

## 振動中の盛土の損傷過程に関する遠心振動台実験（その2）

鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊吹 竜一, 土井 達也, 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

鉄道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用いられることが多い(例えば1),2)。しかし、滑り破壊前の変状に留まっている場合、実際の盛土の地震時損傷形態を必ずしも正確に再現できない問題が顕在化している(例えば3)。そこで、著者らは実際の盛土の損傷過程を反映した地震時の性能照査手法を構築するため、加振中における盛土の損傷過程の把握を試みている。前稿<sup>4)</sup>では、グローバルシャッタータイプの高速度カメラを用いた加振中の盛土の撮影手法を構築し、急勾配盛土が滑り破壊に至るメカニズムをPIV解析により考察した。本稿では、前稿<sup>4)</sup>で説明した遠心振動台実験のPIV解析結果に加え、加速度、変位の計測結果や盛土材の要素試験結果をもとに、滑り破壊に至るメカニズムの考察を行った。

## 2. 実験概要

模型形状およびセンサー配置図を図1に示す。ここで、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。また、盛土材の材料特性等については前稿<sup>4)</sup>に示している。入力波は、盛土が破壊に至るまで正弦波を繰り返し載荷することとし、目標最大加速度200galの正弦波（1Hz）を4波（試番1～4）、さらに目標最大加速度300galの正弦波（1Hz）を2波（試番5,6）、そして目標最大加速度600galの正弦波（1.2Hz）を1波（試番7）の順に入力した。また、試番1加振前の微小なホワイトノイズ加振により求めた盛土の固有振動数は9.6Hzであり、入力波の振動数に比べて10倍程度高い固有振動数を有している。

## 3. 実験結果

図2にVD1における天端沈下とHD1における水平変位の時刻歴を入力波とともに示す。試番1～6の加振では、天端沈下が徐々に増大しており、揺すり込み沈下が主な変形形態であると考えられる。一方、試番7では水平変位が急激に発生し、模型が図3に示すように滑り破壊に至った。ここで、地震時の盛土の変形性状を評価する場合、繰り返しせん断による変位量の蓄積が大きいため、入力地震動の振幅だけでなく、繰り返し特性

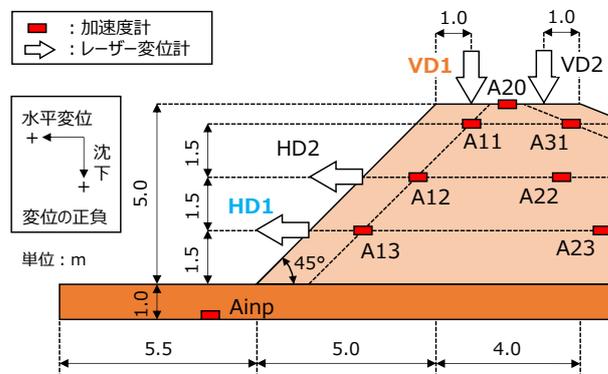


図1 模型形状およびセンサー配置図

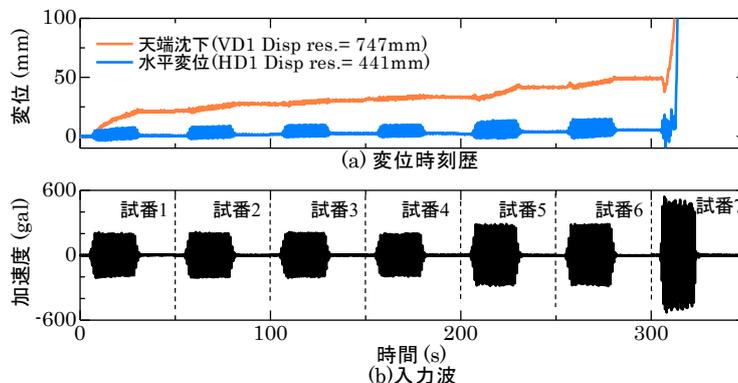


図2 変位量の時刻歴および入力波

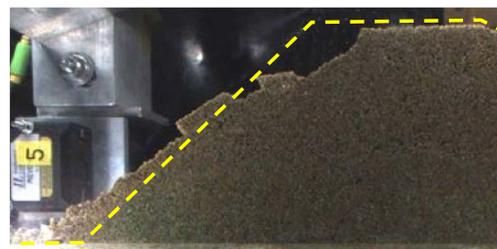


図3 試番7加振後の模型盛土

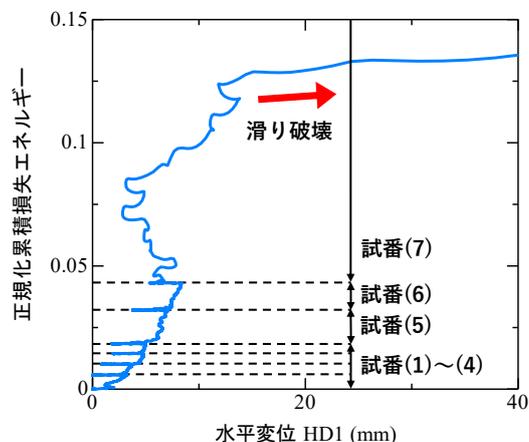


図4 正規化累積損失エネルギー～水平変位関係

キーワード 盛土, 遠心振動台実験, 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 042-573-7394

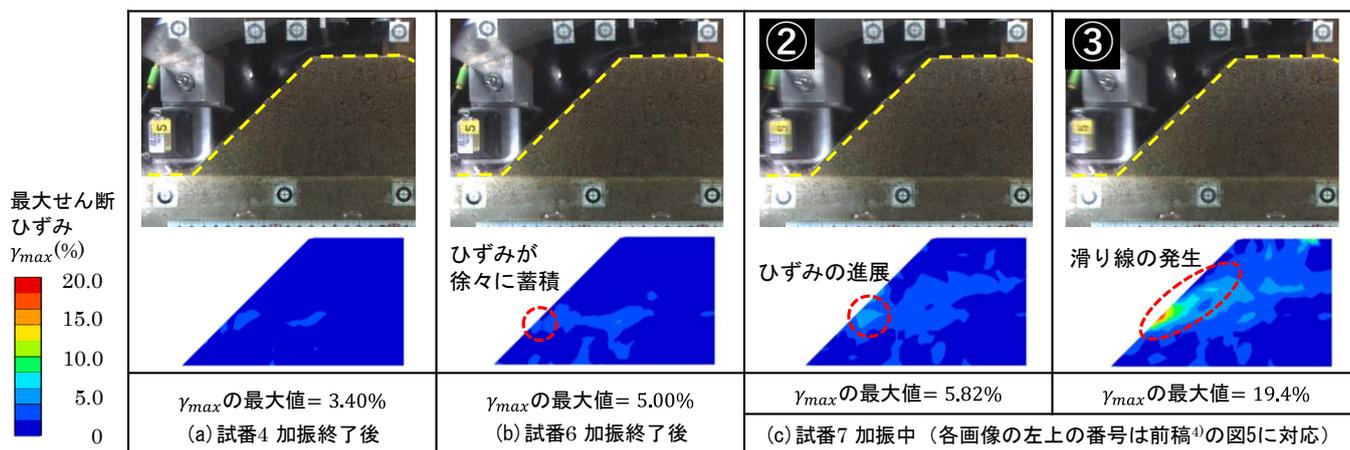


図5 PIV解析より得られた最大せん断ひずみ分布図(試番4加振後, 試番6加振後, 試番7加振中)

も考慮する必要がある。そこで、これらを併せて考慮できる指標として、地盤の液状化判定で提案されている累積損失エネルギー $W^5$ )を用いて整理した。なお、盛土体のせん断応力～せん断ひずみ関係は、測定した加速度波形を用いて推定した<sup>6)</sup>。盛土中央部付近の上載圧( $\sigma'_v = 50\text{kPa}$ )によって正規化した累積損失エネルギー $W/\sigma'_v$ と、水平変位(HD1)の関係を図4に示す。ここで、水平変位は振動成分を除去するため、0.01秒間隔のデータに対して区間数を200とした単純移動平均により平滑化した。図4より、試番1～6にて水平変位が徐々に蓄積していることがわかる。そして、試番7の加振中に正規化累積損失エネルギーが急増し、それに伴い水平変位も急増している。

また、この水平変位の急増は、図3に示す加振後の模型盛土の状況とも対応している。

試番7において滑り破壊に至るメカニズムを考察するため、PIV解析より得られた最大せん断ひずみ分布図を図5に示す<sup>4)</sup>。図5(a), (b)より、試番1～6によって法面中腹付近にひずみが徐々に蓄積していることがわかる。そして、試番7加振中(図5(c))において、ひずみが急増して盛土内部へと進展することで滑り線が形成され、滑り破壊が発生している。ここで、模型盛土と同材料、同条件で製作した供試体の中空ねじり単調載荷試験(拘束圧50kPa)から得られた応力～ひずみ関係を、図5における各時点の最大せん断ひずみの最大値とともに図6に示す。図6より、試番7加振中の②～③間において、盛土体に発生するせん断ひずみが、盛土材のピークせん断応力を示すせん断ひずみ(7.15%)を超えていることがわかる。そして、ピークせん断応力時のせん断ひずみを超えたときに、盛土体のせん断ひずみが急増し、滑り線が形成されて滑り破壊に至ったと推測できる。

#### 4. まとめ

本稿では、盛土が滑り破壊に至るメカニズムを評価するため、急勾配盛土の遠心振動台実験のPIV解析結果と、加速度、変位の計測結果や盛土材の要素試験結果を比較検討した。検討結果より、盛土体のせん断ひずみが盛土材のピークせん断応力時のせん断ひずみを超えない範囲では揺すり込み沈下が卓越するものの、ピークせん断応力時のせん断ひずみを超えると盛土体のせん断ひずみが急増し、滑り線が形成されて滑り破壊に至ったと推測できる。

**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) 土井ら: 遠心場における盛土の地震時損傷過程の撮影手法構築とPIV解析, 土木学会第76回年次学術講演会, 2021. (投稿中) 5) 風間ら: 地盤に入力された累加損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用, 土木学会論文集, No. 631/III-48, pp. 161-177, 1999. 6) Koga, Y. and Matsuo, O.: Shaking table tests of embankments resting on liquefiable sandy ground, Soils and Foundations, Vol.30, No.4, pp.162-174, 1990.

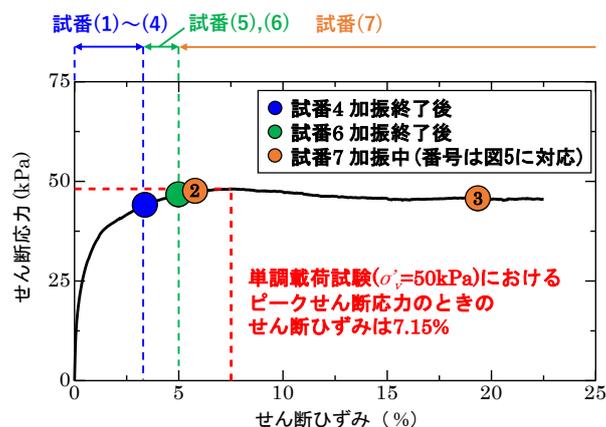


図6 盛土材の変形特性とPIV解析より得られた最大せん断ひずみの最大値