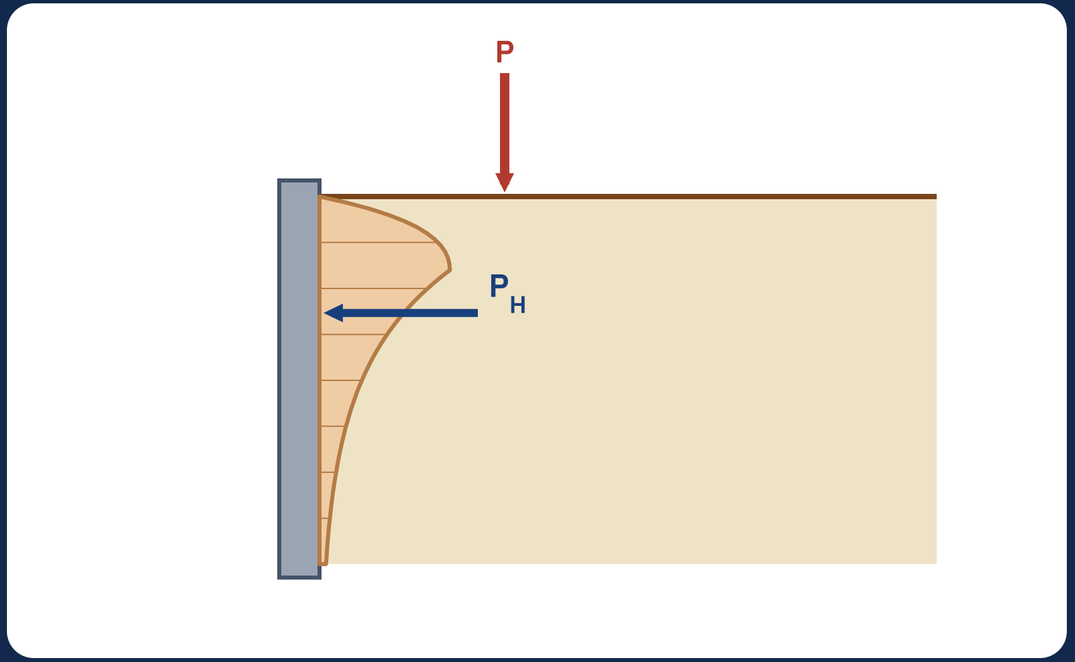
GeoTerva

岩土工程讲义 · 地表超载

线荷载型地面超载

讲义：平行于墙体的线荷载对墙体产生的侧向压力；两种方法、合力与作用线、工程算例。

- m = x/H · n = z/H
- 刚性墙弹性解
- Terzaghi–NAVFAC图表
- I_0 · I_1
- P_H与z_R



本讲内容

- 线荷载的**无量纲**几何关系：荷载水平距离$m = x/H$与深度$n = z/H$
- **弹性（刚性墙）**解：为半无限介质应力的两倍；$x_{min} = 0.30$ m的规定
- **Terzaghi–NAVFAC图表**：$m > 0.4$与$m \le 0.4$两种情形；0.4H范围内距离无影响
- 用封闭表达式$P_H = P \cdot I_0$确定合力，用$z_R = H \cdot I_1/I_0$确定作用线位置
- 两种方法随距离、墙高和荷载变化的比较

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

算例墙：H = 25 m，线荷载P = 100 kN/m，距墙x = 5 m。力按单位墙长计(kN/m)。

作用于墙上的线荷载

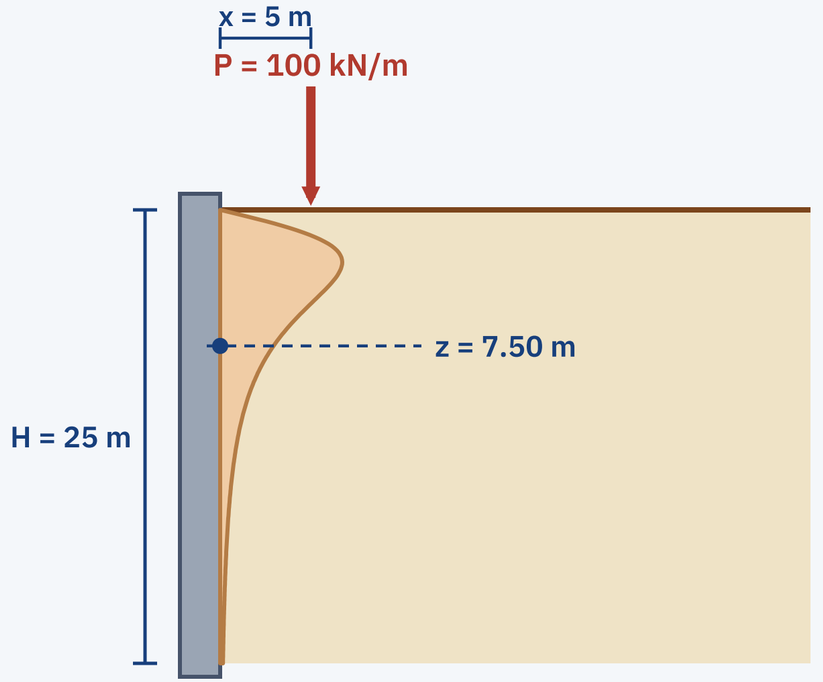
理论

平行于墙体、以单位长度上的力给出的地面线荷载**P**，距墙体的水平距离为**x**

侧向超载压力取决于无量纲荷载距离**m = x/H**和无量纲墙深**n = z/H**

模块提供两种方法：**弹性（刚性墙）**解和**Terzaghi–NAVFAC图表**

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



P——平行于墙的单位长度地表线荷载

x = mH——荷载至墙的水平距离；**z = nH**——自地表起算的深度

σ_H、P_H、z_R——侧向压力、合力、合力作用点距地表的深度

刚性墙：弹性应力的两倍

理论

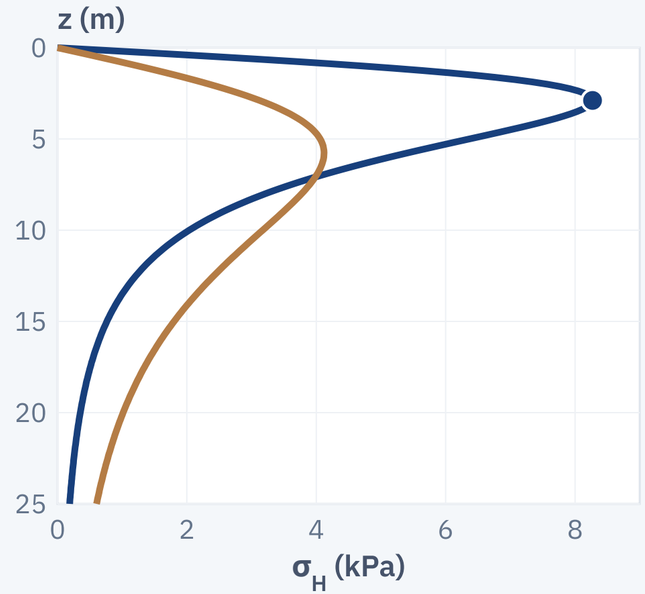
为弹性半空间中线荷载所产生水平应力(Flamant, Boussinesq)的**两倍**：不发生位移的墙阻止其墙面处土体的移动

对任意距离均适用；最大压力出现在深度**n = m/√3**处

距墙小于x_{min} = 0.30 m的荷载按该距离计算：最大压力随荷载接近墙体而无限增大（合力保持有限）

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2 n}{\left(m^2 + n^2\right)^2}$$

弹性剖面(m = 0.2)



情形1 (m ≤ 0.4)和情形2 (m > 0.4)

理论

m > 0.4时与弹性解采用**相同的方程**；**m ≤ 0.4**时，压力分布图在m = 0.4处**保持不变**（不含m的情形1）

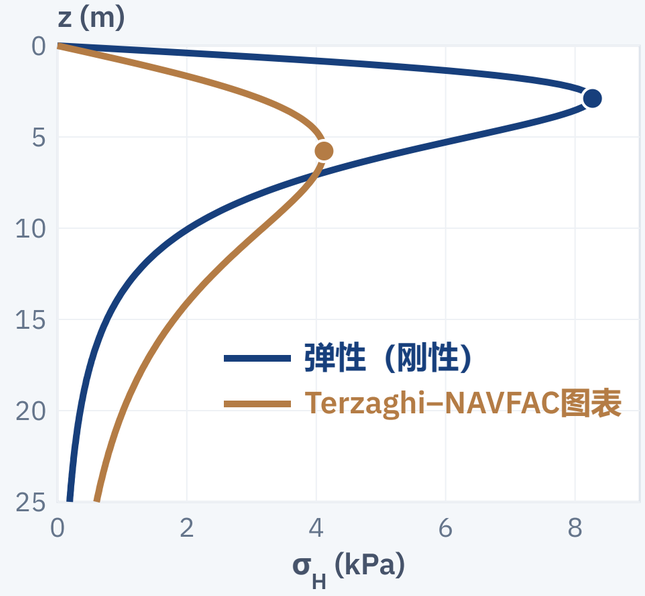
系数0.203是4 × 0.16/π的四舍五入值；因此**在0.4H以内距离无影响**

对于给定模型，m为常数；n随深度变化

$$\sigma_H = \frac{P}{H} \cdot \frac{0.203\, n}{(0.16 + n^2)^2} \qquad m \le 0.4 \quad \text{（工况1）}$$

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2\, n}{(m^2 + n^2)^2} \qquad m > 0.4 \quad \text{（工况2）}$$

两种方法的剖面(m = 0.2)



面积、一阶矩及I_0、I_1

理论

两种方法中，**合力为压力图形的面积**，自地表起算的作用深度为**一次矩取得平衡的点**；将σ_H写成n的函数后，荷载和高度可提到积分号之外

弹性解与图表解在**m > 0.4**时的闭式表达式；图表合力≈0.64P/(1 + m²)。**m ≤ 0.4**的图表：I_0 = 0.5469（图表的0.55P值）

$$P_H = \int_0^H \sigma_H \, dz = P\, I_0 \qquad z_R = \frac{\int_0^H z\, \sigma_H \, dz}{P_H} = H\, \frac{I_1}{I_0}$$

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

$$I_0 = 0.1015\left(\tfrac{1}{0.16} - \tfrac{1}{1.16}\right) = 0.5469 \qquad I_1 = 0.203\left[\frac{\tan^{-1} 2.5}{0.8} - \frac{1}{2.32}\right] \; (m \le 0.4)$$

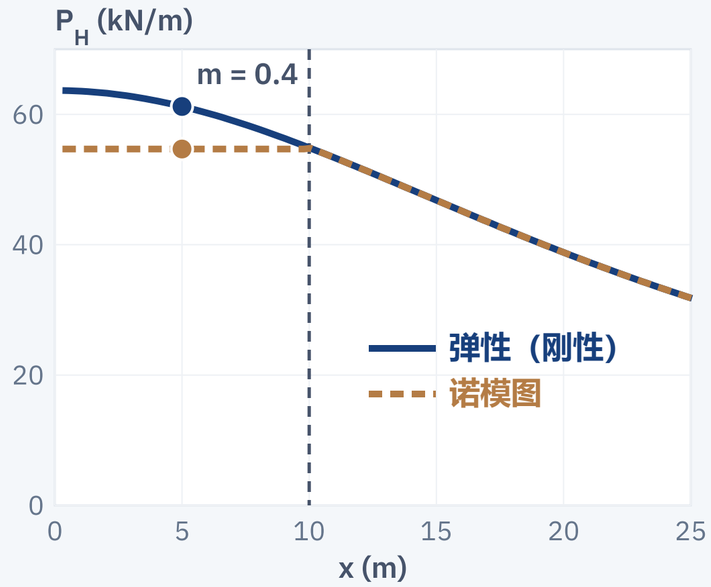
合力与作用线，随荷载距离而变

理论

x (m)	m	弹性解P_H	弹性解z_R	P_H图表	z_R图表	状态
0.50	0.020	63.64	0.77	54.69	9.81	工况1
1.00	0.040	63.56	1.49	54.69	9.81	工况1
2.00	0.080	63.26	2.84	54.69	9.81	工况1
5.00	0.200	61.21	6.14	54.69	9.81	工况1
8.00	0.320	57.75	8.56	54.69	9.81	工况1
10.00	0.400	54.88	9.81	54.69	9.81	工况1
12.50	0.500	50.93	11.05	50.93	11.05	工况2
15.00	0.600	46.81	12.02	46.81	12.02	工况2
25.00	1.000	31.83	14.27	31.83	14.27	工况2

m ≤ 0.4：图表法给出相同的P_H和z_R；荷载越靠近时，弹性解使P_H增大，并使z_R上移

m > 0.4：两种方法给出相同结果



题目

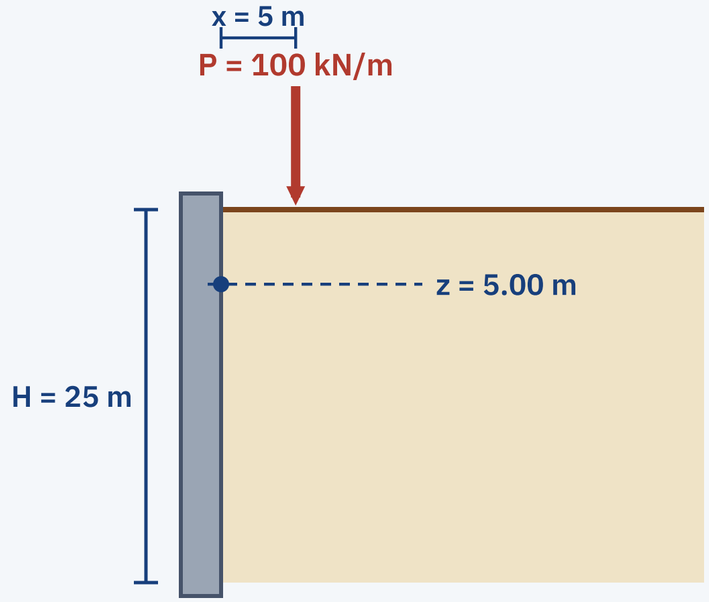
算例

求

m、n和σ_H：先按弹性解（刚性墙），再按Terzaghi–NAVFAC图表。

已知条件

墙与荷载	$H = 25.00$ m；**线荷载**$P = 100.0$ kN/m，$x = 5.00$ m
深度	$z = 5.00$ m



解答 (1/2)

解答

1 比值

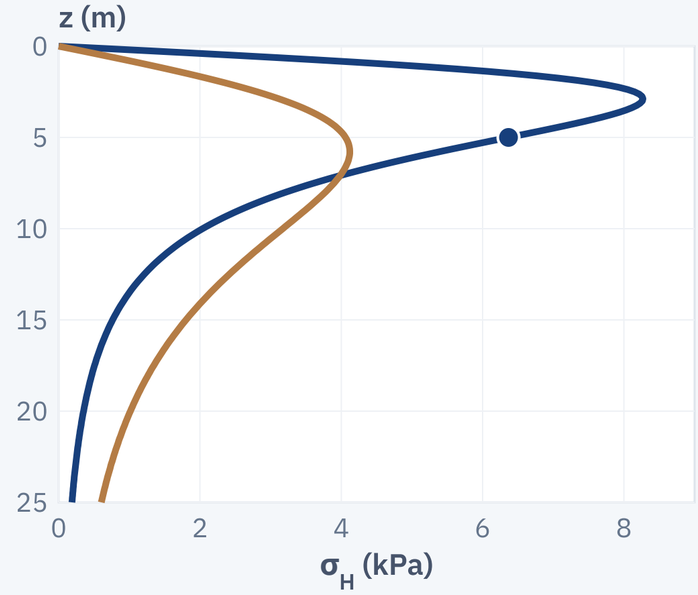
$$m = \frac{x}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0.20} \qquad n = \frac{z}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0.20}$$

2 弹性（刚性墙）压力

$$\sigma_H = \frac{4 \times 100}{\pi \times 25}\left[\frac{0.20^2 \times 0.20}{(0.20^2 + 0.20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 5.0930 \times 1.25 = \mathbf{6.37}\ \text{kPa}$$

z = 5 m处，弹性解为**6.37 kPa**。该深度位于最大压力(8.27 kPa, z = 2.89 m)所在深度之下；压力沿深度迅速衰减。



解答 (2/2)

解答

3 工况选择

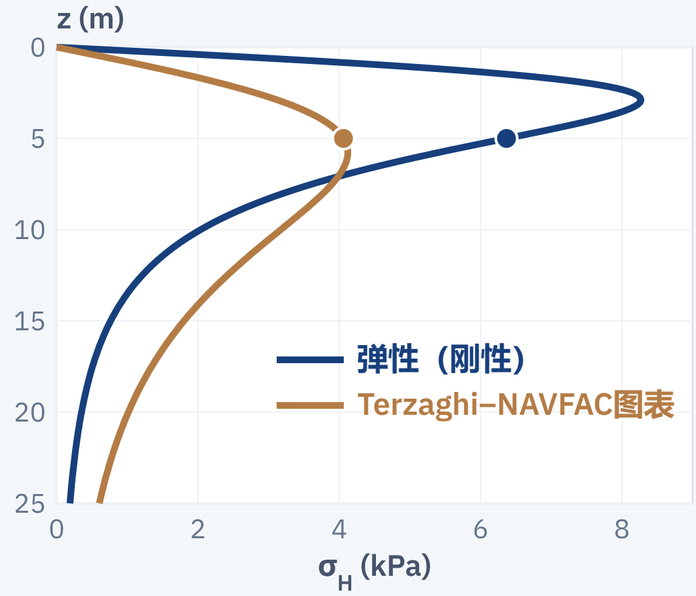
$$m = 0.20 \leq 0.4 \;\Rightarrow\; \text{工况 1 (图 } m = 0.4\text{处固定)}$$

4 图表压力

$$\sigma_H = \frac{100}{25}\left[\frac{0.203 \times 0.20}{(0.16 + 0.20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 4.00 \times 1.015 = \mathbf{4.06}\ \text{kPa}$$

图表法为**4.06 kPa**，弹性解为**6.37 kPa**：在该深度，图表值为弹性值的64%。对于邻近荷载，图表将压力沿深度扩散。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

墙与荷载	$H = 25.00$ m, $P = 100.0$ kN/m, $x = 5.00$ m $(m = 0.20)$
深度	$z = 0$ – 25 m，每隔2.5 m

求

σ_H分布图（两种方法）；**最大压力**及其深度。

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	0.000	0.000
2.50	0.10	8.149	2.810
5.00	**0.20**	**6.366**	**4.060**
7.50	0.30	3.616	3.898
10.00	0.40	2.037	3.172
12.50	0.50	1.211	2.415
15.00	0.60	0.764	1.802
17.50	0.70	0.508	1.345
20.00	0.80	0.352	1.015
22.50	0.90	0.254	0.777
25.00	1.00	0.188	0.603

弹性压力在紧靠表面以下即达到最大值，并随深度减小；图表给出的分布更为平缓，峰值出现在更深处。z = 5.00 m一行为算例1。

解答 (2/2)

解答

1 弹性解：峰值n = m/√3

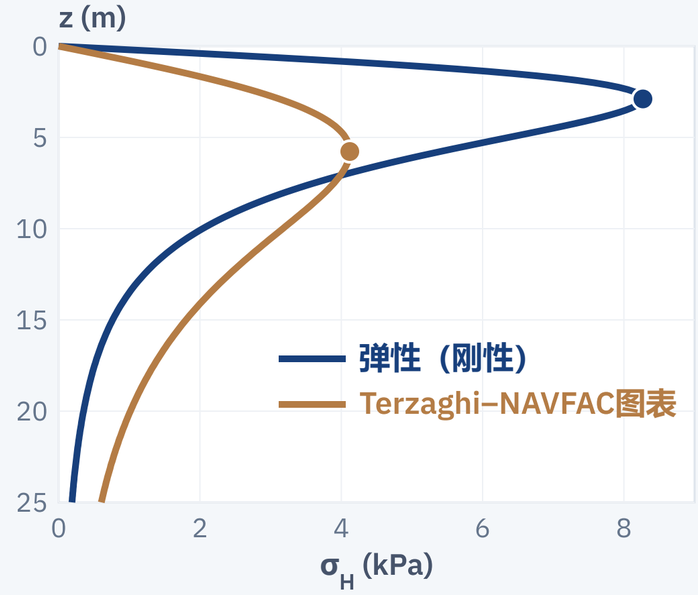
$$n = \frac{m}{\sqrt{3}} = \frac{0.20}{1.7321} = 0.11547 \;\Rightarrow\; z = nH = \mathbf{2.887}\ \text{m}$$

$$\sigma_{H,max} = \frac{9P}{4\sqrt{3}\,\pi\,x} = \frac{9 \times 100}{4(1.7321)\pi(5)} = \mathbf{8.270}\ \text{kPa}$$

2 图表（工况1）：峰值n = 0.4/√3

$$n = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.23094 \;\Rightarrow\; z = \mathbf{5.774}\ \text{m}$$

$$\sigma_{H,max} = 4\left[\frac{0.203 \times 0.23094}{(0.16 + 0.05333)^2}\right] = \mathbf{4.120}\ \text{kPa}$$



弹性解峰值为**8.27 kPa** (z = 2.89 m)，图表解峰值为**4.12 kPa** (z = 5.77 m)：弹性解集中于墙的上部，图表解则在更深处给出约为其一半的峰值。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

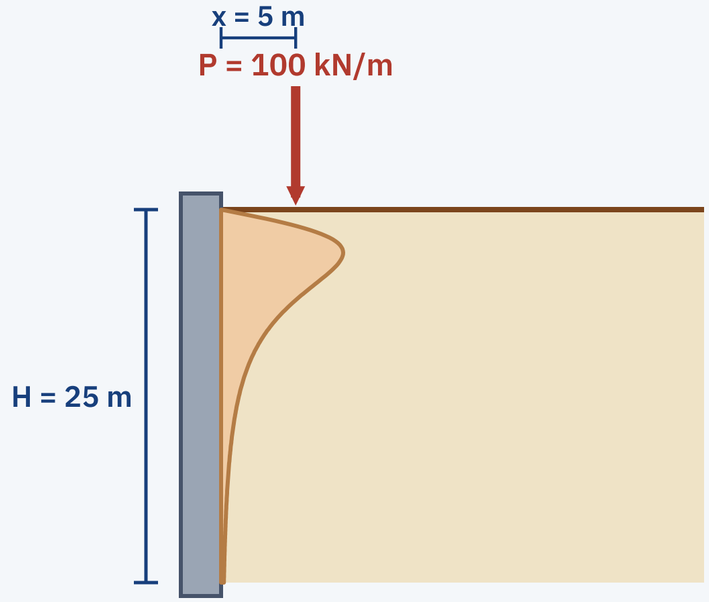
算例

已知条件

墙与荷载	$H = 25.00$ m, $P = 100.0$ kN/m, $x = 5.00$ m
方法	**弹性解（刚性墙）与Terzaghi–NAVFAC图表**

求

I_0、I_1、合力P_H、z_R及其距底面的高度（两种方法）。



解答 (1/2)

解答

1 I_0（面积）

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1+m^2} = \frac{0.63662}{1+0.20^2} = \mathbf{0.61213}$$

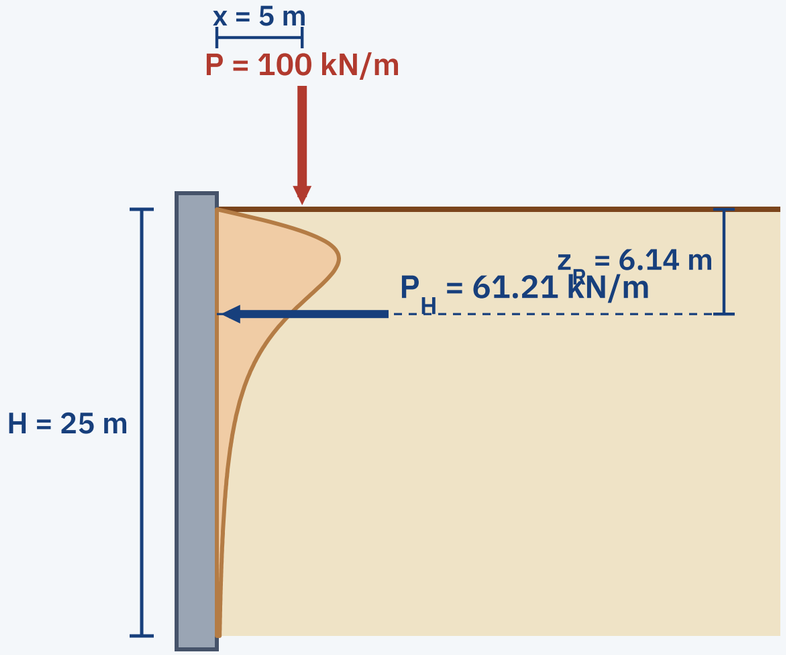
2 I_1（力矩）：$(2/\pi)[m\tan^{-1}(1/m) - m^2/(1+m^2)]$

$$I_1 = 0.63662\,[0.20(1.37340) - 0.03846] = \mathbf{0.15038}$$

3 合力与作用线

$$P_H = P\,I_0 = 100 \times 0.61213 = \mathbf{61.21}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = H\frac{I_1}{I_0} = 25 \times \frac{0.15038}{0.61213} = \mathbf{6.14}\ \text{m}$$



弹性解：**P_H = 61.21 kN/m**，作用于地表以下**6.14 m**处（距墙底18.86 m）。

解答 (2/2)

解答

4 I_0和I_1（m ≤ 0.4，情形1）

$$I_0 = 0.1015\left(\frac{1}{0.16} - \frac{1}{1.16}\right) = \mathbf{0.5469}$$

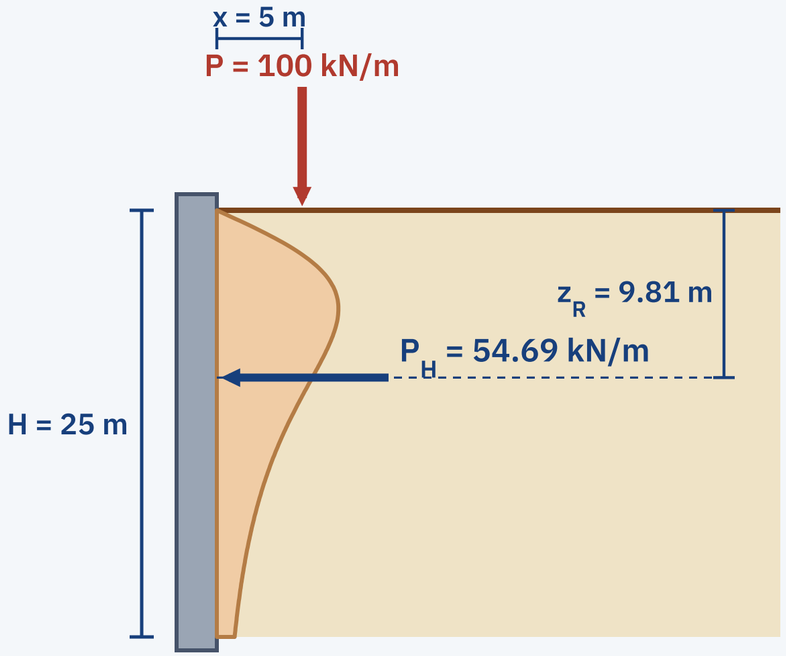
$$I_1 = 0.203\left[\frac{\tan^{-1} 2.5}{0.8} - \frac{1}{2.32}\right]$$

$$I_1 = 0.203\,[1.48786 - 0.43103] = \mathbf{0.21454}$$

5 合力与作用线

$$P_H = 100 \times 0.5469 = \mathbf{54.69}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = 25 \times \frac{0.21454}{0.5469} = \mathbf{9.81}\ \text{m}$$



图表解：P_H = 54.69 kN/m，z_R = 9.81 m。与弹性解相比，合力小10.7%，作用线低3.67 m。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

墙与荷载	$H = 25.00$ m, $P = 100.0$ kN/m
距离	$x = 0.5;\ 1;\ 2;\ 5;\ 8;\ 10;\ 12.5;\ 15;\ 25$ m

求

两种方法的P_H和z_R；x = 12.5 m时的手算验算。

解答 (1/2)

解答

x (m)	m	弹性解P_H (kN/m)	z_R弹性解(m)	P_H图表值(kN/m)	z_R（图表法）(m)	状态
0.50	0.020	63.64	0.77	54.69	9.81	工况1
1.00	0.040	63.56	1.49	54.69	9.81	工况1
2.00	0.080	63.26	2.84	54.69	9.81	工况1
5.00	**0.200**	**61.21**	**6.14**	**54.69**	**9.81**	**情况1**
8.00	0.320	57.75	8.56	54.69	9.81	工况1
10.00	0.400	54.88	9.81	54.69	9.81	工况1
12.50	0.500	50.93	11.05	50.93	11.05	工况2
15.00	0.600	46.81	12.02	46.81	12.02	工况2
25.00	1.000	31.83	14.27	31.83	14.27	工况2

x ≤ 10 m (m ≤ 0.4)：图表给出54.69 kN/m和9.81 m，距离无影响；弹性解的合力随荷载远离而缓慢减小(63.64 → 54.88 kN/m)，其作用线下移。**m > 0.4**：两种方法相同。

解答 (2/2)

解答

1 比值与状态

$$m = \frac{12.5}{25} = \mathbf{0.50} > 0.4 \;\Rightarrow\; \text{图表情形 2：与弹性解相同的方程}$$

2 I_0与I_1

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1 + 0.50^2} = \frac{0.63662}{1.25} = \mathbf{0.50930}$$

$$I_1 = 0.63662\,[0.50(1.10715) - 0.2] = \mathbf{0.22509}$$

3 合力与作用线

$$P_H = 100 \times 0.50930 = \mathbf{50.93}\ \text{kN/m} \qquad z_R = 25 \times \frac{0.22509}{0.50930} = \mathbf{11.05}\ \text{m}$$

x = 12.5 m时，两种方法均得到**50.93 kN/m**和**11.05 m**。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

墙与荷载	$H = 25.00$ m, $P = 100.0$ kN/m
邻近荷载	$x = 0.05;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.5;\ 1$ m
限值	**图表：** $x = 9.99;\ 10;\ 10.01$ m ($0.4H = 10$ m)

求

x_{min}规则的影响；弹性解的最大压力；图表在m = 0.4界限处的表现。

解答 (1/2)

解答

x (m)	计算x (m)	弹性解P_H (kN/m)	z_R弹性解(m)	弹性解$\sigma_{H,max}$(kPa)	z (m)	P_H图表值(kN/m)
0.05	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.10	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.20	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.30	0.30	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.50	0.50	63.64	0.77	82.7	0.29	54.69
1.00	1.00	63.56	1.49	41.3	0.58	54.69

x < 0.30 m的荷载按0.30 m计算：合力、作用线和最大压力均与0.30 m处的值相同；弹性峰值在此距离处升至**137.8 kPa**(z = 0.17 m)。图表在任意距离处均给出54.69 kN/m。

解答 (2/2)

解答

1 0.203和4 × 0.16/π

$$\frac{4\times 0.16}{\pi}=0.2037\approx 0.203\ \Rightarrow\ \frac{I_0(m=0.4^{+})}{I_0(\text{工况1})}=\frac{0.63662/1.16}{0.5469}=\mathbf{1.0033}$$

2 限值两侧的图表合力

x (m)	m	状态	P_H图表值(kN/m)	z_R（图表法）(m)
9.99	0.3996	工况1	54.6875	9.8074
10.00	0.4000	工况1	54.6875	9.8074
10.01	0.4004	工况2	54.8659	9.8130

由于舍入，合力在越过m = 0.4界限时跳变约**0.33%**(54.69 → 54.87 kN/m)；作用线9.807 → 9.813 m。跳变很小；保留图表中已发表的系数。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

荷载	$P = 100.0$ **kN/m,** $x = 5.00$ **m**
高度	$H = 5,\ 10,\ 25,\ 50,\ 100$ **m**
荷载强度	$P = 50,\ 100,\ 200$ **kN/m** ($H = 25$ **m**)

求

两种方法的P_H和z_R；P和H的影响。

解答

解答

H (m)	m	弹性解P_H	弹性解z_R	P_H图表	z_R图表	状态
5	1.000	31.83	2.85	31.83	2.85	工况2
10	0.500	50.93	4.42	50.93	4.42	工况2
25	0.200	61.21	6.14	54.69	9.81	工况1
50	0.100	63.03	6.93	54.69	19.61	工况1
100	0.050	63.50	7.37	54.69	39.23	工况1

高墙时m减小：弹性解的P_H趋近0.64P；图表法的P_H不变(0.5469P)，而z_R随H增大。

P (kN/m)	弹性解P_H	P_H图表	弹性解z_R	z_R图表
50	30.61	27.34	6.14	9.81
100	61.21	54.69	6.14	9.81
200	122.43	109.38	6.14	9.81

合力随**P**呈**线性**增大；z_R与P无关（弹性解 · 图表法）。

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）：**$\sigma_H = (4P/\pi H)\, m^2 n/(m^2 + n^2)^2$**，峰值出现在$n = m/\sqrt{3}$；**$x_{min} = 0.30$ m**

图表法：$m > 0.4$时为同一方程；**$m \le 0.4$**时$\sigma_H = (P/H)\, 0.203\, n/(0.16 + n^2)^2$，距离无影响

算例($H = 25$ m, $x = 5$ m, $P = 100$ kN/m)：在$z = 5$ m处，弹性解为6.37 kPa，图表法为4.06 kPa；最大压力为8.27 kPa ($z = 2.89$ m)和4.12 kPa ($z = 5.77$ m)

合力$P_H = P \cdot I_0$，**$z_R = H \cdot I_1/I_0$**：弹性解为61.21 kN/m和6.14 m；图表解为54.69 kN/m和9.81 m

比较：超过0.4H时两种方法一致；在此范围以内，弹性解的合力随荷载靠近而增大，图表法则为常数

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.

注

所有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。模块的初始墙为H = 25 m, x = 5 m和P = 100 kN/m（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、线荷载的大小及其与墙的距离；模块采用两种方法一并给出压力分布、合力及作用线、分步解答和报告。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。

如需在课堂教学中使用：info@geoterva.com