quát theo quan điểm có hay không xét chiều cao của cọc.
- Tính nhất quán theo cách nhìn xuyên suốt qua hệ thống các công thức tính.
- Tính đơn giản vì trong chúng chỉ chứa các đại lượng lực.

5.2. Nhờ có những đặc tính như thế nên khả năng và phạm vi ứng dụng của các công thức (18) và (19) rất rộng lớn trong thiết kế tính toán móng cọc.

1. Chuyển vị và biến dạng của móng cọc thường được quy định bởi nhiều yếu tố như điều kiện sử dụng, cấu tạo công trình, điều kiện đất nền, vật liệu làm cọc v.v..., được ký hiệu $[\Delta_n]$. Các chuyển vị giới hạn: $\Delta_{n,gh}^k$, $\Delta_{n,gh}^{VL}$ và $\Delta_{n,gh}^{dn}$ được hiểu như là giá trị lớn nhất về chuyển vị nằm ngang của cùng một cọc theo điều kiện đang xét. Rõ ràng ba giá trị chuyển vị này đối với một cọc là khác nhau. Thiết kế hợp lý cọc chịu lực ngang nhằm tới mục tiêu giảm thiểu sự chênh lệch giữa chúng. Chuyển vị nằm ngang giới hạn thiết kế của một cọc $\Delta_{n,gh}$ sẽ được xác định như sau:

$$\Delta_{n,gh} = \min(\Delta_{n,gh}^k, \Delta_{n,gh}^{VL}, \Delta_{n,gh}^{dn}) \quad (61)$$

$$\text{và} \quad \Delta_{n,gh} \leq [\Delta_n] \quad (62)$$

Để đơn giản, khi thực hiện các tính toán các chuyển vị nằm ngang giới hạn có thể dùng bảng 1.

Bảng 1: Giá trị các hệ số tính toán chuyên vị giới hạn khi $\bar{L} \geq 4$

\bar{L}_0	\bar{A}_0	\bar{B}_0	\bar{C}_0	$\Delta^k_{n,gh} \cdot 10^2$	\bar{D}_0	\bar{E}_0	\bar{F}_0
0.0	2.4406	1.621	1.75058	1.0147	0.926	0.01	0.939586
0.5	4.5091	2.62129	2.25058	1.2774	1.1647	0.01092	1.48785
1.0	7.7665	3.87158	2.75058	1.6462	1.4076	0.01302	2.31706
1.5	12.36739	5.37187	3.25058	2.1118	1.6526	0.01591	3.48990
2.0	18.59357	7.12216	3.75058	2.6694	1.8989	0.01946	5.06895
2.5	26.69504	9.12245	4.25058	3.316	2.1462	0.02361	7.11675
3.0	36.92179	11.37274	4.75058	4.0501	2.394	0.02833	9.69713
3.5	49.52384	13.87303	5.25058	4.8705	2.6422	0.03359	12.8687
4.0	64.75118	16.62332	5.75058	5.7764	2.8907	0.03939	16.6978
4.5	82.85381	19.62361	6.25058	6.7673	3.1395	0.04576	21.2457
5.0	104.0817	22.8739	6.75058	7.8429	3.3884	0.05259	26.5750
5.5	128.6849	26.37419	7.25058	9.0028	3.6375	0.05998	32.7480
6.0	156.91343	30.12448	7.75058	10.247	3.8867	0.06789	39.8275
6.5	189.0172	34.12477	8.25058	11.5752	4.136	0.07633	47.8757
7.0	225.2463	38.37506	8.75058	12.9874	4.3854	0.08528	56.9552
7.5	265.8507	42.87535	9.25058	14.4833	4.6349	0.09475	67.1284
8.0	311.0803	47.62564	9.75058	16.063	4.8844	0.10474	78.4581
8.5	361.1853	52.62593	10.25058	17.727	5.1339	0.11524	91.0066
9.0	416.1823	57.87622	10.75058	19.4735	5.3838	0.12627	104.836
9.5	477.02103	63.37651	11.25058	21.3041	5.6332	0.1378	120.010
10.0	543.2519	69.12680	11.75058	23.283	5.8828	0.14986	136.590
10.5	615.358	75.12709	12.25058	25.2161	6.1325	0.16243	154.638
11.0	693.5894	81.37738	12.75058	27.2974	6.3822	0.17552	174.219
11.5	778.196	87.87767	13.25058	29.4621	6.632	0.18912	195.392
12.0	869.428	94.62796	13.75058	31.7104	6.8817	0.20324	218.223
12.5	967.5353	101.62825	14.25058	34.0421	7.1315	0.21787	242.772
13.0	1072.768	108.87854	14.75058	36.4572	7.3813	0.23302	269.102
13.5	1185.3757	116.37883	15.25058	39.9558	7.6311	0.24868	297.276
14.0	1305.60883	124.12912	15.75058	41.5379	7.8809	0.26486	327.357
14.5	1433.7173	132.12941	16.25058	44.2033	8.1308	0.28155	359.406
15.0	1569.9510	140.3797	16.75058	46.9522	8.3806	0.29875	393.487
15.5	1714.55998	148.87999	17.25058	49.7844	8.6304	0.31648	429.661
16.0	1867.79428	157.63028	17.75058	52.7001	8.8803	0.33472	467.992
16.5	2029.90386	166.63057	18.25058	55.6991	9.1302	0.35347	508.542
17.0	2201.13874	175.88086	18.75058	58.7816	9.3800	0.37274	551.375
17.5	2381.74890	185.38115	19.25058	61.9474	9.6299	0.39252	596.548
18.0	2571.98436	195.13144	19.75058	65.1966	9.8798	0.41281	644.128
18.5	2772.09511	205.13173	20.25058	68.5292	10.1297	0.43362	694.178
19.0	2982.33115	215.38202	20.75058	71.9451	10.3796	0.45494	746.760
19.5	3202.94248	225.88270	21.25058	75.4445	10.6295	0.47687	801.936
20.0	3434.17909	236.6326	21.75059	79.0271	10.8795	0.49914	859.766

Bảng 2 có thể hỗ trợ tính các đại lượng này.

Bảng 2: Giá trị các đại lượng tính toán khi $\bar{L} = 4,0$

\bar{L}_0	\bar{H}_2	\bar{H}_3	\bar{H}_4	$\bar{L}_{u2} = \bar{L}_u$	\bar{L}_{u3}	\bar{L}_{u4}
0.0	1.064300	0.985518	1.483810	2.24236	2.46742	2.69576
0.5	0.672112	0.782820	1.346590	2.61364	2.76850	2.94965
1.0	0.431582	0.607473	1.218610	3.02951	3.14277	3.28243
1.5	0.286541	0.473534	1.090190	3.47268	3.55959	3.66907
2.0	0.197280	0.374624	0.978017	3.93278	4.00201	4.08991
2.5	0.140514	0.301566	0.882472	4.40373	4.46051	4.53272
3.0	0.103137	0.246908	0.801590	4.88189	4.92956	4.99006
3.5	0.077708	0.205320	0.732949	5.36502	5.40580	5.45740
4.0	0.059888	0.173120	0.674336	5.85168	5.88711	5.93176
4.5	0.047068	0.147770	0.623909	6.34090	6.37209	6.41120
5.0	0.037629	0.127504	0.580175	6.83206	6.85983	6.89447
5.5	0.030536	0.111076	0.541964	7.32468	7.34962	7.38057
6.0	0.025108	0.097589	0.508327	7.81846	7.84105	7.86895
6.5	0.020887	0.086391	0.478522	8.31314	8.33375	8.35907
7.0	0.017558	0.076998	0.451947	8.80856	8.82747	8.85060
7.5	0.014897	0.069045	0.428117	9.30456	9.32201	9.34325
8.0	0.012746	0.062255	0.406635	9.80106	9.81724	9.83684
8.5	0.010988	0.056413	0.387176	10.29800	10.31300	10.33120
9.0	0.009539	0.051352	0.369267	10.79520	10.80930	10.82620
9.5	0.008333	0.046939	0.353302	11.29270	11.30600	11.32180
10.0	0.007321	0.043069	0.338473	11.79050	11.80300	11.81780
10.5	0.006467	0.039657	0.324828	12.28850	12.30030	12.31420
11.0	0.005515	0.036634	0.312232	12.78670	12.79780	12.81100
11.5	0.005118	0.033942	0.300571	13.28500	13.29560	13.30800
12.0	0.004582	0.031535	0.289743	13.78350	13.79360	13.80540
12.5	0.004119	0.029375	0.279664	14.28210	14.29170	14.30290
13.0	0.003716	0.027429	0.270259	14.78080	14.79000	14.80060
13.5	0.003364	0.025670	0.261463	15.27970	15.28840	15.29850
14.0	0.003055	0.024074	0.253218	15.77860	15.78690	15.79660
14.5	0.002782	0.022623	0.245476	16.27750	16.28560	16.29490
15.0	0.002541	0.021298	0.238191	16.77660	16.78430	16.79320
15.5	0.002327	0.020087	0.231325	17.27570	17.28310	17.29170
16.0	0.002137	0.018975	0.224824	17.77490	17.78200	17.79020
16.5	0.001966	0.017954	0.218712	18.27410	18.28100	18.28890
17.0	0.001814	0.017012	0.212905	18.77340	18.78010	18.78770
17.5	0.001676	0.016143	0.207399	19.27270	19.27910	19.28650
18.0	0.001552	0.015338	0.202170	19.77200	19.77830	19.78530
18.5	0.001441	0.014592	0.197197	20.27140	20.27740	20.28430
19.0	0.001339	0.013899	0.192462	20.77080	20.77670	20.78330
19.5	0.001247	0.013255	0.187948	21.27030	21.27600	21.28240
20.0	0.001163	0.012654	0.183642	21.76980	21.77530	21.78150

2. Một ứng dụng đáng kể của các công thức tính chuyển vị (18) và (19) là giúp xác định các tham số đầu vào (độ cứng chống chuyển vị ngang của đầu cọc hoặc chiều dài chịu uốn của cọc) để tính toán móng cọc bằng phương pháp chuyển vị dựa trên mối quan hệ tuyến tính giữa lực và chuyển vị. Cách làm ở đây đã thể hiện đúng bản chất vật lý và toán học của các đại lượng nói trên đặc biệt là chiều dài chịu uốn và cũng là để ta không dùng nhầm với chiều dài tính toán của cọc được cho bởi công thức (3) trong 20 TCN 21 – 86:

$$l_1 = l_0 + \frac{2}{\alpha} \quad (63)$$

Sau cùng, vì chấp nhận quan hệ giữa lực và chuyển vị là tuyến tính, nên cần phải chú ý luôn kiểm soát điều kiện này trong suốt quá trình tính toán cọc và móng cọc khi sử dụng đại lượng “độ cứng” hoặc chiều dài chịu uốn.

5.3. Trong [4] và [5] đã nêu nhiều ví dụ bằng số để minh họa và kiểm tra các công thức đã được thiết lập. Do khuôn khổ hạn chế, tiếc rằng điều đó đã không làm được ở bài báo này.

Kết quả nhiều tính toán cho phép nhận xét:

1. Các công thức đã thiết lập là đúng đắn, phản ánh đầy đủ bản chất cơ học – vật lý của bài toán cọc chịu lực ngang của TCXD 205 – 1998.
2. Hệ thống các công thức tiện tính toán trực tiếp trên máy tính cá nhân hoặc có thể lập thành các bảng tra giúp thực hiện công việc tính toán thiết kế móng cọc đơn giản và rõ ràng khi áp dụng TCXD 205 – 1998.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCXD 205 – 1998 . Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế
2. Hướng dẫn thiết kế móng cọc. Biên dịch: Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Văn Quang, Trịnh Việt Cường, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 1993.
3. Phan Dũng, Phạm Ngọc Thạch: “Một cách tính giá trị lớn nhất của mô men uốn và phản lực đất trong cọc theo 20 TCN 21 – 86”.

Nội san Khoa học và Giáo dục, No. 8, 2004, Trường Đại học Dân lập Kỹ thuật Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh, trang 54 – 63.

4. Phan Dũng, Phạm Ngọc Thạch: “ Một cách tính các chuyển vị ngang và xoay của cọc chịu lực ngang ở mức đáy đài theo Tiêu chuẩn 20 TCN 21 – 86”

Nội san Khoa học và Giáo dục, No. 9, 2005, Trường Đại học Dân lập Kỹ thuật Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh, trang 30 – 42.

5. Phan Dũng: “Cách tính tham số của cọc chịu lực ngang theo 20 TCN 21 – 86 khi phân tích chuyển vị – nội lực trong móng cọc”.

Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải, No. 1, 2005, Trường Đại học Giao thông Vận tải Tp. Hồ Chí Minh, trang 50 – 57.

6. Phan Dũng: Tính toán móng cọc trong Xây dựng Giao thông. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 1987.

7. Phan Dũng: “Ứng dụng lời giải cọc chịu lực ngang theo 22 TCN 21 – 86 để tính toán tường cừ nhiều tầng neo”. Tạp chí Biển và Bờ, No. 1+2/2009, Hội Cảng Đường thủy – Thềm lục địa Việt Nam, trang 42 – 48.