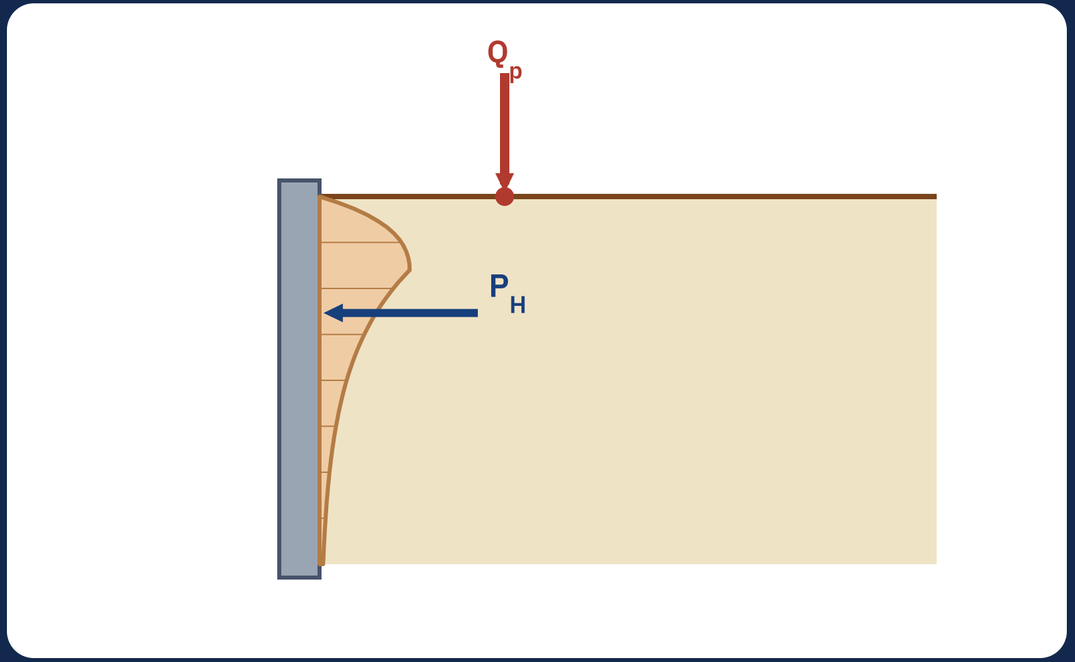
岩土工程讲义 · 地表超载

集中荷载型地面超载

讲义：地表集中荷载在墙上产生的侧向压力；两种方法、合力、平面分布以及多个荷载，工程算例。

- $m = x/H \cdot n = z/H$
- $\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2 z/R^5$
- Terzaghi–NAVFAC图表
- P_H与L
- 平面分布



本讲内容

集中荷载的几何关系：**x**、**y**、**z**、**R**以及无量纲的$m = x/H$、$n = z/H$

弹性（刚性墙）解：为Boussinesq应力的两倍，最大压力位于$z = x/2$处；$x_{min} = 0.30$ m

Terzaghi–NAVFAC图表：情形1($m \le 0.4$)和情形2($m > 0.4$)

合力$P_H = (Q_p/H)\cdot I_0$和作用高度$L = H\cdot I_1/I_0$；I_0、I_1的闭式表达式

平面内沿墙长度方向的分布($\cos^2(1.1\theta)$)和**同一直线上至多三个荷载**

讲授流程

每个主题按**三个步骤**讲解：

1 · **理论**：公式及其依据

2 · **题目**：已知条件与所求

3 · **解答**：逐步计算，代入数值

算例挡土墙：H = 15 m，集中荷载Q_p = 38 kN，距墙x = 5 m。P_H为荷载所在截面处墙体单位长度上的力(kN/m)。

作用于墙上的集中荷载

理论

地表的集中荷载Q_p在土中产生三维应力场；若荷载位于竖直墙体的影响范围内，附加应力的一部分将以**水平压力**的形式传递到墙上

模块给出沿过荷载点垂直于墙面的直线上压力随深度的变化、其**合力**和**作用线**，以及压力在平面上沿墙长的分布

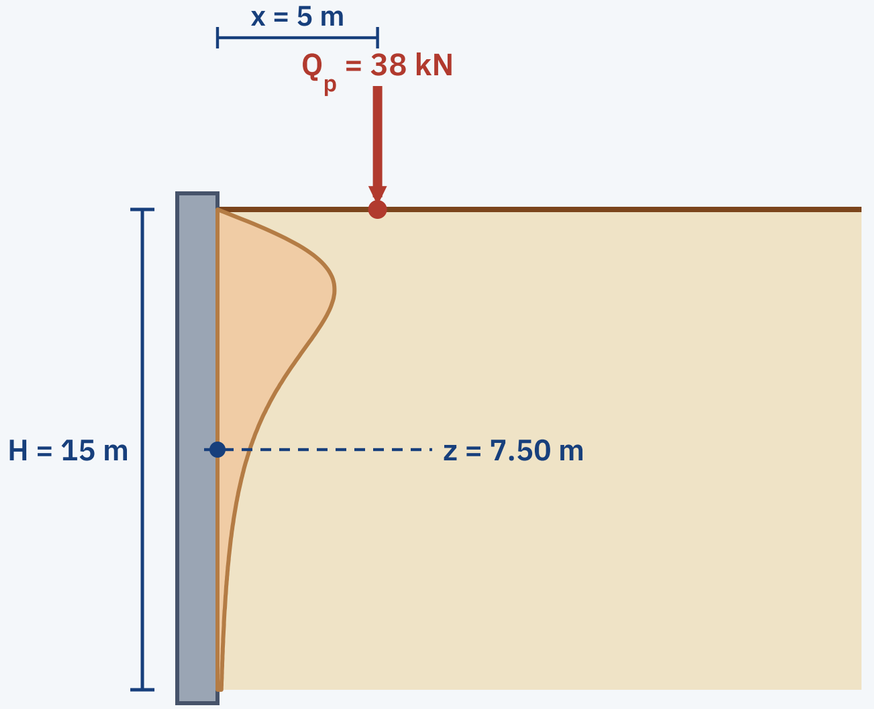
$$m = \frac{x}{H}, \qquad n = \frac{z}{H}$$

H——墙高；x——荷载至墙的水平距离；z——自地表起算的深度

y——沿墙方向，自过荷载点垂直于墙的直线起算的距离；$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

σ_H——轴线上的侧向压力；σ'_H——平面内的值；P_H——合力；L——自底部至作用线的距离

θ——图表中的平面角；x_{min}——弹性法中的最小计算距离(0.30 m)



弹性解与Terzaghi–NAVFAC图表

理论

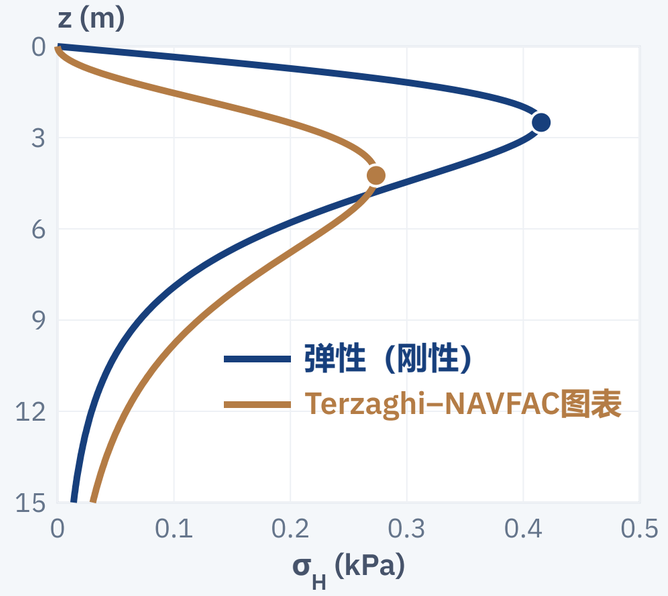
二者均描述**不发生位移的墙**；在**靠近墙的荷载**作用下相差最大

弹性解：Boussinesq应力的**两倍**，因墙体另一侧的镜像荷载使墙面处的侧向位移为零(Mindlin 1936)；泊松比取0.5

图表(Terzaghi 1954)：距离效应在**m = 0.4**处停止；0.4H以内的荷载按位于0.4H距离处绘制

荷载位于0.4H以内时，弹性解在墙体上部附近集中出现**增大的压力**，而图表法保持单一图形；在较远处二者给出相同量级的结果

剖面(H = 15 m, x = 5 m, Q_p = 38 kN)



刚性墙：压力、峰值及闭式合力

理论

在荷载自身的垂线上(y = 0)：**$\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2 z/R^5$**；峰值出现在**$z = x/2$**处，**$\sigma_{H,max} = 0.2733\, Q_p/x^2$**

荷载越靠近墙，解越趋于**奇异**：P_H按≈ $Q_p/(\pi x)$的规律增大；因此当**$x < x_{min} = 0.30$ m**时，荷载按0.30 m处计算

在约**0.4H**的临界距离以内，弹性方程不再可靠：需要工程判断，图表可供对比

$$\sigma_H = \frac{3}{\pi}\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{m^2\, n}{\left(m^2+n^2\right)^{5/2}}$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{\left(1+m^2\right)^{3/2}}\right] \qquad I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi\left(1+m^2\right)^{3/2}}$$

Terzaghi–NAVFAC：情形1与情形2

理论

在每个深度计算**n = z/H**，并根据**m**选择方程

情形1的方程不含m：它是情形2在m = 0.4时的值（1.77 × 0.16 = 0.2832，写作**0.28**）；0.4H范围内的荷载，无论位于何处，都给出**相同的分布图、P_H和L**

由于四舍五入，P_H在m = 0.4的界限处出现一个小的台阶(≈ 1.1%)；L保持连续

$$\sigma_H = 0.28\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{n^2}{(0.16+n^2)^3} \qquad m \le 0.4 \quad \text{（工况1）}$$

$$\sigma_H = 1.77\,\frac{Q_p}{H^2}\,\frac{m^2\,n^2}{(m^2+n^2)^3} \qquad m > 0.4 \quad \text{（工况2）}$$

P_H、L和I_0、I_1

理论

P_H为压力分布图的面积；**L**为形心距墙底的高度：合力作用于距地表**H − L**的深度处

P_H是荷载自身断面(y = 0)上的力；由于压力沿墙体衰减，**不应乘以墙长**

写成$\sigma_H = (Q_p/H^2)\cdot f(n)$的形式后，剩下两个纯数；弹性解中为闭合形式，图表中为数值（或闭合）积分。图表常数是该积分在某一个m值处读取的结果：**m = 0.4**时，$P_H = 0.787\ Q_p/H$，$L = 0.587\ H$；**m = 0.6**时为$0.457\ Q_p/H$和$0.476\ H$

$$P_H = \frac{Q_p}{H} I_0 \qquad L = H \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_0 = \int_0^1 f(n)\, dn \qquad I_1 = \int_0^1 f(n)\,(1-n)\, dn$$

沿墙高的压力和多个荷载

理论

弹性解：σ_H公式在墙的每一点均成立（$R^2 = x^2 + y^2 + z^2$）；在同一深度上，压力沿墙按$(R_0/R)^5$递减，峰值出现在$z = \sqrt{(x^2 + y^2)}/2$处

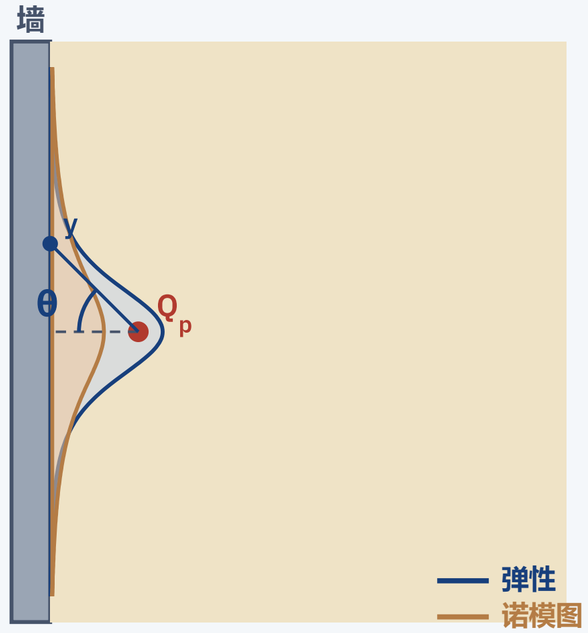
图表：轴线上的压力按平面角折减；当1.1θ达到90°时（**θ ≈ 81.8°**），折减量保持为零

多个荷载（最多3个）：每个荷载有各自的x_i和$Q_{p,i}$值；由于压力是应力增量，故**叠加**；合力作用于对墙底力矩平衡的点处

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1.1\,\theta) \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \quad \text{（诺模图）}$$

$$\sigma_H = \sum_i \sigma_{H,i} \qquad P_H = \sum_i \frac{Q_{p,i}}{H} I_{0,i} \qquad L = \frac{\sum_i P_{H,i}\, L_i}{P_H}$$

平面：深度z = 2.5 m处



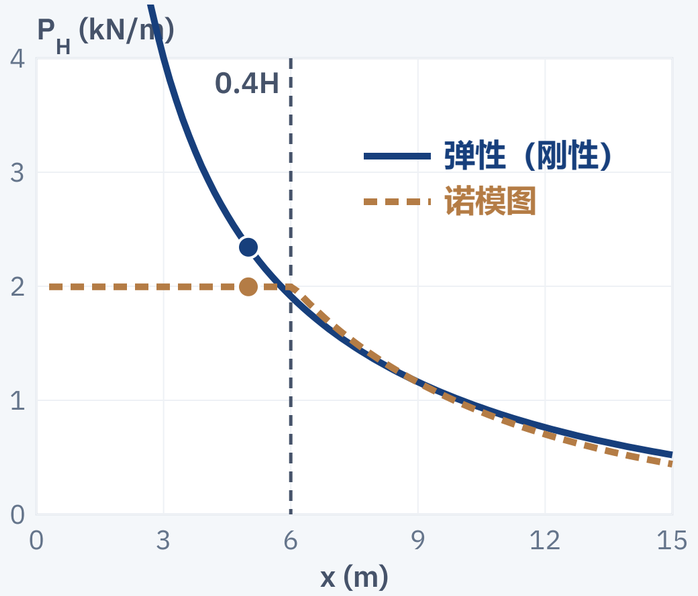
合力及其位置，以荷载距离表示

理论

x (m)	m	弹性解P_H	弹性L	P_H图表	L图表	状态
0.30	0.020	40.32	14.70	1.99	8.81	工况1
1.00	0.067	12.09	14.01	1.99	8.81	工况1
2.00	0.133	6.03	13.05	1.99	8.81	工况1
3.00	0.200	4.00	12.15	1.99	8.81	工况1
4.00	0.267	2.97	11.33	1.99	8.81	工况1
5.00	0.333	2.34	10.59	1.99	8.81	工况1
6.00	0.400	1.91	9.94	1.99	8.81	工况1
8.00	0.533	1.35	8.87	1.38	7.61	工况2
10.00	0.667	1.00	8.05	0.9755	6.74	工况2
15.00	1.000	0.5213	6.80	0.4402	5.45	工况2

m ≤ 0.4(x ≤ 6 m)：图表法给出相同的P_H和L；弹性解的P_H随荷载靠近而迅速增大

m > 0.4：弹性合力作用位置略高（L较大）



题目

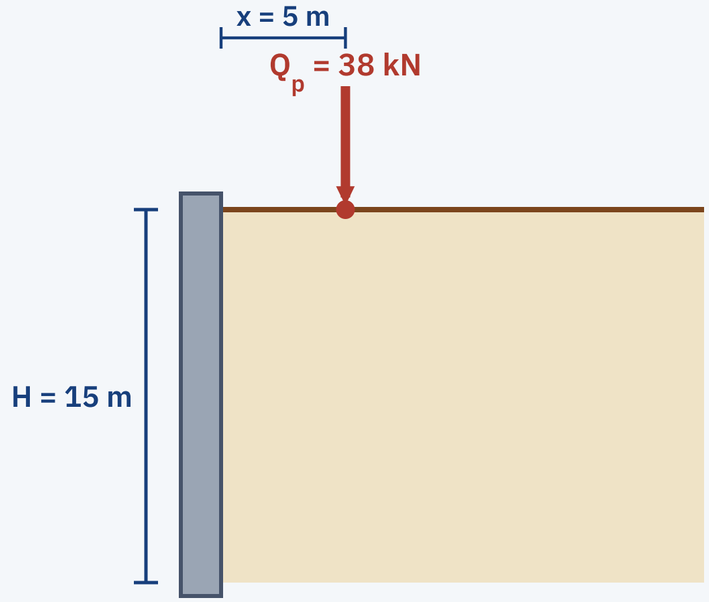
算例

已知条件

墙	$H = 15.00$ m
荷载	$Q_p = 38.0$ kN，距墙$x = 5.00$ m
方法	**弹性解（刚性墙）；** $x \geq x_{min}$

求

m、最大压力$\sigma_{H,max}$(z = x/2)、I_0、I_1、P_H、L以及合力距地表的深度。



解答 (1/3)

解答

1 距离比

$$m = \frac{x}{H} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3} = \mathbf{0.333} \quad (x \geq x_{min} = 0.30 \text{ m})$$

2 峰值深度

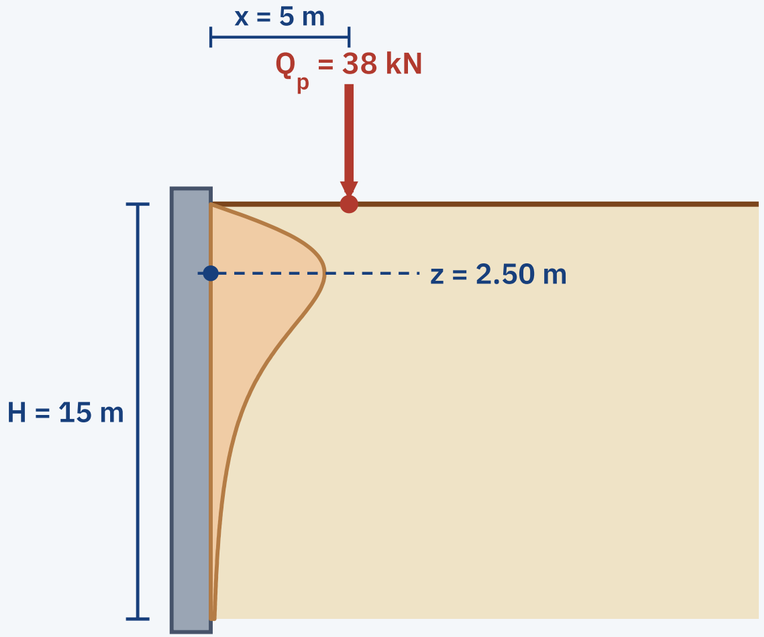
$$z = \frac{x}{2} = \mathbf{2.50} \text{ m}$$

$$R = \sqrt{x^2 + z^2} = \sqrt{25.00 + 6.25} = \mathbf{5.5902} \text{ m}$$

3 峰值处压力

$$\sigma_{H,max} = \frac{3 \times 38}{\pi} \cdot \frac{5.00^2 \times 2.50}{5.5902^5}$$

$$\sigma_{H,max} = 36.287 \times 0.011449 = \mathbf{0.4154} \text{ kPa}$$



弹性解的峰值为**0.4154 kPa**，位于深度z = 2.50 m处：与 0.2733 Q_p/x^2 = 0.4154 kPa一致。

解答 (2/3)

解答

4 面积的无量纲值I_0

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{(1+m^2)^{3/2}}\right] = \frac{1}{\pi}\left[3 - \frac{1/9}{(10/9)^{3/2}}\right] = \frac{1}{\pi}[3 - 0.09487] = \mathbf{0.92473}$$

5 力矩的无量纲值I_1

$$I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi(1+m^2)^{3/2}} = 0.92473 - \frac{1}{\pi(10/9)^{3/2}} = 0.92473 - 0.27178 = \mathbf{0.65295}$$

I_0 = **0.92473**，I_1 = **0.65295**：仅取决于m的两个数；荷载和高度不在其内。

解答 (3/3)

解答

6 合力

$$P_H = \frac{Q_p}{H} I_0 = \frac{38}{15} \times 0.92473 = \mathbf{2.34}\ \text{kN/m}$$

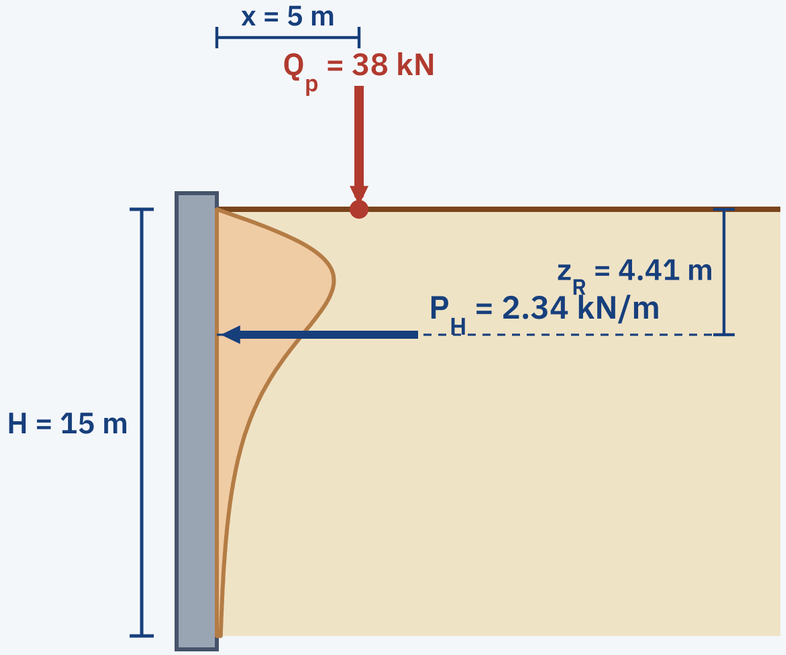
7 作用线（距底部）

$$L = H \frac{I_1}{I_0} = 15 \times \frac{0.65295}{0.92473} = \mathbf{10.59}\ \text{m}$$

8 距地表深度

$$H - L = 15.00 - 10.59 = \mathbf{4.41}\ \text{m}$$

P_H = 2.34 kN/m，位于地面以下**4.41 m**处（距底部10.59 m）。该力作用于荷载所在的断面：不再乘以墙长。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

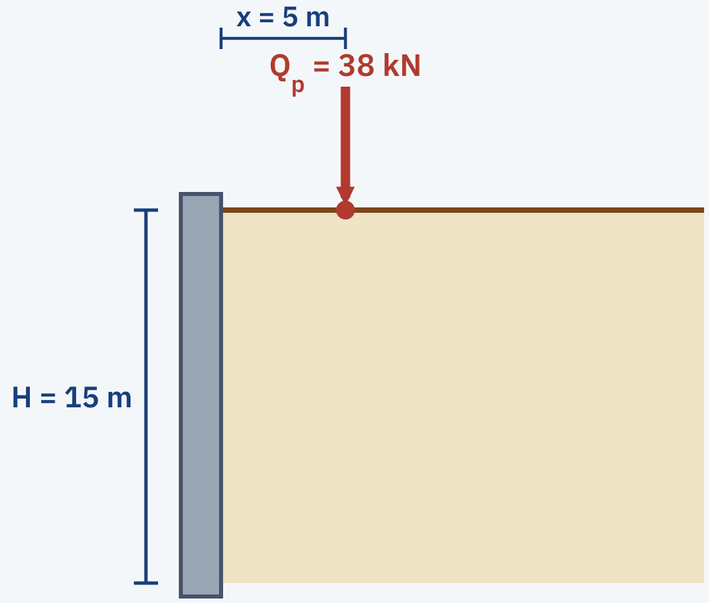
算例

已知条件

墙与荷载	$H = 15.00$ m, $Q_p = 38.0$ kN, $x = 5.00$ m
方法	Terzaghi–NAVFAC图表；$z = 2.50$ m处的压力

求

工况选择、σ_H(z = 2.5 m)、I_0、I_1、P_H和L。



解答 (1/3)

解答

1 工况选择

$$m = \frac{1}{3} = 0.333 \leq 0.4 \Rightarrow \text{工况 1：图 } m = 0.4 \text{处为常数}$$

2 深度比

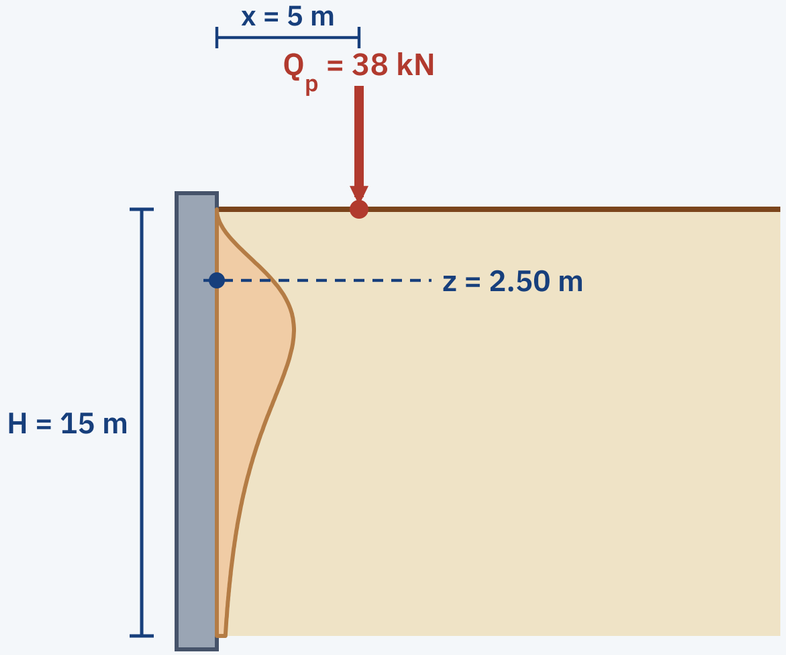
$$n = \frac{z}{H} = \frac{2.50}{15} = \mathbf{0.1667}$$

3 压力

$$\sigma_H = 0.28\,\frac{38}{15^2}\cdot\frac{n^2}{(0.16+n^2)^3} = 0.04729 \times \frac{0.02778}{0.006621}$$

$$\sigma_H = 0.04729 \times 4.1953 = \mathbf{0.1984}\ \text{kPa}$$

z = 2.5 m处，图表压力为**0.1984 kPa**；同一深度处弹性解为0.4154 kPa（峰值）。



解答 (2/3)

解答

4 积分（闭合形式，a = 0.16）

$$I_0 = \int_0^1 0.28\,\frac{n^2}{(a+n^2)^3}\,dn = 0.28\left[\frac{1}{8a(1+a)} - \frac{1}{4(1+a)^2} + \frac{\tan^{-1}(1/\sqrt{a})}{8a^{3/2}}\right]$$

5 数值

$$\frac{1}{8(0.16)(1.16)} = 0.6735 \qquad \frac{1}{4(1.16)^2} = 0.1858 \qquad \frac{\tan^{-1}2.5}{8(0.16)^{3/2}} = 2.3248$$

$$I_0 = 0.28\,[0.6735 - 0.1858 + 2.3248] = 0.28 \times 2.8125 = \mathbf{0.7875}$$

I_0 = **0.7875**：与图表在m = 0.4时给出的常数0.787 Q_p/H一致。模块用数值方法(Simpson)计算该积分。

解答 (3/3)

解答

6 $I_1 = I_0 - \int n\,f\,dn$（闭合表达式，a = 0.16）

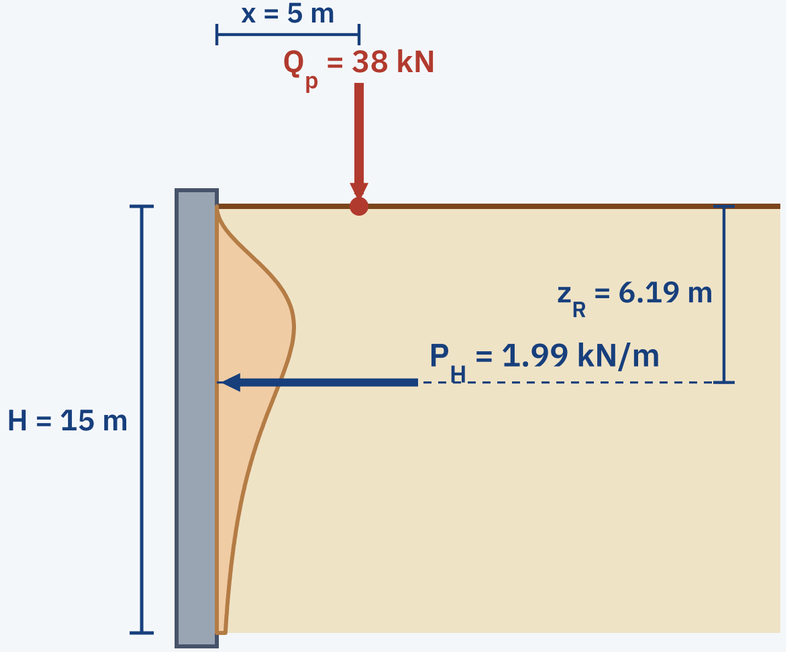
$$\int_0^1 nf\,dn = 0.28 \cdot \tfrac{1}{2}\left[\frac{1}{2a} - \frac{1}{1+a} + \frac{a}{2(1+a)^2}\right]$$

$$= 0.28 \times 1.1612 = 0.3251 \;\Rightarrow\; I_1 = 0.7875 - 0.3251 = \mathbf{0.4624}$$

7 合力与作用线

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0.7875 = \mathbf{1.99}\ \text{kN/m}$$

$$L = 15 \times \frac{0.4624}{0.7875} = \mathbf{8.81}\ \text{m}$$



图表解：**P_H = 1.99 kN/m**，L = **8.81 m**（距地表6.19 m）。与弹性解相比，合力小15%，作用线低1.78 m。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

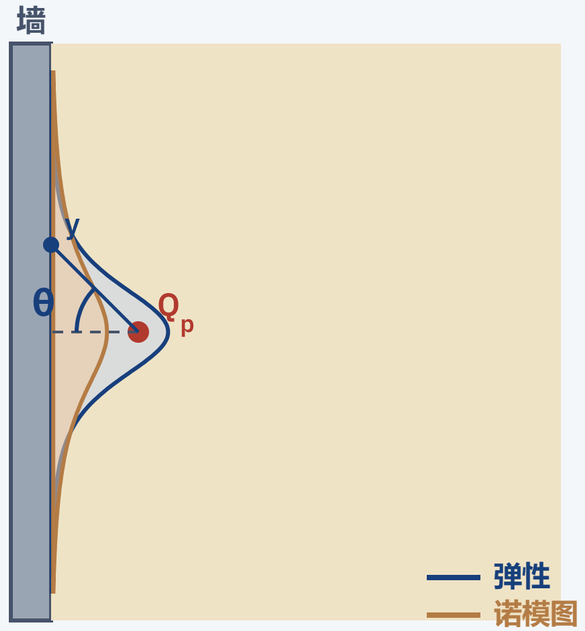
算例

求

两种方法的σ'_H(y = 5 m)；y = 0 – 15 m范围内的分布。

已知条件

墙与荷载	$H = 15.00$ m, $Q_p = 38.0$ kN, $x = 5.00$ m
深度	$z = 2.50$ m
位置	**距过荷载的垂线$y = 5.00$ m处($\theta = 45°$)**



解答 (1/2)

解答

1 弹性解：按$(R_0/R)^5$衰减

$$R_0^2 = x^2 + z^2 = 31.25 \qquad R^2 = x^2 + y^2 + z^2 = 56.25$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \left(\frac{R_0}{R}\right)^5 = 0.4154 \times \left(\frac{31.25}{56.25}\right)^{5/2} = 0.4154 \times 0.2300 = \mathbf{0.0956}\ \text{kPa}$$

2 图表：按$\cos^2(1.1\theta)$衰减

$$\theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} = \tan^{-1}\frac{5}{5} = 45^\circ$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1.1\theta) = 0.1984 \times \cos^2(49.5^\circ) = 0.1984 \times 0.4218 = \mathbf{0.0837}\ \text{kPa}$$

y = 5 m处，弹性压力为轴线处数值的0.23 (0.0956 kPa)，图表值则为其0.42 (0.0837 kPa)：图表值沿墙身衰减较慢，但起始值较小。

解答 (2/2)

解答

y (m)	θ (°)	弹性解σ'_H (kPa)	比值	σ'_H图表值(kPa)	比值	弹性峰值z (m)	峰值压力(kPa)
0.0	0.0	0.4154	1.00	0.1984	1.00	2.50	0.4154
2.5	26.6	0.2634	0.63	0.1511	0.76	2.80	0.2659
5.0	45.0	0.0956	0.23	0.0837	0.42	3.54	0.1039
7.5	56.3	0.0317	0.08	0.0439	0.22	4.51	0.0393
10.0	63.4	0.0115	0.03	0.0237	0.12	5.59	0.0166
15.0	71.6	0.0022	0.01	0.0076	0.04	7.91	0.0042

压力在通过荷载的垂线上最大，并沿墙迅速衰减；在弹性解中，随y增大，峰值深度降至$\sqrt{(x^2 + y^2)}/2$。图表中，$\theta \approx 81.8°$之后折减值保持为零。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

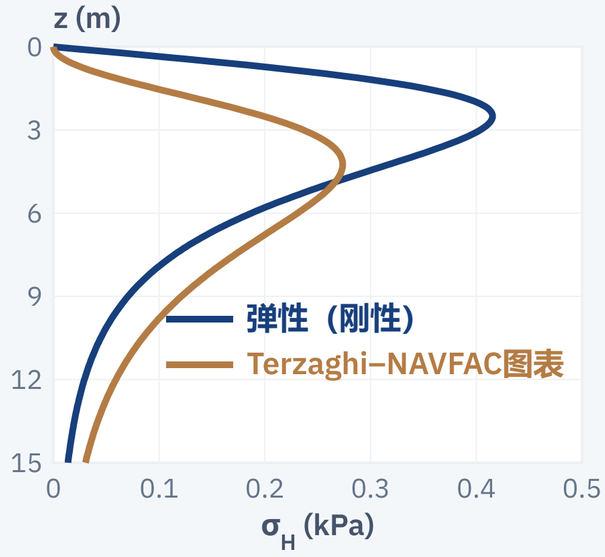
算例

已知条件

墙与荷载	$H = 15.00$ m, $Q_p = 38.0$ kN, $x = 5.00$ m
深度	$z = 0$ – 15 m，每隔1.5 m

求

两种方法的σ_H分布；图表**峰值**（情形1）的手算。



解答 (1/2)

解答

z (m)	n = z/H	σ_H弹性解(kPa)	σ_H（图表法）(kPa)
0.00	0.00	0.0000	0.0000
1.50	0.10	0.3511	0.0963
3.00	0.20	0.4038	0.2364
4.50	0.30	0.2964	0.2724
6.00	0.40	0.1873	0.2309
7.50	0.50	0.1143	0.1715
9.00	0.60	0.0706	0.1211
10.50	0.70	0.0448	0.0844
12.00	0.80	0.0293	0.0591
13.50	0.90	0.0198	0.0420
15.00	1.00	0.0138	0.0303

弹性解的压力在靠近地表的深度(2.5 m)处达到峰值0.4154 kPa，随后迅速衰减；图表法给出的分布更为平缓，峰值位置更深且数值更小。

解答 (2/2)

解答

1 导数为零：d/dn [n²/(0.16 + n²)³] = 0

$$2n(0.16+n^2)-6n^3=0 \;\Rightarrow\; n^2=\frac{0.16}{3}=0.0533$$

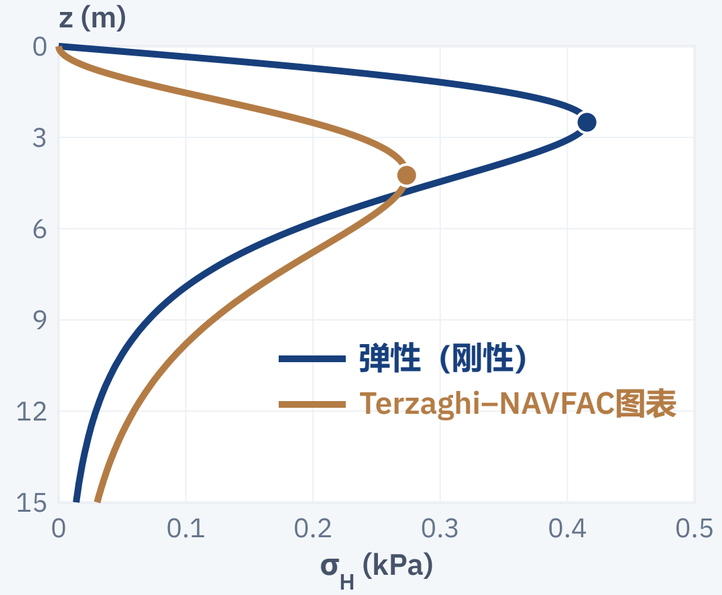
$$n=\mathbf{0.2828} \;\Rightarrow\; z=nH=\mathbf{4.243}\ \text{m}$$

2 峰值压力(n² = 0.08)

$$\sigma_{H,max}=0.28\,\frac{38}{15^2}\cdot\frac{0.08}{(0.16+0.08)^3}$$

$$\sigma_{H,max}=0.04729\times 5.787=\mathbf{0.2737}\ \text{kPa}$$

图表峰值为**0.2737 kPa** (z = 4.24 m)；弹性解峰值为**0.4154 kPa** (z = 2.50 m)：图表使峰值下移，并将其降至三分之二。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

墙与荷载	$H = 15.00$ m, $Q_p = 38.0$ kN
距离	$x = 0.3;\ 1;\ 2;\ 3;\ 4;\ 5;\ 6;\ 8;\ 10;\ 15$ m
Ek	$x < 0.30$ m与图表的$0.4H = 6$ m界限

求

两种方法的P_H和L；x = 10 m时的手算验算；x_{min}及界限。

解答 (1/3)

解答

x (m)	m	弹性解P_H (kN/m)	弹性法L(m)	P_H图表值(kN/m)	L图表(m)	状态
0.30	0.020	40.32	14.70	1.99	8.81	工况1
1.00	0.067	12.09	14.01	1.99	8.81	工况1
2.00	0.133	6.03	13.05	1.99	8.81	工况1
3.00	0.200	4.00	12.15	1.99	8.81	工况1
4.00	0.267	2.97	11.33	1.99	8.81	工况1
5.00	**0.333**	**2.34**	**10.59**	**1.99**	**8.81**	**情况1**
6.00	0.400	1.91	9.94	1.99	8.81	工况1
8.00	0.533	1.35	8.87	1.38	7.61	工况2
10.00	0.667	1.00	8.05	0.9755	6.74	工况2
15.00	1.000	0.5213	6.80	0.4402	5.45	工况2

x ≤ 6 m：由图表得1.99 kN/m，L = 8.81 m，距离无影响；弹性解的P_H随荷载靠近而迅速增大（x = 0.3 m时为40.32 kN/m）。**x > 6 m**：两种方法趋于接近，弹性合力的作用点更高。

解答 (2/3)

解答

1 m = 10/15 = 0.667 > 0.4：图表法为情形2。弹性解：I_0、I_1、P_H、L

$$I_0 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{m} - \frac{m^2}{(1+m^2)^{3/2}}\right] = 0.3960 \qquad I_1 = I_0 - \frac{1}{\pi(1+m^2)^{3/2}} = 0.2126$$

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0.3960 = \mathbf{1.00}\ \text{kN/m} \qquad L = 15 \times \frac{0.2126}{0.3960} = \mathbf{8.05}\ \text{m}$$

2 图表（情形2）：与算例2相同的闭合表达式，a = m²，系数为1.77 m²

$$I_0 = \int_0^1 f\, dn = 0.3851 \qquad I_1 = \int_0^1 f\,(1-n)\, dn = 0.1730$$

$$P_H = \frac{38}{15} \times 0.3851 = \mathbf{0.9755}\ \text{kN/m} \qquad L = 15 \times \frac{0.1730}{0.3851} = \mathbf{6.74}\ \text{m}$$

x = 10 m：弹性解**1.00 kN/m**，L = 8.05 m；图表法**0.9755 kN/m**，L = 6.74 m（表中对应行）。

解答 (3/3)

解答

x (m)	计算x (m)	弹性解P_H (kN/m)	L (m)	弹性解 $\sigma_{H,max}$(kPa)	P_H图表值 (kN/m)
0.05	**0.30**	40.32	14.70	115.4	1.995
0.10	**0.30**	40.32	14.70	115.4	1.995
0.20	**0.30**	40.32	14.70	115.4	1.995
0.30	0.30	40.32	14.70	115.4	1.995
0.50	0.50	24.19	14.50	41.5	1.995

x < 0.30 m时，荷载按0.30 m处计算；即使在该距离处，峰值也达115.4 kPa。

x (m)	m	状态	P_H图表值(kN/m)	L图表(m)
5.99	0.3993	工况1	1.9950	8.8069
6.00	0.4000	工况1	1.9950	8.8069
6.000001	0.400000	工况2	2.0178	8.8069
6.01	0.4007	工况2	2.0137	8.8000

图表法在越过**m = 0.4**界限时使P_H值增大1.14%；L保持连续。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

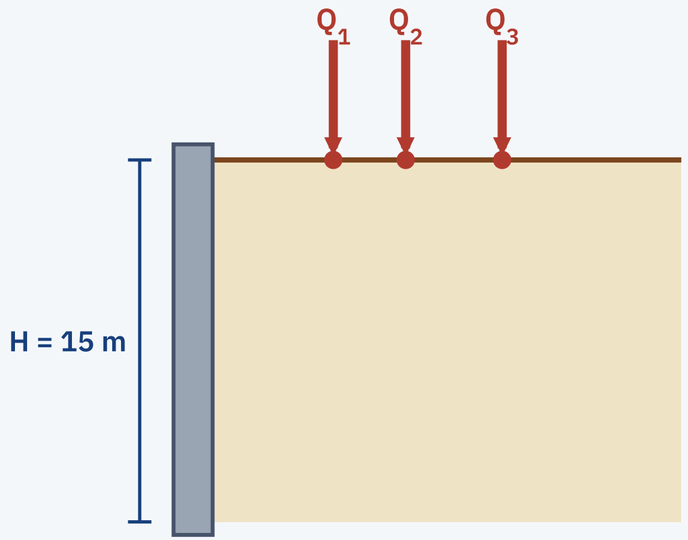
算例

已知条件

墙	$H = 15.00$ m
荷载	$Q_1 = 38$ kN ($x_1 = 5$ m), $Q_2 = 60$ kN ($x_2 = 8$ m), $Q_3 = 25$ kN ($x_3 = 12$ m)；**均位于垂直于墙的同一直线上**
方法	**弹性解（刚性墙）；供比较的图表**

求

各荷载的$P_{H,i}$和L_i值；总P_H、L以及总压力的峰值。



解答 (1/3)

解答

荷载	x (m)	Q_p (kN)	m	I_0	I_1	$P_{H,i}$ (kN/m)	L_i (m)
Q_1	5	38	0.3333	0.92473	0.65295	2.3427	10.592
Q_2	8	60	0.5333	0.53463	0.31597	2.1385	8.865
Q_3	12	25	0.8000	0.30089	0.14933	0.5015	7.444

1 每个荷载取各自的m值（弹性）

$$P_{H,i} = \frac{Q_{p,i}}{H} I_{0,i} \qquad L_i = H \frac{I_{1,i}}{I_{0,i}} \qquad \text{例如 } P_{H,2} = \frac{60}{15} \times 0.53463 = \mathbf{2.1385}\ \text{kN/m}$$

每个荷载位于各自的距离x_i处；它们都作用于墙的同一断面，因此合力可以直接叠加。

解答 (2/3)

解答

2 总合力（弹性）

$$P_H = \sum P_{H,i} = 2.3427 + 2.1385 + 0.5015 = \mathbf{4.9827}\ \text{kN/m}$$

3 影响线：对底面取矩的力矩平衡

$$L = \frac{\sum P_{H,i} L_i}{P_H} = \frac{2.343(10.592) + 2.139(8.865) + 0.501(7.444)}{4.983} = \mathbf{9.534}\ \text{m}$$

方法	$P_{H,1}$	$P_{H,2}$	$P_{H,3}$	P_H合计(kN/m)	L总计(m)	自地表(m)
弹性	2.3427	2.1385	0.5015	**4.9827**	**9.534**	5.466
诺模图	1.9950	2.1774	0.4624	**4.6347**	**7.975**	7.025

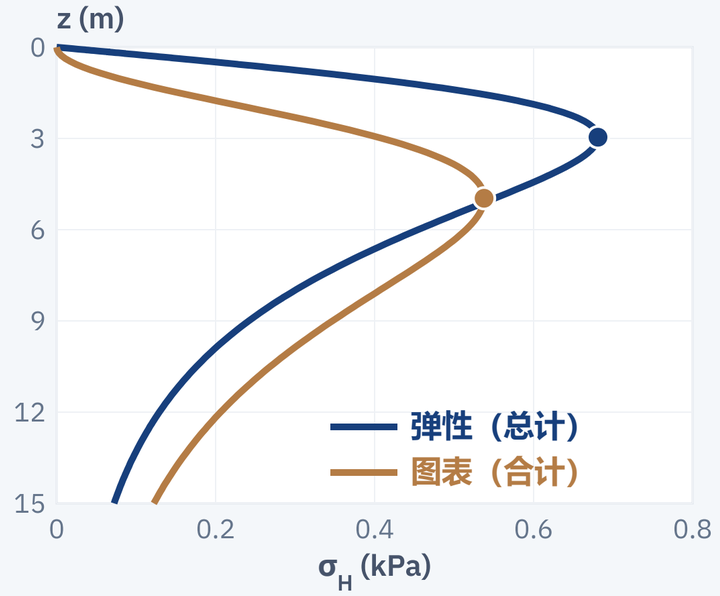
三个荷载的总合力按弹性解为**4.98 kN/m**，按图表为**4.63 kN/m**；作用线分别位于底面以上9.53 m和7.97 m处。

解答 (3/3)

解答

z (m)	$\sigma_{H,1}$ (kPa)	$\sigma_{H,2}$ (kPa)	$\sigma_{H,3}$ (kPa)	σ_H合计(kPa)
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	**0.0000**
1.5	0.3511	0.1540	0.0199	**0.5250**
3.0	0.4038	0.2416	0.0356	**0.6810**
4.5	0.2964	0.2533	0.0447	**0.5944**
6.0	0.1873	0.2200	0.0475	**0.4548**
9.0	0.0706	0.1304	0.0407	**0.2417**
12.0	0.0293	0.0705	0.0293	**0.1291**
15.0	0.0138	0.0387	0.0197	**0.0722**

各压力叠加（附加应力）：弹性总和的峰值为**0.6811 kPa**，位于z = 2.96 m；查图法为0.5377 kPa，位于z = 4.97 m。峰值出现在最大荷载（Q_2）所占份额突出的深度。



在GeoTerva中验算解答 ↗

小结

要点回顾

$m = x/H$，$n = z/H$；弹性解（刚性墙）：**$\sigma_H = (3Q_p/\pi)\, x^2 z/R^5$**，峰值位于$z = x/2$，$\sigma_{H,max} = 0.2733\, Q_p/x^2$；**$x_{min} = 0.30$ m**

图表法：情形1($m \le 0.4$)：$\sigma_H = 0.28\,(Q_p/H^2)\, n^2/(0.16 + n^2)^3$；情形2：$1.77\,(Q_p/H^2)\, m^2 n^2/(m^2 + n^2)^3$；在0.4H范围内距离无影响

算例($H = 15$ m, $x = 5$ m, $Q_p = 38$ kN)：弹性峰值0.4154 kPa($z = 2.5$ m)，$I_0 = 0.9247$，$I_1 = 0.6530$，**$P_H = 2.34$ kN/m**，$L = 10.59$ m；图表给出$P_H = 1.99$ kN/m，$L = 8.81$ m

平面上：弹性解$(R_0/R)^5$，图表$\cos^2(1.1\theta)$（$\theta \approx 81.8°$以内）；**多个荷载**（至多3个）：压力与$P_{H,i}$叠加，L由力矩平衡求得

对比：$m \le 0.4$时，图表法为常数；弹性解的P_H随荷载靠近而增大；P_H是荷载所在截面处的值，不乘以墙长

参考文献

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; 本页面遵循该书。

Terzaghi, K. (1954). Anchored bulkheads. Transactions of the ASCE, 119, 1243–1280.

NAVFAC DM-7.02 (1986). Foundations and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command.

Boussinesq, J. (1883). Application des Potentiels à l’Étude de l’Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris.

Mindlin, R.D. (1936). Discussion: Pressure distribution on retaining walls. Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Harvard, Vol. III, 155–156.

Spangler, M.G. and Mickle, J.L. (1956). Lateral pressures on retaining walls due to backfill surface loads. Highway Research Board Bulletin 141.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed.

Frazee, G. (2021). New formulations of Boussinesq solution for vertical and lateral stresses in soil. ASCE Practice Periodical on Structural Design and Construction, 26(2).

USS Steel Sheet Piling Design Manual (1984); California Department of Transportation, Trenching and Shoring Manual — the chart method.

注

全部数值算例均由模块自身的计算引擎生成；模块给出相同的数值。模块初始默认墙体为 $H = 15\ \text{m}$、$x = 5\ \text{m}$、$Q_p = 38\ \text{kN}$（弹性方法）。

GeoTerva

在线岩土工程计算

从理论到应用

在GeoTerva中输入自己的墙、集中荷载（至多三个）及计算方法；模块一并给出压力分布、平面分布、合力和作用线、分步解答及报告。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。