

模型振動実験による降雨浸透を受けた盛土の耐震性評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○磯野純治 松丸貴樹 小島謙一
 フェロー 館山 勝

1. はじめに

2004年の新潟県中越地震においては、山岳部で盛土が大きな損傷を受けており、被害拡大の要因として地震直前に発生した台風に伴う降雨による盛土内の水位線や飽和度の上昇が考えられている。これについては逆解析などによる検討からも既に検証されている¹⁾。しかし、このような水の浸透と耐震性能を関連付けて盛土の耐震性を検討した事例は少ない(例えば^{2),3)}。そこで、本研究は降雨と地震の複合災害における一検討として、盛土への水の浸透パターンに着目し、降雨により盛土のり面から水が浸透したケースと盛土背面から水が浸透したケースの盛土に対して振動実験を実施し、盛土内に水が浸透した場合の耐震性能について検討を行った。

2. 実験概要

実験は、散水によりのり面、天端から浸透させたケース、地山からの浸透を模擬し盛土背面から浸透させたケースの2ケースについて実施した。本論文では散水のケースを中心に報告する。なお、盛土背面から浸透させたケースに関しては文献⁴⁾に詳しい。

実験に用いた盛土模型の概略図を図1に示す。盛土高さは600mm、のり面勾配は1:1.5とした。盛土の作成には稲城砂($G_s = 2.723$, $D_{50} = 0.134\text{mm}$, $U_c = 9.29$, $F_c = 23.6\%$ 、締固め試験による最大乾燥密度 $\rho_{d\max} = 1.517\text{g/cm}^3$)を用い、乾燥密度 $\rho_d = 1.108\text{g/cm}^3$ 、含水比 $w = 13\%$ 程度となるように高さ50mmごとに締固めを行った。計測については、図1に示すように盛土内に加速度計、間隙水圧計、土壌水分計を設置し、盛土天端に変位計を設置した。また、盛土内部に標点を設置し、高速カメラによる撮影を行ったほか、3箇所の位置においてマノメータを設け、盛土内の水位を測定した。実験は、振動台上部に設置した降雨散水装置により、時雨量30mm相当の散水を実施し、盛土地盤底部に設置した間隙水圧計やマノメータが上昇を始めた段階で加振を行った(散水時間約4時間)。入力加速度は、1995年兵庫県南部地震でのポートアイランドにおける観測波の卓越周波数を5Hzに調整した波を用いて、最大加速度を200galから200galずつ上昇させ、盛土に大きな変形が生じるまで加振を行った。一例として、最大加速度800gal時の入力波形を図2に示す。

3. 実験結果

加振開始直前における飽和度の分布と想定される水位線の位置を図3に示す。水位線はマノメータの値から想定しており、のり面付近の水位が若干高いもののほぼ一定であることが分かる。飽和度は概ね高く、ほぼ飽和に近い状態であった。なお、盛土作成時の含水比13%は飽和度で24.3%に相当することから、いずれの位置においても散水により飽和度が上昇していることが分かる。

振動実験は、600gal加振時まではほとんど盛土に変形が生じず、800gal加振時において盛土内にクラックが発生し、1000gal加振時には大きな変形が生じたため、この段階で加振を終了した。加振終了時の写真を図4に示す。盛土天端に大きなテンションクラックが発生し、加振前と比較して盛土天端が沈下し、左水平方向へ変形しているのが分かる。また、のり面においても多数のクラックが生じている。

800galおよび1000gal加振時の加速度計A04、A10の時刻歴応答を図5に示す。800gal加振時には、加振1秒付近の最大加速度の時に、盛土のり面に設置した加速度計A04における応答加速度が大きくなっており(応答倍率(=盛土内の応答加速度を加振加速度で除したもの)1.23倍)、盛土のり面付近で加速度が増幅して

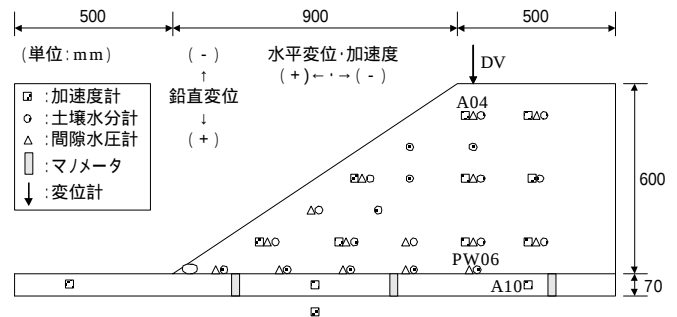


図1 盛土模型の概要と計測器配置

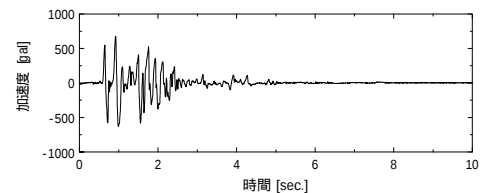


図2 入力加速度(800gal加振ケース)

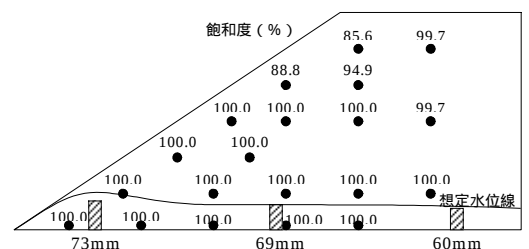


図3 加振直前の飽和度分布と想定水位線

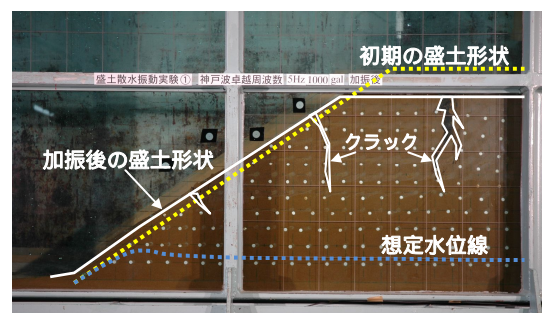


図4 1000gal加振終了時における盛土の変形

キーワード 盛土、降雨、浸透、振動実験、間隙水圧

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

いることが分かる。しかし、その後増幅率は徐々に低下している。1000gal 加振時においては、加振 1 秒付近の最大加速度の時点において A04 の応答加速度が既に小さくなっている（応答倍率 0.90 倍）。

800gal および 1000gal の間隙水圧計 PW06 における過剰間隙水圧の時刻歴および盛土天端における鉛直変位の時刻歴を図 6 に示す。800gal 加振時の過剰間隙水圧を見ると、最大加速度が入力された後の 1 秒過ぎから上昇を始めている。1000gal 加振時の過剰間隙水圧は、800gal 加振から 3 分間のインターバルを設けているものの、完全に消散しきれず 1.5kPa 程度残った状態であった。1000gal 加振時において、最大加速度が入力された段階で盛土の応答加速度が減衰された要因は、過剰間隙水圧の上昇や盛土の変形によるものと考えられる。盛土の変位については、800gal、1000gal とともに過剰間隙水圧が上昇を始める前から変形が始まっており、入力加速度成分の小さくなる 2 秒以降はほとんど変形が進展していない。このことから、盛土内で液状化のような過度の軟化が生じているわけではないと考えられる。

4. 水の浸透パターンによる比較

盛土背面から浸透させたケースの飽和度分布と想定水位線を図 7 に、実験結果を図 8 に示す。散水により浸透させたケースと比較すると、加振開始時の飽和度分布は盛土上部の飽和度が低くなっており、マンメータから想定される水位線は盛土背面における水位線の位置が当然ながら高くなっている。実験の結果から過剰間隙水圧の発生や応答加速度の減衰については 2 ケースとも近似した結果となっている。しかし、盛土が変形する際のクラックの発生や変形の進展状況等は、飽和度分布や水位線の想定位置の違いに影響されることから異なった結果となった。

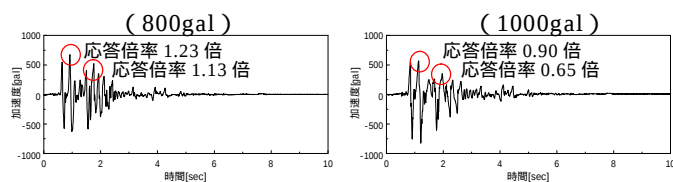
5. まとめ

降雨散水装置を用いて盛土内に水を浸透させたケースと盛土背面から水を浸透させたケースで振動実験を行い、水の浸透パターンが盛土の耐震性能に与える影響を検討した。2 ケースにおいて盛土に変形が生じた場合は、盛土内に過剰間隙水圧が発生し、盛土のり肩で応答加速度が減少していることが確認された。また、変形は盛土内の過剰間隙水圧が発生する時間よりも早く発生していることから、入力加速度の影響を受けて盛土が変形し、過剰間隙水圧の発生とともに土要素が軟化し、さらに変形が進むものと考えられる。しかし、加振後は変形が進展しないため、盛土内で液状化のような過度の軟化が生じているわけではないと考えられる。

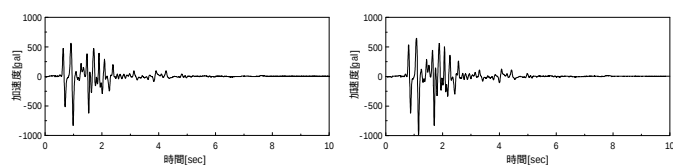
今後は、各浸透パターンの飽和度分布や水位線の違いが盛土の耐震性に及ぼす影響について検討し、実用的な設計手法や具体的な耐震対策について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 石塚真紀子, 松丸貴樹, 渡辺健治, 小島謙一, 舘山勝, 篠田昌弘: 2004 年新潟県中越地震で被災した鉄道盛土の動的応答解析, ジオシンセティックス論文集, 第 21 巻, pp195-202, 2006.
- 2) 一井康二: 降雨による盛土の耐震性低下に関する実験的研究, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, pp1-8, 2005.
- 3) 松丸貴樹, 小島謙一, 舘山勝, 渡辺健治: 水の浸透を考慮した盛土の振動実験, 第 62 回土木学会年次学術講演会, 2007.
- 4) 松丸貴樹, 小島謙一, 渡辺健治, 舘山勝: 模型振動実験による水を考慮した盛土の地震時挙動, 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論文集, pp251-256, 2007.

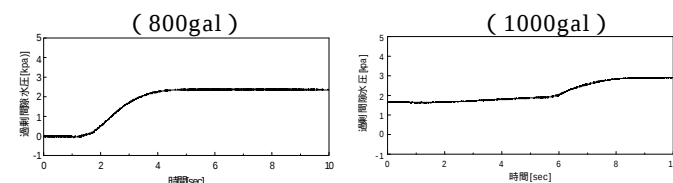


(a) A04

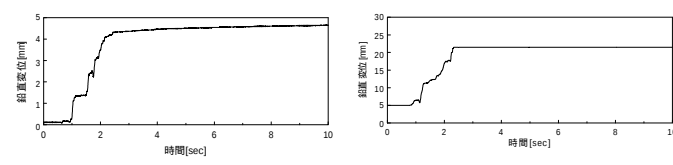


(b) A10

図 5 加速度計における時刻歴



(a) PW06



(b) DV

図 6 過剰間隙水圧および盛土天端の変位の時刻歴

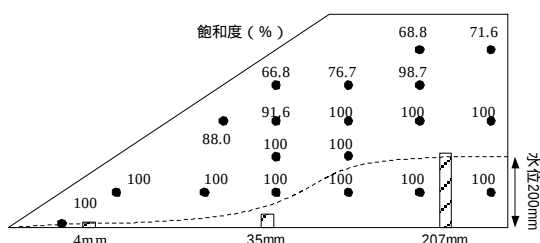


図 7 加振直前の飽和度分布と想定水位線 (盛土背面から浸透させたケース)

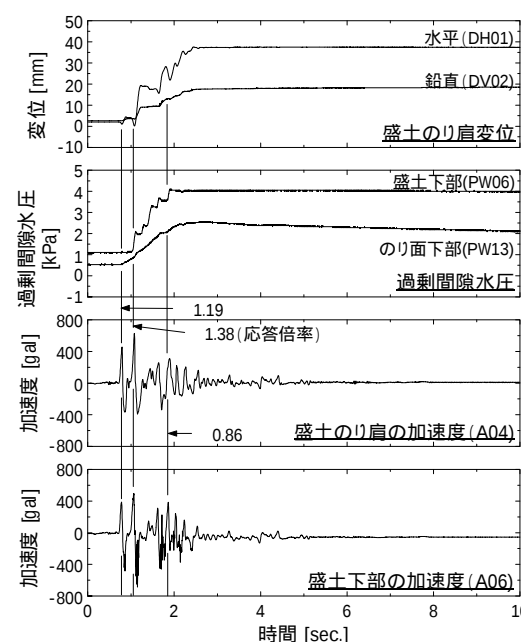


図 8 実験結果 (盛土背面から浸透させたケース)