

動的せん断強度低減法による斜面安定解析

(株)ハイドロ総合技術研究所 李 玫選

(株)ハイドロ総合技術研究所

田 作茹

(株)ハイドロ総合技術研究所 董 興国

(株)ハイドロ総合技術研究所 正会員

○森田修二

1. まえがき

せん断強度低減法は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。静的なせん断強度低減法については、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。また、従来のせん断強度低減法では安定的に安全率を求めることが難しいため、著者らによってせん断ひずみの変化から安定的に安全率を決定する方法を提案²⁾している。本報告では、一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所の LIQCA を用いて動的なせん断強度低減法への拡張を検討した。また、地盤解析プログラム FEAST による静的な正負交番载荷によるせん断強度低減法への適用についても検討したので、その成果について報告する。

2. 動的なせん断強度低減法のフロー

図-1 には、動的な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（図-2 参照）しながら地盤の動的な弾塑性解析を行う。発生する最大せん断ひずみが基準値以下の場合、せん断強度を低減しながら完全弾塑性解析を繰り返す。なお、動的な解析には LIQCA を使用した。従来の静的なせん断強度低減法では、図-1 のフローにおいて初期応力解析で発生する応力状態で安全率を決定するが、動的な方法では、地震時の解析で発生する応力やひずみを用いて安全率を決定することになる。

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

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

安定的にせん断強度低減法を繰り返す指標については、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方法などについても検討した。なお、完全弾塑性解析における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. 静的な正負交番载荷によるせん断強度低減法の検討

動的なせん断強度低減法へ拡張するためには、繰り返して動的な解析が必要となるので計算量が膨大になることが予想される。

そこで、静的な正負交番载荷による地震時の解析を適用することも検討した。動的解析に替えて一定の水平震度の慣性力を各節点に正負交番で数ステップ負荷する解析方法を検討した。水平震度の大きさや正負交番载荷のステップ数などが検討課題の1つとなる。この研究の最終的な目的は、地震時の3次元せん断強度低減法であり、計算量の低減も重要な課題と考えている。

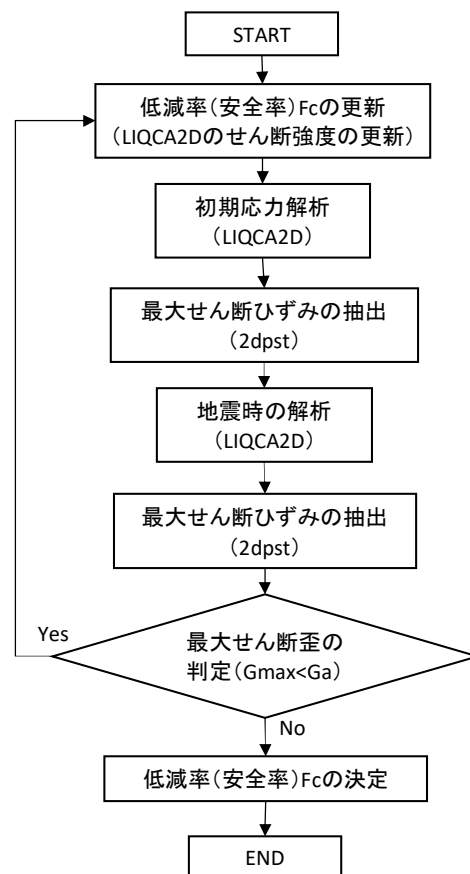


図-1 せん断強度低減法のフロー

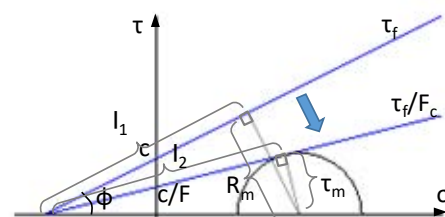


図-2 せん断強度低減の考え方

キーワード：動的せん断強度低減法，斜面安定解析，FEM 解析，正負交番解析

連絡先：〒530-6126 大阪市北区中之島 3-3-23 (株)ハイドロ総合技術研究所 森田修二 (TEL)06-6479-3815

4. 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を設定する。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-3と表-1には、検討のために参照した解析モデル¹⁾と地層の物性値を示す。動的解析や正負交番解析では、左右と深度方向に解析領域を広げたモデルを使用する。動的解析では、地震波に道路橋示方書の第Ⅱ種地盤の地震波形の例を使用し、振幅倍率を5.0（最大加速度が約500gal）とした。

図-4には、全要素における最大せん断ひずみや最小要素安全率と低減率の関係を示す。参考文献では、静的な安全率が0.4程度であり、本解析では低減率を0.25から徐々に増加させた。低減率0.43から最大せん断ひずみが急増し、低減率0.5から最小安全率が急激に低下した。その後に解析が不安定となった。これらの結果から、0.45～0.5程度を最小安全率と考えられる。

図-5には、静的な正負交番载荷による結果を示す。正負交番载荷の慣性力は水平震度を0.1から0.4まで4ステップで漸増させた。低減率0.35から最大せん断ひずみが急増しており、0.35を最小安全率と考えることができる。動的なせん断強度低減法と比較することは難しいが、最大加速度（約500gal）と水平震度（0.4）は同等の慣性力と考えることができる。

図-6には、動的なせん断強度低減法について低減率0.5における最大せん断歪のコンターと変形図を示す。地震波形の赤丸の時刻（7.5秒）におけるコンターと変形図を示す。法尻から法肩にせん断歪が伸展して変形が進む状況が分かる。

5. あとがき

本報告では、FEM解析による動的なせん断強度低減法への拡張を検討した。安定的に最小安全率の決定する方法として、最大せん断ひずみや最小要素安全率が適用できる可能性を示した。今後は検討事例を増やすとともに3次元解析への拡張を検討する予定である。

[参考文献]

- 1) 蔡 飛, 鶴飼敏三, 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) 外木場康正, 森田修二, 戸田圭彦, 「せん断強度低減法の安全率の決定法について」, 土木学会第73回年次学術講演会, pp. 709-710, 2018年8月

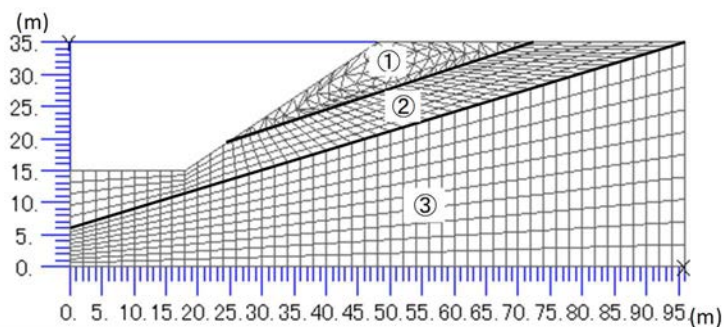


図-3 解析モデルの要素分割

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			

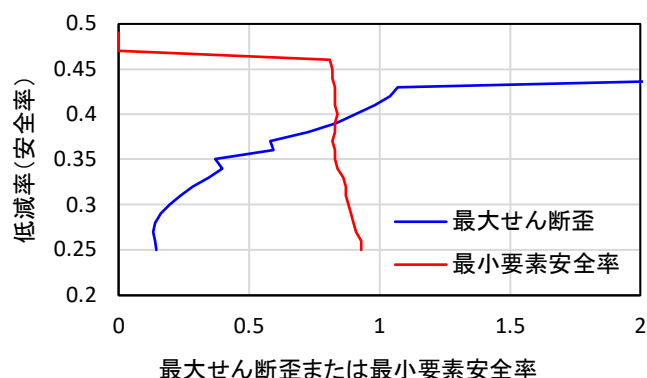


図-4 最大せん断歪や最小要素安全率と低減率（動的解析）

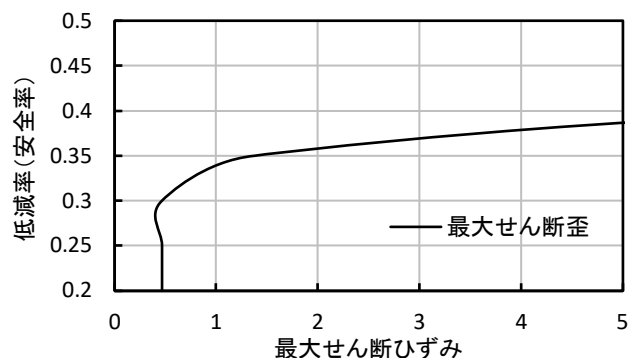


図-5 最大せん断ひずみと低減率（正負交番解析）

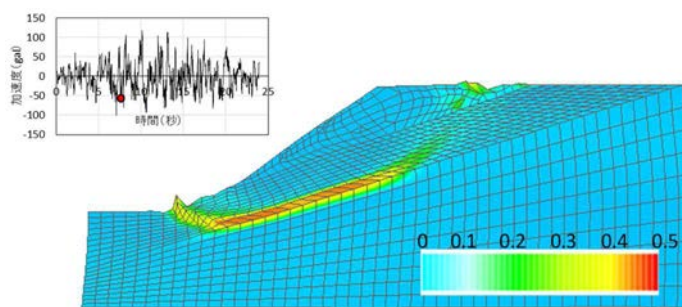


図-6 最大せん断ひずみのコンター