

岩盤斜面を模擬した遠心力模型実験のFEM動的応答解析

電力中央研究所 正会員 ○河井 正
同上 正会員 石丸 真

はじめに： 本研究では従来のすべり安全率評価に替わる岩盤斜面の地震時安定性評価手法について検討するため、その前段階として遠心力模型実験による岩盤斜面を模擬した振動破壊実験¹⁾とFEMによる数値シミュレーションを実施した。FEM解析では、まずは模型実験で得られた斜面崩壊時の応答を対象に、その際の加速度や変位の再現性を検証するとともに、その際の解析要素の破壊状態について整理し、すべり破壊面の形状との関係を確認した。

解析条件： 対象とした遠心力模型実験の断面図と解析メッシュを図1に示す。また入力波形(実験時に模型底部で得られた加速度波形)を図2に示す。さらに解析ケースの一覧を表1に示す。実験模型は石膏で作成されており、解析に用いた物性パラメータは、加振実験後の模型から比較的健全な部分をコア抜きして三軸試験により $c (=94.4\text{kPa})$ 、 $\phi (=26.9^\circ)$ ならびに動的変形特性を求めた。図3には、初期拘束圧を変えて実施した動的変形試験の結果とその解析モデルを示す。基本的に要素モデルは双曲線型の非線形モデルを用いており、表1中に“破壊考慮”とある場合については、“非破壊”の場合と同様に応力状態が c 、 ϕ で規定される破壊に達するまでは双曲線型のモデルとし、破壊後は図4の簡易に破壊を考慮したモデルを用いた。

解析結果： 図5はCASE1の変位・加速度の時刻歴を実験結果と共に示したものである。実験の加速度波形は斜面上腹の加速度計2の7秒付近から破壊に伴う加速度波形の乱れが生じ、10秒を超えた当りから斜面頂部の加速度計1の波形の乱れならびに変位計1の残留変位が生じている。破壊の影響が現れている部分の加速度波形は再現できていないものの、全体的には概ね実験結果と解析結果とで整合している。一方、変位計については破壊以前の振幅についても全く再現できていない。そこでCASE2のように一様な軟らかい物性を用いて計算を実施したが、

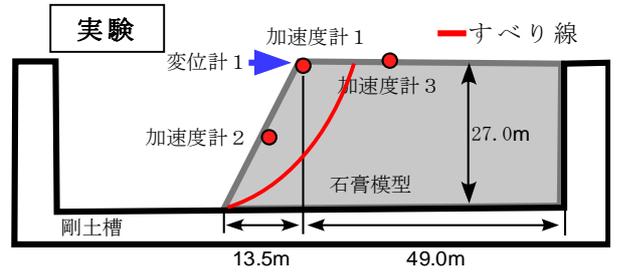


図1 実験模型断面図と解析メッシュ

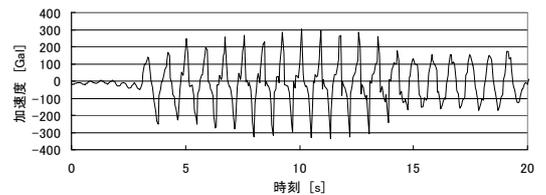


図2 入力波形

表1 解析ケース一覧

ケース	物性	要素モデル
CASE1	基本物性	非破壊
CASE2	均質②	非破壊
CASE3	基本物性	破壊考慮
CASE4	基本物性	破壊考慮 (底部非破壊)

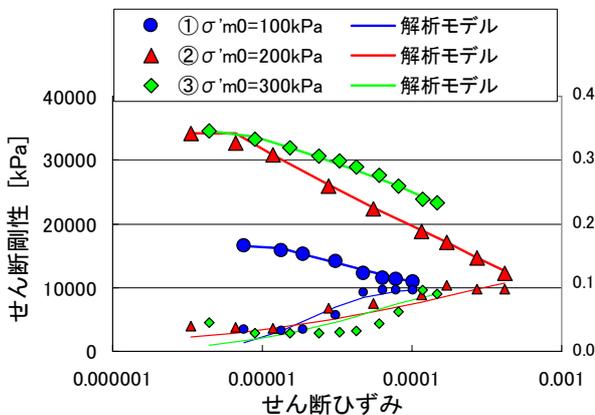


図3 模型材料の動的変形特性

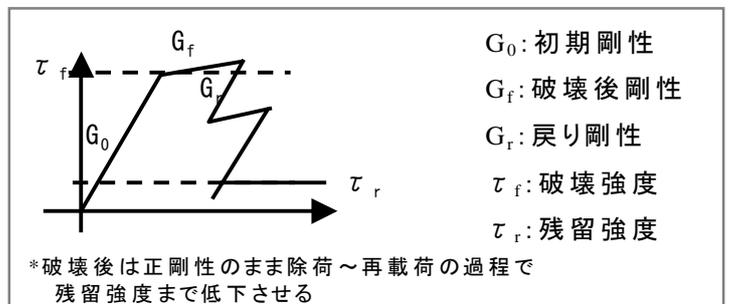


図4 要素モデル概念図

(簡略化のため双曲線型で計算した部分を単に線形(傾き G_0)で表示)

図6に示すように、変位波形の振幅は破壊の影響を受けていない部分についても、やはり再現されなかった。実験において変位計の固定条件が完全ではなかったこともあり、実験データの方が誤っている可能性も考えられる。図7はCASE1において、応力状態を破壊判定した結果を示している。この図を見ると、要素破壊の領域は図1中の実験時のすべり線と明らかに対応しない。これは応答解析時に破壊を全く考慮していないことが影響していると考え、図8、図9のようにCASE3、CASE4を実施した。CASE4は、

CASE3の結果から、模型底部に実験と異なる破壊が生じていたため、その部分を破壊させないように変更したものである。これらの図から、応答解析中の破壊の考慮方法によって、破壊領域が大きく異なることが分かる。CASE4の結果は実験ですべり破壊を生じた領域と比較的近い。

まとめ：斜面の遠心力模型実験を対象としてFEM動的応答解析を実施した結果、加速度波形の再現性については良好であったが、変位や破壊形態については実験結果とあまり整合していなかった。今後は、解析手法の高精度化を進めるとともに、物性の設定方法について見直す必要がある。

1) 石丸 真, 河井 正: 遠心場振動破壊実験に用いる亀裂性岩盤斜面模型の試作, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.231-234, 2007.

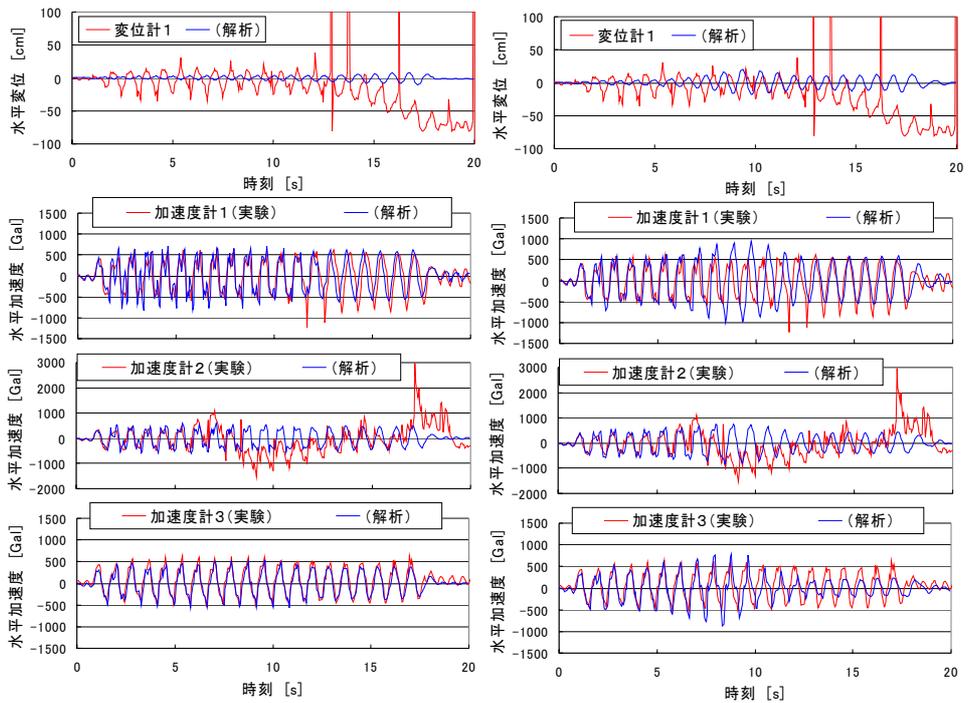


図5 CASE1

図6 CASE2

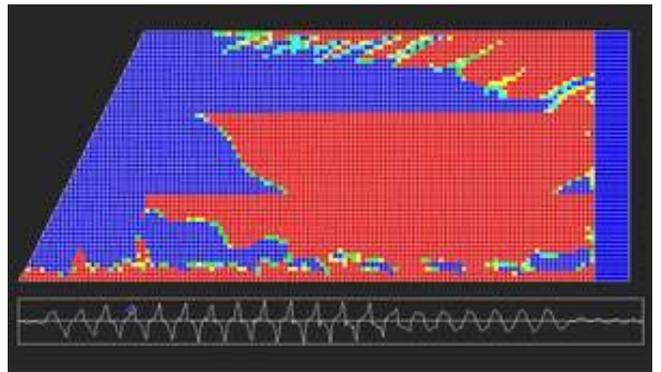


図7 CASE1の要素破壊図(赤が破壊)

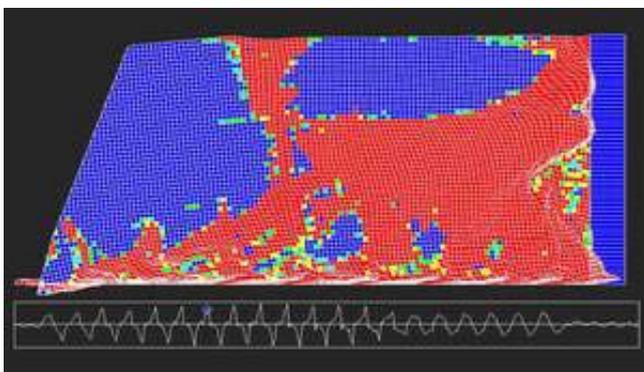


図8 CASE3の要素破壊図

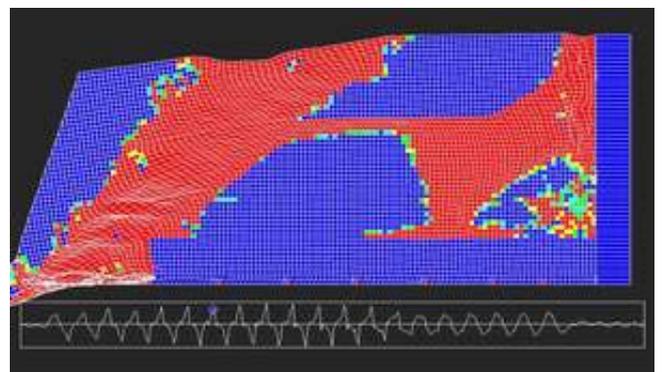


図9 CASE4の要素破壊図