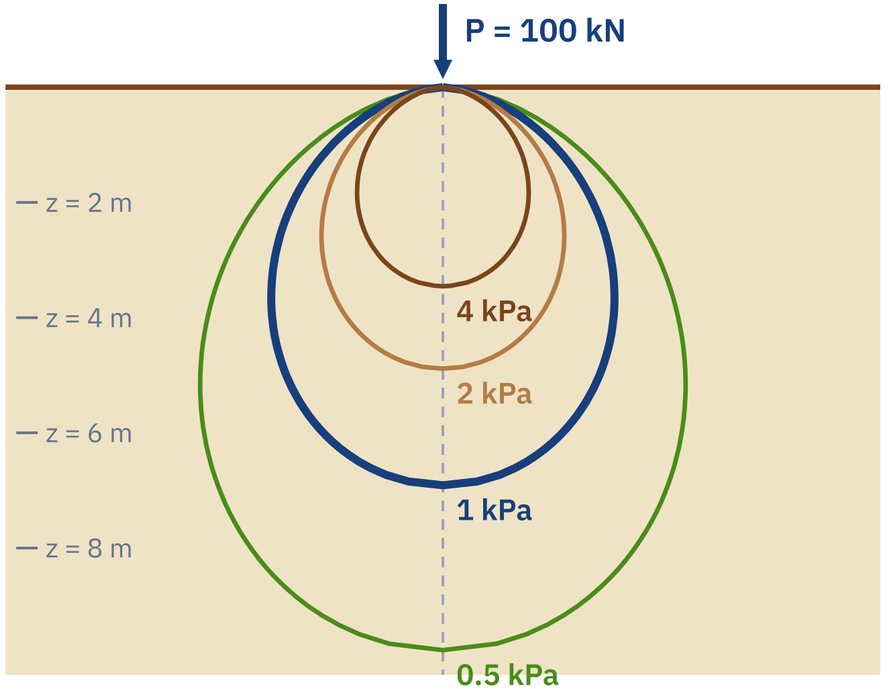
地盤工学の講義資料・地盤中の応力分布

集中荷重下の応力（Boussinesq）

講義：地表面の鉛直集中荷重が地盤中に生じさせる応力；出発点を最初から最後まで手計算し、深さ方向と水平方向の分布を表で示す。

- Boussinesqの解
- 影響係数I_1
- 水平応力
- 重ね合わせ
- 圧力球根



この講義で学ぶこと

半無限・均質・等方・線形弾性の媒体の表面に作用する**鉛直集中荷重**による点での3つの直応力：$\Delta\sigma_z$、$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$

鉛直応力は**μおよび弾性係数に依存しない**こと；水平応力はμに依存すること

影響係数I_1：$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$、および$I_1$がr/zのみに依存すること

重ね合わせ：複数の個別荷重による応力の和。**等応力曲線**（圧力球根）および荷重軸直下で$0.4775\ P/z^2$

モジュールの出発点を**最初から最後まで手計算**で；深さ方向および側方の変化、水平応力を表で

講義の流れ

各項目は**3つの手順**で扱う：

1 · **理論**：式とその根拠

2 · **問題**：与条件と求めるもの

3 · **解答**：数値を用いて手順ごとに

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

Boussinesq半無限体

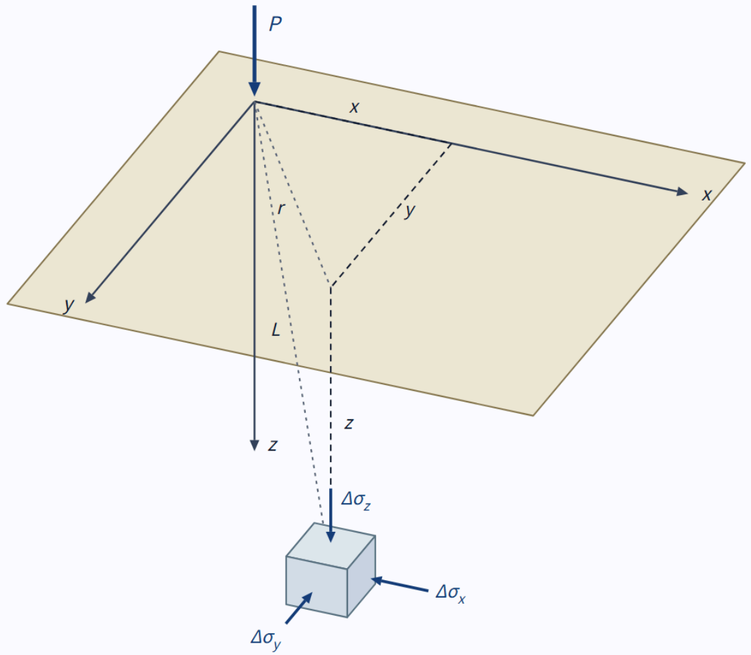
理論

Boussinesq（1883）は、無限に広い半無限体の表面に作用する集中荷重が、均質・弾性・等方性の媒体中に生じさせる応力を解いた。

解の仮定によれば、地盤は**半無限媒体**である：平面の表面の下で、側方および下方へ無限に広がる。

媒体は均質、等方、線形弾性であり、**ポアソン比** μ で定義され、弾性係数は応力に現れない。

Pは地表面に作用する鉛直な集中荷重である。求められる応力は荷重による増分であり、地盤自重による応力はこれに加算する。



1点における3つの垂直応力

理論

図中の座標（**r** = 点の荷重軸からの水平距離、**L** = 荷重からの距離）を用いると、点における垂直応力は次のとおり：

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

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

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

ポアソン比の影響

理論

水平応力はポアソン比 μ に依存するが、**鉛直応力**は μ にも弾性係数にも依存しない。

μ = 0.5の場合（体積変化なし、非排水粘土）、角括弧内の項はゼロとなり、$\Delta\sigma_x = 3P\,x^2z/(2\pi L^5)$、$\Delta\sigma_y = 3P\,y^2z/(2\pi L^5)$となる。

載荷軸上（r = 0）では両方の水平応力が$-P(1-2\mu)/(4\pi z^2)$に近づく。これは小さな減少である。

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

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

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

理論

$L^2 = z^2[(r/z)^2 + 1]$であるから、式はr/zのみに依存する係数を用いて表すことができる。

影響係数I_1はr/zのみに依存する。したがって、単一の表または曲線が任意のPおよび任意のzに対して用いられる。

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

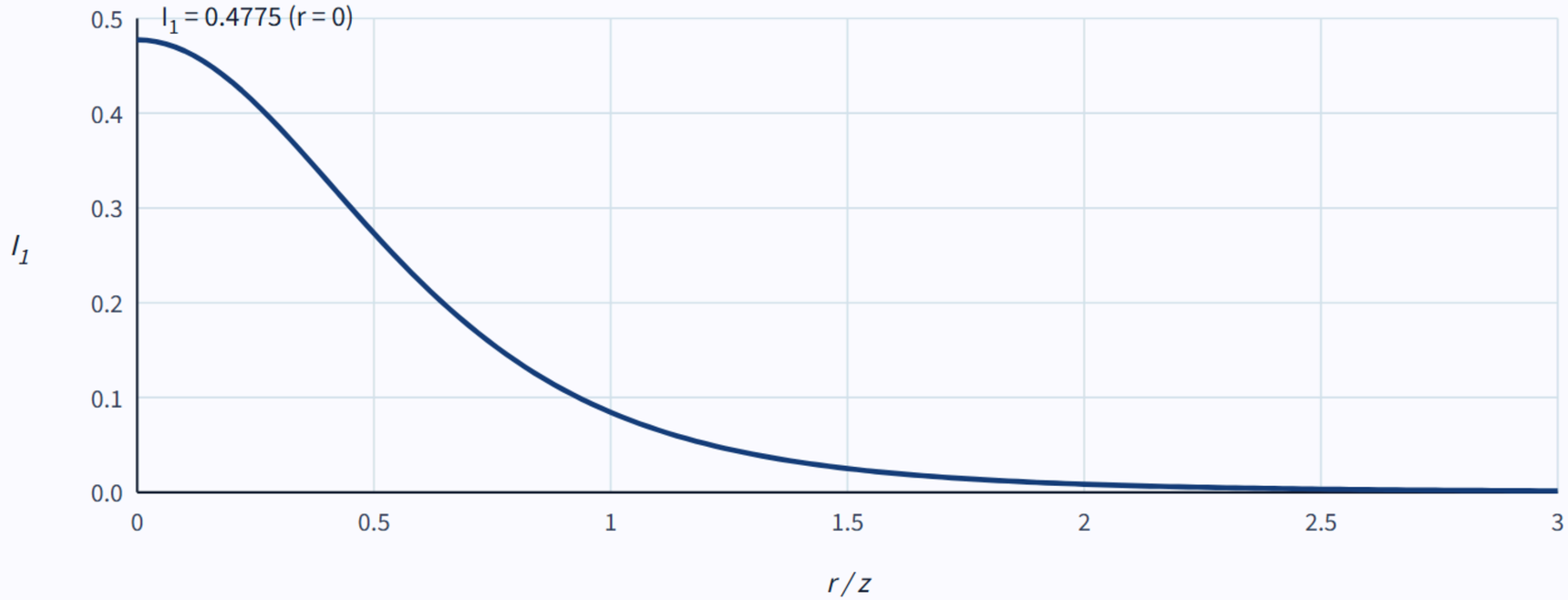
$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_1 \qquad I_1 = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[(r/z)^2 + 1\right]^{5/2}}$$

I_1の値（モジュール）

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 と r/z

理論



影響係数I1とr/zの関係。荷重軸上で最大となり、3/(2π) = 0.4775である。0.0844まで低下するのはr/z = 1においてであり、0.002を下回るのはr/z = 3を超える範囲である。

重ね合わせ

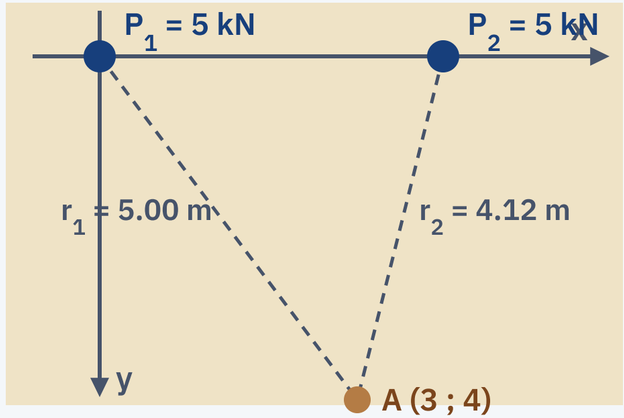
理論

複数の集中荷重に対しては、線形弾性地盤では応力を重ね合わせて合計する：$\Delta\sigma_z = \Sigma\,\Delta\sigma_{z,k}$、$\Delta\sigma_x = \Sigma\,\Delta\sigma_{x,k}$、$\Delta\sigma_y = \Sigma\,\Delta\sigma_{y,k}$。

各荷重を単独に扱い、着目点はその荷重から$(x - x_{L,k},\ y - y_{L,k})$だけ離して取る。これにより$r_k$と$L_k$は荷重自身の値となる。

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

モジュールは最大8個の荷重を受け付け、いずれの2つも同一位置にあってはならない；断面図の等応力線は$y = y_A$の鉛直面内に描かれる。



集中荷重による応力球根

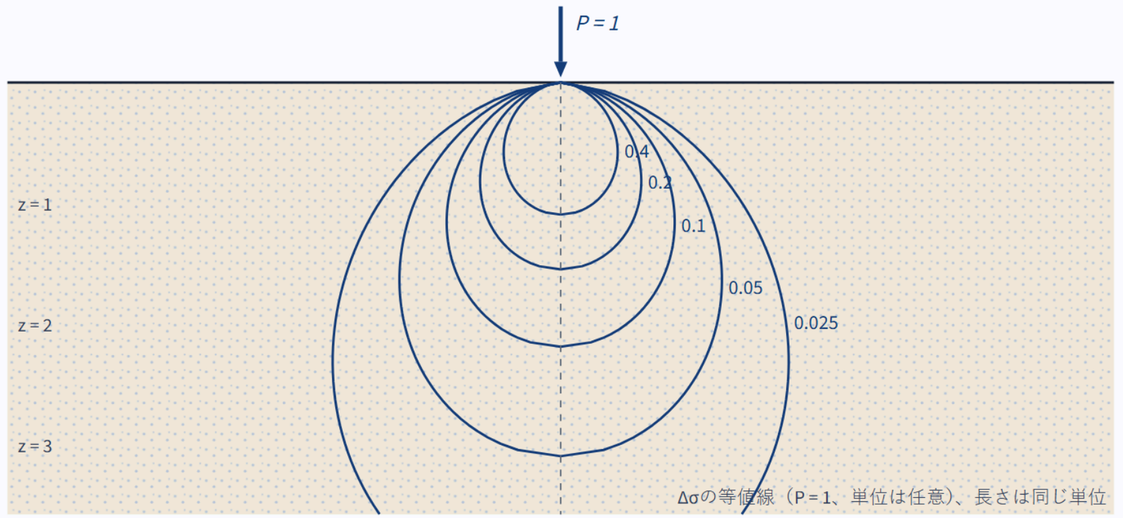
理論

Δ σ$_z$の値が等しい点を結ぶと、玉ねぎ形の等応力曲線が得られる。

荷重軸に沿って応力は深さの二乗で減少する：**Δ σ$_z$ = 0.4775 P/z²**。

荷重に非常に近い領域では解は非常に大きな応力を与える：実際の荷重は決して点ではない。

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



例題1・起点：P = 5 kN、A (3 ; 4 ; 6)

問題

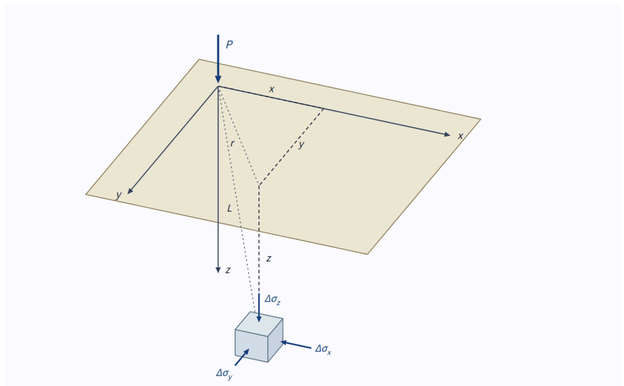
例題

与条件

荷重	**鉛直集中荷重$P = 5$ kN、地表面、座標原点**
点A	$x = 3$ m, $y = 4$ m, $z = 6$ m
地盤	**均質な弾性半無限体；$\mu = 0.5$**

求めるもの

r、**L**、**r/z**、影響係数I_1および鉛直応力増分$\Delta\sigma_z$；結果を式で直接照査する。



解答 (1/2)

解答

1 水平距離 r、荷重からの距離 L および 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 影響係数 I_1

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

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

点は荷重軸から**5 m**離れ、深さ**6 m**にある。r/z = 0.8333であるため、I_1は荷重軸直下の値（0.4775）の0.27倍である。

解答 (2/2)

解答

3 鉛直応力の増分

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

4 照査：Boussinesqの式による直接計算

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

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

Δ σz = 0.01774 kPa（$I_1 = 0.12775$）。荷重が小さいため応力も小さい。モジュールはこの点で同じ値を与える。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

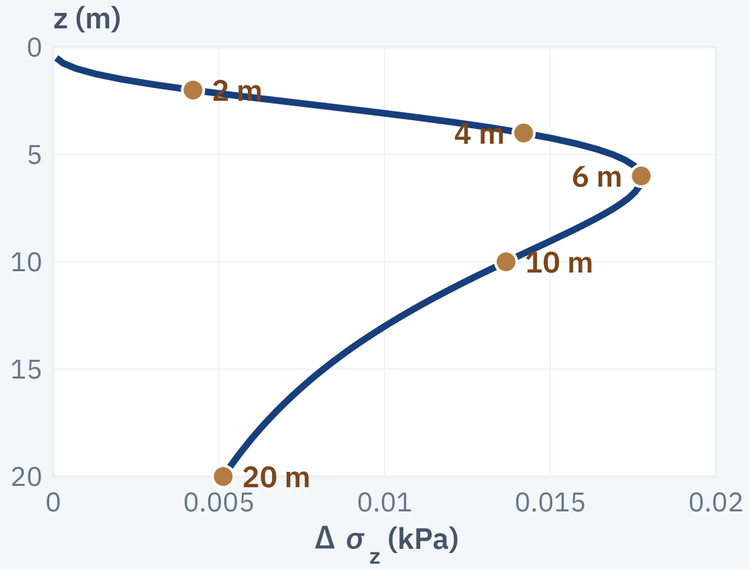
例題

求めるもの

各深さにおけるr/z、I_1および$\Delta\sigma_z$；荷重軸直下の0.4775 P/z²との比較；応力が最大となる深さ。

与条件

載荷重と点	$P = 5$ kN；$x = 3$ m、$y = 4$ m、したがって$r = 5$ m（どの深さでも同じ）
深さ	$z = 2; 4; 6; 10; 20$ m



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

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

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

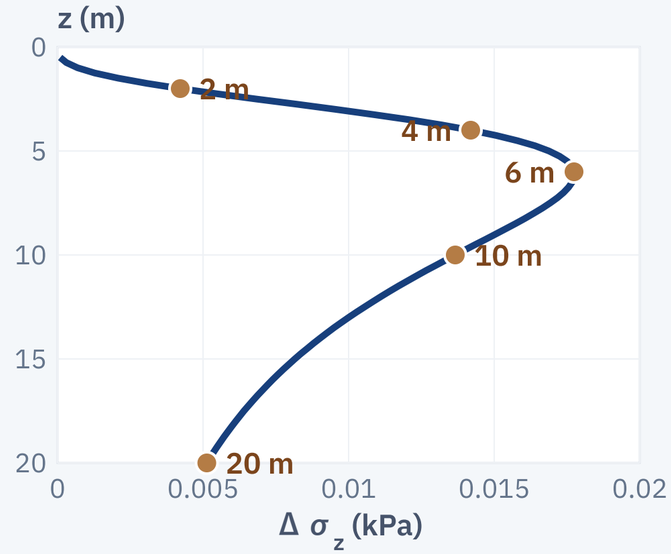
同じr = 5 mに対して、zが大きくなるとr/zは小さくなりI_1は増加する。しかしP/z²は減少する。積はまず増加し、その後減少する：z = 2 mで0.00422、z = 4 mで0.01419 kPa。

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

最大応力は深さz = r√(3/2) = **6.12 m**に生じる（0.01775 kPa）。z = 6 mはこの深さに非常に近い（モジュールの開始点）。軸から5 m離れた地点では、浅い深さでの応力は荷重軸直下の応力よりはるかに小さく、深くなるにつれてそれに近づく（z = 20 m：0.00513および0.00597 kPa）。



GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

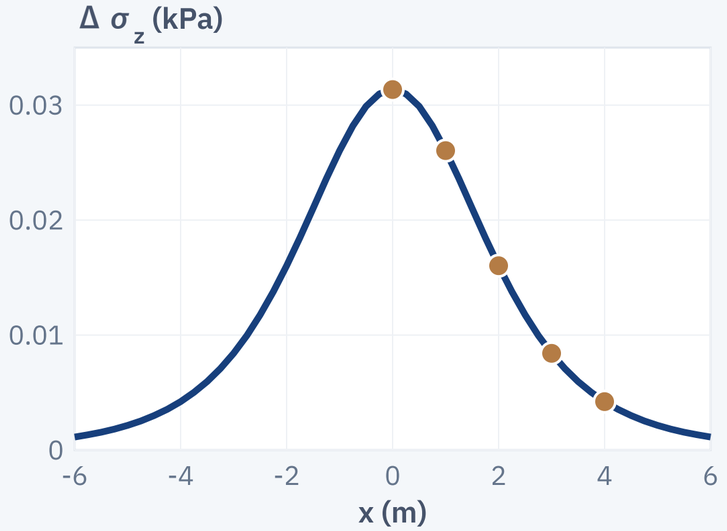
例題

求めるもの

各点について**r**、**r/z**、**I_1**、**$\Delta\sigma_z$**；荷重直下（x = 0）の値と最も遠い点（x = 4 m）の値の比。

与条件

荷重	$P = 5$ **kN、座標原点にて**
点	$z = 2$ **m,** $y = 3$ **m;** $x = 0, 1, 2, 3, 4$ **m**
地盤	$\mu = 0.5$（**鉛直応力はμに依存しない**）



解答 (1/2)

解答

1 水平距離と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 影響係数と応力

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

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

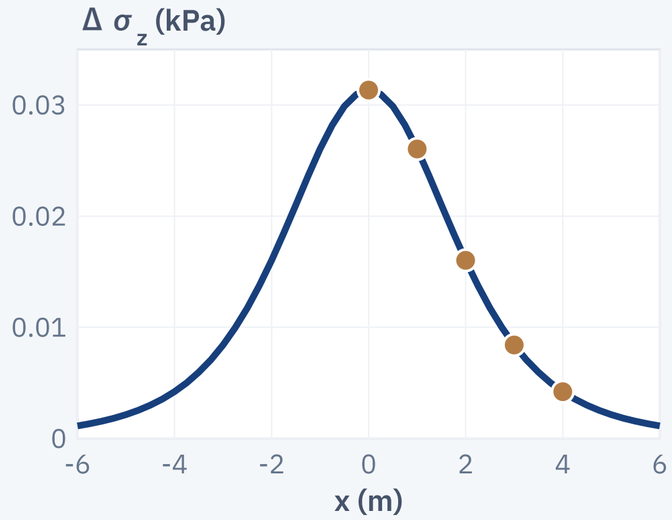
x = 2 mの点でr = 3.606 m、r/z = 1.803、**Δ σ z = 0.01603 kPa**。他のxの値も同じ3手順で求める（表は次ページ）。

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

載荷点直下の点（x = 0, r = 3 m）では**0.03134 kPa**、x = 4 m（r = 5 m）では**0.00422 kPa**となり、比は7.4である。同じ深さでは水平距離が増すにつれて応力は急激に減少する。曲線はx = 0の周辺で最も高くなる（y = 3 mであるため、荷重は依然として3 m離れている）。



GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

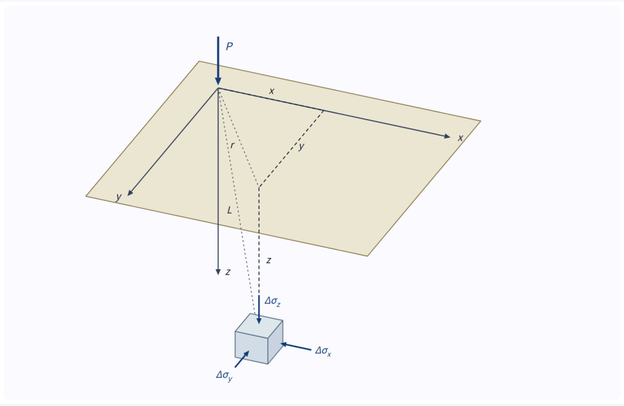
例題

与条件

載荷重と点	$P = 5$ kN; A: $x = 3$ m, $y = 4$ m, $z = 6$ m ($r = 5$ m, $L = 7.810$ m)
ポアソン比	$\mu = 0.5; 0.3; 0.2; 0$

求めるもの

$\Delta\sigma_x$ と $\Delta\sigma_y$（$\mu = 0.5$ では簡略式、$\mu = 0.3$ では完全式で手計算）、および鉛直応力に対する μ の影響。



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：角括弧内の項はゼロとなる

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

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

照査：μ = 0.5のとき、$\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y = 3P\,r^2 z/(2\pi L^5)$ = 0.00444 + 0.00789 = **0.01232 kPa** である。いずれもモジュールが与える値である。

解答 (2/3)

解答

3 完全な式の各項（x = 3、y = 4、z = 6、r^2 = 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 − 2 μ = 0.4

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

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

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

$\Delta\sigma_z$ は μ に依存しない（$17.744 \cdot 10^{-3}$ kPaは各行で同じである）。水平応力は μ が小さくなるほど減少する：$\mu = 0.5$ で $\Delta\sigma_x = 4.436$、$\mu = 0.3$ で $2.697 \cdot 10^{-3}$ kPa。この点では3つの応力はいずれも圧縮である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

荷重	$P = 100$ kN、鉛直集中荷重
点	載荷軸上、$z = 1\,;\,2\,;\,3\,;\,5\,;\,10$ m
地盤	$\mu = 0.3$

求めるもの

各深さについて $\Delta\sigma_z$（r = 0のとき $I_1 = 3/(2\pi)$）および水平応力 $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$。

解答 (1/2)

解答

1 鉛直応力（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 水平応力（r = 0に対する極限値、$\mu = 0.3$）

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

z = 2 mの軸線上で**Δ σ z = 11.937 kPa**、水平応力は**負**（−0.796 kPa）でわずかな減少となる。鉛直応力の約15分の1である。

解答 (2/2)

解答

z (m)	$\Delta\sigma_z = 0.4775\,P/z^2$ (kPa)	$\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$ (kPa)	$\Delta\sigma_z$の比 (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

深さが**2倍になると応力は4分の1に**低下する（z = 1 → 2 m：47.75 → 11.94 kPa）。応力は増分であるため、地盤自重による応力に加算される：例えばγ = 18 kN/m³であればz = 2 mでσ_{v0} = 36 kPaとなり、載荷後の鉛直応力は47.94 kPaとなる。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

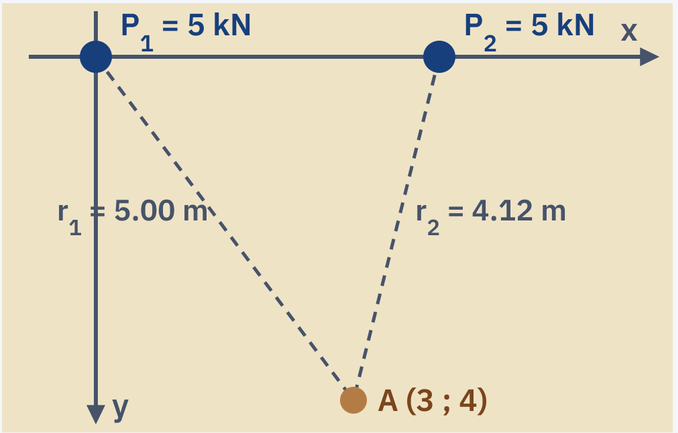
例題

与条件

荷重	$P_1 = 5$ kNは$(0;0)$点に、$P_2 = 5$ kNは$(4;0)$点に作用する
点A	$x = 3$ m、$y = 4$ m；深さ$z = 6$ m（続いて2；4；10；20 m）
地盤	$\mu = 0.5$

求めるもの

各荷重の$\Delta\sigma_z$の値とその合計。$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$の合計。深さ方向の分布。



解答 (1/3)

解答

1 載荷1（初期状態）：例題1と同じ

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

2 荷重2（点(4 ; 0)）：Aからそれまでの距離は(−1 ; 4) m

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

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

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

荷重2は荷重1（5 m）よりもA（4.12 m）に近いため、より大きな応力を生じる。

解答 (2/3)

解答

3 鉛直応力：重ね合わせ

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

4 水平応力（μ = 0.5）：荷重2についてx = −1、y = 4（自身の距離から）

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

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

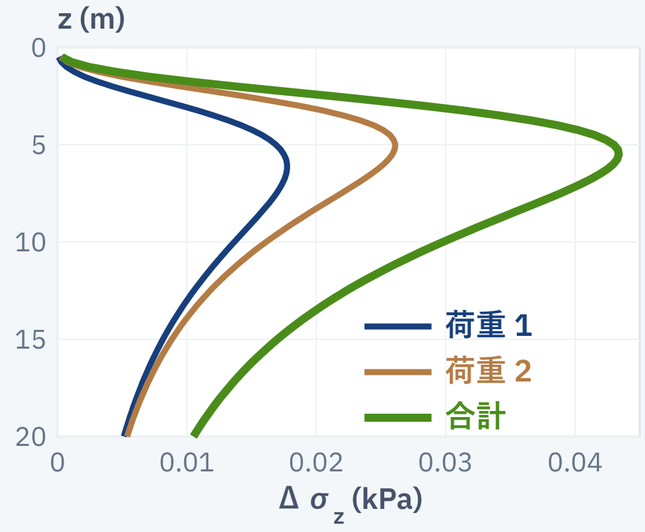
Δ σ_z = 0.04296 kPa、Δ σ_x = 0.00514、Δ σ_y = 0.01909 kPa；線形弾性地盤では各荷重による応力は重ね合わせられる。

解答 (3/3)

解答

z (m)	r_1/z	$\Delta\sigma_{z,1}$	r_2/z	$\Delta\sigma_{z,2}$	全 $\Delta\sigma_z$ (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

各深さにおける合計は2つの荷重の和であり、合計の最大値はz ≈ 5 m付近にある（z = 4 m：0.03862、z = 6 m：0.04296 kPa）。荷重2は各深さで荷重1より大きな寄与を与える。



GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

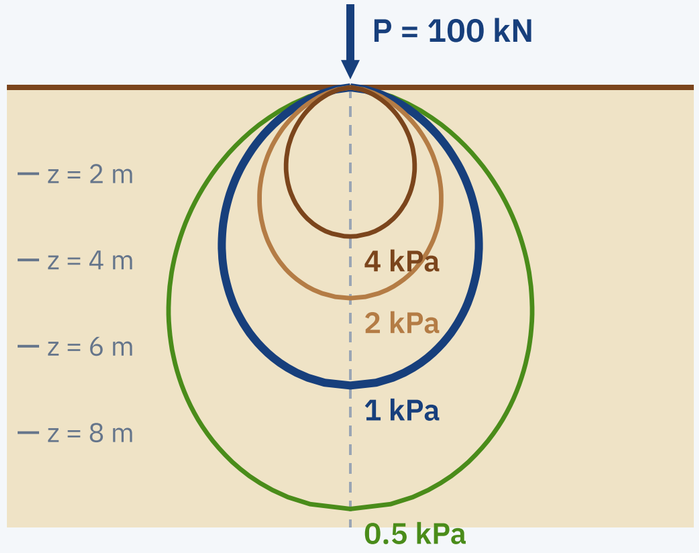
例題

与条件

荷重	$P = 100$ kN、鉛直集中荷重
線	$\Delta\sigma_z = 1$ kPaに等しい点；$z = 1 – 6$ m
追加線	0.5；2；4 kPa（図）

求めるもの

各深さにおける等高線の荷重軸からの距離r；等高線が軸上で閉じる深さ；rの値が実際にΔ σ_z = 1 kPaを与えることの照査。



解答 (1/2)

解答

1 式をrについて解くと：$\Delta\sigma_z = 3P\,z^3/[2\pi\,(r^2+z^2)^{5/2}] = 1$

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

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

2 照査：求めたrを用いたBoussinesqの式

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

z = 4 mでは1 kPaの等高線は荷重軸から**2.963 m**の位置にある；求めたrの値をBoussinesqの式に代入すると$\Delta\sigma_z$はちょうど1 kPaとなる（他の深さは次ページ）。

解答 (2/2)

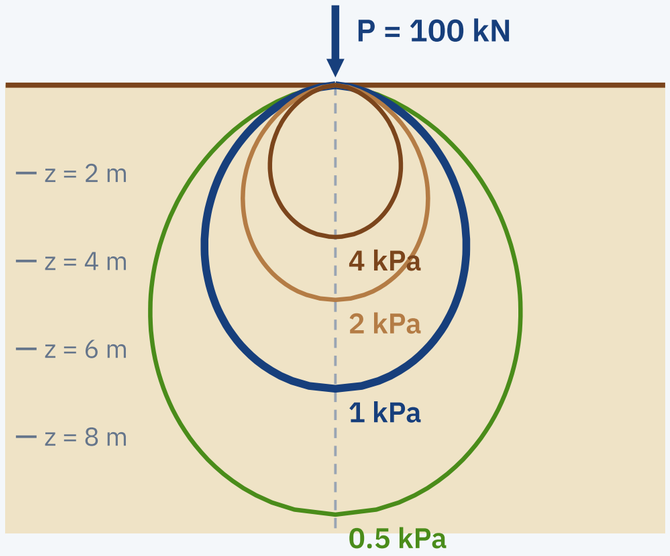
解答

3 線が軸上で閉じる深さ（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)	幅2r (m)	Boussinesqによる Δ σ_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の等応力線は地表面の荷重点から始まり、深さz ≈ 3.65 mで最も広い状態（r ≈ 2.98 m）となり、深さ6.91 mで軸上で閉じる。より小さい応力の等応力線はより深く、より広く広がる。



GeoTervaで解答を確認する ↗

まとめ

ポイントのまとめ

Boussinesq：$\Delta\sigma_z = 3P\,z^3/(2\pi L^5) = (P/z^2)\,I_1$、$I_1 = (3/2\pi)\,/\,[(r/z)^2+1]^{5/2}$；$\Delta\sigma_z$は$\mu$にもEにも依存しない；$\Delta\sigma_x$、$\Delta\sigma_y$は$\mu$に依存する

例題（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の場合$\Delta\sigma_x$ = 0.00444、$\Delta\sigma_y$ = 0.00789 kPa

深さ：同じr = 5 mに対して、最大応力はz = r√(3/2) = 6.12 mで生じる；**荷重軸の直下**では$\Delta\sigma_z = 0.4775\,P/z^2$（zが2倍になると4分の1になる）

重ね合わせ：各荷重をそれぞれ自身のr_kとL_kの値で単独に扱い、応力を合計する（例題では0.01774 + 0.02522 = 0.04296 kPa）

圧力球根：等$\Delta\sigma_z$線は$r = \sqrt{[(3Pz^3/(2\pi\,\Delta\sigma_z))^{2/5} - z^2]}$。P = 100 kNの場合、1 kPaの等値線は深さ6.91 mで軸線上に閉じる

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.

注記

数値例はすべてモジュール自身の計算エンジンで作成した。モジュールは同じ値を与える。モジュールは荷重P = 5 kNおよび点A (3 ; 4 ; 6)で開く。

GeoTerva

オンライン地盤工学計算

理論から実務へ

独自の個別荷重、着目点、ポアソン比をGeoTervaに入力する。モジュールは$\Delta \sigma_z$、$\Delta \sigma_x$、$\Delta \sigma_y$の値、深さ方向の分布、等応力曲線、手順ごとの解答およびレポートをまとめて出力する。

モジュールを開く →

理論ページ →

スマートフォンで開く
お試しモジュールは登録不要です。

講義で使用したい場合：info@geoterva.com