

## 計算式による擁壁の土圧算定法（試行くさび法の数式化）

株式会社ミズキコンサルタント 正会員 ○岩田 智明

## 1. 目的

現在、擁壁の設計に使用される土圧は試行くさび法を用いて算出されることが一般的である。この従来法は図-1 に示すような直線のすべり面の角度をトライアルに入力し、最大となる土圧を探索する計算法である。拙筆論文ではこの従来法をクーロンの破壊基準に従い数式化し、より簡単かつ正確に土圧を求めることを可能にした。本講演では数式化した式の利用方法を簡単に説明する。

## 2. 重力式擁壁の場合の計算方法

重力式擁壁でのすべり面は現在の設計では、

図-1 のように  $L$  面（すべり面）が擁壁背面に沿って発生すると想定され土圧が計算される。このすべり形態に基づいて拙筆論文の計算式で土圧を求める場合、その計算フローは次の①～④のとおりである。

- ①図-1 に示す  $R$  面（すべり面）が検討区間である点  $D$  と点  $E$  の間にあると仮定する。
- ②図-1 の  $W_A$  を計算し、図-2 の式を用いて、 $\mu_R$ 、 $\phi_{\theta R}$ 、 $c_{0R}$ 、 $p_{0R}$ 、 $\xi_R$ 、 $X$  を計算する。
- ③  $X$  より求まるすべり角  $\omega_R$  が検討区間内に存在する場合は、基準主働土圧  $P_{a0}$  を計算し、区間から外れる場合には、検討区間に  $R$  面の発生は起こりえないため、他の検討区間へ移行する。
- ④全区間の計算を行い、 $P_{a0}$  の最大値が求まる  $P_{a0}$  となる。ただし、条件によっては、地形の変化点と点  $O$  を結んだ線（例えば、辺  $OD$ ）をすべり面とする破壊が最大土圧を示す場合があるため、併せて確認しておく必要がある。

このフローに従って土圧を求めれば、例えば地形の変化点が 5 点程度の場合、5 回の計算で求まる。一見、計算回数が多いように感じるが、これを従来の試行くさび法（0.1 度間隔のトライアル計算）で求めようとすると約 500 回の計算を必要としていたことから、いかに容易かつ正確な土圧が求まるかがわかる。

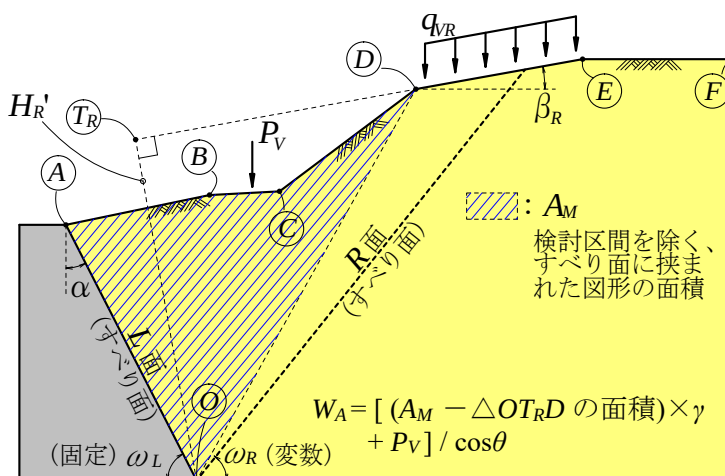


図-1 計算方法の説明図（重力式擁壁の場合）

## （すべり面の角度に関する計算式）

$$X = \cot \omega_{BR} = \pm \sqrt{(\cot \mu_R + \cot \phi_{\theta R})(\cot \mu_R - \xi_R)} - \cot \mu_R$$

## （基準主働土圧）

$$P_{a0} = \frac{(p_{0R} + c_{0R})(\cot \omega_{BR} + \xi_R)}{\tan(\alpha + \delta + \theta) + \cot(\omega_{BR} - \phi_{\theta R})} - c_{0R}$$

$$\text{ここに、} p_{0R} = \frac{1}{\cos \theta} \left( \frac{\gamma}{2} H_R'^2 + q_{VR} H_R' \cos \beta_R \right)$$

$$c_{0R} = c \times \cos \phi \frac{H_R'}{\sin \phi_{\theta R}} \quad \xi_R = \frac{W_A + c_{0R} \tan(\alpha + \delta + \theta)}{p_{0R} + c_{0R}}$$

※基準主働土圧から  $L$  面に作用する土圧へ変換する方法は拙筆論文を参照

## （記号説明）

- $\alpha$  : 擁壁背面の壁面傾斜角
- $\gamma$  : 背面土の単位体積重量
- $\phi$  : 背面土の内部摩擦角
- $\delta$  : 擁壁との壁面摩擦角
- $c$  : 背面土の粘着力
- $\beta_R$  :  $R$  面側の斜面の勾配
- $q_{VR}$  :  $R$  面側の斜面に載荷する等分布荷重
- $H_R'$  :  $R$  面側の斜面直交高
- $\theta$  : 地震合成角

$$\mu_R = \pi/2 - \alpha + \beta_R - \phi - \delta$$

$$\omega_{BR} = \omega_R - \beta_R \quad \phi_{\theta R} = \phi - \theta - \beta_R$$

図-2 重力式擁壁の場合の計算式

キーワード クーロン土圧、試行くさび法、直線すべり、粘着力

連絡先 〒799-3461 愛媛県大洲市豊茂甲 887 番地 6 (株) ミズキコンサルタント TEL 0893-23-9030

### 3. L型擁壁の場合の計算方法

L型擁壁の場合、図-3に示すように変数となるすべり面は2面となる。この場合での計算フローは次のとおりである。

①図-3のR面が点Dと点Eの間(R面側の検討区間)にあると仮定し、L面が点Aと点Bの間(L面側の検討区間)にあると仮定する。

②図-3の $W_A$ を計算し、図-4の式を用いて、 $\mu_R$ ,  $\phi_{\theta\beta R}$ ,  $c_{0R}$ ,  $p_{0R}$ ,  $\xi_R$ ,  $X$ および $\mu_L$ ,  $\phi_{\theta\beta L}$ ,  $c_{0L}$ ,  $p_{0L}$ ,  $\xi_L$ ,  $Y$ を計算する。すべり角 $X$ , すべり角 $Y$ は、どちらか一方に初期値を与えれば、 $X$ と $Y$ が互いに角度を補正し合うように計算され、数回の計算で解が収束する。

③ $X$ ,  $Y$ より求まるすべり角 $\omega_R$ ,  $\omega_L$ が両側の検討区間に存在する場合は、基準主働土圧 $P_{a0}$ を計算し、いずれかが検討区間から外れる場合には、対象の検討パターンでのすべりは発生しないため、次の検討パターンへ移行する。

④L面側の検討区間とR面側の検討区間の組み合わせの全パターンの計算を行い、算出された $P_{a0}$ の最大値が求める $P_{a0}$ であり、 $P_{a0}$ が最大となるときに角度が求めるすべり面の角度となる。

従来の改良試行くさび法(計算間隔:0.1度単位)で求めようとすると約25,000回(L面側500×R面側500回)の計算を必要としていた。しかし、拙筆論文の計算式で土圧を求めれば、地形の変化点が5点程度の場合25回(L面側5回×R面側5回)程度の計算で求まることから、飛躍的に計算回数を削減できることがわかる。

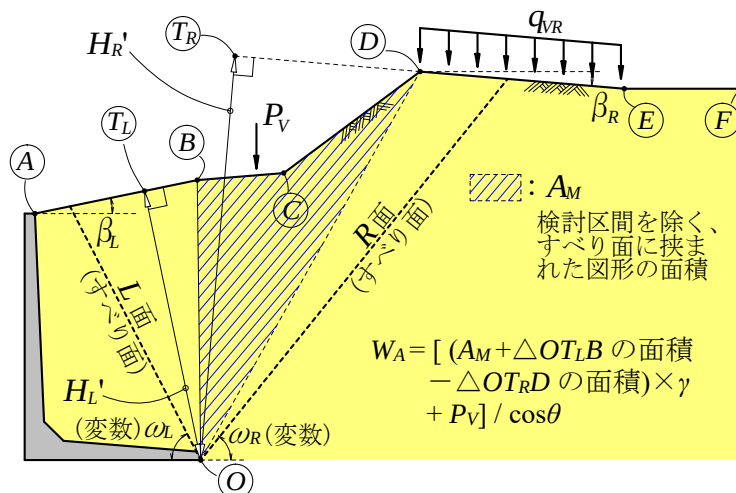


図-3 計算方法の説明図 (L型擁壁の場合)

#### (すべり面の角度に関する計算式)

$$X = \cot \omega_{\beta R} = \pm \sqrt{(\cot \mu_R + \cot \phi_{\theta\beta R})(\cot \mu_R - \xi_R)} - \cot \mu_R$$

(互いに収束計算される)

$$Y = \cot \omega_{\beta L} = \pm \sqrt{(\cot \mu_L + \cot \phi_{\theta\beta L})(\cot \mu_L - \xi_L)} - \cot \mu_L$$

#### (基準主働土圧)

$$P_{a0} = \frac{(p_{0R} + c_{0R})(\cot \omega_{\beta R} + \xi_R)}{\cot(\omega_{\beta L} - \phi_{\theta\beta L}) + \cot(\omega_{\beta R} - \phi_{\theta\beta R})} - c_{0R}$$

$$\text{ここに、} p_{0R} = \frac{1}{\cos \theta} \left( \frac{\gamma}{2} H_R'^2 + q_{VR} H_R' \cos \beta_R \right)$$

$$p_{0L} = \frac{1}{\cos \theta} \left( \frac{\gamma}{2} H_L'^2 + q_{VL} H_L' \cos \beta_L \right)$$

$$\xi_R = \frac{(p_{0L} + c_{0L})Y + W_A + (c_{0R} - c_{0L}) \cot(\omega_{\beta L} - \phi_{\theta\beta L})}{p_{0R} + c_{0R}}$$

#### (記号説明)

$\gamma$  : 背面土の単位体積重量

$\phi$  : 背面土の内部摩擦角

$c$  : 背面土の粘着力

$\theta$  : 地震合成角

$\beta_L$  : L面側の斜面の勾配

$\beta_R$  : R面側の斜面の勾配

$q_{VL}$  : L面側の斜面に載荷する等分布荷重

$q_{VR}$  : R面側の斜面に載荷する等分布荷重

$H_L'$  : L面側の斜面直交高

$H_R'$  : R面側の斜面直交高

$$x = \cot \omega_{\beta R} = \cot(\omega_R - \beta_R)$$

$$y = \cot \omega_{\beta L} = \cot(\omega_L + \beta_L)$$

$$c_{0R} = c \times \cos \phi \frac{H_R'}{\sin \phi_{\theta\beta R}}$$

$$c_{0L} = c \times \cos \phi \frac{H_L'}{\sin \phi_{\theta\beta L}}$$

$$\phi_{\theta\beta R} = \phi - \theta - \beta_R \quad \mu_R = \omega_{\beta L} - 2\phi$$

$$\phi_{\theta\beta L} = \phi + \theta + \beta_L \quad \mu_L = \omega_{\beta R} - 2\phi$$

$$\xi_L = \frac{(p_{0R} + c_{0R})X + W_A + (c_{0L} - c_{0R}) \cot(\omega_{\beta R} - \phi_{\theta\beta R})}{p_{0L} + c_{0L}}$$

※基準主働土圧からL面に作用する土圧へ変換する方法は拙筆論文を参照

図-4 L型擁壁の場合の計算式

### 参考文献

・岩田智明: 現状斜面に対応する新しい土圧計算式, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 73, No. 2, pp. 195-211, 2017.