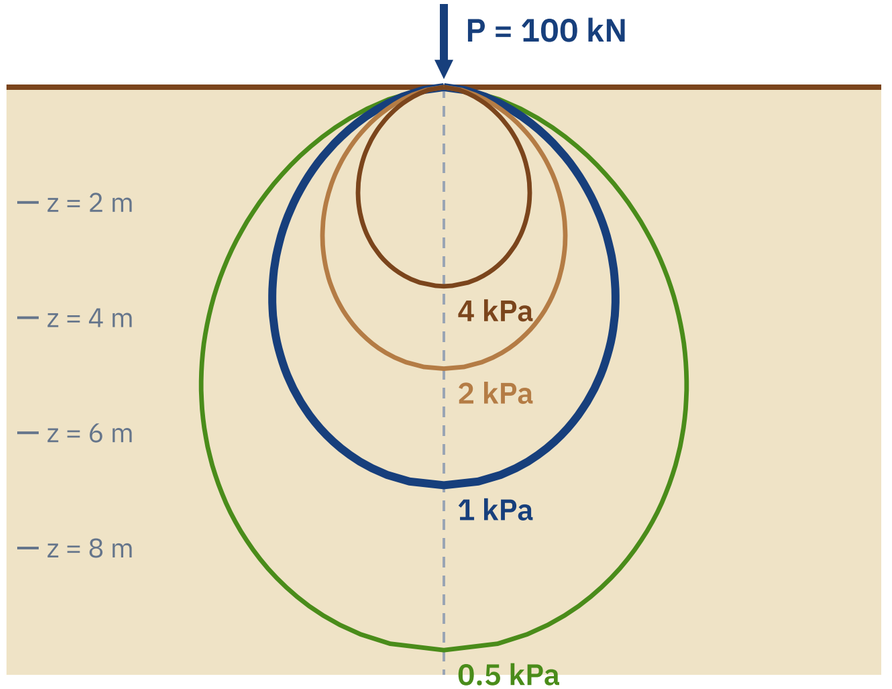
GeoTerva

岩土工程讲义 · 土中应力分布

集中荷载下的应力(Boussinesq)

讲义：地表竖向集中荷载在土中产生的应力；初始点从头到尾手算，深度和侧向剖面以表格给出。

Boussinesq解 | 影响系数I_1 | 水平应力 | 叠加法 | 压力泡



引言

本讲内容

半无限、均质、各向同性的线弹性介质中，地表**竖向集中荷载**在某点引起的三个正应力：$\Delta\sigma_z$、$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$

认识到竖向应力**与μ及弹性模量无关**，而水平应力与μ有关

影响系数I_1：$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$，以及$I_1$仅取决于r/z

叠加原理：多个集中荷载产生的应力相加；**等应力曲线**（压力泡），以及荷载轴线下方的0.4775 P/z^2

从头到尾手算模块的初始计算点；沿深度和水平方向的变化以及水平应力列于表中

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：P = 5 kN；点A：x = 3 m，y = 4 m，z = 6 m(r = 5 m)；μ = 0.5。

Boussinesq半无限介质

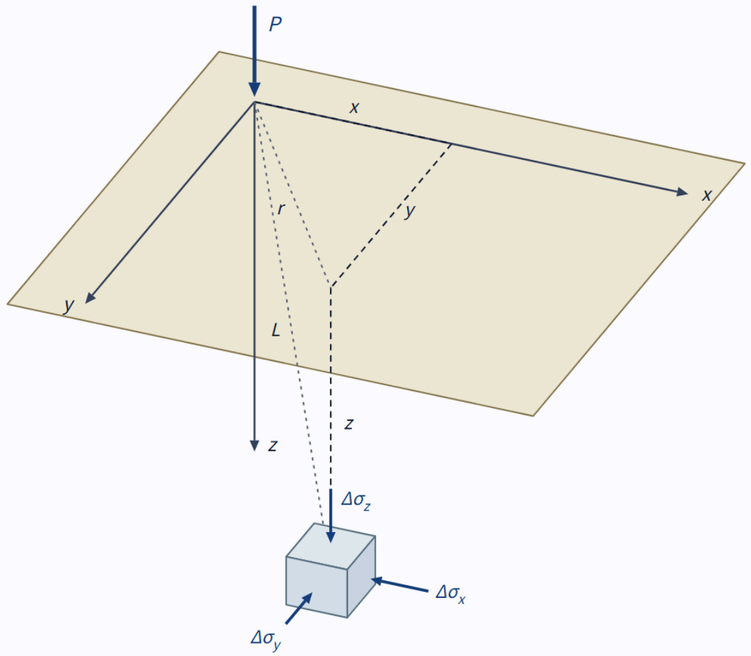
理论

Boussinesq (1883)求解了作用于半无限介质表面的集中荷载在均质、弹性、各向同性介质中产生的应力。

按解答的假定，土体为**半无限体**：在一个平面表面以下，向两侧和向下无限延伸。

介质为均质、各向同性的线弹性体；由**泊松比**μ确定，弹性模量不出现在应力表达式中。

荷载**P**是作用于地表的竖向集中荷载；所求得的应力是由该荷载引起的应力增量，土体自重产生的应力需叠加其上。



该点处的三个法向应力

理论

按图中坐标（r为该点至荷载轴线的水平距离，L为该点至荷载的距离），该点的正应力为：

$$\Delta\sigma_x = \frac{P}{2\pi}\left\{\frac{3x^2z}{L^5} - (1-2\mu)\left[\frac{x^2-y^2}{Lr^2(L+z)} + \frac{y^2z}{L^3r^2}\right]\right\}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{P}{2\pi}\left\{\frac{3y^2z}{L^5} - (1-2\mu)\left[\frac{y^2-x^2}{Lr^2(L+z)} + \frac{x^2z}{L^3r^2}\right]\right\}$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi}\frac{z^3}{L^5} = \frac{3P}{2\pi}\frac{z^3}{(r^2+z^2)^{5/2}} \qquad r=\sqrt{x^2+y^2},\ \ L=\sqrt{r^2+z^2}$$

泊松比的影响

理论

水平应力取决于泊松比μ；而**竖向应力**既与μ无关，也与弹性模量无关。

μ = 0.5时（无体积变化，不排水黏土），方括号内的各项为零，于是$\Delta\sigma_x = 3P\,x^2z/(2\pi L^5)$，$\Delta\sigma_y = 3P\,y^2z/(2\pi L^5)$。

在荷载轴线上(r = 0)，两个水平应力均趋近于$-P(1-2\mu)/(4\pi z^2)$；这是一个很小的减小量。

$$\mu = 0.5: \qquad \Delta\sigma_x = \frac{3P\,x^2z}{2\pi L^5}, \qquad \Delta\sigma_y = \frac{3P\,y^2z}{2\pi L^5}$$

$$r = 0: \qquad \Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = -\frac{P\,(1-2\mu)}{4\pi z^2}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$

理论

由于$L^2 = z^2[(r/z)^2 + 1]$，方程可写成仅与r/z有关的系数形式。

影响系数I_1仅取决于r/z；因此同一张表或同一条曲线适用于所有的P和z。

$$L^2 = z^2\left[(r/z)^2 + 1\right]$$

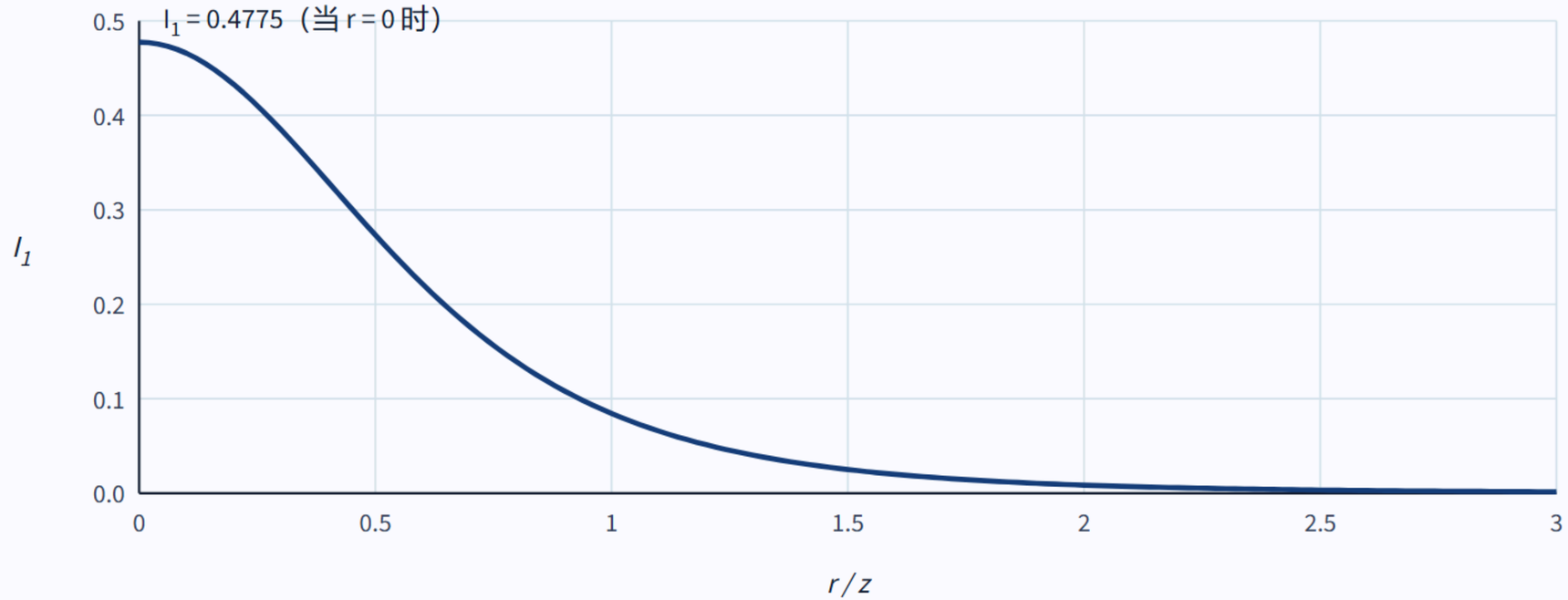
$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_1 \qquad I_1 = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[(r/z)^2 + 1\right]^{5/2}}$$

I_1值（模块）

r/z	I_1	r/z	I_1
0.0	0.4775	1.0	0.0844
0.1	0.4657	1.2	0.0513
0.2	0.4329	1.4	0.0317
0.3	0.3849	1.6	0.0200
0.4	0.3295	1.8	0.0129
0.5	0.2733	2.0	0.0085
0.6	0.2214	2.5	0.0034
0.7	0.1762	3.0	0.0015
0.8	0.1386	4.0	0.0004
0.9	0.1083	5.0	0.0001

I_1与r/z

理论



影响系数 I1 随 r/z 的变化曲线。其在荷载轴线上取得最大值 3/(2π) = 0.4775，在 r/z = 0.0844 时降至 1，当 r/z > 0.002 后降至 3 以下。

叠加原理

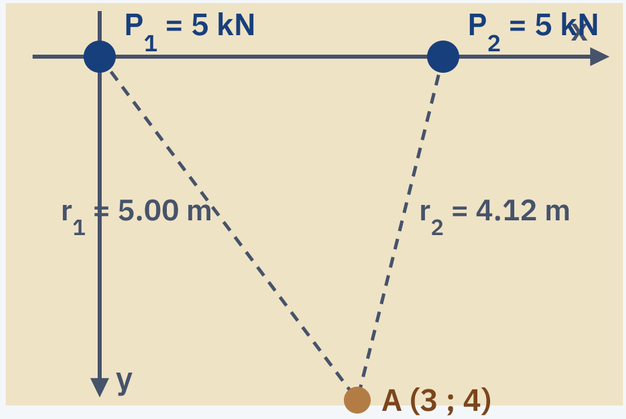
理论

对于线弹性土体上的多个集中荷载，应力按叠加原理求和：$\Delta\sigma_z = \Sigma\Delta\sigma_{z,k}$，$\Delta\sigma_x = \Sigma\Delta\sigma_{x,k}$，$\Delta\sigma_y = \Sigma\Delta\sigma_{y,k}$。

每个荷载单独考虑，计算点相对该荷载的位置取为$(x - x_{L,k}, y - y_{L,k})$；这样，$r_k$和$L_k$即为该荷载自身的数值。

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{3P_k}{2\pi}\frac{z^3}{L_k^5}, \qquad L_k = \sqrt{(x - x_{L,k})^2 + (y - y_{L,k})^2 + z^2}$$

模块最多接受八个荷载，且任意两个荷载不得位于同一位置；剖面视图中的等应力线绘于竖向平面$y = y_A$内。



集中荷载的应力泡

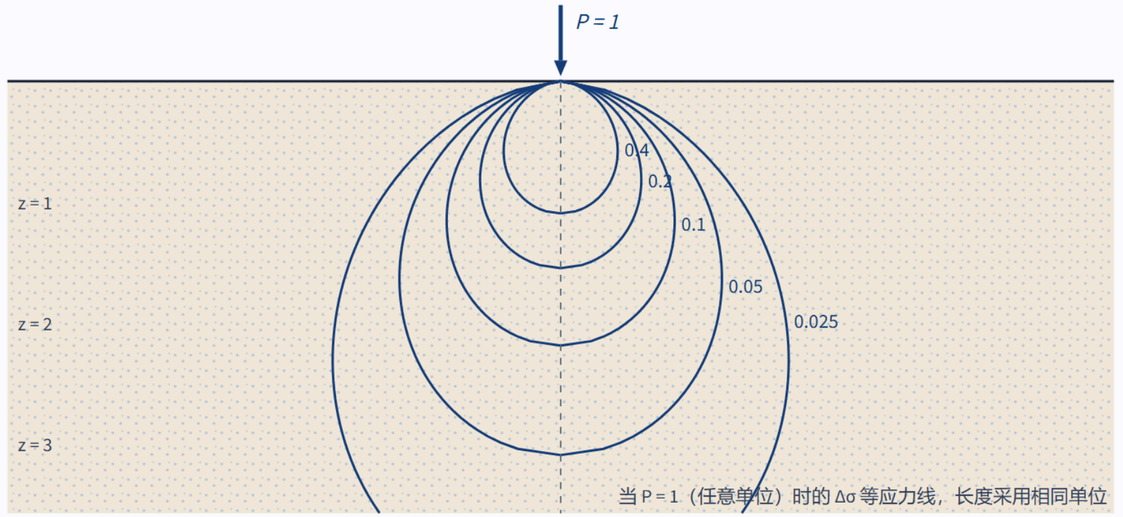
理论

将$\Delta\sigma_z$值相等的点连接起来，即得到洋葱形的等应力曲线。

沿荷载轴线，应力按深度的平方衰减：$\Delta\sigma_z = 0.4775\ P/z^2$。

在紧靠荷载的区域，该解给出极大的应力：实际荷载绝不会是一个点。

$$r = \sqrt{\left(\frac{3P\,z^3}{2\pi\,\Delta\sigma_z}\right)^{2/5} - z^2}$$



题目

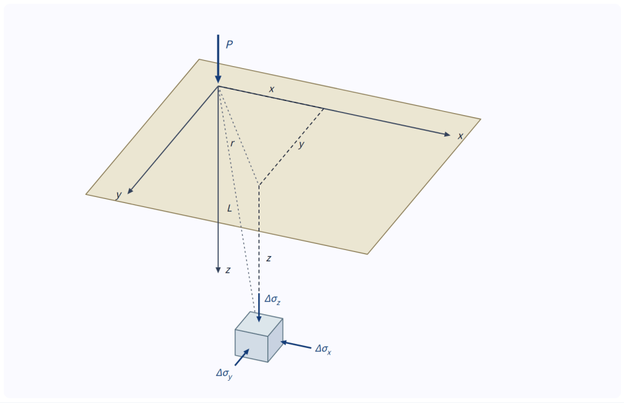
算例

已知条件

荷载	**竖向集中荷载$P = 5$ kN，作用于地表，位于坐标原点**
点A	$x = 3$ m, $y = 4$ m, $z = 6$ m
土	**均质弹性半无限体；$\mu = 0.5$**

求

r、L、r/z、影响系数I_1和竖向应力增量$\Delta\sigma_z$；并用方程直接对结果进行验算。



解答 (1/2)

解答

1 水平距离r、至荷载的距离L及r/z

$$r = \sqrt{3^2 + 4^2} = \mathbf{5}\ \text{m} \qquad L = \sqrt{r^2 + z^2} = \sqrt{5^2 + 6^2} = \mathbf{7.810}\ \text{m}$$

$$r/z = 5/6 = \mathbf{0.8333}$$

2 影响系数I_1

$$I_1 = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{\left[(r/z)^2 + 1\right]^{5/2}} = \frac{0.47746}{\left[0.8333^2 + 1\right]^{2.5}}$$

$$I_1 = \frac{0.47746}{1.6944^{2.5}} = \frac{0.47746}{3.7374} = \mathbf{0.12775}$$

该点距荷载轴线**5 m**，深**6 m**；由于r/z = 0.8333，I_1为荷载轴线下数值(0.4775)的0.27倍。

解答 (2/2)

解答

3 竖向附加应力

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_1 = \frac{5}{6^2}\,(0.12775) = 0.13889\,(0.12775) = \mathbf{0.01774}\ \text{kPa}$$

4 验算：直接采用Boussinesq公式

$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi}\frac{z^3}{L^5} = \frac{3(5)(6^3)}{2\pi\,(7.810)^5}$$

$$= \frac{3{,}240}{2\pi\,(29{,}062)} = \mathbf{0.01774}\ \text{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 0.01774 kPa (I_1 = 0.12775)。由于荷载较小，应力也较小；模块在该点给出相同的数值。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

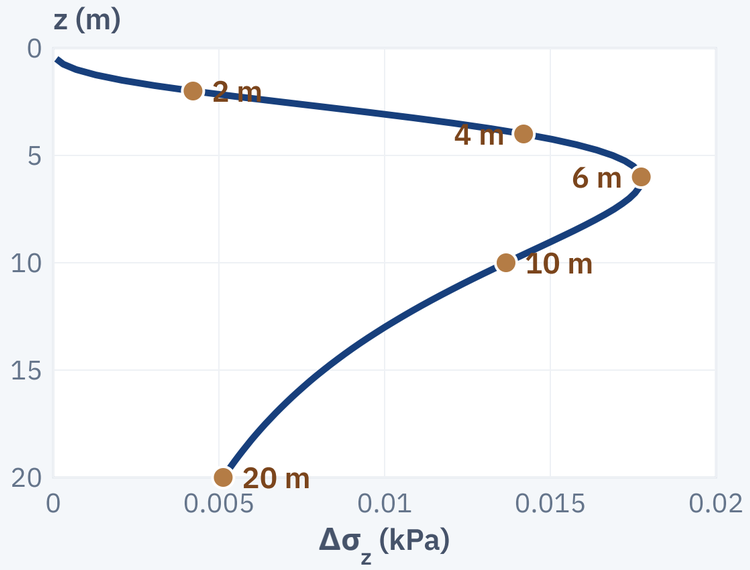
算例

已知条件

荷载与点位	$P = 5$ kN；$x = 3$ m，$y = 4$ m，故$r = 5$ m（各深度均相同）
深度	$z = 2; 4; 6; 10; 20$ m

求

各深度处的r/z、I_1和$\Delta\sigma_z$；与荷载轴线下方0.4775 P/z²的对比；应力最大处的深度。



解答 (1/2)

解答

1 z = 2 m (r = 5 m): r/z = 2.5

$$I_1 = \frac{0.47746}{\left[2.50^2 + 1\right]^{2.5}} = \frac{0.47746}{141.529} = 0.00337$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{2^2}\,(0.00337) = \mathbf{0.00422}\ \text{kPa}$$

2 z = 4 m (r = 5 m): r/z = 1.25

$$I_1 = \frac{0.47746}{\left[1.25^2 + 1\right]^{2.5}} = \frac{0.47746}{10.511} = 0.04542$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{4^2}\,(0.04542) = \mathbf{0.01419}\ \text{kPa}$$

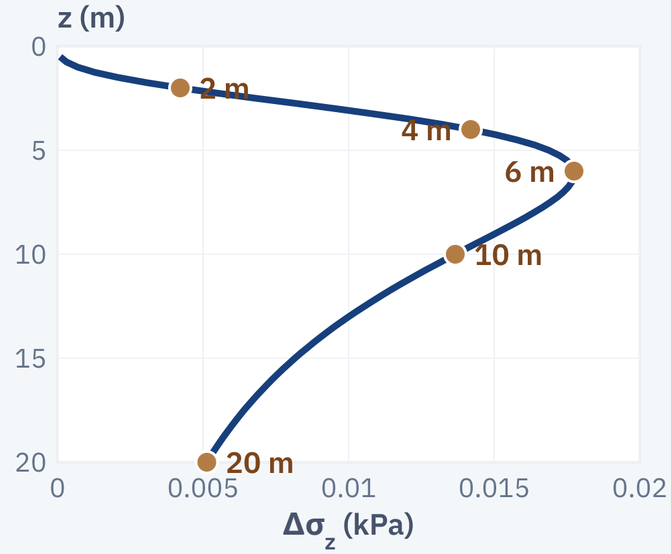
对于相同的r = 5 m，随着z增大，r/z减小，I_1增大；但P/z²减小。乘积先增大后减小：z = 2 m时为0.00422，z = 4 m时为0.01419 kPa。

解答 (2/2)

解答

z (m)	r/z	I_1	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	0.4775 P/z² (kPa)
2	2.500	0.0034	0.00422	0.59683
4	1.250	0.0454	0.01419	0.14921
6	0.833	0.1278	**0.01774**	0.06631
10	0.500	0.2733	0.01367	0.02387
20	0.250	0.4103	0.00513	0.00597

最大应力出现在深度z = r√(3/2) = **6.12 m**处(0.01775 kPa)；z = 6 m非常接近该深度（模块的初始计算点）。在距轴线5 m处，浅层的应力远小于荷载轴线下方的应力，随深度增加逐渐接近它（z = 20 m：0.00513和0.00597 kPa）。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

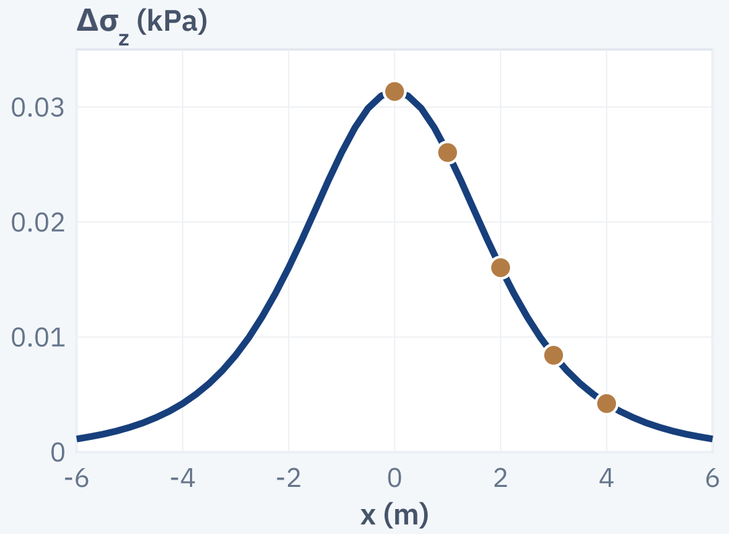
算例

已知条件

荷载	$P = 5$ kN，位于坐标原点
点	$z = 2$ m, $y = 3$ m; $x = 0, 1, 2, 3, 4$ m
土	$\mu = 0.5$（竖向应力与μ无关）

求

对每个点：r、r/z、I_1和$\Delta\sigma_z$；荷载正下方(x = 0)的值与最远处(x = 4 m)的值之比。



解答 (1/2)

解答

1 水平距离及r/z (x = 2 m, y = 3 m)

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13} = \mathbf{3.606}\ \text{m}$$

$$\frac{r}{z} = \frac{3.606}{2} = \mathbf{1.8028} \qquad \left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1 = 4.250$$

2 影响系数与应力

$$I_1 = \frac{0.47746}{4.250^{2.5}} = \frac{0.47746}{37.237} = 0.01282$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{2^2}\,(0.01282) = \mathbf{0.01603}\ \text{kPa}$$

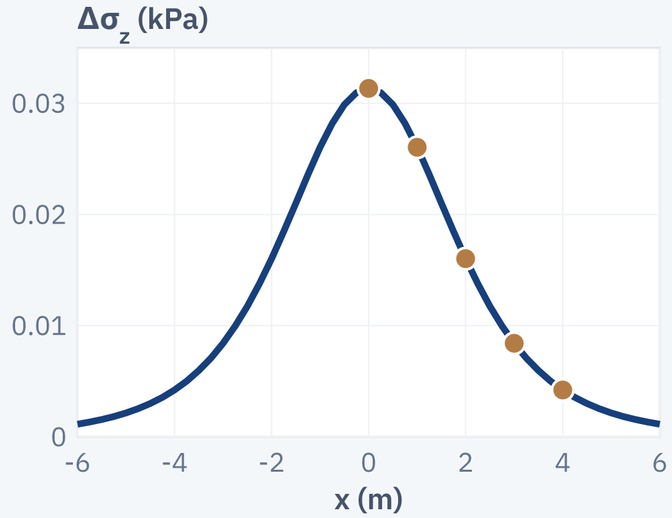
在x = 2 m处，r = 3.606 m，r/z = 1.803，**$\Delta\sigma_z$ = 0.01603 kPa**。其余x值按同样的三个步骤求得（表见下一页）。

解答 (2/2)

解答

x (m)	r (m)	r/z	I_1	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
0	3.000	1.500	0.0251	0.03134
1	3.162	1.581	0.0208	0.02604
2	3.606	1.803	0.0128	**0.01603**
3	4.243	2.121	0.0067	0.00841
4	5.000	2.500	0.0034	0.00422

在荷载正下方的点(x = 0, r = 3 m)为**0.03134 kPa**；在x = 4 m处(r = 5 m)为**0.00422 kPa**：比值为7.4。在同一深度处，水平距离增大时应力迅速减小；曲线在x = 0附近最高（由于y = 3 m，荷载仍距3 m远）。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

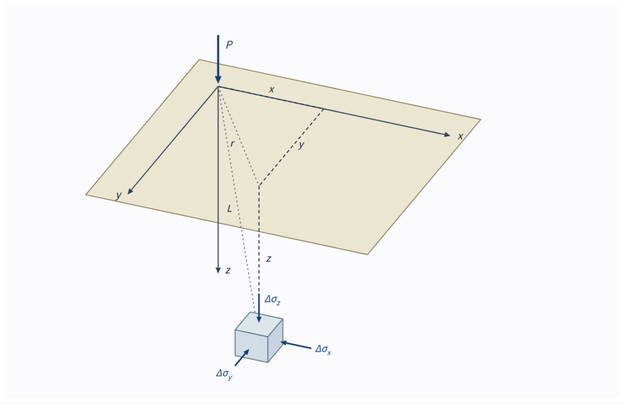
算例

已知条件

荷载与点位	$P = 5$ kN; A: $x = 3$ m, $y = 4$ m, $z = 6$ m ($r = 5$ m, $L = 7.810$ m)
泊松比	$\mu = 0.5; 0.3; 0.2; 0$

求

$\Delta\sigma_x$和$\Delta\sigma_y$（μ = 0.5时用简化式，μ = 0.3时用完整式手算）；μ对竖向应力的影响。



解答 (1/3)

解答

1 L^5 (L = 7,810 m)

$$L^5 = 61^{2.5} = 29{,}062 \text{ m}^5 \qquad 2\pi L^5 = 182{,}602$$

2 μ = 0.5：方括号内的各项为零

$$\Delta\sigma_x = \frac{3P\,x^2 z}{2\pi L^5} = \frac{3(5)(3^2)(6)}{182{,}602} = \frac{810}{182{,}602} = \mathbf{0.00444}\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{3P\,y^2 z}{2\pi L^5} = \frac{3(5)(4^2)(6)}{182{,}602} = \frac{1{,}440}{182{,}602} = \mathbf{0.00789}\ \text{kPa}$$

验算：μ = 0.5时，$\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y = 3P\,r^2 z/(2\pi L^5) = 0.00444 + 0.00789 =$ **0.01232 kPa**；两者均为模块给出的数值。

解答 (2/3)

解答

3 完整方程的各项(x = 3, y = 4, z = 6, r² = 25, L = 7.810)

$$\frac{3x^2z}{L^5} = \frac{162}{29{,}062} = 0.005574 \qquad \frac{3y^2z}{L^5} = \frac{288}{29{,}062} = 0.009910$$

$$\frac{x^2 - y^2}{L\,r^2(L+z)} = \frac{-7}{2{,}696.5} = -0.002596 \qquad \frac{y^2z}{L^3r^2} = \frac{96}{11{,}910.6} = 0.008060$$

$$\frac{x^2z}{L^3r^2} = \frac{54}{11{,}910.6} = 0.004534$$

4 μ = 0.3: 1 − 2μ = 0.4

$$\Delta\sigma_x = \frac{5}{2\pi}\left[0.005574 - 0.4\left(-0.002596 + 0.008060\right)\right] = \mathbf{0.00270}\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{5}{2\pi}\left[0.009910 - 0.4\left(0.002596 + 0.004534\right)\right] = \mathbf{0.00562}\ \text{kPa}$$

解答 (3/3)

解答

μ	$\Delta\sigma_x$ (10^{-3} kPa)	$\Delta\sigma_y$ (10^{-3} kPa)	$\Delta\sigma_z$ (10^{-3} kPa)
0.5	4.436	7.886	17.744
0.3	2.697	5.617	17.744
0.2	1.827	4.482	17.744
0.0	0.088	2.212	17.744

$\Delta\sigma_z$与μ无关（各行均为$17.744\cdot10^{-3}$ kPa）；μ减小时水平应力减小：μ = 0.5时$\Delta\sigma_X$ = 4.436，μ = 0.3时为$2.697\cdot10^{-3}$ kPa。在该点三个应力均为压应力。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

荷载	$P = 100$ kN，**竖向集中荷载**
点	**荷载轴线上，**$z = 1$；2；3；5；10 m
土	$\mu = 0.3$

求

对每个深度，求$\Delta\sigma_z$（r = 0时，$I_1 = 3/(2\pi)$）和水平应力$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$。

解答 (1/2)

解答

1 竖向应力(r = 0 ⇒ r/z = 0 ⇒ $I_1 = 3/(2\pi) = 0.4775$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_1 = \frac{100}{2^2}(0.4775) = \mathbf{11.937}\ \text{kPa}$$

2 水平应力（r = 0时的极限值，μ = 0.3）

$$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = -\frac{P(1-2\mu)}{4\pi z^2} = -\frac{100\,(0.4)}{4\pi\,(2^2)} = -\mathbf{0.796}\ \text{kPa}$$

在轴线下z = 2 m处，**$\Delta\sigma_z$ = 11.937 kPa**；水平应力为**负值**(−0.796 kPa)，即小幅减小。其数值约为竖向应力的1/15。

解答 (2/2)

解答

z (m)	$\Delta\sigma_z = 0.4775\ P/z^2$ (kPa)	$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$ (kPa)	$\Delta\sigma_z$比值(z = 1 m = 1)
1	47.746	−3.183	1.0000
2	11.937	−0.796	0.2500
3	5.305	−0.354	0.1111
5	1.910	−0.127	0.0400
10	0.477	−0.032	0.0100

深度**增大一倍时，应力降至四分之一**(z = 1 → 2 m: 47.75 → 11.94 kPa)。由于这些应力为附加应力，须叠加到土体自重产生的应力上：例如γ = 18 kN/m³时，z = 2 m处σ_{v0} = 36 kPa，加载后的竖向应力为47.94 kPa。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

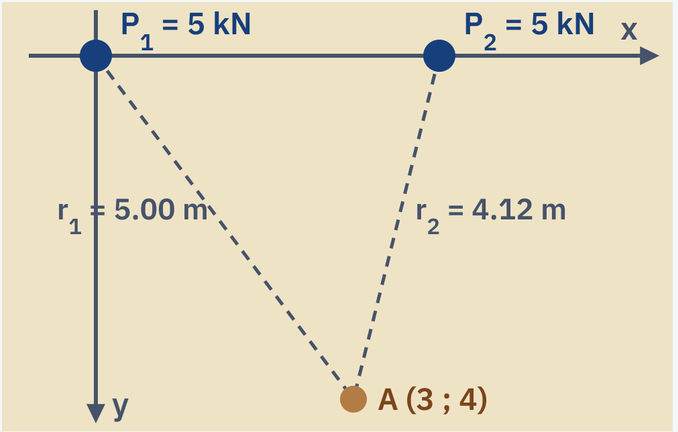
算例

已知条件

荷载	$P_1 = 5$ kN，位于$(0;0)$点；$P_2 = 5$ kN，位于$(4;0)$点
点A	$x = 3$ m，$y = 4$ m；深度$z = 6$ m（随后为2；4；10；20 m）
土	$\mu = 0.5$

求

各荷载的$\Delta\sigma_z$值及其总和；总$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$；沿深度的分布剖面。



解答 (1/3)

解答

1 荷载1（初始）：与算例1相同

$$r_1 = 5\ \text{m}, \quad \frac{r_1}{z} = 0.8333, \quad I_{1,1} = 0.12775 \ \Rightarrow\ \Delta\sigma_{z,1} = \frac{5}{36}(0.12775) = \mathbf{0.01774}\ \text{kPa}$$

2 荷载2（位于点(4 ; 0)）：A点到该荷载的距离为(−1 ; 4) m

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = \sqrt{17} = 4.123\ \text{m}, \qquad \frac{r_2}{z} = 0.6872$$

$$I_{1,2} = \frac{0.47746}{\left[0.6872^2 + 1\right]^{2.5}} = \frac{0.47746}{2.6299} = 0.18155$$

$$\Delta\sigma_{z,2} = \frac{5}{6^2}\,(0.18155) = \mathbf{0.02522}\ \text{kPa}$$

荷载2距A点(4.12 m)比荷载1(5 m)更近，因此产生的应力更大。

解答 (2/3)

解答

3 竖向应力：叠加

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z,1} + \Delta\sigma_{z,2} = 0.01774 + 0.02522 = \mathbf{0.04296}\ \text{kPa}$$

4 水平应力(μ = 0.5)：对于荷载2，x = −1，y = 4（取其自身的距离）

$$\Delta\sigma_{x,2} = \frac{3(5)(1)(6)}{2\pi\,(53)^{2.5}} = 0.000700 \qquad \Delta\sigma_{y,2} = \frac{3(5)(16)(6)}{2\pi\,(53)^{2.5}} = 0.011207$$

$$\Delta\sigma_x = 0.004436 + 0.000700 = \mathbf{0.00514} \qquad \Delta\sigma_y = 0.007886 + 0.011207 = \mathbf{0.01909}\ \text{kPa}$$

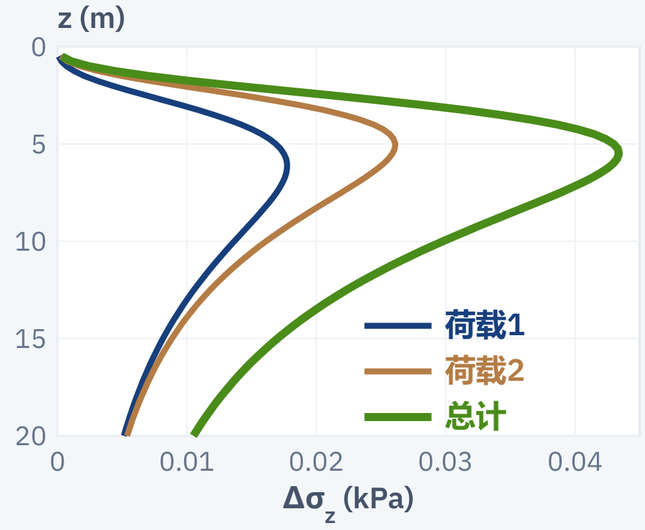
$\Delta\sigma_z$ = 0.04296 kPa，$\Delta\sigma_x$ = 0.00514，$\Delta\sigma_y$ = 0.01909 kPa；在线弹性土体中，各荷载产生的应力可以叠加。

解答 (3/3)

解答

z (m)	r_1/z	$\Delta\sigma_{z,1}$	r_2/z	$\Delta\sigma_{z,2}$	$\Delta\sigma_z$合计(kPa)
2	2.500	0.00422	2.062	0.00945	0.01367
4	1.250	0.01419	1.031	0.02442	0.03862
6	0.833	0.01774	0.687	0.02522	**0.04296**
10	0.500	0.01367	0.412	0.01612	0.02979
20	0.250	0.00513	0.206	0.00538	0.01051

各深度处的总和均为两个荷载之和；总和的最大值出现在z ≈ 5 m附近(z = 4 m: 0.03862, z = 6 m: 0.04296 kPa)。荷载2在各深度处的贡献均大于荷载1。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

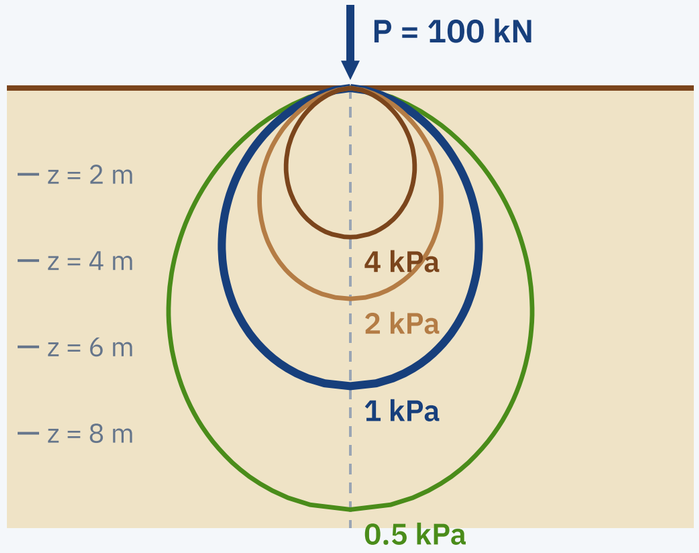
算例

已知条件

荷载	$P = 100$ kN，竖向集中荷载
线	等于$\Delta\sigma_z = 1$ kPa的点；$z = 1 - 6$ m
附加线	0.5；2；4 kPa（图）

求

各深度处等应力线到荷载轴线的距离r；等应力线在轴线上闭合时的深度；验算该r值所对应的$\Delta\sigma_z$确为1 kPa。



解答 (1/2)

解答

1 对r求解方程：$\Delta\sigma_z = 3P\,z^3/[2\pi(r^2+z^2)^{5/2}] = 1$

$$r = \sqrt{\left(\frac{3(100)(4^3)}{2\pi\,(1)}\right)^{0.4} - 4^2} = \sqrt{(3{,}055.8)^{0.4} - 16}$$

$$r = \sqrt{24.777 - 16} = \mathbf{2.963}\ \text{m}$$

2 验算：以所得r代入Boussinesq公式

$$\Delta\sigma_z = \frac{3(100)}{2\pi}\,\frac{4^3}{(2.963^2+4^2)^{5/2}} = \mathbf{1.000}\ \text{kPa}$$

在z = 4 m处，1 kPa等值线距荷载轴线**2.963 m**；将求得的r值代入Boussinesq方程，$\Delta\sigma_z$恰为1 kPa（其他深度见下页）。

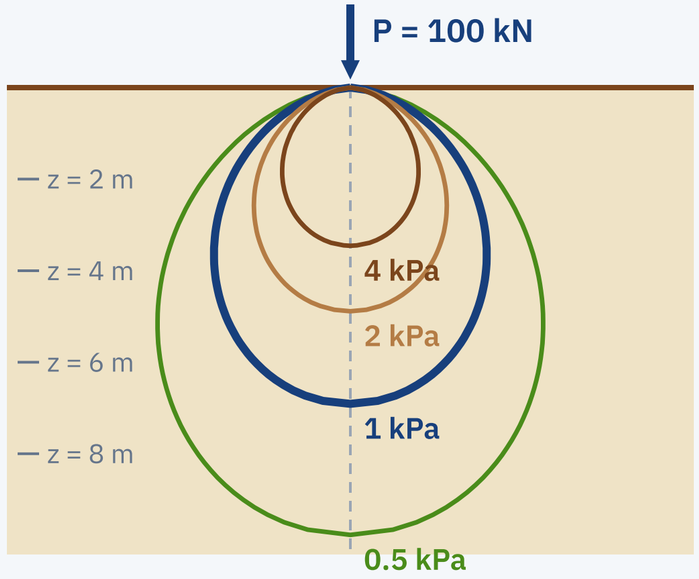
解答 (2/2)

解答

3 该线在轴线上闭合处的深度(r = 0)

$$z_{axis} = \sqrt{\frac{3P}{2\pi\,\Delta\sigma_z}} = \sqrt{\frac{3(100)}{2\pi(1)}} = \sqrt{47.75} = \mathbf{6.91}\ \text{m}$$

z (m)	r (m)	宽度2r (m)	按Boussinesq公式计算的$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1	1.922	3.84	1.000
2	2.605	5.21	1.000
3	2.923	5.85	1.000
4	2.963	5.93	1.000
5	2.717	5.43	1.000
6	2.075	4.15	1.000



1 kPa等值线在地表荷载点处起始，在深度z ≈ 3.65 m处达到最宽（r ≈ 2.98 m），并在深度6.91 m处于轴线上闭合；应力更小的等值线延伸得更深、更宽。

在GeoTerva中验算解答 ↗

小结

要点回顾

Boussinesq：$\Delta\sigma_z = 3P\,z^3/(2\pi L^5) = (P/z^2)\,I_1$，$I_1 = (3/2\pi)\,/\,[(r/z)^2+1]^{5/2}$；$\Delta\sigma_z$既与μ无关，也与E无关；$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$与μ有关

算例（P = 5 kN，A (3 ; 4 ; 6)）：r = 5 m；L = 7.810 m；r/z = 0.8333；I_1 = 0.12775；**$\Delta\sigma_z$ = 0.01774 kPa**；μ = 0.5 时，$\Delta\sigma_x$ = 0.00444，$\Delta\sigma_y$ = 0.00789 kPa

深度：对于同一r = 5 m，最大应力出现在z = r√(3/2) = 6.12 m处；**在荷载轴线下**，$\Delta\sigma_z = 0.4775\,P/z^2$（z加倍时，应力降为四分之一）

叠加原理：每个荷载分别按各自的r_k和L_k值单独计算，再将应力叠加（算例中0.01774 + 0.02522 = 0.04296 kPa）

压力泡：$\Delta\sigma_z$等值线方程为$r = \sqrt{[(3Pz^3/(2\pi\Delta\sigma_z))^{2/5} - z^2]}$；当P = 100 kN时，1 kPa等值线在6.91 m深度处与轴线闭合

参考文献

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

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

注

全部数值算例均由模块自身的计算引擎得出；模块给出相同的数值。模块打开时载入荷载 P = 5 kN和A点(3 ; 4 ; 6)。

GeoTerva

在线岩土工程计算

从理论到应用

在GeoTerva中输入自定义的集中荷载、计算点和泊松比；模块一并给出$\Delta\sigma_z$、$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$值、沿深度分布曲线、等应力线、逐步解答和报告。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。