上界法による片持ばり式擁壁の主働土圧計算法（その1）

㈱第一コンサルタンツ　正会員　○右城　猛
㈱第一コンサルタンツ　正会員　　筒井秀樹

1．まえがき

筆者らは片持ばり式擁壁の土圧計算法として改良試行くさび法を提案し，極限平衡法に基づいて定式化している[1),2)]。本論文では，極限解析法の１つである上界法によっても極限平衡法と同様の定式化ができることを示す。また，提案する改良試行くさび法は，従来の試行くさび法では解けなかった土圧問題にも適用できることを示す。

2. 改良試行くさび法

擁壁が前方へ微小変位し，裏込め土が主働塑性状態になれば，図-1 に示すように，ab，aed，ef の３種類のすべり面(速度不連続面)が発生する。盛土内部に発生するすべり面は一般に曲線となるが，それが土圧に与える影響は数%以下[3)]であるので直線と見なす。かかと版が十分長い場合には，e 点は盛土表面に現れるので，すべり面 ef は発生しない。

ac は，主働土圧を算定する基準線であり，仮想背面と呼んでいる。ac の方向は任意でよいが，計算を簡便化するため鉛直に設定する。

仮想背面より後方の土塊 abc を速度場①，前方の土塊 acde を速度場②，たて壁上部の背後の土塊 edf を速度場③とし，それぞれの速度場の速度を V_1，V_2，V_3 とする。仮想背面 ac に作用する垂直内力を P_H，接線内力を P_V，壁面 ed 区間に作用する土圧を R_c とすると，各速度場の全仕事率は次のように表される。

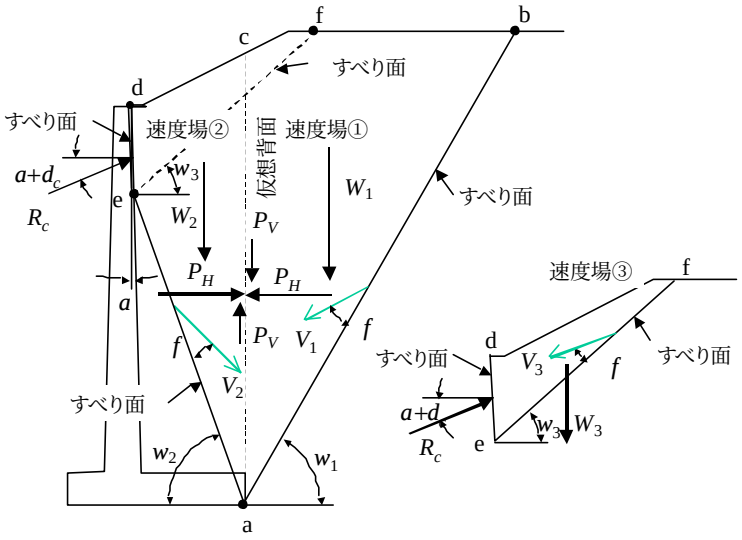

図-1　すべり面と可容速度場

速度場①　$W_1V_1\sin W_1 - P_HV_1\cos W_1 - P_VV_1\sin W_1 = 0$ ……(1)

速度場②　$W_2V_2\sin W_2 - P_HV_2\cos W_2 + P_VV_2\sin W_2 + R_cV_2\{\cos(a+d_c)\cos W_2 - \sin(a+d_c)\sin W_2\} = 0$ ……(2)

速度場③　$W_3V_3\sin W_3 - R_cV_3\{\cos(a+d_c)\cos W_3 + \sin(a+d_c)\sin W_3\} = 0$ ……(3)

ただし，　$W_1 = w_1 - f$，　$W_2 = w_2 - f$，　$W_3 = w_3 - f$ ……(4)

ここに，W_1 は土塊 abc の重量，W_2 は土塊 acde の重量，W_3 は土塊 efd の重量，φは裏込め土のせん断抵抗角，αは壁面の傾斜角，δ_c はコンクリート壁面の摩擦角である。

式(1)～式(3)を解けば，仮想背面における土圧 P_H，P_V および壁面 ef の土圧 R_c は次のようになり，極限平衡法で定式化したものと一致する。式(7)はクーロンの土圧式と同じである。

$$P_H = \frac{(W_1+W_2)\sin W_1 \sin W_2 + R_c \sin W_1 \cos(W_2 + a + d_c)}{\sin(W_1+W_2)} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$P_V = \frac{W_1 \sin W_1 \cos W_2 - W_2 \cos W_1 \sin W_2 - R_c \cos W_1 \cos(W_2 + a + d_c)}{\sin(W_1+W_2)} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$R_c = \frac{W_3 \sin W_3}{\cos(a + d_c - W_3)} \quad \cdots\cdots(7)$$

キーワード：主働土圧，片持ばり式擁壁，極限解析法，上界法，試行くさび法
連絡先：〒781-8122 高知市高須新町 3-1-5㈱第一コンサルタンツ　TEL088-885-2123

P_H，P_V が主働土圧であるためには，P_H の仕事率を最小化すればよく，その条件は式(8)となるが，これによって解析解を求めることは困難であるので，数値計算で ω_1，ω_2，ω_3 を変化させて計算し，P_H の最大値を探索すればよい。

$$\frac{\partial P_H}{\partial w_1}=0,\quad \frac{\partial P_H}{\partial w_2}=0,\quad \frac{\partial P_H}{\partial w_3}=0 \qquad \cdots\cdots(8)$$

3. 改良試行くさび法の適用例

図-2 は，各種の L 型擁壁の仮想背面における主働土圧 P_A(P_H と P_V の合力)とその傾斜角 $\delta=\tan^{-1}(P_H/P_V)$，および主働すべり面を改良試行くさび法で計算した結果である。計算には，Microsoft Excel のソルバー機能を用いた。なお，盛土材の条件は $\gamma=20\mathrm{kN/m^3}$，$\phi=30^\circ$ としている。

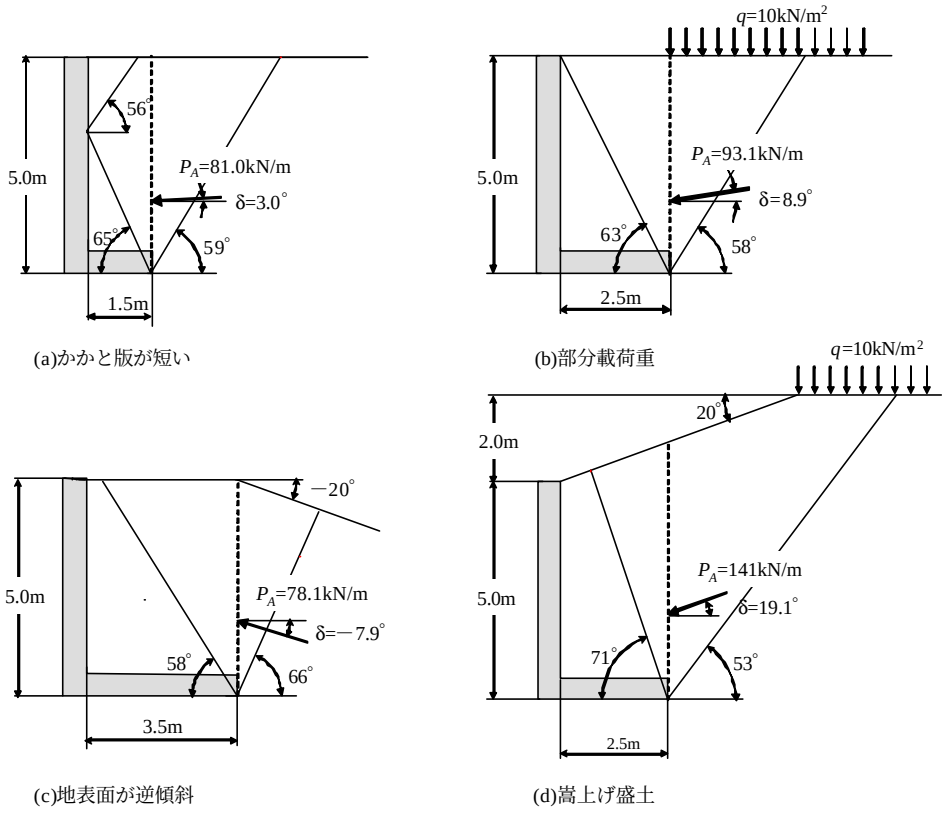

図-2　提案式による計算例

ランキン式や試行くさび法は，①かかと版が十分長い，②盛土表面は水平か一様勾配，③地表面に載荷重がないか満載，の全ての条件を満足していれば適用できるが，図-2のような場合には適用できない。これに対して改良試行くさび法は，どのような条件に対しても適用でき，土圧を合理的に算定することができる。

かかと版が短い場合の主働すべり面は図-2(a)のようになる。このようなすべり面が発生することは，安蔵による模型実験[4]，田中・今田[5]による FEM 解析でも確認されている。

4. あとがき

本論文では，砂質土を対象に常時主働土圧算定式について定式化を行ったが，盛土の粘着力を考慮した土圧や震度法に基づいた地震時主働土圧算定式への拡張も容易にできる[6]。今後は，地盤と擁壁の動的相互作用を考慮した地震時土圧の定式化を行う予定である。

参考文献

1) 右城猛，八木則男，矢田部龍一，筒井秀樹：かかと版付き擁壁の合理的な土圧評価法，土木学会論文集，No.567/Ⅵ-35，1997.6
2) 右城猛，筒井秀樹：片持ばり式擁壁の合理的な土圧計算法の一試案，土木技術 Vol.54，No.8，1999.8
3) 右城猛，小椋正澄，筒井秀樹，長山学史：改良試行くさび法(ITWM)の非線形すべり問題への拡張，土木学会論文集，No.602/Ⅵ-40，1998.9
4) 安蔵善之輔：L 型擁壁に及ぼす土圧に就いて，九州帝国大学工学集報，第 8 巻 6 号，1973.
5) 田中忠次，今田美幸：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，第 36 回地盤工学研究発表会(徳島)，2001.6
6) 右城猛：Excel による擁壁設計，理工図書，2000.