

振動中の盛土の損傷過程に関する遠心振動台実験（その1）

鉄道総合技術研究所 正会員 ○土井 達也, 伊吹 竜一, 井澤 淳
日本工営株式会社 正会員 上村 健太郎, スレン ソッキアン

1. はじめに

盛土の耐震性能評価では、円弧滑り破壊を前提としたニューマーク法が使用されることが多い^{例えは1),2)}が、実際の被害では滑り破壊前の変状に留まっている場合も多い。このような盛土に対しては、ニューマーク法では実際の被害状況を必ずしも正確に再現できない^{例えは3)}。そこで著者らは、実際の盛土の損傷過程に基づいた性能照査法の構築を目指し、急勾配盛土の遠心振動台実験を行い、加振後の画像を用いた PIV 解析により滑り破壊に至るまでの損傷過程を評価した⁴⁾。その結果、法尻から発生するせん断ひずみが内部に進展し、すべり破壊に至ることを確認した(図 1)。一方、ひずみの内部進展から滑り線発生に至るまでの、振動中の損傷過程までは評価できていなかった。そこで本研究では、遠心場で振動台上からみた加振中の盛土の画像を撮影する手法を新たに確立し、加振中の撮影画像を用いた PIV 解析により、盛土が滑り破壊に至るまでの損傷過程を解明する。

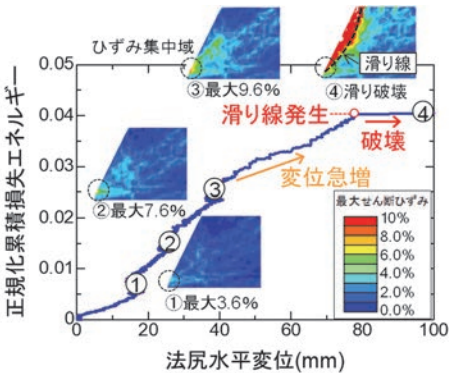


図 1 入力波エネルギー～変位関係と最大せん断ひずみ分布 4)を再構成

2. 遠心場における振動台上からみた盛土の画像の撮影手法

実験ではセンサフォーマット 1/1.8 でグローバルシャッタータイプのカメラを用い、図 2 のように振動台に固定して土槽とともに振動させた。レンズは、レンズから被写体の距離(約 200mm)に応じて必要な撮影範囲(幅約 400mm)を確保できる焦点距離(3.5mm)のものを使用した。また、カメラのフレームレートは 100fps に設定し、遠心加速度 50G 場換算の時間で 0.5 秒ごとの撮影を可能にした。

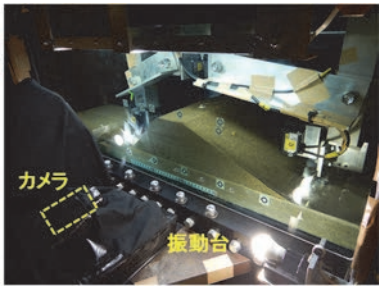


図 2 カメラの固定状況

3. 遠心振動台実験の概要

模型盛土は江戸崎砂を締固め度 $D_c=95\%$ に締固めて製作し、強固な支持地盤(セメント改良土)上に構築した。法面勾配は 1:1、盛土高さは 5m (遠心加速度 50G 場換算)とした。使用した江戸崎砂の物性を表 1 に、 $D_c=95\%$ の各種地盤材料試験結果を表 2 に示す。実験では、盛土内の加速度および天端、法面の変位を計測した。模型形状とセンサー配置を図 3 に示す。入力波としては、盛土が滑り破壊に至るまで正弦波を繰返し載荷することとし、1Hz、目標最大加速度 200gal の正弦波を 4 波(試番 1～4)、1Hz、目標最大加速度 300gal の正弦波を 2 波(試番 5～6)、1.2Hz、目標最大加速度 600gal の正弦波を 1 波(試番

表 1 江戸崎砂の物性等	
土粒子密度: G_s	2.68
平均粒径: D_{50}	0.34 mm
有効径: D_{10}	0.15 mm
均等係数: U_c	2.6
曲率係数: U_c	1.00
細粒分含有率: F_c	4.4 %
最適含水比: w_{opt}	14.6 %
最大乾燥密度: ρ_{dmax}	1.707g/cm ³

7) の順に入力した。各加振中に 2 章の手法で画像を撮影し、

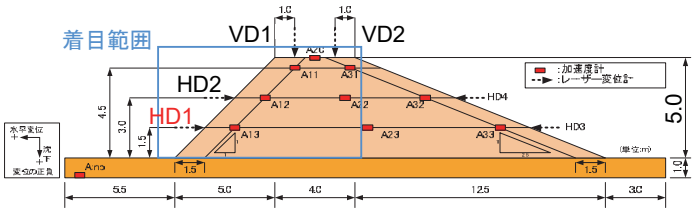


図 3 模型形状とセンサー配置

表 2 江戸崎砂 ($D_c=95\%$) の特性	
乾燥密度: ρ_d	1.622g/cm ³
圧縮指数: C_c	0.055
圧密降伏応力: P_e	318.1kPa
粘着力: c	2.5 kPa
内部摩擦角: ϕ	36.4 deg.

キーワード 盛土, 損傷過程, グローバルシャッター, PIV 解析
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7336

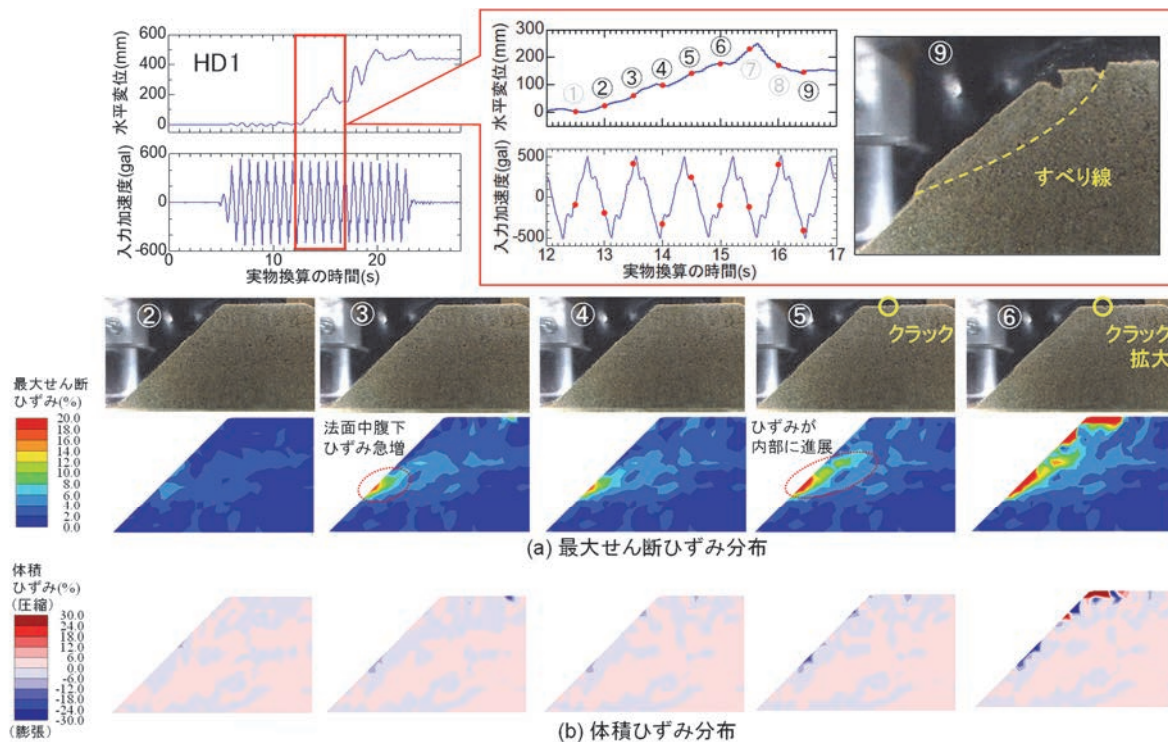


図4 PIV解析によって求めた最大せん断ひずみ分布および体積ひずみ分布（試番7）

PIV解析⁵⁾により加振中の変位を精緻に計測し、盛土内部に生じるひずみを求めた。なお、加速度、変位等の計測結果および、盛土のせん断ひずみと盛土材の強度特性との対応関係等については次稿⁶⁾で説明する。

4. PIV解析結果

加振実験では試番6までは滑り破壊を生じず、試番7の加振中に滑り破壊が生じた。試番7のPIV解析によって求めた最大せん断ひずみ分布および体積ひずみ分布を図4に示す。ここで、PIV解析の初期状態の参照画像はG上げ後の画像とし、ひずみ分布は初期状態からの累積としている。また、図中の水平変位は図3のHD-1の計測結果である。図4より、撮影画像にはゆがみなどはみられず、遠心場で加振中の盛土の損傷過程を正確に捉えている。また、画像③～⑤とそのときの最大せん断ひずみ分布より、最大せん断ひずみは法面中腹よりやや下から急増し、内部に進展していることがわかる。ここで、PIV解析によって求めたG上げ過程での最大せん断ひずみ分布を図5に示す。自重状態においても、法面中腹付近にひずみが集中する傾向がみられるため、自重状態の潜在的なひずみ集中域からせん断破壊が進展した可能性が考えられる。さらに、画像⑥の段階で法肩から法面中腹よりやや下側にかけて撮影画像のぼやけがみられたため、この時点で滑り破壊が開始したと推定できる。なお、画像⑤よりすべり破壊の直前に天端にクラックが生じ、画像⑥でクラックが拡大していることも確認できる。また、体積ひずみについては、滑り破壊直前までは盛土深部で圧縮方向に生じていることから、滑り破壊直前までは揺すり込み沈下が主体の変形モードであったと考えられる。

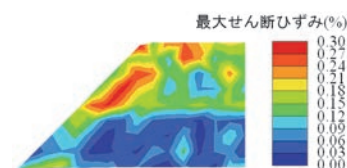


図5 G上げ過程での最大せん断ひずみ分布

5. まとめ

盛土の地震時損傷過程を把握するため、加振中の盛土の相対変位の撮影手法を構築し、撮影画像を用いたPIV解析を実施した。本手法により、地震時に盛土が滑り破壊に至るまでの損傷過程を詳細に追跡可能となった。

謝辞 鉄道総合技術研究所 画像・IT研究室の長峯望氏、向嶋宏記氏には、本研究の撮影手法の確立にあたり貴重なご意見を頂いた。記して謝意を示す。

参考文献 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，2007。 2) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012。 3) 藤原ら：東北地方太平洋沖地震における鉄道盛土円弧すべり解析による被害要因の考察，土木学会論文集A1（構造・地震工学），2015。 4) 小島ら：地震時の滑り破壊前の盛土の損傷レベル評価に関する遠心振動台実験 その2，第55回地盤工学研究発表会，2020。 5) S.A. Stainer, J. Blaber, W.A. Take, and D.J. White: Improved image-based deformation measurement for geotechnical applications, Can. Geotech. J. 53: 727-739, 2016。 6) 伊吹ら：地震による滑り破壊時の盛土の損傷過程に関する遠心振動台実験，第76回土木学会年次学術講演会，2021。（投稿中）