

Tính nhanh độ lún của móng chữ nhật cho nền nửa không gian

Quick method to calculate the settlement of rectangular foundations in half-space

Nguyễn Thị Thanh Hương

Tóm tắt

Cộng lún các lớp phân tố là phương pháp phổ biến áp dụng tính lún cho móng tiết diện chữ nhật, vuông hoặc móng băng trên nền nửa không gian được trình bày trong tiêu chuẩn thiết kế móng nông [1] và các tài liệu nền móng liên quan. Phương pháp này tính gần đúng diện tích biểu đồ ứng suất gây lún bằng cách phân nhỏ thành từng lớp nền và khối lượng tính toán lớn. Nhằm mục đích giảm khối lượng, rút ngắn thời gian tính toán bài báo trình bày phương pháp tính nhanh độ lún của móng chữ nhật trên nền nửa không gian biến dạng tuyến tính dựa trên nguyên tắc tính diện tích của biểu đồ ứng suất gây lún bằng phương pháp tích phân. Dựa trên công thức thiết lập được lập bảng tra hệ số để việc tính toán thuận tiện hơn.

Từ khóa: Độ lún, cộng lún các lớp phân tố, móng nông, móng chữ nhật, tích phân

Abstract

The layer wise summation method is popular for calculating the settlement of rectangular, square, or strip foundations on a homogeneous, elastic-isotropic half-space. It is introduced in shallow foundation design standards [1] and other related documents. This method approximates the stress distribution by subdividing it into layers and considering the stress distribution in each layer uniform. Thus, the calculation process is relatively laborious. To reduce the work as well as the time of calculation, the paper presents an enhanced method to quickly calculate the settlement of the rectangular foundation on a homogeneous, elastic-isotropic half-space. The proposed method calculates the area of the stress distribution by integral. The practical coefficients derived from the proposed formula are tabulated to make the calculation more convenient.

Key words: Settlement, layerwise summation, shallow foundation, rectangular foundation, integral

ThS. Nguyễn Thị Thanh Hương

Bộ môn Địa kỹ thuật-Công trình ngầm

Khoa Xây dựng

Email: huongkxd@gmail.com

ĐT: 0983695880

Ngày nhận bài: 21/5/2021

Ngày sửa bài: 24/5/2021

Ngày duyệt đăng: 21/7/2023

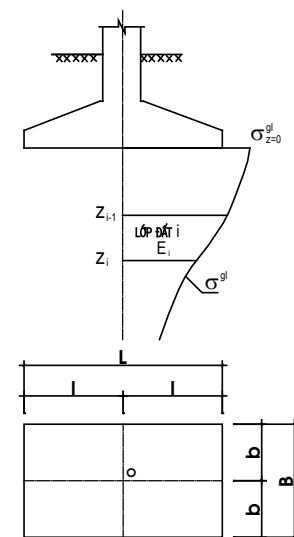
1. Đặt vấn đề

Khi thiết kế nền móng công trình dân dụng và công nghiệp, việc tính toán độ lún luôn được các kỹ sư đặc biệt quan tâm. Cộng lún các lớp phân tố là phương pháp truyền thống hiện đang được áp dụng rộng rãi để tính lún khi nền là nửa không gian. Để áp dụng phương pháp này cần chia nhỏ nền thành các lớp phân tố đồng nhất với chiều dày không lớn hơn 1/4 chiều rộng móng, vì vậy một lớp đất sẽ được chia thành nhiều phân tố nhỏ hơn và làm tăng khối lượng tính toán. Bài báo nghiên cứu giải pháp rút gọn quá trình tính toán trên.

2. Nội dung phương pháp cộng lún các lớp phân tố

Độ lún ổn định ở tâm móng theo phương pháp cộng lún các lớp phân tố được xác định như sau:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\sigma}_{z_i}^{gl} \cdot h_i}{E_i} \quad (1)$$



Hình 1. Biểu đồ ứng suất gây lún

Trong đó:

β - hệ số không thứ nguyên bằng 0,8;

n - số lớp chia theo độ sâu của tầng chịu nén của nền;

h_i - chiều dày của lớp phân tố đất thứ i .

$$h_i \leq \frac{B}{4};$$

E_i - mô đun biến dạng của lớp đất thứ i ;

$\bar{\sigma}_{z_i}^{gl}$ - ứng suất gây lún trung bình của phân

$$\text{tố thứ } i. \bar{\sigma}_{z_i}^{gl} = \frac{\sigma_{z_i}^{gl} + \sigma_{z_{i-1}}^{gl}}{2};$$

$\sigma_{z_i}^{gl}, \sigma_{z_{i-1}}^{gl}$ - ứng suất gây lún tại độ sâu z_i và

z_{i-1} kể từ đế móng. $\sigma_{z_i}^{gl} = \alpha \sigma_{z=0}^{gl}$;

α - hệ số tính toán độ lún ở tâm của diện chữ nhật, có thể tra bảng C.1 [1] phụ thuộc ($n = L/B$; $m = 2z/B$); L, B lần lượt là chiều dài và chiều rộng của móng chữ nhật;

z - khoảng cách từ đế móng đến điểm cần xác định ứng suất.

Cũng có thể chia móng thành 4 phần bằng nhau như Hình 1 và áp dụng phương pháp điểm góc. Khi đó ứng suất gây lún tại độ sâu z_i ở tâm của diện chữ nhật $L \times B$ được xác định theo α_g như sau:

$$\sigma_{z_i}^{gl} = 4\alpha_g \sigma_{z=0}^{gl}$$

α_g có thể tra bảng hoặc tính theo công thức:

$$\alpha_g = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{blz(b^2 + l^2 + 2z^2)}{(b^2 + z^2)(l^2 + z^2)\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} + \arctan \frac{bl}{z\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} \right] \quad (2)$$

$$\text{Với } l = \frac{L}{2}; b = \frac{B}{2}$$

3. Giải pháp tính lún dựa vào tích phân

a) Biến đổi công thức tính lún

Chuyển vị tương đối theo phương thẳng đứng λ_z xác định như sau:

$$\sigma_{z_i} = \frac{E_i}{\beta} \lambda_z \Rightarrow \lambda_z = \beta \frac{\sigma_{z_i}}{E_i}$$

$$\lambda_z = \frac{dS}{dz} \Rightarrow dS = \lambda_z dz = \beta \frac{\sigma_{z_i}}{E_i} dz$$

Độ lún của lớp đất thứ i (i là lớp đất khác nhau trong phạm vi giới hạn nền, trong phạm vi một lớp đất, E_i là hằng số) được xác định:

$$\begin{aligned} s_i &= \int_{z_{i-1}}^{z_i} \lambda_z dz = \beta \int_{z_{i-1}}^{z_i} \frac{\sigma_{z_i}}{E_i} dz = 4\beta \int_{z_{i-1}}^{z_i} \frac{\alpha_g \sigma_{z=0}^{gl}}{E_i} dz \\ &= \frac{4\beta \sigma_{z=0}^{gl}}{E_i} \left(\int_0^{z_i} \alpha_g dz - \int_0^{z_{i-1}} \alpha_g dz \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Gọi $\bar{\alpha}_g = \frac{\int_0^z \alpha_g dz}{z}$ là hệ số góc trung bình, thay (2) vào ta có:

Công thức (3) viết lại thành:

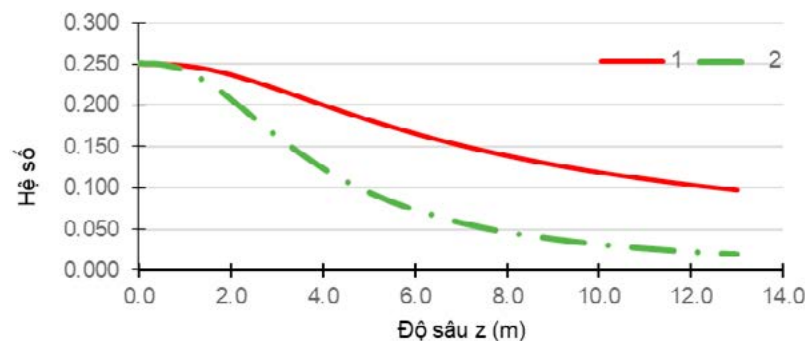
$$s_i = \frac{4\beta \sigma_{z=0}^{gl}}{E_i} (\bar{\alpha}_{g_i} z_i - \bar{\alpha}_{g_{i-1}} z_{i-1}) \quad (4)$$

Độ lún của nền:

$$S = \sum_{i=1}^n s_i = 4\beta \sigma_{z=0}^{gl} \sum_{i=1}^n \frac{(\bar{\alpha}_{g_i} z_i - \bar{\alpha}_{g_{i-1}} z_{i-1})}{E_i} \quad (5)$$

$$\bar{\alpha}_g = \frac{\int_0^z \frac{1}{2\pi} \left[\frac{blz(b^2 + l^2 + 2z^2)}{(b^2 + z^2)(l^2 + z^2)\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} + \arctan \frac{bl}{z\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} \right] dz}{z} \quad (6)$$

Tích phân biểu thức (6) ta được:



Hình 2. Quan hệ giữa hệ số α_g và $\bar{\alpha}_g$

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_g &= \frac{1}{2\pi} \arctan \frac{bl}{z\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} \\ &+ \frac{l}{2\pi z} \ln \frac{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} - b)(\sqrt{b^2 + l^2} + b)}{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} + b)(\sqrt{b^2 + l^2} - b)} \\ &+ \frac{b}{2\pi z} \ln \frac{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} - l)(\sqrt{b^2 + l^2} + l)}{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} + l)(\sqrt{b^2 + l^2} - l)} \end{aligned} \quad (7)$$

Với $z = 0$ ta có:

$$\begin{aligned} \lim_{z \rightarrow 0} \bar{\alpha}_g &= \lim_{z \rightarrow 0} \left(\frac{1}{2\pi} \arctan \frac{bl}{z\sqrt{b^2 + l^2 + z^2}} \right) \\ &+ \lim_{z \rightarrow 0} \left[\frac{l}{2\pi z} \ln \frac{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} - b)(\sqrt{b^2 + l^2} + b)}{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} + b)(\sqrt{b^2 + l^2} - b)} \right] \\ &+ \lim_{z \rightarrow 0} \left[\frac{b}{2\pi z} \ln \frac{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} - l)(\sqrt{b^2 + l^2} + l)}{(\sqrt{b^2 + l^2 + z^2} + l)(\sqrt{b^2 + l^2} - l)} \right] \\ &= 0,25 + 0 + 0 = 0,25 \end{aligned}$$

b) Quy trình tính toán độ lún theo công thức (5)

- + Xác định ứng suất gây lún tại đáy móng
- + Xác định giới hạn nền theo [1] hoặc có thể tính gần đúng đến độ sâu $z = 3B$ kể từ đế móng.
- + Tính $\bar{\alpha}_{g_i}$ theo công thức (7) hoặc tra Bảng 1 phụ thuộc tỉ số $n=l/b$ và $m=z/b$ tại đế móng, ranh giới giữa các lớp đất trong phạm vi nền và tại giới hạn nền.
- + Tính toán độ lún ổn định theo công thức (5).

Như vậy, áp dụng công thức (5) khi tính lún sẽ không phải chia nền thành các lớp phân tử như phương pháp cộng lún truyền thống nên giảm được thời gian tính toán. Cũng tương tự như α_g lập bảng tra $\bar{\alpha}_g$ công việc tính toán sẽ thuận lợi hơn nhiều.

c) Thiết lập bảng tra $\bar{\alpha}_g$ dựa trên tỷ số $n = l/b$ và $m = z/b$

$\Rightarrow l = nb; z = mb$ thay vào công thức (7) ta được:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_g &= \frac{1}{2\pi} \arctan \frac{n}{m\sqrt{1+m^2+n^2}} \\ &+ \frac{n}{2\pi m} \ln \frac{(\sqrt{1+m^2+n^2} - 1)(\sqrt{1+n^2} + 1)}{(\sqrt{1+m^2+n^2} + 1)(\sqrt{1+n^2} - 1)} \\ &+ \frac{1}{2\pi m} \ln \frac{(\sqrt{1+m^2+n^2} - n)(\sqrt{1+n^2} + n)}{(\sqrt{1+m^2+n^2} + n)(\sqrt{1+n^2} - n)} \end{aligned} \quad (8)$$

d) Tương quan giữa α_g và $\bar{\alpha}_g$

Để so sánh tương quan giữa hai giá trị α_g và $\bar{\alpha}_g$ vẽ biểu đồ minh họa với trường hợp móng có $L = 3,0m$; $B = 2,5m$

Với đường 1: Hệ số $\bar{\alpha}_g$ và đường 2: Hệ số α_g

Nhận xét

Đồ thị trên Hình 2 cho ta thấy quan hệ giữa α_g giá trị $\bar{\alpha}_g$ như sau:

+ Tại $z = 0$ (tại đế móng) cả hai hệ số đều bằng 0,25.

+ Càng xuống sâu thì $\bar{\alpha}_g$ giảm chậm và α_g giảm nhanh, tại độ sâu có $z/b = 10$

$$\bar{\alpha}_g / \alpha_g = 3,738.$$

Bảng 1 – Giá trị hệ số $\bar{\alpha}_g$

$\begin{matrix} n=l/b \\ m=z/b \end{matrix}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	4	5	10
0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2496	0,2497	0,2497	0,2498	0,2498	0,2498	0,2498	0,2498	0,2498
0,4	0,2474	0,2479	0,2481	0,2483	0,2483	0,2484	0,2485	0,2485	0,2485
0,6	0,2423	0,2437	0,2444	0,2448	0,2451	0,2452	0,2455	0,2455	0,2456
0,8	0,2346	0,2372	0,2387	0,2395	0,2400	0,2403	0,2410	0,2410	0,2410
1	0,2252	0,2291	0,2313	0,2326	0,2335	0,2340	0,2352	0,2353	0,2353
1,2	0,2149	0,2199	0,2229	0,2248	0,2260	0,2268	0,2287	0,2288	0,2289
1,4	0,2043	0,2102	0,2140	0,2164	0,2180	0,2191	0,2218	0,2220	0,2221
1,6	0,1939	0,2006	0,2049	0,2079	0,2099	0,2113	0,2148	0,2150	0,2152
1,8	0,1840	0,1912	0,1960	0,1994	0,2018	0,2034	0,2079	0,2082	0,2084
2	0,1746	0,1822	0,1875	0,1912	0,1938	0,1958	0,2012	0,2016	0,2018
2,2	0,1659	0,1737	0,1793	0,1833	0,1862	0,1883	0,1947	0,1952	0,1955
2,4	0,1578	0,1657	0,1715	0,1757	0,1789	0,1812	0,1885	0,1890	0,1895
2,6	0,1503	0,1583	0,1642	0,1686	0,1719	0,1745	0,1825	0,1832	0,1838
2,8	0,1433	0,1514	0,1574	0,1619	0,1654	0,1680	0,1769	0,1777	0,1784
3	0,1369	0,1449	0,1510	0,1556	0,1592	0,1619	0,1715	0,1725	0,1733
3,2	0,1310	0,1390	0,1450	0,1497	0,1533	0,1562	0,1664	0,1675	0,1685
3,4	0,1256	0,1334	0,1394	0,1441	0,1478	0,1508	0,1616	0,1628	0,1639
3,6	0,1205	0,1282	0,1342	0,1389	0,1427	0,1456	0,1570	0,1583	0,1595
3,8	0,1158	0,1234	0,1293	0,1340	0,1378	0,1408	0,1526	0,1541	0,1554
4	0,1114	0,1189	0,1248	0,1294	0,1332	0,1362	0,1485	0,1500	0,1516
4,2	0,1073	0,1147	0,1205	0,1251	0,1289	0,1319	0,1445	0,1462	0,1479
4,4	0,1035	0,1107	0,1164	0,1210	0,1248	0,1279	0,1407	0,1425	0,1444
4,6	0,1000	0,1070	0,1127	0,1172	0,1209	0,1240	0,1371	0,1390	0,1410
4,8	0,0967	0,1036	0,1091	0,1136	0,1173	0,1204	0,1337	0,1357	0,1379
5	0,0935	0,1003	0,1057	0,1102	0,1139	0,1169	0,1304	0,1325	0,1348
5,2	0,0906	0,0972	0,1026	0,1070	0,1106	0,1136	0,1273	0,1295	0,1320

Bảng 2 - Chỉ tiêu cơ lý của đất

TT	Tên lớp đất	Chiều dày (m)	γ kN/m ³	γ_s kN/m ³	W %	e	γ_{dn} kN/m ³	E kPa
1	Đất lấp	0,8	16,0	-	-	-	-	-
2	Sét pha	3,5	19,2	26,5	25	0,7253	9,564	8400
3	Cát pha		19,5	26,3	21	0,6319	9,988	11600
Chiều dày chưa kết thúc ở độ sâu hố thăm dò: 15m								

4. Ví dụ so sánh

Xét móng chữ nhật $L \times B = 2,4 \times 2\text{m}$ chôn sâu 1.7m kể từ mặt đất tự nhiên (cốt trong nhà bằng cốt tự nhiên) như Hình 3. Nền gồm 3 lớp đất như trong Bảng 2. Mực nước ngầm ở độ sâu: 2,0m kể từ mặt đất. Áp lực tiêu chuẩn trung bình ở đáy móng $p_{tb}^c = 211,536\text{kPa}$.

a) Phương pháp cộng lún các lớp phân tố

$l = L/2 = 2,4/2 = 1,2\text{m}$; $b = B/2 = 2/2 = 1\text{m}$; chiều dày lớp phân tố hi = 0,4m và đồng nhất thỏa mãn điều kiện $hi \leq B/4 = 2/4 = 0,5\text{m}$

Giới hạn nền tại điểm 13 ở độ sâu $z = 5\text{m}$ kể từ đế móng thỏa mãn điều kiện:

$$\sigma_{z_i=5m}^{gl} = 15,387\text{kPa} < 0,2\sigma_{z_i+h}^{bt} = 0,2.81,808 = 16,3617\text{kPa}$$

Vậy độ lún của nền $S = 3,29\text{cm}$. (Hình 3)

b) Tính lún của nền theo công thức (5)

$$S = 4.0,8.181,456. \left[\frac{0,1583.2,6 - 0,25.0}{8400} + \frac{0,1003.5 - 0,1583.2,6}{11600} \right] = 0,03295\text{m} = 3,295\text{cm}$$

c) Nhận xét

Độ lún của nền xác định theo hai phương pháp cho giá trị

Bảng 3 – Tính toán độ lún theo phương pháp cộng lún các lớp phân tổ

Điểm	z_i (m)	z_i/b	l/b	α_g	$\sigma_{z_i}^{gl} = 4\alpha_g \sigma_{z=0}^{gl}$ (kPa)	$\sigma_{z_i+h}^{bt}$ (kPa)	E_i (kPa)	S_i (m)
0	0	0	1,2	0,2500	181,456	30,080	8400	
1	0,4	0,4		0,2420	175,649		8400	0,00680
2	0,8	0,8		0,2075	150,608		8400	0,00621
3	1,2	1,2		0,1626	118,019		8400	0,00512
4	1,6	1,6		0,1241	90,075		8400	0,00396
5	2,0	2,0		0,0947	68,736		8400	0,00302
6	2,4	2,4		0,0734	53,275		8400	0,00232
6'	2,6	2,6		0,0651	47,251	57,837	8400	0,00096
7	2,8	2,8		0,0580	42,098		11600	0,00062
8	3,2	3,2		0,0467	33,896		11600	0,00105
9	3,6	3,6		0,0382	27,726		11600	0,00085
10	4,0	4,0		0,0318	23,081		11600	0,00070
11	4,4	4,4		0,0268	19,452		11600	0,00059
12	4,8	4,8		0,0229	16,621	79,811	11600	0,00050
13	5,0	5,0		0,0212	15,387	81,808	11600	0,00022
S =								0,03292

Bảng 4 – Tính toán độ lún theo công thức (5)

Điểm	z_i (m)	z_i/b	l/b	$\bar{\alpha}_{g_i}$	$\sigma_{z=0}^{gl}$ (kPa)	$\sigma_{z_i+h}^{bt}$ (kPa)	E_i (kPa)	S_i (m)
0	0	0	1,2	0,2500	181,456	30,080		
1	2,6	2,6		0,1583		57,837	8400	0,02845
2	5,0	5,0		0,1003		81,808	11600	0,00450
S =								0,03295

chênh lệch không đáng kể. Áp dụng công thức (5) tính toán đơn giản, ngắn gọn, đồng thời cho kết quả chính xác hơn do diện tích biểu đồ ứng suất gây lún được tính bằng phương pháp tích phân.

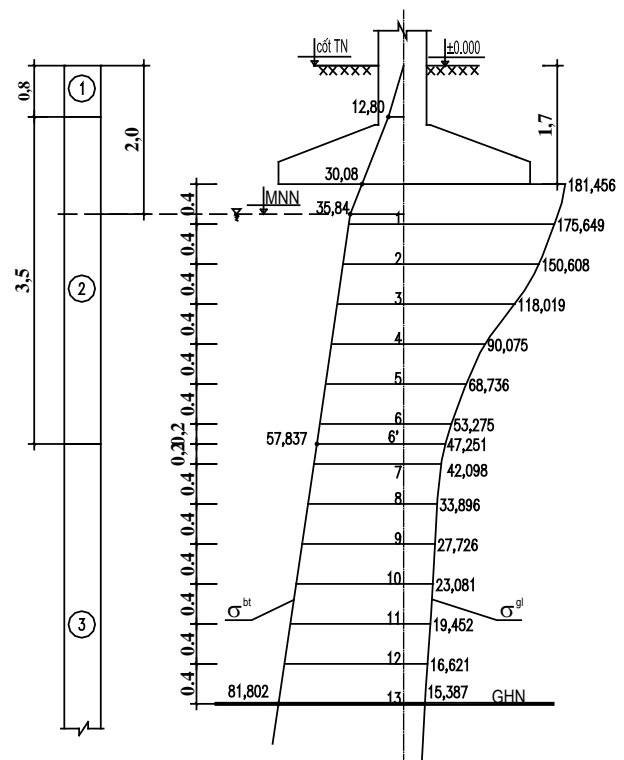
Cả hai phương pháp đều áp dụng định luật Hooke. Phương pháp cộng lún các lớp phân tổ tính gần đúng bằng việc chia nền thành các lớp đủ mỏng và có mô đun biến dạng không thay đổi; phương pháp tính lún áp dụng công thức (5) tính chính xác chỉ cần lớp đất có mô đun biến dạng không thay đổi.

5. Kết luận

- Kết quả tính toán cho thấy đây là phương pháp ngắn gọn, hiệu quả để xác định độ lún ổn định của nền.
- Công thức (5) và Bảng 1 chỉ áp dụng để tính toán độ lún với móng chữ nhật trên nền nửa không gian.
- Dựa trên nội dung nghiên cứu của bài báo có thể xây dựng được công thức và bảng tra để tính toán độ lún cho móng băng trên nền nửa không gian./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 9362:2012 Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình
2. Bài giảng cơ học đất, Vương Văn Thành, 1995, Nhà xuất bản xây dựng
3. Cơ học đất, N.A.Txutôvits, 1968, Nhà xuất bản khoa học



Hình 3. Biểu đồ ứng suất gây lún và ứng suất bản thân