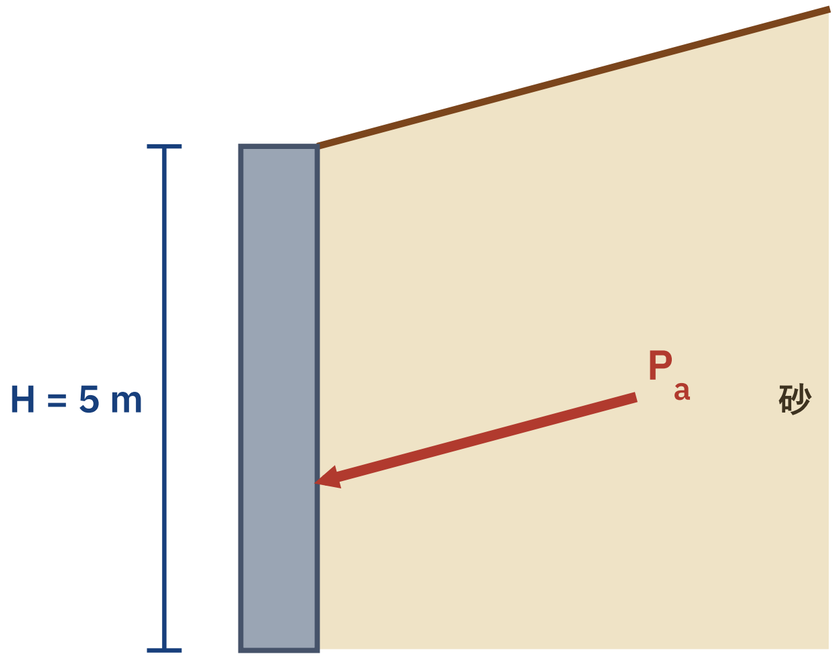
地盤工学講義スライド・土圧

Rankine：傾斜背面土と傾斜壁

講義：盛土表面が傾斜する場合や壁面が傾斜する場合のRankine解。土圧が表面に平行であること、K係数、粘性土および成層盛土。各項目に計算例を付す。

傾斜背面土　主働・受働　傾斜壁・Chu (1991)　粘性土背面土　成層背面土



はじめに

この講義で学ぶこと

背面土の表面が傾斜するとき土圧は**表面に平行**になること、およびK_a、K_pがαとともに変化する理由

関係式$K_a K_p = \cos^2\alpha$および限界$\boldsymbol{\alpha \le \phi'}$

傾斜壁＋傾斜背面土に対する**Chu (1991)**の解：ψ、$K_{(R)}$、β、η

力の**大きさ、方向（β）および作用位置**を求めること；水平および鉛直成分を分離すること

粘性土盛土では曲線状の土圧図、引張深さ、および**非排水粘土**における斜面の安定条件

地表面に平行な層では各層固有のKを用いること

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

力は擁壁の単位長さ当たり（kN/m）；α と θ は度、圧力は kPa。壁面は摩擦なしとする。

圧力は地表面に平行である

理論

壁背後の粘着力のない背面土の表面が水平と α の角度をなす場合、Rankineの土圧はもはや水平ではない：**表面に平行**、すなわち α だけ傾いて作用し、やはり深さとともに線形に増加する：

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'}} \qquad P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

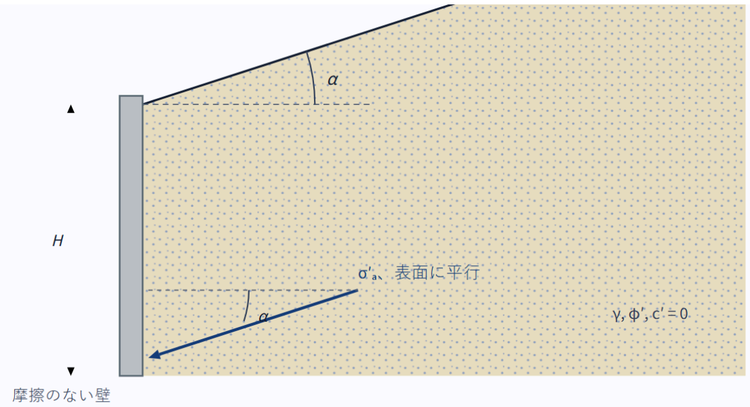
$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'}} \qquad P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

両方の力とも底面から**H/3**上方に作用し、水平と α の角をなす：$P_h = P\cos\alpha$、$P_v = P\sin\alpha$。

$\alpha = 0$の場合、式は$\tan^2(45° \mp \phi'/2)$に帰着する。

積は**$K_a K_p = \cos^2\alpha$**である；$\alpha = 0$では1となる。

傾斜盛土



K_a と K_p – α と ϕ'

理論

主働K_a

α \ ϕ'	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°
0°	0.3610	0.3333	0.3073	0.2827	0.2596	0.2379	0.2174
5°	0.3656	0.3372	0.3105	0.2855	0.2620	0.2399	0.2192
10°	0.3802	0.3495	0.3210	0.2944	0.2696	0.2464	0.2247
15°	0.4086	0.3729	0.3405	0.3108	0.2834	0.2581	0.2346
20°	0.4605	0.4142	0.3739	0.3381	0.3060	0.2769	0.2504
25°	0.5727	0.4936	0.4336	0.3847	0.3431	0.3070	0.2750

受働K_p

α \ ϕ'	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°
0°	2.770	3.000	3.255	3.537	3.852	4.204	4.599
5°	2.715	2.943	3.196	3.476	3.788	4.136	4.527
10°	2.551	2.775	3.022	3.295	3.598	3.936	4.316
15°	2.284	2.502	2.740	3.002	3.293	3.615	3.977
20°	1.918	2.132	2.362	2.612	2.886	3.189	3.526
25°	1.434	1.664	1.894	2.135	2.394	2.676	2.987

問題

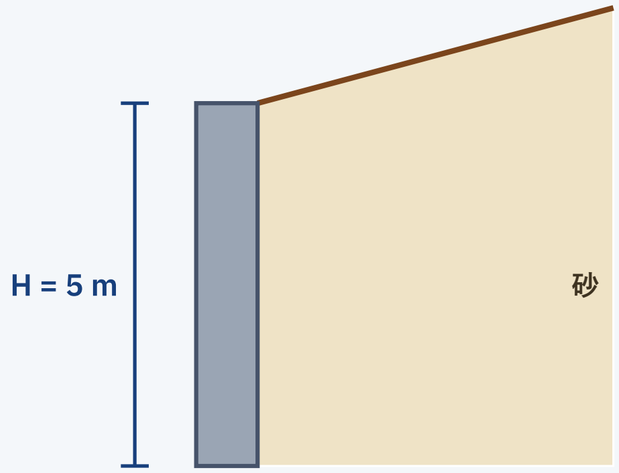
例題

求めるもの

K_a、P_a、作用高さと作用方向；水平・鉛直成分；水平背面土との比較。

与条件

壁	$H = 5$ m、鉛直、摩擦なし
盛土	乾燥砂：$\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, 表面勾配 $\alpha = 15°$



解答

解答

1 係数：cos 15° = 0.9659；$\sqrt{(\cos^2\alpha - \cos^2\phi')} = \sqrt{(0.9330 - 0.75)} = 0.4278$

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - r}{\cos\alpha + r} = 0.9659 \frac{0.5381}{1.3937} = \mathbf{0.3729}$$

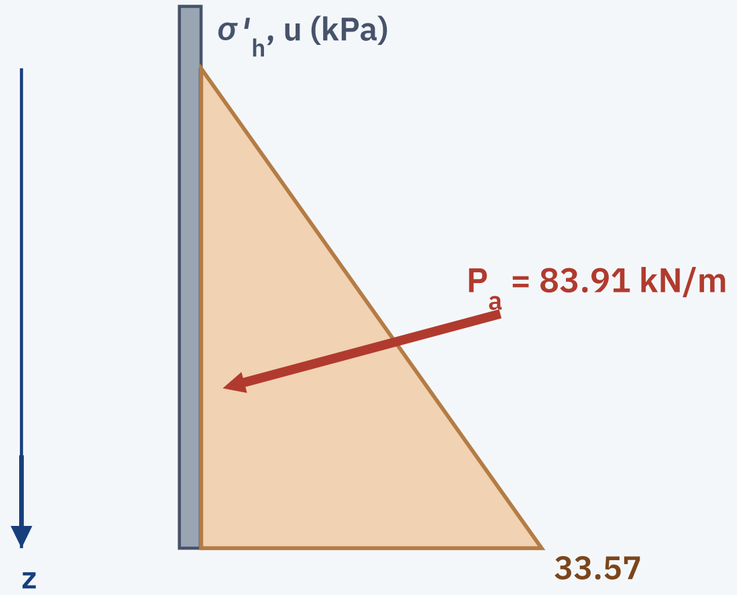
2 底面の圧力（面に平行）

$$\sigma'_a(5) = K_a \gamma H = 0.3729(18)(5) = \mathbf{33.57}\ \text{kPa}$$

3 力、作用位置および成分

$$P_a = \tfrac{1}{2}(33.57)(5) = \mathbf{83.91}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{5}{3} = 1.67\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 15^\circ = 81.05 \qquad P_v = P_a \sin 15^\circ = 21.72\ \text{kN/m}$$



P_a = **83.91 kN/m**、水平方向から15°の角度で、底面から1.67 mの高さに作用する。水平な背面土ではP_a = 75.00 kN/mであった：傾斜により力は12%増加する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

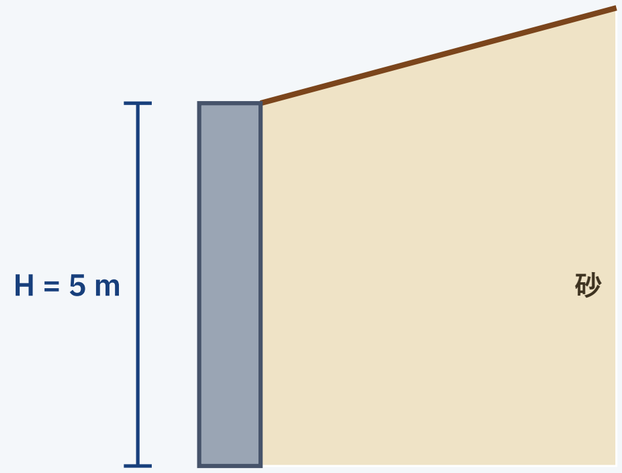
与条件

壁体と背面土

例題1の擁壁と背面土：$H = 5$ m、$\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\alpha = 15°$

求めるもの

K_p、P_pおよびその成分；水平背面土における受働力との比較。



γ = 18 kN/m³、ϕ' = 30°、α = 15°（受働）

解答

解答

1 係数（r = 0.4278）

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + r}{\cos\alpha - r} = 0.9659 \frac{1.3937}{0.5381} = \mathbf{2.5017}$$

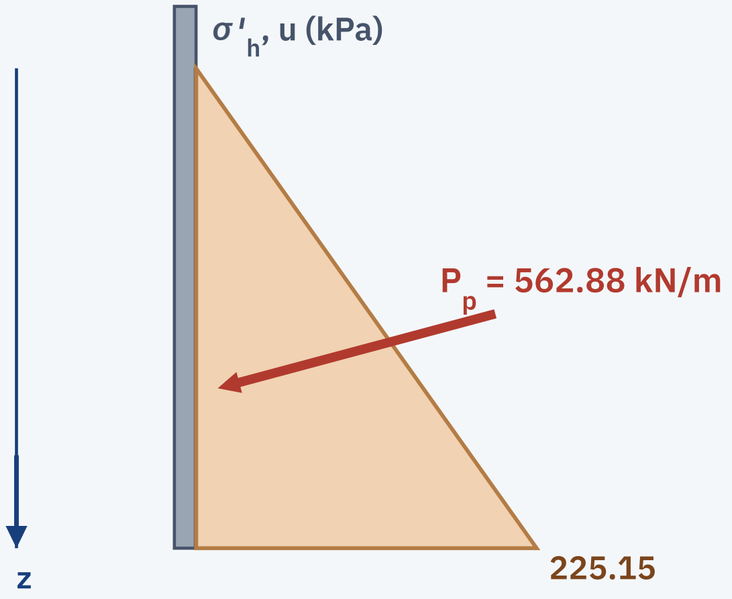
2 底面の圧力と力

$$\sigma'_p(5) = K_p \gamma H = 2.5017(18)(5) = 225.15 \text{ kPa}$$

$$P_p = \tfrac{1}{2}(225.15)(5) = \mathbf{562.9} \text{ kN/m} \qquad \bar{z} = 1.67 \text{ m}$$

3 成分（水平方向から15°）

$$P_h = P_p \cos 15^\circ = 543.7 \qquad P_v = P_p \sin 15^\circ = 145.7 \text{ kN/m}$$



P_p = **562.9 kN/m**。水平背面土では675.0 kN/mであった：斜面は受働抵抗を17%**低減**する（主働力は増加する一方で）。$K_aK_p = 0.9330 = \cos^2 15°$の照査は満たされる。

GeoTervaで解答を確認する ↗

$\alpha \le \phi'$ の条件

理論

根号内の式が実数となるのは$\cos^2\alpha \ge \cos^2\phi'$、すなわち$\alpha \le \phi'$の場合のみである：$\phi'$より急な斜面は粘着力のない地盤では自立できない。限界状態では根号が零となり、両係数は同一値に近づく：

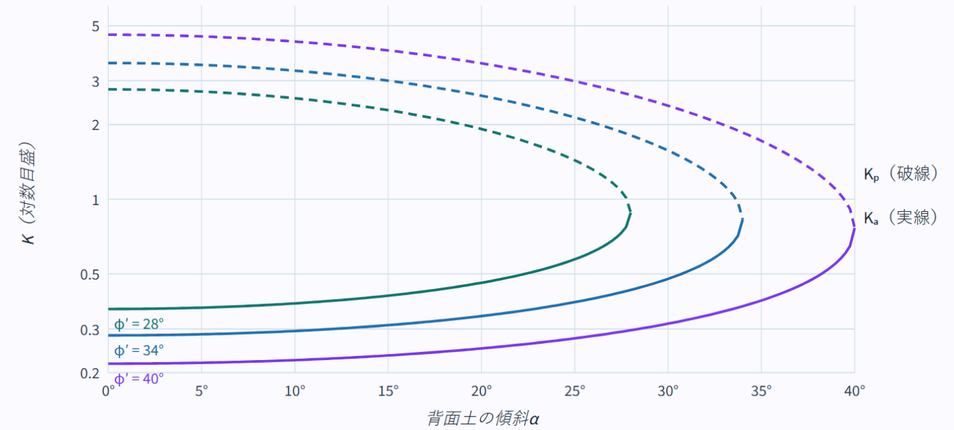
$$\alpha = \varphi' : \qquad K_a = K_p = \cos\varphi'$$

αが増すとK_aは上昇し、K_pは低下する；両者は$\alpha = \phi'$で一致する（主働状態と受働状態が区別できなくなる）。

これは地盤が自然安息角にある状態である：背面土はすでに破壊の限界にあり、壁の変位によって土圧は変化しない。

$\alpha > \phi'$の場合、解は存在しない。モジュールは警告を表示する。

K – α（対数スケール；ϕ' = 28°, 34°, 40°）



問題

例題

与条件

地盤	**粘着力のない砂、$\varphi' = 32^\circ$**
勾配	$\alpha = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 20^\circ,\ 30^\circ,\ 32^\circ$（**および$33^\circ$**）

求めるもの

各勾配に対するK_a、K_pおよびその積；限界における値；α = 33°に対する結果。

解答

解答

1 各勾配に対する式（$\phi' = 32°$；$\cos 32° = 0.8480$）

α	K_a	K_p	K_aK_p	$\cos^2\alpha$
0°	0.3073	3.255	1.0000	1.0000
10°	0.3210	3.022	0.9698	0.9698
20°	0.3739	2.362	0.8830	0.8830
30°	0.5741	1.306	0.7500	0.7500
32°	0.8480	0.848	0.7192	0.7192

2 限界：$\alpha = \phi' = 32°$ および $\alpha = 33°$

$$\alpha = 32^\circ:\ \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'} = 0 \ \Rightarrow\ K_a = K_p = \cos 32^\circ = \mathbf{0.8480}$$

$$\alpha = 33^\circ:\ \cos^2 33^\circ - \cos^2 32^\circ < 0 \ \Rightarrow\ \text{実根なし}$$

α が大きくなるとK_aは0.307 → 0.574、K_pは3.25 → 1.306となる；どの α でも$K_aK_p = \cos^2\alpha$ である。$\alpha = \phi' = 32°$で両者は$\cos\phi' = 0.848$に等しくなる；$\alpha = 33°$では**解が存在しない**（鉛直斜面）。

GeoTervaで解答を確認する ↗

傾斜した壁面と傾斜背面土：主働

理論

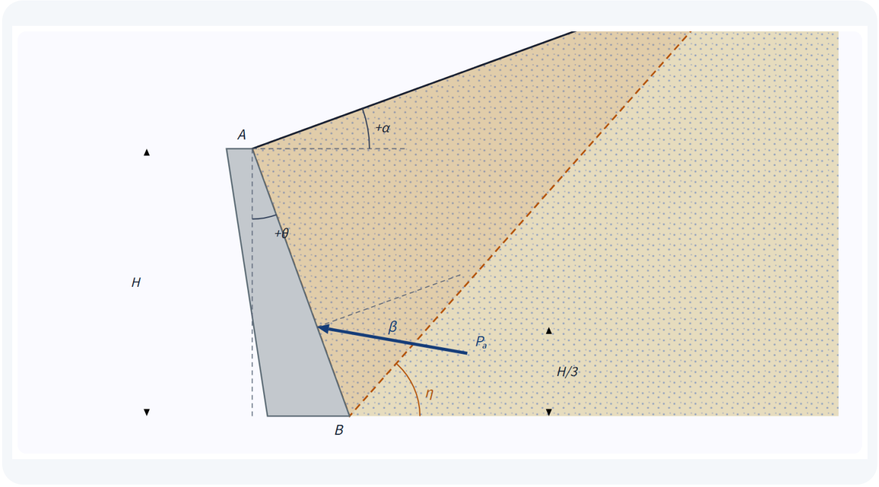
壁面が鉛直から θ、背面土表面が水平から α だけ傾いている場合（図のようにいずれも正；壁面摩擦なし）、Chu (1991)の解により力の**大きさと方向**が求まる：

$$\psi_a = \sin^{-1}\frac{\sin\alpha}{\sin\varphi'} - \alpha + 2\theta$$

$$K_{a(R)} = \frac{\cos(\alpha-\theta)\sqrt{1+\sin^2\varphi' - 2\sin\varphi'\cos\psi_a}}{\cos^2\theta\left(\cos\alpha + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\alpha}\right)}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{a(R)} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{\sin\varphi'\sin\psi_a}{1-\sin\varphi'\cos\psi_a}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2}\sin^{-1}\frac{\sin\alpha}{\sin\varphi'}$$



$\boldsymbol{\beta}$：力の壁面法線に対する角度；力は底面から**H/3**上方で作用する。$\boldsymbol{\eta}$：すべりくさびの底面BCの水平に対する角度。

θ = 0では$K_{a(R)}$は傾斜背面土の式（式1）に帰着し、β は α に帰着する。

受働状態では符号が変わる

理論

受働状態では同じ形状に対して符号が変わる：

$$\psi_p = \sin^{-1}\frac{\sin\alpha}{\sin\varphi'} + \alpha - 2\theta \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{\sin\varphi'\sin\psi_p}{1+\sin\varphi'\cos\psi_p}$$

$$K_{p(R)} = \frac{\cos(\alpha-\theta)\sqrt{1+\sin^2\varphi' + 2\sin\varphi'\cos\psi_p}}{\cos^2\theta\left(\cos\alpha - \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\alpha}\right)}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} + \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2}\sin^{-1}\frac{\sin\alpha}{\sin\varphi'} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p(R)}$$

力は底面からH/3上方に作用する。壁面と地表面は90° − |α − θ|の角度で交わる。この角度が閉じる場合、壁は斜面に沿って延長され、壁面に作用するのは上載土の重量である。モジュールは|α − θ| ≤ 75°の条件を受け付ける。

問題

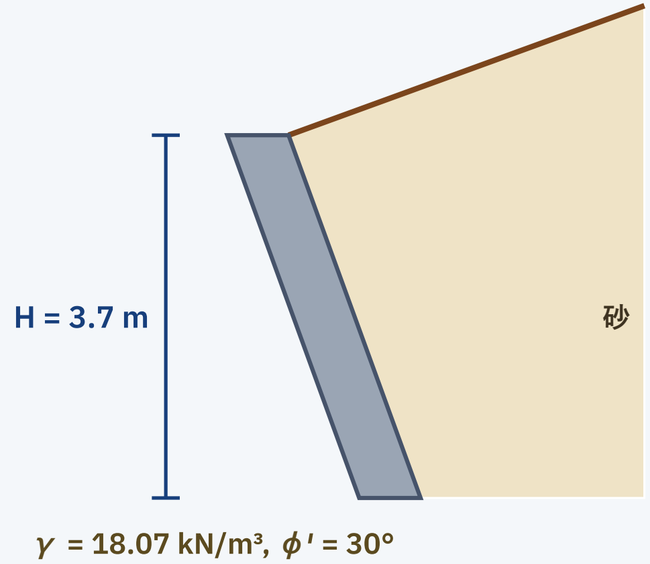
例題

与条件

壁	**摩擦なし；壁面は鉛直から $\theta = +20^\circ$ 傾斜；$H = 3.658$ m（12 ft）**
盛土	**乾燥砂：$\gamma = 18.07$ kN/m^3 (115 pcf)、$\varphi' = 30^\circ$；地表面勾配$\alpha = +20^\circ$**

求めるもの

ψ_a、$K_{a(R)}$、P_a、β、η および作用高さ。モジュールはこの擁壁で開く。



解答 (1/2)

解答

1 補助角と ψ_a

$$\sin^{-1}\frac{\sin 20^\circ}{\sin 30^\circ} = 43.16^\circ$$

$$\psi_a = 43.16^\circ - 20^\circ + 2(20^\circ) = \mathbf{63.16^\circ}$$

2 係数 $K_{a(R)}$

$$\sqrt{1+\sin^2 30^\circ - 2\sin 30^\circ \cos 63.16^\circ} = 0.8936 \qquad \cos^2 20^\circ = 0.8830$$

$$\sqrt{\sin^2 30^\circ - \sin^2 20^\circ} = 0.3647$$

$$K_{a(R)} = \frac{\cos 0^\circ\,(0.8936)}{0.8830\,(0.9397+0.3647)} = \mathbf{0.776}$$

解答 (2/2)

解答

3 力と作用位置

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{a(R)} = \tfrac{1}{2}(18.07)(3.658)^2(0.7758) = \mathbf{93.79}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.219}\ \text{m}$$

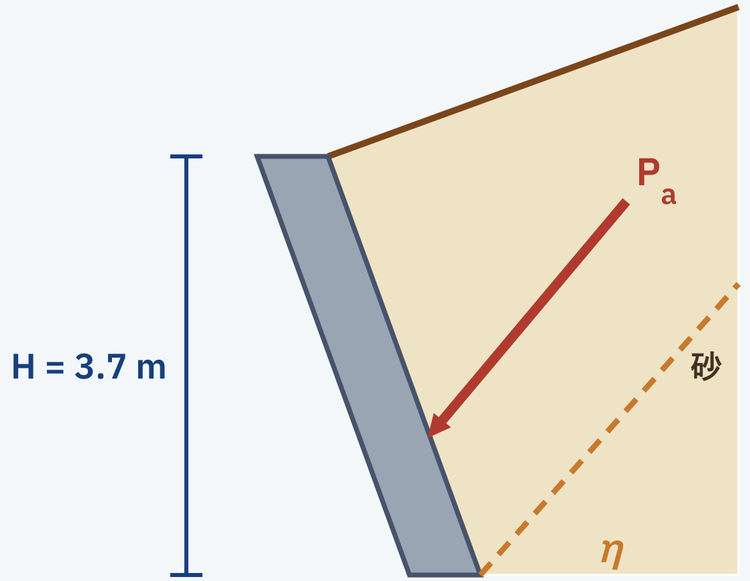
4 方向 β とくさび角 η

$$\beta = \tan^{-1}\frac{\sin 30^\circ \sin 63.16^\circ}{1 - \sin 30^\circ \cos 63.16^\circ} = \mathbf{29.95^\circ}\ (\approx 30^\circ)$$

$$\eta = 45^\circ + 15^\circ + 10^\circ - \tfrac{1}{2}(43.16^\circ) = \mathbf{48.42^\circ}$$

5 成分（壁面に直角および壁面に平行）

$$N = P_a \cos\beta = 81.27 \qquad T = P_a \sin\beta = 46.83\ \text{kN/m}$$



P_a = **93.79 kN/m**（US単位では6 424 lb/ft）、壁面法線から**30.0°**、底面からH/3 = 1.22 m上方の位置にある。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

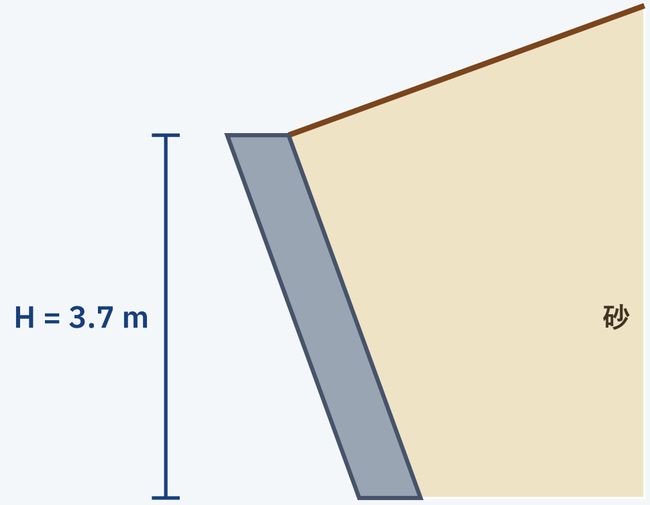
例題

与条件

壁体と背面土	**例題4の擁壁と背面土：** $\theta = +20^\circ$, $\alpha = +20^\circ$, $\varphi' = 30^\circ$, $\gamma = 18.07\ \text{kN/m}^3$, $H = 3.658\ \text{m}$

求めるもの

ψ_p、$K_{p(R)}$、P_p、β および η。主働状態との比較。



γ = 18.07 kN/m³、ϕ' = 30°（受働）

解答

解答

1 ψ_p と $K_{p(R)}$

$$\psi_p = 43.16^\circ + 20^\circ - 2(20^\circ) = \mathbf{23.16^\circ}$$

$$K_{p(R)} = \frac{\cos 0^\circ \sqrt{1 + \sin^2 30^\circ + 2 \sin 30^\circ \cos 23.16^\circ}}{\cos^2 20^\circ \left(\cos 20^\circ - \sqrt{\sin^2 30^\circ - \sin^2 20^\circ} \right)} = \mathbf{2.901}$$

2 力・方向・くさび角

$$P_p = \tfrac{1}{2}(18.07)(3.658)^2(2.9010) = \mathbf{350.7}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\sin 30^\circ \sin 23.16^\circ}{1 + \sin 30^\circ \cos 23.16^\circ} = \mathbf{7.67^\circ} \qquad \eta = \mathbf{61.58^\circ}$$

P_p = **350.7 kN/m**、β = 7.7°。同じ擁壁の主働力は93.79 kN/mであった（比3.7）。受働では力は壁面にほぼ垂直であり（β が小さい）、主働では約30°傾斜する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

壁面の傾き θ は力をどのように変化させるか。

理論

背面盛土の勾配を一定に保ち（α = 20°、ϕ' = 30°）、壁面のみを回転させると$K_{a(R)}$とβが変化する：

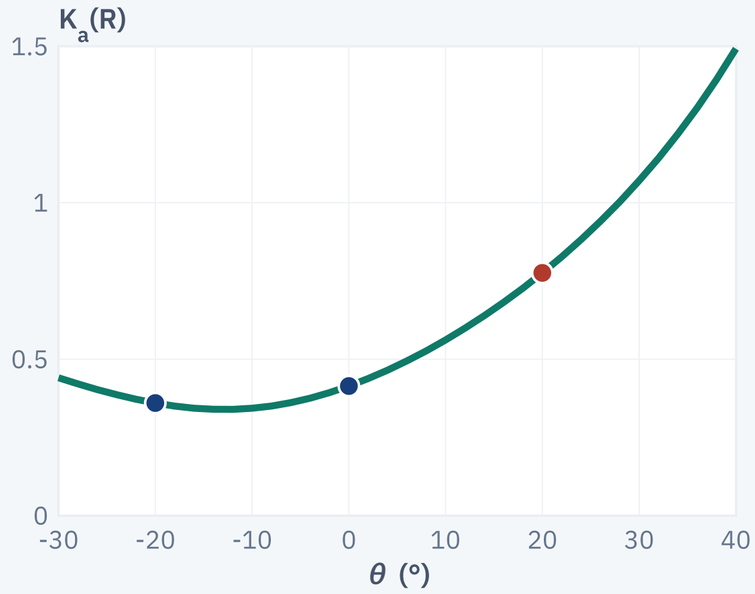
θ	$K_{a(R)}$	β
−20°	0.360	-15.5°
0°	0.414	20.0°
+20°	0.776	30.0°

θが正であれば（壁面が背面土の頂部にもたれる）、背面土は壁面の頂部に載り、力は増大する；負であれば減少する。

θ = 0およびα = 20°に対してβ = α = 20°：力は地表面に平行である。

$K_{(R)}$は力の**壁面に平行および垂直**な2成分を同時に含む；水平成分のみについてはP cos(β + θ)をとる。

$K_{a(R)}$ – θ（α = 20°, ϕ' = 30°）



Mazindrani and Ganjali (1997)

理論

鉛直で摩擦のない壁の背面において、表面が α 傾斜した $c'-\phi'$ 地盤の深さ方向の主働土圧：

$$\sigma'_a = \gamma z\, K'_a \cos\alpha \qquad r = \frac{c'}{\gamma z}$$

$$K'_a = \frac{2\cos^2\alpha + 2r\cos\varphi'\sin\varphi' - \sqrt{D}}{\cos^2\varphi'} - 1$$

$$D = 4\cos^2\alpha\left(\cos^2\alpha - \cos^2\varphi'\right) + 4r^2\cos^2\varphi' + 8r\cos^2\alpha\sin\varphi'\cos\varphi'$$

$$z_c = \frac{2c'}{\gamma}\sqrt{\frac{1+\sin\varphi'}{1-\sin\varphi'}}$$

K'_a は $c'/\gamma z$ を通じて深さに依存する。土圧は**直線的でない**。地表面より上では負となり、引張亀裂の深さ z_c は傾斜角に依存しない。

受働状態では根号前の符号は+となる。$\alpha = 0$ → Rankine（$\sigma'_a = K_a \gamma z - 2c'\sqrt{K_a}$）；$c' = 0$ → 式1。

引張亀裂を考慮する計算では z_c より下の部分を、考慮しない計算では全高を積分する；これは $\theta = 0$ の場合にのみ成立する。

面に平行な圧力

粘着力のない場合と同様に、圧力は表面に**平行**、すなわち水平と α の角度をなして作用する；壁面に垂直な力の成分は $P\cos\alpha$ である。

問題

例題

与条件

壁	$H = 5$ m、鉛直、摩擦なし
盛土	$\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 25°$, $c' = 10$ kPa；地表面勾配 $\alpha = 10°$

求めるもの

z_c、底面の圧力、引張亀裂あり・なしの P_a および作用高さ、水平背面土との比較。

解答 (1/2)

解答

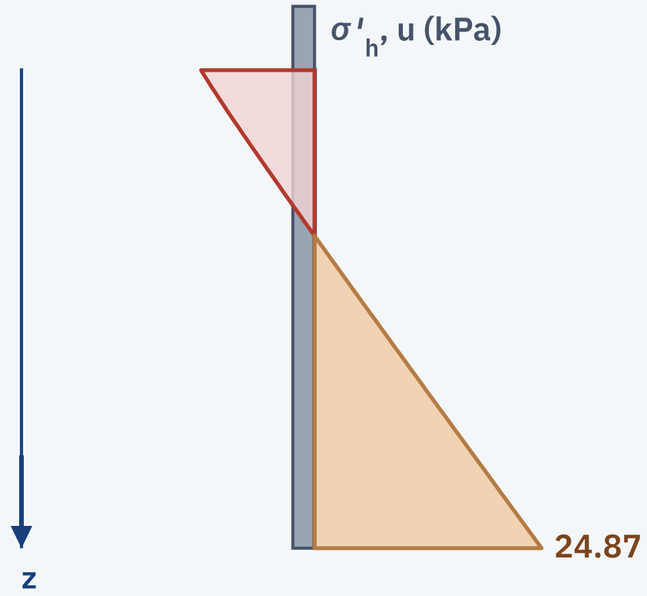
1 引張深さ（勾配に依存しない）

$$z_c = \frac{2(10)}{18}\sqrt{\frac{1+\sin 25^\circ}{1-\sin 25^\circ}} = 1.111(1.5697) = \mathbf{1.744}\ \text{m}$$

2 底面（z = 5 m）：r = c′/ γ z = 10/(18·5) = 0.1111

$$D = 0.9467 \qquad K_a' = 0.2806$$

$$\sigma_a'(5) = \gamma z K_a' \cos\alpha = 18(5)(0.2806)\cos 10^\circ = \mathbf{24.87}\ \text{kPa}$$



解答 (2/2)

解答

3 引張亀裂を考慮した力（z_cからHまでの曲線分布図の面積、数値積分）

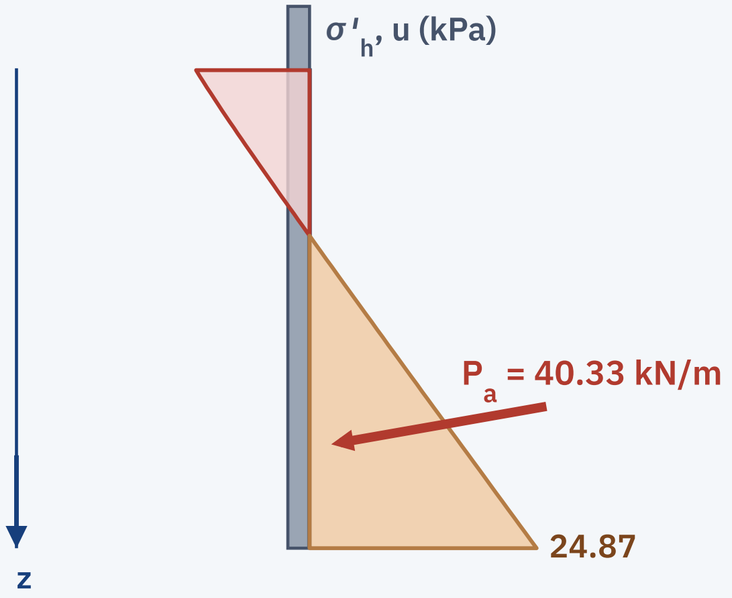
$$P_a = \int_{z_c}^{H} \sigma'_a \, dz = \mathbf{40.33}\ \text{kN/m}\ （表面に平行、10°）$$

$$\bar{z} = 1.08\ \text{m}\ （底面から）$$

4 比較

亀裂なし： $P_a = 29.16\ \text{kN/m}$

水平盛土： $P_a = \frac{1}{2}(23.79)(3.256) = 38.72\ \text{kN/m}$



引張亀裂を考慮した力は**40.33 kN/m**で、亀裂なしより38%大きい；水平背面土（38.72 kN/m）と比べて、地表面勾配は力を4%増加させた。亀裂を考慮した値が設計値である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

地表面に平行な層

理論

背面土が**地表面に平行**な層から構成される場合（壁背面の鉛直ボーリングがどこでも同じ層厚と交差する場合）、各層は、上方の土の重量による応力 $\sigma'_v = \Sigma\, \gamma_i h_i$ の下で、それぞれの γ、ϕ'、c′ の値を用いて評価する：

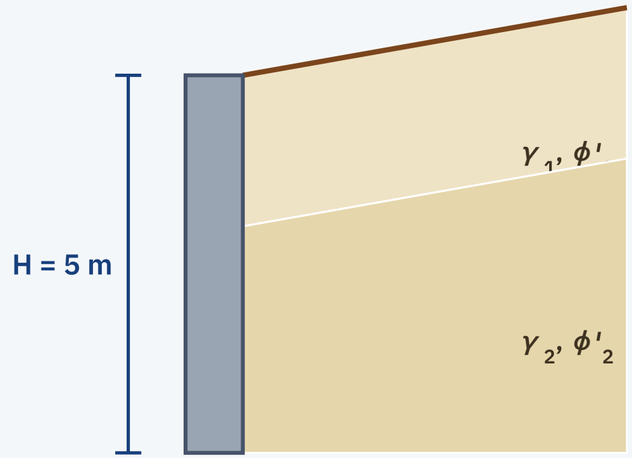
$$\sigma' = \sigma'_v \frac{K_{(R)} \cos\theta}{1 + \tan\theta \tan\alpha} \qquad \theta = 0 :\ \sigma' = \sigma'_v K_{(R)}$$

層境界でKが変化するため圧力は**跳躍する**；各層の合力は壁面に垂直な成分N_iと平行な成分T_iに分解される；$P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$、$\beta = \tan^{-1}(T/N)$。

上載荷重qは地表面でq/cos α の重量をもつ層として σ'_vに加算される；**水**位以下では γ'を用い、uは壁面に直角に作用する。

これは、モジュールがChuおよびMazindrani–Ganjaliの解を成層地盤に拡張したものである（文献に成層地盤の閉形式解は存在しない）。単一層では閉形式解を10^{-8}以内で再現する。

地表面に平行な層



問題

例題

与条件

壁	$H = 5$ m、鉛直、摩擦なし
盛土	地表面勾配$\alpha = 10^\circ$；地表面に平行な2層（鉛直厚さ）
層1（2 m）	$\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
層2（3 m）	$\gamma = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 35^\circ$

求めるもの

各層における圧力、**P**、**N**、**T**および作用高さ。

解答 (1/2)

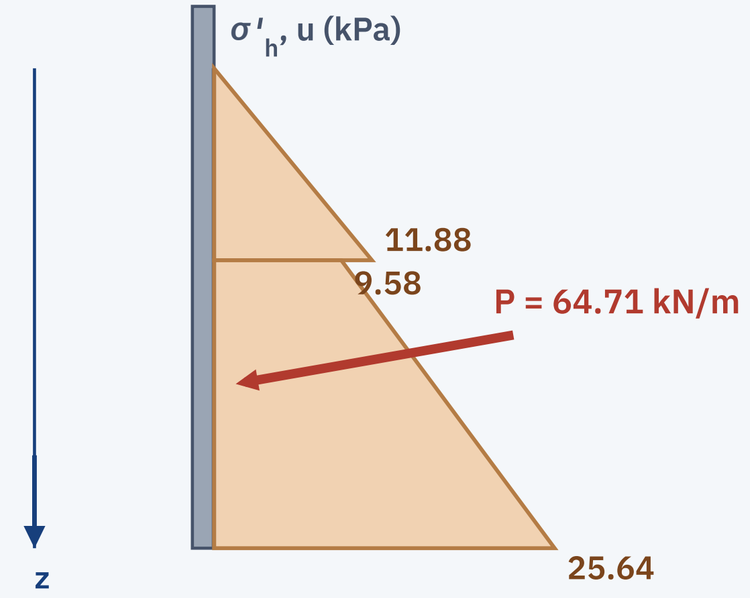
解答

1 係数（α = 10°）

$$K_1(30^\circ) = \mathbf{0.3495}$$
$$K_2(35^\circ) = \mathbf{0.2818}$$

2 鉛直応力：境界で 17(2) = 34；底面で 34 + 19(3) = 91 kPa

$$\sigma_1' = 0.3495(34) = \mathbf{11.88}\ \text{kPa}\ （上部）$$
$$\sigma_2' = 0.2818(34) = \mathbf{9.58}\ \text{kPa}\ （下部）$$
$$\sigma'(5) = 0.2818(91) = \mathbf{25.64}\ \text{kPa}$$



解答 (2/2)

解答

3 力（面に平行）：上部三角形 ・ 下部長方形 ・ 下部三角形

$$P = \tfrac{1}{2}(2)(11.88) + 3(9.58) + \tfrac{1}{2}(3)(16.06) = 11.88 + 28.74 + 24.09 = \mathbf{64.71}\ \text{kN/m}$$

4 成分と作用高さ

$$N = P\cos 10^\circ = 63.73 \qquad T = P\sin 10^\circ = 11.24\ \text{kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}(T/N) = 10^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.71}\ \text{m}$$

P = **64.71 kN/m**、壁面に直交する成分N = 63.73 kN/m；底面から1.71 m上方である。境界で圧力は11.88 → 9.58 kPaへ**低下**する。下層の ϕ' がより大きいためである；一方 σ'_v は連続である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

斜面の安定条件

理論

非排水粘土（$\phi_u = 0$、c_u、全応力）も同じ関係式である。$\phi' = 0$、$c' = c_u$とおく：

$$K'_a = 2\cos^2\alpha - 2\sqrt{r^2 - \sin^2\alpha\cos^2\alpha} - 1 \qquad r = \frac{c_u}{\gamma z}$$

解が存在するのは**斜面が自立している間のみ**である。表面に平行な面上のせん断応力は粘着力を超えることができない：

$$\tau = \gamma z \sin\alpha\cos\alpha \le c_u \;\Rightarrow\; z_{max} = \frac{c_u}{\gamma\sin\alpha\cos\alpha} \qquad z_c = \frac{2c_u}{\gamma}$$

モジュールはこの条件を壁の底面まで照査する；壁がz_{max}より高い場合、計算は停止する。

$\alpha = 0$の場合、$\sigma_a = \gamma z - 2c_u$、引張亀裂は$2c_u/\gamma$。

なぜ限界があるか

傾斜した地表面の下では、地表面に平行な各面のせん断応力は深さとともに増大する。粘土がこの応力を負担できるのはc_uまでである。より深い位置では斜面は自重によってすべる。

問題

例題

与条件

盛土	**飽和粘土、非排水：$\gamma = 18$ kN/m^3, $c_u = 20$ kPa；地表面勾配$\alpha = 15^\circ$**
壁	**$H = 4$ m（および5 m）、鉛直、摩擦なし**

求めるもの

z_{max}、**z_c**、底面の圧力および亀裂を考慮した**P_a**。H = 5 mではどうなるか。

解答 (1/2)

解答

1 破壊限界と引張深さ

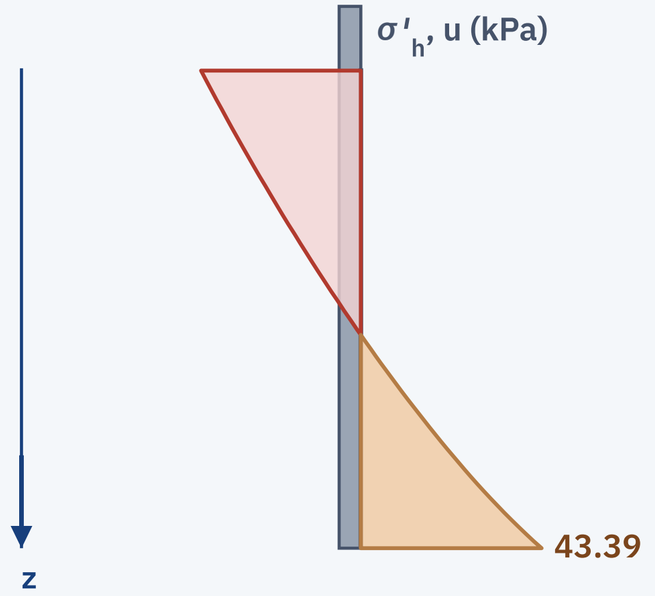
$$z_{max} = \frac{20}{18 \sin 15^\circ \cos 15^\circ} = \mathbf{4.44}\ \text{m}$$

$$z_c = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{40}{18} = \mathbf{2.22}\ \text{m}$$

2 H = 4 m： τ (4) = 18(4) sin15° cos15° = 18.0 ≤ 20 kPa：斜面は安定；底面ではr = 20/(18·4) = 0.2778

$$K_a' = 2\cos^2 15^\circ - 2\sqrt{r^2 - \sin^2 15^\circ \cos^2 15^\circ} - 1 = 0.6239$$

$$\sigma_a(4) = \gamma z K_a' \cos\alpha = 18(4)(0.6239)\cos 15^\circ = \mathbf{43.39}\ \text{kPa}$$



解答 (2/2)

解答

3 引張亀裂を考慮した力（z_cから4 mまで）

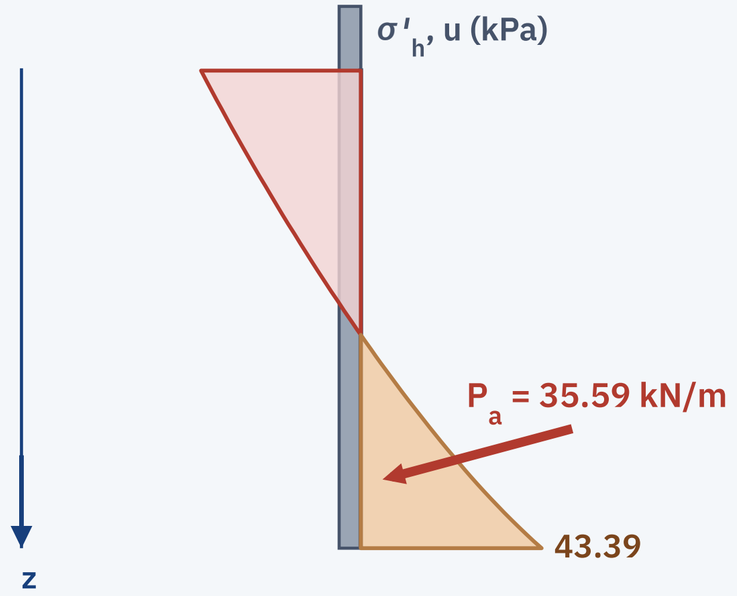
$$P_a = \int_{z_c}^{H} \sigma_a \, dz = \mathbf{35.59}\ \text{kN/m} \quad （水平と15°）$$

$$\bar{z} = 0.57\ \text{m} \qquad 亀裂なし：\ P_a = -9.37\ \text{kN/m}$$

4 H = 5 m: τ (5) = 22.5 kPa > c_u = 20 kPa

$$\tau(5) = 18(5)\sin 15^\circ \cos 15^\circ = 22.5 > c_u \ \Rightarrow\ 斜面がすべる$$

H = 4 mの場合、引張亀裂を考慮したP_a = **35.59 kN/m**である；引張亀裂を考慮しない力は負（−9.37 kN/m）となるため、引張亀裂の仮定が決定的である。z_{max} = 4.44 mであるから、5 mの擁壁では解が存在しない。



GeoTervaで解答を確認する ↗

解答の範囲

理論

壁は摩擦なしとする；Chuの解では圧力は壁面法線に対して角度βをなして与えられる（βは地盤自身の応力状態からのみ生じ、壁面–地盤間の摩擦によるものではない）。摩擦のある壁についてはCoulombモジュールを参照のこと。

盛土は一様な勾配の平面表面である。層は表面に平行である。表面勾配の変化、段切り、破断面はこの解には含まれない。

粘性土の背面土は鉛直壁（$\theta = 0$）の場合のみMazindrani–Ganjaliにより与えられる。引張亀裂はz_cまでと仮定し、水で満たされた亀裂は別途考慮する必要がある。

幾何条件：壁面と地表面は少なくとも15°で交差しなければならない（$|\alpha - \theta| \le 75°$）；そうでない場合、壁面に作用する圧力は土圧ではなく、上方の土の重量である。

地震および**壁面摩擦**は本モジュールの対象外である（Mononobe–Okabe、Coulomb）。

まとめ

ポイントのまとめ

傾斜背面土（$\alpha \le \phi'$）：圧力は地表面に**平行**であり、$K_a = \cos\alpha\,(\cos\alpha - r)/(\cos\alpha + r)$、$K_p$は逆符号；$P = \frac{1}{2}K\gamma H^2$は底面からH/3の位置に水平と角度$\alpha$をなして作用する

$K_aK_p = \cos^2\alpha$；αが増すとK_aは増加し、K_pは減少する；$\alpha = \phi'$では両者とも$\cos\phi'$となり、$\alpha > \phi'$では解が存在しない

Chu (1991)：$\psi_a = \sin^{-1}(\sin\alpha/\sin\phi') - \alpha + 2\theta$。$K_{a(R)}$、$\beta$、$\eta$は閉形式。力は壁面法線から$\beta$傾斜する

壁面傾斜θが正なら力は増大し、負なら減少する。受働では$\psi_p = \sin^{-1}(\ldots) + \alpha - 2\theta$

粘性土の背面土ではK'_aが深さに依存し、分布図は曲線となる；$z_c = (2c'/\gamma)\sqrt{((1+\sin\phi')/(1-\sin\phi'))}$は勾配に依存しない；引張亀裂を考慮した力が基本である

成層した背面土：$\sigma' = \sigma'_vK_{(R)}$；境界での跳び、$P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$

非排水粘土：$z_{max} = c_u/(\gamma\sin\alpha\cos\alpha)$を超えると、斜面は自重ですべり、解は存在しない

参考文献

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

Chu, S.C. (1991). Rankine analysis of active and passive pressures on dry sands. Soils and Foundations, 31(4), 115–120.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

Mazindrani, Z.H. and Ganjali, M.H. (1997). Lateral earth pressure problem of cohesive backfill with inclined surface. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123(2), 110–112.

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おり、モジュールは同じ値を与える。モジュールは例題4の擁壁（H = 3.658 m, γ = 18.07 kN/m³）で開く。

GeoTerva

オンライン地盤工学計算

理論から実務へ

自身の擁壁の傾斜、背面土の勾配、層構成、地下水をGeoTervaに入力する；モジュールは力、その方向、作用高さをまとめて与える。

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