

岩盤斜面の地震時挙動に関する遠心力模型実験の数値シミュレーション

電力中央研究所 正会員 石丸 真
 東北大学大学院 (元 電中研) 正会員 ○河井 正

1. はじめに 岩盤斜面の滑落の可能性を合理的に評価する手法の開発に向けて、岩盤斜面に関する既往の遠心力模型実験の結果¹⁾を対象に、岩盤要素の非線形性を簡易に考慮した FEM 解析を実施した。非線形性としては、破壊に至るまでの剛性のひずみ依存性と破壊後の残留強度への低下などを考慮し、汎用解析コード ABAQUS 用のユーザーサブルーチンを作成して解析を実行した。既報²⁾では、三軸などの室内試験から設定したパラメータを用いてシミュレーションを行い、模擬岩盤材料の破壊強度を実験で得られた値よりも大きくしないと模型実験で得られた変位応答が再現できないことが確認されている。ここでは、破壊状態に関する追加検討として、解析の安定を図るために導入している剛性比例の Rayleigh 減衰の影響について検討した。

2. 解析条件 地震応答解析は、図 1 に示す岩盤斜面模型断面に対して、図 2 ならびに表 1 に示す解析モデルで実施した。解析に用いた構成関係や物性パラメータおよび模型実験や室内試験の結果については、それぞれ文献 2 および文献 1 を参照されたい。文献 2 における解析では、剛性比例の Rayleigh 減衰の設定値は $\beta = 0.02224$ としており、これは文献 1 に示された初期剛性の平均値 360MPa に対して、加振周波数 2.0Hz においては 14%の減衰を与えることになり、やや過大と思われる減衰である。そこで、まずは要素の破壊を考慮しない場合に Rayleigh 減衰が与える影響を確認するため、上記 2.0Hz に対する減衰の設定を 7.0%, 3.5%, 1.7%, 0.9%としたケースを実行し、加速度や変位の応答を確認した。

3. 解析結果 図 3 は図 2 中に○で示した斜面法肩の加速度応答を示している。減衰が小さくなるほど負側のピーク加速度(模型～土槽の相互作用に起因して発生)は大きくなるが、正側ピークに関しては減衰の大きさに依存せず、減衰 14%の場合も含めて実験結果と同等の大きさであった。一方、図 4 は $t=8\sim 10$ 秒の変位応答を比較したものであるが、正側の応答を比較すると、図 3 の加速度応答とは異なり、減衰 14%のみ他の約 1/2 程度となった。負側の応答に関しては、スパイク状の加速度の影響を受けて、減衰 0.9%の結果が過大となっているが、減衰 7～1.7%の応答は概ね同等である。したがって、Rayleigh 減衰の物理的な意味づけは困難なことを考えると、現実的かつ耐震性評価上の安全側に設定するという観点からは、今回検討した条件では減衰 7～1.7%の範囲で設定することが妥当であると判断される。

ところで、要素破壊を逐次考慮して解析する場合、破壊した要素周辺のみだれに起因するノイズ的な応答が増大するため、より減衰の果たす役割が重要になると思われる。そこで、要素の破壊状況について整理した結果を図 5～図 7 に示す。図 5 は減衰を 1.7%として、非破壊の応答解析結果から応力状態だけで要素破壊を判定したものであり、図 6 の逐次要素破壊を考慮した解析結果より、破壊領域がやや拡大している。一方、減衰の影響を比較した図 6 と図 7 では、減衰の小さな図 6 の方が破壊領域が大きく、図 6 では 200kPa でも法面付近に破壊領域が存在するため、図 8 の変位時刻歴に示すように、 $c=200\text{kPa}$ とした場合でも大きなすべりを生じる。この結果は、文献 2 において $c=200\text{kPa}$ で残留変位が生じなかったことと異なり、減衰の設定によって斜面の耐震性評価結果が大きく異なることを示す。

4. まとめ 今後は、破壊性状に影響を与える他の解析条件を把握して適切な解析条件を設定し、実際に破壊が生じた加振レベルに対する応答計算を実施する。

参考文献 1) 石丸真, 河井正: 遠心力模型実験による岩盤斜面の地震時崩壊挙動に関する検討—すべり安全率に基づく安定性評価手法の適用性検討—, 電力中央研究所研究報告 N09009, 2010 2) 河井正, 石丸真: 岩盤斜面の地震時挙動に関する遠心力模型実験の数値シミュレーション, 第 47 回地盤工学研究発表会

キーワード 岩盤斜面, 耐震性, 遠心力模型実験, 要素破壊, FEM 解析, Rayleigh 減衰

連絡先 〒980-8579 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻地盤工学研究室 E-mail: t-kawai@civil.tohoku.ac.jp

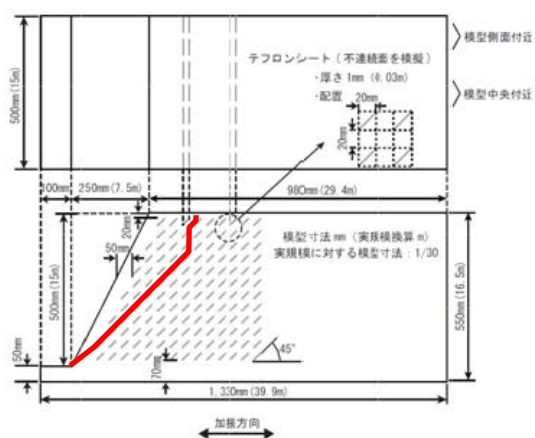


図1 岩盤斜面模型断面図

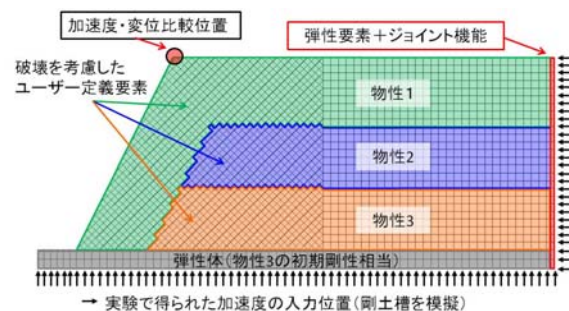


図2 解析モデルの概要

表1 基本解析パラメーター一覧

	破壊前の挙動に関するパラメータ						破壊判定		破壊後の挙動に関するパラメータ					
	A	B	τ_{max}	A'	B'	τ_{max}	c	ϕ	β	G_0	α_s	α_r	α_u	
物性1	1.006	2180	0.21	1.000	2000	0.25	54.5	40.8	0.21	426	-0.5	1E-04	1.00	
物性2	0.998	1935	0.18	1.000	2000	0.25	54.5	40.8	0.18	358	-0.1	1E-04	1.00	
物性3	0.993	1813	0.15	1.000	2000	0.25	54.5	40.8	0.15	295	-0.1	1E-04	1.00	
模擬不連続面要素	0.979	59.9	0.10	1.000	2000	0.25	0.0	24.0	0.10	8	-0.5	1E-04	1.00	

$$\text{応力} \sim \text{ひずみ関係} \quad \tau = \tau_{max} \frac{B \gamma^A}{1+B \gamma^A} \quad \text{履歴減衰} \sim \text{ひずみ関係} \quad h = h_{max} \frac{B' \gamma^{A'}}{1+B' \gamma^{A'}}$$

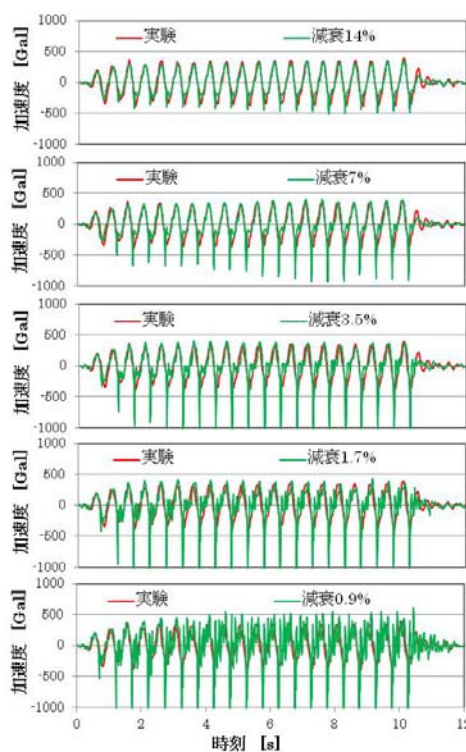


図3 Raylei 減衰(剛性比例)と加速度応答の関係

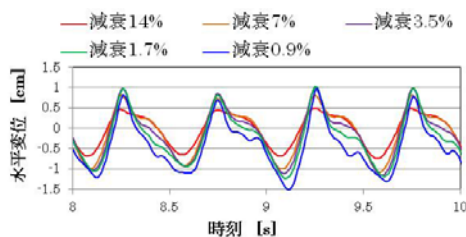


図4 Raylei 減衰(剛性比例)と変位応答の関係

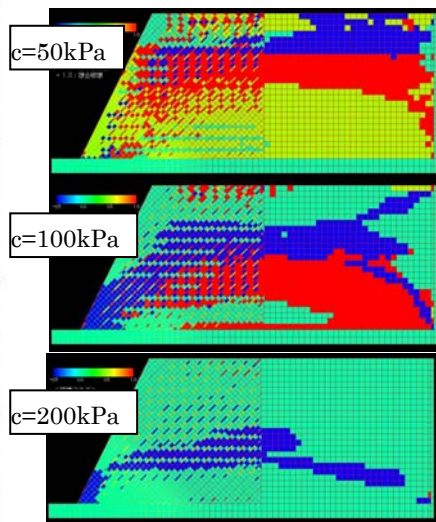


図5 非破壊解析で応力の応答結果から破壊判定

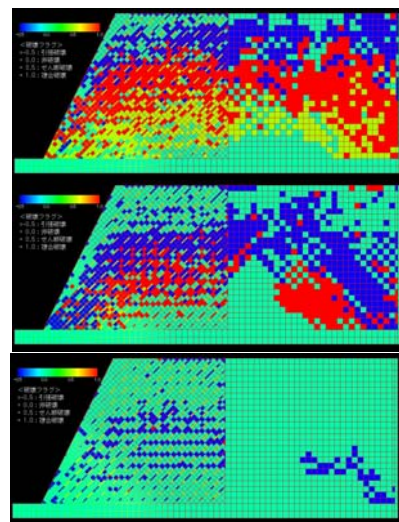


図6 破壊を考慮した解析(減衰 1.7%)

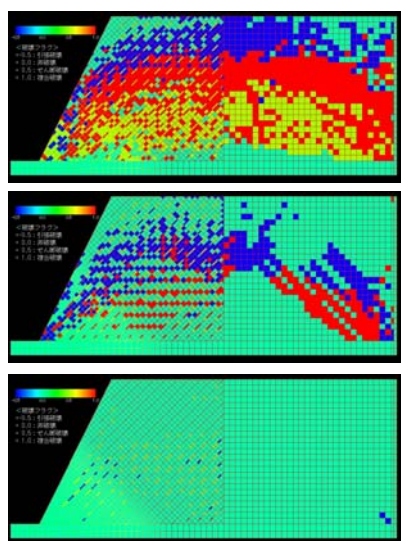


図7 破壊を考慮した解析(減衰 14%)



<破壊フラグ>
 = -0.5 : 引張破壊
 = 0.0 : 非破壊
 = 0.5 : せん断破壊
 = 1.0 : 複合破壊

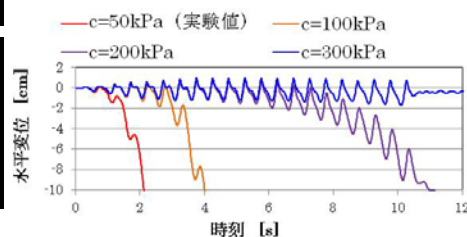


図8 破壊強度を変えた