

MPS 法を用いた地震時斜面崩壊実験のシミュレーション

東京都市大学 正会員 ○吉田郁政

東急建設 (東京都市大学元学生) 山口裕也

日本大学工学部 正会員 中村 晋

JNES 村田雅明, 中村英孝

1. はじめに

地震時の斜面崩壊に対する安全性評価では力の釣り合いに基づく安全率がこれまで広く用いられてきた。しかし、近年では変形量に基づく評価も試みられるようになり、そのための解析手法に対するニーズが高まっている。本研究では粒子法のひとつである MPS 法 (Moving Particle Semi-implicit または Simulation) に注目して検討を進めている。本方法は波動方程式を数学的に離散化して定式化しているものの結果として DEM の定式化を拡張したような形となっている。FEM のように波動伝播の解析ができると同時に DEM のように破壊現象の解析もできる点が大きな特徴である。

別途、報告したように斜面崩壊の振動台実験を実施しており、正弦波による加振によって弱層にそって徐々に変形が進行した結果が得られている¹⁾。本報告では MPS 法を用いて上記実験結果のシミュレーションを試みた結果について述べる。

2. MPS 法のための解析モデル

図-1 に示す斜面高さ約 1m の実験モデルについて正弦波加振し、斜面崩壊実験を行った。物性値をまとめて表-1 に示す。実験の詳細な条件については別途報告¹⁾ を参照されたい。本実験結果について MPS 法を用いて解析を行った。粒子数は 6674 とした。本研究で用いた MPS 法ではその定式化が DEM に近いことに注目し、その破壊挙動のモデル化は DEM 的に粒子間相互作用の切断、せん断方向のすべりで表現している。モールクーロン基準に基づきすべりの判定、引っ張り強度に基づき切断の判断をしているが、そこでの粘着力や内部摩擦角はひとつひとつの粒子に与えるパラメタであり、表-1 の物性値とは意味が異なるため、前者をマイクロ物性値、後者をマクロ物性値と呼んで区別する。MPS 法を用いた破壊挙動の

定式化の詳細については文献 2) を参照されたい。

3. 解析結果に関するパラメタスタディ

図-2 に実験結果と解析結果の最終形状を示す。実験、解析ともに緩やかに変形が進行し加振後は滑落せずに途中で止まっている。文献 2) に示した定式化では強度パラメタを調整しても破壊が開始しないか、一度開始すると滑り落ちる結果となった。そこで、DEM で用いられている転がり摩擦の考え方を取り入れ、粒子間の相互作用が全て切れた粒子については回転を固定した。その結果、図-2 に示すように進行的に変形するものの加振後は滑落せずに途中で止まるようになった。

最終的なすべり量も非常によい一致となっているが、この結果は弱層の強度パラメタに関する試行錯誤により一番一致度のよい結果を示したものである。図-3 はマイクロ内部摩擦角が進行的変形の数値に与える影響を示している。同図よりマクロ内部摩擦角を 1.3 倍してマイクロ内部摩擦角とすると滑落の速度がほぼ等しくなっていることがわかる。次にマイクロ粘着力が滑り始めるタイミングに与える影響を図-4 に示す。マイクロ内部摩擦角は 1.3 倍で固定している。粘着力については 2.7 倍が一番よくあっており、2.8 倍にするとすべりが生じていない。次にこれらの強度パラメタを固定して、初期粒子配置に関して 4 つのモデルを作成して解析を行った。その結果を図-5 に示す。DEM と同様に初期粒子配置は破壊現象に関して影響を与える。線形範囲の応答であれば初期配置や微小な物性値の変化はあまり影響を与えないが、強非線形問題であればそれらに基づくばらつきが生じ、こうした不確定性は予測が困難な aleatory に分類されると解釈している³⁾。実験結果についても破壊現象に関しては、図-5 と同じ程度のばらつきは考慮の上、解釈することが妥当と考えている。

キーワード 粒子法, MPS 法, 斜面崩壊実験, 破壊挙動, 不確定性

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 TEL03-5707-0104

4. まとめ

本研究では斜面の崩壊実験についてMPS法を用いた解析を行った。転がり摩擦を考慮することにより滑り出すものの、加振後破壊の進行が止まるという傾向を再現することができた。しかし、その強度パラメタは試行錯誤により決めており、三軸圧縮試験などの室内試験からパラメタを決める方法の構築が今後の課題である。

表-1 各層の物性値

		弱層	表層	岩盤層
密度		1767	3000	1890
ポアソン比		0.213	0.305	0.255
ピーク時	内部摩擦角(°)	39.5	0	57.3
	粘着力(kPa)	2.9	107.4	280.5
残留時	内部摩擦角(°)	36.3	28.4	53.4
	粘着力(kPa)	1.7	34.4	5.4
初期せん断剛性(MPa)		61	31.3	3174.2
ヤング率(MPa)		147.9	81.6	7967.1
Vp(m/s)		186	102	1296
Vs(m/s)		112	54	743

参考文献

- 1) 村田雅明他：岩盤斜面模型の地震時ひずみの発達過程に関する検討，第46回地盤工学研究発表会，2011
- 2) 吉田郁政：MPS法を用いた地盤構造物の地震時破壊挙動解析のための基礎検討，土木学会論文集A2, Vol.67, No.1, pp.93-104, 2011.
- 3) 吉田郁政，大庭啓輔，石丸 真：MPS法あるいはDEMを用いた破壊挙動の不確定性に関する基礎的考察，土木学会論文集A2（応用力学），Vol. 67, No. 2, I_365-I_374, 2011.

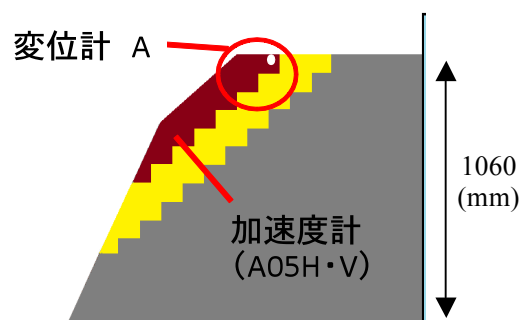
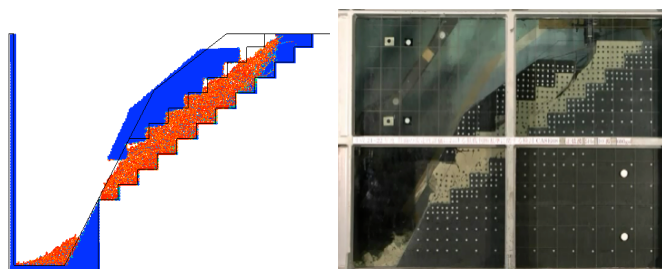


図-1 斜面崩壊実験モデルの概要



(1) MPS法 (2) 実験結果

図-2 実験と解析の最終的な形状の比較

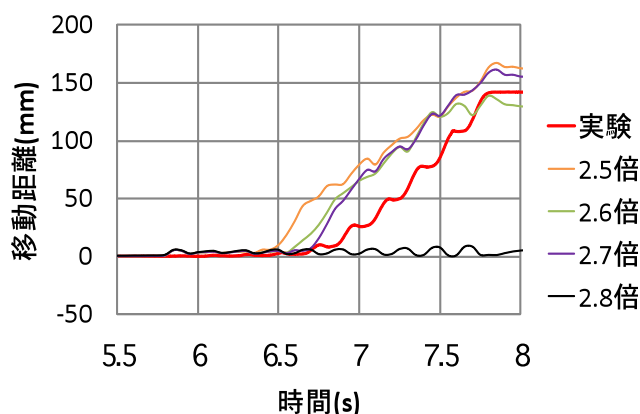
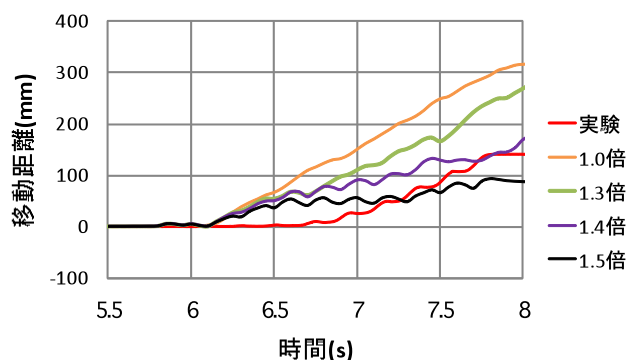


図-4 ミクロ粘着力と崩壊開始のタイミング

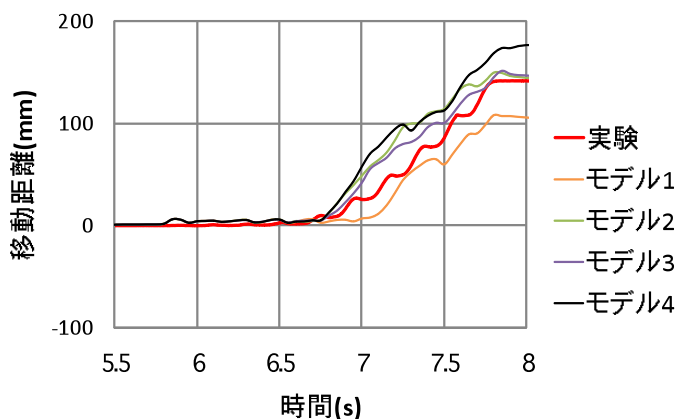


図-5 初期粒子配置の影響