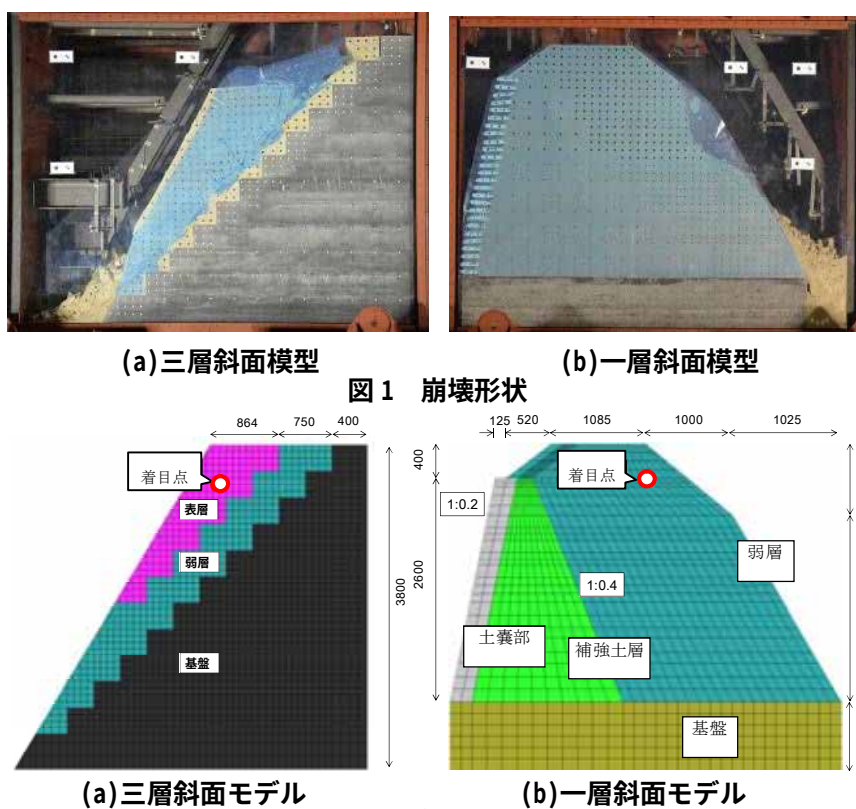


有限要素法による大型斜面模型振動台実験の解析的検討

鉄道総合技術研究所 正会員○江原季映 正会員 阿部慶太 正会員 井澤 淳 正会員 本山紘希
 正会員 中島 進 正会員 篠田昌弘 正会員 工藤敦弘 正会員 窪田勇輝
 東北大学 正会員 河井 正
 日本大学 正会員 中村 晋
 原子力安全基盤機構 正会員 村田雅明 正会員 中村英孝

1. はじめに 筆者らは、原子力施設周辺斜面の地震時安定性評価の高度化を目的に、一連の材料試験、振動台実験および数値解析的検討を行っている。本報は、大型で鉛直地震動の入力が可能な振動台（E-Defense）を用いた実験¹⁾について、数値解析的検討として行ったFEM解析と、その結果を用いた円弧すべり探索結果を示すものである。FEMでは非線形解析を実施し、実験と解析との比較・検討を行った。また、得られたFEM解析結果から各要素の局所安全率を算出し、すべり線探索を行った。実験崩壊時刻のすべり線形状を求め、実験結果およびすべり安全率履歴の比較検討を行った。

2. 実験結果概要 振動台実験では、弱層を有する斜面を想定した三層斜面模型と、大きな応答が生じる斜面を想定した一層斜面模型の二種類の模型を用いた。三層斜面模型の表層は、弱層材料にジオテキスタイルを層状に設置することで構築した。振動台実験の入力波には、正弦波と不規則波を用い、水平方向だけでなく一部鉛直方向にも加振を行った。その結果、一層斜面模型は最大水平加速度654gal、最大鉛直加速度537galの不規則波でのり面近傍の部分崩壊、三層斜面模型は最大水平加速度984galの正弦波（5Hz、10波）で弱層に沿って滑落した。図1に斜面模型の崩壊形状を示す。解析ではこれらの加振を対象とした。



3. 解析モデルと解析手法 図2にFEMの解析モデルを、表1に地盤材料物性を示す。メッシュ分割は、既往の知見などから、10cm程度を目安に行っており、模型地盤の剛性および入力波の周波数特性などから、十分細かいメッシュ分割であることを確認している。境界条件は、実験条件を考慮し、モデル底面を固定境界とした。また、基盤層の側面は水平方向のみ固定した。弱層と補強土層の構成則は、地盤要素を東畑らの多重せん断ばね²⁾でモデル化し、それらのばねの非線形特性は、室野らのGHEモデル³⁾で繰返し三軸試験から得られるせん断剛性G（G0：初期せん断剛性）と減衰定数hのせん断ひずみ γ に対する依存性を忠実に再現した（図3）。土嚢部と基盤については、塑性変形を生じない

図2 解析モデル（単位：mm）

表1 地盤材料物性

土質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg.)
弱層	16.3	12.9	24.6
補強土層	16.3	17.6	19.4
土嚢部	17.3	8.5	38.0
基盤	18.5	280.5	57.3

キーワード 斜面崩壊、振動台実験、FEM、円弧すべり

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所（基礎・土構造） TEL042-573-7261

線形弾性体としてモデル化した。粘性減衰にはレーリー減衰を用い、減衰定数は $\alpha=0.0$ 、 $\beta=0.001$ とした。これらの構成則を各要素に適用し、自重解析を行って初期応力を求めた後、動的解析を行った。本検討では、FEM 結果から局所すべり安全率を計算し、すべり線探索の結果から、実験崩壊時刻のすべり線形状と、最小すべり安全率について比較、検討を行った。

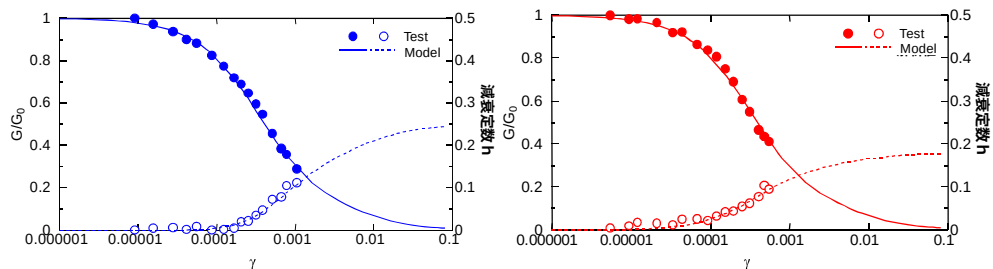
4. 解析結果 図4から図6に

解析結果の一部を示す。図4は、着目点(図2)における実験時の応答加速度波形と FEM 解析の応答加速度履歴の比較である。(a)は表層に着目点があるため、実験で表層の崩壊が見られる以前において、実験値と解析値はほぼ同等であることが分かる。(b)は実験値の方が僅かに振幅が大きい、全体としては概ね同等の波形となった。次に、FEM 結果の応力履歴を用いてすべり安全率履歴を計算した(図5)。実験においてすべり線が完全につながったと時刻を実験崩壊時刻とし図中に示した。(a)では、実験崩壊時刻のすべり安全率と最小すべり安全率

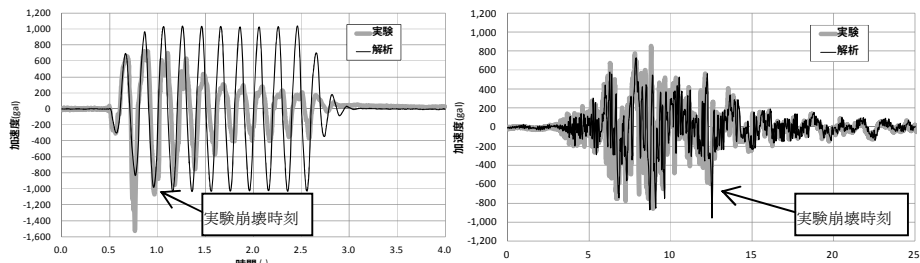
率はほぼ同等であったため、前者を示した。実験崩壊時刻のすべり線形状は図6に示す通りである。(a)(b)共に、図1に示す実験における崩壊個所と概ね一致していることが分かる。

5. まとめ E-Defense を用いた実験についての数値解析的検討として、FEM および、その結果を用いた円弧すべり探索を行った。その結果、実験崩壊時刻におけるすべり線形状は、実験における崩壊個所と概ね一致する結果が得られた。以上のことから、本解析手法により、弱層を有する斜面、および大きな応答が生じる斜面の崩壊個所を推定できることが考えられる。

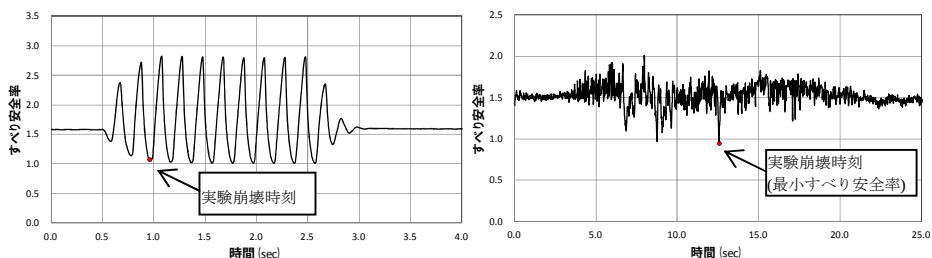
参考文献 1)中村英孝, 村田雅明, 篠田昌弘, 渡辺健治, 中島進, 河合正, 中村晋: Eディフェンスで実施した大型斜面モデルの振動台実験の概要, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 2) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modeling soil behavior under principal stress axes rotation, Proc. of 5th International Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Vol.1, pp. 523-530, 1985. 3) 室野剛隆, 野上雄太: S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力～ひずみ関係, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, 2006. 4) Abe, K., Izawa, J., Nakamura, H., Kawai, T. and Nakamura, S.: Analytical study of seismic slope behavior in a large-scale shaking table model test using FEM and MPM, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013.



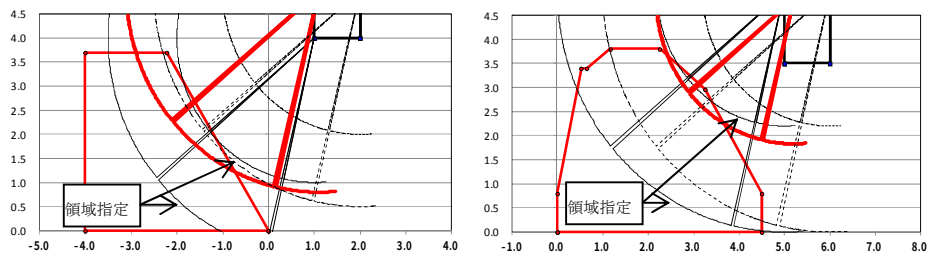
(a)弱層 (b)補強土層
図3 弱層のせん断剛性と減衰定数のひずみ依存性



(a)三層斜面モデル (b)一層斜面モデル
図4 応答加速度履歴の比較(水平)



(a)三層斜面モデル (b)一層斜面モデル
図5 すべり安全率履歴



(a)三層斜面モデル (b)一層斜面モデル
図6 実験崩壊時刻のすべり線形状(単位:m)