

## 画像解析による大型斜面模型の変形挙動の評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺健治、篠田昌弘、中島進  
 (独) 原子力安全基盤機構 正会員 中村英孝、村田雅明  
 東北大学 正会員 河合 正  
 日本大学 正会員 中村 晋

**1.はじめに** 著者らはこれまでに小型(高さ 1.1m)、中型(高さ約 2~2.5m)の岩盤斜面模型の振動実験を系統的に実施し、画像解析により岩盤斜面内の弱層の角度、厚さ等がすべり面の発生やその後の崩壊パターンに及ぼす影響を検討している<sup>1)</sup>。本論文では、兵庫県耐震工学研究センター - の実大三次元震動破壊実験施設(以下、E ディフェンス)において実施した大型斜面模型(高さ 3.8m)の振動実験<sup>2)</sup>を対象としている。一般に、汎用型の変位計では模型全体の 2 次元的(面的)な変位の計測が難しいため、特に大型実験においては画像解析を適用することが有効となるが、その一方で撮影領域の広域化に伴い画像解析の精度が低下する。さらには、E ディフェンスでは加振に伴い建屋全体が振動するため、通常の三脚では高速度カメラも振動し画像解析精度が減少する。本論文では、E ディフェンスに適用した画像解析システムの概要、上記の課題に対する対処方法、得られた知見を概括する。

**2. E ディフェンスに適用した画像解析システムの概要** 画像解析システムは著者らが過去に小型模型、中型模型の振動実験<sup>1)</sup>に適用したものと同一である(表 1 参照)が、前述した課題に対して以下のように対処した。

(1) 建屋全体の振動への対処: 建屋全体の振動の影響を低減するために 2m×2m×2m のコンクリートブロック(18 トン)および除振装置によりカメラ設置用の除振台を構築した。除振装置はバネとダンパー(粘弾性体)によって構築されており、水平動・鉛直動の両方に対しパッシブに除振できる。この除振台により加振時の実験棟床面の振動(±5gal 程度)を±1gal 程度に低減できた(図 1)。

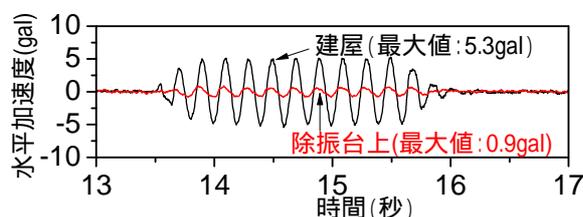


図 1 除振台による振動低減の効果

(2) 撮影領域の広域化に伴う精度の低下への対処: これまでの経験から、振動実験における画像解析の精度を確保するためには 8.0EV 程度以上の光量を模型全体にムラなく照射することが重要となる。本実験ではメタルハライド灯(1000W)を用い、ガラス面からの反射を避けるために左右 4 台ずつ斜め方向から照射することにより過去の振動実験以上の明るさ、撮影条件を確保することができた。さらに、精度を向上させるために模型斜面内に設置する標点の種類、標点の 2 次元座標算出方法を修正した(後述参照)。

表 1 画像解析システムの仕様、撮影条件

カメラの画素数	406 万画素
シャッター周波数	最大 166Hz
連続撮影時間	最大約 80 秒
撮影領域	7032mm×5166mm
撮影距離	11.3m
解像度	2.99mm/画素

なお、振動実験は 2 種類の斜面模型(Case21: 1 層模型、Case22: 3 層模型、図 2 参照)に対して実施した<sup>2)</sup>ため、2 つ

の独立した除振台、画像解析システムを構築し、同期撮影を行った。また、土槽側壁(アクリル製)と模型地盤間の摩擦軽減のため、2 枚のフィルムを全面に設置した。特に地盤材料側には帯電性の低いフィルムを適用した。

**3. 画像解析の精度** 過去の中型模型の振動実験では±0.20 画素程度(±0.3mm 相当、撮影条件: 1.5mm/画素、8.0EV)の精度が確保されていたが、E ディフェンスでは±0.23 画素程度(±0.8mm 相当、撮影条件: 3.46mm/画素、9.0EV)のノイズが確認され、精度が低下した(図 3 黒線)。これは、過去の実験と異なり E ディフェンスでの振動実験では全て人工光を用いたため、2 値化処理による標点の境界部分の認識が、フリッカー(光源の 60Hz 変動)によって生じる輝度差によって乱れるためである。このため、さらに照明を強化したところ、ノイズは±0.09 画素程度に減少した(図 3 青線)。これは変位量で±0.3mm 程度に相当し、過去の試験と同レベルである。さらに、従来用

キーワード: 画像解析、斜面安定、地震時安定性、E ディフェンス

連絡先: 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部基礎・土構造 Tel.042-573-7261 Fax.042-573-7248

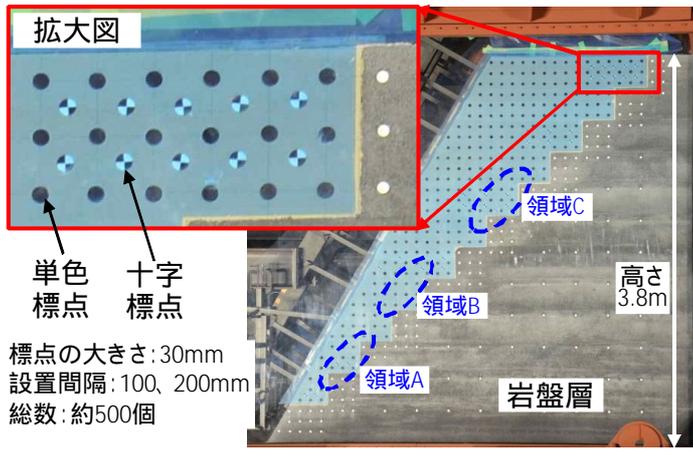


図2 画像解析用の標点設置の様子

いていた単色の標点だけではなく、図2中に示した十字に彩色した標点を用い、その中心座標を自動計測する手法を用いたところ、過去の中型模型の振動試験以上の精度が得られた(図3赤線、±0.05画素程度、±0.15mm相当)。なお、十字の標点はすべり面の発生が予想される箇所に集中的に設置した。

**4. 実験結果** 図4にCase22(三層模型)の振動台加速度、画像解析から算出したすべり土塊の移動距離および各高さにおけるすべり面に沿った変位量の時刻歴を示す。振動実験は加速度や加振方向(水平、鉛直)、加振波形(実地震波、正弦波)を変化させたが、ここでは最終加振時(ケース22、正弦波800gal 5Hz 10波)のデータを示している。図4(b)より、正弦波2波目前後から変位が顕著となり、その後は慣性力が崩壊方向に作用した時のみ進行的に変位したが、正弦波9~10波目から加振後においては自重により変位が増加する滑落モードに遷移したことが分かる。これは変位の増加に伴い、すべり面上で発揮されているせん断強度の低下(ひずみ軟化)およびすべり面の面積減少のためだと考えられる。また、図4(c)より加振前において既に模型の中層(図2の領域B、C)においてすべり面に沿って2~4mm程度の変位が発生しており、これが加振に伴い5mm程度を越えた段階で変位が急増したことが分かる。

また、図5に模型の最大せん断ひずみ分布(  $\epsilon_{max}$  分布)を示す。まず斜面模型中腹付近のせん断ひずみと上層部分におけるテンションクラックが顕在化し、その後これがつながって1本のすべり面として形成したことが分かる。変位が急増する直前のすべり面に沿った最大せん断ひずみは平均的に3~4%程度であり(図5右図)ひずみ量算定に用いた画像解析用標点の設置間隔を考慮すると、著者らが過去に実施した小型・中型模型と比較してひずみ量が多い。これは模型が大型化したため、模型内部の拘束圧が増加し、ピーク強度発揮時のひずみ量が増加したこと、模型各所に独立して発生し始めていたひずみが1本のすべり面としてつながるまでにより広い範囲でひずみが発生したこと、などに起因している。なお、は別途行った三軸圧縮試験で確認している。

**5. まとめ** 本論文では大型斜面模型の振動実験に対して適用した画像解析システムの概要、得られた知見の一部を紹介した。今後は、過去の小型・中型実験結果と合わせて検討し、岩盤斜面の損傷判断基準に反映していきたい。

参考文献: 1) 篠田ら: 岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み、第13回地震工学シンポジウム、日本地震工学会、2010、2)中村ら: E-ディフェンスで実施した大型斜面模型の振動台実験の概要、土木学会第67回年次学術講演会講演概要集、2012(投稿中)

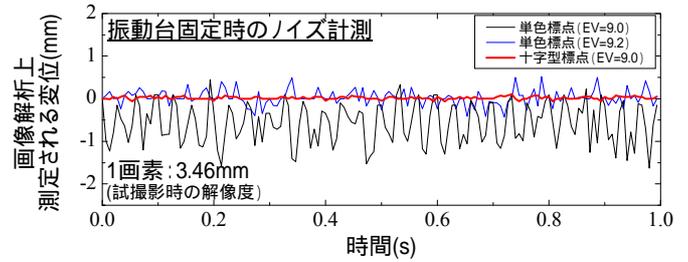


図3 画像解析システムの精度確認

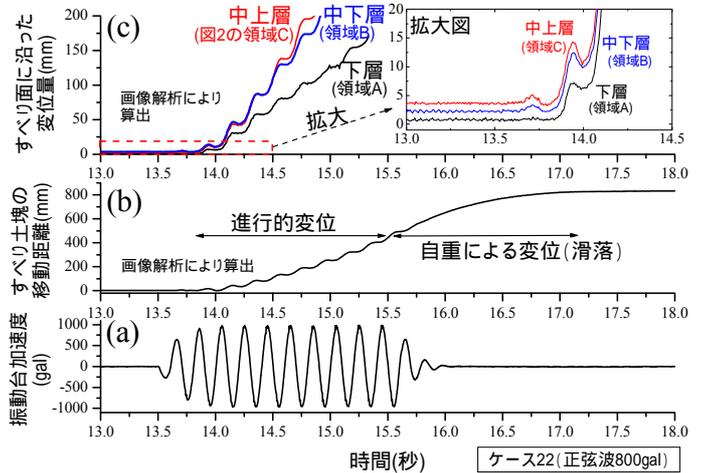


図4 振動台加速度、土塊の変位量の時刻歴

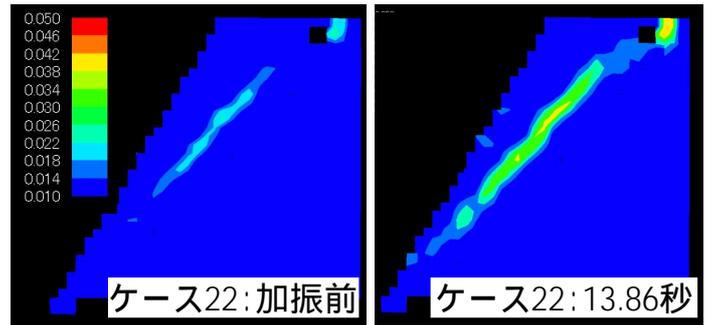


図5 加振前、加振中の模型の最大せん断ひずみ分布