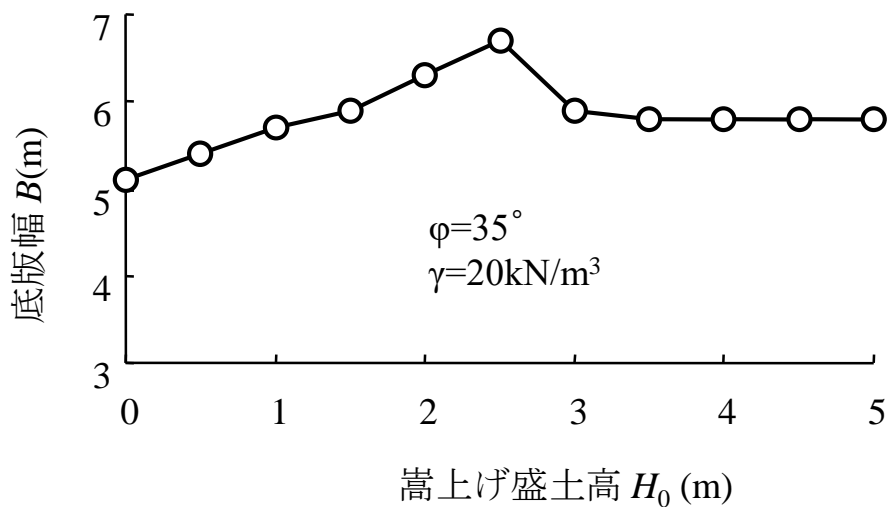
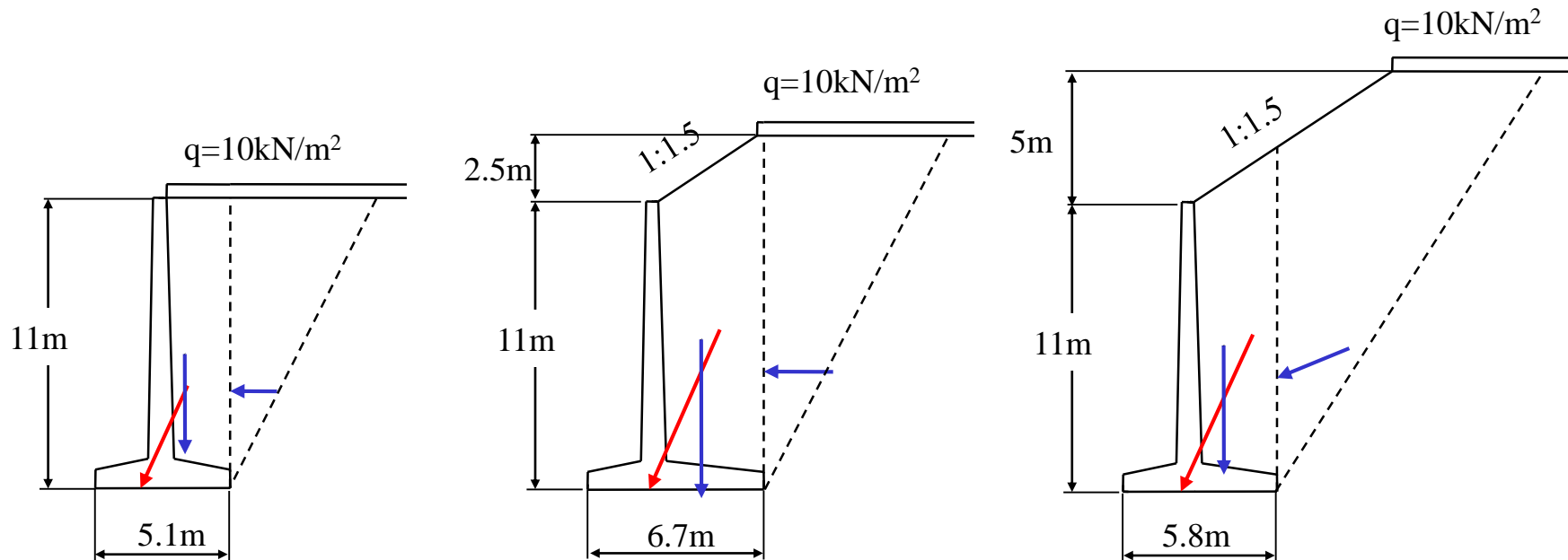


# 改良試行くさび法

(株)第一コンサルタンツ

右城 猛

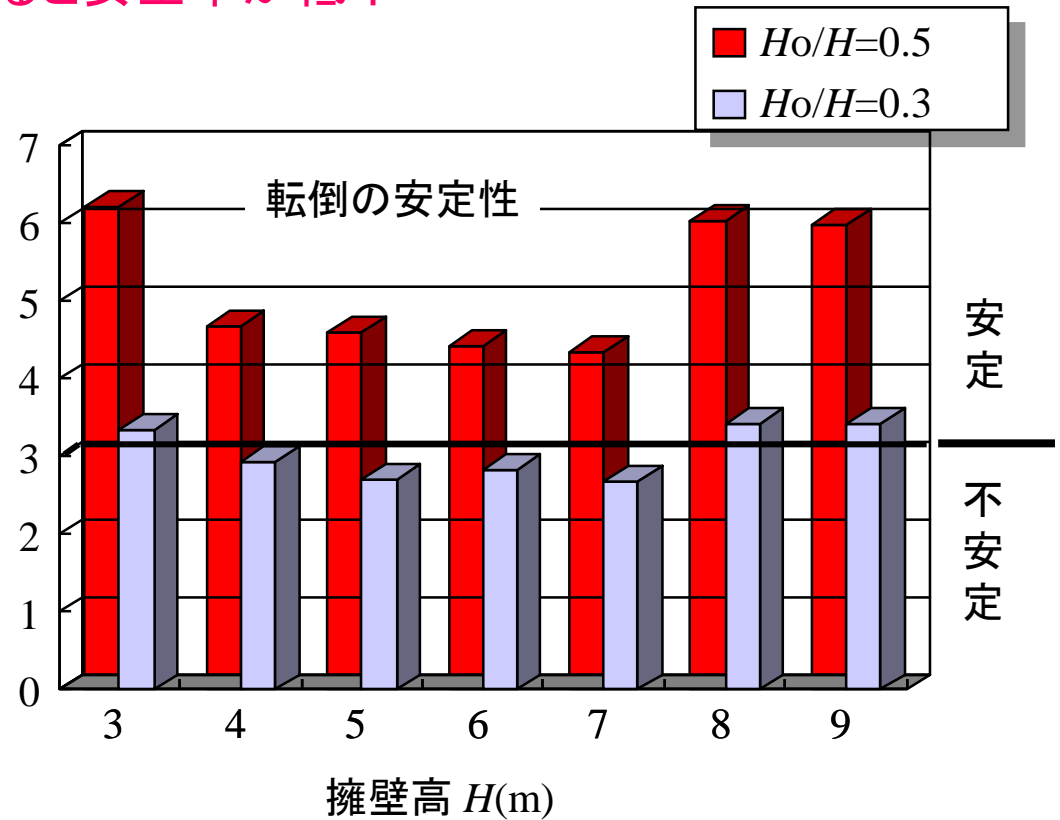
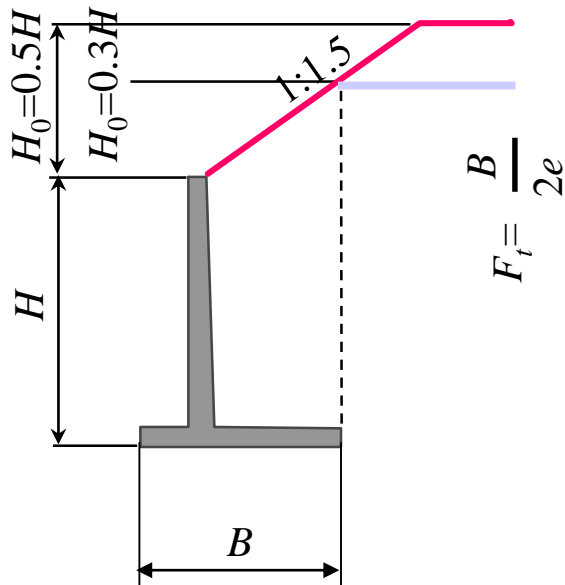
# 道路土工指針の試行くさび法はおかしい



大型逆T型擁壁標準設計図集  
(高知県窪川土木事務所, 1991)

# 試行くさび法による建設省制定標準設計図集の照査

盛土を低くすると安全率が低下



# 1991年8月5日のFAXに対する土木研究所の回答

## 施工研究室の回答

- ①標準図集はシステム課が作成

## システム課の回答

- ①送られてきた計算結果に間違いはない。
- ②標準設計の断面では所定の安全率を下回る。
- ③標準設計は、道路土工指針に準拠している。
- ④道路土工指針の土圧計算法に問題がある。
- ⑤現実には、盛土を低くすると安全率が向上する。
- ⑥計算上の安全率が不足しても擁壁は不安定にならない。

# 道路土工指針の土圧計算法の変遷

	テルツァギー式	試行くさび法	クーロン式
昭和31年版			
昭和42年版			
昭和48年版			
昭和52年版			
昭和62年版			
平成11年版			

- ①通常の擁壁に作用する土圧は試行くさび法による。
- ②試行くさび法において、擁壁背面の盛土形状が一様で裏込め土の粘着力がない場合はクーロンの主働土圧と一致する

# テルツァギー式が削除された本当の理由

(1) テルツァギーの土圧図表をトレースした際にミスがあった。

(2) テルツァギーの土圧図表は理論上問題がある。テルツァギーがグラフを作為的に描いた形跡がある。

(3) 背面盛土形状，擁壁勾配など使用上の制約が多すぎる。

(4) 試行くさび法と混用すると，設計の連続性が得られない。

(5) 道路土工指針の委員長が福岡正巳氏から久野五郎氏に交替。

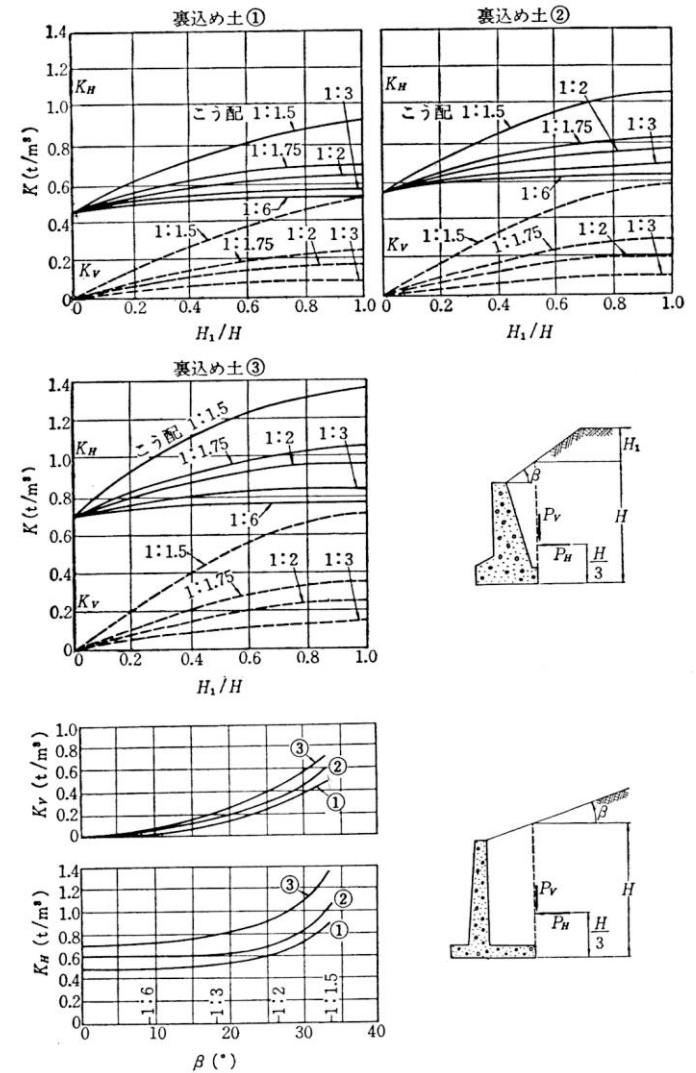
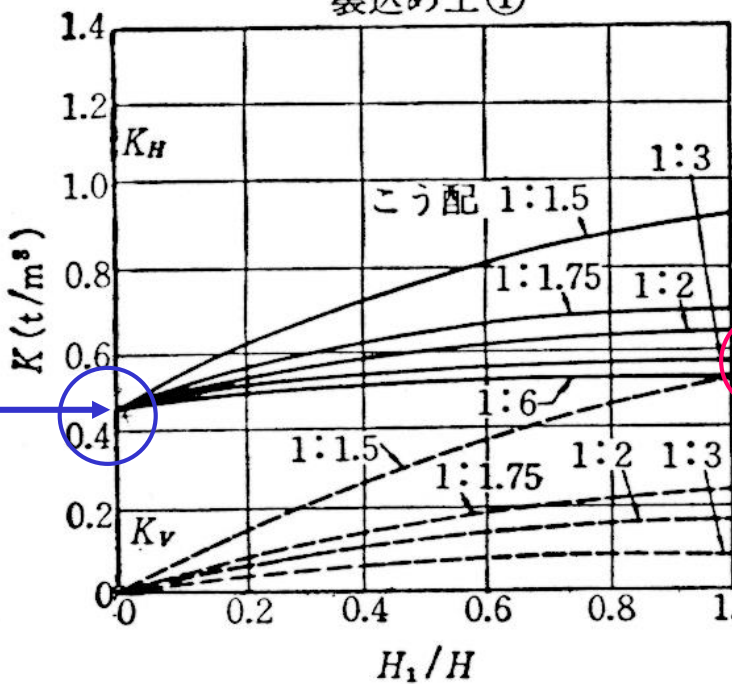
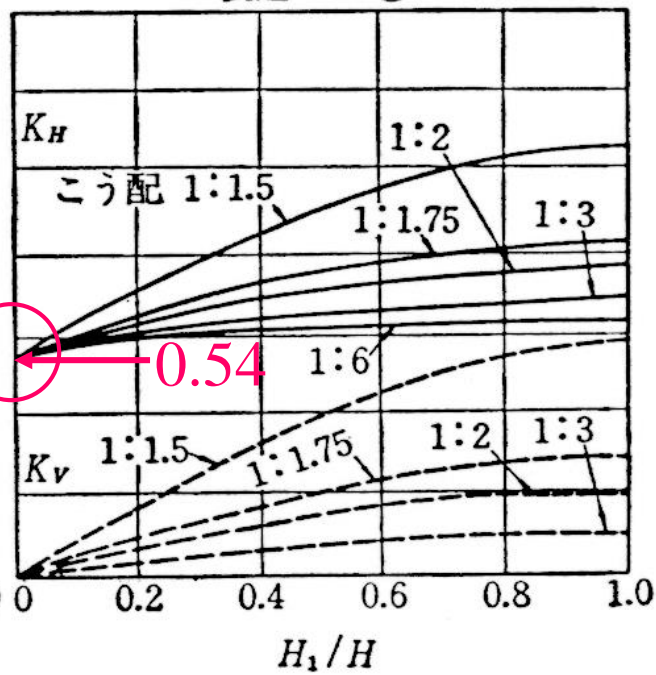


図 2-5 設計に用いる土圧係数

裏込め土①



裏込め土②

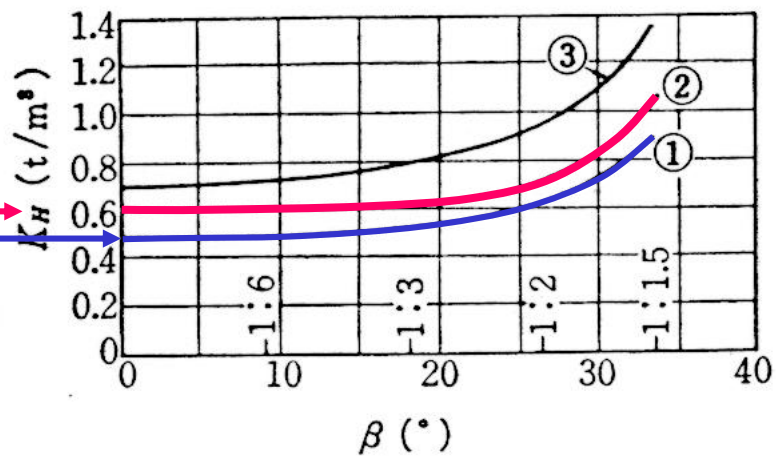


0.43

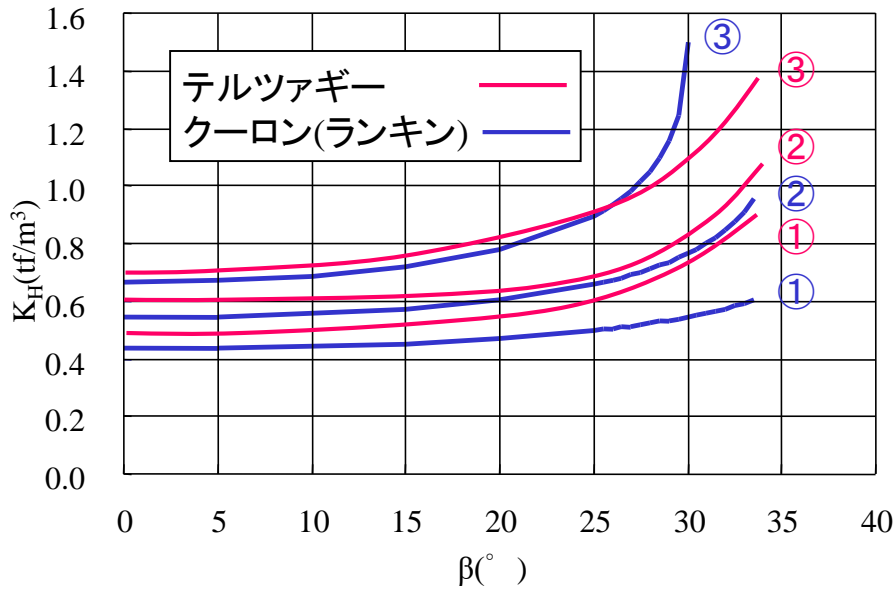
0.54

0.60

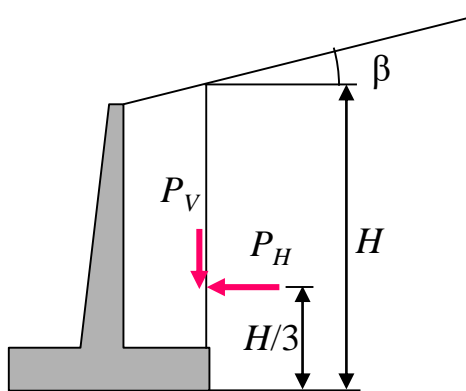
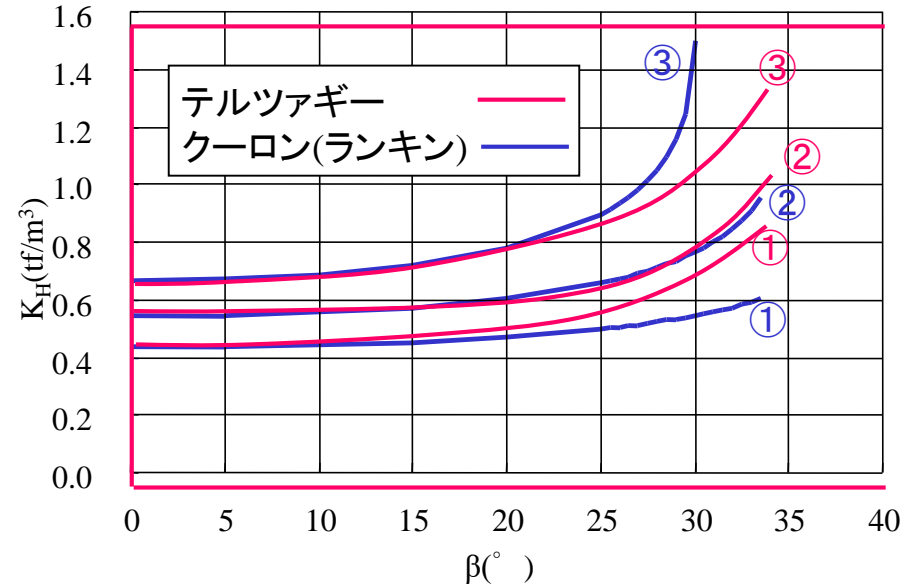
0.49



## トレースの際に目盛が0.06ずれた



## クーロン土圧を修正



$$P_H = \frac{1}{2} K_H H^2$$

$$P_V = \frac{1}{2} K_V H^2$$

$$K_H = \gamma \cos^2 \beta \frac{\cos^2 \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos^2 \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$K_V = \gamma \cos \beta \sin \beta \frac{\cos^2 \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos^2 \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

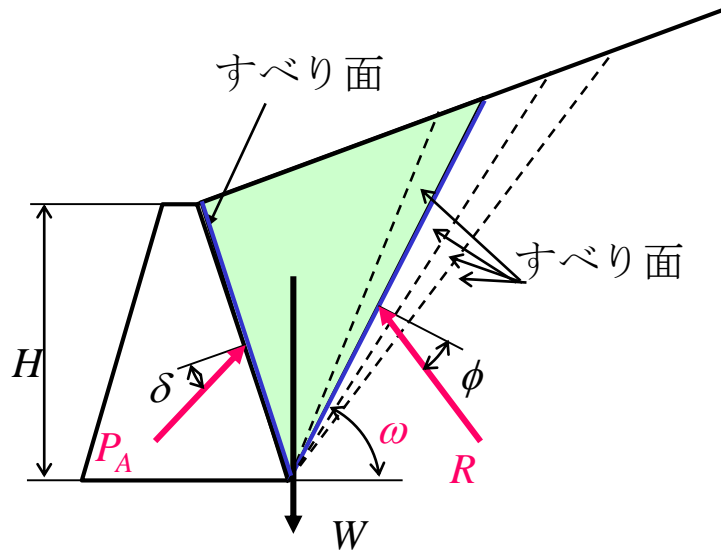
分類	土質	$\phi$ (度)	$\gamma$ (tf/m <sup>3</sup> )
①	礫	40	2.0
②	礫質土	35	1.9
③	砂	30	1.8



# 試行くさび法は開発途上にある

	土圧の作用方向	載荷重の取り扱い	地震時のすべり面
S52年版			
S62年版		<p>換算盛土</p> <p>載荷重は盛土高に換算</p>	
H11年版		<p>載荷重</p> <p>載荷重は土塊重量に加算</p>	<p>粘着力による自立高さ</p> $Z_c = \frac{2c}{\gamma} \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$

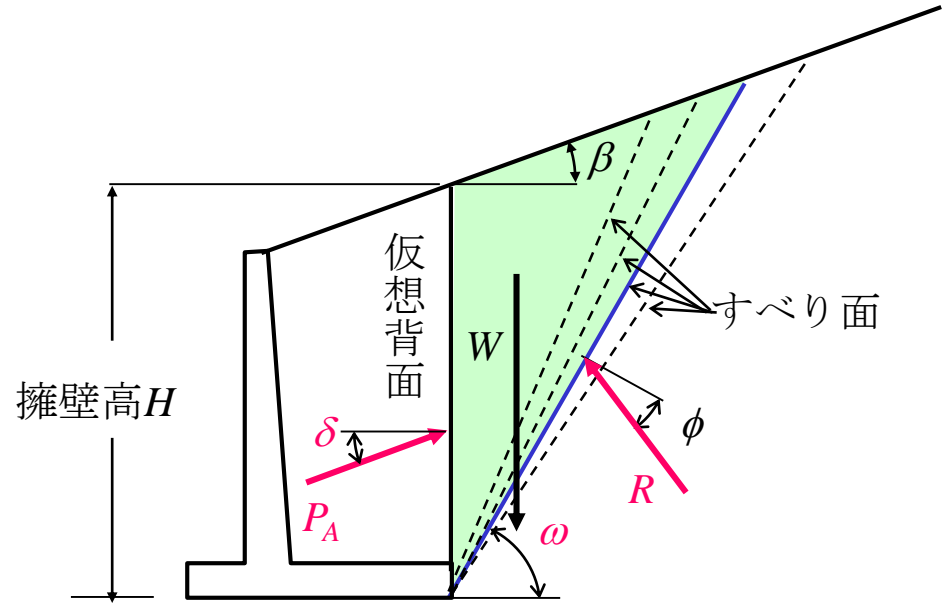
# クーロンのくさび理論は適用できるか



未知量が3個  $P_A, R, \omega$  → 静定問題

水平力のつり合い  $\Sigma H=0$   
 鉛直力のつり合い  $\Sigma V=0$   
 土圧の最大化条件式  $dP/d\omega=0$

} 条件式は3個

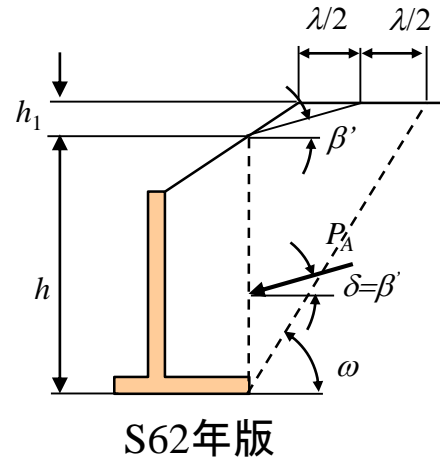
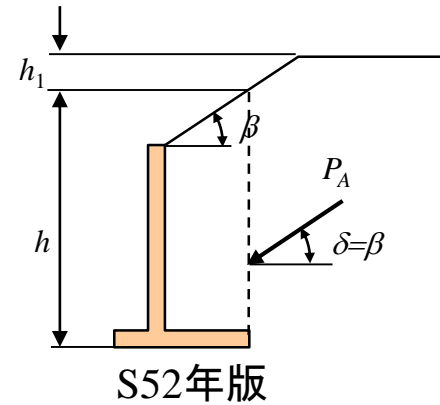
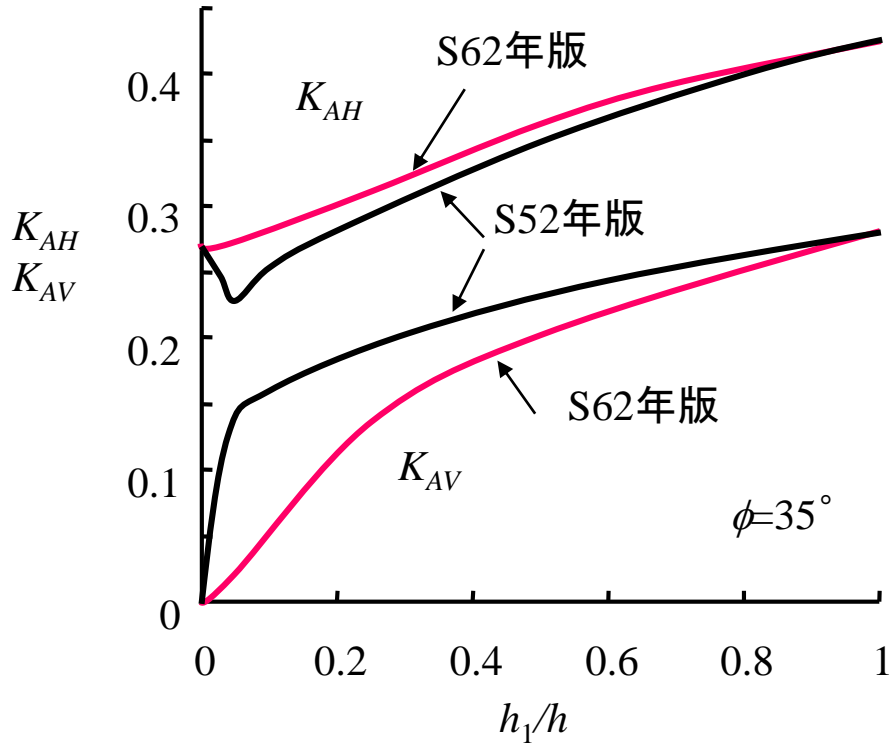


未知量が4個  $P_A, R, \delta, \omega$  → 不静定問題

条件式より未知量が1個多いので解けない。

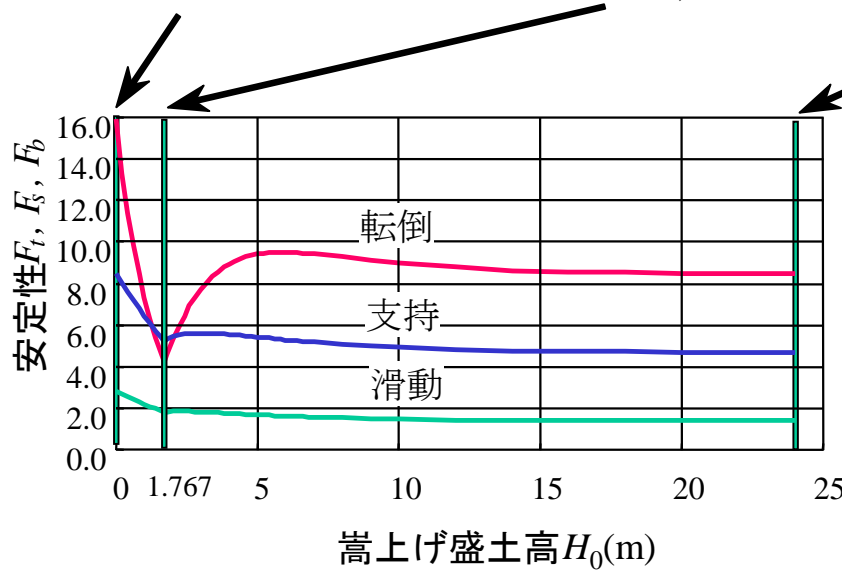
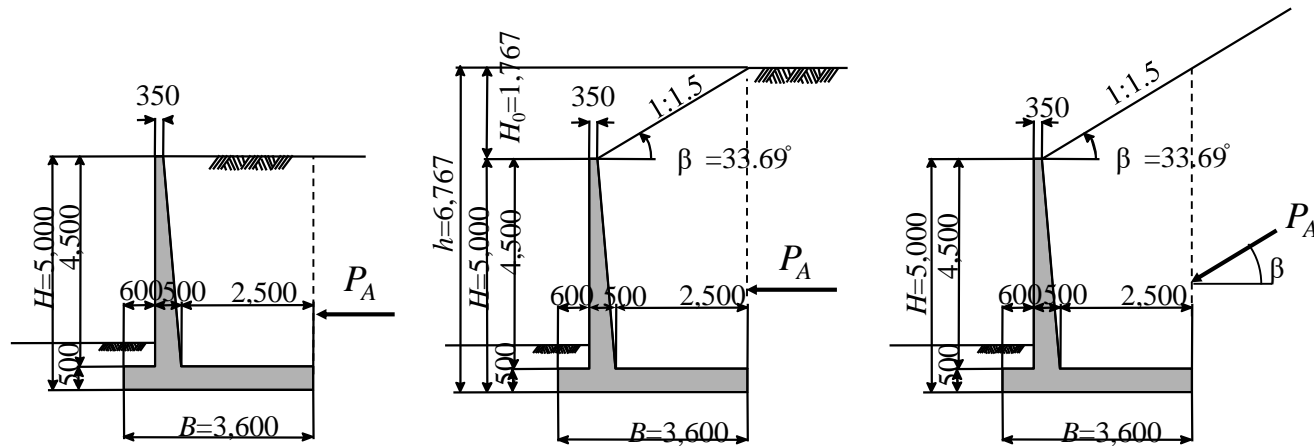
道路土工指針  $\delta=\beta$ (モースチ, 1925)(ランキン理論)  
 道路橋示方書  $\delta=\varphi$ (仮想背面をすべり面と仮定)

# 昭和62年度版で土圧作用方向を変更した理由



# 盛土が高くなると安全率も大きくなる？

安全率が最大 → 安全率が最小 → 安全率が中      本当か？

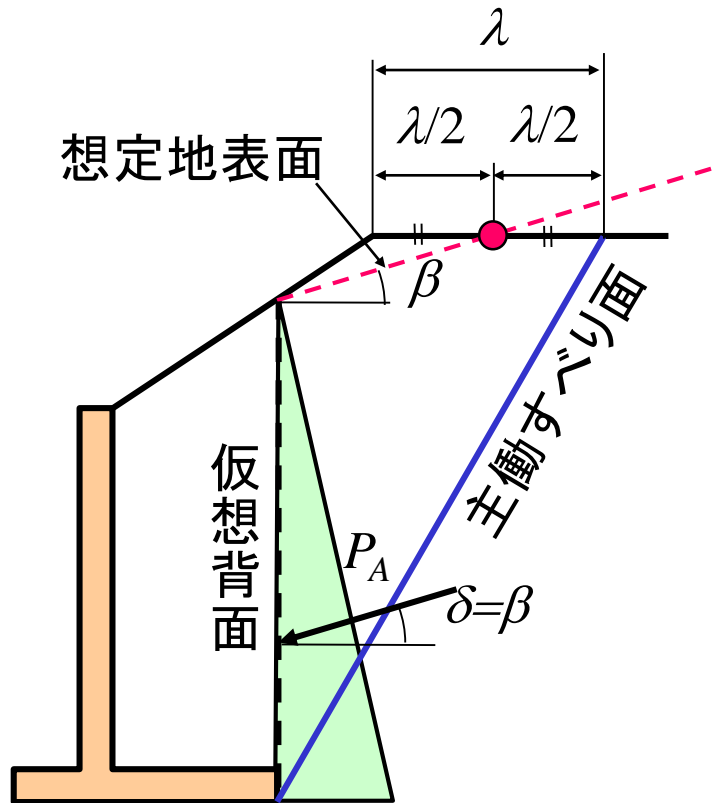


計算条件

- 礫質土
- 単位体積重量  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- 内部摩擦角  $\phi = 35^\circ$
- 地盤の極限支持力度  $q_d = 900 \text{ kN/m}^2$
- 底面の摩擦係数  $\mu = 0.6$

転倒は  $F_t = \frac{B}{2e}$  として計算

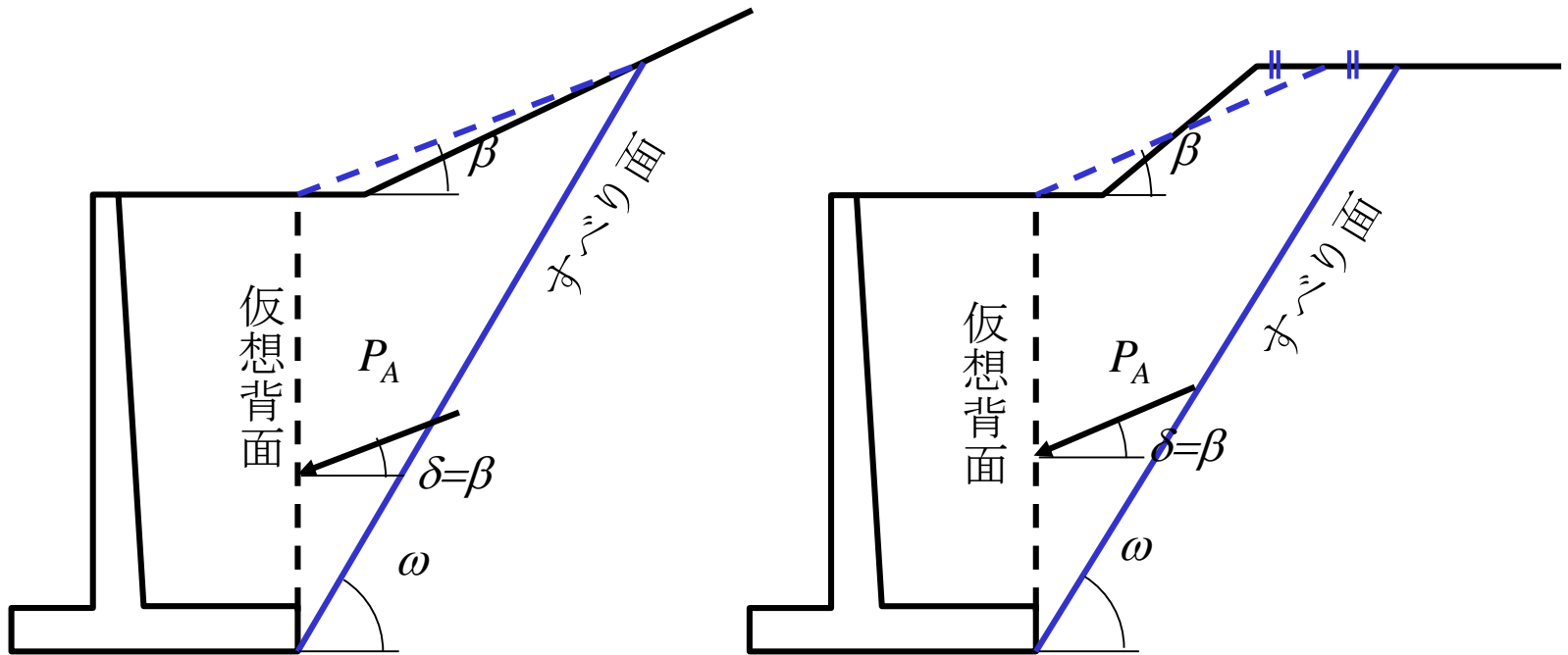
# 道路土工指針の試行くさび法の問題点



## 3つの仮定

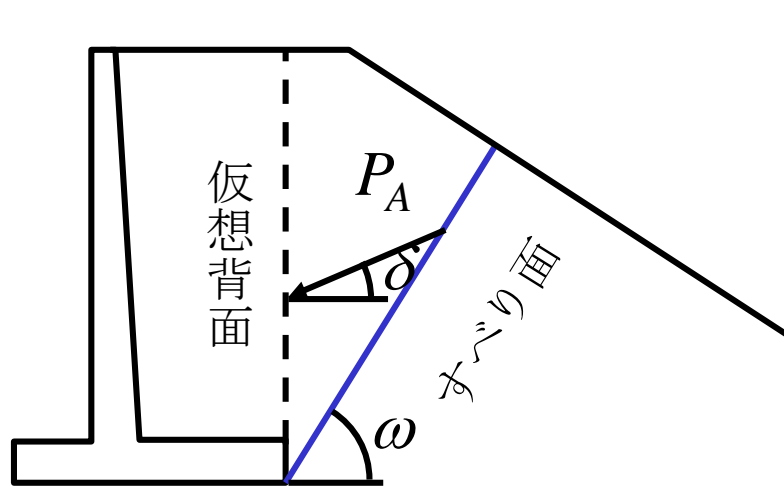
- ①すべり面を直線と仮定
- ②土圧分布を三角形と仮定
- ③土圧傾斜角を右図のように仮定

# 壁面摩擦角 $\delta$ の取り方は？

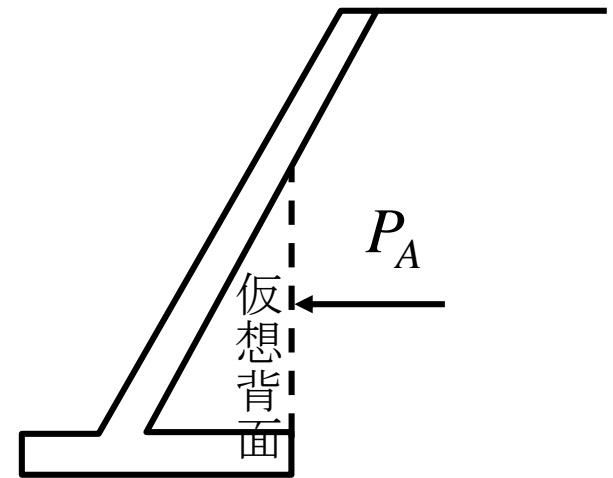


某ソフト会社のQ&Aで見かけた $\delta$ の取り方  
技術者の直感に基づいているのか？

$\delta$ の取り方は？

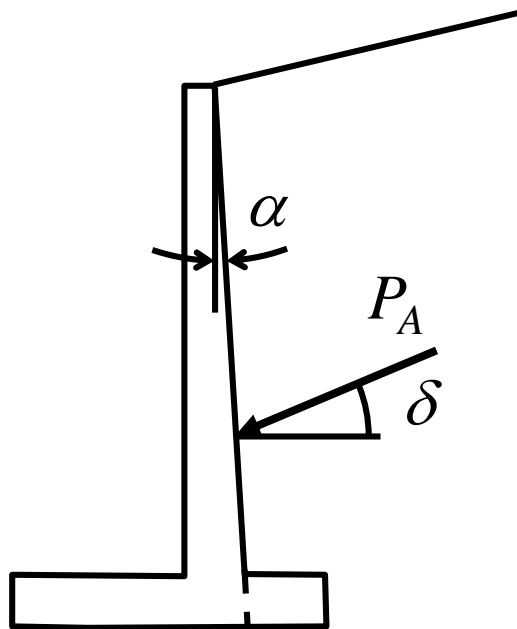


仮想背面は？

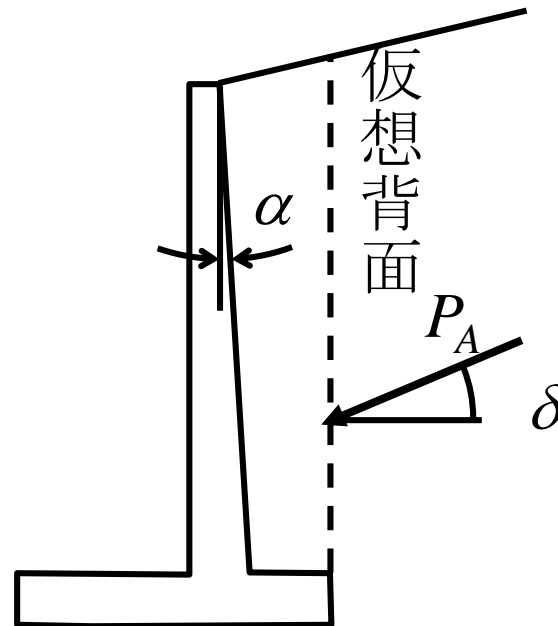


某ソフト会社のQ&Aで見かけたもの  
回答は、いずれも計算できないと言うつれない返事  
質問者はどのようにして計算したのだろうか？

かかと版が短い場合どのように計算するか？



かかと版を無視



仮想背面を考慮

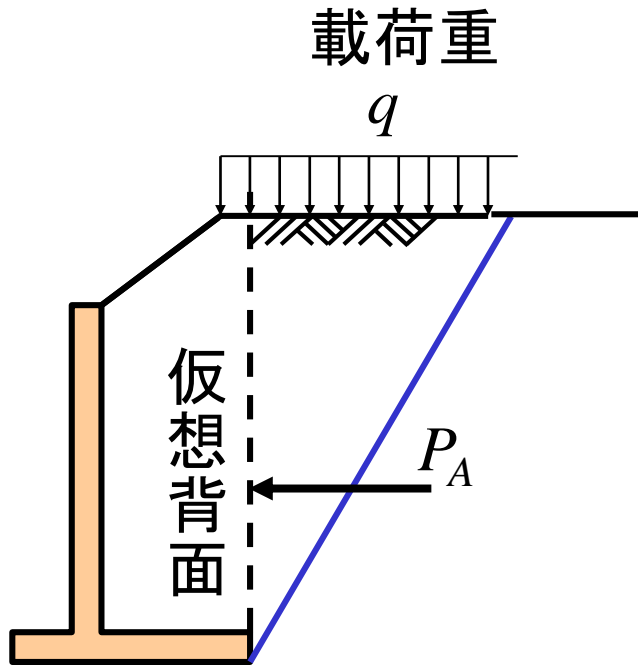
かかと版の長さがどれだけあれば仮想背面を考えるのか

明確な解答はどこにもない

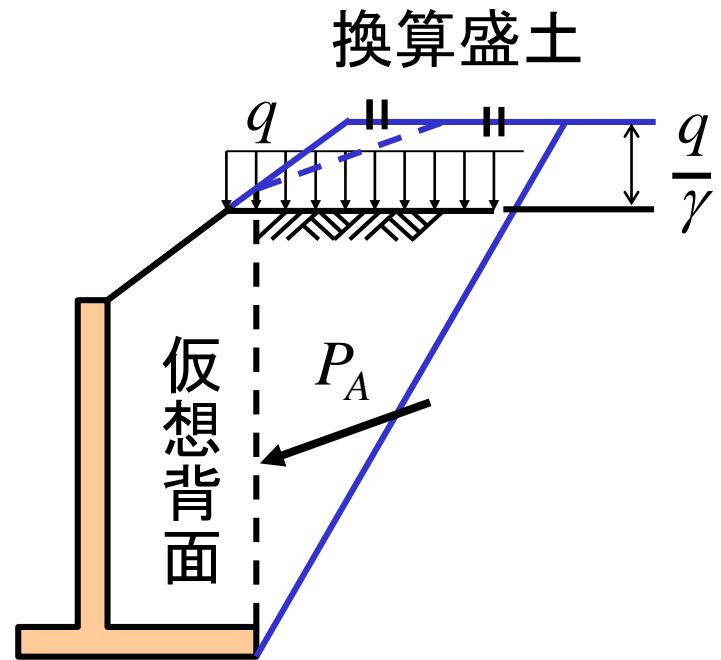
橋台の設計で仮想背面を考えて土圧を計算したため会計検査で問題になった例もある



# 載荷重の考え方は？

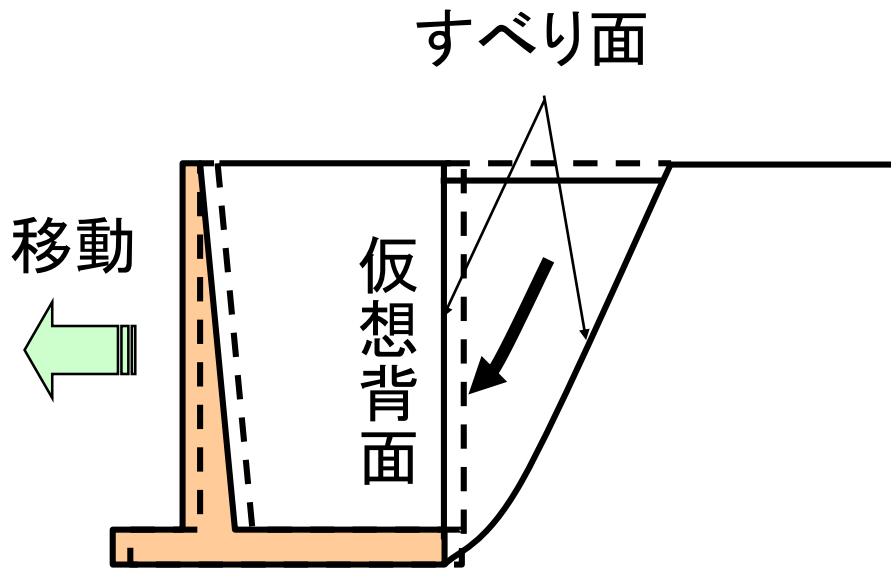


H9年版

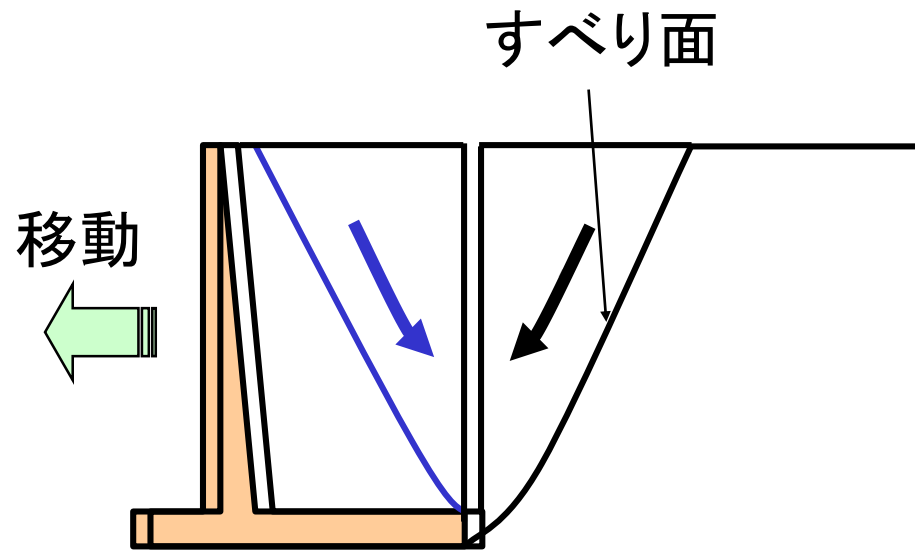


S62年版

# 仮想背面に対する誤解



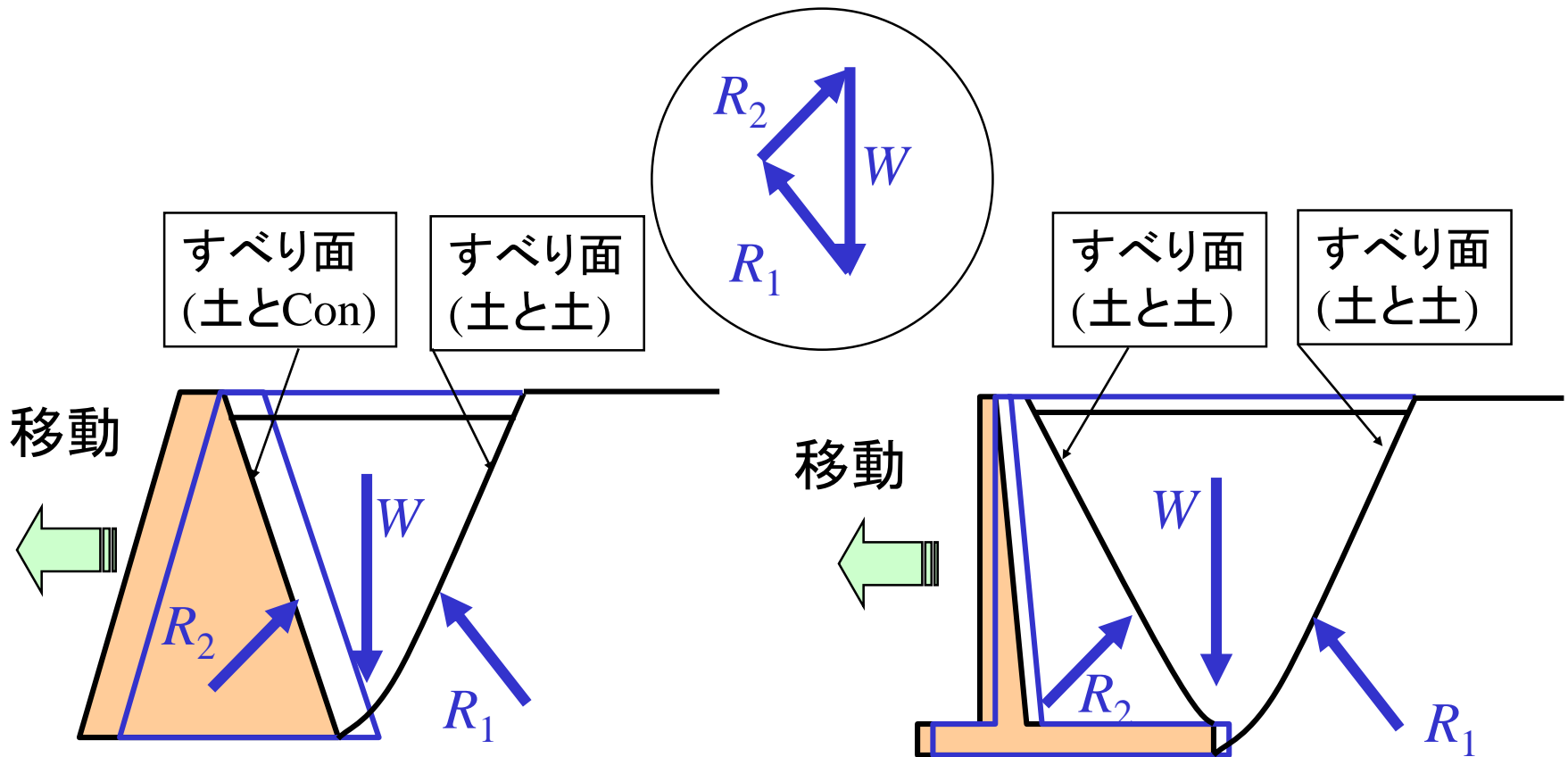
かかと版上の土は擁壁と一体的に挙動する(道路土工指針)



なぜ前方の土は滑落しないのか？

# すべり面は2本発生する

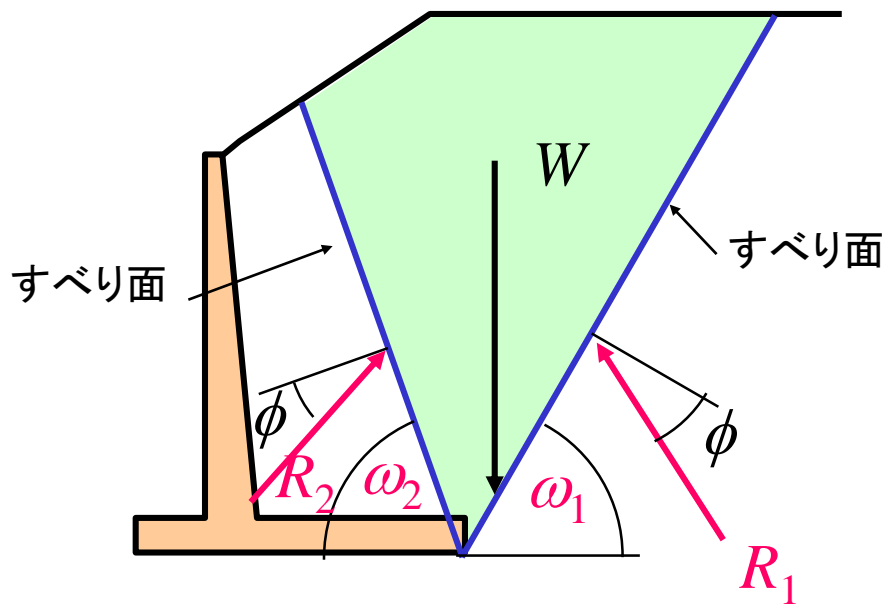
## 力のつり合い



- ①壁面に沿うすべり面
- ②盛土内部を通るすべり面

盛土内部を通るすべり面が2本

# 改良試行くさび法(その1) 極限平衡法



2つのすべり面で囲まれた土塊に着目

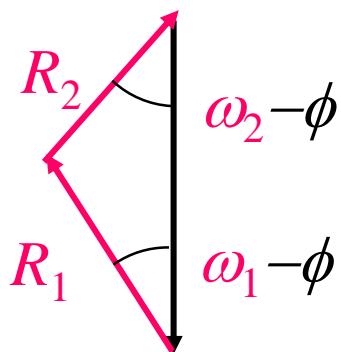
鉛直力のつり合い式  $\Sigma V=0$

水平力のつり合い式  $\Sigma H=0$

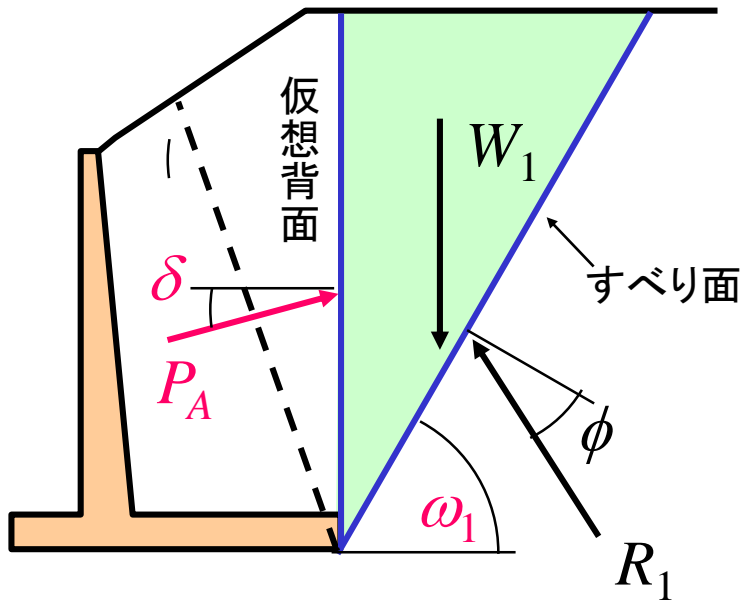
より  $R_1, R_2$  が求まる.

$$R_1 = \frac{\sin(\omega_2 - \phi)}{\sin(\omega_1 + \omega_2 - 2\phi)} (W_1 + W_2)$$

$$R_2 = \frac{\sin(\omega_1 - \phi)}{\sin(\omega_1 + \omega_2 - 2\phi)} (W_1 + W_2)$$



# 改良試行くさび法(その2) 極限平衡法



次に仮想背面とすべり面で囲まれた土塊に着目,

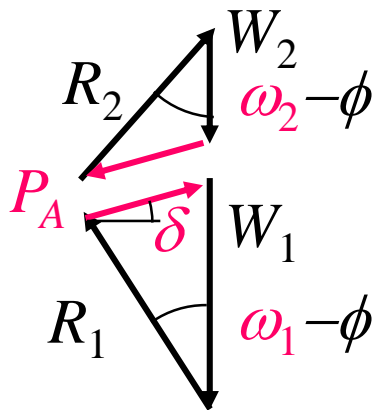
鉛直力のつり合い式  $\Sigma V=0$   
 水平力のつり合い式  $\Sigma H=0$   
 より  $P_A, \delta$  が求まる.

$$\delta = \tan^{-1} \frac{W_1 - R_1 \cos(\omega_1 - \phi)}{R_1 \sin(\omega_1 - \phi)}$$

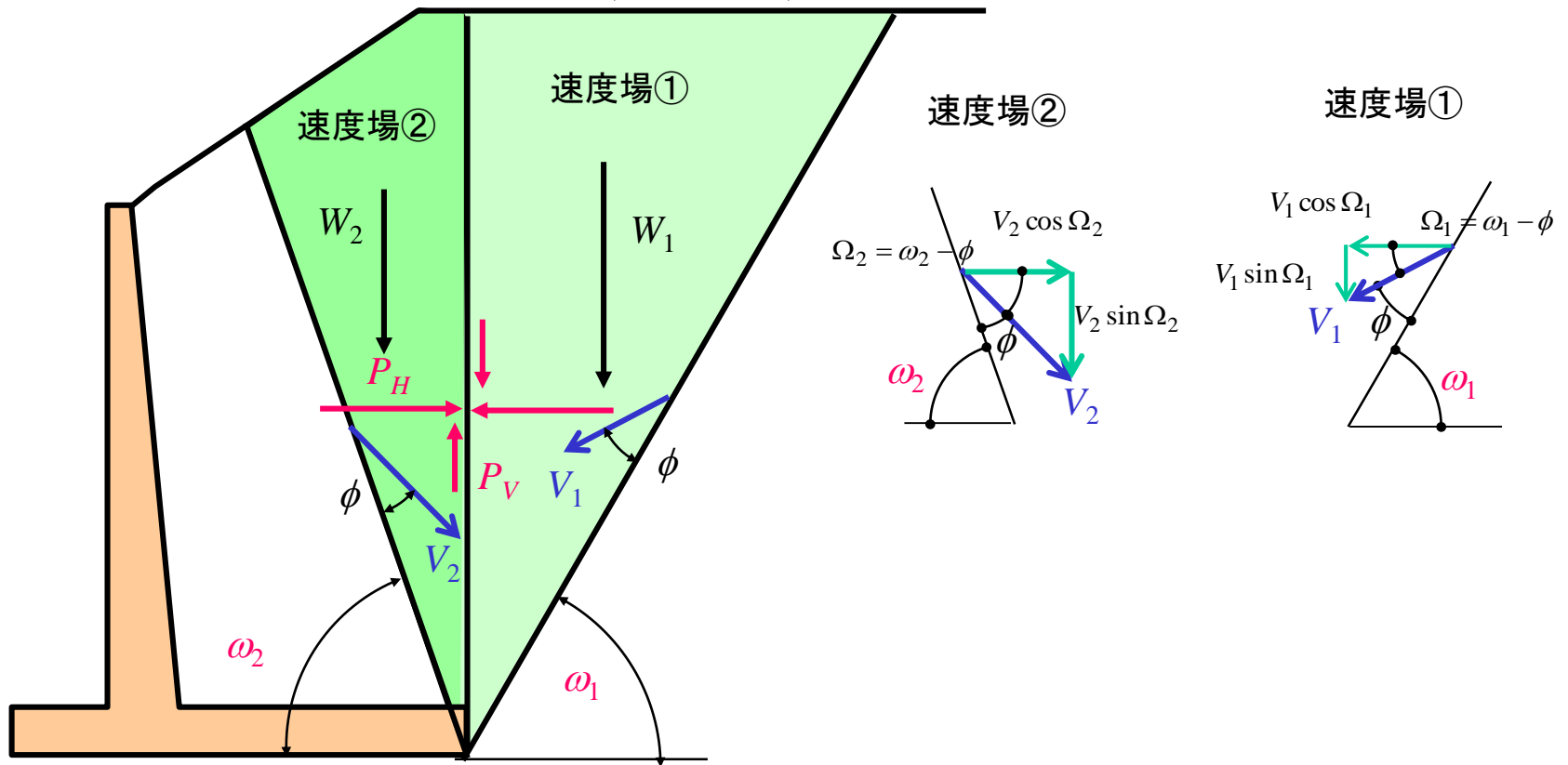
$$P_A = \frac{R_1 \sin(\omega_1 - \phi)}{\cos \delta}$$

ただし,

$$R_1 = \frac{\sin(\omega_2 - \phi)}{\sin(\omega_1 + \omega_2 - 2\phi)} (W_1 + W_2)$$



# 改良試行くさび法(その3) 上界法



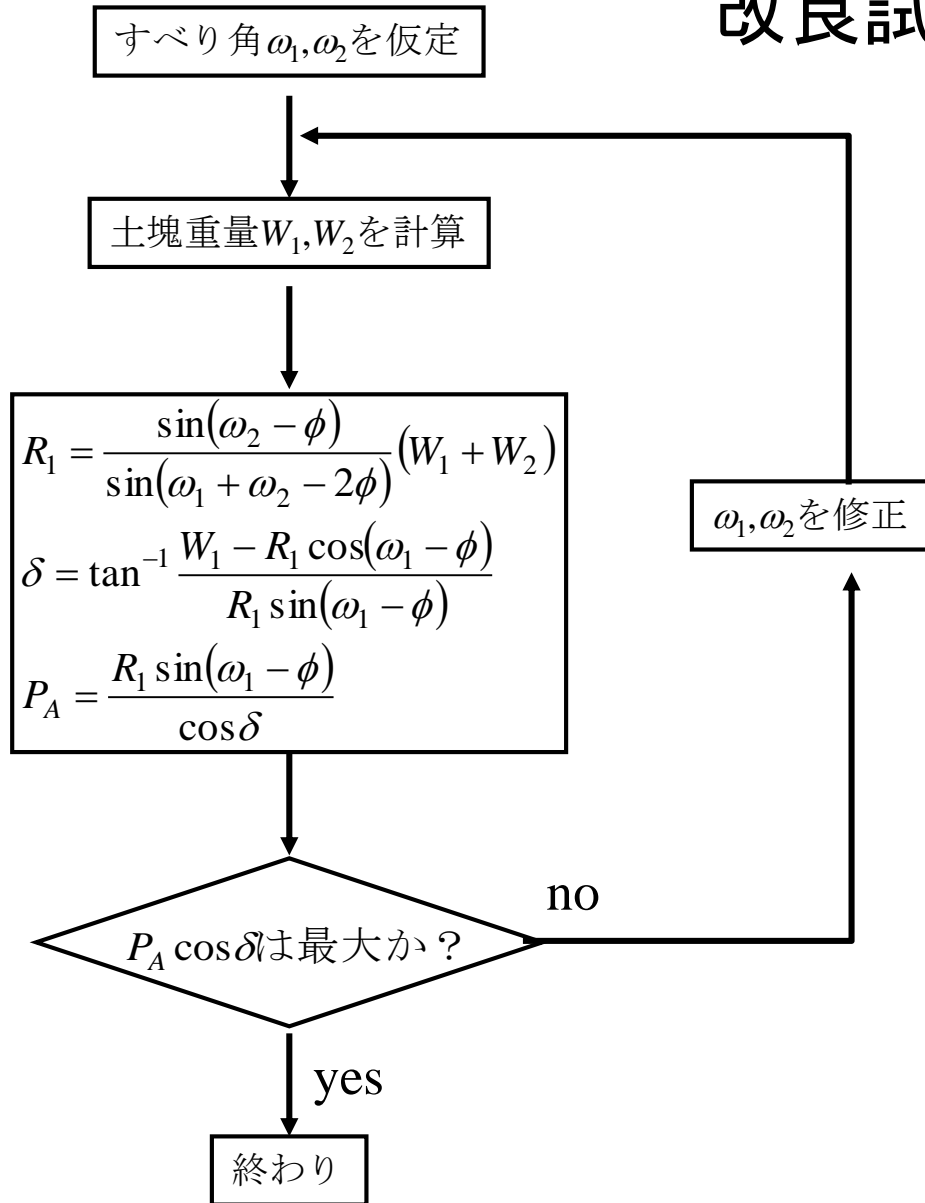
速度場①  $W_1 V_1 \sin \Omega_1 - P_H V_1 \cos \Omega_1 - P_V V_1 \sin \Omega_1 = 0$

速度場②  $W_2 V_2 \sin \Omega_2 - P_H V_2 \cos \Omega_2 + P_V V_2 \sin \Omega_2 = 0$

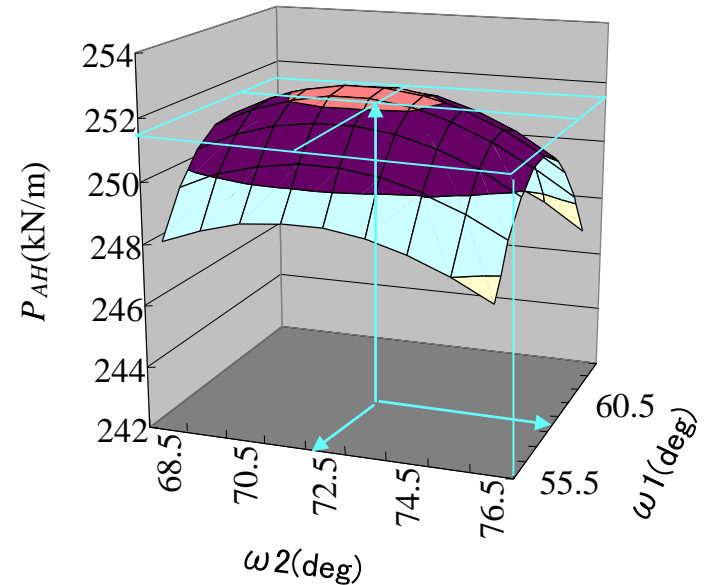
連立方程式を解く

$$P_H = \frac{\sin \Omega_1 \sin \Omega_2}{\sin(\Omega_1 + \Omega_2)} (W_1 + W_2) = \frac{\sin(\omega_1 - \phi) \sin(\omega_2 - \phi)}{\sin(\omega_1 + \omega_2 - 2\phi)} (W_1 + W_2)$$

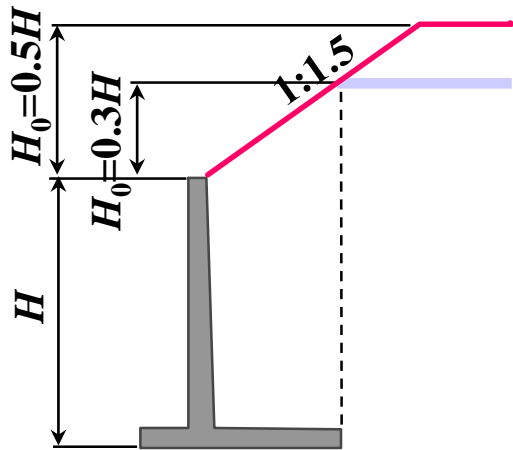
# 改良試行くさび法(その3)



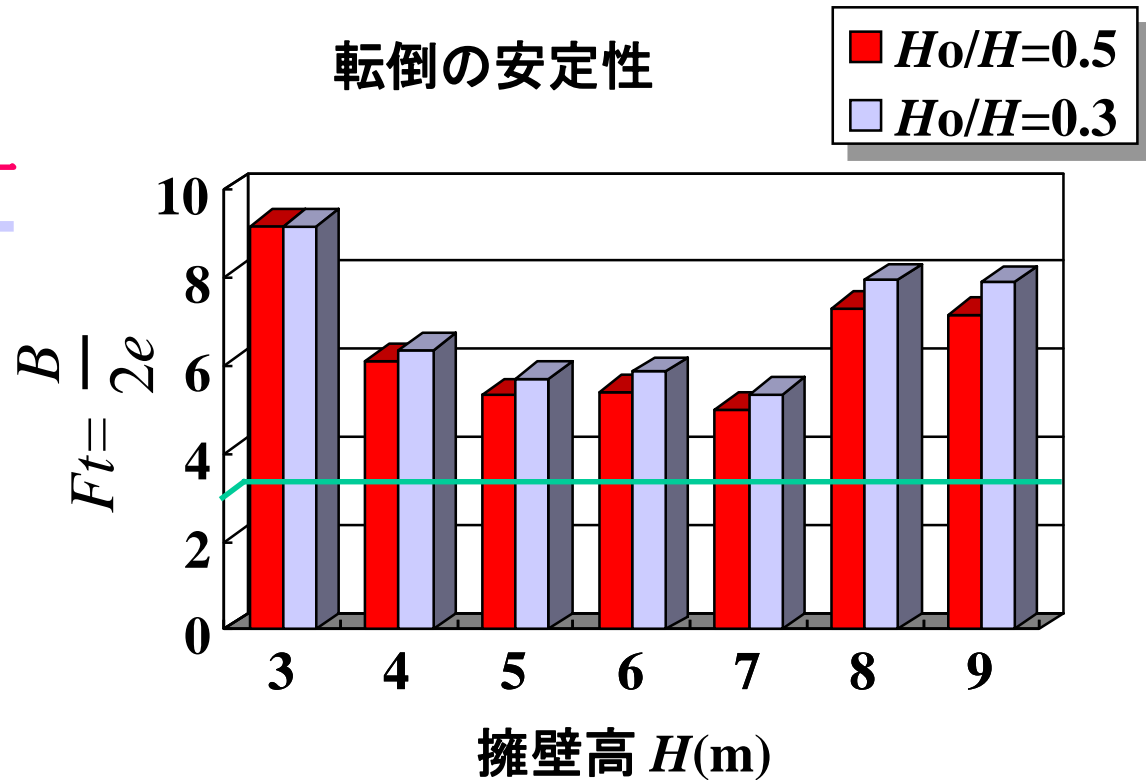
$\omega_1$  と  $\omega_2$  を変化させて計算し  
 $P_A \cos \delta$  の最大値を探索



# 建設省制定標準設計図集の照査 (改良試行くさび法)



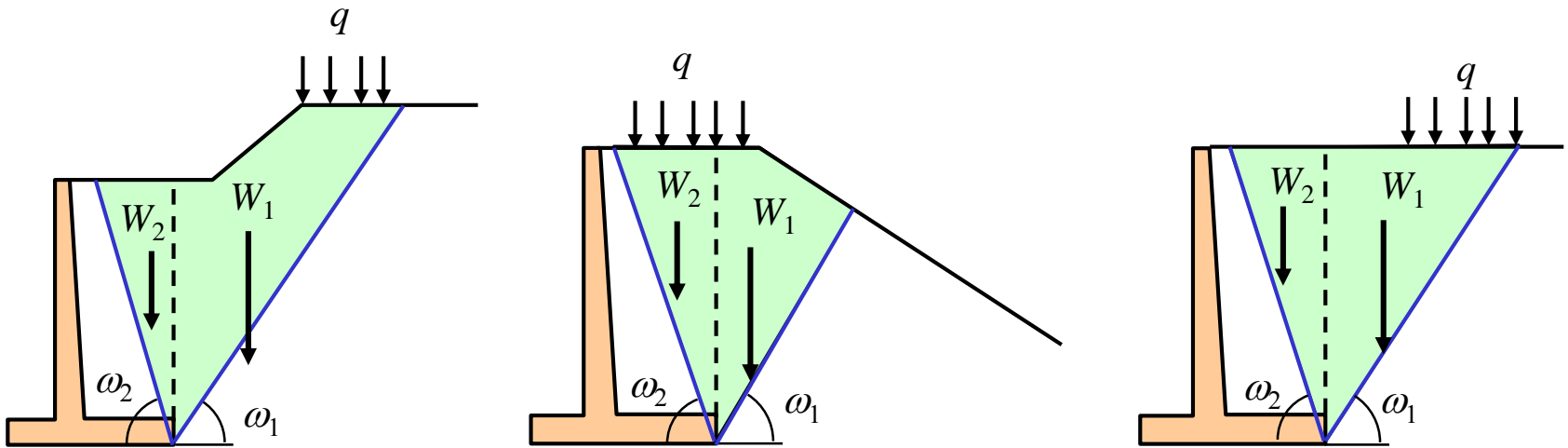
転倒の安定性





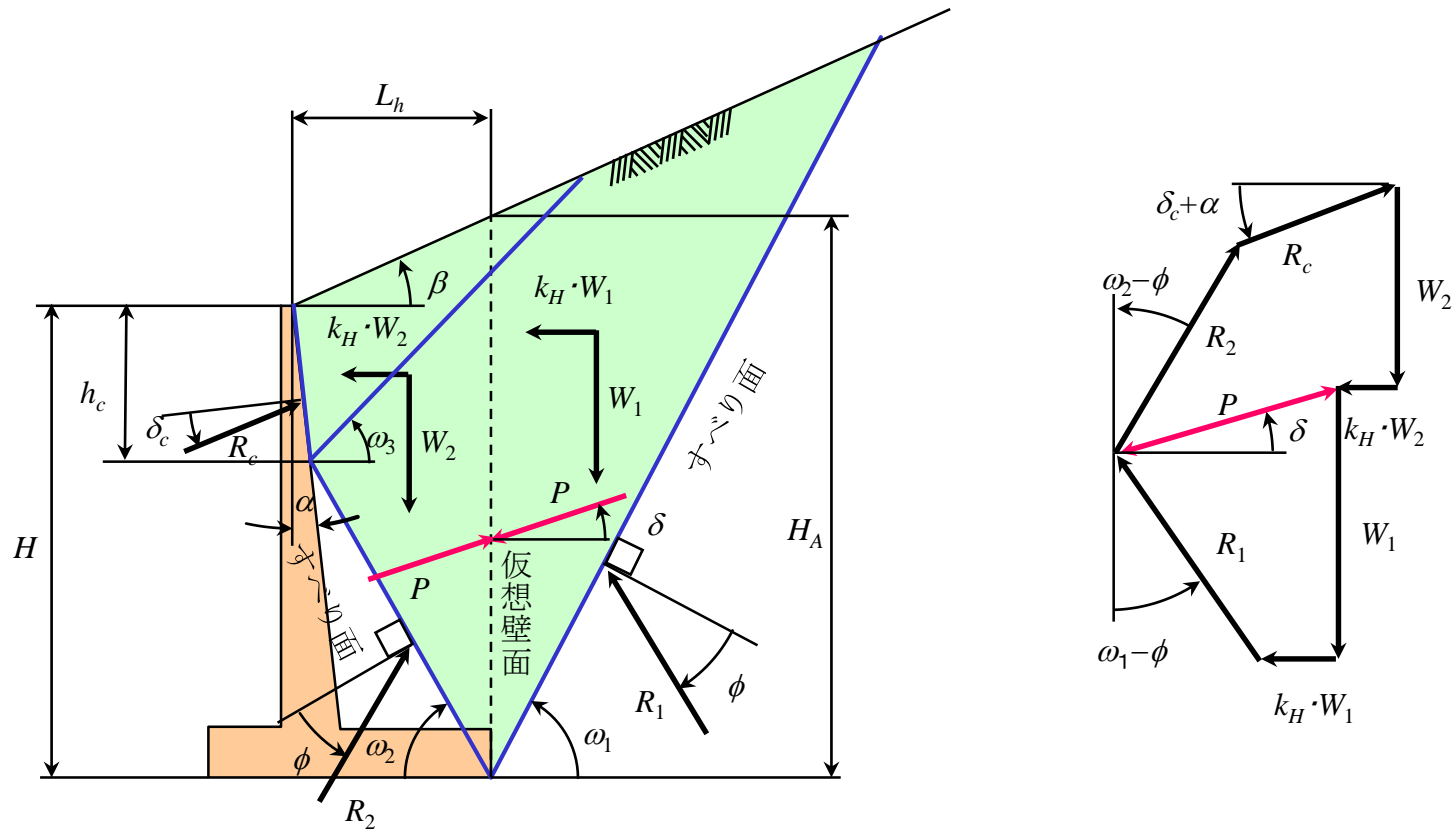
# 改良試行くさび法はどんな問題でも解ける

壁面摩擦角 $\delta$ (土圧傾斜角)は, 計算で求まる

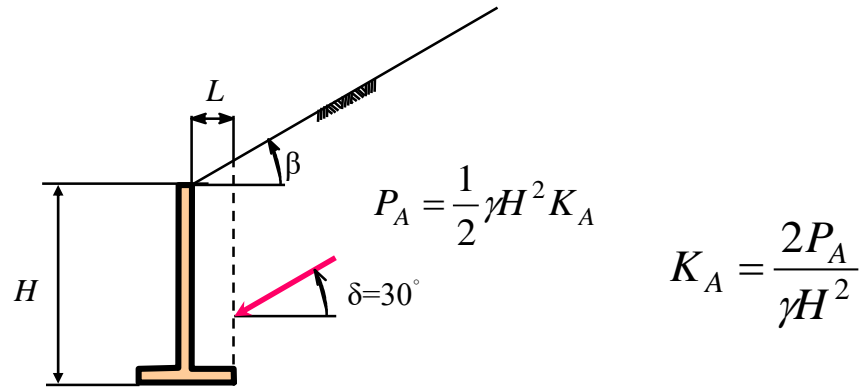


# 改良試行くさび法の一般式

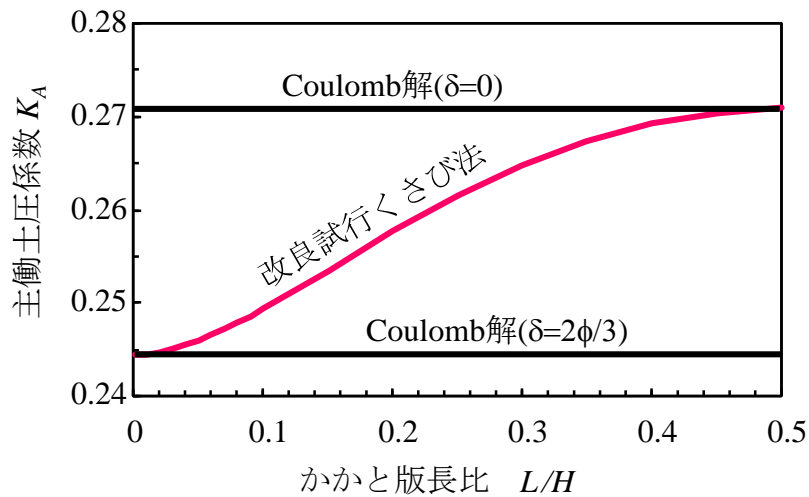
かかと版が短いと、すべり面がたて壁に当たって折れ曲がる。  
 $R_c$ は $h_c$ 区間に作用する土圧でありクーロン式で求める。  
 $\omega_2$ によって $h_c$ の長さが増減することに注意



# かかとと版の長さを考慮した解析

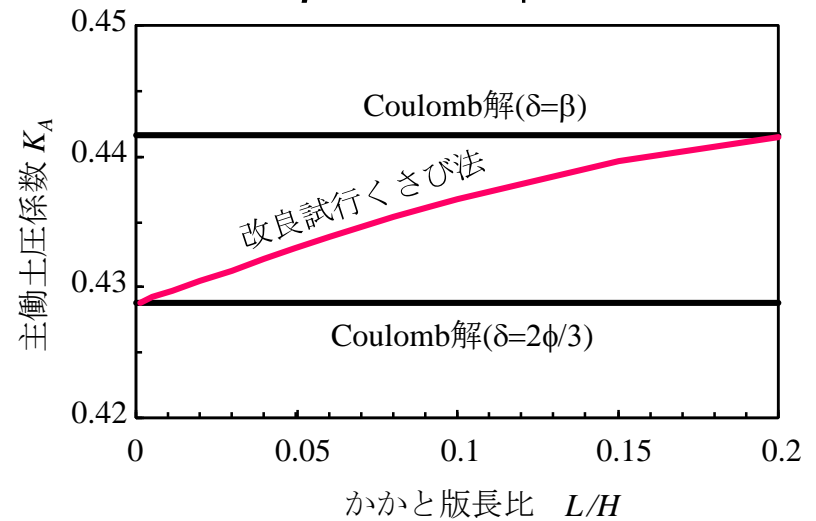


$\beta=0, \phi=35^\circ$



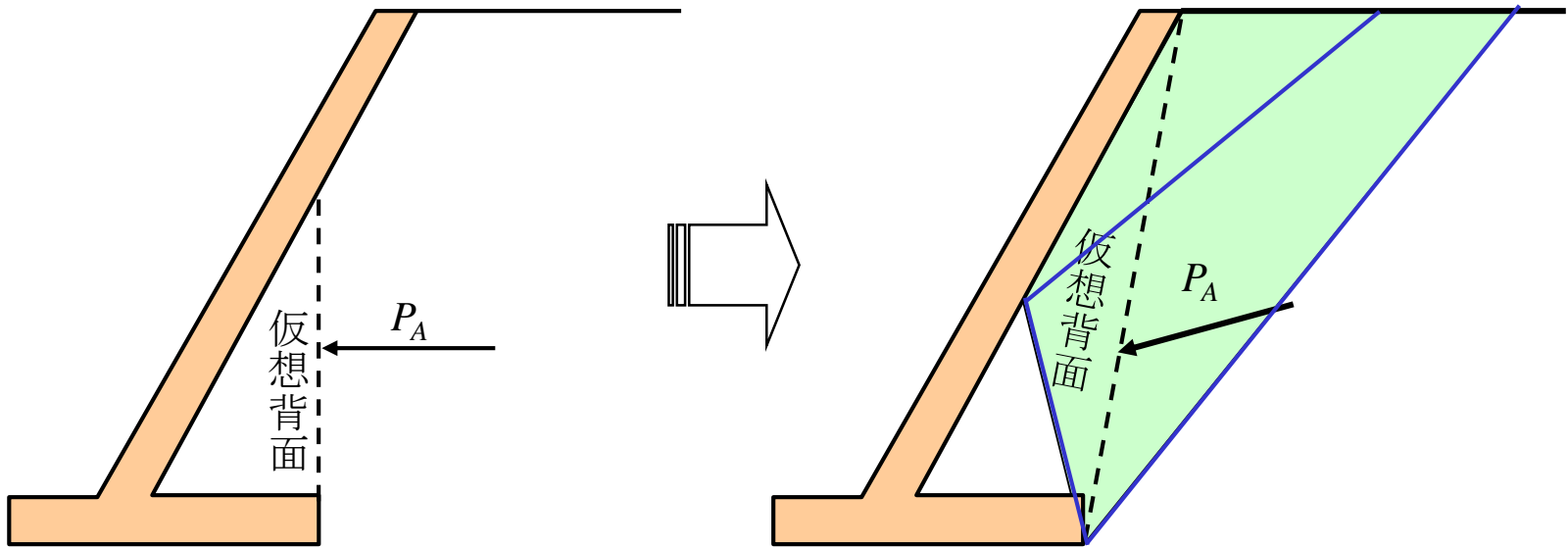
(a)盛土面が水平な場合

$\beta=30^\circ, \phi=35^\circ$



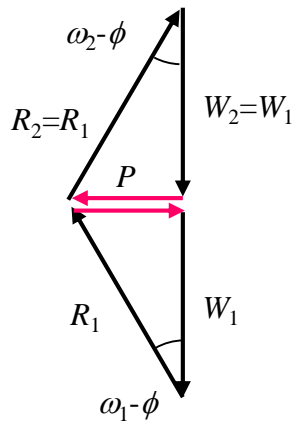
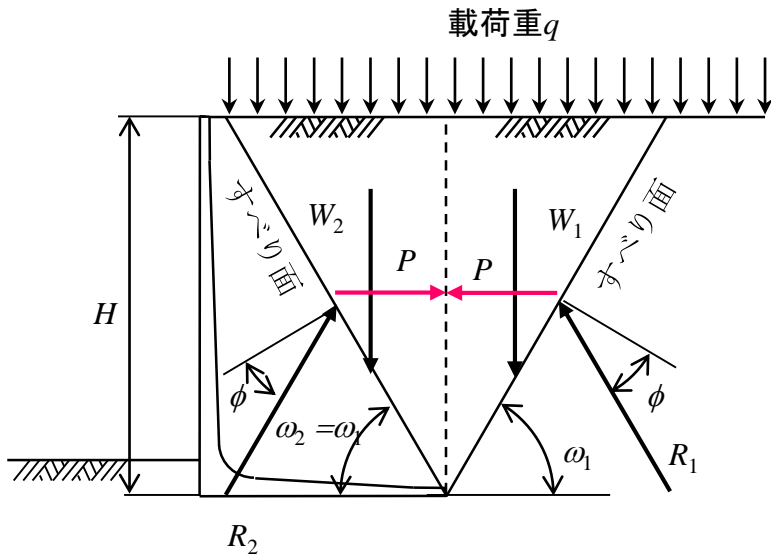
(b)盛土面が傾斜している場合 ( $\beta=30^\circ$ )

# 壁面が傾斜したかかと版の短い擁壁

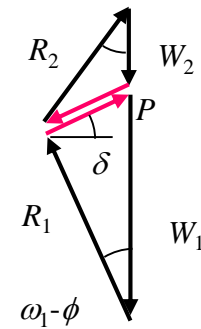
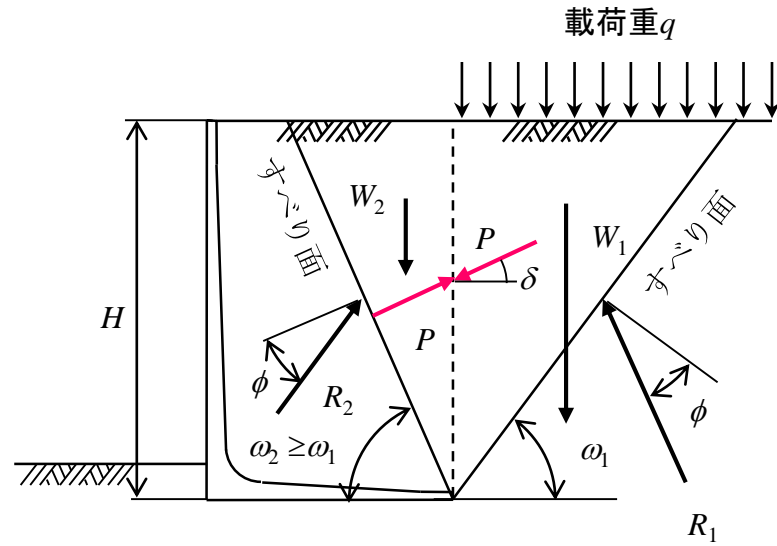


仮想背面を鉛直に限定する必要性はない

# 部分载荷時に試行くさび法は適用できない

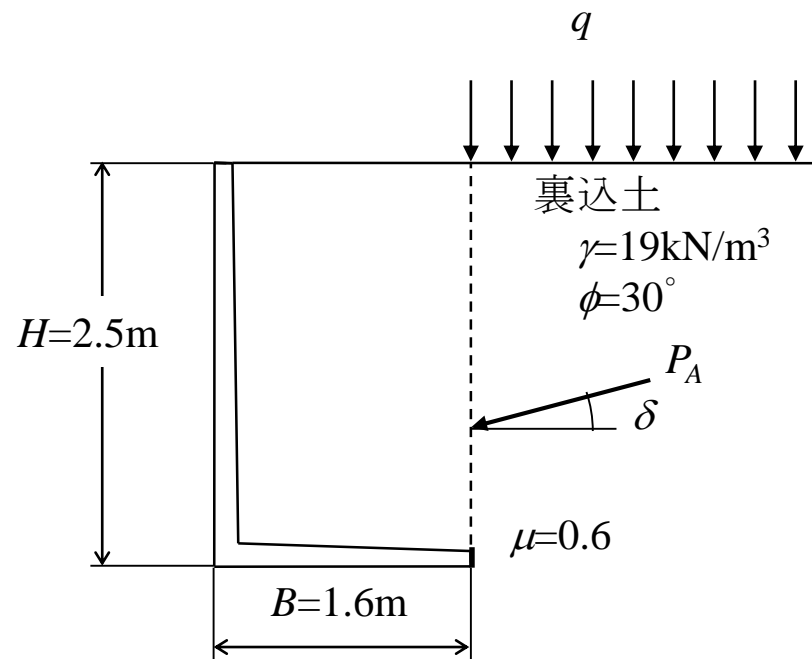
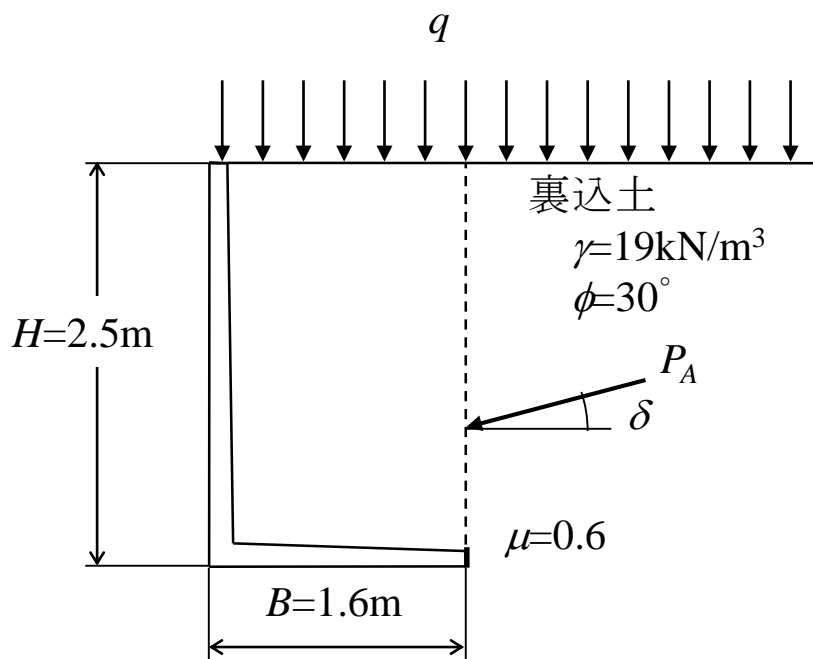


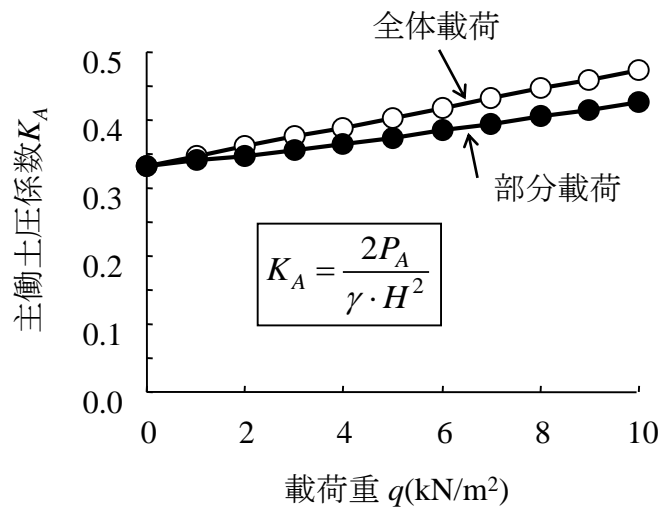
(a) 载荷重満載



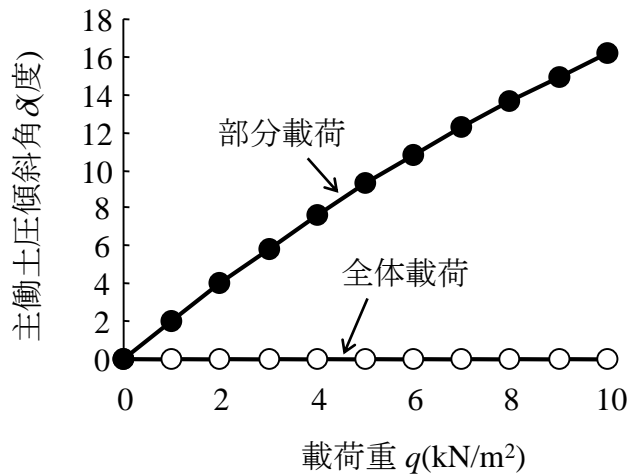
(b) 载荷重後方载荷

# 載荷重を考慮した改良試行くさび法による安定計算結果

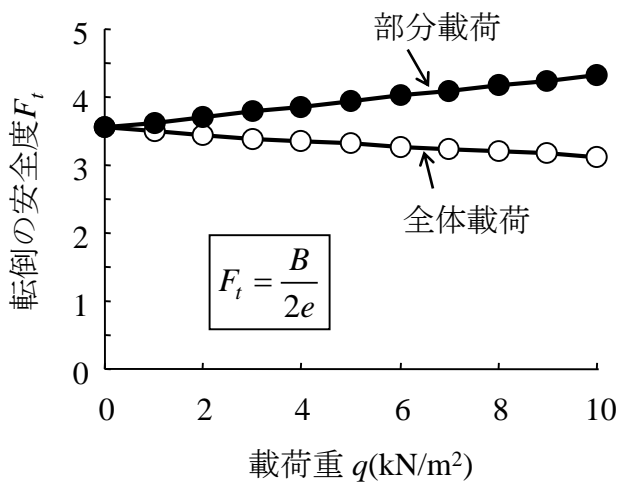




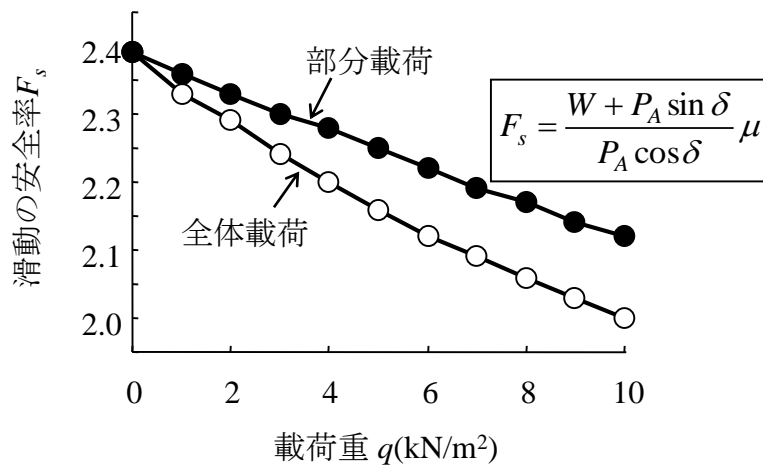
(a)主働土圧係数



(b)主働土圧傾斜角

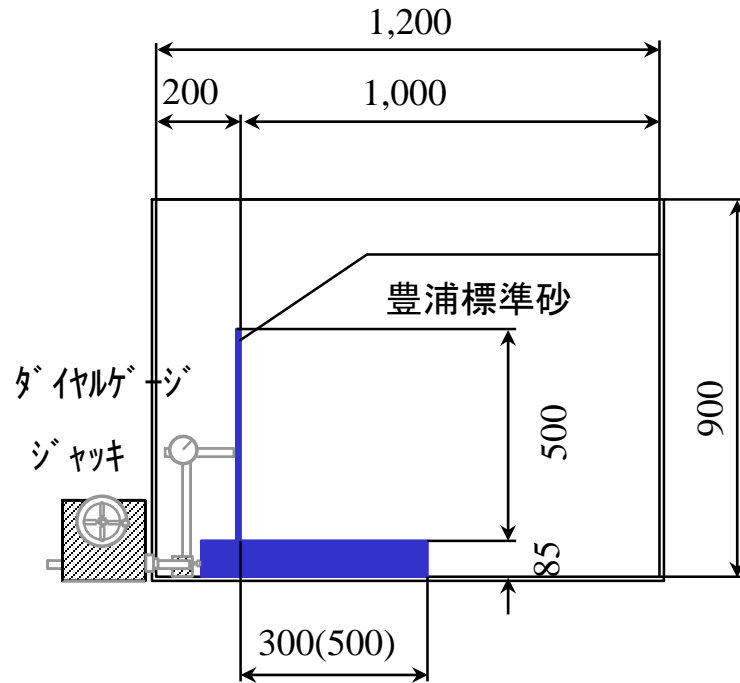


(c)転倒の安定度



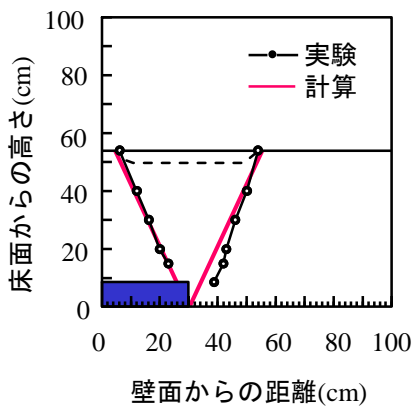
(d)滑動の安全率

# すべり面に関する模型実験(愛媛大学八木研究室)

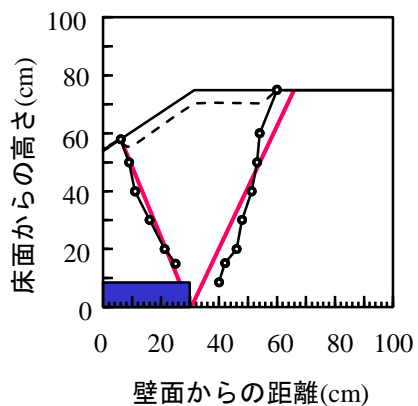




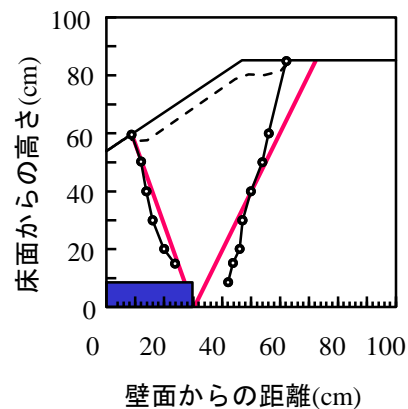
# 主働すべり面の実験結果



(a) 嵩上げ高さ 0cm

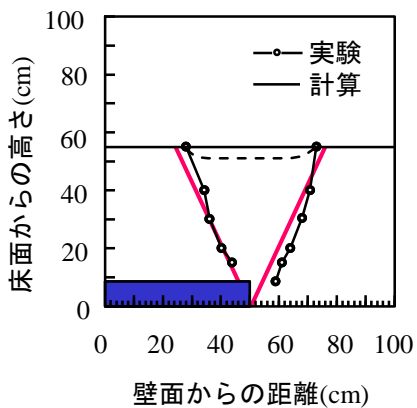


(b) 嵩上げ高さ 20cm

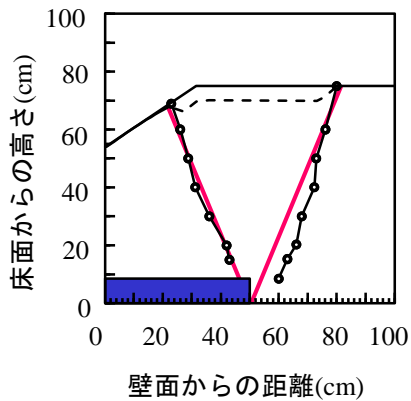


(c) 嵩上げ高さ 29cm

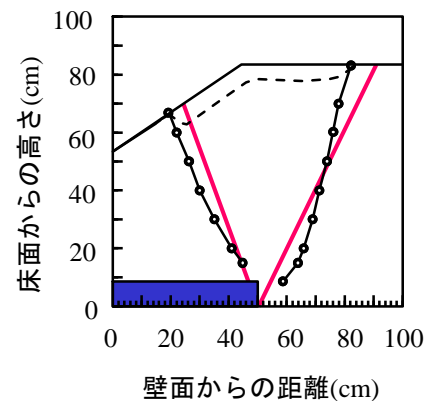
## TYPE-1の実験



(a) 嵩上げ高さ 0cm



(b) 嵩上げ高さ 20cm

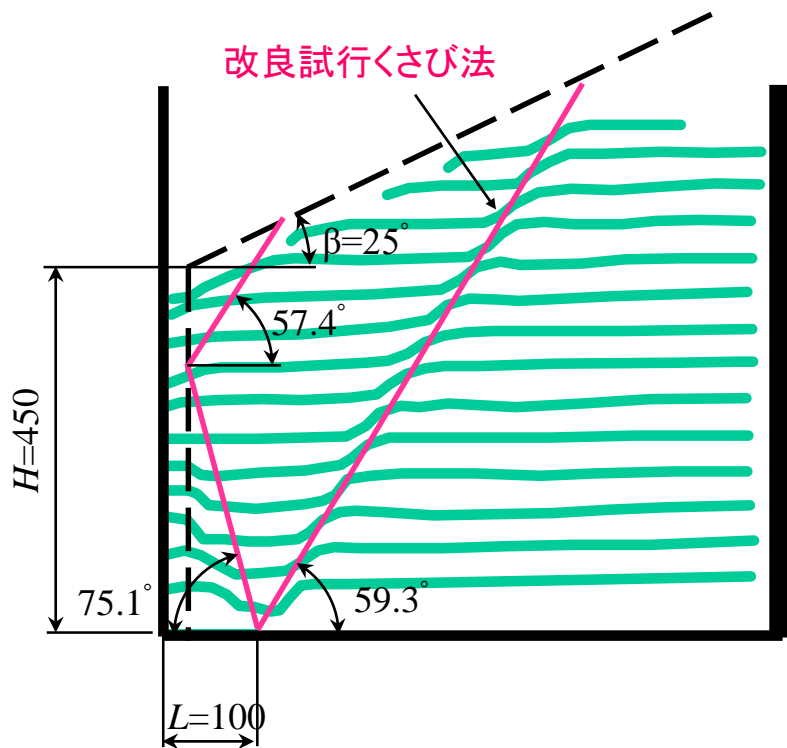


(c) 嵩上げ高さ 29cm

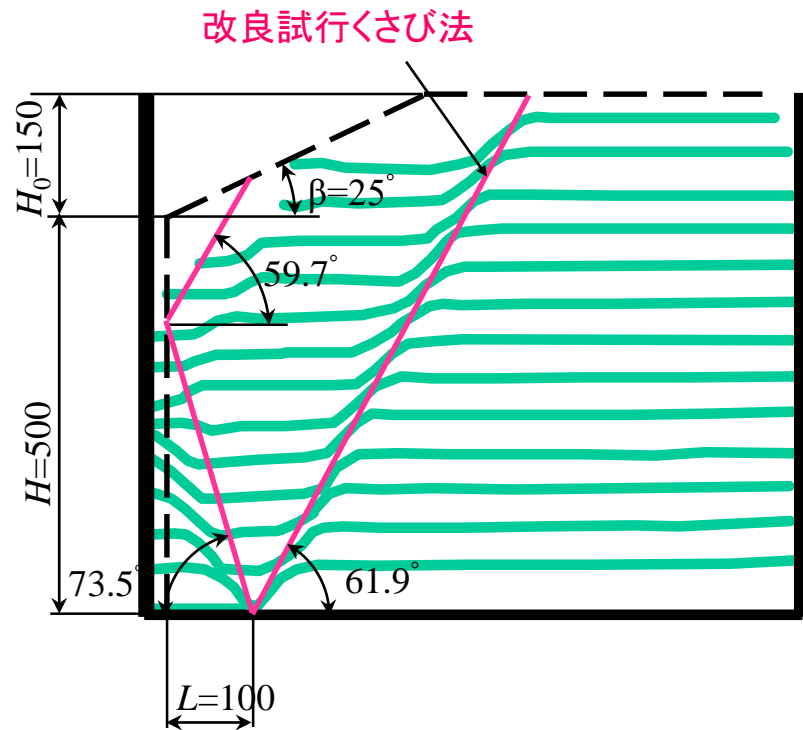
## TYPE-2の実験

# 安蔵善之輔による模型実験

L形式擁壁に及ぼす土圧に就いて  
九州帝国大学工学部紀要(1934)



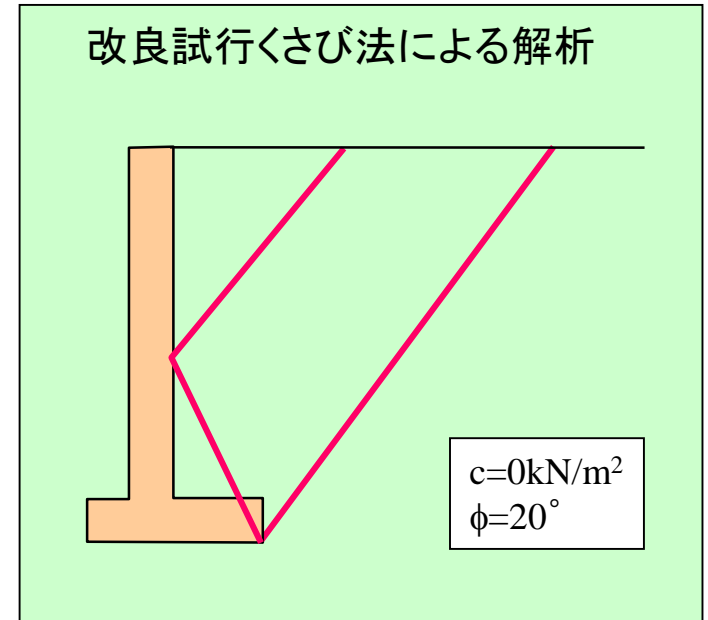
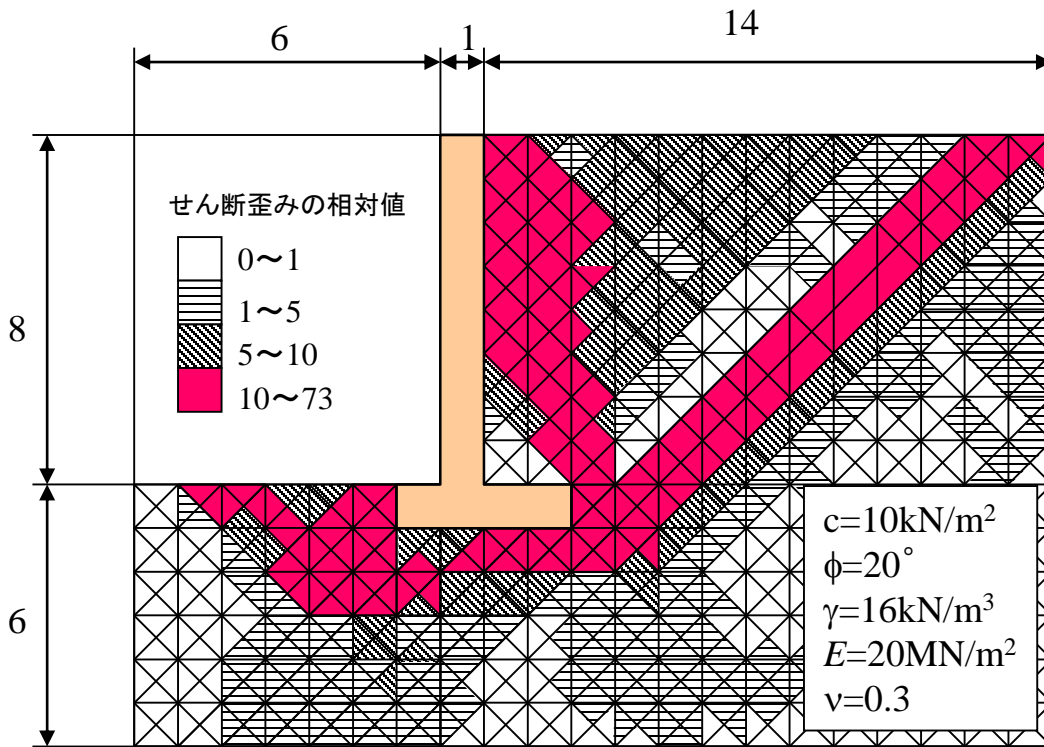
(a) Sand Paper Wall ( $\phi=42^\circ$ ,  $\delta=42^\circ$ )



(b) Glass Wall ( $\phi=42^\circ$ ,  $\delta=16^\circ$ )

# FEMによる解析

安定解析におけるせん断強度低減法の有用性  
土と基礎 (鵜飼; 土と基礎, 1990.1)



# L型擁壁と背面地盤の挙動に関する 実験と有限要素解析

東京大学大学院 田中忠次  
○明治大学大学院 今田美幸

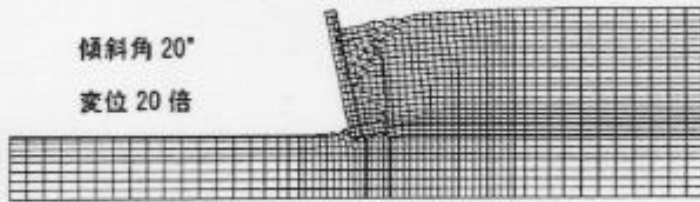


Fig. 6 L-TYPE3の破壊形状

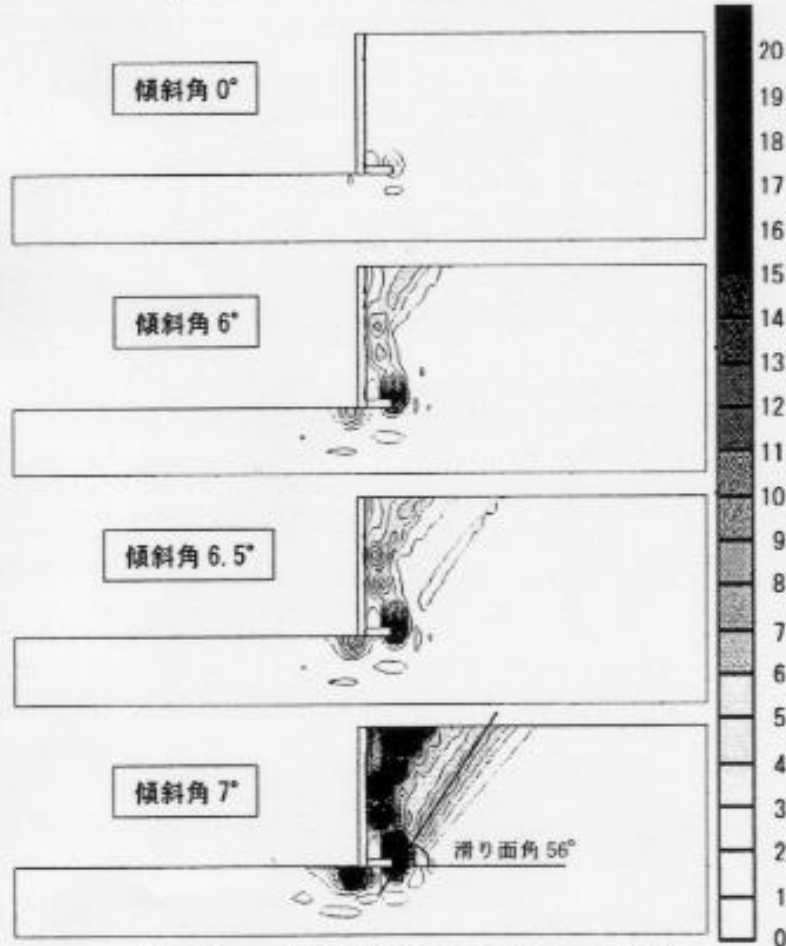
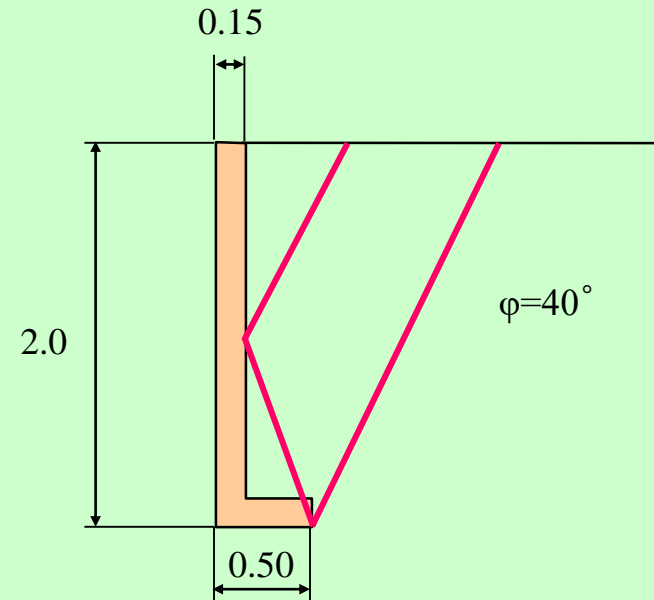


Fig. 7 せん断ひずみコンター (%)

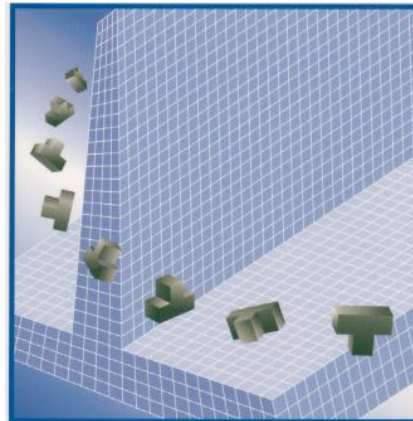
## 改良試行くさび法による解析



# 土木構造物設計ガイドライン

## 土木構造物設計マニュアル(案) [土構造物・橋梁編]

土木構造物設計マニュアル(案)に係わる設計・施工の手引き(案)  
[ボックスカルバート・擁壁編]



監修 建設大臣官房技術調査室  
建設省土木研究所

平成11年11月

社団法人 全日本建設技術協会

# 土研修正案

$$= \frac{223.3 \times \sin(62^\circ - 35^\circ)}{\cos(62^\circ - 35^\circ - 0 - 0)} = 113.8 \text{ kN}$$

$$P_h = P_a \cdot \cos \delta = 113.8 \text{ kN}$$

$$P_v = P_a \cdot \sin \delta = 0$$

ここに、

$W$ : 土くさびの重量 (載荷重を含む) (kN)

$\phi$ : 裏込め土の内部摩擦角

$\delta$ : 壁面摩擦角 ( $= \beta = 0$ )

$j$ : 仮想背面と土圧作用面とのなす角

$P_h$ : 水平土圧合力 (kN)

$P_v$ : 鉛直土圧合力 (kN)

追加

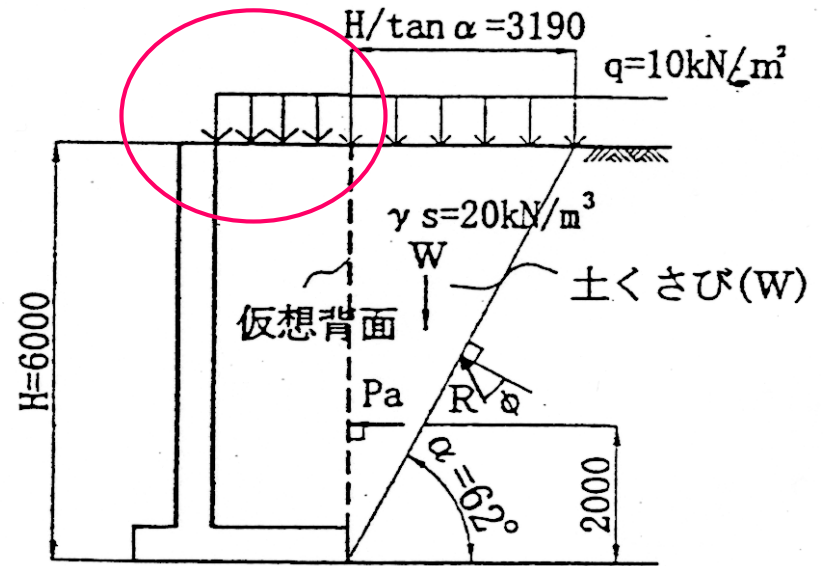


図-3.2.4 土圧の算定

### 3.2.3.3 荷重の総括

以上の結果を基に、安定性を検討するための鉛直力、水平力及びモーメントの総括を表-3.2.2に示す。ここで、部分載荷時における主働土圧合力として、載荷重を満載した状態の値を用いた。 追加

表-3.2.2 (a) 自重+載荷重+土圧 (常時) 載荷重満載

荷重区分	鉛直力 $V(\text{kN})$	アーム $x(\text{m})$	抵抗モーメント $M_r(\text{kN}\cdot\text{m})$	水平力 $H(\text{kN})$	アーム $y(\text{m})$	転倒モーメント $M_o(\text{kN}\cdot\text{m})$
自重	313.2	-	541.0	-	-	-
載荷重	19.0	2.05	39.0	-	-	-
土圧	<u>0.0</u>	3.00	0.0	<u>113.8</u>	2.00	227.6
合計	332.2	-	580.0	113.8	-	227.6

表-3.2.2 (b) 自重+土圧 (常時) 載荷重後方部分載荷

荷重区分	鉛直力 $V(\text{kN})$	アーム $x(\text{m})$	抵抗モーメント $M_r(\text{kN}\cdot\text{m})$	水平力 $H(\text{kN})$	アーム $y(\text{m})$	転倒モーメント $M_o(\text{kN}\cdot\text{m})$
自重	313.2	-	541.0	-	-	-
土圧	<u>0.0</u>	3.00	0.0	<u>113.8</u>	2.00	227.6
合計	313.2	-	541.0	113.8	-	227.6

15.5が正解

105.9が正解

# 土圧計算法の適用

