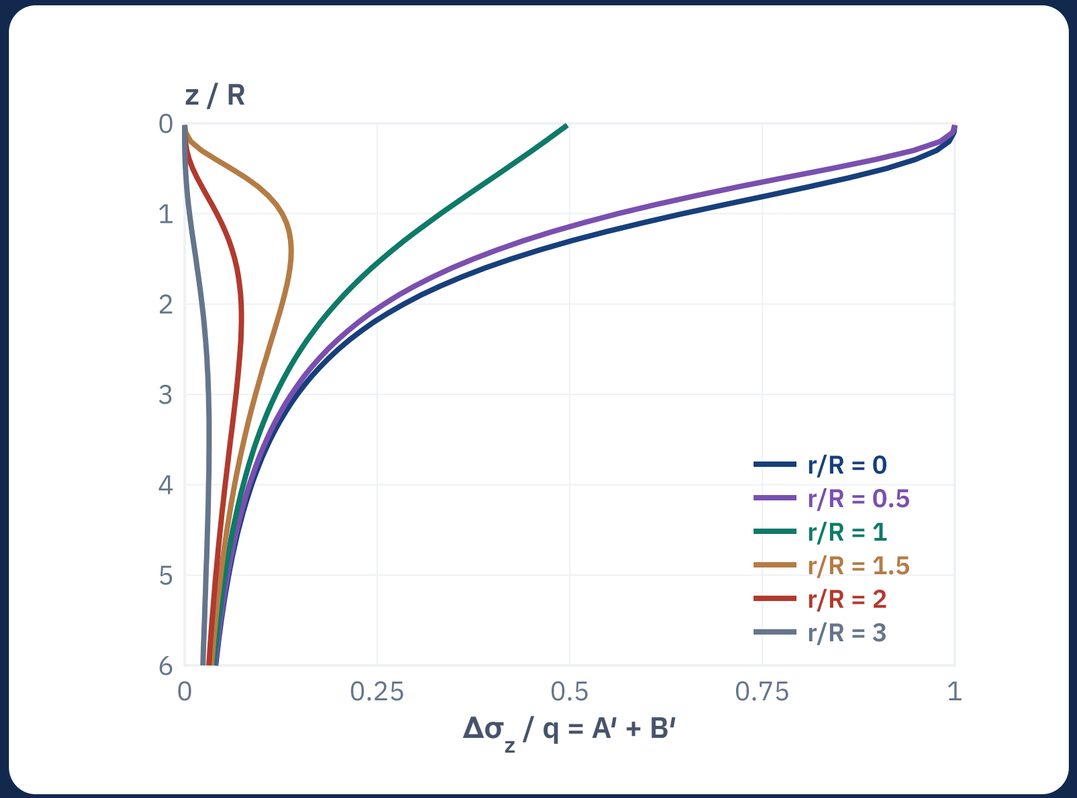
Cours de géotechnique · Contraintes dans le massif de sol

Contrainte sous une charge circulaire

Cours : contrainte verticale sous une charge circulaire ; expression analytique sur l'axe, A′ + B′ hors de l'axe ; exemples résolus à la main.

Sur l'axe | A′ + B′ | Intégrale polaire | Hors de la charge | Cercles multiples



Introduction

Que verrons-nous dans ce cours ?

L'accroissement de contrainte verticale sous une **aire circulaire** uniformément chargée (réservoir, silo, fondation circulaire) : $\Delta\sigma_z$

Expression analytique **sur l'axe du cercle** : $\Delta\sigma_z = q\{1 - 1/[(R/z)^2 + 1]^{3/2}\}$

Hors de l'axe, sous le bord et à côté : $\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$; $A' + B'$ ne dépend que de z/R et de r/R

L'évaluation de l'intégrale de Boussinesq **en coordonnées polaires au point A** : intégrale en ρ sous forme fermée, intégrale en φ numérique

Qu'en dehors de la charge, la contrainte **augmente d'abord puis diminue** ; que les contraintes de plusieurs cercles sont **additionnées**

DÉROULÉ DU COURS

Chaque thème est traité en **trois étapes** :

1 · **Théorie** : formule et justification

2 · **Énoncé** : données et à déterminer

3 · **Solution** : étape par étape, avec les valeurs numériques

Cercle de l'exemple : R = 3 m, q = 100 kN/m² ; le point A est à une distance r = 4.5 m de l'axe du cercle et à une profondeur z = 3 m (hors de l'aire chargée).

Aire circulaire uniformément chargée

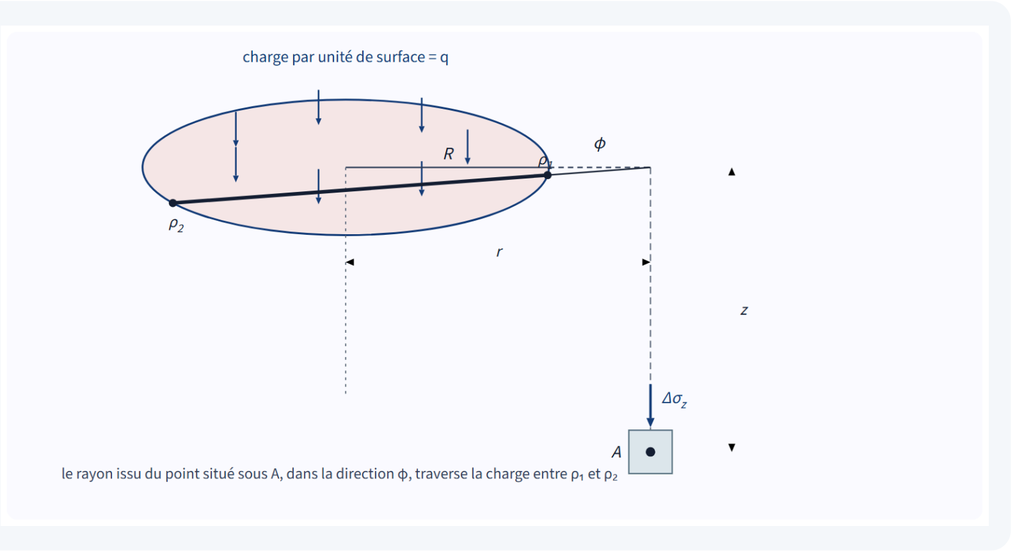
THÉORIE

Aire circulaire flexible de rayon **R**, supportant une pression uniforme **q** (réservoir, silo, semelle circulaire)

Le sol est un milieu semi-infini **homogène, isotrope et élastique linéaire** ; $\Delta\sigma_z$ n'est que l'accroissement dû à la charge

Le problème est **à symétrie axiale** : la contrainte dépend uniquement de la distance horizontale **r** au centre et de la profondeur **z**, et non de la direction

Sous le centre (r = 0), il existe une **expression en forme fermée** ; hors de l'axe, sous le bord et à côté, Ahlvin et Ulery (1962) ont évalué l'intégrale et l'ont tabulée sous la forme de **A′ et B′**



Sous le centre du cercle : solution analytique

THÉORIE

$$\Delta\sigma_z = q\left\{1 - \frac{1}{[(R/z)^2 + 1]^{3/2}}\right\}$$

En surface ($z \to 0$), $\Delta\sigma_z = q$; elle **décroît de façon monotone** avec la profondeur et tend vers zéro à grande profondeur

La contrainte ne dépend que du rapport **R/z** : pour un même z/R, un grand et un petit cercle donnent la même valeur de $\Delta\sigma_z/q$

PROFONDEUR D'INFLUENCE

$\Delta\sigma_z/q$	z/R
0.50	1.30
0.20	2.50
0.10	3.71
0.05	5.36

À une profondeur de 3.7R, la contrainte ne vaut plus qu'un dixième de sa valeur en surface.

$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$

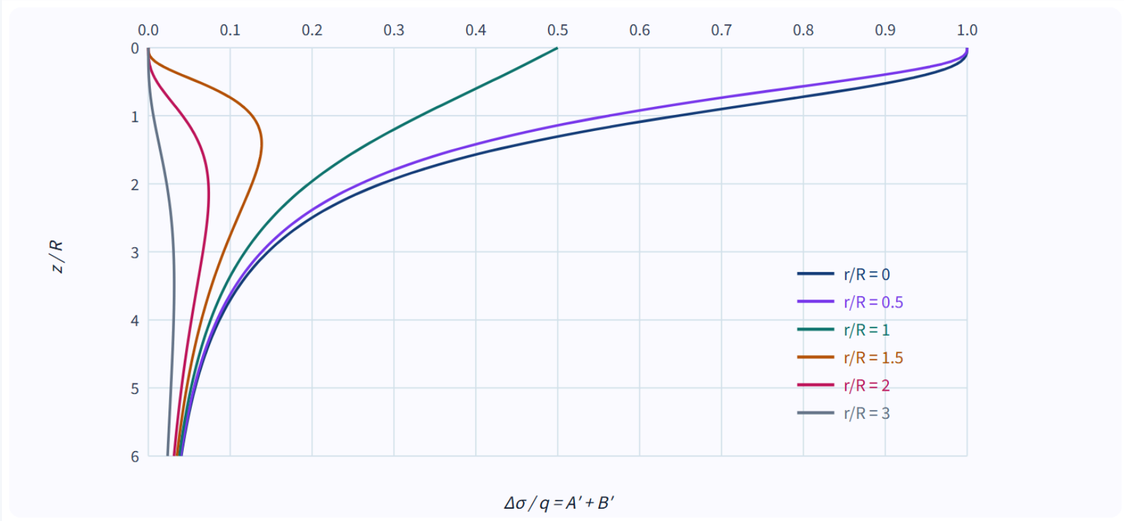
THÉORIE

$$\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$$

A′ et B′ sont deux parties qui dépendent des rapports **z/R** et **r/R** ; elles proviennent de la décomposition de l'intégrale, et pour $\Delta\sigma_z$ seule leur **somme** est nécessaire

Sur l'axe (r = 0), elle se ramène à l'expression analytique totale ; **sous le bord** (r/R = 1), elle part de 0.5 en surface

À côté de la charge, la valeur part de zéro, augmente d'abord, puis diminue



Intégrale polaire autour du point

THÉORIE

Aucune interpolation n'est effectuée entre les tables : la solution de Boussinesq est intégrée directement sur le cercle, en coordonnées polaires **ρ, φ** centrées sur le point situé sous le point A

Dans chaque direction φ, le rayon coupe le cercle chargé entre **ρ_1** et **ρ_2** (ρ_1 = 0 si A est sous la charge) ; l'élément de charge est q ρ dρ dφ

$$d\sigma_z = \frac{3q}{2\pi}\,\frac{z^3\,\rho}{(\rho^2+z^2)^{5/2}}\,d\rho\,d\varphi$$

$$\int_{\rho_1}^{\rho_2}\frac{3z^3\rho\,d\rho}{(\rho^2+z^2)^{5/2}} = \frac{z^3}{(\rho_1^2+z^2)^{3/2}} - \frac{z^3}{(\rho_2^2+z^2)^{3/2}}$$

A′ + B′ et somme numérique

THÉORIE

$$A' + B' = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\frac{z^3}{(\rho_1^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{z^3}{(\rho_2^2 + z^2)^{3/2}} \right] d\varphi$$

$$\rho_{1,2} = -r \cos\varphi \mp \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2\varphi}$$

L'intégrande de l'intégrale restante en φ est continu et est sommé numériquement sur **2880 directions** ; pour r = 0, ρ_1 = 0 et ρ_2 = R, et l'expression se ramène à la **solution sous forme fermée**

VALEURS DE A′ + B′

z/R	r/R	A′ + B′
1.0	1.0	0.33224
1.0	1.5	0.12664
2.0	0.4	0.26781
2.0	2.0	0.07334
0.5	0.8	0.64625
4.0	1.5	0.06487

Superposition

THÉORIE

Chaque cercle est défini par ses propres **q, R** et par son centre sur la surface du sol (x_L, y_L) (au plus huit cercles dans le module)

Deux cercles **peuvent se toucher mais pas se chevaucher** : la distance entre les centres est au moins égale à $R_1 + R_2$

Le sol étant élastique, la contrainte due à chaque cercle est obtenue avec **la distance r propre entre le point A et le centre de ce cercle**, puis les contraintes sont sommées

$$\Delta\sigma_z = \sum_k q_k \, (A' + B')_k \qquad r_k = \sqrt{(x - x_{L,k})^2 + (y - y_{L,k})^2}$$

Énoncé

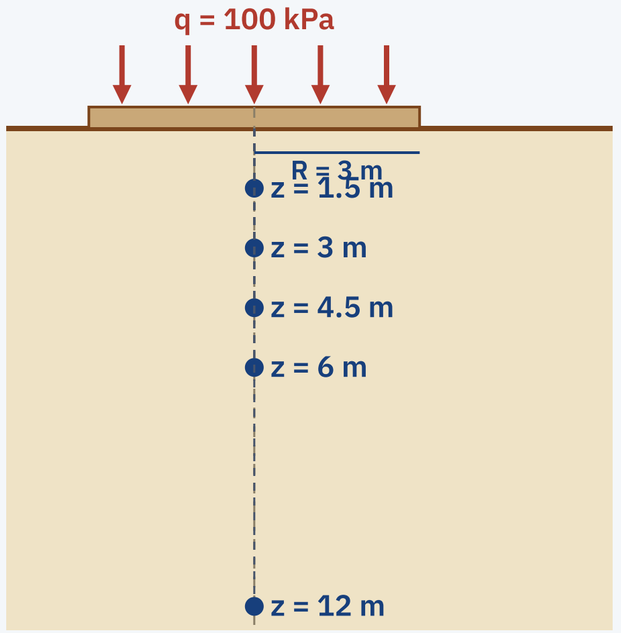
EXEMPLE

À DÉTERMINER

Avec l'expression fermée, **$\Delta\sigma_z$** (d'abord détaillé à z = 1.5 m), **A′ + B′** ; profondeur pour laquelle $\Delta\sigma_z = 0.10\ q$.

Données

Cercle	**souple, $R = 3$ m, $q = 100$ kN/m²**
Points	**sur l'axe du cercle ($r = 0$) : $z = 1.5$; 3 ; 4.5 ; 6 ; 12 m**



Solution (1/3)

SOLUTION

1 Rapports

$$R/z = 3/1.5 = 2 \qquad (R/z)^2 + 1 = 4 + 1 = \mathbf{5}$$

2 Exposant et valeur inverse

$$5^{3/2} = 11.1803 \qquad 1/11.1803 = 0.08944$$

3 Contrainte verticale

$$\Delta\sigma_z = q\,(1 - 0.08944) = 100\,(0.91056) = \mathbf{91.06}\ \mathrm{kPa}$$

À la profondeur z = 1.5 m, **A′ + B′ = 0.91056** et **$\Delta\sigma_z$ = 91.06 kPa** : 91.1 % de la charge en surface est transmis.

Solution (2/3)

SOLUTION

z (m)	z/R	$(R/z)^2 + 1$	$[\ldots]^{3/2}$	$1 - 1/[\ldots]^{3/2}$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1.5	0.50	5.000	11.1803	0.91056	**91.06**
3.0	1.00	2.000	2.8284	0.64645	**64.64**
4.5	1.50	1.444	1.7360	0.42397	**42.40**
6.0	2.00	1.250	1.3975	0.28446	**28.45**
12.0	4.00	1.062	1.0952	0.08692	**8.69**

Sur l'axe, la contrainte décroît dans un seul sens : **91.1 → 8.7 kPa** (z = 1.5 m → 12 m). La ligne z = 1.5 m est le calcul résolu à la main ; chaque ligne est obtenue avec la même expression. À z = 3 m, la contrainte vaut environ 65 % de la charge en surface, et à z = 12 m, 9 %.

Solution (3/3)

SOLUTION

4 Profondeur à laquelle $\Delta\sigma_z = 0.10\ q$

$$\left[(R/z)^2 + 1\right]^{3/2} = 1/0.90 \;\Rightarrow\; (R/z)^2 = 1.0728 - 1 = 0.0728$$

$$z/R = 1/\sqrt{0.0728} = \mathbf{3.707} \;\Rightarrow\; z = 3\,(3.707) = \mathbf{11.12}\ \mathrm{m}$$

La profondeur où $\Delta\sigma_z = 0.10\ q$ est de **11.12 m** (z/R = 3.707) : à cette profondeur, la contrainte sur l'axe est tombée au dixième de la charge en surface. La demi-valeur (0.50 q) se situe à z/R = 1.305, soit 3.91 m.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Exemple 2 · Hors axe : r = 4.5 m, z = 3 m

Énoncé

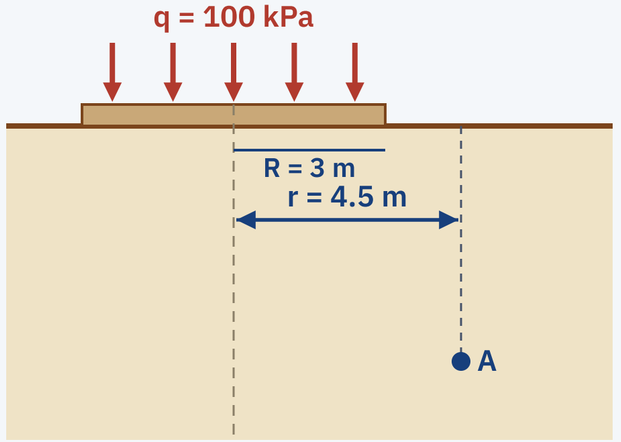
EXEMPLE

Données

Cercle	**souple, $R = 3$ m, $q = 100$ kN/m²**
Point A	**à $r = 4.5$ m du centre ($r/R = 1.5$; en dehors du chargement), $z = 3$ m ($z/R = 1$)**
Méthode	**intégrale polaire : d'abord à la main, la direction $N = 36$; puis les 2880 directions du module**

À DÉTERMINER

A′ + B′ et **$\Delta\sigma_z$** ; effet du nombre de directions sur le résultat.



Solution (1/3)

SOLUTION

1 Distances auxquelles le rayon coupe le cercle

$$\rho_{1,2} = -r\cos\varphi \mp \sqrt{R^2 - r^2\sin^2\varphi} = -4.5\cos\varphi \mp \sqrt{9 - 20.25\sin^2\varphi}$$

2 Dans quelles directions les rayons atteignent-ils le cercle ?

$$R^2 - r^2\sin^2\varphi \geq 0 \;\Rightarrow\; |\sin\varphi| \leq R/r = 0.6667 \;\text{ et }\; \rho > 0 \;\Rightarrow\; \cos\varphi < 0$$

Comme A est situé à l'extérieur du cercle, seules les directions tournées vers le cercle contribuent : **138.19° < φ < 221.81°**.

Le rayon ne frappe le cercle que dans l'intervalle **138.19° < φ < 221.81°**. Si l'on prend **N = 36** directions, φ_i = 5°, 15°, 25°, … ; parmi elles, seules **8** se trouvent dans cet intervalle : 145°, 155°, 165°, 175° et leurs symétriques 185°, 195°, 205°, 215°.

Solution (2/3)

SOLUTION

3 Contribution d'un rayon et moyenne

$$F(\rho) = \frac{z^3}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{27}{(\rho^2 + 9)^{3/2}} \qquad g(\varphi) = F(\rho_1) - F(\rho_2)$$

$$A' + B' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} g(\varphi_i) \qquad \varphi_i = \left(i - \tfrac{1}{2}\right) \frac{360^\circ}{N}$$

φ (°)	cos φ	$R^2 - r^2 \sin^2\varphi$	ρ_1	ρ_2	$F(\rho_1)$	$F(\rho_2)$	$g = F(\rho_1) - F(\rho_2)$
145	−0.8192	2.3380	2.1571	5.2152	0.5352	0.1240	**0.4112**
155	−0.9063	5.3832	1.7582	6.3986	0.6422	0.0765	**0.5657**
165	−0.9659	7.6435	1.5820	7.1114	0.6921	0.0587	**0.6334**
175	−0.9962	8.8462	1.5086	7.4571	0.7131	0.0520	**0.6611**

Les rayons à 185°, 195°, 205°, 215° sont les symétriques de ceux à 175°, 165°, 155°, 145° : ils donnent les mêmes valeurs de g. g(145°) = 0.4112 et g(175°) = 0.6611.

Solution (3/3)

SOLUTION

4 Total (N = 36)

$$\sum g = 2\,(0.4112 + 0.5657 + 0.6334 + 0.6611) = 4.5427$$

$$A' + B' \approx \frac{4.5427}{36} = 0.12619 \quad \Rightarrow \quad \Delta\sigma_z \approx 100\,(0.12619) = \mathbf{12.62}\ \mathrm{kPa}$$

5 Le résultat converge à mesure que le nombre de directions augmente

N	6	12	24	36	72	180	720	2880
$\Delta\sigma_z$ (kPa)	16.856	10.556	13.200	12.619	12.541	12.688	12.667	12.664

Le module utilise **2880 directions** : **A′ + B′ = 0.12664**, **$\Delta\sigma_z$ = 12.664 kPa**. La valeur tabulée pour le même point est 0.12663 ; le résultat manuel avec 36 directions (12.62) n'en diffère que de 0.4 %.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

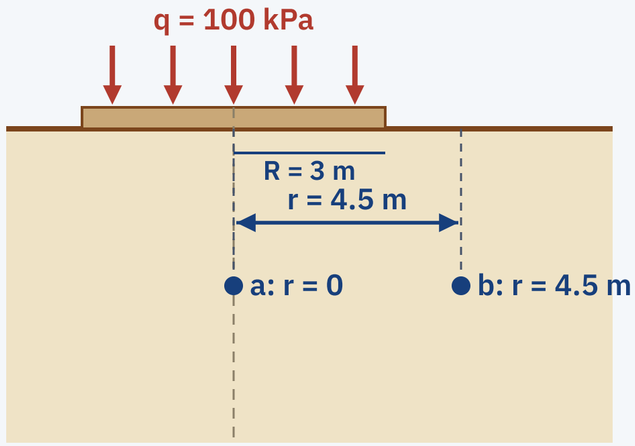
EXEMPLE

Données

Cercle	**souple,** $R = 3$ **m,** $q = 100$ **kN/m²**
Points	**(a) axe,** $r = 0$ **; (b)** $r = 4.5$ **m** $(r/R = 1.5)$
Profondeurs	$z = 1.5; 3; 4.5; 6; 12$ **m**

À DÉTERMINER

$\Delta\sigma_z$ sur les deux lignes ; **contrainte maximale** et sa profondeur sur la ligne (b).



Solution (1/3)

SOLUTION

z (m)	z/R	(a) A′ + B′	(a) $\Delta\sigma_z$ (kPa)	(b) A′ + B′	(b) $\Delta\sigma_z$ (kPa)
1.5	0.50	0.91056	91.06	0.06044	**6.04**
3.0	1.00	0.64645	64.64	0.12664	**12.66**
4.5	1.50	0.42397	42.40	0.13793	**13.79**
6.0	2.00	0.28446	28.45	0.12646	**12.65**
12.0	4.00	0.08692	8.69	0.06487	**6.49**

Sur l'axe : 91.1 → 8.7 kPa, décroissance dans un seul sens. **En dehors de la charge (r = 4.5 m) :** 6.04 → 13.79 → 6.49 kPa ; la contrainte **augmente** d'abord, puis diminue : la charge se répartit latéralement avec la profondeur.

Chaque ligne est une valeur A′ + B′ à 2880 directions ; la ligne z = 3 m de la colonne (b) est le résultat de l'Exemple 2.

Solution (2/3)

SOLUTION

1 $A' + B'$ sur la ligne r/R = 1.5, en fonction de la profondeur

z/R	z (m)	$A' + B'$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1.00	3.00	0.12664	**12.66**
1.20	3.60	0.13569	**13.57**
1.41	4.23	0.13833	**13.83**
1.60	4.80	0.13670	**13.67**
1.80	5.40	0.13238	**13.24**
2.00	6.00	0.12646	**12.65**

Le long de la ligne r/R = 1.5, **la contrainte maximale se situe à la profondeur z ≈ 4.23 m** (z/R = 1.41) et vaut **13.83 kPa** : en dehors de la charge, la contrainte atteint sa valeur maximale en profondeur, puis décroît.

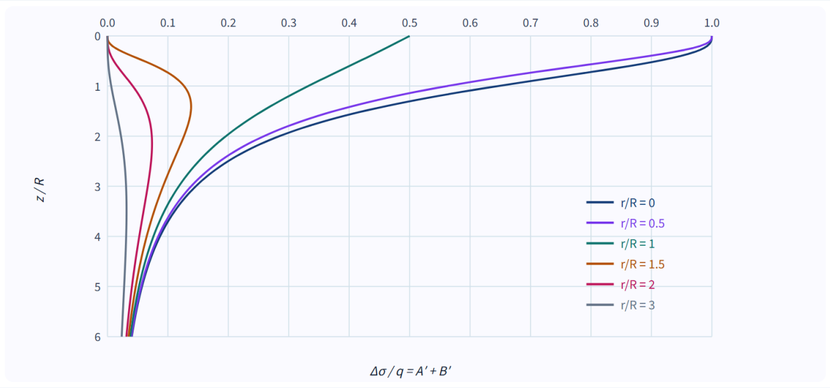
Solution (3/3)

SOLUTION

2 Valeur maximale vers l'extérieur

r/R	la plus grande valeur de A′ + B′	profondeur z/R
1.5	0.1383	1.41
2.0	0.0737	2.15
3.0	0.0317	3.48

À mesure que le point s'éloigne du cercle, la contrainte maximale apparaît **plus profondément et est plus faible** : pour r/R = 1.5, z/R = 1.41 ; pour r/R = 3, z/R = 3.48.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Tableau	**Valeurs** $A' + B'$ **:** $z/R = 0.25$ **…** 6 **;** $r/R = 0$ **…** 3
Autre cercle	$R = 5$ **m,** $q = 120$ **kN/m² ; point** $r = 7.5$ **m,** $z = 5$ **m**

À DÉTERMINER

Tableau A′ + B′ ; au deuxième cercle, $\Delta\sigma_z$ (d'après le tableau) et par calcul direct.

Solution (1/2)

SOLUTION

z/R \ r/R	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
0.25	0.9857	0.9658	0.4596	0.0142	0.0016	0.0001
0.50	0.9106	0.8396	0.4175	0.0604	0.0105	0.0010
1.00	0.6464	0.5622	0.3322	0.1266	0.0418	0.0062
1.50	0.4240	0.3750	0.2562	0.1379	0.0650	0.0146
2.00	0.2845	0.2589	0.1960	0.1265	0.0733	0.0225
3.00	0.1462	0.1384	0.1181	0.0919	0.0666	0.0309
4.00	0.0869	0.0840	0.0761	0.0649	0.0526	0.0311
6.00	0.0403	0.0396	0.0377	0.0349	0.0314	0.0236

La colonne **r/R = 0** est la solution fermée ; pour **r/R = 1**, la valeur tend vers 0.5 à l'approche de la surface (0.4596 à z/R = 0.25) ; dans les colonnes **r/R ≥ 1.5**, la valeur croît d'abord puis décroît. Chaque nombre du tableau est une intégrale à 2880 directions.

Solution (2/2)

SOLUTION

1 Rapports

$$\frac{z}{R} = \frac{5}{5} = 1.0 \qquad \frac{r}{R} = \frac{7.5}{5} = 1.5$$

2 Coefficient et contrainte issus du tableau

$$A' + B' \, (z/R = 1;\ r/R = 1.5) = 0.12664$$

$$\Delta\sigma_z = q \, (A' + B') = 120 \, (0.12664) = \mathbf{15.20} \ \mathrm{kPa}$$

$\Delta\sigma_z/q$ ne dépend que de **z/R** et de **r/R** : pour un cercle de R = 5 m, les mêmes rapports donnent le coefficient du cercle de R = 3 m de l'Exemple 2 (**0.12664**) ; la contrainte n'est mise à l'échelle que par q (15.20 kPa).

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

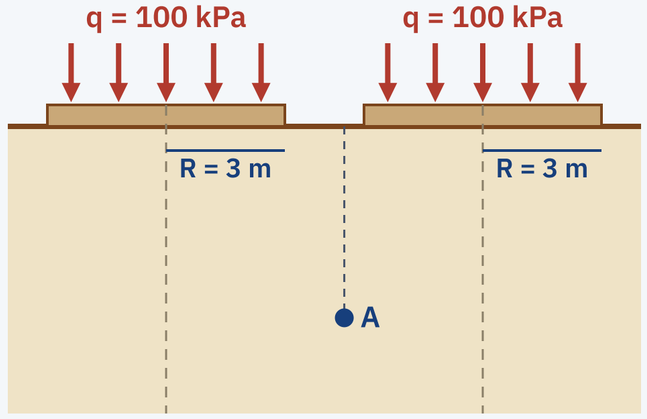
EXEMPLE

Données

Cercle 1	$R = 3$ **m,** $q = 100$ **kN/m², centre** $x = 0$
Cercle 2	$R = 3$ **m,** $q = 100$ **kN/m², centre** $x = 8$ **m**
Point A	$x = 4.5$ **m,** $y = 0$ **;** $z = 3$ **m (également** 1.5 **;** 4.5 **;** 6 **;** 12 **m)**

À DÉTERMINER

$\Delta\sigma_z$ des deux cercles séparément et conjointement ; profil en profondeur.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Vérification du recouvrement (les cercles ne se recouvrent pas ; 2 m entre eux) et entraxes

$$d = 8\ \text{m} \ \geq R_1 + R_2 = 6\ \text{m}$$

$$r_1 = 4.5\ \text{m}\ (r_1/R = 1.5) \qquad r_2 = 8 - 4.5 = 3.5\ \text{m}\ (r_2/R = 1.1667)$$

2 Coefficient d'influence et contrainte de chaque cercle (z/R = 1)

$$A' + B'_{(1)} = 0.12664 \ \Rightarrow\ \Delta\sigma_{z(1)} = 100\,(0.12664) = 12.664\ \text{kPa}$$

$$A' + B'_{(2)} = 0.25049 \ \Rightarrow\ \Delta\sigma_{z(2)} = 100\,(0.25049) = 25.049\ \text{kPa}$$

3 Superposition

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 12.664 + 25.049 = \mathbf{37.714}\ \text{kPa}$$

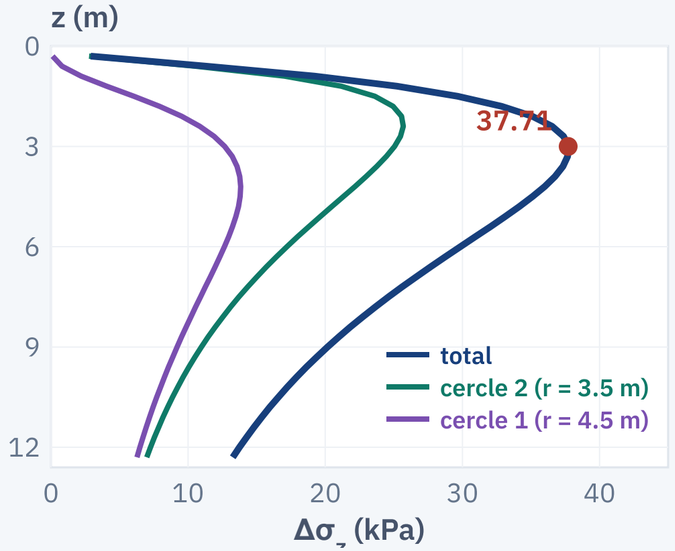
A est plus proche du deuxième cercle (3.5 m et 4.5 m) : le **cercle 2 fournit 66 % du total**. $\Delta\sigma_z$ total = **37.71 kPa** ; la valeur pour un seul cercle était de 12.66 kPa.

Solution (2/2)

SOLUTION

z (m)	z/R	$r_1/R = 1.5$	$r_2/R = 1{,}167$	$\Delta\sigma_{z(1)}$	$\Delta\sigma_{z(2)}$	Total
1.5	0.50	0.06044	0.23608	6.04	23.61	**29.65**
3.0	1.00	0.12664	0.25049	12.66	25.05	**37.71**
4.5	1.50	0.13793	0.21324	13.79	21.32	**35.12**
6.0	2.00	0.12646	0.17204	12.65	17.20	**29.85**
12.0	4.00	0.06487	0.07258	6.49	7.26	**13.75**

La contrainte totale à z = 3 m est de **37.71 kPa** ; la contribution du cercle 2 diminue avec la profondeur, tandis que celle du cercle 1 augmente jusqu'à 4.5 m. Le résultat est la somme des valeurs obtenues avec la distance r propre à chaque cercle.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

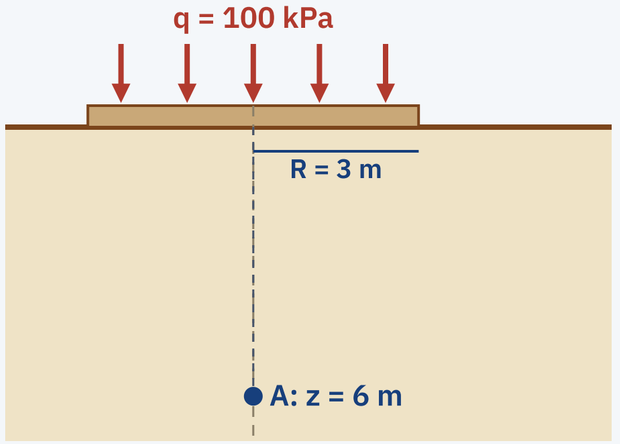
EXEMPLE

Données

Cercle	$R = 3$ m, $q = 100$ kN/m² ; charge totale $Q = q\pi R^2 = 2827.4$ kN
Charge ponctuelle	au centre du même cercle Q : $\Delta\sigma_z = Q\, I_1/z^2$, $I_1 = \frac{3}{2\pi}[(r/z)^2 + 1]^{-5/2}$
Points	sur l'axe en ($r = 0$) et en $r = 2R$; $z/R = 1$; 2 ; 3 ; 5 ; 10

À DÉTERMINER

Rapport des deux solutions ; à partir de quelle profondeur l'approximation de la charge ponctuelle est-elle acceptable ?



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Charge totale

$$Q = q\pi R^2 = 100\,\pi\,(3)^2 = \mathbf{2{,}827.4}\ \mathrm{kN}$$

2 Charge ponctuelle (Boussinesq), sur l'axe r = 0

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2}\,\frac{3}{2\pi} = \frac{2{,}827.4}{36}\,(0.4775) = \mathbf{37.50}\ \mathrm{kPa}$$

3 Cercle (expression en forme close, z = 6 m)

$$\Delta\sigma_z = 100\left(1 - \frac{1}{(0.25+1)^{3/2}}\right) = \mathbf{28.45}\ \mathrm{kPa}$$

À la profondeur z = 2R, l'approximation de la charge ponctuelle donne une contrainte supérieure de **1.318 fois** (31.8 %) : 37.5 kPa contre 28.4 kPa.

Solution (2/2)

SOLUTION

r/R	z/R	Cercle $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Charge ponctuelle $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Charge ponctuelle / disque
0	1	64.645	150.000	**2.320**
0	2	28.446	37.500	**1.318**
0	3	14.619	16.667	**1.140**
0	5	5.713	6.000	**1.050**
0	10	1.481	1.500	**1.013**
2	1	4.181	2.683	**0.642**
2	2	7.334	6.629	**0.904**
2	3	6.663	6.647	**0.997**
2	5	4.048	4.140	**1.023**
2	10	1.346	1.360	**1.010**

Sur l'axe, à z/R = 1, la charge ponctuelle surestime la contrainte d'un facteur **2.32** ; à z = 5R l'écart est de 5.0 %, et à z = 10R il tombe à 1.3 %. À r = 2R, l'approximation **sous-estime** la contrainte près de la surface (0.64), tandis que pour z ≥ 3R l'écart ne dépasse pas 3 %.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Synthèse

Points à retenir

Sur l'axe : $\Delta\sigma_z = q\{1 - 1/[(R/z)^2 + 1]^{3/2}\}$; pour z = 1.5 m, 91.06 kPa (A′ + B′ = 0.91056) ; la profondeur à laquelle $\Delta\sigma_z$ = 0.10 q est **3.71R** (11.12 m)

Point quelconque : $\Delta\sigma_z = q\,(A' + B')$; A′ + B′ ne dépend que de z/R et de r/R. **Exemple (r = 4.5 m ; z = 3 m) :** A′ + B′ = 0.12664, **$\Delta\sigma_z$ = 12.664 kPa**

Calcul : intégrale de Boussinesq au point A en coordonnées polaires ; ρ sous forme fermée, φ numérique (2880 directions). À la main avec 36 directions : 12.62 kPa

À l'extérieur de la charge (r/R = 1.5), la contrainte commence par augmenter : valeur maximale de 13.83 kPa à z ≈ 4.23 m ; sous le bord, 0.5 q en surface

Deux cercles : les contraintes sont déterminées avec la distance r propre à chaque cercle, puis sommées : 12.66 + 25.05 = 37.71 kPa. L'approximation par **charge ponctuelle** est erronée près de la charge (×1.32 à z = 2R) et convient pour z ≥ 5R

Références bibliographiques

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

Ahlvin, R.G. and Ulery, H.H. (1962). Tabulated values for determining the complete pattern of stresses, strains, and deflections beneath a uniform circular load on a homogeneous half space. Highway Research Bulletin 342, 1–13.

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre du module ; le module donne les mêmes valeurs. Le module s'ouvre avec une charge circulaire de R = 3 m, q = 100 kN/m² et le point A (r = 4.5 m ; z = 3 m).

GeoTerva

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Saisir dans GeoTerva les cercles (q, R, centre), le point A et la profondeur ; le module fournit ensemble A′ + B′, la valeur de $\Delta\sigma_z$, les courbes d'isocontrainte, le profil en profondeur, la solution pas à pas et le rapport.

Ouvrir le module → | **Page de théorie →**

Ouvrir sur smartphone
Les modules d'essai ne nécessitent pas d'inscription.

Si vous souhaitez les utiliser dans vos cours : info@geoterva.com