

# 岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み-(4) 粒子法とニューマーク法を用いた実験による斜面の崩壊挙動のシミュレーション

鉄道総合技術研究所 正会員 ○阿部慶太 正会員 篠田昌弘  
原子力安全基盤機構 正会員 村田雅明 正会員 中村英孝  
日本大学 正会員 中村 晋

## 1. はじめに

原子力発電所施設に係わるリスクを評価するために、地震時の周辺岩盤斜面の崩壊が危惧される場合には、崩壊によって施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないことを確認する必要がある。そのためには、斜面崩壊の発生可能性と崩壊領域を合理的に評価することが重要となる。そこで、筆者らは岩盤斜面の地震時安定性の評価手法の検討・高度化に向け、当現象を再現した斜面模型を用いた振動台実験と、実験により得られた結果を用いた数値解析による検討を行っている。ここでは、その一環として行った振動台実験結果を用いた、粒子法とニューマーク法による斜面の崩壊挙動のシミュレーション結果について報告する。

## 2. 解析手法の概要

本検討では、移流項を粒子で他の項を背面格子で計算する Particle in Cell 法という粒子法の一つである、Material Point Method<sup>1)</sup> (以後、MPM) と従来から鉄道盛土などで多くの実績を有する斜面の変形量算定手法である、ニューマーク法<sup>2)</sup> による解析を行った。図-1 に MPM の概要を示す。解析対象の物体を粒子の集合でモデル化し、密度やひずみなどの物理量を粒子で輸送しつつ、粒子裏に存在する背面格子にて有限要素法 (以後、FEM) のように格子の変形を計算する。その後、格子の変形に応じて変化した物理量を粒子に戻して物体が変形した時の挙動を表現する。よって、従来の FEM で解析困難であった物体の大変形時の挙動を、FEM に関する既存の数値解析技術と構成則を用いて表現することができる。

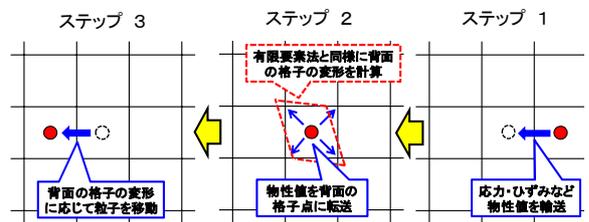


図-1 MPMの概要

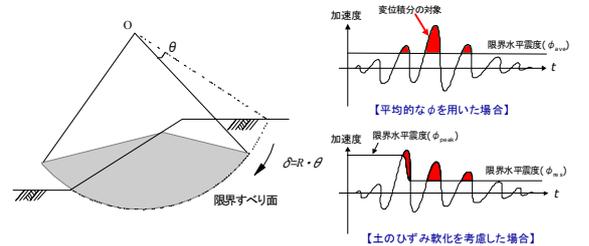


図-2 ニューマーク法の概要

図-2 にニューマーク法の概要を示す。当手法は、すべり土塊を剛体、滑り面の構成則を剛塑性と仮定して、円弧すべり法で安全率が 1 の水平加速度以上の入力加速度を数値積分して斜面の変位量を算定する手法であり、少ないパラメータで簡便に変位量を求めることができる。

## 3. 解析モデルと解析条件

解析モデルは、振動台実験で用いた模型を基にして設定した<sup>3)</sup>。解析モデルの概要を表-1 と図-3 から図-5 に示す。表層 (図中番号3)、弱層 (図中番号1, 2, 6)、基盤層 (図中番号4, 5) で構成され、弱層の勾配と厚さが異なっている。振動台実験からは、図-3 に示す勾配の大きい脆性モデルでは加振中に一気に脆性的に崩壊し、図-4 に示す勾配の小さい延性モデルでは入力波に応じて延性的に累積変形するという結果を得ている。一方、図-5 に示すようなモデルの場合は途中までは延性的に変形し、のり先部分の崩壊に伴う抵抗力の低下により脆性的に崩壊するという結果を得ている。以上を踏まえ、以後、中間モデルと呼ぶ。

表-1 解析モデルの概要

	弱層の勾配 (度)	弱層の厚さ (cm)	入力加速度 (gal)	崩壊状況
脆性モデル	45	8.0	400	脆性的に崩壊
延性モデル	40	16.0	500	延性的に崩壊
中間モデル	40	8.0	500	延性的に変形した後、脆性的に崩壊

振動台実験からは、図-3 に示す勾配の大きい脆性モデルでは加振中に一気に脆性的に崩壊し、図-4 に示す勾配の小さい延性モデルでは入力波に応じて延性的に累積変形するという結果を得ている。一方、図-5 に示すようなモデルの場合は途中までは延性的に変形し、のり先部分の崩壊に伴う抵抗力の低下により脆性的に崩壊するという結果を得ている。以上を踏まえ、以後、中間モデルと呼ぶ。

キーワード 斜面, 地震時変形, MPM, ニューマーク法

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総研 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

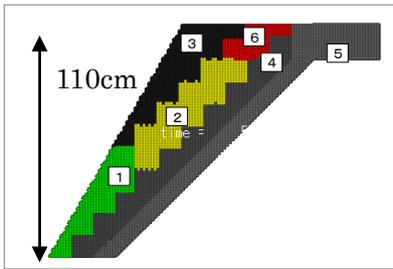


図-3 脆性モデル

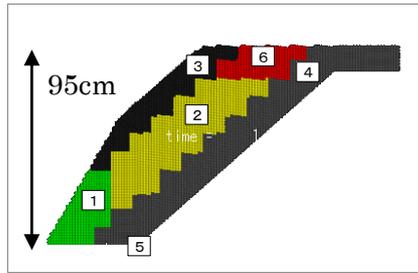


図-4 延性モデル

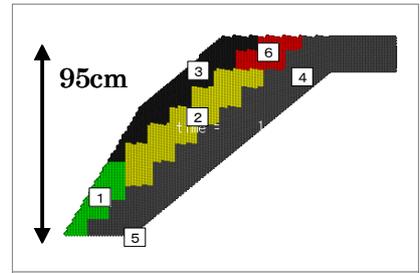


図-5 中間モデル

解析に用いたパラメータを表-2に示す。

MPMでは弱層の地盤材料の構成則としてドラグープラガーの弾完全塑性モデルを用い、基盤層については弾性体としてモデル化した。

表-2 解析に用いたパラメータ

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (kPa)	ポアソン比	粘着力 (kPa)	内部摩擦角 (度)	ダイラタンシー角(度)
表層	3000	8.35×10 <sup>3</sup>	0.33	107	0	0
弱層	1767	5.69×10 <sup>3</sup>	0.33	2.9 (1.0, 1.7) <sup>*</sup>	36.3	0
基盤層	1890	1.0×10 <sup>4</sup>	0.33	—	—	—

<sup>\*</sup>括弧内は残留時の強度

なお、弱層が表層と基盤層間の狭い領域で体積拘束される影響を考慮し、体積一定下で強度が低下するモデルを適用した。表-2に示す値は基本的に三軸圧縮試験から求めたものであるが、MPMでの延性モデル以外の残留時の粘着力については1.0kPaとした。これは、脆性モデルでは滑り面降伏後の表層水平加速度がゼロ近傍になる(すなわち、自重で滑動する)ことを考慮し、円弧すべり法による逆解析により常時で安全率が1になる強度として求めたものである。

4. 解析結果

図-6に土塊の変位履歴を示す。また、図-7に振動台実験と解析における崩壊後形状の一例として脆性モデルでの結果を示す。ニューマーク法の解析により、脆性モデルは適用範囲外という結果になったが、延性モデルの挙動については概ね表現可能であることが分かった。一方、MPMの解析により、脆性的な挙動を含め斜面の特徴に応じた崩壊挙動を表現可能であることが分かった。なお、中間モデルでの、のり先崩壊に伴う脆性的な挙動は表現できなかった。

5. まとめ

斜面の地震時安定性の評価手法の検討・高度化を目的に、斜面模型の振動台実験結果を用いて、MPMとニューマーク法による変形解析を行った。その結果、MPMにより、ニューマーク法で適用外となる脆性的な挙動を含めた崩壊挙動を斜面の特徴に応じて表現できることが分かった。

参考文献

1) 阿部慶太, JOHANSSON Jörgen, 小長井一男: MPMを応用した高速長距離土砂流動の運動範囲予測のための数値解析手法, 土木学会論文集C, 2007, 2) 鉄道総研: 鉄道構造物等設計標準・同解析, 土構造物, 3) 村田雅明, 中村英孝, 渡辺健治, 篠田昌弘, 中村晋: 弱層を有する岩盤斜面の安定性評価のための模型振動実験, 地盤工学研究発表会, 2010.

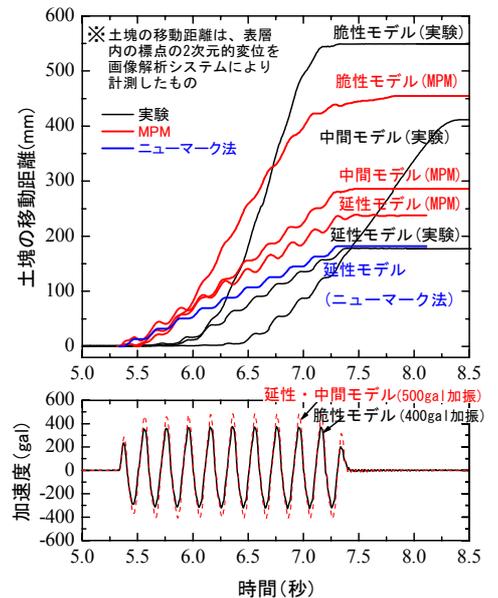


図-6 土塊の変位履歴

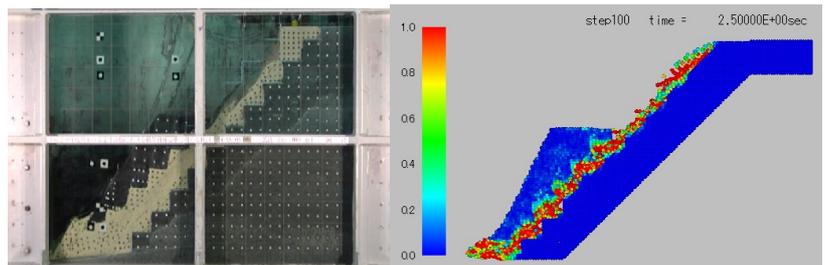


図-7 脆性モデルの崩壊後形状

(左図: 実験, 右図: 解析 (コンター: 最大せん断ひずみ))