

平成21年度 徳島地盤工学会 第2回特別講演会

擁壁の設計法と土圧理論

平成21年12月11日
徳島大学工学部建設工学科A303

(株)第一コンサルタンツ
右城 猛

擁壁設計に関する私の経歴

S52年(27歳) 短期大学部土木工学科卒
S57年(32歳) 多度津工業高校の渡辺淳先生から擁壁設計法の講義を依頼され、講義用テキストを執筆。
S61年(36歳) 藤川昌幸氏(現・四国地整企画部防災対策官)から道路土工指針の執筆の裏話を聞く
H1年(39歳) 「新道路土工指針による擁壁の設計法と計算例」を理工図書より出版
H3年(41歳) 大型逆T型擁壁の標準設計図集の作成業務で改良試行くさび法を提案
H7年(45歳) 「誰も教えてくれなかった疑問に答える擁壁設計Q&A」(FD付き)を出版
H9年(47歳) 論文「剛性擁壁の合理的な土圧評価法と落石の運動に関する研究」に対して愛大から博士号を授与
H10年(48歳) 「新・擁壁の設計法と計算例」「続・擁壁の設計法と計算例」を出版
H10年(48歳) 「大型ブロック積み擁壁設計・施工マニュアル」を土木学会四国支部から発刊
その後、擁壁設計Q&A撰集、Excelによる擁壁設計などを出版



渡辺淳先生(S36卒)

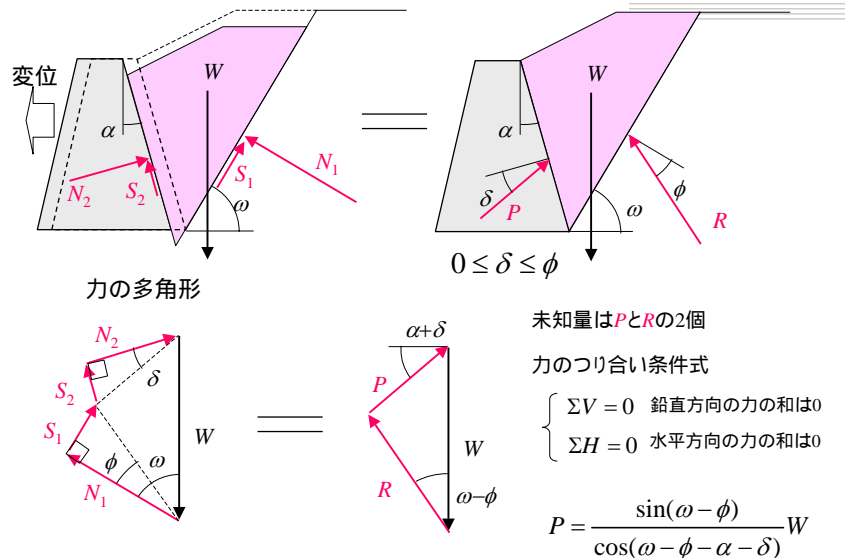


藤川昌幸氏(S54年院修了)

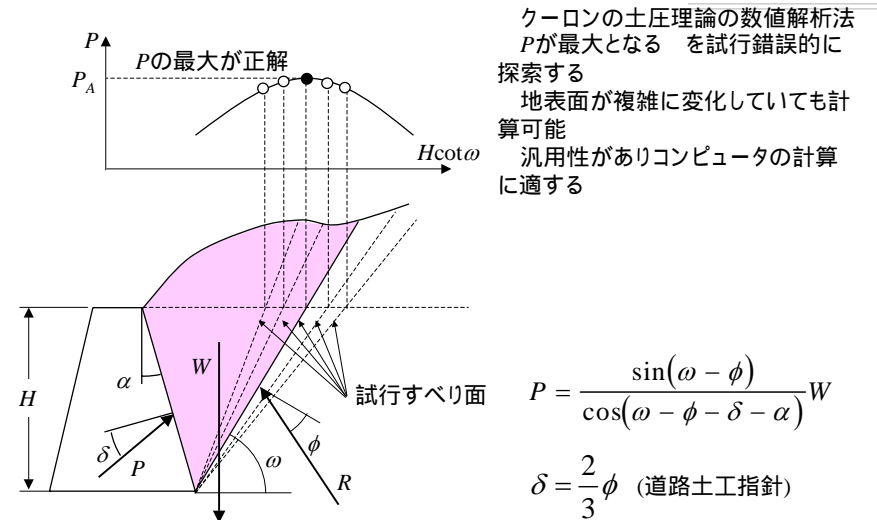


著書

クーロンの土圧理論 (1)

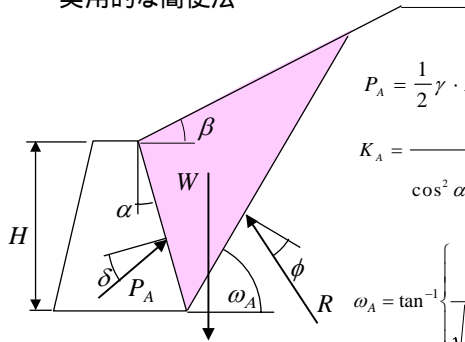
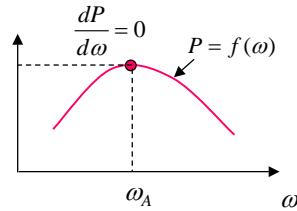


試行くさび法



クーロン式(ミュラーブレスロー式)

地表面が一様勾配の場合に適用可
微分法による解析解
試行錯誤的な計算は不要
>0, <0であるとするべり面は厳密には曲線になる。
実用的な簡便法

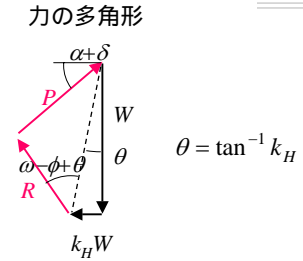
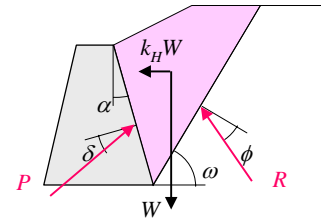


$$P_A = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_A$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

$$\omega_A = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos(\phi + \delta + \alpha - \beta)}{\sqrt{\frac{\cos(\alpha + \delta) \sin(\phi + \delta)}{\cos(\alpha - \beta) \sin(\phi - \beta)} - \sin(\phi + \delta + \alpha - \beta)}} \right\} + \beta$$

物部・岡部法(震度法)



未知量はPとRの2個

力のつり合い条件式

$$\begin{cases} \sum V = 0 & W - R \cos(\omega - \phi) - P \sin(\alpha + \delta) = 0 \\ \sum H = 0 & W \tan \theta + R \sin(\omega - \phi) - P \cos(\alpha + \delta) = 0 \end{cases}$$

2つの式を連立させて解くと

$$P = \frac{\sin(\omega - \phi) + \tan \theta \cos(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)} W$$

物部・岡部式(ミュラーブレスロー式を地震時に拡張)

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_A$$

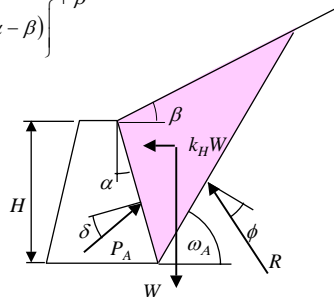
$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta + \theta) \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\alpha + \delta + \theta) \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

$$\omega_A = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos(\phi + \delta + \alpha - \beta)}{\sqrt{\frac{\cos(\alpha + \delta + \theta) \sin(\phi + \delta)}{\cos(\alpha - \beta) \sin(\phi - \beta - \theta)} - \sin(\phi + \delta + \alpha - \beta)}} \right\} + \beta$$

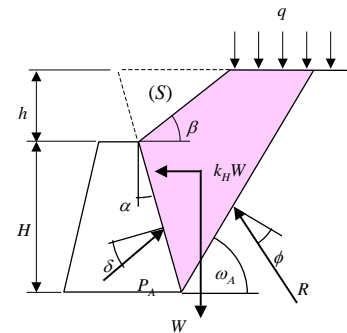
$$\theta = \tan^{-1} k_H$$

$$\delta = \frac{\phi}{2}$$

$k_H = \tan \phi$ で土圧は無限大になる



中畑・右城式(すべり面が盛土の肩の後方)



$$P_A = \frac{W_a \sin(\phi - \theta)}{\cos \theta \cos \psi} \left\{ \sqrt{\tan \psi + \cot(\phi - \theta)} - \sqrt{\tan \psi - \eta} \right\}^2$$

$$\psi = \phi + \alpha + \delta$$

$$\eta = \tan \alpha - \frac{W_b}{W_a}$$

$$\theta = \tan^{-1} k_H$$

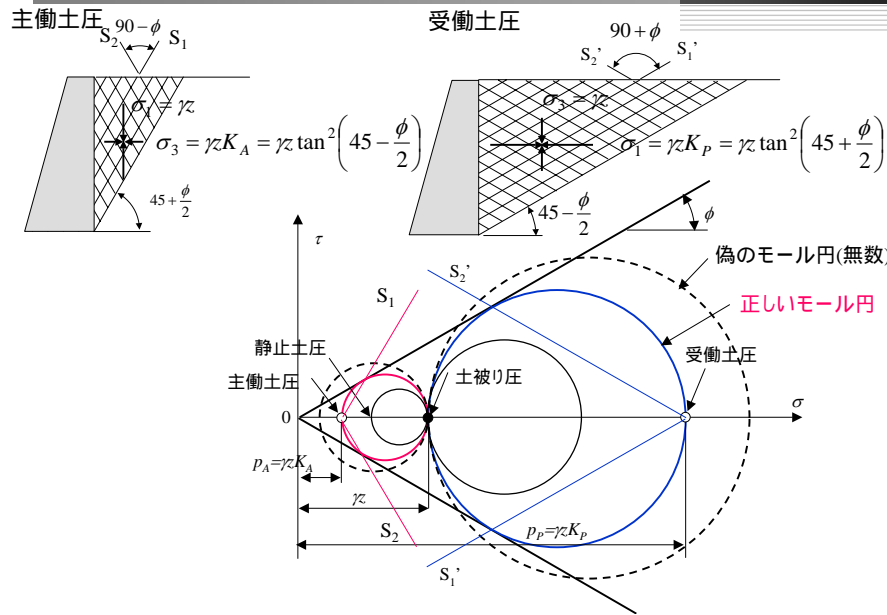
$$W_a = \frac{\gamma}{2} (H + h)^2 + q(H + h)$$

$$W_b = S\gamma = \frac{\gamma}{2} h \left(h + \frac{2q}{\gamma} \right) (\tan \alpha + \cot \beta)$$

$$\omega_A = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{\{\tan \psi + \cot(\phi - \theta)\}(\tan \psi - \eta)} - \tan \psi}$$

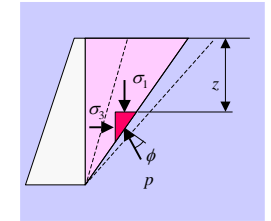
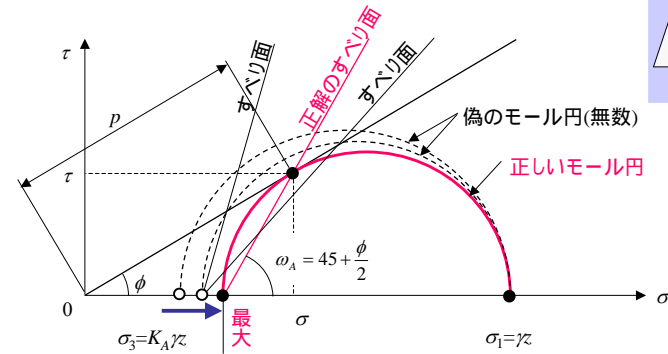
盛土形状が台形の場合に適用可
微分法による解析解
試行錯誤的な計算は不要
すべり面は厳密には曲線になる。
実用的な簡便法
中畑式を右城が地震時に拡張

ランキンの土圧理論(力学的矛盾がない)

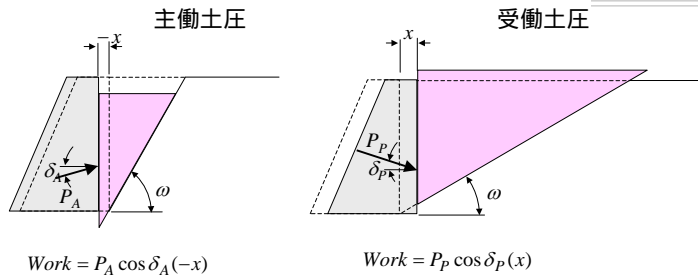


主働土圧を最大化する力学的意味 その1

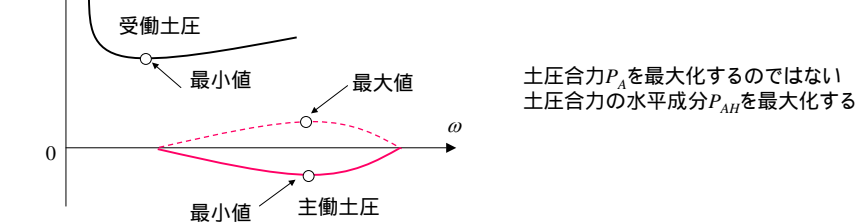
モール・クーロンの破壊基準を満たすすべり面を探索



主働土圧を最大化する力学的意味 その2

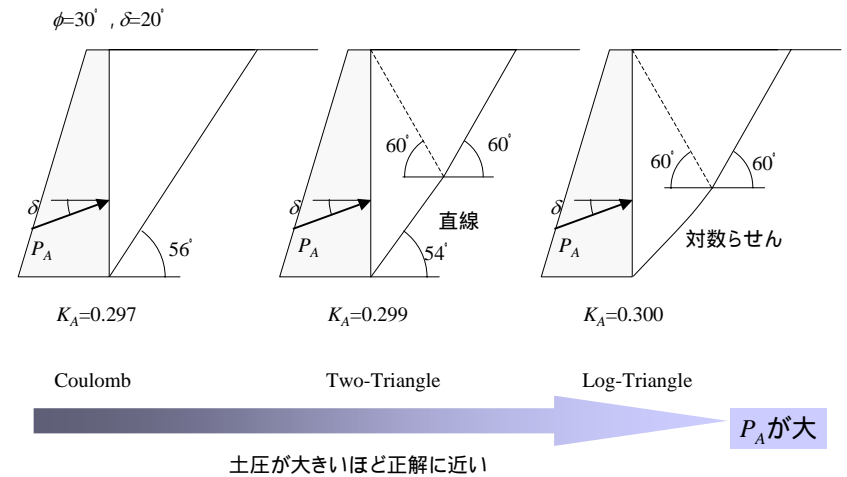


仕事を最小化するすべり面を探索



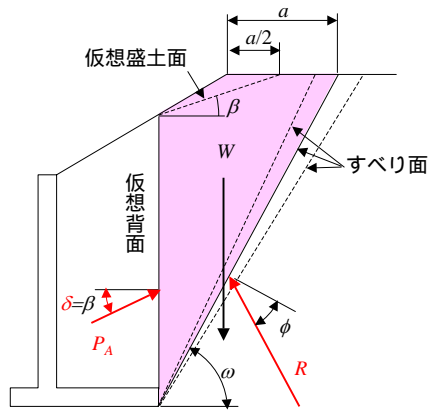
土圧を最大とするすべり面がより正解に近い

主働土圧はすべり面を直線と仮定しても誤差は小さい

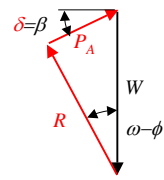


片持ち式擁壁の仮想背面に作用する土圧

道路土工 - 擁壁工指針による土圧計算法(試行くさび法)



力の多角形



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

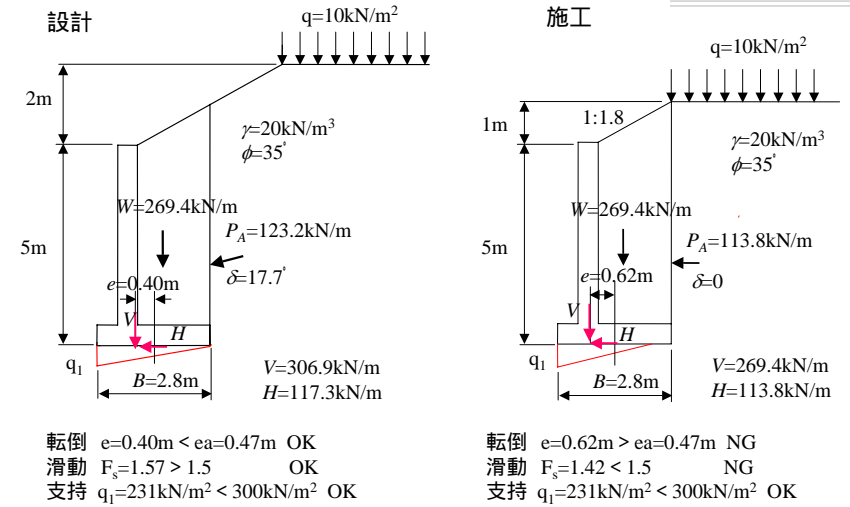
未知量 P_A, R, δ

条件式 $\Sigma V = 0, \Sigma H = 0$

条件式が1個不足
土圧を求められない

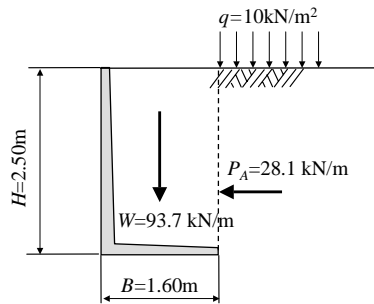
仮想盛土面
= と仮定

盛土高を低くするとNGとなるか



プレキャストL型擁壁のたて壁をカットしたらNG

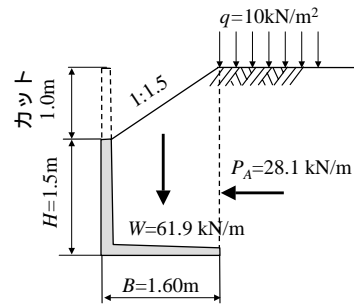
標準規格品



偏心量 $e = 0.26 < \frac{B}{6} = 0.27$ O.K

滑動安全率 $F_s = \frac{W \cdot \mu}{P_A} = 2.0 > 1.5$ O.K

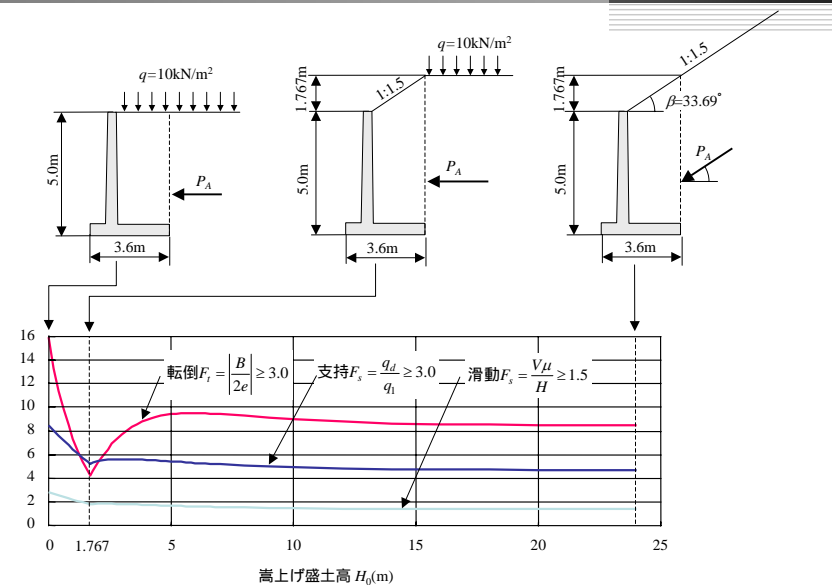
施工



$e = 0.32 > \frac{B}{6} = 0.27$ NG

$F_s = \frac{W \cdot \mu}{P_A} = 1.3 > 1.5$ NG

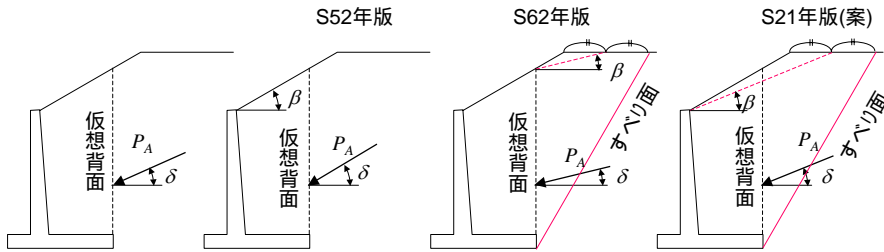
嵩上げ盛土高と安全率の関係(試行くさび法)



台形盛土のときの土圧作用方向

道路橋示方書

道路土工-擁壁工指針



常時 $\delta = \phi$
地震時 $\delta = \frac{\phi}{2}$

常時 $\delta = \beta$
地震時 $\delta = \tan^{-1} \frac{\sin \phi \sin(\theta + \Delta - \beta)}{1 - \sin \phi \sin(\theta + \Delta - \beta)}$
 $\Delta = \sin^{-1} \frac{\sin(\beta + \theta)}{\sin \phi}$
 $\theta = \tan^{-1} k_H$

ランキン理論

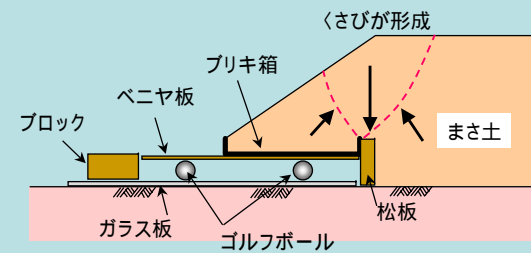
仮想背面に関する誤解

	かかと版が長い	かかと版が短い
現行設計		
実際		

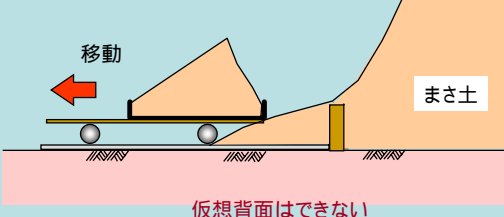
仮想背面はすべり面でない、土圧を算定する基準面。
かかと版の長短に関係なく仮想背面を設定できる。
かかと版が短いとすべり面が壁面に当たる。

土圧が作用することを実験で証明 1978年

会社の横の空き地で実験

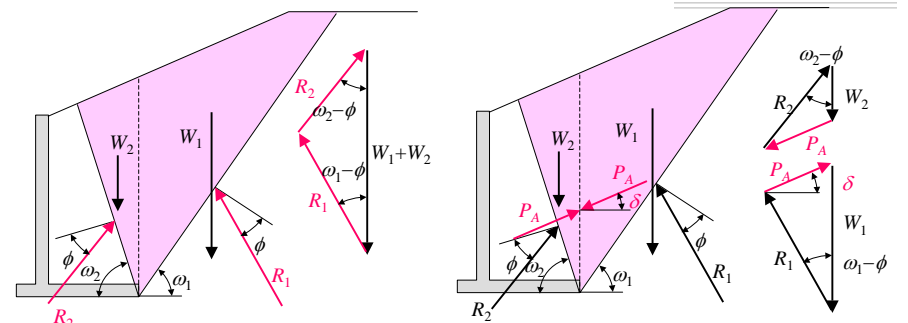


水平土圧が作用するため前方へ移動



新しい土圧理論「改良試行くさび法」に発展

改良試行くさび法



未知量 R_1, R_2

条件式 $\Sigma V = 0, \Sigma H = 0$

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

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

未知量 P_A, δ

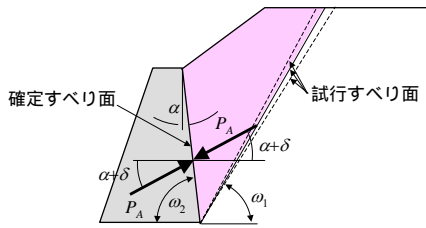
条件式 $\Sigma V = 0, \Sigma H = 0$

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

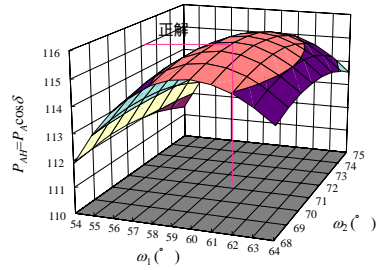
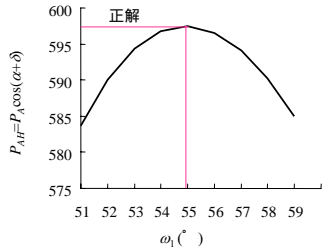
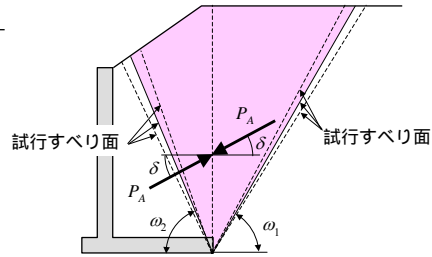
$$\delta = \tan^{-1} \frac{W_1 - R_1 \cos(\omega_1 - \phi)}{R_1 \sin(\omega_1 - \phi)}$$

試行くさび法と改良試行くさび法

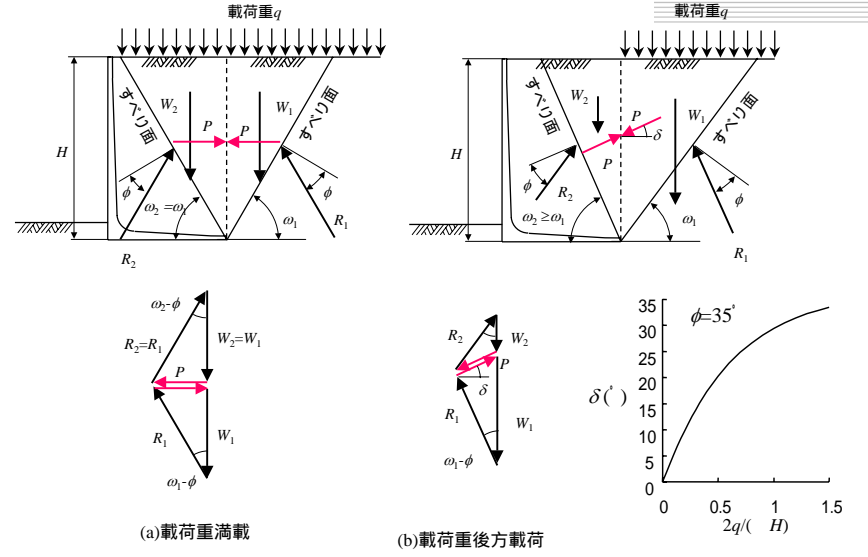
試行くさび法



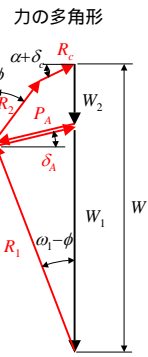
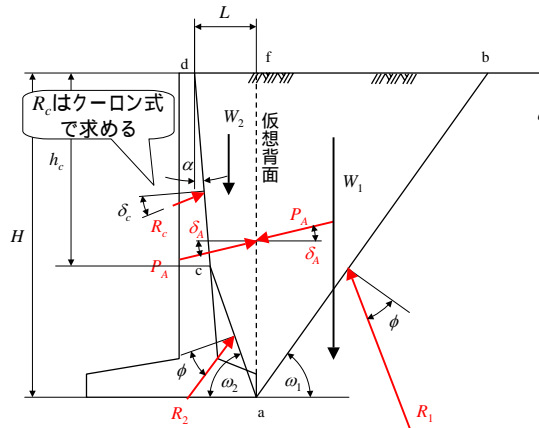
改良試行くさび法



部分載荷時に試行くさび法は適用できない



かかとと版が短い場合の土圧計算法

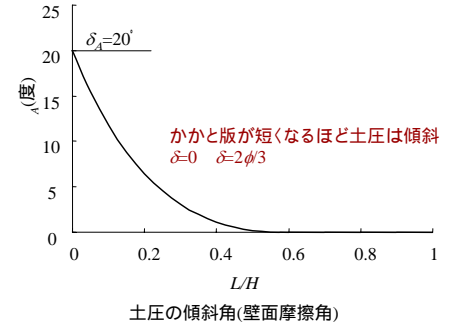
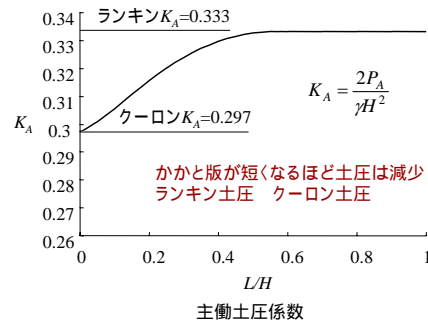
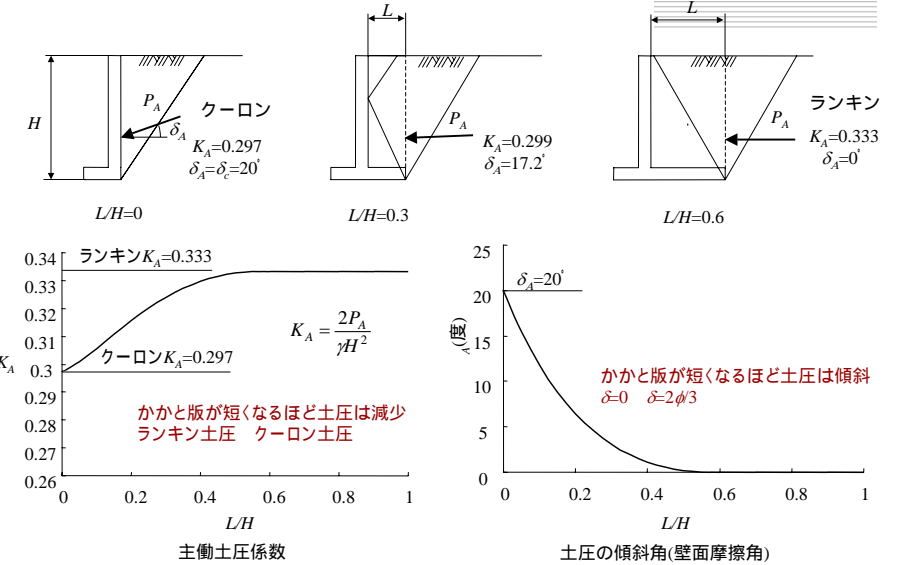


$$R_1 = \frac{(W_1 + W_2) \sin(\omega_2 - \phi) + R_c \cos(\omega_2 - \phi + \delta_c + \alpha)}{\sin(\omega_1 + \omega_2 - 2\phi)}$$

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

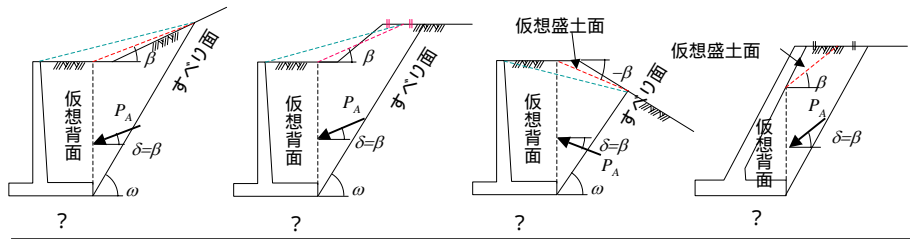
$$P_A = \frac{W_1 \tan \theta + R_1 \sin(\omega_1 - \phi)}{\cos \delta}$$

かかとと版長と土圧の関係

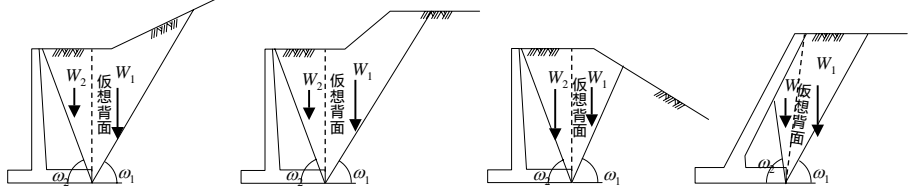


改良試行くさび法では盛土傾斜角は考えなくて良い

試行くさび法 (の取り方がわからない)



改良試行くさび法



盛土傾斜角 は考えなくてよい

仮想背面は鉛直でなくてもよい

土木構造物設計マニュアル(案) 平成11年

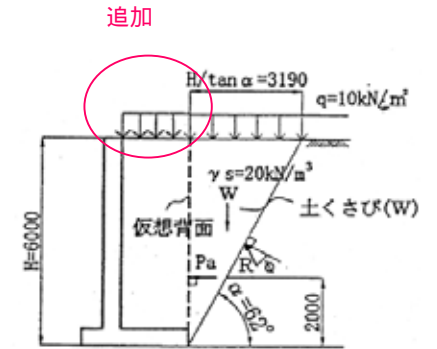
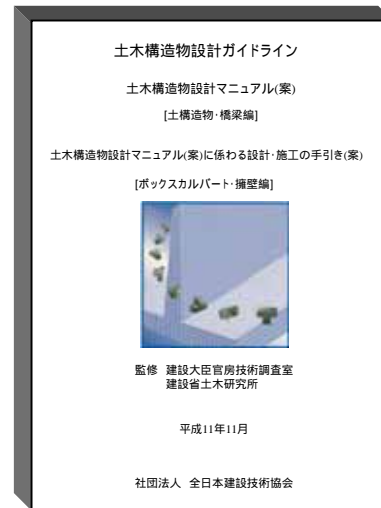


図-3.2.4 土圧の算定

土木研究所システム課と電話で協議

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(kN)	アーム x(m)	抵抗モーメント Mr(kN・m)	水平力 H(kN)	アーム y(m)	転倒モーメント Mo(kN・m)
自重	313.2	-	541.0	-	-	-
載荷重	19.0	2.05	39.0	-	-	-
土圧	0.0	3.00	0.0	113.8	2.00	227.6
合計	332.2	-	580.0	113.8	-	227.6

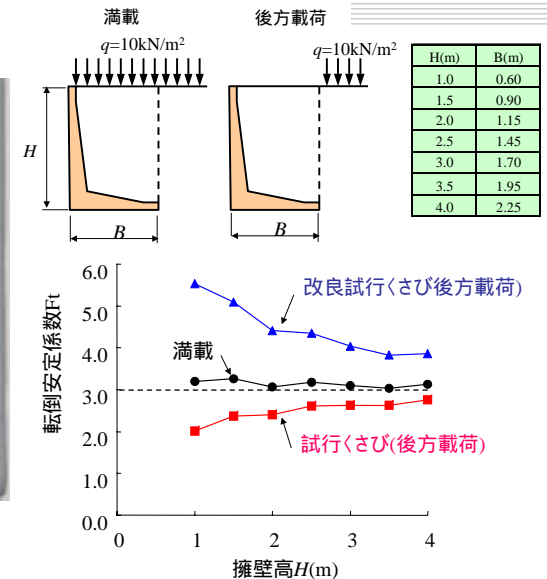
表-3.2.2 (b) 自重+土圧 (常時) 載荷重後方部分載荷

荷重区分	鉛直力 V(kN)	アーム x(m)	抵抗モーメント Mr(kN・m)	水平力 H(kN)	アーム y(m)	転倒モーメント Mo(kN・m)
自重	313.2	-	541.0	-	-	-
土圧	0.0	3.00	0.0	113.8	2.00	227.6
合計	313.2	-	541.0	113.8	-	227.6

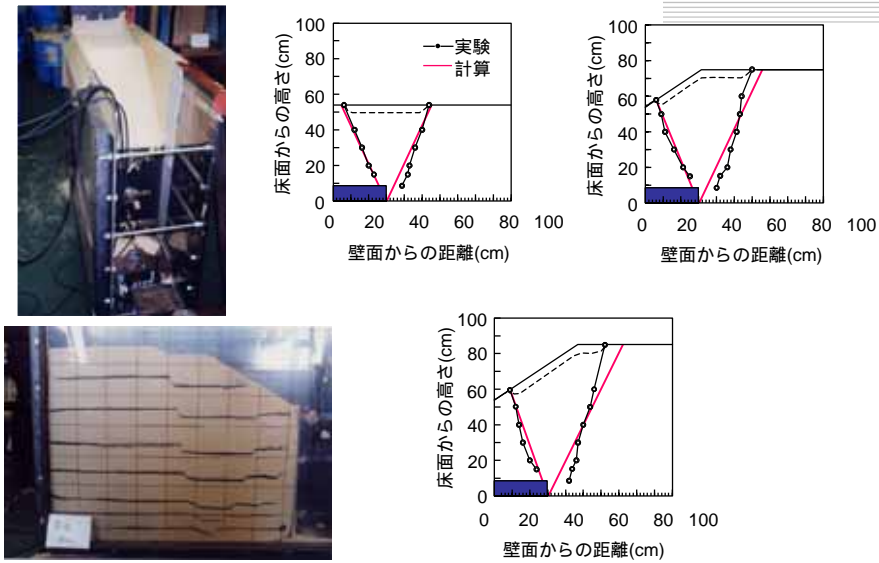
15.5が正解

105.9が正解

ハイタッチウォールを改良試行くさび法が救う

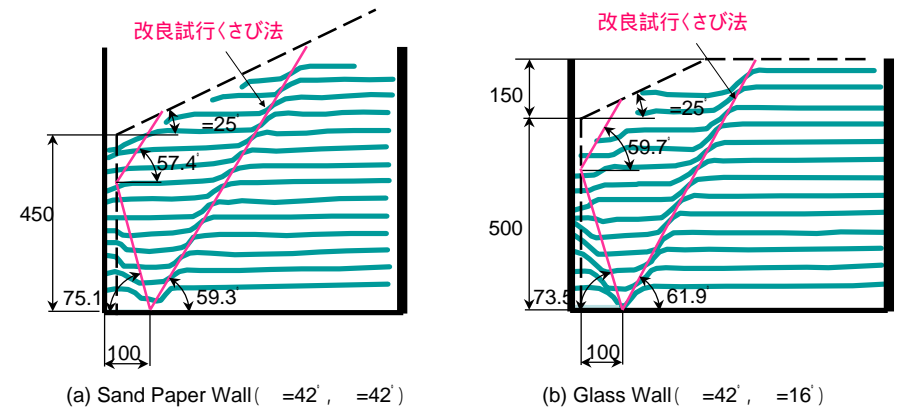


愛媛大学八木研究室の模型実験



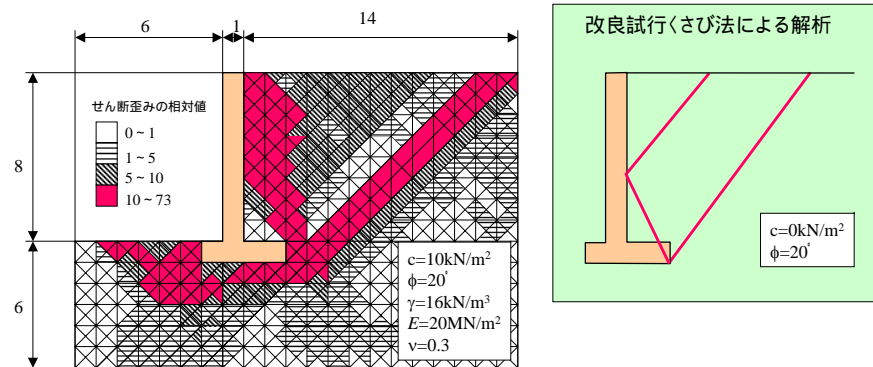
安蔵善之輔先生の模型実験

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)



鵜飼恵三先生によるFEM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)

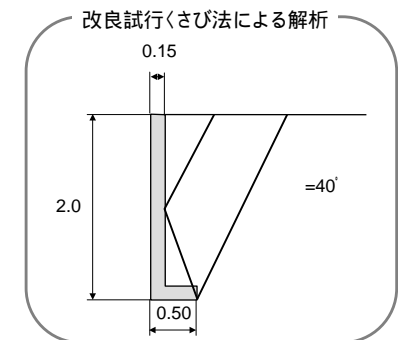
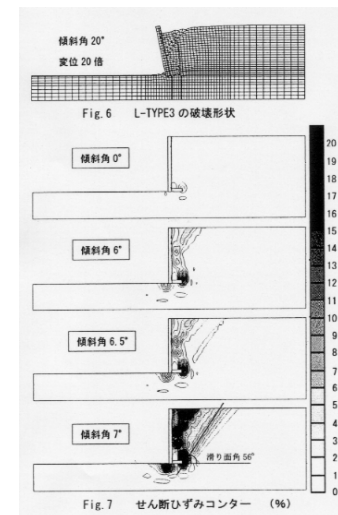


田中忠次先生らによるFEM解析

第36回地盤工学研究発表会(徳島)2001.6

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



改良試行くさび法の適用範囲は広い

