

盛土の地震時損傷過程に関する遠心模型実験

盛土 地震

東京工業大学	学生会員	○佐藤文啓
複合技術研究所		太田剛弘
鉄道総合技術研究所	正会員	鈴木聡
鉄道総合技術研究所	国際会員	井澤淳
東京工業大学	国際会員	高橋章浩

1. 研究背景および目的

現在の鉄道盛土の耐震性能評価では Newmark 法などによる天端の沈下量が閾値以内に収まることを照査している¹⁾が、これは実際の盛土の変形の損傷形態と一致しないことがある。今後、大規模地震による盛土の大変形への対策を推進するにあたっては、上記のような地震動によりすべり面が形成され、それに沿って土塊が滑動することを仮定した盛土の変形量推定法だけでなく、盛土の実挙動メカニズムを考慮した推定法も必要となってくる。そこで本研究では、地震時の盛土の実挙動メカニズムを把握するために、単線鉄道盛土を対象とした動的遠心模型実験を行った。

2. 試験方法

本研究は遠心加速度を 25g に設定し、単線の高さ 2.5m の鉄道盛土を小型模型で再現した。図 1 に作製した盛土の概略図を示す。盛土は含水比 $w=16\%$ の江戸崎砂を 3cm 毎に締め固めて作成した²⁾。支持地盤部締め固め度 $D_c=92\%$ 、それより上の盛土部は締め固め度 $D_c=85\%$ で作製した。また本実験では 2 つの地震波を盛土に入力して実験を行った。Case 1 では鉄道標準のレベル 2・スペクトル II 地震動（断層直下型）を入力し、その最大加速度は実物換算で約 1000gal である。Case 2 では鉄道標準のレベル 2・スペクトル I 地震動（海溝型）を入力した（最大加速度は実物換算で約 500gal）。図 2 は上記の地震動を相似則に従って調整して模型に入力した時の容器内に取り付けた加速度計でえられた記録であり、実際の剛土槽内の盛土に与えられた地震動である。実験時には盛土天端・斜面の変位をレーザー変位計で計測した。計測箇所は天端の左右 2 つと左右の法尻と法肩それぞれ 1 つずつの合計 6 つである。また加速度計は容器に 1 つ、支持地盤に 1 つ、盛土内に 9 つの合計 11 つを設置した（図 1 参照）。

3. 試験結果および考察

Case 1 および Case 2 の最大加速度応答比の高さ方向分布を図 3 に、盛土の鉛直変位の時刻歴を図 4 に、盛土法面の水平変位の時刻歴を図 5 に示す。また、図 6 には PIV 解析によって得られた盛土の永久変位分布を示す（ただし、Case 2 は振動終了まで録画ができなかったため、振動途中の変位分布となっている）。

(1) 最大加速度応答比

いずれのケースでも天端に近づくにつれて減衰していることがわかる。一方 Case 2 においては、支持地盤浅部で増幅が見られた。盛土の固有振動数は実物換算で約 10Hz であり Case 1, Case 2 の入力地震動の卓越周波数はそれぞれ実物換算で約 2Hz, 1Hz であった。一般的に入力地震動の卓越周期が構造物の固有振動数に近いほうが増幅する傾向を示すが、今回の実験の範囲ではいずれも大きく離れていることから盛土部において加速度の増幅は見られなかった。なお、支持地盤の固有振動数は実物換算で約 1Hz であったことから、Case 2 では支持地盤浅部で加速度が増幅したと考えられる。

(2) 変位の時刻歴

鉛直方向の変位は、最大加速度が大きく振動継続時間が短い Case 1 に比べて、最大加速度が相対的に小さく振動継続時間が相対的に長い Case 2 のほうが大きな値となっていた。これは水平変位の場合も同様である。これらより、地震動の振幅よりも継続時間の方が変形量に大きく関係していると考えられる。なお、水平方向の変位は法肩よりも法尻のほうが大きな変形となっている。これは図 6 に示す PIV 解析から得られた永久変位の結果と調和的であり、天端から法尻に向かって変形していたため、このような結果になったと考えられる。

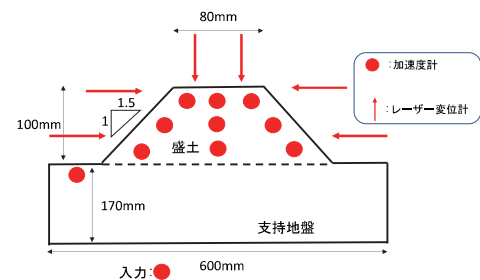


図 1：模型断面図

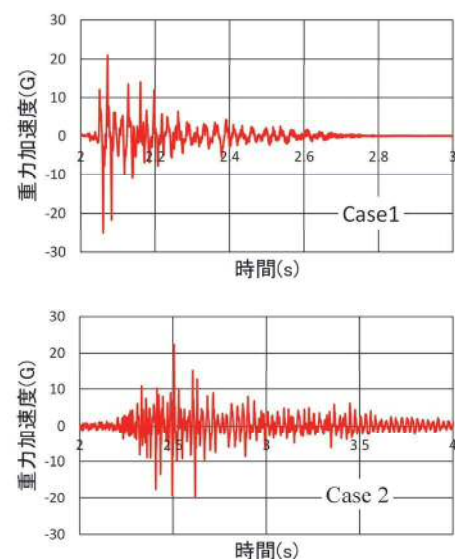


図 2：入力地震波

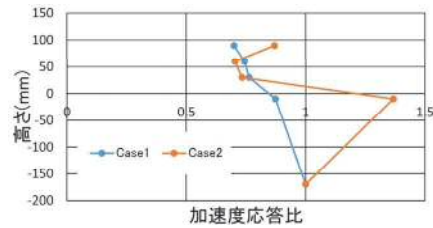


図 3：最大加速度応答の高さ方向分布

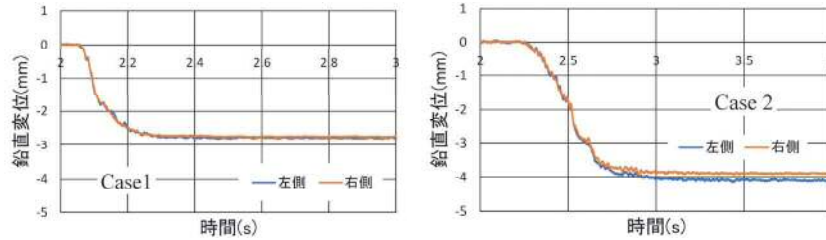


図 4：鉛直変位の時刻歴

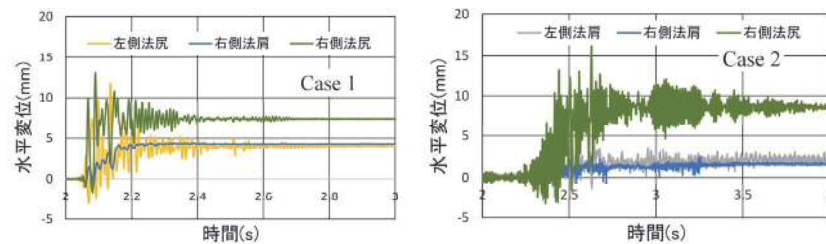


図 5：水平変位の時刻歴

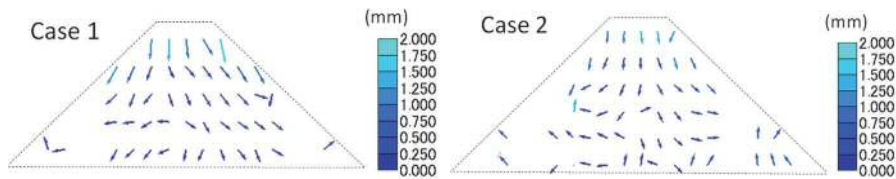


図 6：地震による盛土の永久変位分布

(3) 盛土変形図

図 6 には、ハイスピードカメラで撮影した動画から画像を抽出し、PIV 解析を行った結果が示されている。この解析は違う時点で得られた画像を比較し、その変位量をベクトル化して図化したものである。左右のベクトルがない部分は土槽の補剛材により盛土が見えなかった部分である。変形は左右ほぼ対称で法尻に向かって変形していることがわかる。また、法尻部分は斜め上方向に変形していることもわかる。盛土の地震時変形を対象とした模型実験や有限要素解析から、盛土の変形・安定性は法尻部の土の強度に大きく左右されることがわかっており^{例え3)}、法尻部の土質条件によっては変形が大きくなる可能性が示唆される。

4. まとめ

本研究では盛土の地震時挙動を把握するためにハイスピードカメラを用いた遠心模型実験を実施した。得られた動画から PIV 解析を行うことでその挙動を把握することを試みた。その結果以下のまとめを示す。

- ・ 盛土の地震時変形は、最大加速度が大きく振動継続時間が短いケースに比べて、最大加速度が相対的に小さく振動継続時間が長いケースの方が大きい結果となった。これにより、地震動の振幅よりも継続時間が変形量に大きく関係していることが示唆された。地震動の振幅だけでなく、継続時間も変形量に影響を与える可能性がある。なお、鉄道基準では過去の地震被害を再現できるよう土構造用照査波が別途用意されており、Newmark 法による変形量照査を実施することとされている。
- ・ 盛土の変形画像の PIV 解析結果から、盛土の変形は法尻部に向かって発生することが確認できた。これは、盛土の損傷における法尻部の土質条件の重要性を示唆しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計、2012
- 2) 澤田直樹：空石積擁壁の耐震補強に関する実験的研究、東京工業大学卒業論文、2017
- 3) 大川寛、杉田秀樹、佐々木哲也、水橋正典：山岳道路盛土の耐震性能照査手法に関する検討、土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集、257-260、2007