

### 遠心力模型実験を用いた岩盤斜面の地震時安定性評価手法に関する検討

電力中央研究所 正会員 ○石丸 真, 河井 正

#### 1. はじめに

盛土等の土質系斜面と比較して、岩盤斜面では動的な破壊に着目した模型実験の事例(例えば 1,2)は非常に少ない。岩盤斜面に対する地震時安定性評価手法の検証・高度化を行うためには、岩盤斜面の動的な破壊を再現できる模型実験手法により、実証データを蓄積することが重要である。

著者ら<sup>2)</sup>は、岩盤斜面崩壊の特徴である不連続面が関与したすべり崩壊を対象として、遠心力場にて振動破壊実験を実施した。本報告では、斜面法肩近傍の引張亀裂の発生が崩壊に及ぼす影響等について述べる。

#### 2. 実験条件と実験結果<sup>2)</sup>

実験に用いた斜面模型形状を図-1に示す。ここでは、セメント系の模擬岩盤材料とテフロンシートによる模擬不連続面(傾斜45度の断続節理を模擬)を用いて流れ盤斜面模型(実規模換算斜面高さ15m, 斜面勾配1:0.5)を作製し、遠心加速度30G(実規模に対する模型縮尺1/30)のもとで加振実験を行った。加振実験では実規模換算2Hzの正弦波20波を、ステップ毎に加速度振幅を大きくして水平方向に入力した(実規模換算で概ね0.5, 1.5, 2.5, 3.5m/s<sup>2</sup>)。

斜面模型は実規模換算3.5m/s<sup>2</sup>入力時に崩壊した。図-2に3.5m/s<sup>2</sup>入力時の法肩と法面中腹の応答を示す。これより、3.5m/s<sup>2</sup>入力時には加振とともに急激に変位が増大し、脆性的な破壊により崩壊に至ったことがわかる。また、法面中腹の方が法肩よりも水平変位波形の基線がずれ始める時刻が早いことから、斜面模型は下部からすべり始めたと推測される。

加振実験では斜面模型の崩壊の様子を観察するため、500フレーム/秒の高速カメラ(実規模換算では16.67フレーム/秒)により、斜面模型を上部から撮影した。図-3に、図-2に示した時刻における高速カメラ画像(映像の静止画)を示す。また、図-4に加振実験後に崩壊岩塊を取り除いて形状を測定したすべり面を示す。図-3からわかるように、斜面模型の天端では加振中に法肩近傍で引張亀裂が発生しており、これが図-4に示す斜面模型のすべり面の形成にも大きく影響したことが推測される。なお、高速カメラ画像を詳細に確認したところ、図-2に示す時刻4.4秒頃、当該箇所でも微小な引張亀裂が発生

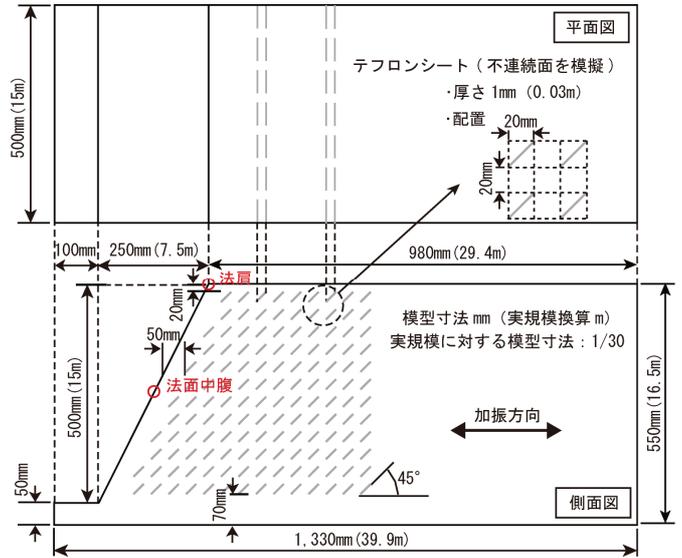


図-1 斜面模型形状

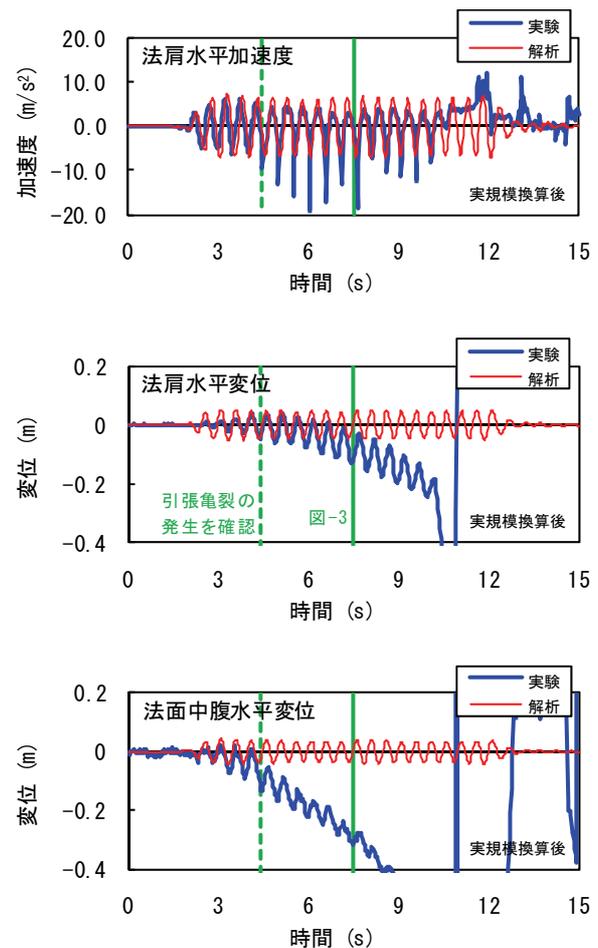


図-2 法肩・法面中腹の応答 (3.5m/s<sup>2</sup>入力時)

キーワード 岩盤斜面崩壊, 地震, 不連続面, 遠心力模型実験, すべり安全率

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 地震工学領域

し、その後、法肩から法尻の方向へ変位が発生するたびにそれが徐々に大きくなる様子が確認された。

3. 等価線形解析によるすべり安全率の算出

加振後の斜面模型からサンプリングした供試体等を用いて、静的三軸圧縮試験による強度特性や、繰返し三軸試験に基づく変形特性等の解析物性値を設定した。これらをもとに模型実験に対して等価線形解析を行い（解析結果の一部を図-2 にあわせて示す）、実験時に発生したすべり面に対してすべり安全率を算出した。（以上の解析条件・結果等の詳細は文献2)を参照されたい。）

図-5 に各加振ステップで求めた最小すべり安全率を示す。なお、図-5 には破壊した要素について、残留強度（ピーク強度を用いて算出したすべり安全率が最小となる時刻において要素の破壊を判定し、引張で破壊した場合はゼロ、せん断で破壊した場合は残留強度を使用）を用いた場合の結果もあわせて示している。実験で斜面模型が崩壊した 3.5m/s<sup>2</sup> 入力時の最小すべり安全率は 0.751（ピーク強度を用いた場合）であり、このことからすべり安全率に基づく安定性評価手法が安全側であることが確認できる。また、破壊した要素で残留強度を用いる場合はより安全側の結果となることが確認できる。

ここでは、実験時に発生したすべり面のほか、図-4 に示すより深い位置に想定したすべり面に対してもすべり安全率を算出した。その結果を表-1 に示す。これより、想定した深いすべり面の方が実験時すべり面よりも安全率の値が小さくなっており、実験結果と矛盾する結果となっていることがわかる。破壊した要素について残留強度を用いる場合も結果は同様である。

前述のように模型実験においては、加振中に法肩近傍で発生した引張亀裂がすべり面の形成に大きく影響した可能性がある。そこで、ここではすべり安全率の算出に際して、引張亀裂の発生を簡易に考慮することを試みた。すなわち、破壊した要素について残留強度を用いる場合に加えて、さらに図-4 に点線囲みで示した箇所の強度をゼロとしてすべり安全率を算出した。これは、地震力によって引張亀裂が発生した時刻とすべり安全率が最小となる時刻が必ずしも一致しないと考えた場合に相当する。表-1 にその結果をあわせて示す。引張亀裂の発生を考慮した場合、実験時すべり面は想定した深いすべり面よりも安全率の値が小さくなり、実験結果との対応が良くなることわかる。

以上より、崩壊領域をより正確に評価するためには、岩盤要素の破壊およびその進展をより適切に評価できる解析手法が必要であると考えられる。

謝辞 遠心力模型実験の実施に際し、株式会社大林組の稲川雄宣氏に多大なるご協力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

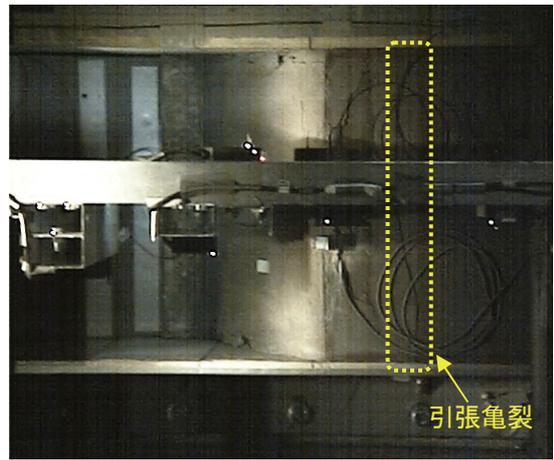


図-3 高速度カメラ画像（斜面模型上部より撮影）

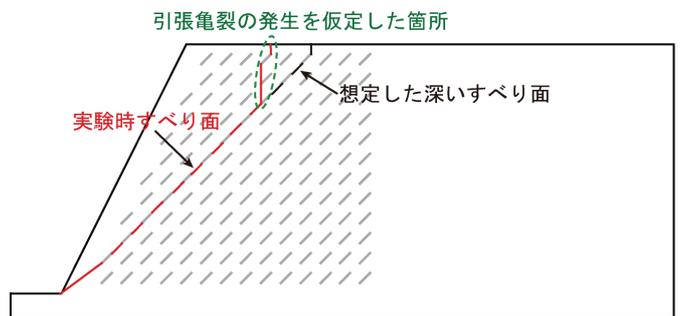


図-4 すべり面形状

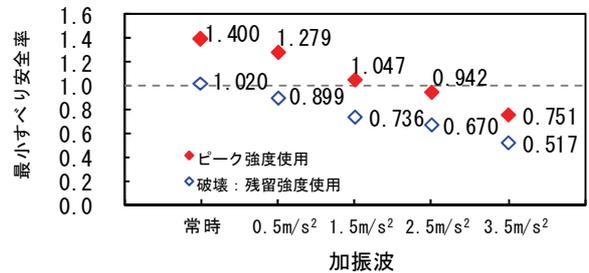


図-5 すべり安全率（実験時すべり面）

表-1 すべり安全率（3.5m/s<sup>2</sup>入力時）

3.5m/s <sup>2</sup> 入力	実験時すべり面	想定した深いすべり面
ピーク強度	0.751	0.613
残留強度	0.517	0.388
残留強度+引張亀裂考慮	0.315	—

参考文献

- 1) 北爪貴史ほか：地盤材料の異なる斜面の地震時崩壊機構と変位量評価の適用性に関する相違—遠心力模型振動実験、個別要素法及びNewmark法による検討—、降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム発表論文集、pp. 321-326, 2009.
- 2) 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.