

MPM を用いたひずみ指標に基づく地震時における斜面安定限界の評価手法の提案

日本大学 正会員 ○中村 晋
東北大学 正会員 河井 正

1. はじめに

地震時における斜面の安定解析法として、斜面内での地震応答を疑似静的に評価する解析法や非線形有限要素解析による方法が提案されているが、地震時に発達するすべり面の位置を適切に評価できず、その状態がすべり面周辺でのひずみの発達状態を考慮していないため限界値を瞬間でも下回る状態を不安定性としてよいかという課題を有している。非線形の有限要素解析を活用し、斜面の静的な安定性評価を行う試みも 1975 年に Zeikiewize ら¹⁾によりせん断強度低減法という考え方が示され、鶴飼²⁾により方法の具体化されて以来、その有用性を示す事例が報告されている。その方法³⁾ではせん断ひずみ増分が最大となる位置により、すべり面位置を設定しているため、要素サイズの影響は大きいという特徴を有している。さらに、破壊に至る過程を適切に評価できる粒子法(MPM)の適用と動的応答の適切な配慮が必要不可欠と考えられる。

ここでは、斜面の地震時破壊の指標として、地盤内の最大せん断ひずみの変化として累積最大せん断ひずみの変化に着目したすべり破壊の可能性の評価方法を提案し、既往の実験により検証を行った結果を示す。

2. ひずみ指標の基づく MPM による斜面の安定限界の評価手法

累積最大せん断ひずみの変化に基づいてすべり破壊の可能性を評価するための提案フローを図 1 に示す。まず、すべり破壊の発生する状態は、ある領域にて連なるすべり面が形成され、そのすべり面上の土塊が移動し始める状態と定義する。その状態変化時の累積最大せん断ひずみを限界値とし、MPM を用いて評価する。まず、対象とする地盤材料の応力-ひずみ関係を規定する弾塑性構成モデルのモデルパラメータを設定する。ここでは、弾塑性構成モデルとして浅岡モデルを選択する。モデルパラメータの設定①は、材料試験や三軸圧縮試験により得られた強度特性、さらに応力-ひずみ関係との適応性を踏まえて実施する。累積最大せん断ひずみの限界値の設定②は、一面せん断試験を実施し、MPM により一面せん断試験により得られたせん断応力-変位関係の再現解析の適合性を確認し、すべり破壊が発生する状態に変化する累積最大せん断ひずみとして設定する。最後に、MPM を用いた斜面の地震応答解析より、設定したすべり面を形成する可能性のあるせん断ひずみの大きな領域内に複数の平均累積最大せん断ひずみの評価要素より得られた値と限界値との比較によりすべり破壊の評価③を行う。

4. 適用事例

(1) 解析モデル：(旧)JNES が実施した斜面模型の振動実験のうち図 2 に示す 2 つの中型斜面模型を対象とした。斜面模型は表層、均一で構成されている弱層および基盤層の 3 層構造で構成され、弱層の勾配が 35 度(高さが 2.0m)と 45 度(高さが 2.6m)と異なっている。加振は、勾配 35 度の実験では正弦波(5Hz の波を 10 波)、勾配 45 度の実験では不規則波(新潟県中越地震の際に東京電力柏崎刈羽原子力発電所内で観測

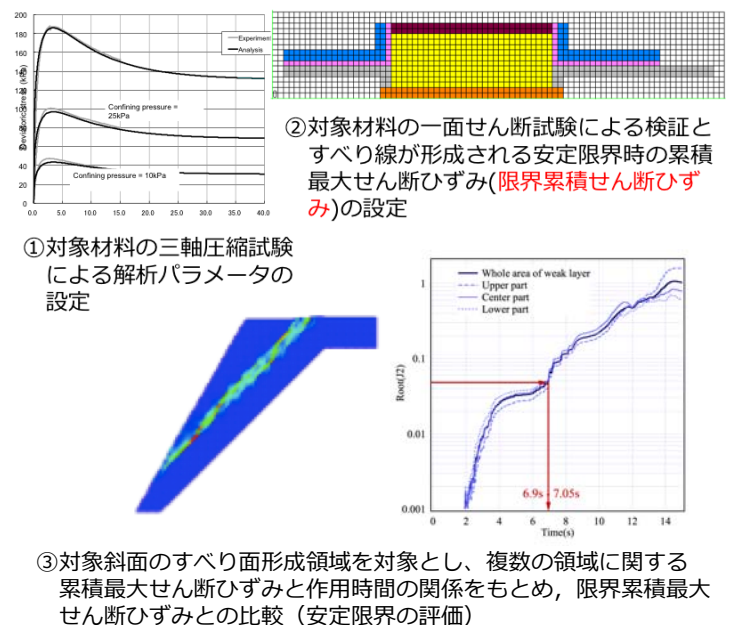


図 1 累積最大せん断ひずみ基準に基づく安定限界の評価フロー

キーワード 地震時斜面安定、累積最大せん断ひずみ、MPM

連絡先 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部土木工学科 TEL 024-956-8712

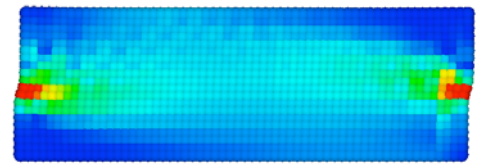
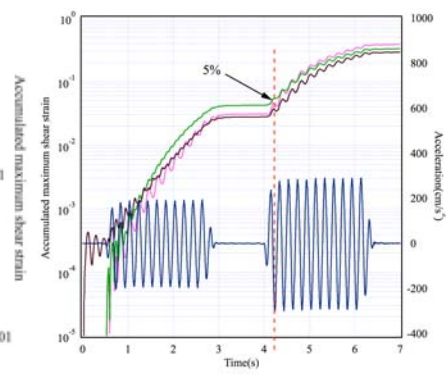
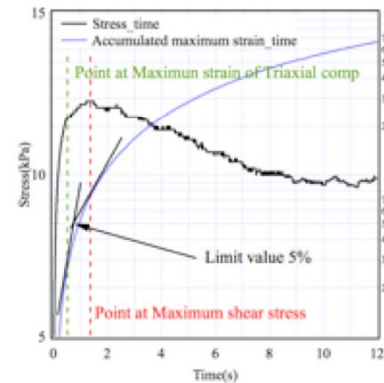
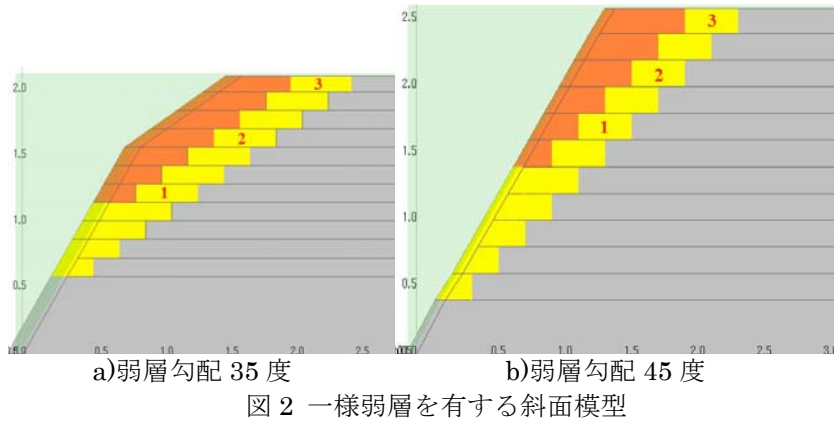


図 3 限界値におけるせん断リング内の
せん断ひずみ分布

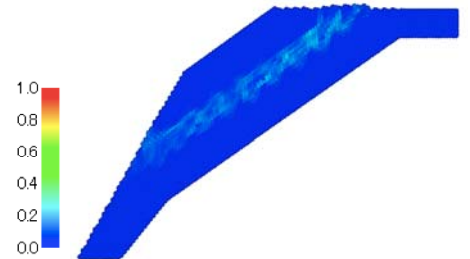


図 5 各ケースにおける平均累積最大
せん断ひずみが限界値に到達した
時刻周辺での最大せん断ひずみの
分布(弱層勾配 35 度)

された地震観測記録)を用い、100Gal
から 100Gal 毎に振幅を増大して行っ
た。勾配が 45 度の斜面模型は 2 回目
200Gal 加振時に弱層の上部から下部

までに繋がるすべり線が形成された後に滑落が生じた。勾配が 30 度の斜面模型は 2 回目の 300Gal 加振時に前述と
同様のすべり線が形成された後、加振ともにすべり面上の表層を含む土塊がすべり面上移動するものの、滑落には
至っていない。

(2) 三軸圧縮試験によるモデルパラメータの設定: MPM 解析では、表層および基盤層は弾性材料としてモデル化
した。弱層のモデルパラメータは CD 条件下で実施した 3 つの拘束圧に対する偏差応力-軸ひずみ関係とのフィッテ
ィングにより思考錯誤的に設定し、シミュレーションより得られた三軸圧縮試験の偏差応力-軸ひずみ関係と実験に
より得られた関係との比較を図-1 の①に示す。

(3) 一面せん断試験のシミュレーションによる評価基準値の設定: 一面せん断試験装置の 10 倍のスケールの図-1②
に示す断面形状(幅 30cm, 高さ 10cm, 奥行き 3cm)のモデルにて平面ひずみ条件下でせん断応力-変位関係を求め、
実験との比較により解析モデルの有意性を検証した。次に、せん断応力算出区間(上下リング面境界上 5cm 区間)
における累積最大せん断ひずみの平均値と時間の関係とせん断応力と時間の関係を図 3 に示す。累積最大せん断ひず
みの状態変化は、せん断応力が最大となる時刻のひずみ値(7%)と三軸圧縮試験による最大偏差応力時の相当最大せ
ん断ひずみ(3%)の間の 5%で変化しており、一面せん断リング内のせん断ひずみの分布(図 4 参照)の変化も踏まえそ
の値を累積最大せん断ひずみの限界値とした。

(4) 評価基準値に基づく斜面模型の安定性評価: 斜面モデルの弱層の中に、平均累積最大せん断ひずみの算出位置
を上部、中部および下部の 3 箇所に設けて得られた各位置の平均累積最大せん断ひずみと時間の関係の一例を図 4
に示す。平均累積最大せん断ひずみとその限界値に到達した時刻は、両斜面モデルともせん断破壊が生じた時刻と
概ね対応している。その状態における最大せん断ひずみの分布に一例として斜面勾配 35 のケースを図 5 に示す。
これより、平均累積最大せん断ひずみの評価対象領域内でその値が限界値に到達した状態で、その領域内の最大せ
ん断ひずみは 20%弱に到達し、その大きさのひずみが弱層上部から下部に連なって生じていることが分かる。

参考文献: 1) Zienkiewicz et al, Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics, *Geotechnique*, Vol.25, No.4, pp.671-689, 1975, 2) 鶴飼恵三, 弾塑性 FEM による斜面の全体安全率計算法, *土質
工学会論文報告集*, Vol.29, No.2, pp.190-195, 1989, 3) 若井明彦, 蔡飛, 講座 地すべり解析における有限要素
解析の利用 (第 4 回) 地すべり, Vol.40, No.3, pp.250-255, 2003