

個別要素法による斜面安定解析の検討

個別要素法，斜面安定，安全率

日本サミコン株式会社 大澤 廣
山形設計株式会社 正会員 堀内 宏信

1. はじめに

現在実務において広く使われている極限平衡法による斜面安定解析は，高次の不静定問題であることから，これを解くためには力の釣り合いに関して何らかの仮定が必要となる。また一般的な極限平衡法は単一の安全率を与えるため，すべり面上の局所的な安全率を知ることはできない。

これに対し，斜面のすべり土塊をブロック分割し，個別要素法を用いて個々のブロックの運動を時間増分によって計算することにより，静定化のための仮定を導入せずに，ブロック相互に働く力を計算し，個々のブロックの局所安全率の分布とすべり面全体の安全率を求め，極限平衡法による結果と比較を行った。

2. 解析方法

解析モデルは図1に示す形状の一般的な物性を持つ斜面とし，単一の円弧すべり面とした。

各すべり土塊ブロックの局所安全率 F_i と斜面全体の安全率 F_{sall} を次のように定義する。

$$F_i = R_i / S_i$$

$$F_{sall} = R_i / S_i$$

R_i : i ブロックのすべり面におけるせん断抵抗力

S_i : i ブロックのすべり面におけるせん断力

本解析に用いる個別要素法のプログラムでは，頂点と辺との接触は考慮せず，隣り合う要素間の辺の接触と相対変位だけに着目し，辺に働く垂直応力とせん断応力を計算している。個別要素法を用いることによって要素間に働く力を，連立式ではなく各ブロックの運動方程式を解くことにより求めている。ただしこのプログラムでは，時間は弾塑性 FEM 解析における繰り返し回数と同様に解を収束させるための単なるステップであり，実時間としての意味は持っていない。

また，すべり面全体が破壊して土塊が移動を開始するまでは $S_i = R_i = L_i \times (\sigma_i \tan \phi + C)$ となり，負担しきれないせん断力は，隣接する他の要素に再配分されるものとする。(ここで， L_i : すべり面長， σ_i : すべり面における垂直応力， ϕ : すべり面のせん断抵抗角， C : すべり面の粘着力) このようなせん断力の補正を行うプログラムと， $S_i > R_i$ を許すせん断力の補正を行わないプログラムの2種類を作成した。このせん断力の補正については，山上ら¹⁾の極限平衡法に基づく斜面安定解析における”瞬間載荷状態の解法”，”漸増載荷状態の解法”とほぼ同じ考え方といえる。

以上の解析モデルとプログラムを用いて，地盤のせん断強度を変化させながら，各ブロックの局所安全率 F_i および斜面全体の安全率 F_{sall} を求めることとした。斜面全体の安全率については，極限平衡法(修正 Fellenius 法，簡易 Bishop 法，簡易 Janbu 法)との比較を行っている。

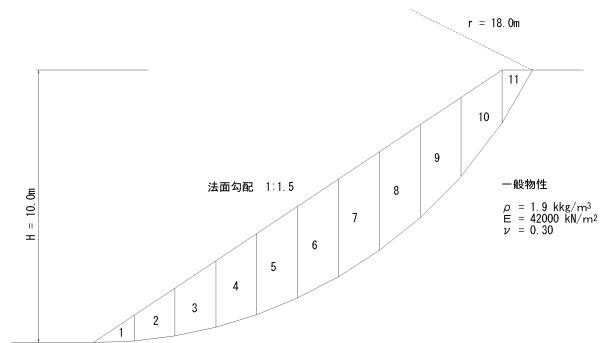


図1 解析モデル

3. 解析結果

表1 F_{sall} 計算結果一覧表

解析ケース		CASE00	CASE01	CASE02	CASE03	CASE04	CASE05
粘着力	C kN/m ²	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
せん断抵抗角	deg.	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
全体安全率	簡易Janbu	1.06	1.33	1.60	1.88	2.15	2.43
	簡易Bishop	1.06	1.33	1.59	1.85	2.12	2.38
	修正Fellenius	0.98	1.24	1.51	1.78	2.04	2.31
	DEM(補正有)	1.05	1.31	1.55	1.80	2.05	2.31
	DEM(補正無)	1.04	1.30	1.55	1.80	2.05	2.31

An Attempt for Analysis of Slope Stability using Distinct Element Method ;

H.Oosawa (Nihon Samicon Co.,LTD)

H.Horiuchi (Yamagata Sekkei Co.,LTD)

全ての解析ケースで時間増分 $t = 0.0001(\text{sec})$, 解析時間 $T = 10(\text{sec})$, 引張強度 $\tau = C / 5$ として計算を行っている。各せん断強度における斜面全体の安全率の計算結果を表 1 に示す。

この結果から、個別要素法による安全率は、修正 *Fellenius* 法と簡易 *Bishop* 法および簡易 *Janbu* 法の中間的な値を示している。なお、せん断力の補正を行わないプログラムにより $F_{sall} < 1.0$ の範囲で計算を行った結果においても、個別要素法による安全率は、修正 *Fellenius* 法と簡易 *Bishop* 法および簡易 *Janbu* 法の中間の値を示した。

また、斜面全体の安全率が $F_{sall} = 1.0$ に近づくにつれて、せん断力の補正の有無により結果に差を生じている。 F_{sall} 1.55 の範囲では局所安全率が $F_i = 1.0$ となるブロックがのり肩部に発生しているが、斜面全体の安全率 F_{sall} は両解法でほぼ一致している。両解法の各検討ケースにおける各ブロックの局所安全率の分布を図 2 および図 3 に示す。なお、両解法ともブロック 10 と 11 の間で引張破壊を生じている。

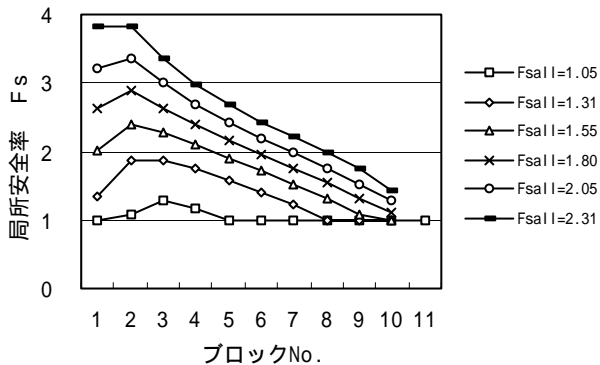


図 2 局所安全率の分布（せん断力補正有）

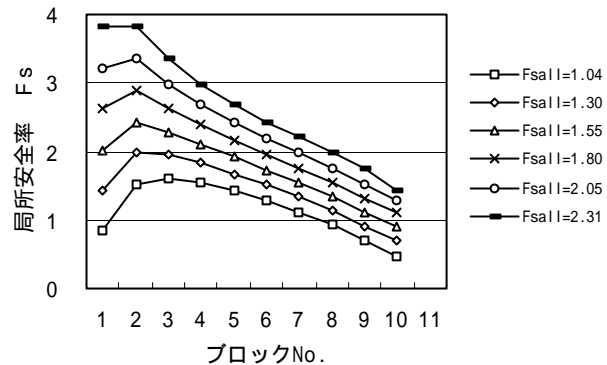


図 3 局所安全率の分布（せん断力補正無）

両解法とも全般的にのり先付近のブロックの局所安全率が大きく、のり肩に近いブロックほど局所安全率が小さくなっている。この局所安全率の最大値と最小値の幅 $F_i = F_{i_{max}} - F_{i_{min}}$ は、斜面全体の安全率 F_{sall} が大きいほど広い範囲に分布している。

次に解析 CASE01 を例に、両解法のすべり面における応力分布を図 4 に示す。両解法における応力分布の比較結果から、破壊はのり肩付近から順次進行した様子が伺える。

これは、成分によるせん断抵抗力の割合が大きいせん断強度を設定していることから、のり肩に近いブロックほどすべり面が水平面となす角が大きくなり、せん断力が大きく、せん断抵抗力が小さくなるためではないかと考えられる。

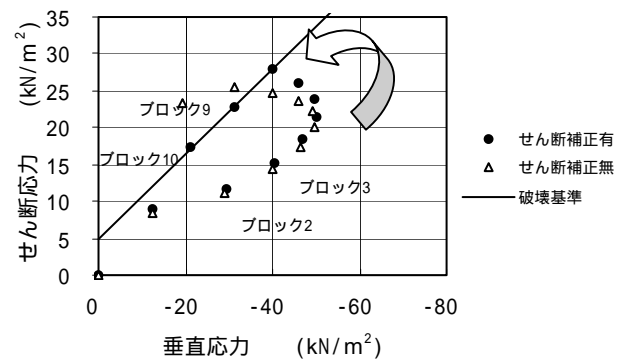


図 4 すべり面の応力分布

4. おわりに

以上の検討の結果から、個別要素法により求めた斜面全体の安全率 F_{sall} は、実用上問題のない結果を与えるものと考えられる。また、すべり面上の局所安全率 F_i の分布は、正解との比較はできないが概ね妥当な傾向を示していると推測される。

解析における時間増分の設定や解析終了の判定など、個別要素法に起因する問題もあるが、土を剛塑性体のブロックの集合として力の釣りを求める土のせん断破壊の諸現象に対して、本検討のように個別要素法が適用できる可能性は高いものと考えられる。

今後はブロック間に働く内力の大きさと方向などを極限平衡法と比較して検証するとともに、個別要素法ならではの利点を活かして進行性破壊などを扱える解析方法に拡張していきたいと考えている。

本論文の作成にあたって、プログラムの作成に協力いただいた、新潟大学工学部建設学科助教授 阿部和久氏に深く感謝致します。

参考文献

1) 山上拓男, 滝昌和, 蔣景彩: 「極限平衡法に基づく進行性破壊を考慮した斜面安定解析」
土と基礎, Vol.47, No.6, 9-12, 1999