

せん断強度低減法の安全率の決定法について

(株)奥村組 正会員 外木場康将

(株)ハイドロ総合技術研究所 正会員 ○森田修二

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 戸田圭彦

1. まえがき

せん断強度低減法は、例えば斜面安定の安全率を有限要素法によって算定する手法である。せん断強度を一定の低減率で低減させながら、地盤が不安定となる状態の低減率を安全率とする手法である。既往の研究¹⁾によって円弧すべりなど極限平衡法との比較によって同等の結果が得られることが検証されている。有限要素法におけるせん断強度低減法はすべり面を仮定する必要がなく、任意形状の地盤や各種の対策工法の評価あるいは3次元への拡張において優れた手法である。しかし、地盤が不安定となるのは、弾塑性解析による収束計算が収束しない状態であるため、採用する弾塑性構成則や解析コードに依存するので、客観的に安全率を定めることができない。そのため、定点の変位との関係から安全率を決定する方法²⁾も提案されている。本報告では、解析領域やすべり面における指標を用いて安定的に安全率を決定する方法について考察を行った。なお、解析にあたっては、3次元地盤解析コードFEASTを使用した。

2. せん断強度低減法のフロー

図-1には、せん断強度低減法のフローを示す。式(1)に示すようにせん断強度を表す粘着力と内部摩擦角を低減することで生じる不平衡応力を算出して地盤の弾塑性解析を行う。不平衡応力が釣り合わない場合は不平衡応力を修正して収束計算を繰り返す。

既往のせん断強度低減法では、この収束計算の繰り返し計算回数が許容回数以下にあるか判定し、許容回数を超過した場合は地盤が不安定にあると判定して低減率を安全率として決定する。しかし、この方法では収束計算の手法や解析コードの特性に依存するため客観的な安全率が求められない可能性がある。

$$\tau_1 = \frac{c_0 + \sigma \times \tan \phi_0}{F_1} \quad (1)$$

τ_1 : せん断強度, c_0 : 粘着力, ϕ_0 : 内部摩擦角, F_1 : 低減率

本手法では、繰り返し計算回数が許容回数以下にある段階で、指標とする最大せん断ひずみ(または安全率)の基準値を超過する要素数が一定値を超えた場合にその低減率を安全率として決定する。この手法では収束計算が不安定となる前に安全率が決定されるので安定した解析が可能である。なお、弾塑性解析の破壊基準および負荷ポテンシャルにはモール・クーロン基準を適用する。

3. 安全率を決定する指標の検討

本手法では、安全率を決定するための指標が必要である。ここでは、指標として最大せん断ひずみと安全率について検討した。図-2と表-1には、検討に用いた解析モデル¹⁾(節点数: 842, 要素数: 852)と地層の物

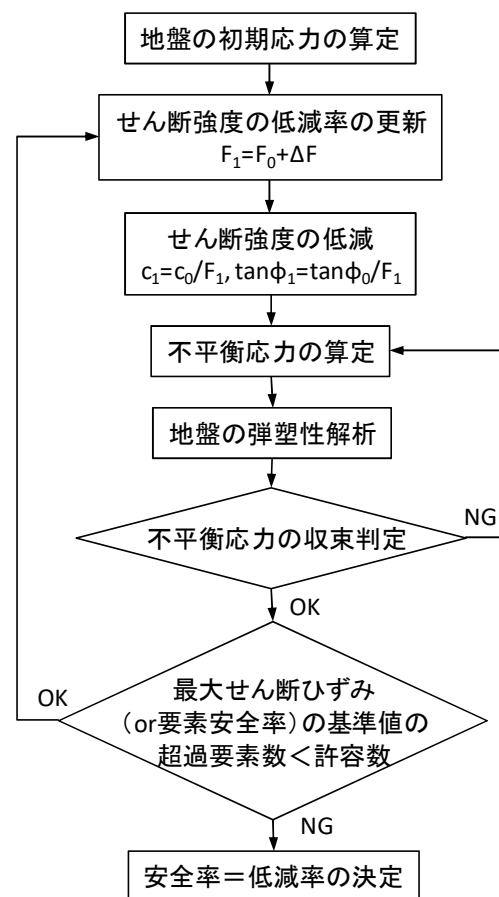


図-1 せん断強度低減法のフロー

キーワード: せん断強度低減法, FEM 解析, 最大せん断ひずみ, 要素安全率

連絡先: 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 外木場 康将 (TEL) 03-5427-8041 (FAX) 03-5427-8114

性値を示す。図-3 には、最大せん断ひずみの基準値を 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0%とした場合の超過要素数と低減率（安全率）の関係を示す。基準値によって超過要素数の増加状況は異なるが、ある低減率を超えることで超過要素数が急激に増加する傾向は共通する。例えば、基準ひずみを 2.0%や 3.0%とした場合は、低減率が 0.4 付近で超過要素数が急激に増加しており、安全率を 0.4 と決定することができる。

図-4 には、要素安全率の基準値を 1.0 から 1.3 とした場合の超過要素数と低減率の関係を示す。最大せん断ひずみを基準値とした場合と比べて明確な超過要素数の増加は見られず、単調に増加する結果となっている。これは、不平衡応力の収束計算においてせん断強度を超える応力（要素安全率が 1.0 を下回る応力）を再配分しており、結果的に要素安全率をなめらかに変化させる計算を行っているためと考えられる。

図-5 には、低減率（安全率）が 0.40 における最大せん断ひずみ増分のコンターを示す。初期応力状態からのひずみ増分を表している。法尻から最大せん断ひずみの大きい領域が円弧形状に伸展しており、円弧すべりが再現できている。安全率を決定するうえで、すべり面を形成する要素数を考慮すると、100~200 が 1 つの目安となり、最大せん断ひずみの 3%や要素安全率の 1.0 を基準値とすると、安全率はおおよそ 4.0 と決定できる。

4. あとがき

本報告では、せん断強度低減法を用いた FEM 解析において安全率を客観的に決定する方法について検討した。最大せん断ひずみや要素安全率に基準値を定めて超過要素数を抽出することですべり面の発生を把握できることを示した。この手法では、不安定な収束計算に左右されず客観的に安全率を決定することができる。今後は模型実験などによる検証を行う予定である。

[参考文献]

- 1) 蔡 飛, 鵜飼敬三, 黄 文峰, 「斜面安定性の評価-極限平衡法と弾塑性 FEM の比較」, Landslides-Journal of Japan Landslide Society, Vol. 39, No. 4(2003), March, pp. 395-402
- 2) 久武勝保, 廣瀬憲司, 野村俊明, 「トンネル建設が地すべり安全率に及ぼす影響に関する解析的研究」, トンネルと地下, pp. 289-297, 2015 年 4 月

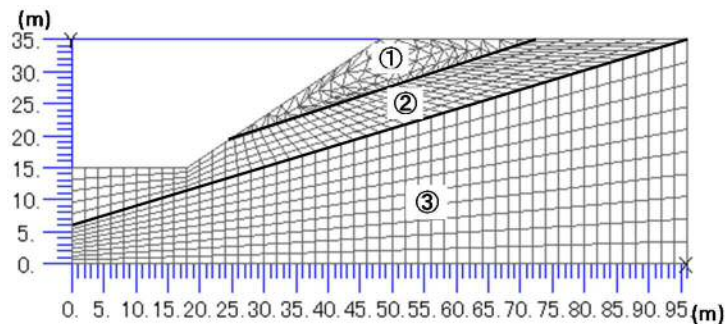


図-2 解析モデルの要素分割

表-1 地層の物性値

地層	ϕ (°)	c (kPa)	γ (kN/m ³)	E (kPa)	ν
①	12	29.4	18.82	2×10^5	0.3
②	5	9.8			
③	40	294.0			

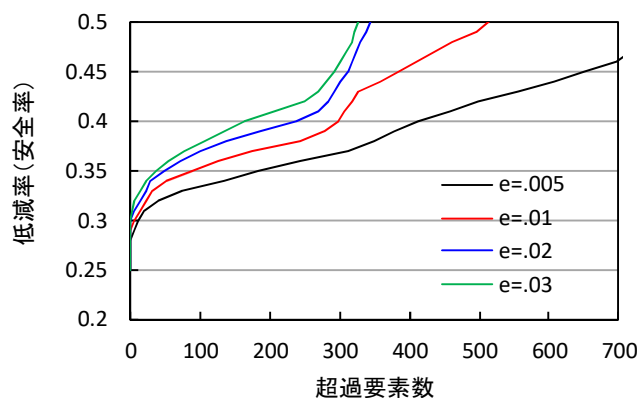


図-3 基準歪の超過要素数と低減率

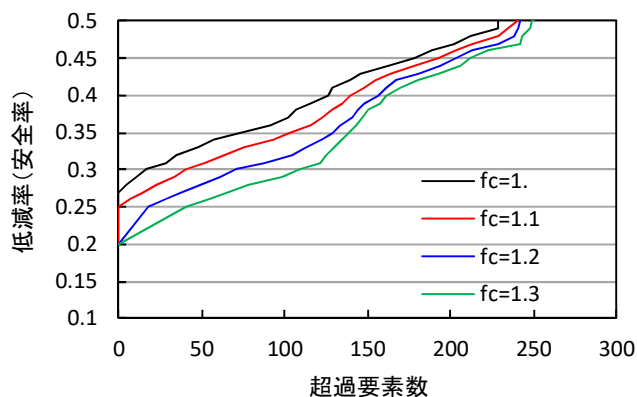


図-4 基準要素安全率の超過要素数と低減率

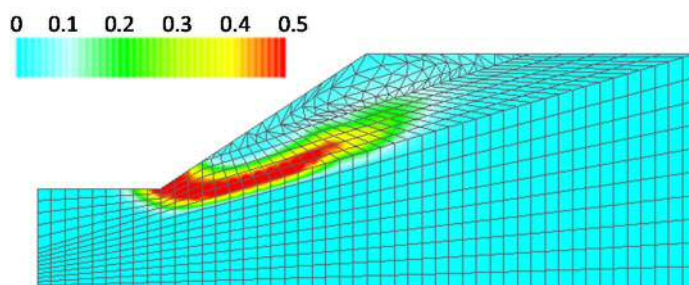


図-5 最大せん断ひずみ増分のコンター