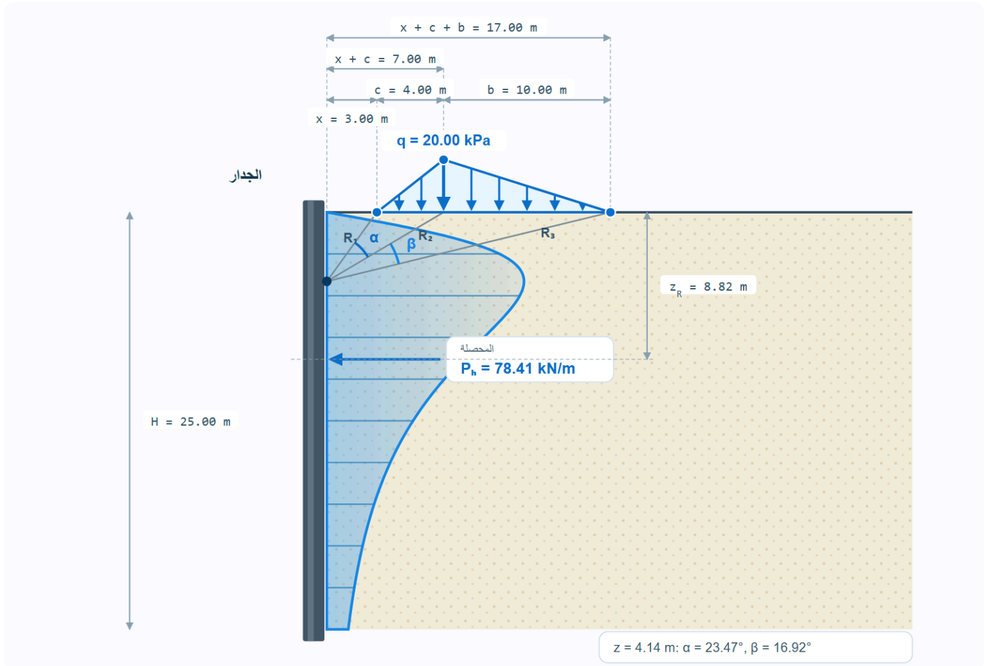


شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الأحمال الإضافية

حمل إضافي مثلثي

المحاضرة: حمل مثلثي يبدأ عند x ويرتفع إلى قيمة الذروة ثم ينخفض إلى الصفر؛ وتحل الإحداثية الرأسية عند عمق معين يدوياً، ويعرض توزيع الضغط والمحصلة والحالات البديلة في جداول.

- تراكب الأحمال الخطية
- الدالتان A و B
- الجدار الجاسئ ψ = 2
- المحصلة و z_R
- قابل للحل يدوياً

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

هندسة **الحمل المثلثي**: يبدأ من الصفر على بعد **x** من الجدار، ويرتفع إلى القيمة q على عرض **c**، ثم ينخفض إلى الصفر مجددا على عرض **b**

إيجاد أنصاف الأقطار R_1, R_2, R_3 والزاويتين **α, β** (بالراديان) عند العمق z

الصيغة المغلقة للضغط الأفقي الناتجة عن تراكب الأحمال الخطية: بدلالة الدالتين **A(s)** و **B(s)**

الفرق بين **الجدار الجاسئ** ($\psi = 2$) و**الوسط شبه اللانهائي** ($\psi = 1$)

المحصلة P_H و**عمق التأثير z_R**: مساحة المخطط وعزمه الأول؛ وأثر x وشكل الحمل

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: المعادلة ومبرراتها

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

مثال: $H = 25\ m$، $x = 3\ m$، $c = 4\ m$، $b = 10\ m$، $q = 20\ kPa$؛ جدار جاسئ. تحسب إحدى الإحداثيات الرأسية يدوياً عند $z = 5\ m$.

الحمل الإضافي المثلثي المؤثر على الجدار

النظرية

يبدأ الحمل الإضافي السطحي على مسافة أفقية **x** من الجدار

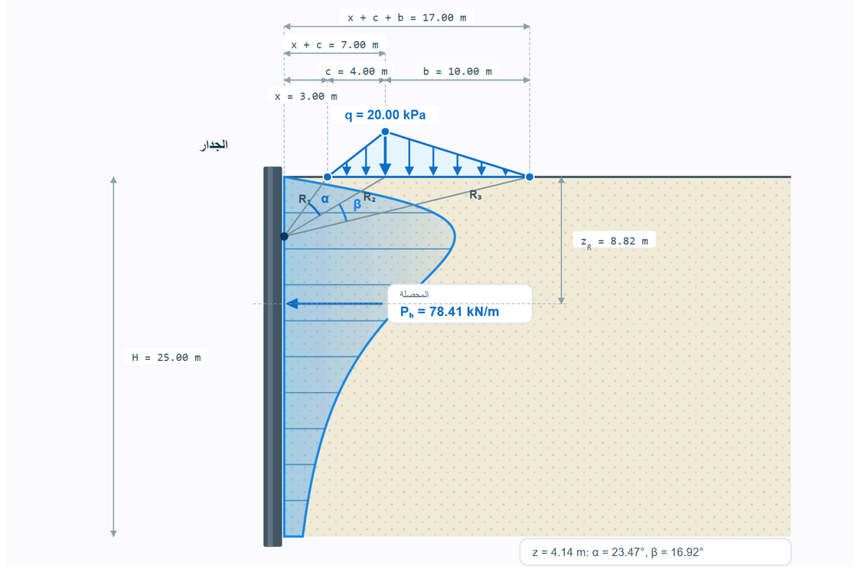
تزداد شدته خطياً من الصفر إلى أكبر قيمة **q** على العرض **c**، ثم تتناقص خطياً مرة أخرى إلى الصفر على العرض **b**

عند كل عمق z من الجدار تحدد الهندسة بثلاثة أنصاف أقطار R_1, R_2, R_3 وبزاويتين **α, β**

H: الارتفاع الكلي للجدار؛ **x**: المسافة من الجدار إلى بداية الحمل

c: عرض الذراع المتزايد، **b**: عرض الذراع المتناقص

q: أكبر شدة للحمل الإضافي؛ **z**: العمق من منسوب سطح الأرض



الهندسة عند العمق z

النظرية

فيما يلي، عند العمق z، أطوال الأشعة الثلاثة الممتدة من النقطة الواقعة على الجدار إلى **بداية** الحمل و**ذروته** و**نهايته**، والزاويتان المحصورتان بينها

تؤخذ الزوايا في معادلة الضغط بوحدة **الراديان**؛ ولا تفيد القيم بالدرجات إلا في إعداد التقارير

$$R_1 = \sqrt{x^2 + z^2} \quad R_2 = \sqrt{(x+c)^2 + z^2} \quad R_3 = \sqrt{(x+c+b)^2 + z^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{x+c}{z} - \tan^{-1}\frac{x}{z} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{x+c+b}{z} - \tan^{-1}\frac{x+c}{z}$$

تراكب الأحمال الخطية

النظرية

الحمل المثلثي سلسلة من الأحمال الخطية المستمرة، شدة كل منها **w(s)·ds**؛ وتجمع الإجهادات الأفقية المرنة (Flamant) على امتداد الحمل

مع $s_1 = x$ و $s_2 = x + c$ و $s_3 = x + c + b$ و $R^2 = s^2 + z^2$، وبالدالتين A و B الواردتين أدناه يصبح التكامل في صيغة مغلقة

$$\sigma_H = \psi \frac{2}{\pi} \int w(s) \frac{s^2 z}{(s^2 + z^2)^2} \, ds$$

$$A(s) = \frac{1}{2}\left[\tan^{-1}\frac{s}{z} - \frac{sz}{R^2}\right] \qquad B(s) = \frac{z}{2}\left[\ln R^2 + \frac{z^2}{R^2}\right]$$

$$\sigma_H = \psi \frac{2q}{\pi}\left\{\frac{B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)}{c} + \frac{s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)}{b}\right\}$$

النظرية

ψ و A، B، α، β

يتضمن الحدان $A_2 - A_1$ و $A_3 - A_2$ الزاويتين α و β، ويتضمن الحدان $B_2 - B_1$ و $B_3 - B_2$ اللوغاريتمين $\ln(R_2/R_1)$ و $\ln(R_3/R_2)$

عندما يطبق التراكب نفسه على شريط منتظم يحصل تماماً على التعبير المعروف **[β − sin β·cos 2α](q/π)**؛ ويتحقق من المعادلة بهذه الصيغة

ψ = 1 يمثل الوسط شبه اللانهائي (دون جدار)؛ و **ψ = 2** يمثل الجدار الصلب غير المتحرك الذي يضاعف الإجهاد الأفقي: وهو القيمة الافتراضية في الوحدة

يعطي تكرار الحساب على ارتفاع الجدار القيمة **$\sigma_H(z)$**؛ والضغط يساوي صفراً عند سطح التربة

النظرية

مساحة المخطط وعزمه الأول

محصلة قوة الحمل الإضافي لوحدة الطول من الجدار وعمقها من سطح الأرض هما مساحة المخطط وعزمه الأول؛ وتحسب الوحدة التكاملين كليهما عددياً بدقة كاملة

$$P_H = \int_0^H \sigma_H(z)\,dz$$

$$z_R = \frac{\int_0^H z\,\sigma_H(z)\,dz}{P_H}$$

في المثال P_H = **78.41 kN/m** (جدار جاسئ) أو **39.21 kN/m** (وسط شبه لانهائي)؛ وفي الحالتين z_R = **8.82 m** تحت منسوب سطح الأرض

ست خطوات وإحداثي رأسي واحد

النظرية

1 · تعرّف H، x، c، b، q ويختار ψ؛ **2** · يختار عمق z

3 · تحسب R_1 و R_2 و R_3؛ **4** · تحسب α و β (راديان)

5 · يحسب σ_H: توجد الدالتان A و B عند النقاط s_1 و s_2 و s_3 ثم يعوض بهما

6 · يُكرَّر ويُكامَل: مخطط الضغط، ثم P_H وz_R

$$z = 5 \text{ m}: \quad R_1 = 5.831 \text{ m} \quad R_2 = 8.602 \text{ m} \quad R_3 = 17.720 \text{ m} \qquad \alpha = 23.499^\circ \quad \beta = 19.148^\circ$$

$$\sigma_H = 3.247 \text{ kPa} \ (\psi = 1) \ \rightarrow \ 2 \times 3.247 = 6.494 \text{ kPa} \ (\psi = 2) \qquad P_H = 78.41 \text{ kN/m} \quad z_R = 8.82 \text{ m}$$

المسألة

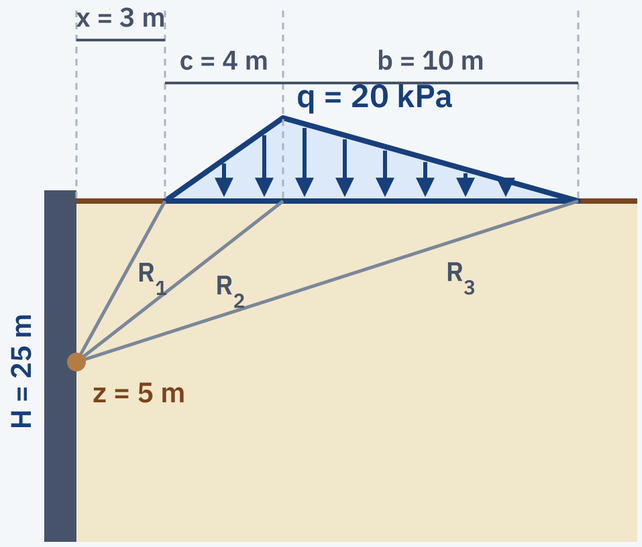
مثال

المعطيات

الجدار والحمل	$H = 25.0$ m; $x = 3.0$ m; $c = 4.0$ m; $b = 10.0$ m; $q = 20.0$ kPa
الجدار	**وسط نصف لانهائي ($\psi = 1$) وجدار جاسئ ($\psi = 2$)**

المطلوب

عند العمق **z = 5 m** قيم **R_1, R_2, R_3** و **α, β** و A و B والضغط الأفقي **σ_H** (لقيمتين من ψ)؛ ومقارنة مع الوحدة.



الحل (1/3)

الحل

1 النقاط $s_1 = x$، $s_2 = x + c$، $s_3 = x + c + b$ والأشعة

$$s_1 = 3 \text{ m} \quad s_2 = 3 + 4 = 7 \text{ m} \quad s_3 = 7 + 10 = 17 \text{ m}$$

$$R_1 = \sqrt{3^2 + 5^2} = \mathbf{5.831} \quad R_2 = \sqrt{7^2 + 5^2} = \mathbf{8.602} \quad R_3 = \sqrt{17^2 + 5^2} = \mathbf{17.720} \text{ m}$$

2 الزوايا (راديان)

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{7}{5} - \tan^{-1}\frac{3}{5} = 0.95055 - 0.54042 = \mathbf{0.41013} \text{ rad} \ \ (23.499^\circ)$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{17}{5} - \tan^{-1}\frac{7}{5} = 1.28474 - 0.95055 = \mathbf{0.33420} \text{ rad} \ \ (19.148^\circ)$$

الزاوية المقيسة من النقطة على الجدار بين بداية الحمل وقمته هي **23.50°**، وبين القمة والنهاية **19.15°**.

الحل (2/3)

الحل

3 عند ثلاث نقاط $A(s) = \tfrac{1}{2}[\tan^{-1}(s/z) - sz/R^2]$ و $B(s) = (z/2)[\ln R^2 + z^2/R^2]$

$$A_1 = \frac{1}{2}\left[0.54042 - \frac{3(5)}{34}\right] = 0.04962 \qquad A_2 = \frac{1}{2}\left[0.95055 - \frac{7(5)}{74}\right] = 0.23879$$

$$A_3 = \frac{1}{2}\left[1.28474 - \frac{17(5)}{314}\right] = 0.50702$$

B(s)	ln R²	A(s)	tan⁻¹(s/z)	R² (m²)	s (m)
10.6541	3.52636	**0.04962**	0.54042	34	3
11.6048	4.30407	**0.23879**	0.95055	74	7
14.5725	5.74939	**0.50702**	1.28474	314	17

تحمل فروق A الزوايا، وتحمل فروق B اللوغاريتمات: $A_2 - A_1 = 0.18917$، $A_3 - A_2 = 0.26824$؛ $B_2 - B_1 = 2.9678$، $B_3 - B_2 = 0.9506$.

الحل (3/3)

الحل

4 مساهمة الأذرع المتزايدة والمتناقصة

$$\text{متزايد} = \frac{B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)}{c} = \frac{0.9506 - 3(0.18917)}{4} = 0.09578$$

$$\text{متناقص} = \frac{s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)}{b} = \frac{17(0.26824) - 2.9678}{10} = 0.15922$$

5 وسط نصف لانهائي ($\psi = 1$) وجدار جاسئ ($\psi = 2$)

$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi}(\text{متزايد} + \text{متناقص}) = \frac{2(20)}{\pi}(0.15922 + 0.09578) = \mathbf{3.247}\ \text{kPa} \quad (\psi = 1)$$

$$\sigma_H = 2 \times 3.247 = \mathbf{6.494}\ \text{kPa} \quad (\psi = 2)$$

عند z = 5 m يكون **σ_H = 6.494 kPa** (جدار صلب؛ وفي وسط شبه لانهائي 3.247). وتعطي الوحدة القيمة نفسها.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

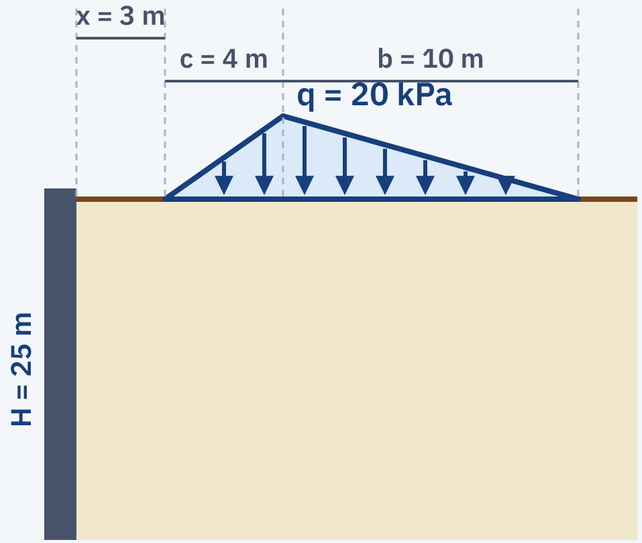
مثال

المعطيات

النموذج	**الحمل المثلثي في المثال 1؛ جدار صلب؛ الجدول عند كل $H/30 = 0.833$ m**
في كل صف	**R_1، R_2، R_3، α، β و σ_H؛ قيم الوسط شبه اللانهائي تساوي نصف قيم الجدار الجاسئ**

المطلوب

توزيع الضغط؛ أكبر ضغط وعمقه؛ الزوايا عند عمق الذروة.



الحل (1/2)

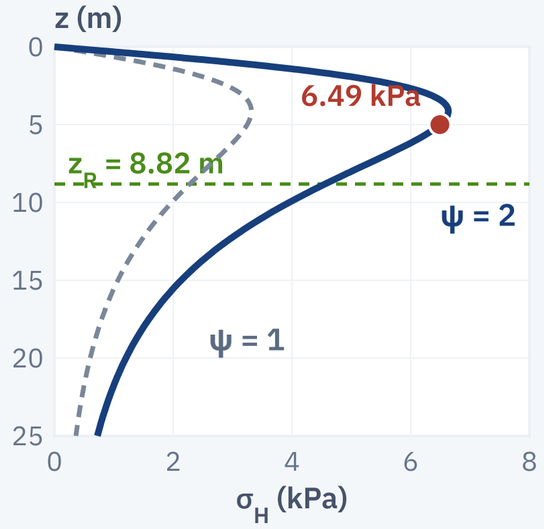
الحل

σ_H (kPa)	β (°)	α (°)	R_3 (m)	R_2 (m)	R_1 (m)	z (m)
0.000	0.00	0.00	17.000	7.000	3.000	0.00
2.513	3.98	8.74	17.020	7.049	3.114	0.83
4.520	7.79	15.66	17.082	7.196	3.432	1.67
5.815	11.29	20.15	17.183	7.433	3.905	2.50
6.463	14.37	22.55	17.324	7.753	4.485	3.33
6.635	16.99	23.48	17.503	8.146	5.134	4.17
6.494	**19.15**	**23.50**	**17.720**	**8.602**	**5.831**	**5.00**
6.168	20.87	22.98	17.973	9.112	6.560	5.83
5.746	22.19	22.17	18.260	9.667	7.311	6.67
5.286	23.17	21.22	18.581	10.259	8.078	7.50
4.821	23.86	20.23	18.933	10.883	8.857	8.33
4.374	24.30	19.24	19.314	11.534	9.645	9.17
3.955	24.54	18.29	19.723	12.207	10.440	10.00
3.569	24.62	17.39	20.158	12.898	11.241	10.83
3.218	24.58	16.54	20.618	13.606	12.046	11.67
2.901	24.42	15.75	21.101	14.327	12.855	12.50

σ_H (kPa)	β (°)	α (°)	R_3 (m)	R_2 (m)	R_1 (m)	z (m)
2.617	24.19	15.02	21.605	15.059	13.667	13.33
2.363	23.90	14.34	22.129	15.802	14.481	14.17
2.136	23.56	13.71	22.672	16.553	15.297	15.00
1.933	23.18	13.12	23.231	17.312	16.115	15.83
1.752	22.78	12.58	23.807	18.077	16.935	16.67
1.591	22.37	12.07	24.398	18.848	17.755	17.50
1.447	21.94	11.60	25.002	19.624	18.577	18.33
1.319	21.51	11.17	25.620	20.405	19.400	19.17
1.204	21.07	10.76	26.249	21.190	20.224	20.00
1.101	20.64	10.38	26.889	21.978	21.048	20.83
1.009	20.21	10.02	27.540	22.769	21.873	21.67
0.926	19.79	9.69	28.200	23.564	22.699	22.50
0.851	19.38	9.37	28.869	24.361	23.525	23.33
0.784	18.97	9.08	29.547	25.160	24.352	24.17
0.723	18.57	8.80	30.232	25.962	25.179	25.00

الحل (2/2)

الحل



1 يكون الضغط صفراً عند السطح، ويبلغ أقصى قيمة له عند عمق الذروة، ثم يتناقص

$$z = 0: \quad \sigma_H = 0 \qquad z = 4.14\ \text{m}: \quad \sigma_H = \mathbf{6.635}\ \text{kPa}$$

$$\alpha = 23.47^\circ \quad \beta = 16.92^\circ \qquad z = H: \quad \sigma_H = 0.723\ \text{kPa}$$

أكبر ضغط **6.63 kPa** عند **z = 4.14 m** (أسفل قمة الحمل بمقدار 4.14 m)، ويتناقص إلى 0.72 kPa عند قاع الجدار. تظهر هذه الزوايا في شكل الوحدة. وتبلغ الإحداثية الرأسية عند z = 5 m القيمة 6.494 kPa (السطر السميك، المثال 1).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

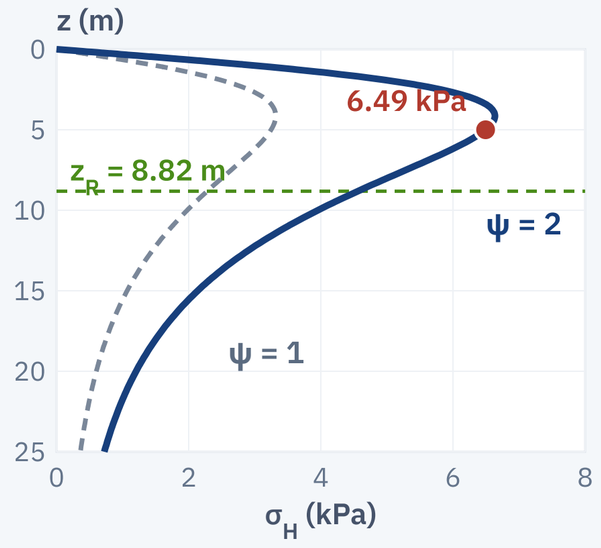
مثال

المعطيات

النموذج	**الحمل المثلثي في المثال 1؛ جدار صلب؛ جدول $H/30$ للمثال 2 ($n = 30$، $h = H/30 = 0.8333$ m)**
الطريقة	**قاعدة Simpson؛** $z_R = \int z\,\sigma\,dz \,/\, P_H$

المطلوب

P_H و z_R (يدوياً، من الجدول)؛ وقيم الوسط شبه اللانهائي؛ والمقارنة مع نتيجة الوحدة.



الحل (1/2)

الحل

	σ_0	Σ tek (i = 1, 3, …, 29)	Σ الزوجية (i = 2, 4, …, 28)	σ_{30}
σ_H (kPa)	0.000	47.277	46.234	0.723

1 مجموع Simpson والمساحة

$$\Sigma = \sigma_0 + 4(47.277) + 2(46.234) + \sigma_{30} = 282.30$$

$$P_H \approx \frac{h}{3}\,\Sigma = \frac{0.8333}{3}(282.30) = \mathbf{78.42}\ \text{kN/m}$$

يدوياً **78.42 kN/m**؛ والتكامل الدقيق للوحدة **78.41 kN/m** (الفرق 0.004%). وفي الوسط شبه اللانهائي النصف: **39.21 kN/m**.

الحل (2/2)

الحل

	$z_0\sigma_0$	Σ منفرد	Σ مزدوج	$z_{30}\sigma_{30}$
$z\sigma_H$ (kPa·m)	0.000	414.83	405.58	18.07

2 العزم الأول والعمق

$$\int z\,\sigma\,dz \approx \frac{0.8333}{3}\left[0 + 4(414.83) + 2(405.58) + 18.07\right] = 691.3 \text{ kN}$$

$$z_R = \frac{691.3}{78.42} = \mathbf{8.82}\text{ m}\ \text{(من سطح الأرض)} \qquad H - z_R = 16.18\text{ m}\ \text{(من القاعدة)}$$

يدوياً **z_R = 8.82 m**؛ والوحدة 8.82 m. وتؤثر المحصلة 78.41 kN/m على عمق **8.82 m تحت سطح الأرض** (وعلى ارتفاع 16.18 m فوق القاعدة)؛ ولا تتغير z_R بتغير ψ.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

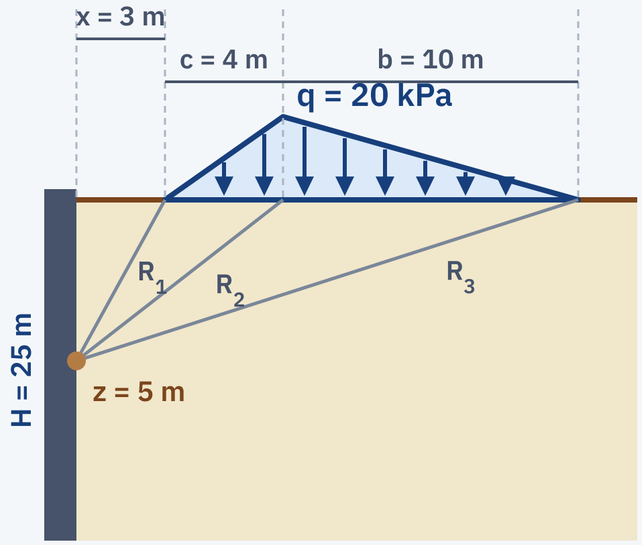
النموذج — **مثال 1:** $z = 5$ m؛ **وسط شبه لانهائي** ($\psi = 1$)

الطريقة — $\sigma_H = \dfrac{2}{\pi}\int w(s)\,\dfrac{s^2 z}{(s^2+z^2)^2}\,ds$؛ **المثلث** w: **عند** $s = 3$ m: 0، **وعند** q: 7 m، **وعند** 17 m: 0

الحساب — **Simpson**، $n = 14$، $h = 1.0$ m) $s =$ $(3, 4, \ldots, 17)$

المطلوب

σ_H من مجموع الأحمال الخطية؛ ومقارنتها بالصيغة المغلقة للمثال 1.



الحل (1/2)

الحل

c·w·f	c	f(s) = s²z/(s²+z²)² (1/m)	w(s) (kPa)	s (m)	i
0.00000	1	0.03893	0.00	3	0
0.95181	4	0.04759	5.00	4	1
1.00000	2	0.05000	10.00	5	2
2.90245	4	0.04837	15.00	6	3
1.78963	2	0.04474	20.00	7	4
2.90872	4	0.04040	18.00	8	5
1.15344	2	0.03604	16.00	9	6
1.79200	4	0.03200	14.00	10	7
0.68118	2	0.02838	12.00	11	8
1.00837	4	0.02521	10.00	12	9
0.35923	2	0.02245	8.00	13	10
0.48156	4	0.02007	6.00	14	11
0.14400	2	0.01800	4.00	15	12
0.12968	4	0.01621	2.00	16	13
0.00000	1	0.01466	0.00	17	14
15.30207		= Σ c·w·f			

الحل (2/2)

الحل

1 Simpson و ψ

$$\sigma_H = \frac{2}{\pi}\,\frac{h}{3}\sum c_i\, w_i\, f_i = \frac{2}{\pi}\,\frac{1}{3}(15.30207) = \mathbf{3.2472}\ \text{kPa}\quad(\psi = 1)$$

$$\psi = 2:\quad \sigma_H = \mathbf{6.494}\ \text{kPa}$$

	مجموع الأحمال الخطية (Simpson)	الصيغة المغلقة (A، B؛ المثال 1)	الفرق
σ_H, ψ = 1 (kPa)	3.2472	3.2468	%0.012
σ_H, ψ = 2 (kPa)	6.4944	6.4936	%0.012

يعطي الطريقان النتيجة نفسها: فالحدان A و B في الصيغة المغلقة هما مجموع تكاملات الحمل الخطي للفرعين المتزايد والمتناقص. وكلما صغرت فترة Simpson يؤول الفرق إلى الصفر (0.0006% عند h = 0.5 m).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

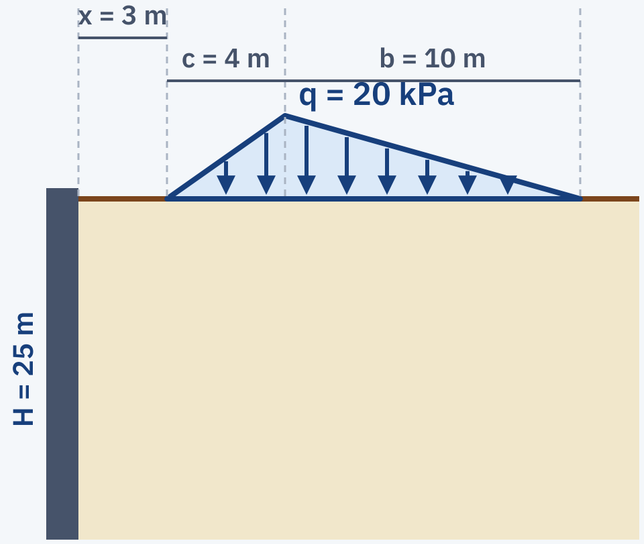
مثال

المعطيات

النموذج	$H = 25.0$ m؛ $q = 20$ kPa؛ جدار جاسئ؛ يتغير أحدها فقط في كل مرة
المتغيرات	مسافة البدء $x = 0$؛ 3؛ 6؛ 10 m ($c = 4$، $b = 10$ m) والشكل $(c, b) = (2, 12)$؛ $(4, 10)$؛ $(7, 7)$؛ $(10, 4)$؛ $(12, 2)$ m ($x = 3$ m)
المقارنة	وزن المثلث $Q = q(c + b)/2$، حمل خطي عند موضع مركز الثقل $x + (2c + b)/3$

المطلوب

لكل حالة P_H و z_R و $\sigma_{H,max}$ وعمقه؛ ومقارنة مع محصلة الحمل الخطي المكافئ.



الحل (1/2)

الحل

z (m)	$\sigma_{H,max}$ (kPa)	z_R (m)	P_H (kN/m), ψ = 1	P_H (kN/m), ψ = 2	x (m)
1.93	10.12	6.53	41.73	83.46	0
4.14	6.63	8.82	39.21	78.41	**3**
6.14	4.91	10.51	36.13	72.25	6
8.64	3.65	12.13	31.67	63.33	10

z (m)	$\sigma_{H,max}$ (kPa)	z_R (m)	P_H (kN/m), ψ = 1	P_H (kN/m), ψ = 2	(m) (c, b)
3.63	7.30	8.33	39.81	79.61	(12 ;2)
4.14	6.63	8.82	39.21	78.41	**(10 ;4)**
4.78	5.87	9.45	38.22	76.44	(7 ;7)
5.31	5.29	9.97	37.16	74.32	(4 ;10)
5.62	4.97	10.28	36.43	72.85	(2 ;12)

كلما ابتعد الحمل عن الجدار (x ↑) **تقل المحصلة ويزداد كل من z_R وعمق الذروة.** وعندما يكون العرض الكلي ثابتاً ($c + b = 14$ m) فإن المحصلة تقل أيضاً كلما ابتعدت الذروة عن الجدار (c ↑) ويزداد عمق z_R. وقيم ψ = 1 تساوي نصف قيم الجدار الجاسئ.

الحل (2/2)

الحل

1 وزن المثلث ومركز ثقله

$$Q = \frac{q(c+b)}{2} = \frac{20(4+10)}{2} = \mathbf{140}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{x} = x + \frac{2c+b}{3} = 3 + \frac{2(4)+10}{3} = \mathbf{9}\ \text{m} \qquad m = \frac{\bar{x}}{H} = 0.36$$

2 محصلة الحمل الخطي ($\psi = 2$): تكامل دالة التكامل للحمل الخطي على امتداد العمق

$$P_H = \psi\,\frac{Q}{\pi}\,\frac{H^2}{\bar{x}^2+H^2} = \frac{2Q}{\pi}\,\frac{1}{1+m^2} = \frac{2(140)}{\pi}\,\frac{1}{1+0.1296} = \mathbf{78.90}\ \text{kN/m}$$

يعطي الحمل الخطي المكافئ **78.90 kN/m**؛ وتبلغ محصلة الحمل المثلثي **78.41 kN/m** (الفرق 0.6%). وأكبر ضغط 6.43 و 6.63 kPa؛ وقيمة z_R هي 9.22 و 8.82 m. والفرق صغير من حيث المحصلة؛ أما مخطط الضغط (أكبر ضغط وعمقه، z_R) فيختلف عن حالة الحمل الخطي.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النقاط الرئيسية

$\sigma_H = \psi\,(2q/\pi)\,\{[B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)]/c + [s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)]/b\}$؛ $A(s) = \tfrac{1}{2}[\tan^{-1}(s/z) - sz/R^2]$، $B(s) = (z/2)[\ln R^2 +$ [z^2/R^2؛ $\psi = 2$ للجدار الجاسئ، $\psi = 1$ للوسط شبه اللانهائي

مثال ($z = 5$ m): R_1 5.831، R_2 8.602، R_3 17.720 m؛ α 23.499°، β 19.148°؛ $\sigma_H = 3.247$ kPa ($\psi = 1$)، **6.494 kPa** ($\psi = 2$)

التوزيع: 0 عند السطح؛ أكبر ضغط **6.63 kPa** عند $z = 4.14$ m؛ ثم يتناقص

المحصلة z_R = **8.82 m**، P_H = **78.41 kN/m** (من سطح الأرض)؛ وعند $\psi = 1$ تكون $P_H = 39.21$ kN/m وتبقى z_R كما هي

المقارنة: تتناقص المحصلة كلما ابتعد الحمل عن الجدار؛ ويعطي الحمل المثلثي محصلة قريبة من محصلة الحمل الخطي المكافئ عند مركز ثقله (78.41 و 78.90 kN/m)

المراجع

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning؛ تتبع هذه الصفحة هذا المرجع.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مولدة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. المثال الابتدائي في الوحدة هو الجدار الذي $H = 25$ m و $x = 3$ m و $c = 4$ m و $b = 10$ m و $q = 20$ kPa.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva حمل المثلث الخاص بك، ومسافة البدء، وعرض الذراعين، وارتفاع الجدار؛ وتعطي الوحدة مخطط الضغط، والمحصلة وعمق تأثيرها، والعروض الثلاثة، والحل خطوة بخطوة، والتقرير معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

إذا رغبت في استخدامها في محاضراتك: info@geoterva.com