

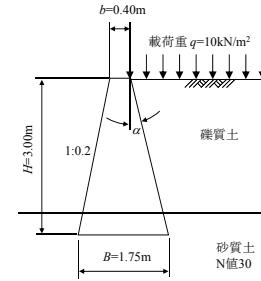
盛土と擁壁

平成26年9月3日 岐阜大学工学部

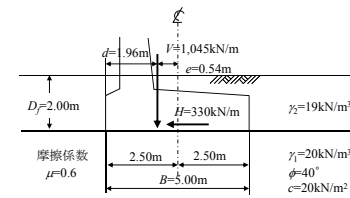
右城 猛

演習問題

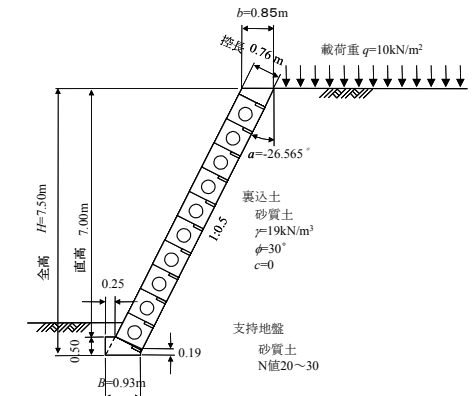
【1】重力式擁壁の安定計算



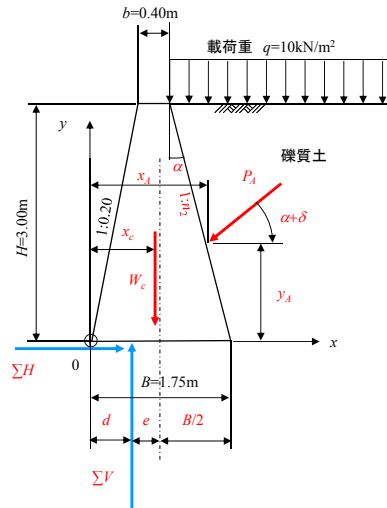
【3】直接基礎の支持力



【2】大型ブロック積擁壁の安定計算



演習問題1 重力式擁壁の安定性の照査



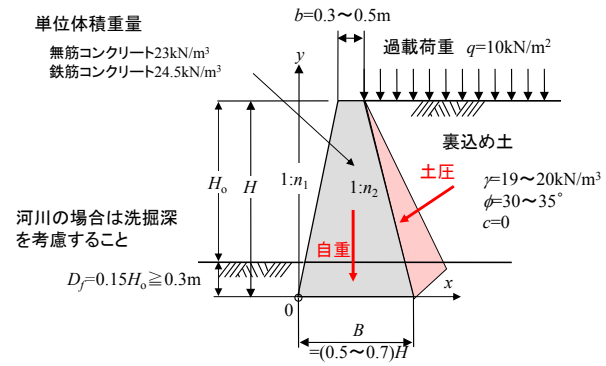
勾配と傾斜角

$$\tan \alpha = \frac{n_2}{1.0}$$

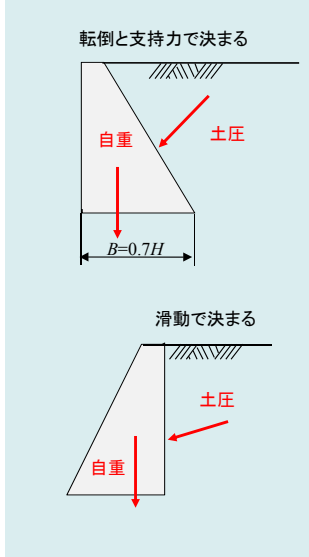
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{1.0} \right) = a \tan \left(\frac{n_2}{1.0} \right)$$

- 荷重の算定
自重
主働土圧
試行くさび法
- 荷重の集計
鉛直荷重 ΣV
水平荷重 ΣH
作用位置 d
偏心量 e
- 安定性の照査
転倒
滑動
支持力

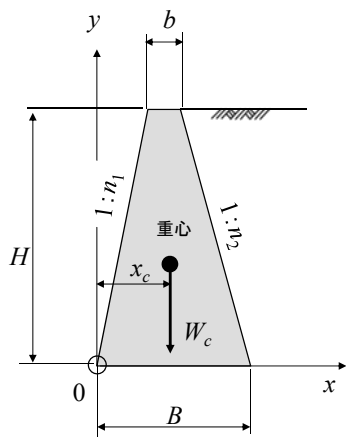
重力式擁壁の設計条件



裏込め土	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)
礫質土	20	35	0
砂質土	19	30	0
粘性土	18	25	0



台形擁壁の重心位置と重量



背面勾配

$$n_2 = \frac{B-b}{H} - n_1$$

重心位置(台形)

$$x_c = \frac{B}{2} + \frac{H}{6} \cdot \frac{2b+B}{b+B} (n_1 - n_2)$$

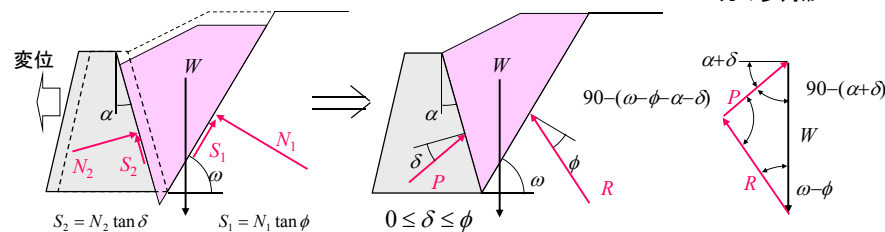
重量(台形1m当り)

$$W_c = \frac{H}{2} (b+B) \gamma_c$$

クーロンの土圧理論(すべり面を直線と仮定)

未知量はPとRの2個

力の多角形



正弦定理より

$$\frac{P}{\sin(\omega - \phi)} = \frac{W}{\sin\{90 - (\omega - \phi - \alpha - \delta)\}}$$

三角関数

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$\sin(90 - A) = \cos A$$

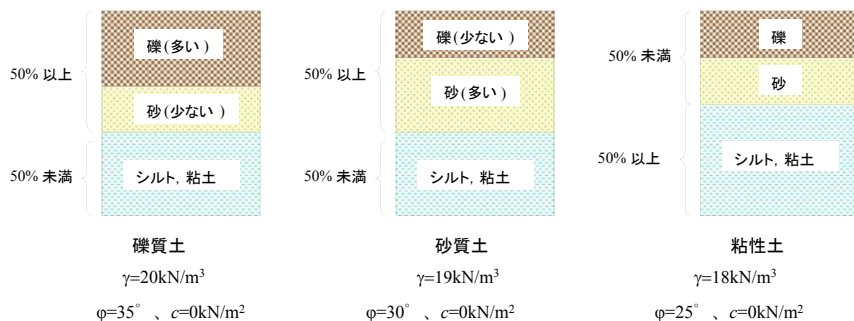
$$P = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)} W \quad \delta = \frac{2}{3} \phi \text{ (道路土工指針)}$$

omegaが決まればWとPが決まる ⇨ omegaをどのように決めるか

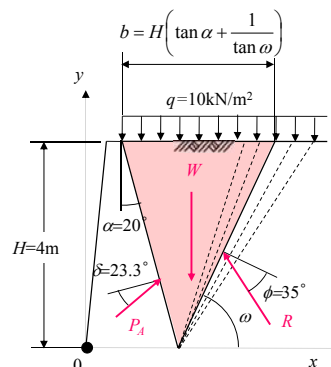
土のせん断強度定数

土の分類

細粒分		粗粒分						石分	
粘土	シルト	砂		礫				粗石	巨石
粒径		細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨石
0.005	0.075	0.25	0.85	2.0	4.75	19	75	300 (mm)	



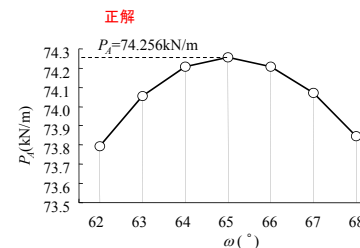
試行さびび法による主動土圧の計算



$$W = \frac{1}{2} b(\gamma H + 2q)$$

$$P_A = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)} W$$

H=	4 m			
alpha=	15 °	0.2618 rad		
phi=	35 °	0.6109 rad		
delta=	23.33 °	0.4072 rad		
gamma=	20 kN/m ³			
q=	10 kN/m ²			
omega(°)	omega(rad)	b(m)	W(kN/m)	PA(kN/m)
61	1.0647	3.289	164.45	73.794
62	1.0821	3.199	159.95	74.054
63	1.0996	3.11	155.5	74.207
64	1.117	3.023	151.15	74.256
65	1.1345	2.937	146.85	74.208
66	1.1519	2.853	142.65	74.07
67	1.1694	2.77	138.5	73.844

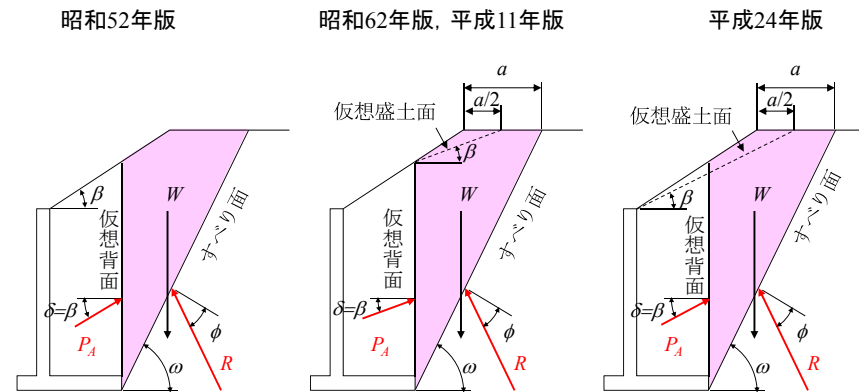


主働土圧の計算法

	地表面水平($\beta=0$)	地表面一様勾配($\beta=\text{cons.}$)	嵩上げ盛土タイプ
盛土形状			
クーロン式	$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A \left\{ 1 + \frac{2q}{\gamma H} \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \right\}$ $K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)} \right\}}$		適用不可
試行くさび法	$P_A = \frac{\sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)} W$		

8

片持ちばりしき擁壁の仮想背面に作用する土圧



9

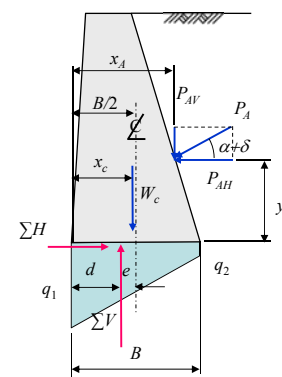
道路土工指針と道路橋示方書の違い

「擁壁工指針は試行くさび法」、「道路橋示方書はクーロン式」というのは間違い。試行くさび法はクーロンの楔理論の数値解析法。クーロン式は楔理論の解析解。クーロン公式を誘導したのは、ミュウラ・プレスロー。

技術基準類	道路土工一擁壁工指針		道路橋示方書下部構造編
盛土形状			
土圧計算法	試行くさび法	試行くさび法 クーロン式	クーロン式
壁面摩擦角	$\delta = \frac{2}{3} \phi$		$\delta = \frac{1}{2} \phi$
土圧分布	三角形		台形

10

安定計算



$$\Sigma V = W + P_{AV} \quad \Sigma H = P_{AH}$$

$$d = \frac{\Sigma(V \cdot x) - \Sigma(H \cdot y)}{\Sigma V} = \frac{W_c x_c + P_{AV} x_A - P_{AH} y_A}{W_c + P_{AV}}$$

転倒に対する照査

$$e = \frac{B}{2} - d \leq \frac{B}{6} \left(\text{地震時} \frac{B}{3} \right)$$

滑動に対する照査

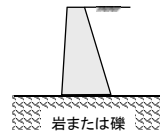
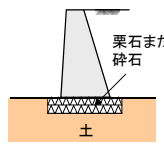
$$F_s = \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \mu \geq 1.5 (\text{地震時} 1.2)$$

支持に対する照査

$$q_2 \left\{ = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq q_a \right.$$

11

底面と地盤の摩擦係数

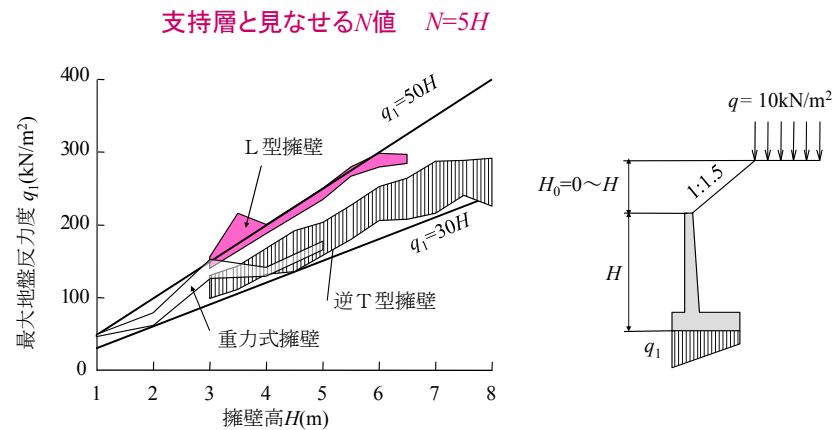
	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan\theta_B$	付着力 c_B
 岩または礫	岩盤	0.7	考慮しない
	礫層	0.6	考慮しない
 栗石または 砕石 土	砂質土	0.6	考慮しない
	粘性土	0.5	考慮しない

経験的許容鉛直支持力度 q_a

基礎地盤の種類	許容鉛直支持力度 q_a (kN/m ²)	目安とする値		
		一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	N値	
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1,000	10,000以上	
	亀裂の多い硬岩	600	10,000以上	
	軟岩・土丹	300	1,000以上	
礫層	密なもの	600		
	密でないもの	300		
砂質 地盤	密なもの	300		30~50
	中位なもの	200		20~30
粘性土 地盤	非常に堅いもの	200	240~400	15~30
	堅いもの	100	100~200	10~15

「道路橋下部構造設計指針・直接基礎の設計篇(昭和43年)」, 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に掲載
 「荷重の傾斜角の正接(水平力/鉛直力)が0.1以下の場合で、かつ構造物の重要度が高くないと考えられる場合」
 に適用。平成6年版からは削除

支持層と見なせるN値の目安



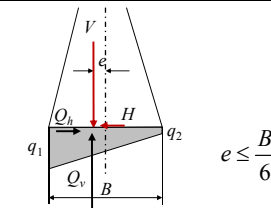
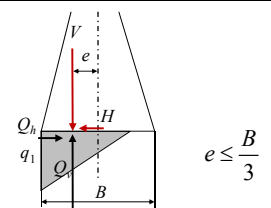
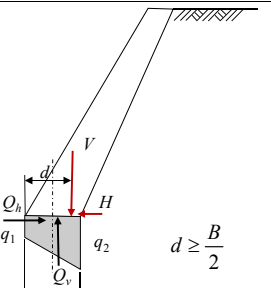
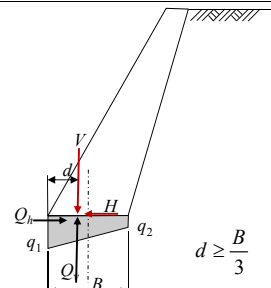
最大地盤反力度 $q_1 = 50H$

許容支持力度 $q_a \doteq 10N$

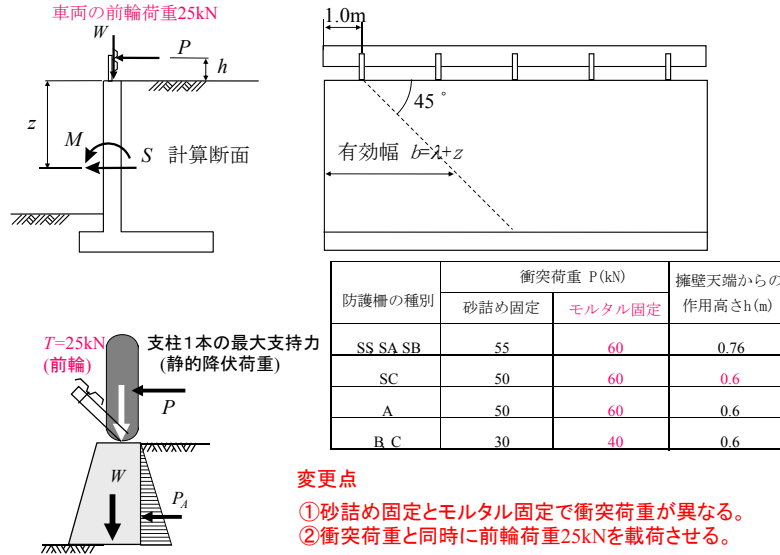
$q_1 = q_a$ とおくと $N = 5H$

擁壁高 $H = 3\text{m}$ の場合 支持層のN値は $5 \times 3 = 15$ 以上必要

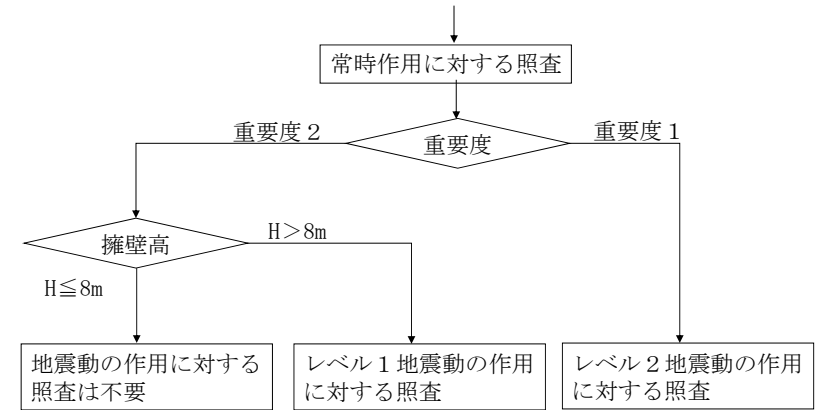
擁壁工指針の転倒に対する安定の照査

	常時	地震時
自立式	 $e \leq \frac{B}{6}$	 $e \leq \frac{B}{3}$
もたれ式	 $d \geq \frac{B}{2}$	 $d \geq \frac{B}{3}$

衝突荷重



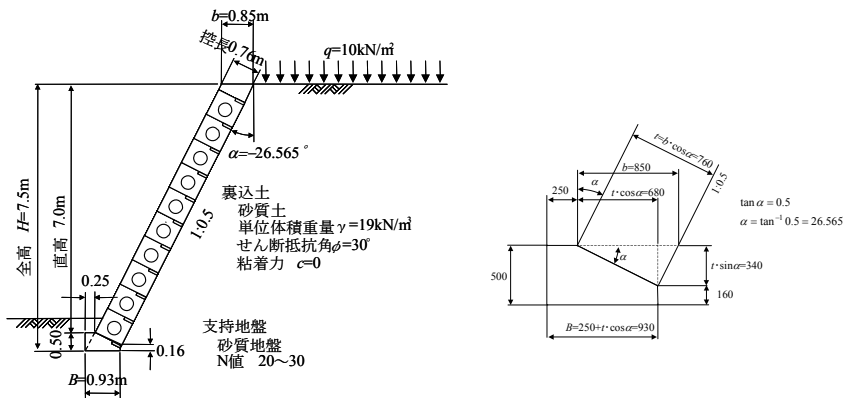
地震動の作用の照査



- ①設計水平震度が $k_h=0.18$ 程度以上になると地震時で決まる。
- ②レベル1地震動で擁壁断面が決まることはほとんどない。

演習問題2 ブロック積擁壁の支持力照査

【演習問題2】ブロック積擁壁の安定計算



下図に示す全高7.5m、直高7.0m、背面勾配5分の大型ブロック積擁壁を盛土部に施工するものとして、地盤支持に対する安定性を照査せよ。

ブロック積擁壁の分類と設計法

通常のブロック積擁壁

- ①ブロックの控長35cm
- ②胴込めコンクリートを設けた練積み谷積み
- ③経験的に断面を決定
- ④支持力のみ照査

大型ブロック積み擁壁

通常のブロック積擁壁に準じた大型ブロック積み擁壁

- ①ブロックの控長50cm以上
- ②ブロック間の結合はかみ合わせ構造、突起等を用いた構造、胴込めコンクリートの練積み構造
- ③経験的に断面を決定
- ④支持力のみ照査

もたれ式擁壁に準じた大型ブロック積み擁壁

- ①ブロックの控長75cm以上
- ②鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にしたもの
- ③安定計算によって断面を決定

表A

背面勾配	直高(m)			
	~1.5	1.5~3.0	3.0~5.0	5.0~7.0
盛土	1:0.3	1:0.4	1:0.5	—
切土	1:0.3	1:0.3	1:0.4	1:0.5
裏込めコンクリート厚(cm)	5	10	15	20

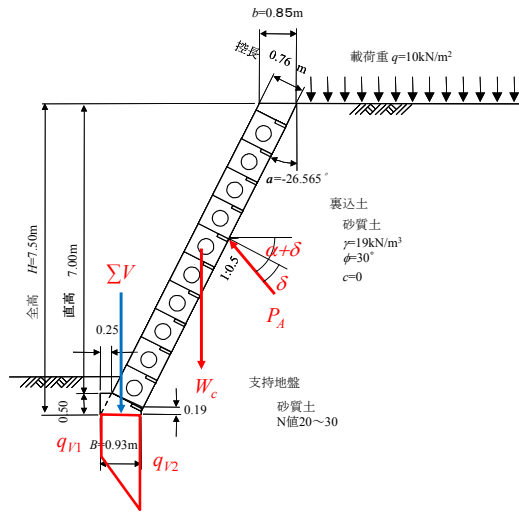
表B 大型ブロック積擁壁の直高

背面勾配	直高		
	1:0.3	1:0.4	1:0.5
控長	50cm以上	~3.0	~5.0
	75cm以上	~4.0	~7.0
	100cm以上	~5.0	~8.0

表C 大型ブロック積擁壁の最小控長

背面勾配	1:0.3	1:0.4	1:0.5
直高 H(m)	~5.0	~7.0	~8.0
最小控長 b(m)	0.15H以上	0.12H以上	0.1H以上

ブロック積擁壁の支持力照査



基礎に作用する鉛直力 ΣV

$$\Sigma V = W_c + P_A \sin(\alpha + \delta)$$

$$\alpha = -26.565^\circ$$

$$\delta = \frac{2}{3}\phi = \frac{2}{3} \times 35 = 23.33^\circ$$

$$\alpha - \delta = -26.565 + 23.33 = -3.23^\circ$$

$$P_A \sin(\alpha + \delta) < 0 \text{ となる}$$

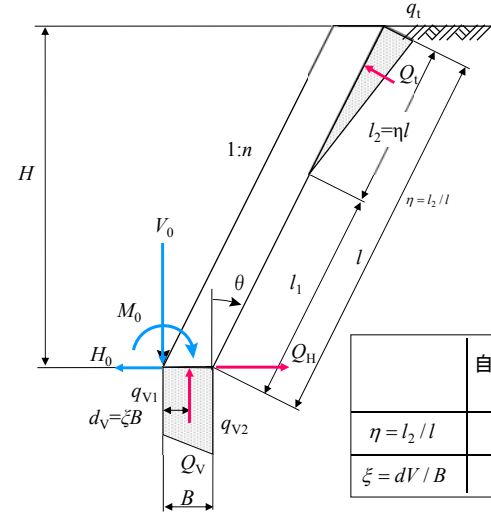
土圧を無視する(安全側)

$$\Sigma V = W_c$$

かかとの地盤反力度

$$q_{v2} = \frac{1.2\Sigma V}{B} = \frac{1.2W_c}{B}$$

もたれ式擁壁の地盤反力度の算定(簡便法)



$$q_{v1} = \frac{2Q_v(2-3\xi)}{B}, \quad q_{v2} = \frac{2Q_v(3\xi-1)}{B}$$

$$q_t = \frac{2Q_t}{\eta \cdot l}$$

$$Q_v = V_0 - Q_t \sin \theta, \quad Q_h = H_0 + Q_t \cos \theta$$

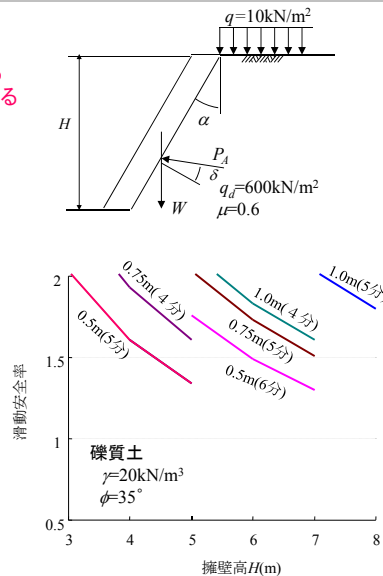
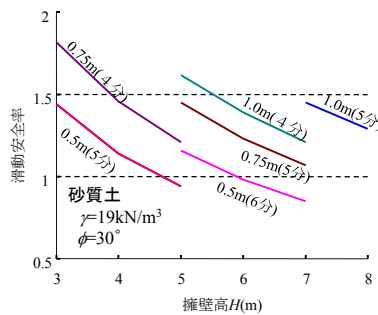
$$Q_t = \frac{M_0 - \xi \cdot B \cdot V_0}{B \sin \theta(1-\xi) + l \left(1 - \frac{\eta}{3}\right)}$$

	自重のみ	土圧や地震時慣性力を考慮		
		1:0.3	1:0.4	1:0.5
$\eta = l_2 / l$	1.00	0.50	0.60	0.70
$\xi = dV / B$	0.58	0.56		

ブロック積み擁壁の滑動に対する安全率

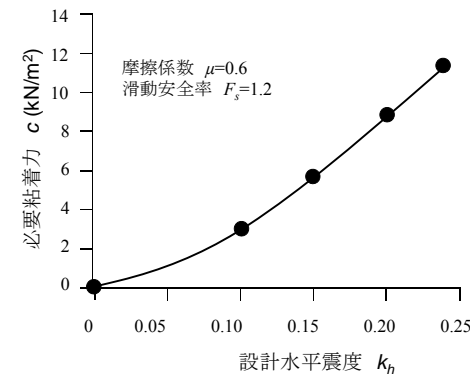
盛土を砂質土にすると滑動の安全率が1を下回る
盛土を礫質土にすると滑動の安全率が1.5を下回る

$$\text{滑動安全率 } F_s = \frac{W + P_A \sin(\delta - \alpha)}{P_A \cos(\delta - \alpha)} \mu$$

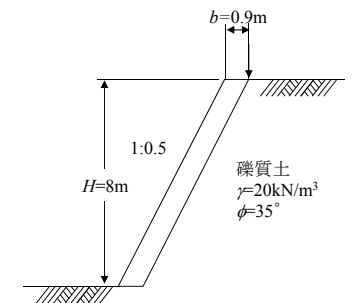


設計水平震度と粘着力

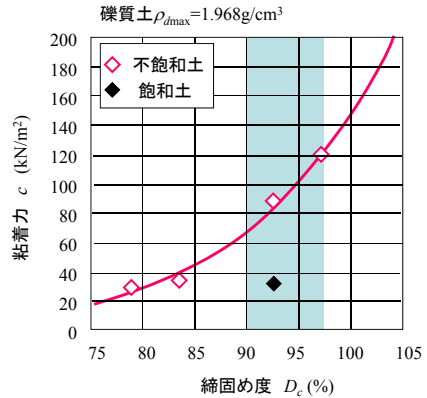
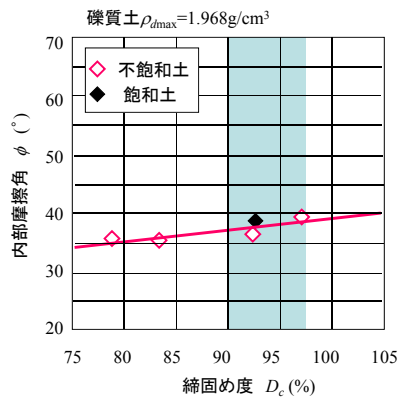
常時土圧で設計したもたれ式擁壁の
滑動安全率1.2を確保するのに必要な粘着力



常時土圧で設計したもたれ式擁壁



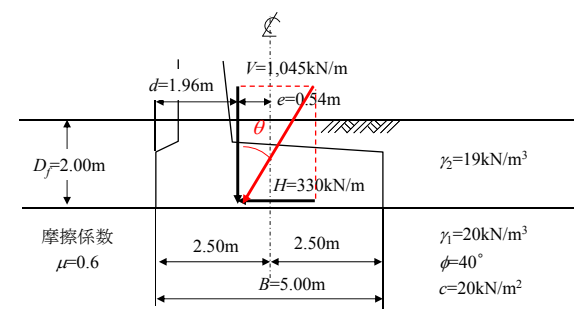
盛土の締固め度と強度定数 c 、 ϕ



データは「川崎廣貴, 長澤正明: 高盛土の沈下挙動と地盤の性能評価技術, 基礎工, 2009.7」による

演習問題3 直接基礎の支持力

荷重の偏心傾斜を考慮した支持力計算



極限支持力度

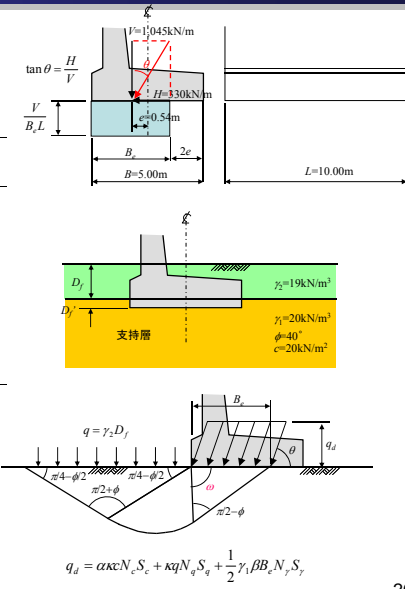
$$q_d = \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma$$

許容支持力度

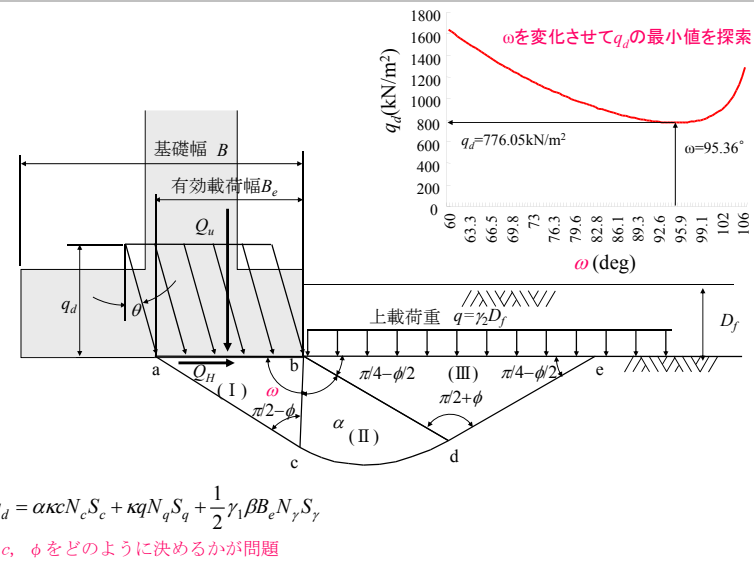
$$q_a = \frac{q_d}{n} \geq \frac{V}{B_e} \quad \begin{matrix} B_e = B - 2e \\ n = 3.0(\text{地震時} 2.0) \end{matrix}$$

極限支持力度の計算

項目		常時
荷重	鉛直力 $V(\text{kN/m})$	1,045
	水平力 $H(\text{kN/m})$	330
	傾斜 $\tan\theta = H/V$	$\frac{330}{1045} = \frac{1}{3.16}$
	偏心量 $e(\text{m})$	0.54
基礎の有効幅	$B_e = B - 2e(\text{m})$	10.0
基礎の形状係数	$\alpha = 1 + 0.3 \frac{B_e}{L}$	$= 1 + 0.3 \times \frac{10.0}{10.0} = 1.3$
	$\beta = 1 - 0.4 \frac{B_e}{L}$	$= 1 - 0.4 \times \frac{10.0}{10.0} = 0.6$
根入地盤	根入深さ $D_f(\text{m})$	2.0
	単位重量 $\gamma_2(\text{kN/m}^3)$	19
支持地盤	根入深さ $D_f(\text{m})$	0
	単位重量 $\gamma_1(\text{kN/m}^3)$	20
	せん断抵抗角 $\phi(\text{deg})$	40
	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	20
支持層への根入効果に対する割増係数	$\kappa = 1 + 0.3 \frac{D_f'}{B_e}$	$= 1 + 0.3 \times \frac{2.0}{10.0} = 1.06$
上載荷重	$q = \gamma_2 D_f(\text{kN/m}^2)$	$= 19 \times 2.0 = 38$
寸法効果に対する補正係数	$S_c = (c/10)^{-1.3}$	$= (20/10)^{-1.3} = 0.4$
	$S_q = (q/10)^{-1.3}$	$= (38/10)^{-1.3} = 0.3$
	$S_\gamma = B_e^{-1.3}$	$= 10^{-1.3} = 0.05$
支持力係数	$\frac{N_c}{N_q}, \frac{N_q}{N_\gamma}$	



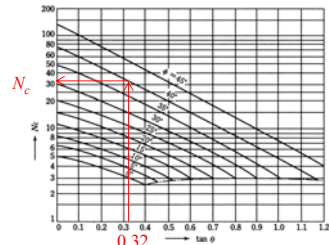
平坦地盤の極限鉛直支持力度



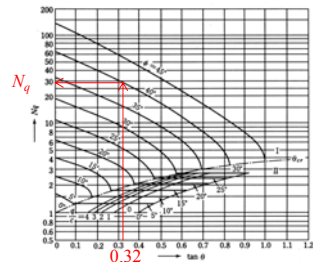
$$q_d = \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma$$

c, ϕ をどのように決めるかが問題

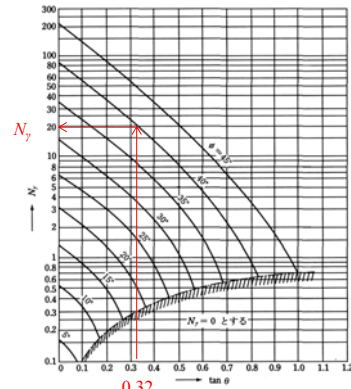
道路橋示方書式の支持力係数(平坦地盤)



(a) N_c を求めるグラフ($q=0, \gamma_1=0$)



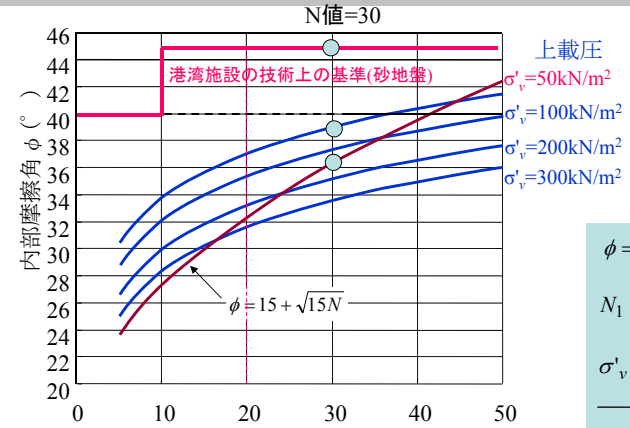
(b) N_q を求めるグラフ($c=0, \gamma_1=0$)



(c) N_y を求めるグラフ($c=0, q=0$)

$$\tan \theta = \frac{H}{V} = \frac{330}{1,045} = 0.32$$

N値とφの関係

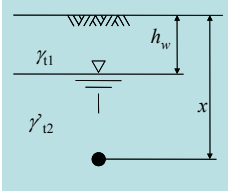


道路橋示方書式

$$\phi = 4.8 \ln N_1 + 21$$

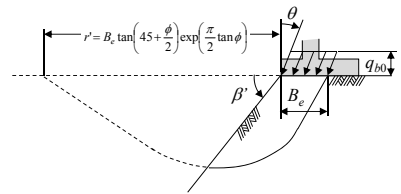
$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70}$$

$$\sigma'_v = \gamma_{t1} h_w + \gamma'_{t2} (x - h_w)$$



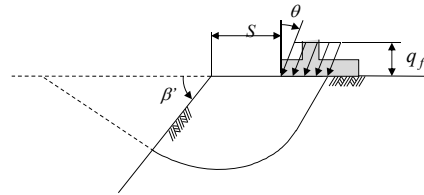
標準貫入試験のN値
 $N_1 = \frac{170N}{50+70} = 1.4N$
 $\phi = 4.8 \ln(1.4N) + 21$
 $N=20$ なら $\phi \approx 4.8 \times \ln(1.4 \times 20) + 21 = 37^\circ$

NEXCO設計要領の静力学公式(斜面地盤)



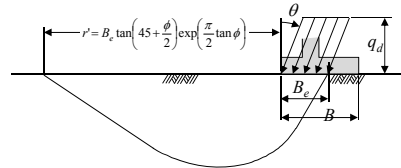
S=0の斜面の極限支持力度

$$q_{b0} = \alpha \cdot c \cdot N'_c S_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma \cdot B_e \cdot N'_\gamma S_\gamma$$



Sの余裕幅がある斜面の極限支持力度

$$q_f = \frac{q_d - q_{b0}}{R \cdot B_e} S + q_{b0}$$



平坦地盤の極限支持力度(道路橋示方書式)

$$q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c S_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma \cdot B_e \cdot N_\gamma S_\gamma$$

支持力の算定方法

	平坦			斜面	
	軟弱地盤	普通地盤	岩盤	普通地盤	岩盤
通常規模 (H ≤ 8m)	経験値(N値)			斜面支持力 公式	経験値(N値)
大規模 (H > 8m)	平坦支持力公式				

- 方法① 地盤種別やN値で経験的に推定
- 方法② 道路橋示方書の静力学公式
- 方法③ NEXCO設計要領の静力学公式

鉄筋のかぶり

	現場打ち コンクリート	プレキャストコンクリート $C_{min} = \alpha \cdot K \cdot c_0$			
		現場製造		工場製品	
		$30 \leq \sigma_{ck} < 35 \text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck} \geq 35 \text{N/mm}^2$	$30 \leq \sigma_{ck} < 35 \text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck} \geq 35 \text{N/mm}^2$
たて壁	40	40	32	32	25
底板	70	70	56	56	45

ボックスカルバートは25mm

土木構造物設計マニュアル案(H11年)

