地盤工学講義スライド・土圧

Rankineの土圧

講義：摩擦のない鉛直壁に作用する主働・受働土圧、砂質土および粘性土の背面土、上載荷重、地下水、層状地盤、各項目に計算例を付す。

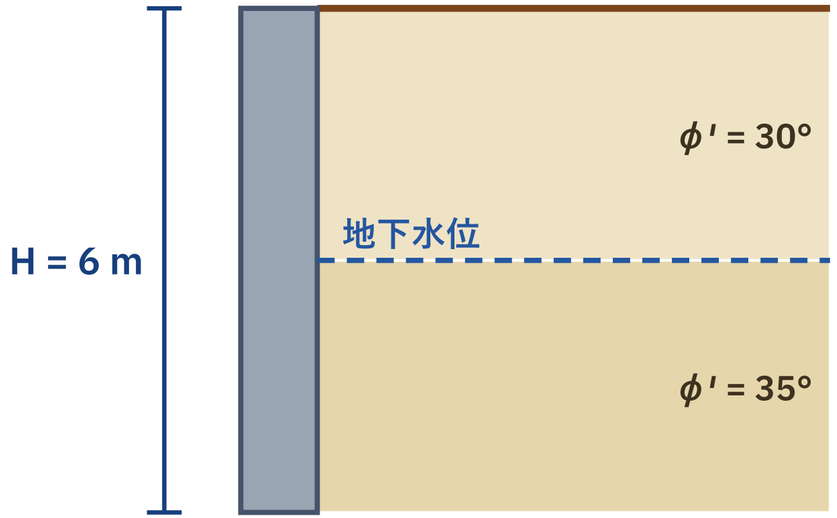
主働・受働状態

$K_a = \tan^2(45° - \phi'/2)$

上載荷重と地下水

層状背面土

引張亀裂



はじめに

この講義で学ぶこと

- 主働状態と受働状態のMohr円により、**なぜ** $\sigma'_a = K_a \sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$ となるのか
- K_aおよびK_p係数をϕ'から計算すること。静止係数K_0と比較すること
- 粘着力のない背面土において、圧力三角形から**力**と**作用高さ**を求めること
- 上載荷重、地下水、層境界が分布図をどのように変えるかを理解すること
- $c'-\phi'$および$\phi = 0$の地盤において**引張領域**と、亀裂あり／なしの力を区別すること
- 受働抵抗を計算すること、および擁壁がどれだけ移動する必要があるかを知ること

講義の流れ

各項目は**3つの手順**で扱う：

1. **理論**：規則は何か、なぜそうなるのか
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

力は壁の単位長さあたりである（kN/m）；圧力はkPa、すべての応力は有効応力である。

塑性平衡とMohr円

理論

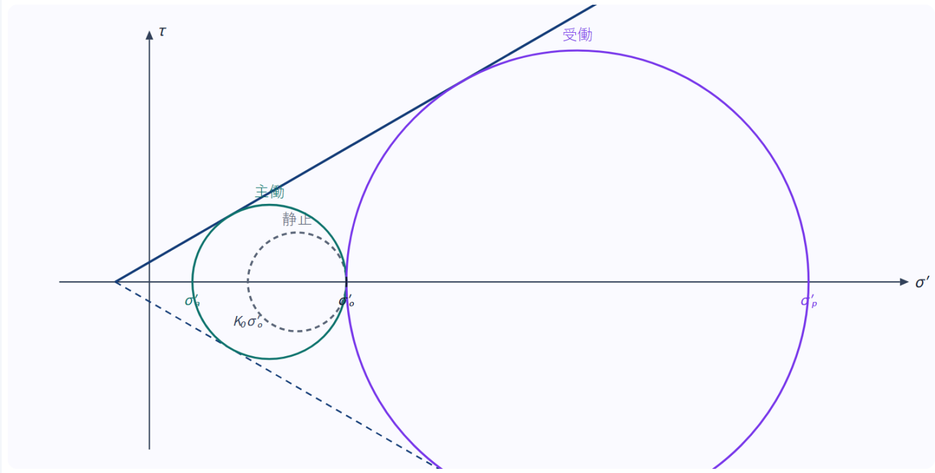
Rankine（1857）は、すべての点が破壊の限界にある地盤塊を考察した。鉛直で摩擦のない壁が**地盤から遠ざかると**、水平応力は静止時の値$K_0\,\sigma'_o$から低下し、Mohr円は破壊包絡線に接する：**主働状態**。壁が**地盤に向かって押されると**、水平応力はσ'_oを超えて増大する：**受働状態**。

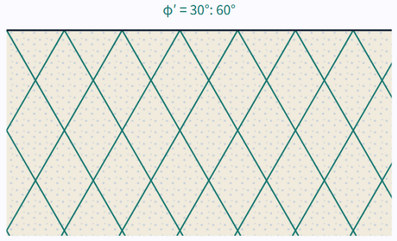
$$\sigma'_a = \sigma'_o \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) - 2c' \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

$$\sigma'_p = \sigma'_o \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

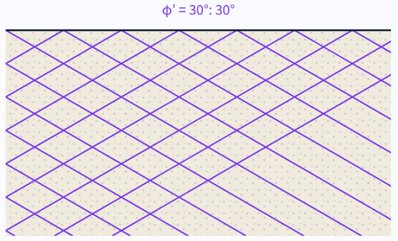
σ'_oは鉛直有効応力（拘束圧）である。壁背面では最大主応力は鉛直（主働時）または水平（受働時）である。

すべり面は主働時には水平と45° + $\phi'/2$、受働時には45° − $\phi'/2$の角度をなす。





主働状態：水平面に対して45° + ϕ′/2のすべり面



受働状態：45° − ϕ′/2のすべり面

K_aとK_pの係数

理論

Mohr円の幾何学的関係から2つの係数が定義される；両者は互いに逆数である：

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) = \frac{1-\sin\varphi'}{1+\sin\varphi'} \qquad K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) = \frac{1}{K_a}$$

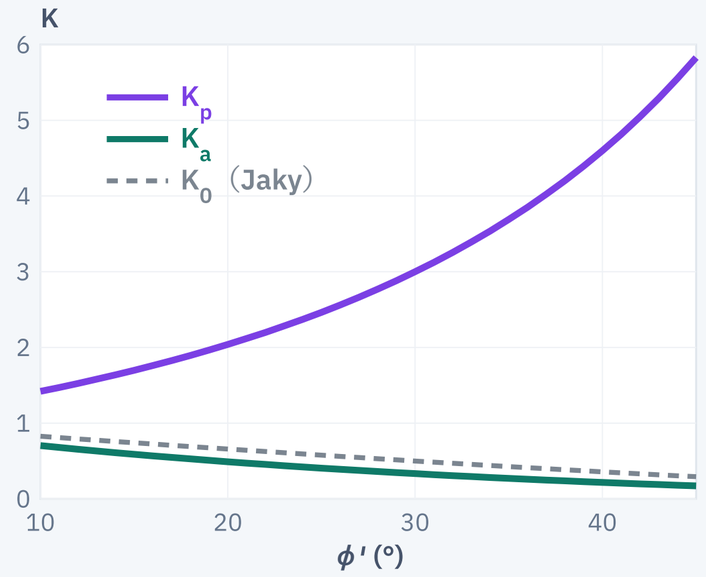
$$\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a} \qquad \sigma'_p = K_p\sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$$

ϕ'	25°	30°	35°	40°
K_a	0.406	0.333	0.271	0.217
K_p	2.464	3.000	3.690	4.599
K_0（Jaky）	0.577	0.500	0.426	0.357

$K_a < K_0 < K_p$：壁が動く前の静止土圧は2つの限界の間にある。

K_pはϕ'とともに急増する：$\phi' = 40°$では受働は主働の20倍以上である。

K_a、K_pおよびK_0 – ϕ'



問題

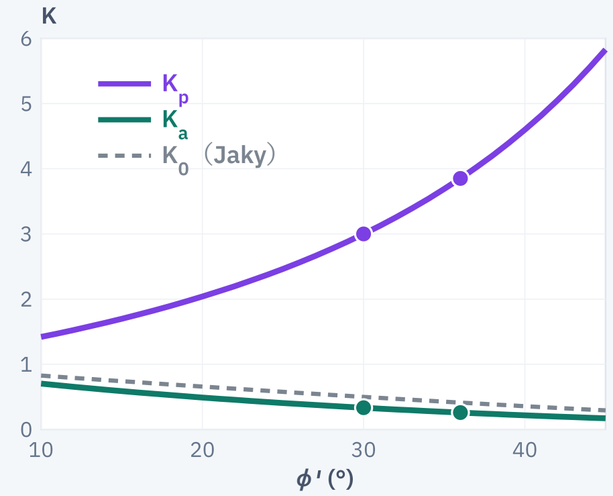
例題

与条件

地盤	**粘着力のない砂、$c' = 0$；2つのケース：$\varphi' = 36°$と$\varphi' = 30°$**
壁	**鉛直、摩擦なし；背面土表面は水平**

求めるもの

K_a、**K_p**および**Jaky**による**K_0**；三者の大小関係を確認する。



解答

解答

1 $\phi' = 36°$

$$K_a = \tan^2(45° - 18°) = \tan^2 27° = \mathbf{0.2596} \qquad K_p = \tan^2 63° = \frac{1}{K_a} = \mathbf{3.852}$$

2 $\phi' = 30°$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30°}{1 + \sin 30°} = \frac{0.5}{1.5} = \mathbf{0.3333} \qquad K_p = \frac{1 + \sin 30°}{1 - \sin 30°} = \mathbf{3}$$

3 静止土圧係数（Jaky）：$K_0 = 1 - \sin\phi'$

$$\varphi' = 36°:\ K_0 = 1 - 0.5878 = \mathbf{0.4122} \qquad \varphi' = 30°:\ K_0 = 1 - 0.5 = \mathbf{0.50}$$

両地盤とも**$K_a < K_0 < K_p$**、$K_a \cdot K_p = 1$。ϕ'が30°から36°に増加すると、K_aは0.333 → 0.260、K_pは3.00 → 3.85となる。

GeoTervaで解答を確認する ↗

圧力三角形、力および作用高さ

理論

c′ = 0かつ地表面が水平な盛土では、圧力は深さとともに**線形**に増加し、分布図は三角形となる。擁壁の単位長さあたりの力は三角形の面積であり、作用点は図心（底面からH/3上方）である：

$$\sigma'_a = K_a \gamma z \qquad P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma H^2 \qquad \bar{z} = \tfrac{H}{3}$$

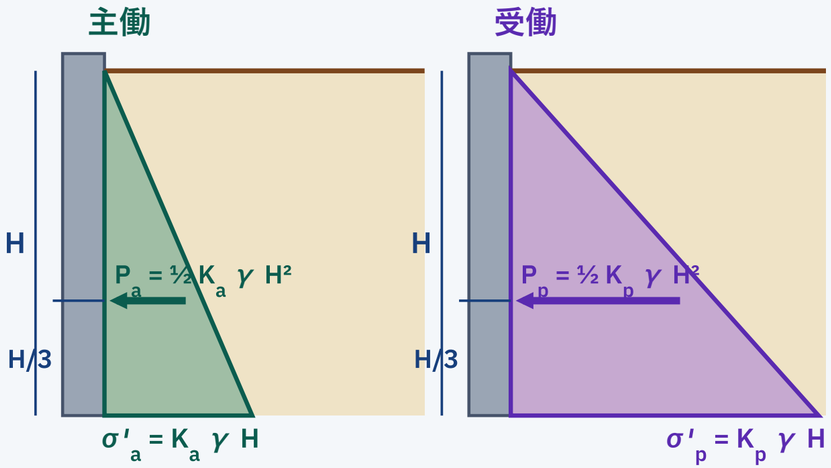
$$\sigma'_p = K_p \gamma z \qquad P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2 \qquad \bar{z} = \tfrac{H}{3}$$

力は**H²**に比例して増大する：壁高を2倍にすると力は4倍になる。

力は壁面に直角かつ水平である（摩擦のない壁、$\delta' = 0$）。

単位：γ はkN/m³、Hはmのとき**P**はkN/m。

二つの限界状態



問題

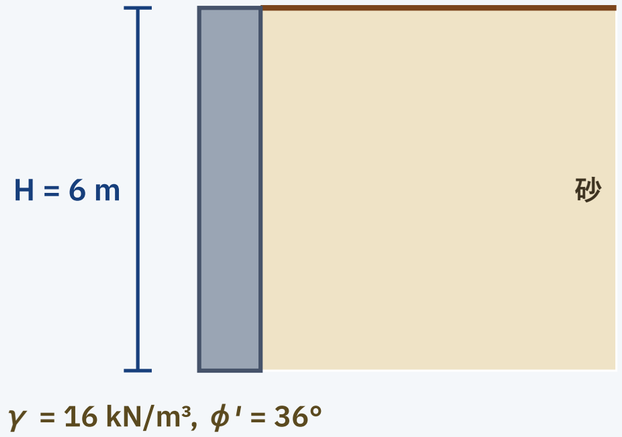
例題

与条件

壁	$H = 6$ m、鉛直、摩擦なし；背面土表面は水平
地盤	乾燥砂：$\gamma = 16$ kN/m^3, $\varphi' = 36°$, $c' = 0$

求めるもの

主働および**受働**力P_a、P_pとその作用高さ；さらに静止時の力P_0。



解答

解答

1 係数（例題1）：$K_a = 0.2596$, $K_p = 3.852$

$$\sigma'_a(6) = K_a \gamma H = 0.2596(16)(6) = \mathbf{24.92}\ \text{kPa}$$

2 主働力（三角形の面積）

$$P_a = \tfrac{1}{2}\sigma'_a(6)\,H = \tfrac{1}{2}(24.92)(6) = \mathbf{74.77}\ \text{kN/m}$$

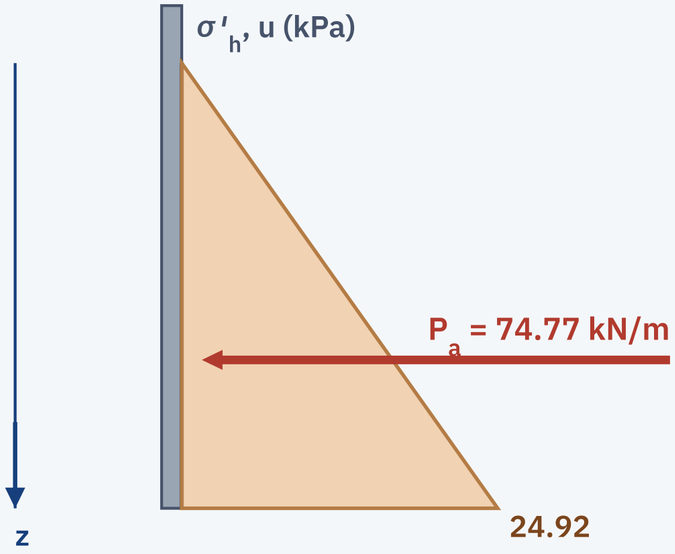
$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2.0\ m}$$

3 受働力

$$P_p = \tfrac{1}{2}K_p \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(3.852)(16)(36) = \mathbf{1{,}109.3}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2.0\ m}$$

P_a = **74.77 kN/m**、P_p = **1,109.3 kN/m**、いずれも底面から2.0 m上方に作用する。受働抵抗は主働土圧の**14.8倍**であり、静止土圧P_0 = 118.72 kN/mはその中間に位置する。



GeoTervaで解答を確認する ↗

図を変化させる2つの影響

理論

等分布の上載荷重 qはどの深さでも同じ圧力を加える：矩形が加算される。**地下水位**より下では、有効応力は$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$で計算し、さらに水圧$u = \gamma_w(z - H_1)$を**そのままの値で**加算する：

$$P_a = K_a q H + \tfrac{1}{2} K_a \gamma H_1^2 + K_a \gamma H_1 H_2 + \tfrac{1}{2}\left(K_a \gamma' + \gamma_w\right) H_2^2$$

成分	力	腕の長さ（底面から）
上載荷重（矩形）	$K_a\, q\, H$	$H/2$
上部三角形	$\tfrac{1}{2} K_a\, \gamma\, H_1^2$	$H_2 + H_1/3$
下部矩形	$K_a\, \gamma\, H_1\, H_2$	$H_2/2$
下側三角形（有効）	$\tfrac{1}{2} K_a\, \gamma'\, H_2^2$	$H_2/3$
水圧	$\tfrac{1}{2}\, \gamma_w\, H_2^2$	$H_2/3$

各成分のモーメントを底面の点まわりに取ることで合力の作用高さを求める：$\bar{z} = \Sigma P_i z_i \,/\, \Sigma P_i$。

受働力は同じ成分にK_pを用いて求められる。水圧は同じである。

なぜ水はこれほど影響が大きいのか

水の圧力は**せん断抵抗角に依存しない**：K_aの代わりに1を掛ける。水中部では$\gamma' \approx \gamma_{sat}/2$であるため有効土圧は小さくなるが、水圧がそれを十分に上回る。

問題

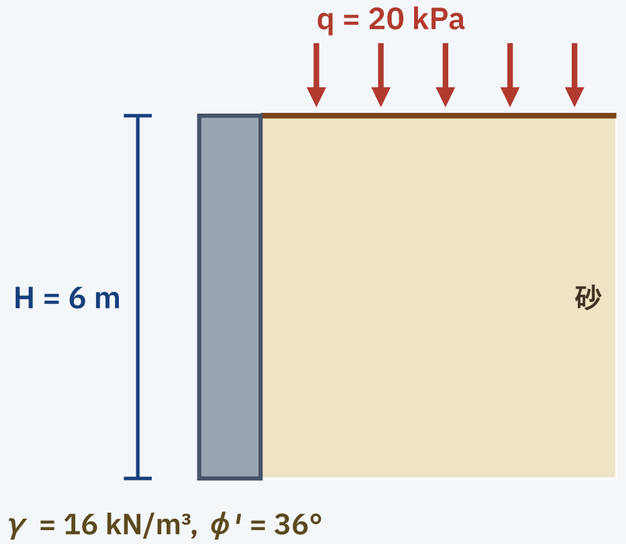
例題

与条件

壁体と地盤	**例題2の壁：$H = 6$ m、$\gamma = 16$ kN/m^3, $\varphi' = 36°$、乾燥**
上載荷重	**背面土表面に等分布$q = 20$ kPa**

求めるもの

P_a と $\bar{z}$；上載荷重の影響。



解答

解答

1 圧力：表面で$K_a q$、底面で$K_a q + K_a \gamma H$

$$\sigma'_a(0) = 0.2596(20) = 5.19 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_a(6) = 5.19 + 24.92 = \mathbf{30.12} \text{ kPa}$$

2 力：長方形（腕の長さ3.0 m）＋三角形（腕の長さ2.0 m）

$$P_q = K_a q H = 5.19(6) = 31.15 \text{ kN/m}$$

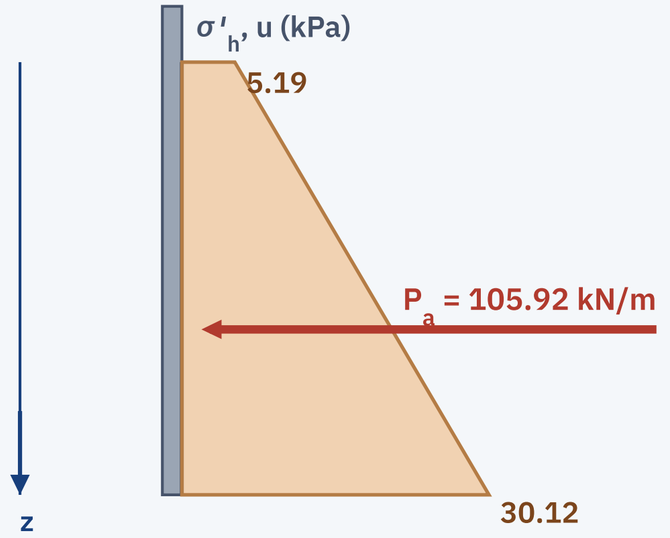
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_a \gamma H^2 = 74.77 \text{ kN/m}$$

3 合力と作用高さ

$$P_a = 31.15 + 74.77 = \mathbf{105.92} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{31.15(3) + 74.77(2)}{105.92} = \mathbf{2.29} \text{ m}$$

上載荷重による力は31.15 kN/m（42%）増加させた。作用点は**2.00 mから2.29 mへ**上昇した（長方形の腕の長さはH/2）。



GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

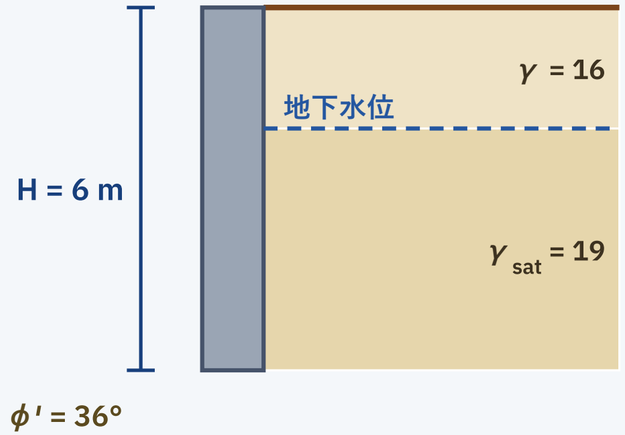
例題

与条件

壁	$H = 6$ m、鉛直；水平表面の砂盛土、上載荷重なし
地盤	上部$\gamma = 16$ kN/m^3（乾燥）；地下水位は深さ 2 m；下部$\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3；$\varphi' = 36^\circ$

求めるもの

有効土圧と水圧から求めた**合力**とその作用高さ；水の影響。



解答

解答

1 有効応力（z = 2 および 6 m）

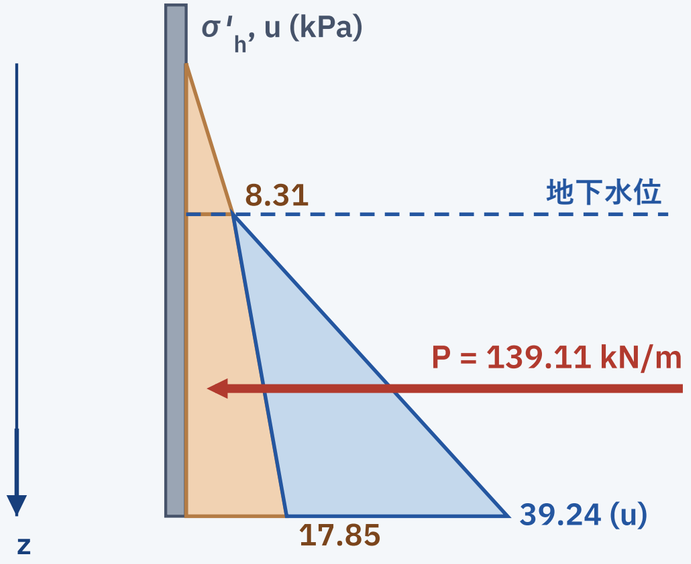
$$\sigma'_o(2) = 16(2) = 32 \text{ kPa}$$
$$\sigma'_o(6) = 32 + 4(19 - 9.81) = 68.76 \text{ kPa}$$
$$\sigma'_a(6) = K_a \sigma'_o(6) = \mathbf{17.85} \text{ kPa}$$

2 底面の水圧：u = γ_w(6 − 2)

$$u(6) = 9.81(4) = \mathbf{39.24} \text{ kPa}$$

3 力：上部三角形・下部矩形・下部三角形・水

$$P_a = 8.31 + 33.23 + 19.09 = 60.63 \text{ kN/m} \quad \text{（地盤）}$$
$$P_w = \tfrac{1}{2}(39.24)(4) = 78.48 \text{ kN/m}$$



合計 = 60.63 + 78.48 = **139.11 kN/m**、**z̄ = 1.69 m**。乾燥した壁の力は74.77 kN/mであった：水の力により**1.9倍**に増加した。

GeoTervaで解答を確認する ↗

各層がそれぞれのK値を用いる

理論

盛土が複数の層からなる場合、**鉛直有効応力 σ'_oは連続である**（層境界で跳躍しない）；しかし水平応力 $\sigma'_a = K_i\,\sigma'_o$は各層でそれぞれの$K_i$値を用いるため、**$\phi'$が変化する境界で図は跳躍する**：

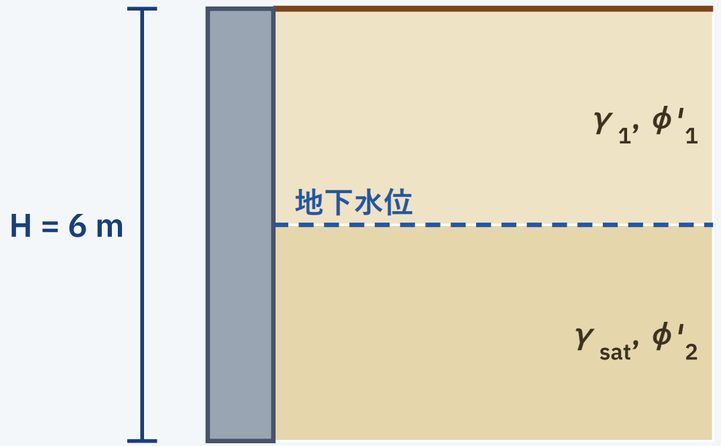
$$\sigma'_a = K_{a,i}\,\sigma'_o(z) \qquad \sigma'_o(z) = q + \sum \gamma_i h_i \ \ (\gamma' \text{ 水中部分で})$$

境界では2つの値が読み取られる：上層の$K_{a,1}\,\sigma'_o$の値と下層の$K_{a,2}\,\sigma'_o$の値。下層のϕ'が大きい場合、土圧は下方へ**低下する**。

地下水位は層境界のように扱う：γ'が始まり、uを加算する。

力は各部分（三角形／長方形）の面積を合計して求め、作用高さはモーメントをとることによって求める。

成層した盛土と水



問題

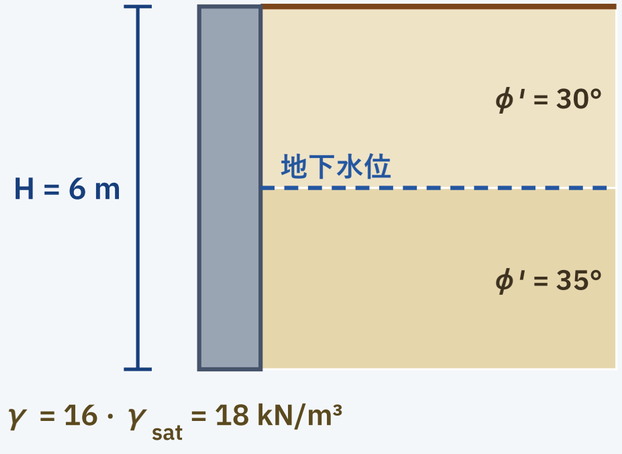
例題

与条件

壁	$H = 6$ m、鉛直、摩擦なし；水平地表面；上載荷重なし
上層（0–3 m）	砂：$\gamma = 16$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$
下層（3–6 m）	砂：$\gamma_{sat} = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 35°$
地下水位	深さ3 m（層境界）において

求めるもの

全**力**（土＋水）と**作用高さ**。モジュールを開いたときの例題はこの擁壁である。



解答 (1/2)

解答

1 係数

$$K_{a,1} = \frac{1}{3} = \mathbf{0.3333} \qquad K_{a,2} = \tan^2 27.5^\circ = \mathbf{0.2710}$$

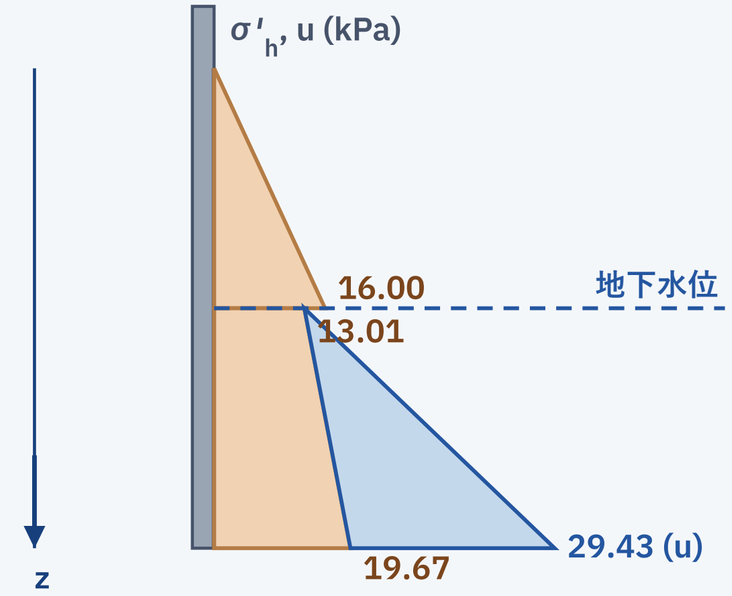
2 深さ3 mにおいて（境界）：$\sigma'_o = 16(3) = 48$ kPa

$$\sigma'_a = 0.3333(48) = \mathbf{16.00}\ \text{kPa}\ \text{（上部）}$$
$$\sigma'_a = 0.2710(48) = \mathbf{13.01}\ \text{kPa}\ \text{（下部）}$$

3 深さ6 m（底面）

$$\sigma'_o = 48 + 3(18 - 9.81) = 72.57\ \text{kPa} \qquad u = 9.81(3) = \mathbf{29.43}$$
$$\sigma'_a = 0.2710(72.57) = \mathbf{19.67}\ \text{kPa}$$

境界で分布は16.00 → 13.01 kPaと跳躍する（ϕ'の変化）。σ'_oは連続のままである。



解答 (2/2)

解答

4 力：上部三角形・下部矩形・下部三角形・水

$$P = \tfrac{1}{2}(3)(16.00) + 3(13.01) + \tfrac{1}{2}(3)(6.66) + \tfrac{1}{2}(3)(29.43)$$
$$= 24.00 + 39.02 + 9.99 + 44.14 = \mathbf{117.15}\ \text{kN/m}$$

5 作用高さ：底面点に関するモーメント（腕の長さ 4；1.5；1；1 m）

$$\bar{z} = \frac{24.00(4) + 39.02(1.5) + 9.99(1) + 44.14(1)}{117.15} = \mathbf{1.78}\ \text{m}$$

合力は**117.15 kN/m**、底面から**1.78 m**の高さ；地盤が73.01 kN/m、水が44.14 kN/m。水は約38%を占め、力の最大の成分である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

引張領域と引張亀裂

理論

c′–φ′地盤では主働圧力が頂部で**負**となる（地盤が壁を引張ろうとする）；圧力がゼロとなる深さ：

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma} \qquad \varphi = 0:\ z_0 = \frac{2c_u}{\gamma}$$

地盤は引張に抵抗できない：時間の経過とともに深さz_0まで**引張亀裂**が生じる。力は図の正の部分のみである：

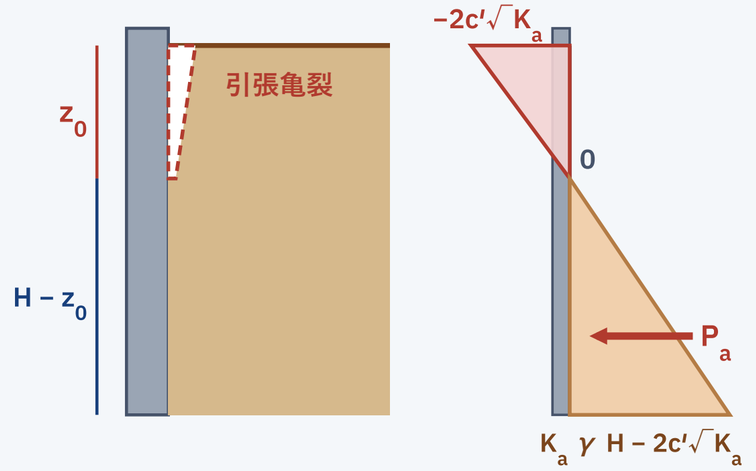
$$P_a = \tfrac{1}{2}\left[K_a(q+\gamma H) - 2c'\sqrt{K_a}\right](H - z_0)$$

引張亀裂が生じる前は図の全体を数える（より小さい力）：$P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2c'\sqrt{K_a}\,H + K_a q H$。

> 設計では引張亀裂を考慮した（より大きな）力が支配的となる。亀裂が水で満たされる場合は、静水圧 $\gamma_w z_0^2/2$ も加算する。

> 作用高さは正の三角形の図心であり、$(H - z_0)/3$である。

引張領域



負の圧力：上部からz_0の深さまでは壁と接触しない。

問題

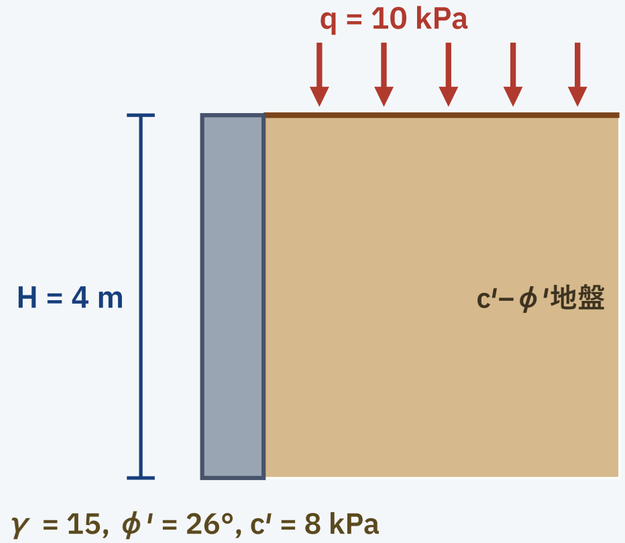
例題

与条件

壁	$H = 4$ m、鉛直、摩擦なし、水平地表面
地盤	$\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 26°$, $c' = 8$ kPa
上載荷重	$q = 10$ kPa

求めるもの

引張深さz_0、亀裂を伴う主働力とその作用高さ；亀裂のない場合の力との比較。



解答 (1/2)

解答

1 係数：$K_a = \tan^2(45° - 13°)$

$$K_a = \tan^2 32° = \mathbf{0.3905} \qquad \sqrt{K_a} = 0.6249$$

$$2c'\sqrt{K_a} = 2(8)(0.6249) = 10.00 \text{ kPa}$$

2 頂部および底面の圧力

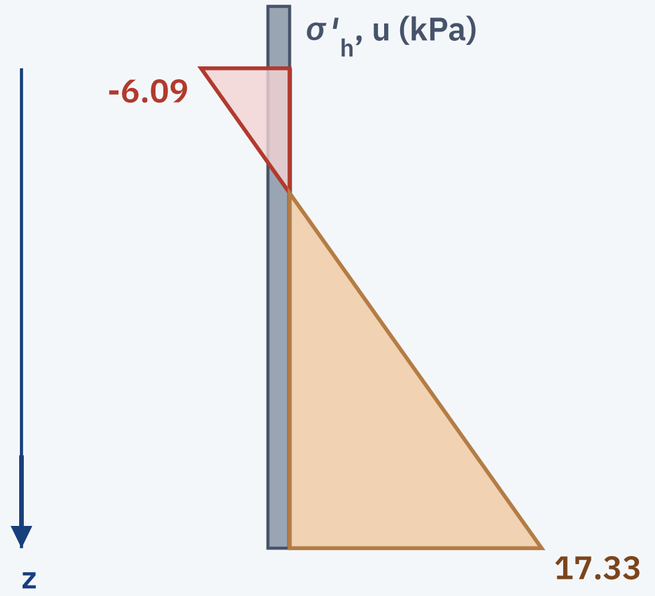
$$\sigma'_a(0) = 0.3905(10) - 10.00 = -\mathbf{6.09} \text{ kPa} \quad （引張）$$

$$\sigma'_a(4) = 0.3905(10 + 15 \cdot 4) - 10.00 = \mathbf{17.33} \text{ kPa}$$

3 引張深さ（土圧がゼロとなる位置）

$$z_0 = \frac{2(8)}{15(0.6249)} - \frac{10}{15}$$

$$= 1.707 - 0.667 = \mathbf{1.04} \text{ m}$$



解答 (2/2)

解答

4 ひび割れ部の力（正の三角形のみ）

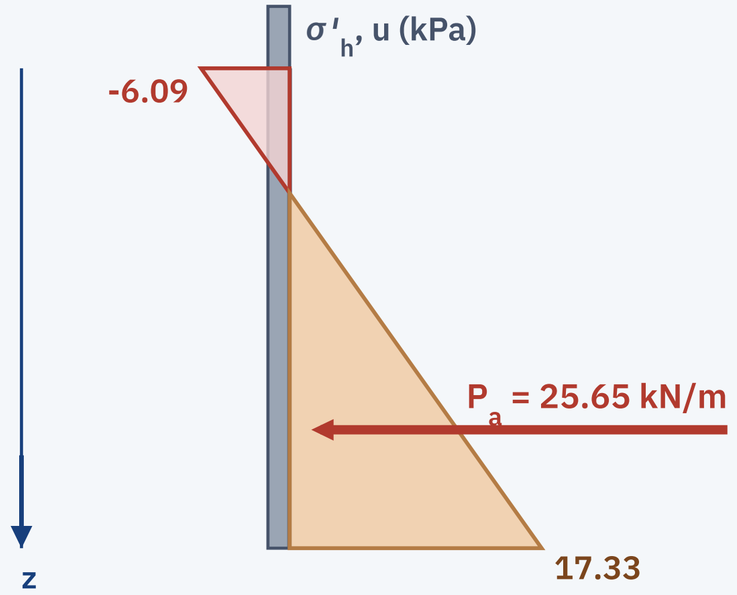
$$P_a = \tfrac{1}{2}(17.33)(4 - 1.04) = \mathbf{25.65}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{4 - 1.04}{3} = \mathbf{0.99}\ \text{m}$$

5 比較：引張亀裂なし（負の領域を含む）

$$P_a = \tfrac{1}{2}(-6.09 + 17.33)(4) = 22.48\ \text{kN/m}$$

亀裂のある場合の力は**25.65 kN/m**であり、亀裂のない場合の力より14%大きい。安全側の値は亀裂のある場合の値である。



GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

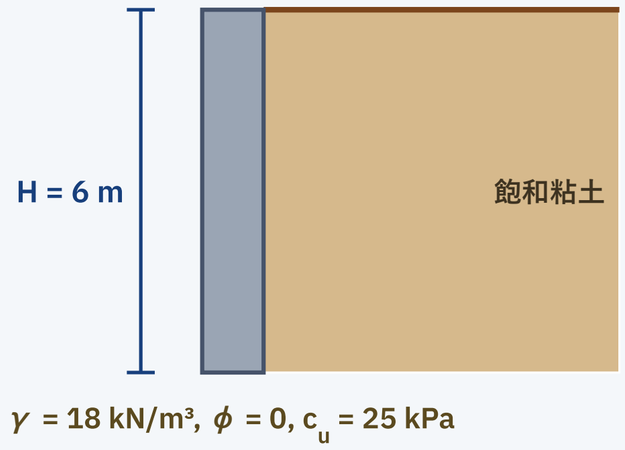
例題

与条件

壁	$H = 6$ m、鉛直、水平地表面、上載荷重なし
地盤	飽和粘土、非排水：$\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi = 0$, $c_u = 25$ kPa

求めるもの

z_0、亀裂あり・亀裂なしの主働土圧；受働土圧；壁なしで鉛直に掘削できる高さ H_c。



解答 (1/2)

解答

1 ϕ = 0の場合、$K_a = K_p = 1$：引張亀裂の深さと底面の土圧

$$\sigma_a = \gamma z - 2c_u = 18z - 50 \text{ kPa}$$

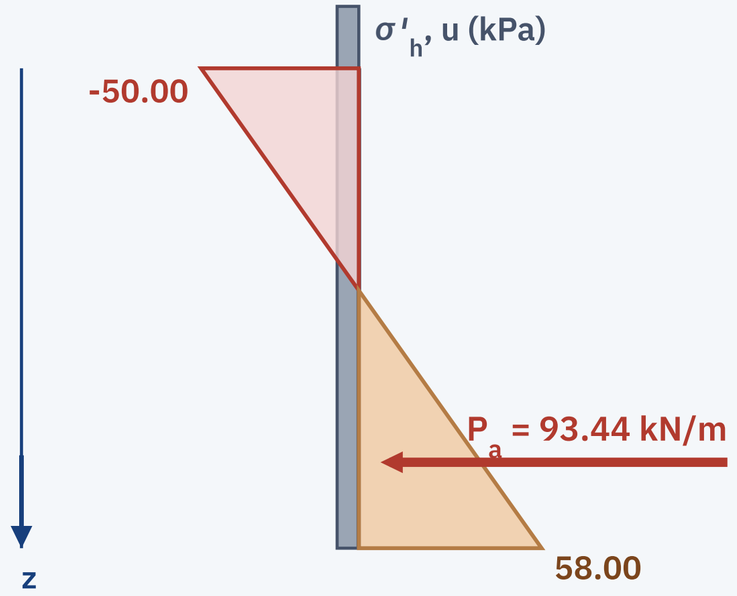
$$z_0 = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{50}{18} = \mathbf{2.78} \text{ m}$$

$$\sigma_a(6) = 108 - 50 = \mathbf{58} \text{ kPa}$$

2 引張亀裂を考慮した主働土圧

$$P_a = \tfrac{1}{2}(58)(6 - 2.78) = \mathbf{93.44} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{6 - 2.78}{3} = 1.07 \text{ m}$$



解答 (2/2)

解答

3 亀裂のない主働土圧と受働土圧

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 - 2c_u H = 324 - 300 = \mathbf{24}\ \text{kN/m}$$

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma H^2 + 2c_u H = 324 + 300 = \mathbf{624}\ \text{kN/m}$$

4 擁壁なしで鉛直に掘削できる高さ（引張亀裂なしで$P_a = 0$）

$$\frac{1}{2}\gamma H_c^2 - 2c_u H_c = 0 \;\Rightarrow\; H_c = \frac{4c_u}{\gamma} = \frac{4(25)}{18} = \mathbf{5.56}\ \text{m}$$

引張亀裂を考慮した力（93.44 kN/m）は、考慮しない力（24 kN/m）の**3.9倍**である：粘性土では引張亀裂の仮定が結果を左右する。H = 6 mはH_c = 5.56 mより大きいため、亀裂を考慮しない力も正となる。

GeoTervaで解答を確認する ↗

粘着力は受働抵抗を増加させる

理論

受働側では粘着力が**すべての深さで**抵抗を付加する；引張域や亀裂は存在しない。頂部の圧力はゼロではない：

$$\sigma'_p(z) = K_p\,(q + \gamma z) + 2c'\sqrt{K_p}$$

$$P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2 + K_p q H + 2c'\sqrt{K_p}\,H \qquad \varphi = 0:\ P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 + 2c_u H$$

土圧分布は**台形**である：粘着力と上載荷重は長方形を、γzは三角形を加える。

作用高さはモーメントをとることにより求める（粘着力分はH/2の位置）。

受働抵抗は壁が十分に移動することに依存する；設計では全量を用いず、係数で低減する。

主働－受働の比較

	主働	受働
係数	$K_a < 1$	$K_p > 1$
粘着力	土圧を**低減**する（$-2c'\sqrt{K_a}$）	抵抗を**増加**させる（$+2c'\sqrt{K_p}$）
引張領域	存在する（z_0）	なし
すべり面	$45° + \phi'/2$	$45° - \phi'/2$
必要な変位	小さい	大きい

問題

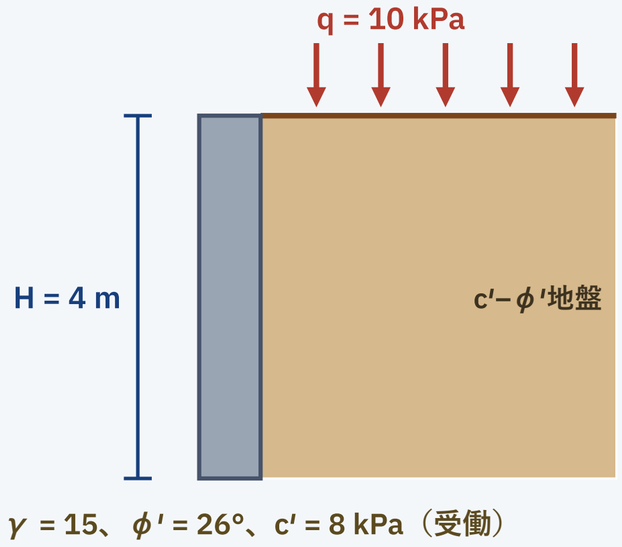
例題

求めるもの

受働力P_pとその作用高さ。

与条件

壁体と地盤	**例題6の擁壁と地盤：**$H = 4$ **m**、$\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 26°$, $c' = 8$ **kPa**
上載荷重	$q = 10$ **kPa（受働側）**



解答

解答

1 係数：$K_p = \tan^2(45° + 13°)$

$$K_p = \tan^2 58° = \mathbf{2.561} \qquad 2c'\sqrt{K_p} = 2(8)(1.600) = 25.61 \text{ kPa}$$

2 頂部および底面の圧力

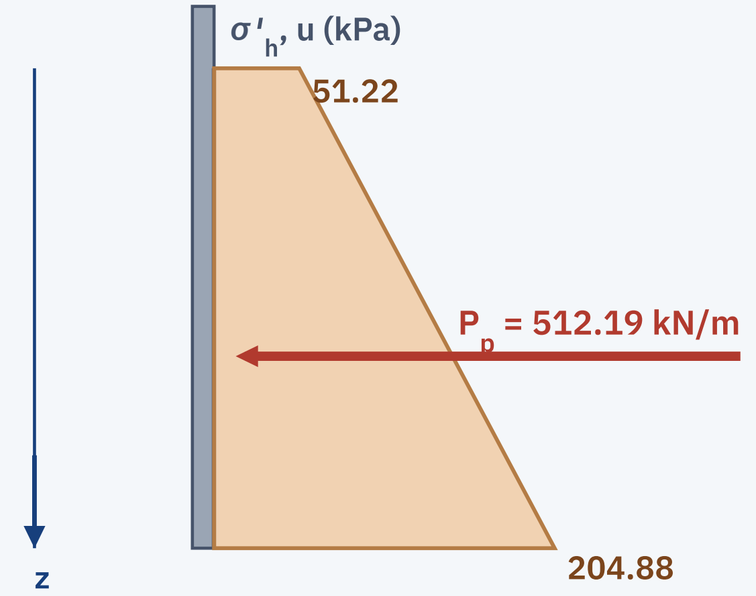
$$\sigma'_p(0) = 2.561(10) + 25.61 = \mathbf{51.22} \text{ kPa}$$

$$\sigma'_p(4) = 2.561(10 + 60) + 25.61 = \mathbf{204.88} \text{ kPa}$$

3 台形の面積と図心

$$P_p = \tfrac{1}{2}(51.22 + 204.88)(4) = \mathbf{512.2} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{51.22(4)(2) + \frac{1}{2}(153.66)(4)(\frac{4}{3})}{512.2} = \mathbf{1.60} \text{ m}$$



受働抵抗**512.2 kN/m**、底面から1.60 m上方。同じ壁の引張亀裂を考慮した主働力の約**20倍**。

GeoTervaで解答を確認する ↗

主働状態と受働状態を発現させるにはどの程度の変位が必要か。

理論

Rankine状態に到達するには、擁壁が地盤から離れる（主働）か、地盤に近づく（受働）必要がある。**受働に必要な変位は主働のそれよりはるかに大きい**；高さHに対する比で：

地盤	主働 $\Delta L_a/H$	受働 $\Delta L_p/H$	H = 6 m に対する主働	H = 6 m に対する受働
ゆるい砂	0.001–0.002	0.01	6–12 mm	60 mm
密な砂	0.0005–0.001	0.005	3–6 mm	30 mm
軟弱粘土	0.02	0.04	120 mm	240 mm
硬質粘土	0.01	0.02	60 mm	120 mm

変位がこれらの値に達しなければ、土圧はK_aより大きくK_pより小さいままである；壁が完全に拘束されていれば静止土圧K_0が生じる。

底面まわりに回転する壁では、これらの比は頂部の移動量に適用される。

Rankine解の適用範囲

理論

壁面：鉛直かつ平滑（$\delta' = 0$）とし、土圧は水平で壁面に直角に作用する。実際には壁面摩擦は主働土圧を減少させ、受働土圧を増加させる。Rankineは主働ではやや安全側、受働では保守的（安全）側である。

盛土：表面は水平、各層は均質、すべり面は平面である。傾斜した盛土および傾斜した壁面についてはRankine（傾斜盛土）モジュールを参照する。

応力：有効応力が基本である；水圧は別途加算し、粘土については非排水（$\phi = 0$）解を全応力でも用いることができる。

上載荷重：等分布荷重である；帯状・集中・線荷重のモジュールは別個に扱う。

地震：Rankineは静的解法である；地震にはMononobe–Okabeおよび地震時受働のモジュールを用いる。

まとめ

ポイントのまとめ

状態：主働（壁が遠ざかる） $\sigma'_a = K_a \sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$；受働（壁を押す） $\sigma'_p = K_p \sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$

係数：$K_a = \tan^2(45° - \phi'/2)$、$K_p = 1/K_a$；$K_a < K_0 = 1 - \sin\phi' < K_p$

粘着性のない背面土：$P = \frac{1}{2} K \gamma H^2$、底面から H/3 の位置；力は H^2 に比例して増大する

上載荷重は矩形分布（$K q H$、腕の長さ$H/2$）を加える；**水**はϕ'に依存しない全水圧$u = \gamma_w(z - H_1)$を加え、力を何倍にも増大させる

層状地盤では σ'_oは連続であり、 σ'_aはϕ'が変化する境界で不連続となる。力は部分に分割し、$\bar{z}$に関するモーメントを取ることで求める。

c'–ϕ'地盤では$z_0 = 2c'/(\gamma\sqrt{K_a}) - q/\gamma$。引張亀裂がある場合の力は正の三角形のみであり、亀裂のない場合の力より大きい

受働は粘着力とともに増加し、引張領域は存在しない。しかし壁は主働の場合よりも**はるかに大きく**移動する必要がある

参考文献

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

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されている。モジュールは同じ値を与える。モジュールは例題5の二層地盤の擁壁で開く。

GeoTerva

オンライン地盤工学計算

理論から実務へ

自分の擁壁の層、上載荷重、地下水位をGeoTervaで入力する；モジュールは土圧図、力、作用高さを同時に与える。

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