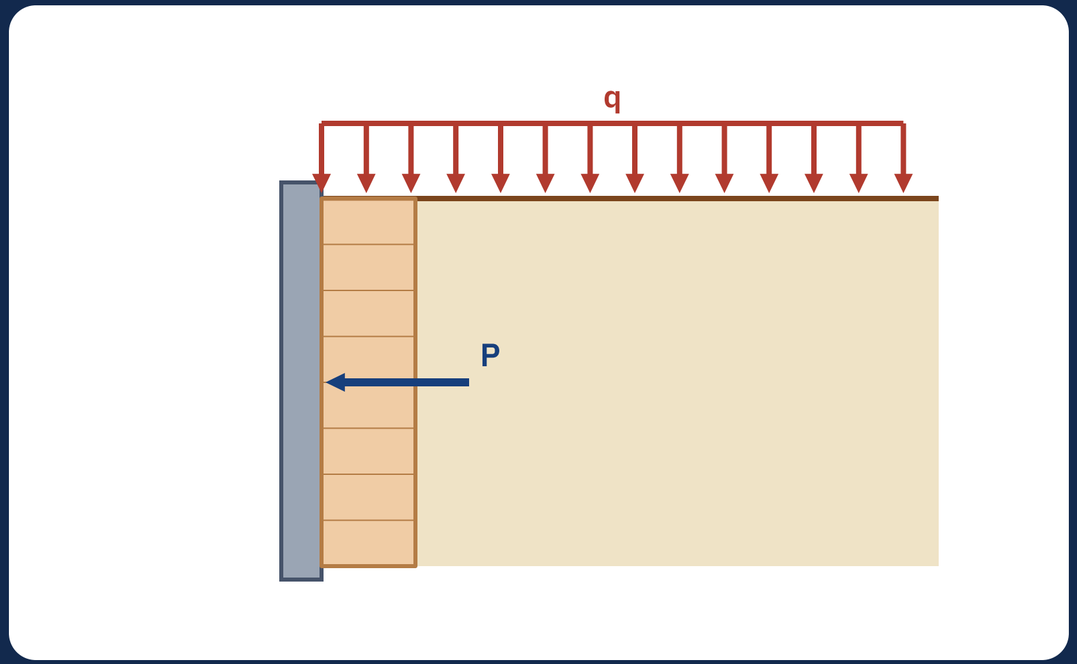
地盤工学の講義スライド ・ 上載荷重

等分布上載荷重

講義：壁の背面の全表面に広がる等分布荷重；深さに対して一定の土圧、合力と作用線、計算例。

$\sigma_H = K \cdot q$ $K_0 \cdot K_a$ $P = K\,q\,H$ $z_R = H/2$ 矩形分布



この講義で学ぶこと

- 等分布荷重qが**土圧**として壁にどのように作用するか：$\sigma_H = K \cdot q$であり、どの深さでも同じである。
- **係数K**を壁の挙動に応じて選択する：静止（K_0、Jaky）、主働（K_a、Rankine）または入力値。
- 矩形分布図の**合力**$P = K\,q\,H$と**作用線**$z_R = H/2$
- K_0とK_aのϕ'による変化；PがqとHに比例して直線的に増加すること
- 上載荷重が土圧分布図に**加算される**こととその分担分

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

例題の壁：$H = 6$ m、$q = 10$ kPa、$\phi' = 30°$。力は壁の単位長さあたり（kN/m）、圧力はkPaである。

壁に作用する等分布荷重

理論

壁背後の**地表面全体**に分布する等分布荷重 **q** は、各深さの鉛直応力を q だけ増加させる

壁はこのうち一部のみを感じる：この部分は土圧係数**K**で決まる。

付加圧力は壁の頂部から底面まで**同一**である：土圧分布は長方形となる

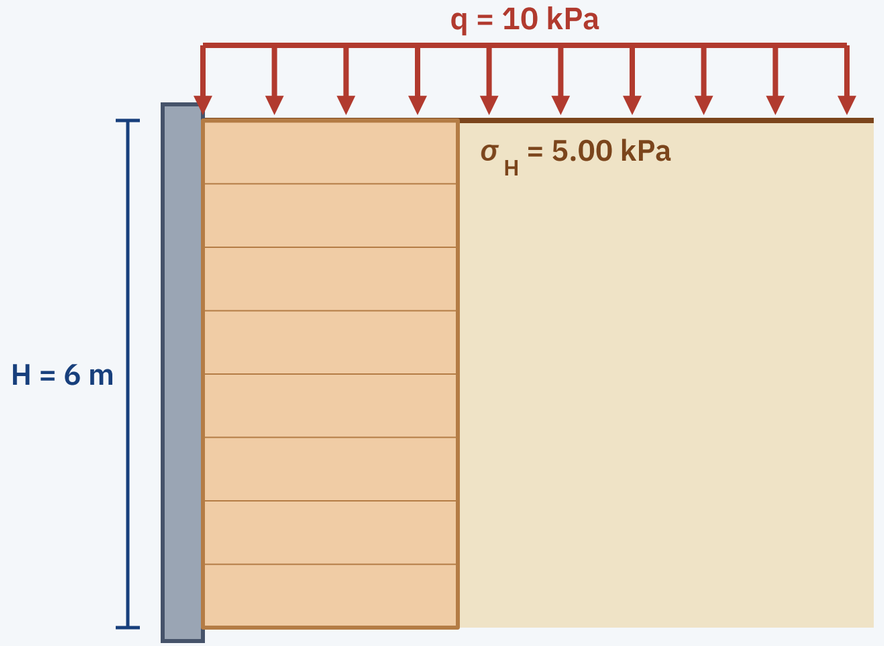
$$\sigma_H = K\,q$$

q ― 背後地盤表面の等分布上載荷重

ϕ' ― 背後地盤の有効せん断抵抗角

K ― 土圧係数（K_0、K_aまたは入力値）

σ_H ― 付加する水平圧力、深さ方向に一定



壁の挙動が K を決める

理論

変位しない（支持された）擁壁は地盤を静止状態に保つ：正規圧密地盤ではこれが既定の**Jaky**係数である

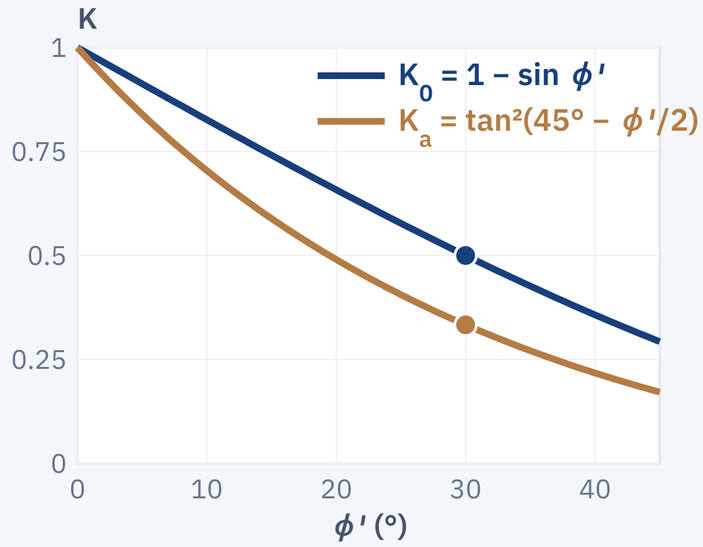
変形する壁は主働状態を発揮させる：鉛直壁と水平地表面では**Rankine**の係数をとる

他の資料による係数（過圧密のK_0、傾斜壁や粗面壁に対するCoulombのK_a）は**直接入力する**。

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \qquad \text{（静止、Jaky）}$$

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) \qquad \text{（主働、Rankine）}$$

K_0とK_a – ϕ'



2つの係数のせん断抵抗角による変化

理論

ϕ' (°)	0	20	25	30	35	40
K_a	1.0000	0.4903	0.4059	0.3333	0.2710	0.2174
K_0	1.0000	0.6580	0.5774	0.5000	0.4264	0.3572

ϕ'が大きくなると**両係数とも減少する**：強固な地盤では壁が受ける分担分は小さくなる

同じϕ'で**$K_0 > K_a$**：動かない壁は変形する壁よりも大きな荷重を受ける

$\phi' = 0$に対して$K_0 = K_a = 1$：荷重は流体中のように全面的に壁に伝達される

合力 P = K q H、高さの中央

理論

図は長方形である：壁の**単位長さ当たりの合力**は面積であり、**作用線**は長方形の中心を通る

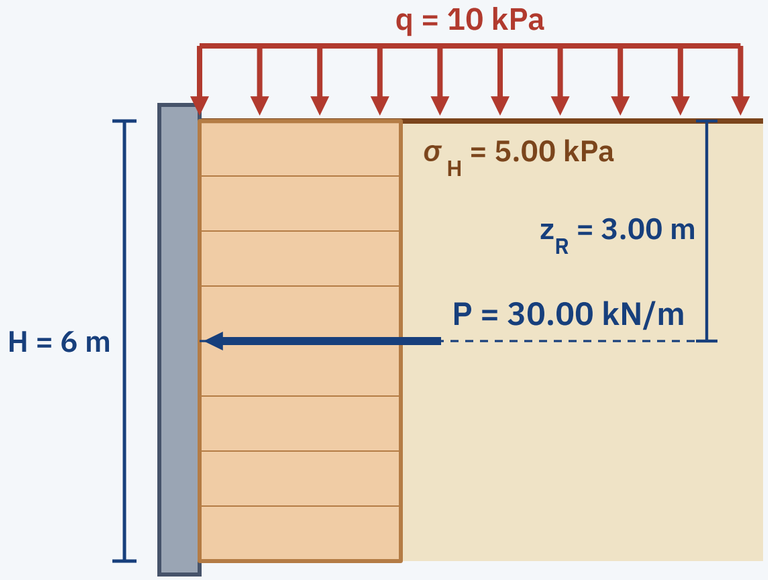
合力は高さの**中央**に作用する：地表面からH/2下方（底面からもH/2上方）

これは**上載荷重の成分のみ**である：土圧および水圧の分布図に加算する

$$P = \sigma_H H = K q H \qquad z_R = \frac{H}{2}$$

P ― 壁の単位長さあたりの合力 (kN/m)

z_R ― 合力の地表面からの深さ



問題

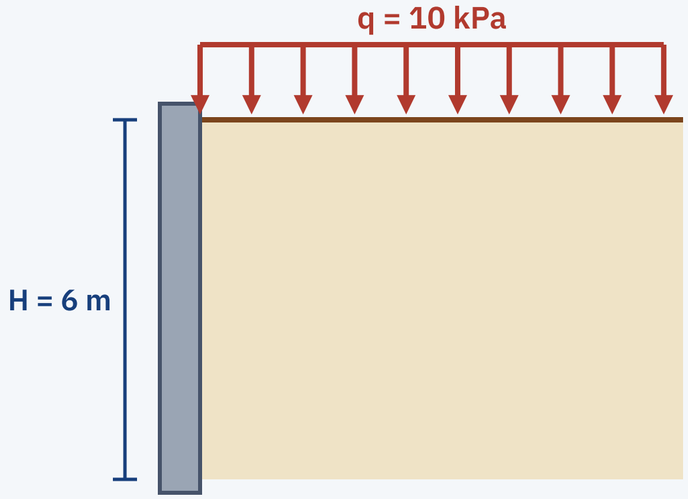
例題

与条件

壁	$H = 6.00$ m、剛体（変位しない）壁
荷重	全面に$q = 10.00$ kPa
地盤	$\varphi' = 30^\circ$

求めるもの

K、付加される側方圧 σ_H、合力Pおよびその深さ z_R。



解答

解答

1 係数：壁が移動できない、静止状態（Jaky）

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' = 1 - \sin 30^\circ = 1 - 0.5 = \mathbf{0.5000}$$

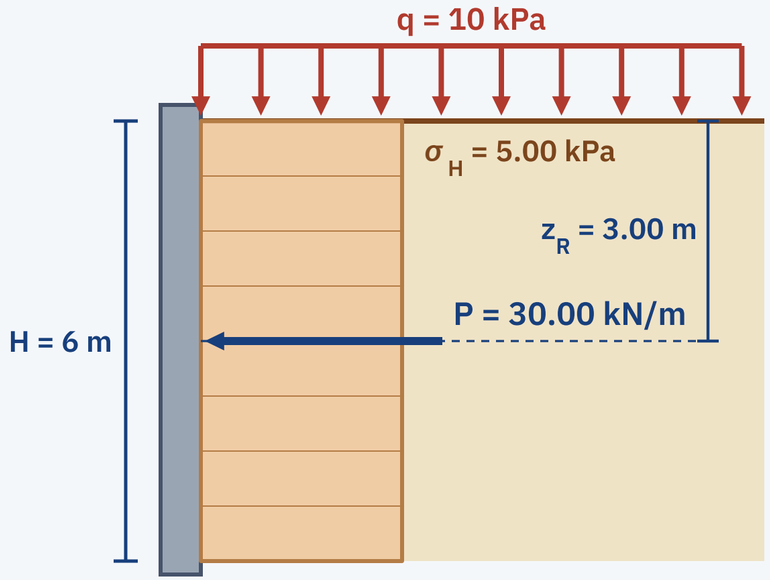
2 付加される側方圧力：どの深さでも同じ

$$\sigma_H = K\,q = 0.5000 \times 10.00 = \mathbf{5.00}\ \text{kPa}$$

3 合力と作用線

$$P = \sigma_H\,H = 5.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{6.00}{2} = \mathbf{3.00}\ \text{m}$$



擁壁は全高にわたり**5.00 kPa**の土圧を受ける。合力は**30.00 kN/m**で、地表面から**3.00 m**の深さ（底面から3.00 mの高さ）に位置する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

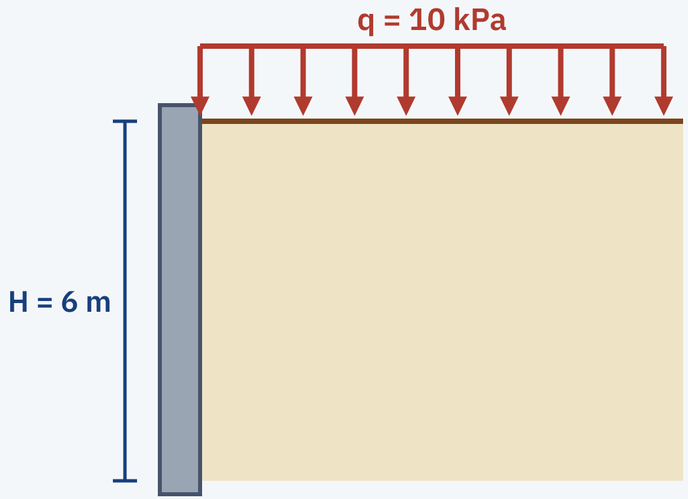
例題

与条件

壁と荷重	**同一の擁壁：$H = 6.00$ m、$q = 10.00$ kPa、$\varphi' = 30^\circ$**
差	**壁は主働状態を発揮させるのに十分な変形をする（鉛直壁、水平地表面）**

求めるもの

K_a、σ_H、P、z_R；静止状態との比較。



解答 (1/2)

解答

1 係数：主働状態（Rankine）

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) = \tan^2 30^\circ = 0.5774^2 = \mathbf{0.3333}$$

2 追加の側方圧力

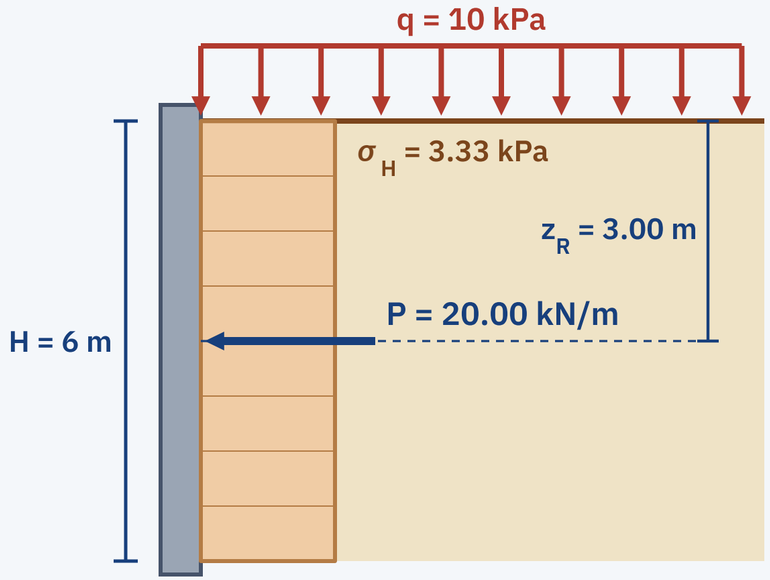
$$\sigma_H = K_a\, q = 0.3333 \times 10.00 = \mathbf{3.33}\ \text{kPa}$$

3 合力と作用線

$$P = \sigma_H\, H = 3.333 \times 6.00 = \mathbf{20.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \mathbf{3.00}\ \text{m}$$

主動状態では土圧は**3.333 kPa**、合力は**20.00 kN/m**であり、作用線の高さは同じである（z_R = 3.00 m）。



解答 (2/2)

解答

条件	K	σ_H (kPa)	P (kN/m)	z_R (m)
静止（K_0）	0.5000	5.00	30.00	3.00
主働（K_a）	0.3333	3.33	20.00	3.00
比 K_a / K_0	**0.6667**	**0.6667**	**0.6667**	1

$\phi' = 30°$に対して$K_a / K_0 = 2/3$：変形する擁壁は、移動できない擁壁が受ける上載荷重による土圧の**3分の2**を受ける。いずれも分布図は矩形で、合力は高さの中央にある。

壁が実際に移動するかどうかがこの選択の唯一の根拠である：切ばり式やアンカー式の壁は主働状態に達しないため、K_0を採用する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

壁と荷重	$H = 6.00$ m, $q = 10.00$ kPa
地盤	$\varphi' = 0^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ,\ 35^\circ,\ 40^\circ$

求めるもの

各 ϕ' についてK_0、K_a、σ_H、P（2ケース）。$\phi' = 40°$ について手計算で照査する。

解答 (1/2)

解答

ϕ' (°)	K_0	K_a	σ_H 静止（kPa）	σ_H主働（kPa）	静止土圧 P (kN/m)	主働土圧 P (kN/m)
0	1.0000	1.0000	10.00	10.00	60.00	60.00
20	0.6580	0.4903	6.58	4.90	39.48	29.42
25	0.5774	0.4059	5.77	4.06	34.64	24.35
30	**0.5000**	**0.3333**	**5.00**	**3.33**	**30.00**	**20.00**
35	0.4264	0.2710	4.26	2.71	25.59	16.26
40	0.3572	0.2174	3.57	2.17	21.43	13.05

ϕ' = 30°の行が例題1と例題2である。ϕ'が増加すると合力は低下する：静止土圧では60.00 kN/m（ϕ' = 0°）から21.43 kN/m（ϕ' = 40°）へ、主働土圧では13.05 kN/mまで低下する。

解答 (2/2)

解答

1 係数

$$K_0 = 1 - \sin 40^\circ = 1 - 0.6428 = \mathbf{0.3572}$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 20^\circ) = \tan^2 25^\circ = 0.4663^2 = \mathbf{0.2174}$$

2 圧力

$$\sigma_{H,0} = 0.3572 \times 10.00 = \mathbf{3.57}\ \text{kPa}$$

$$\sigma_{H,a} = 0.2174 \times 10.00 = \mathbf{2.17}\ \text{kPa}$$

3 合力（z_R = 3.00 m、いずれの場合も）

$$P_0 = 3.572 \times 6.00 = \mathbf{21.43} \qquad P_a = 2.174 \times 6.00 = \mathbf{13.05}\ \text{kN/m}$$

表中の ϕ' = 40°の行も手計算で求まる：**21.43**および**13.05 kN/m**。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

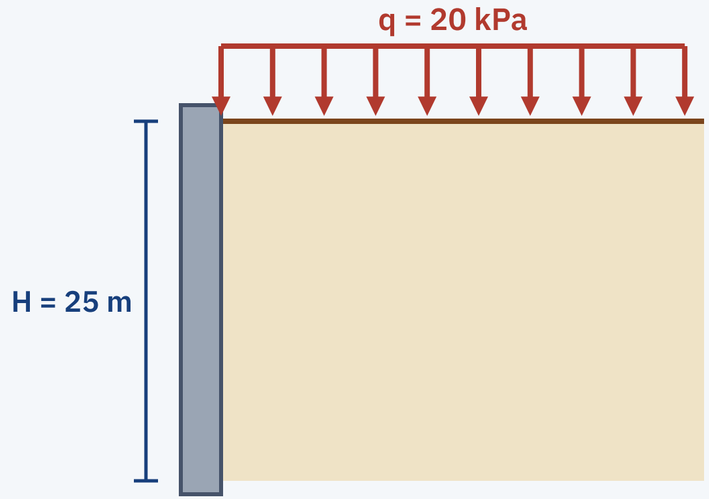
例題

与条件

壁	$H = 25.00$ m
荷重	全面に$q = 20.00$ kPa
係数	別の資料から得た $K = 0.30$（ϕ'は用いない）

求めるもの

σ_H、P、z_Rおよび土圧の深さ方向の変化。



解答

解答

1 土圧：入力したKを直接乗じる

$$\sigma_H = K\,q = 0.30 \times 20.00 = \mathbf{6.00}\ \text{kPa}$$

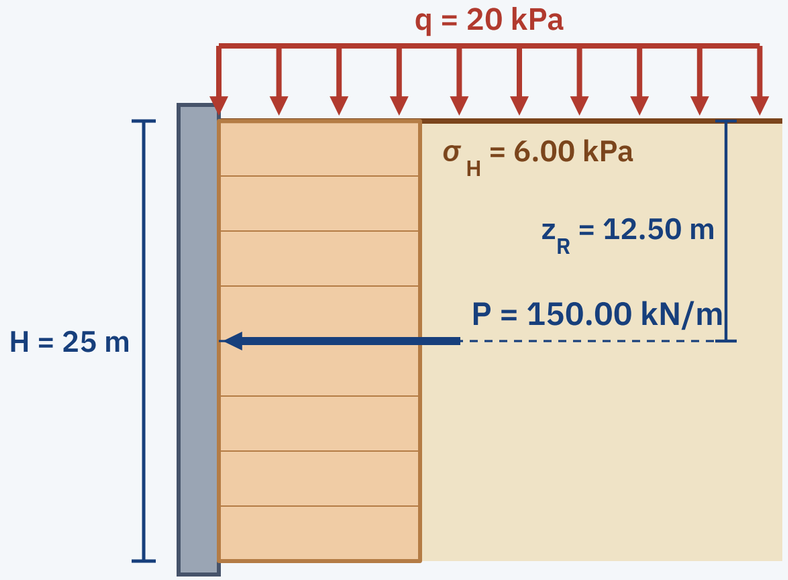
2 合力と作用線

$$P = \sigma_H\,H = 6.00 \times 25.00 = \mathbf{150.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{25.00}{2} = \mathbf{12.50}\ \text{m}$$

3 圧力の深さによる変化

z (m)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
σ_H (kPa)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00



圧力は**各深さで6.00 kPa**；合力は**150.00 kN/m**で、地表面下12.50 mの位置にある。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

壁体と地盤	$\varphi' = 30^\circ$；**静止状態と主働状態**
変数1	$q = 0,\ 5,\ 10,\ 20,\ 30,\ 50$ **kPa (**$H = 6.00$ **m)**
変数2	$H = 2,\ 4,\ 6,\ 8,\ 10$ **m (**$q = 10.00$ **kPa)**

求めるもの

合力の**q**および**H**による変化；圧力と作用線。

解答

解答

q (kPa)	σ_H 静止（kPa）	静止土圧 P (kN/m)	主働土圧 P (kN/m)
0	0.00	**0.00**	**0.00**
5	2.50	**15.00**	**10.00**
10	5.00	**30.00**	**20.00**
20	10.00	**60.00**	**40.00**
30	15.00	**90.00**	**60.00**
50	25.00	**150.00**	**100.00**

qが2倍になるとPも2倍になる；q = 0では上載荷重はない。

H (m)	σ_H 静止（kPa）	静止土圧 P (kN/m)	主働土圧 P (kN/m)	z_R (m)
2	5.00	**10.00**	**6.67**	1.00
4	5.00	**20.00**	**13.33**	2.00
6	5.00	**30.00**	**20.00**	3.00
8	5.00	**40.00**	**26.67**	4.00
10	5.00	**50.00**	**33.33**	5.00

Hが増大するとPは線形に増大する；土圧は変わらず、合力はH/2の深さに移る。

P = K q H：qとHの**積**に正比例する；Kの効果は別の乗数である（主働/静止 = 2/3、各行とも）。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

壁	$H = 6.00$ m、$\gamma = 18.0$ kN/m³、$\varphi' = 30°$（乾燥盛土）
上載荷重	全面に$q = 10.00$ kPa
ケース	静止（K_0）と主働（K_a）

求めるもの

土圧三角形の合力、上載荷重の合力、**全合力**および底面からの全合力の高さ；上載荷重の寄与。

解答 (1/2)

解答

1 土圧（三角形分布）、静止状態

$$P_z = \tfrac{1}{2} K_0 \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(0.500)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{162.00}\ \text{kN/m} \quad (\text{底面から } 2.00\ \text{m})$$

2 上載荷重成分（例題1）

$$P_q = K_0\, q\, H = 0.500 \times 10.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \text{kN/m} \quad (\text{底面から } 3.00\ \text{m})$$

3 合力と作用線（底面モーメント）

$$P = 162.00 + 30.00 = \mathbf{192.00}\ \text{kN/m}$$

$$L = \frac{162.00(2.00) + 30.00(3.00)}{192.00} = \frac{414.00}{192.00} = \mathbf{2.156}\ \text{m}$$

静止時には合計**192.00 kN/m**が底面から**2.156 m**上方で作用する；上載荷重の寄与は30.00 kN/m（15.6%）である。

解答 (2/2)

解答

1 主働状態について同じ手順（$K_a = 0.3333$）

$$P_z = \tfrac{1}{2}(0.3333)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{108.00}\ \text{kN/m}$$

$$P_q = 0.3333(10.00)(6.00) = \mathbf{20.00}\ \text{kN/m}$$

$$L = \frac{108.00(2.00) + 20.00(3.00)}{128.00} = \mathbf{2.156}\ \text{m}$$

条件	K	$P_{地盤}$ (kN/m)	$P_{上載荷重}$（kN/m）	Pの合計 (kN/m)	上載荷重の分担	L (m、底面から)
静止	0.5000	162.00	30.00	**192.00**	%15.62	2.156
主働	0.3333	108.00	20.00	**128.00**	%15.62	2.156

両項ともKが乗じられるため、**上載荷重の寄与率と作用線はKに依存しない**：寄与率2q / (γH + 2q) = 15.62%、L = 2.156 m。全合力のみがKに比例する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

まとめ

ポイントのまとめ

$\sigma_H = K \cdot q$：全表面に広がる等分布荷重は、壁に**どの深さでも同じ**側方土圧を加える；分布図は矩形となる。

Kは壁の挙動に応じて：静止**$K_0 = 1 - \sin \phi'$**（Jaky）、主働**$K_a = \tan^2(45° - \phi'/2)$**（Rankine）または入力値；$\phi' = 30°$では0.5000および0.3333

$P = K\,q\,H$および**$z_R = H/2$**：開き壁（H = 6 m、q = 10 kPa）では静止状態で$\sigma_H = 5.00$ kPa、P = 30.00 kN/m；主働状態では3.33 kPaおよび20.00 kN/m

線形：Pはqおよびに比例する；$K_a / K_0 = 2/3$（$\phi' = 30°$）

合算：上載荷重の成分を土圧および水圧の分布図に加算する；上載荷重の寄与は$2q / (\gamma H + 2q)$であり、その作用線はKに依存しない

参考文献

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning。本ページはこの文献に従っています。

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

Rankine, W.M.J. (1857). On the stability of loose earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 147, 9–27.

注記

数値例はすべてモジュール自身の計算エンジンで生成したものであり、モジュールも同じ値を与える。モジュールの起動時の例はH = 6 m、q = 10 kPa、ϕ' = 30°（静止）であり、第2の例はH = 25 m、q = 20 kPa、K = 0.30である。

GeoTerva

オンライン地盤工学計算

理論から実務へ

GeoTervaに自分の擁壁、上載荷重、係数の選択を入力する。モジュールはK、σ_H、P、z_Rの値、土圧図、手順ごとの解答、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