

III-445

極限平衡法の物理的意味

愛媛大学工学部 ○榎 明潔・八木 則男
不動建設(株) 一本 英三郎

1. まえがき

著者等は極限平衡法を一般化・定式化した新たな方法を提案した。^{1)・2)}そして、提案法を幾つかの塑性問題に適用した結果、塑性論による解に非常に近い解を得た。本報告では、このように近似解が得られた理由を考察し、極限平衡法による解が塑性論による解の必要条件であることを示す。さらに、この考察に基づき極限平衡法によって土圧分布が求められることを計算値とともに示す。

2. 提案法の概略^{1)・2)}

提案法は次の点に関して極限平衡法を一般化・定式化している。

- ①任意形状の複数のブロック、非円形すべり面に適用
- ②ブロック側面でも安全率を定義して、Whitman³⁾が指摘した側面での摩擦法則 $|V| \leq H \tan \phi + c$ も満たす
- ③斜面安定、支持力、土圧問題を同一に扱う
- ④モーメントの釣り合い式の取扱い(用いないでもよい)を明確化

式示は参考文献^{1)・2)}に譲り、図-1のn個の

ブロック群に対して提案法が静定であることのみを表-1に示す。

便宜上、端ブロックの載荷面はブロック

間面とみなす。支持力・土圧問題では、全

ての安全率と H_0 が既知($n+3$ 個)なら静

定である。また、斜面問題では H_0 、 V_0 、

H_n 、 V_n とブロック間面の安全率が既知

($n+3$ 個)なら、静定である。また、支持力

・土圧・斜面の全塑性問題に対して同一の

定式化が可能である。ブロック間面の安

全率に関しては後述する。

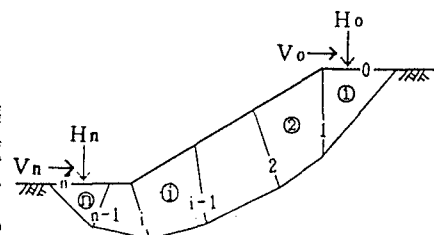


図-1 対象ブロック群(n個)

表-1 提案法の式数と変数数

式名	式数	変数名	変数数
釣り合い式		ブロック底面力(①-①面)	
x方向	n	垂直力P	n
y方向	n	せん断力T	n
モーメント	用いない	ブロック間面力(0~n面)	
安全率定義式		垂直力H	n+1
ブロック底面	n	せん断力V	n+1
ブロック間面	n+1	安全率	
		ブロック底面	1
		ブロック間面	n+1
合計	4n+1	合計	5n+4

3. 塑性問題への適用例と近似解

が得られる理由

図-2で単位載荷のある $c=0$ 、

$\gamma=0$ 、 $\phi=30^\circ$ の地盤上の基礎の

支持力(N_q に相当)を提案法(三角

ブロック5個に分割、ブロック間

面で安全率を1と仮定、半径を変

えて支持力を最小化するすべり面

を探索)で解析し他の方法による

結果⁴⁾と比較した。提案法による

結果はPrandtlの理論解と支持力・

すべり面とも非常によく一致して

いる。図-3で鉛直壁に作用する受

働土圧 P_u (裏込め表面は水平)と壁面摩擦 δ の関係を提案法(三角ブロック5個に分割、ブロック間面で安全

率を1と仮定、半径を変えて受働土圧を最小化するすべり面を探索)で解析しCoulomb土圧、Sokolovsky⁵⁾の

塑性理論による理論値と比較した。提案法による結果は、ブロック数が1の時はCoulomb土圧と当然一致し、

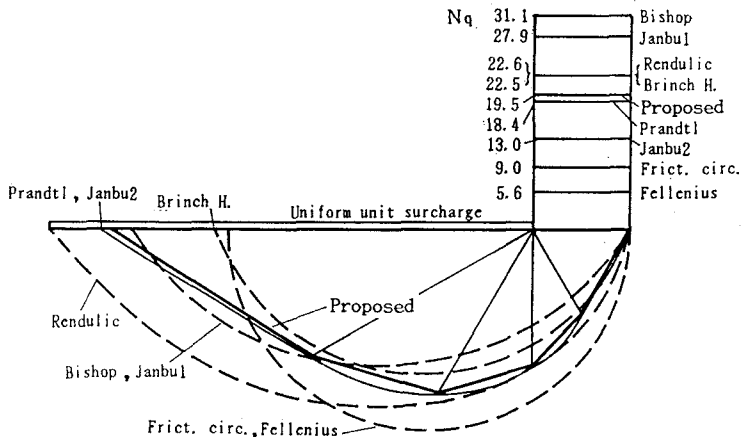


図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

図-2 提案法と他の方法による極限支持力(N_q)の解析結果の比較

ブロック数の増加とともに理論解に近付いている。極限平衡法（提案法）でこれらのような良い近似解が得られる理由は次の通りと考えられる。

①提案法は、塑性論での釣り合い式（モーメントの釣り合い式を除く）をブロック面積上の積分形で、破壊条件式をブロック境界上の積分形で満たそうとしており、この解は塑性論の解の必要条件にあたる ②塑性論のすべり線群から逆に考えれば、図-2、3では用いたブロック間面が一方のすべり線群に相当しており、そこでの安全率を1とする仮定と整合している。すなわち、これらの例のように一方のすべり線群に該当したブロック間面を用いなくても、仮定したブロック間面とそこで用いる安全率（当然1より大きい）が整合していれば良い近似解を得ることができる。③

塑性領域外を通るすべり面は支持力・受働土圧を最小化する過程で棄却され塑性領域内のすべり面のみが選択される。④破壊状態の要素内の任意面上の安全率とその面の真のすべり面からの誤差 δ の関係を図-4に示すが、支持力等を最小化する過程で真のすべり面角度が選択される。⑤すべり面が基礎右端または擁壁下端を通るように拘束されている。

また、Coulomb土圧が理論値より大きいのは、ブロック数が1で直線すべり面しか表現できないためであり、提案法で近似度が上がるのは複数のブロックにより曲線すべり面が近似できるからである。⑤から擁壁内（または基礎内）の任意の点を通るように主すべり面を拘束することによってそこまでの土圧（または支持力）の積分値を得ることができるから結果を逆算することによって極限平衡法でも支持力や土圧の場所的な分布を知ることが可能である。図-5は滑らかな鉛直擁壁の高さを5等分して主働土圧の分布を計算した実例であるが、理論値（Rankine土圧）によく近似した解を得ている。

4. あとがき

極限平衡法は塑性論の必要条件にあたる解を求める方法であり、提案法のように多ブロックを用いることで曲線の主すべり面を近似できるなら粘着力 c や壁面摩擦 δ があっても塑性論の近似解を与える。また、極限平衡法でも支持力や土圧の分布を得ることができる。

参考文献

- 1) 榎・八木・矢田部：最も一般化された安定解析法、土木学会第43回学術講演会第3部、pp. 220~221, 1988.
- 2) 榎・八木・矢田部：一般化された極限平衡法による安定・支持力解析、第24回土質工学研究発表会、1989（投稿中）。
- 3) Whitman & Bailey: Use of Computer for Slope Stability Analysis, ASCE, GT12, pp. 1511~1524, 1979.
- 4) Brinch: Comparison of Methods for Stability Analysis, No. 21, DGI, 1966.
- 5) ソコロフスキー（星莖・佐藤訳）：土のような粒状体の力学、オーム社、1964.

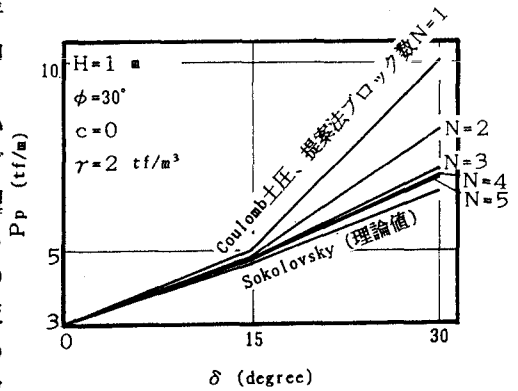


図-3 壁面摩擦と受働土圧（鉛直壁）

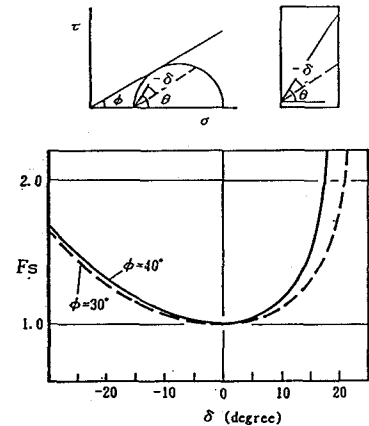


図-4 塑性状態の要素におけるすべり面角度と安全率の関係

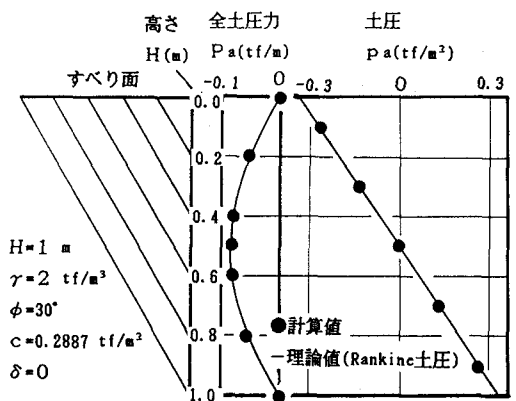


図-5 土圧分布の計算値