

4. 擁壁の安定性の照査

4 擁壁の安定性の照査

4-1 設計擁壁の照査

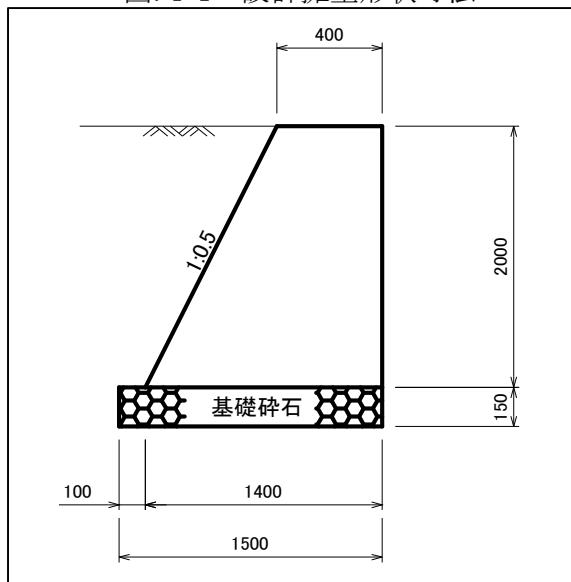
本計画道路路側擁壁の安定性の照査は、計画擁壁最大寸法において安定計算を行い確認する。

4-2 設計擁壁

本計画道路の設計擁壁の種類及び寸法は以下のとおり

擁壁種類：重力式擁壁（標準図番号：03-RG-06）
形状寸法 天端幅 $W = 0.40 \text{ m}$ 擁壁高 $H = 2.00 \text{ m}$

図. 4-1 設計擁壁形状寸法



4-3 擁壁安定計算の設計基本条件

設計擁壁の安定計算は、以下に示す諸数値を用いて行う。

(1) 自重

図. 4-2 自重

自重は、擁壁の種類や土質条件等を考慮するとともに、材料の単位体積重量を適切に評価して設定するものとする。

擁壁の設計に用いる自重は、躯体重量が基本となるが、構造物の種類や土質条件等によっては、底版上の裏込め土等を加えて設定する方が適切である場合がある。解図4-1に自重の考え方の一例を示す。

躯体自重の算出に用いる鉄筋コンクリート及びコンクリートの単位体積重量は、次の値を用いてもよい。

鉄筋コンクリート 24.5 kN/m^3

コンクリート 23.0 kN/m^3

(道路土工 擁壁工指針 P. 52)

採用値 無筋コンクリート : 23.0 kN/m^3

(2) 土圧公式

図. 4-3 土圧公式

壁が前方（盛土から遠ざかる方向）に移動し、それに伴って背面土が崩れかかるときの土圧は主働土圧と呼ばれている。擁壁は土塊を支えるのが目的であるので、一般にこの主働土圧をもとに設計が行われている。このとき、一般に土圧の計算はクーロンやランキン等の土圧公式が用いられるが、道路擁壁の場合、現場条件に応じて背面の盛土形状が異なるため、本指針においてはクーロン系の土圧算定手法である試行くさび法により土圧合力を算定するものとする。

（道路土工 擁壁工指針 P. 54）

採用公式 クーロン系試行くさび法

(3) 土質定数

- a) せん断抵抗角及び粘着力

図. 4-4 裏込め土・盛土の強度定数

解表4-5 裏込め土・盛土の強度定数

裏込め土・盛土の種類	せん断抵抗角 (ϕ)	粘着力 (c) ^{注2)}
礫質土	35°	—
砂質土 ^{注1)}	30°	—
粘性土（ただし $w_L < 50\%$ ）	25°	—

注1) 細粒分が少ない砂は、礫質土の値を用いてよい。

注2) 土質定数を上表から推定する場合は、粘着力 c を無視する。

（道路土工 擁壁工指針 P. 66）

採用値 せん断抵抗角 : 30 °
粘着力 : 考慮しない

- b) 土の単位体積重量

図. 4-5 土の単位体積重量

解表4-6 土の単位体積重量 (kN/m³)

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然地盤	砂及び砂礫	18	20
	砂質土	17	19
	粘性土	14	18
裏込め土 ・ 盛土	砂及び砂礫	20	
	砂質土	19	
	粘性土（ただし $w_L < 50\%$ ）	18	

注) 地下水位以下にある土の単位体積重量は、それぞれ表中の値から 9kN/m³を差し引いた値としてよい。

（道路土工 擁壁工指針 P. 66）

採用値 裏込め土・盛土 砂質土 : 19 kN/m³

c) 摩擦係数及び付着力

図. 4-6 擁壁底面と地盤との間の摩擦係数と付着力

解表4-9 擁壁底面と地盤との間の摩擦係数と付着力			
せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 c_B
岩または礫とコンクリート	岩盤	0.7	考慮しない
	礫層	0.6	考慮しない
土と基礎のコンクリートの間に割栗石または碎石を敷く場合	砂質土	0.6	考慮しない
	粘性土	0.5	考慮しない

注) プレキャストコンクリートでは、基礎底面が岩盤であっても摩擦係数は0.6を超えないものとする。

(道路土工 擁壁工指針 P. 70)

採用値

摩擦係数 : 0.6

付着力 : 考慮しない

d) 壁面摩擦角

図. 4-7 主動土圧の算定に用いる壁面摩擦角

解表5-2 主動土圧の算定に用いる壁面摩擦角				
擁壁の種類	検討項目	土圧作用面の状態	壁面摩擦角	
			常時 (δ)	地震時 (δ_e)
重力式擁壁等	擁壁自体の安定性 部材の安全性	土とコンクリート	$2\phi/3$	$\phi/2$
片持ばかり式擁壁等	擁壁自体の安定性	土と土	$\beta^{(主)}$	式(解5-8) による。
	部材の安全性	土とコンクリート	$2\phi/3$	$\phi/2$

注) 土圧作用面の状態が土と土の場合は、壁面摩擦角に代って仮想のり面傾斜角 β' (土圧作用方向) を用いるものとする。ただし $\beta' > \phi$ のときは $\delta = \phi$ とする。

(道路土工 擁壁工指針 P. 99)

採用値

重力式擁壁等 : $2\phi/3$

e) 支持地盤の許容応力度

図. 4-8 基礎地盤の種類と許容鉛直支持力度

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	1000	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	非常に硬いもの	200	200~400	15~30
	硬いもの	100	100~200	10~15

(道路土工 擁壁工指針 P. 69)

採用値

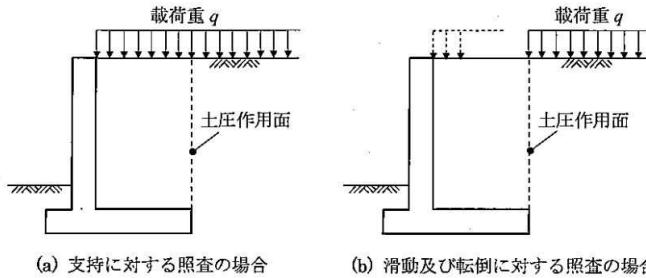
砂質地盤 : 200 kN/m²

(4) 上載荷重

図. 4-9 載荷重

載荷重は、擁壁に最も不利となるように載荷するものとする。載荷重の載荷方法の例を解図4-2に示す。この例では、擁壁に最も不利となるように、支持に対する安定を照査する場合にはかかと版上の載荷重を考慮し、滑動・転倒に対する安定を照査する場合にはかかと版上の載荷重を無視している。

なお、自動車等の車両による載荷重は、 10kN/m^2 を用いてよい。



解図4-2 載荷重の載荷方法の例

(道路土工 擁壁工指針 P. 53)

採用値 自動車荷重 : 10 kN/m^2

(5) 安定計算 許容値

a) 滑動に対する検討

図. 4-10 滑動に対する安定の照査

1) 滑動に対する安定の照査

擁壁には、擁壁を前面側に押し出そうとする滑動力と、これに対して擁壁底面と地盤との間に生じる滑動抵抗力が作用する。滑動抵抗力が不足すると擁壁は前方に押し出されるよう滑動する。

滑動力は、主として土圧、慣性力等の荷重の水平成分であり、滑動抵抗力は主として擁壁底面と地盤との間に生じるせん断抵抗力である。

滑動に対する安定の照査では、式（解5-10）により求まる安全率が常時は1.5、地震時では1.2を下回ってはならない。

(道路土工 擁壁工指針 P. 113)

採用値 滑動安全率 : $F_s \geq 1.5$

b) 転倒に対する検討

図. 4-11 転倒に対する安定の照査

転倒に対する安定条件は、荷重の合力 R の作用位置が常時は擁壁底面幅中央の $B/3$ の範囲内、地震時では擁壁底面幅中央の $2B/3$ の範囲内になければならない。式で表せば式（解5-13）のとおりである。

$$|e| \leq \frac{B}{6} \text{ (常時)}, |e| \leq \frac{B}{3} \text{ (地震時)} \quad \dots \text{ (解5-13)}$$

(道路土工 擁壁工指針 P. 118)

採用値 偏心距離 : $|e| \leq B/6$

c) 支持に対する検討

図. 4-12 基礎地盤の種類と許容鉛直支持力度

5-14) を満足しなければならない。また、後者の許容鉛直支持力度 q_{a0} に解表4-8の値等を用いる場合は、式(解5-17)～式(解5-19)で求まる擁壁底面端部における鉛直地盤反力度 q_1, q_2 が式(解5-15)を満足しなければならない。

なお、當時において支持力による擁壁の沈下が問題となる場合には、 q_1, q_2 が式(解5-16)を満足しなければならない。この際、 q_{max} は解表4-8に示す許容鉛直支持力度を用いてよい。

$$\frac{V_o}{B'} \leq q_a = \frac{q_u}{n} \quad \text{(解5-14)}$$

$$q_1, q_2 \leq q_{a0} \quad \text{(解5-15)}$$

$$q_1, q_2 \leq q_{max} \quad \text{(解5-16)}$$

ここに、

q_a : 静力学公式による基礎地盤の許容鉛直支持力度 (kN/m^2)

q_u : 静力学公式による基礎地盤の極限支持力度 (kN/m^2)

n : 安全率で解表4-7による。

q_{a0} : 基礎地盤の許容鉛直支持力度 (kN/m^2)

q_{max} : 常時における基礎地盤の最大地盤反力度の上限値 (kN/m^2)

q_1, q_2 : 擁壁底面端部における鉛直地盤反力度 (kN/m^2)

V_o : 擁壁底面における全鉛直荷重 (kN/m) で擁壁に作用する各荷重の鉛直成分の合計値

B' : 荷重の偏心を考慮した擁壁底面の有効載荷幅 (m) で、

$B' = B - 2e$ とする。

(道路土工 擁壁工指針 P. 119)

採用値 最大地盤反力度 : $q_1, q_2 \leq q_{a0}$

4-4 擁壁安定計算結果

設計擁壁の安定計算結果を以下に示す。

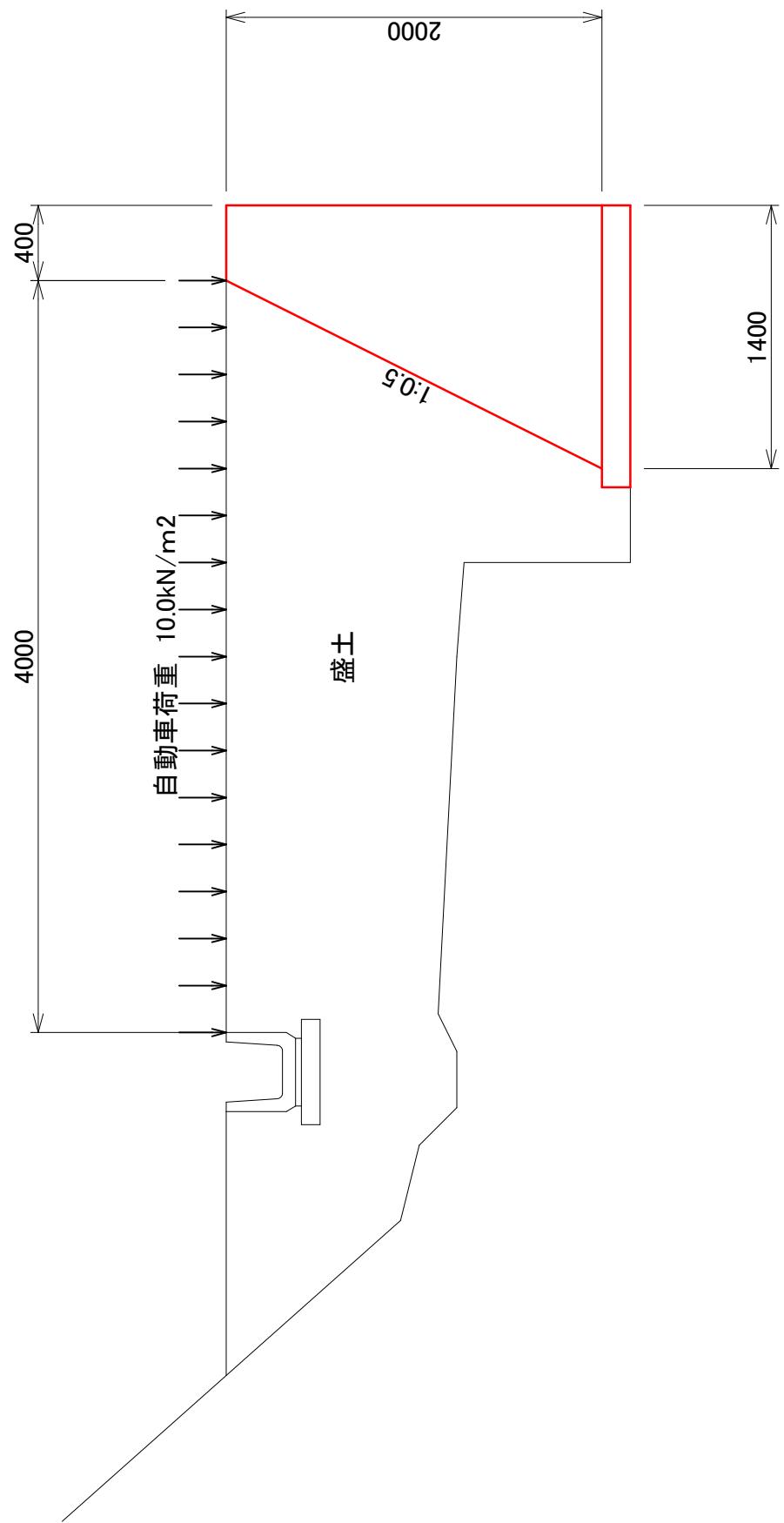
表. 4-1 設計擁壁結果一覧表

照査項目	計算結果	許容値	単位	判定
滑動	1.73	≥	1.50	ok
転倒	0.226	≤	0.233	m ok
支持	91.72	≤	200	kN/m ² ok

次頁に擁壁の安定計算概略図及び安定計算書を示す。

擁壁安定計算概略図

(図. 4-13)



路側擁壁安定計算書

目 次

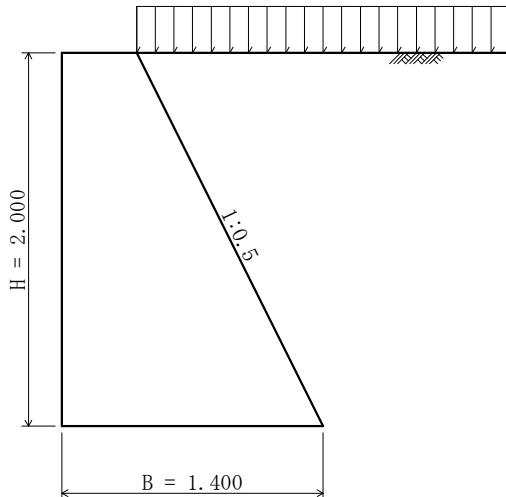
設計概説	1
§ 1 設計条件	3
§ 2 一般形状寸法図	4
§ 3 計算結果	5
§ 4 設計荷重	6
§ 5 安定計算	9

設計概説

本擁壁は以下の方法で設計を行った。基本的な考えは『道路土工 擁壁工指針』に準拠した。

(1) 設計断面

- 1) 基礎形式 直接基礎
- 2) 擁壁寸法 擁壁高さ $H = 2.000$ (m)
底版幅 $B = 1.400$ (m)
勾配 1 : 0.000



[設計方針・方法]

[計算結果]

(2) 設計荷重

設計は、以下の荷重を考慮して行った。

1) 自重

転倒を自重として考慮した。

$$\text{自重} : W_c = 41.40 \text{ (kN)}$$

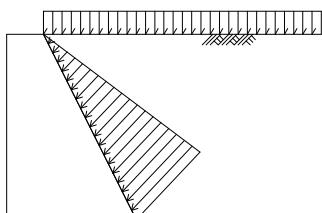
2) 土圧

計算は、試行くさび法により行った。また、土圧は下図のように三角形分布するものとして計算を行った。

$$\text{内部摩擦角} : \phi = 30.00^\circ$$

$$\text{単位体積重量} : \gamma_s = 19.00 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\text{土圧} : P_a = 32.82 \text{ (kN)}$$



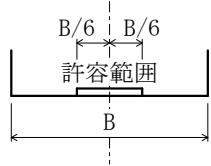
(3) 安定計算

擁壁全体の安定に対して、以下の検討を行った。

1) 転 倒

基礎底版位置での偏心距離による検討を行った。

$$|e| = 0.226 \leq 0.233 \\ (\text{単位 : m})$$



2) 滑 動

滑動安全率による検討を行った。

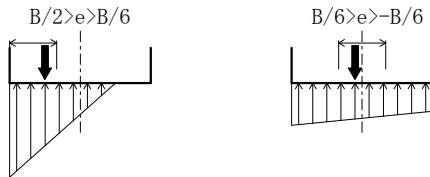
$$F_S = 1.73 \geq 1.50$$

摩擦係数 : 0.600

3) 支持力

支持力の検討は、擁壁底面に作用する最大地盤反力において照査を行った。

$$q = 91.72 \leq 200 \\ (\text{単位 : kN/m}^2)$$



§ 1 設計条件

1. 1 設計条件

(1) 基礎形式	直接基礎
(2) 擁壁高さ	$H = 2.000 \text{ (m)}$
(3) 土 壓	試行くさび法による土圧
(4) 地表面載荷重 自動車荷重	$q = 10.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
(5) 単位体積重量 コンクリート	$\gamma_c = 23.00 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

1. 2 土質条件

(1) 擁壁背面の裏込め土

せん断抵抗角	$\phi = 30.00 \text{ (°)}$
単位体積重量	$\gamma_s = 19.00 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

(2) 支持地盤

擁壁底面と基礎地盤の間の摩擦係数	$\mu = 0.600$
" の粘着力	$C = 0.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
許容支持力度	$qa = 200 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

1. 3 安定条件

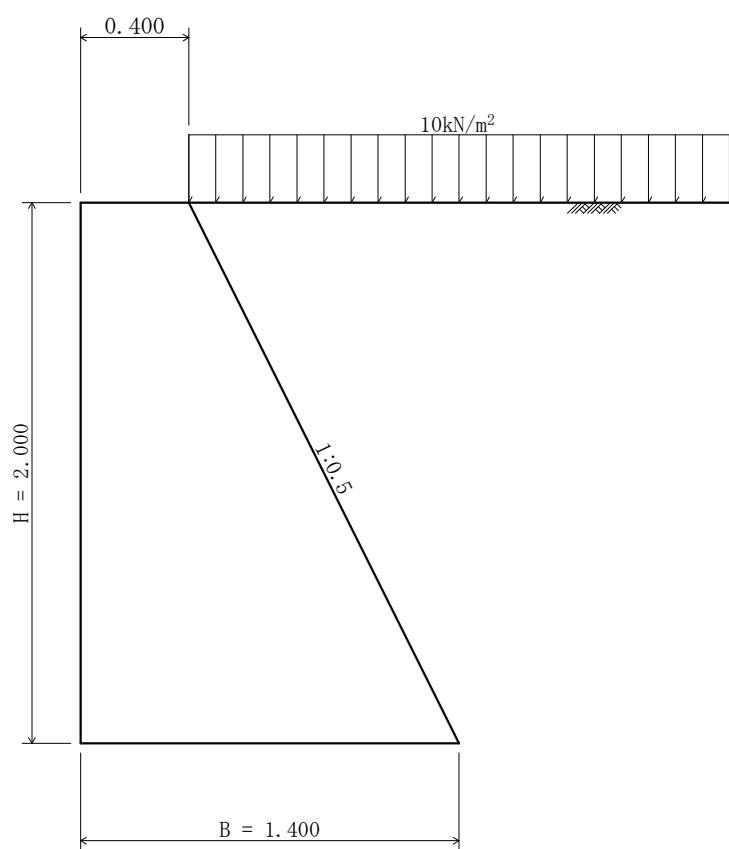
(1) 滑動に対する検討	滑動安全率	$F_s \geq 1.50$
(2) 転倒に対する検討	偏心距離	$ e \leq 1/6 B$
(3) 支持に対する検討	最大地盤反力度	$q \leq qa \text{ (kN/m}^2\text{)}$

1. 4 参考文献

一、道路土工 擁壁工指針（平成24年度版） (社)日本道路協会

§ 2 一般形状寸法図

2. 1 一般図



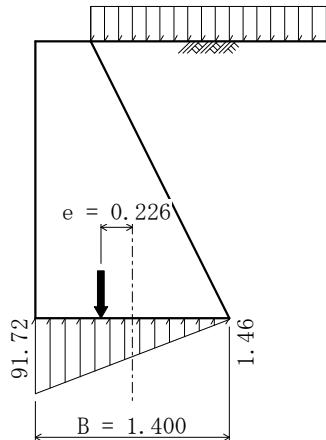
§ 3 計算結果

3.1 安定計算結果

安定計算は、滑動・転倒・支持の安定に対して検討を行った。

鉛直荷重 ΣV (kN)	水平荷重 ΣH (kN)	偏心距離 e (m)	滑動 安全率 F_s	地盤反力度 q_1 q_2 (kN/m ²)	判定
65.23	22.56	0.226	1.73	91.72 1.46	O.K.
許容値	0.233	1.50		200	

『地盤反力図』



§ 4 設計荷重

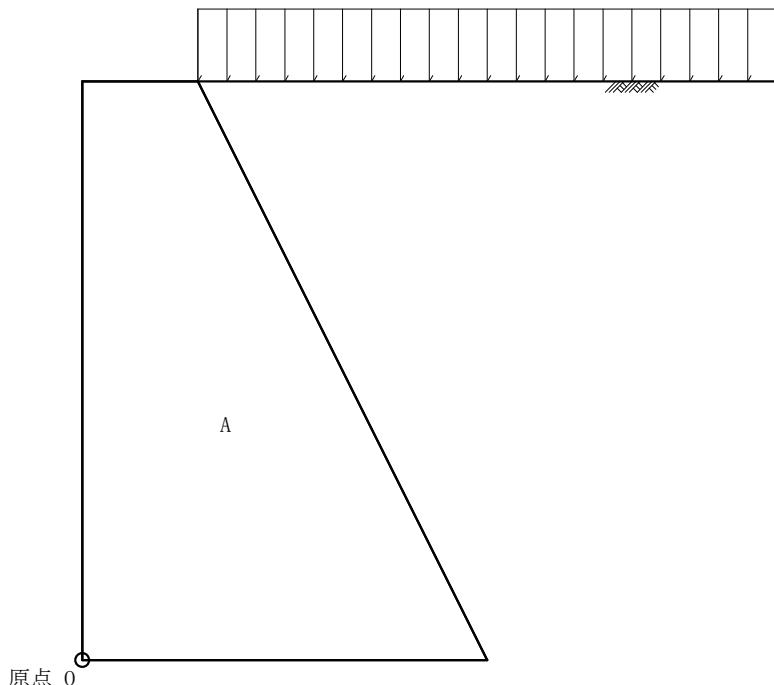
擁壁に作用する荷重は、以下の荷重を考える。

- ・自 重
- ・土 壓

4.1 荷重の計算

擁壁に作用する荷重と、つま先を原点0とする作用位置の計算を行う。

荷重の計算は、擁壁の延長 1.000 mあたりで行う。



4.1.1 自重

1) 軸体(A)

記号	幅 (m)	高さ (m)	面積 A (m²)	重心位置		断面一次モーメント	
				x (m)	y (m)	A · x (m³)	A · y (m³)
	1.400 ×	2.000 =	2.800	0.700	1.000	1.9600	2.8000
a	-1/2 ×	1.000 ×	2.000 =	-1.000	1.067	1.333	-1.0670
合 計			1.800			0.8930	1.4670

体積

$$V_0 = \Sigma A \cdot L = 1.800 \times 1.000 = 1.800 \text{ (m}^3\text{)}$$

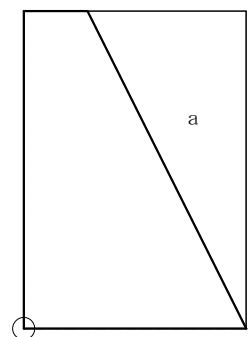
荷重

$$V = V_0 \cdot \gamma c = 1.800 \times 23.00 = 41.40 \text{ (kN)}$$

作用位置

$$x = \frac{\sum A \cdot x}{\sum A} = \frac{0.8930}{1.800} = 0.496 \text{ (m)}$$

$$y = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{1.4670}{1.800} = 0.815 \text{ (m)}$$



4.1.2 土圧

土圧の計算は、試行くさび法により行う。また、土圧は三角形分布するものとする。

主働土圧合力

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

主働土圧係数

$$K_a = \frac{2 \cdot P_a}{\gamma s \cdot h^2}$$

鉛直荷重・水平荷重

$$V = P_a \cdot \sin(\delta + \alpha) \cdot L$$

$$H = P_a \cdot \cos(\delta + \alpha) \cdot L$$

ここに、

P_a : 主働土圧合力 (kN/m)

W : 土くさびの重量 (kN/m)

ω : すべり角 (°)

ϕ : 裏込め土のせん断抵抗角 $\phi = 30.00$ (°)

δ : 壁面摩擦角 $\delta = 20.00$ (°)

α : 土圧作用面と鉛直面のなす角 $\alpha = 26.57$ (°)

K_a : 主働土圧係数

γs : 裏込め土の単位体積重量 $\gamma s = 19.00$ (kN/m³)

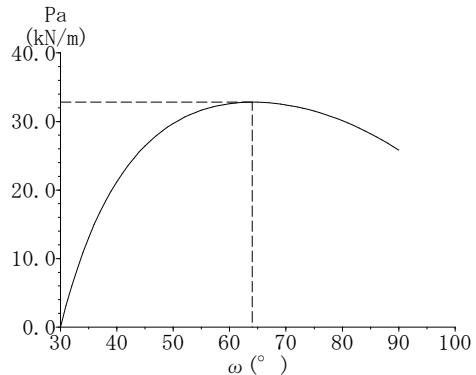
h : 土圧の作用高さ (m)

V, H : 鉛直荷重, 水平荷重 (kN)

L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L = 1.000$ (m)

1) 擁壁全体

$$\begin{aligned}
 h &= 2.000 \text{ (m)} \\
 \alpha &= 26.57 \text{ (°)} \\
 W &= 57.29 \text{ (kN/m)} \quad [\text{載荷重: } 19.76] \\
 \omega &= 64.00 \text{ (°)} \\
 \delta &= 20.00 \text{ (°)} \\
 \phi &= 30.00 \text{ (°)}
 \end{aligned}$$

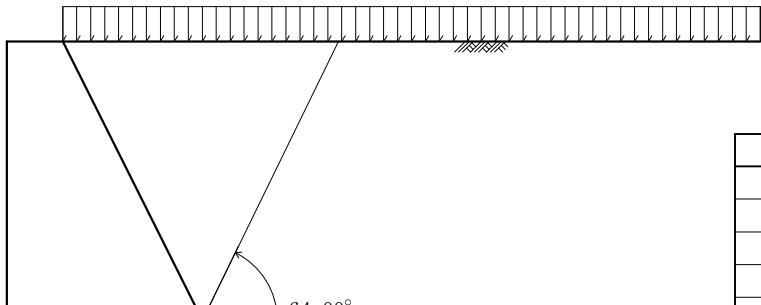


最大主働土圧合力

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{57.29 \times \sin(64.00 - 30.00)}{\cos(64.00 - 30.00 - 20.00 - 26.57)} \\
 &= 32.82 \text{ (kN/m)}
 \end{aligned}$$

主働土圧係数

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{2 \times 32.82}{19.00 \times 2.000^2} \\
 &= 0.864
 \end{aligned}$$



ω	Pa	W
68.00	32.650	52.44
67.00	32.728	53.63
66.00	32.784	54.83
65.00	32.817	56.05
* 64.00	32.826	57.29
63.00	32.809	58.56
62.00	32.767	59.85
61.00	32.698	61.16
60.00	32.600	62.49

鉛直荷重

$$V = 32.82 \times \sin(20.00 + 26.57) \times 1.000 = 23.83 \text{ (kN)}$$

水平荷重

$$H = 32.82 \times \cos(20.00 + 26.57) \times 1.000 = 22.56 \text{ (kN)}$$

作用位置

$$\begin{aligned}
 x &= 1.067 \text{ (m)} \\
 y &= \frac{2.000}{3} = 0.667 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

§ 5 安定計算

算出した荷重を集計して、以下の安定の検討を行う。

- ・滑動に対する検討
- ・転倒に対する検討
- ・支持に対する検討

5.1 計算方法

1) 転倒に対する検討

つま先から合力の作用点までの距離および、合力の作用点の底版中央からの偏心距離は次式により求める。

$$d = \frac{\Sigma M_r - \Sigma M_o}{\Sigma V}$$

$$e = \frac{B}{2} - d$$

ここに、

- d : つま先から合力の作用点までの距離 (m)
- e : 合力の作用点の底版中央からの偏心距離 (m)
- ΣV : 底版下面における全鉛直荷重 (kN)
- ΣM_r : つま先まわりの抵抗モーメント (kN・m)
- ΣM_o : つま先まわりの転倒モーメント (kN・m)
- B : 擁壁の底版幅 $B = 1.400$ (m)

転倒に対する安定条件として、偏心距離 e は次式を満足するものとする。

$$|e| \leq \frac{1}{6} B$$

2) 滑動に対する検討

滑動に対する安全率は次式により照査を行う。

$$F_s = \frac{\text{滑動に対する抵抗力}}{\text{滑動力}} = \frac{\Sigma V \cdot \mu + C \cdot B_e \cdot L}{\Sigma H} \geq F_{sa}$$

ここに、

- F_s : 滑動安全率
- F_{sa} : 滑動安全率の許容値 $F_{sa} = 1.50$
- ΣV : 底版下面における全鉛直荷重 (kN)
- ΣH : 水平荷重 (kN)
- μ : 擁壁底面と基礎地盤の間の摩擦係数 $\mu = 0.600$
- C : 擁壁底面と基礎地盤の間の付着力 $C = 0.0$ (kN/m²)
- B : 擁壁の底版幅 $B = 1.400$ (m)
- e : 合力の作用点の底版中央からの偏心距離 (m)
- B_e : 有効載荷幅 $B_e = B - 2 \cdot e$ (m)
- L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L = 1.000$ (m)

3) 支持に対する検討

地盤反力度は次式により求める。

$$\begin{array}{ll} e > \frac{B}{6} のとき & q_1 = \frac{2 \cdot \Sigma V}{3 \cdot d \cdot L} \\ |e| \leq \frac{B}{6} のとき & q_1, q_2 } = \frac{\Sigma V}{B \cdot L} (1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}) \\ e < -\frac{B}{6} のとき & q_2 = \frac{2 \cdot \Sigma V}{3 \cdot (B - d) \cdot L} \end{array}$$

ここに、

q_1, q_2 : 地盤反力度 (kN/m^2)

ΣV : 鉛直荷重 (kN)

B : 擁壁の底版幅 $B = 1.400$ (m)

L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L = 1.000$ (m)

e : 合力の作用点の底版中央からの偏心距離 (m)

d : つま先から合力の作用点までの距離 (m)

この q_1 および q_2 は次式を満足しなければならない。

$$q_1, q_2 } \leq qa$$

ここに、

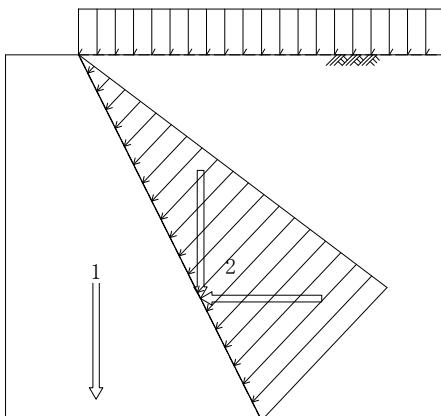
qa : 地盤の許容支持力度

$$qa = 200 \ (\text{kN}/\text{m}^2)$$

5.2 計算結果

No	荷重名	荷重		作用位置		モーメント	
		鉛直V (kN)	水平H (kN)	x (m)	y (m)	Mr=V・x (kN・m)	Mo=H・y (kN・m)
1	自重	41.40		0.496	0.815	20.53	
2	土圧	23.83	22.56	1.067	0.667	25.43	15.05
合計Σ		65.23	22.56			45.96	15.05

«荷重作用図»



1) 転倒に対する安定

つまり先から合力 R の作用点までの距離

$$d = \frac{\Sigma Mr - \Sigma Mo}{\Sigma V} = \frac{45.96 - 15.05}{65.23} = 0.474 \text{ (m)}$$

合力 R の作用点の底版中央からの偏心距離

$$e = \frac{B}{2} - d = \frac{1.400}{2} - 0.474 = 0.226 \text{ (m)}$$

$$|e| = 0.226 \text{ (m)} \leq \frac{1}{6} \cdot B = 0.233 \text{ (m)}$$

よって、偏心距離は安定条件を満足している。

2) 滑動に対する安定

$$Be = B - 2 \cdot e = 1.400 - 2 \times 0.226 = 0.948 \text{ (m)}$$

$$F_s = \frac{\Sigma V \cdot \mu + c \cdot Be \cdot L}{\Sigma H} = \frac{65.23 \times 0.600 + 0.0 \times 0.948 \times 1.000}{22.56}$$

$$= 1.73 \geq F_{sa} = 1.50$$

よって、滑動安全率は安定条件を満足している。

3) 支持に対する安定

最大地盤反力度

$$|e| = 0.226 \leq \frac{B}{6} = 0.233 \text{ (m)} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{\Sigma V}{B \cdot L} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B} \right) = \frac{65.23}{1.400 \times 1.000} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.226}{1.400} \right) \\ q_2 &= \left\{ \begin{array}{l} 91.72 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ 1.46 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{array} \right. \leqq q_a = 200 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

よって、地盤反力度は安定条件を満足している。

《地盤反力図》

