

中間土で構成された盛土構造物の耐震安定性に関する振動台模型実験

環境防災研究室 永田 隆広
指導教員 大塚 悟 磯部 公一

1. はじめに

2004 年の中越地震、能登半島地震をはじめとして、過去の地震では盛土被害が多数発生している。その被害の多くは集水地形のため地下水位の高い谷埋め盛土で発生している。2004 年の新潟県中越地震の際には長岡市の高町団地において大規模盛土造成地が擁壁とともに崩壊し、盛土の崩落が造成地の建物や道路に甚大な被害を与えた。高町団地の盛土材料は砂とも粘土とも区別のつかない中間土であったことが分かっている¹⁾。高町団地が大規模な斜面崩壊の被害を受けた要因として、水が集まりやすいなどの地形的要因や地震発生前の台風 23 号による降雨の影響などが挙げられる。

本研究では、中間土を地盤材料として用いた盛土の崩壊機構を研究した事例は少ないことから地盤材料に中間土を用いて、盛土の崩壊要因の一つである地盤内の浸透水位に着目し、地盤内の浸透水位の盛土崩壊機構への影響を、振動台実験を行い、盛土崩壊メカニズムの相違について検証した。また、飽和・不飽和浸透流解析と剛塑性有限要素法による安定解析の連成解析にて、模型地盤内部の水位線、実験で得られたすべり面の形態や盛土斜面の崩壊挙動を表現しようと考えた。本概要では、紙面の都合上、実験結果のみを示す。

2. 実験概要

実験は、浸透水位、対策工の有無をパラメータとして、10 Case 実施した。また、対策工には不織布を用いた。図-1に計測器配置状況および各Caseの浸透水位線を示す。盛土内の浸透水位は、地盤内に設置した間隙水圧計とマンメータの計測値を用いて算出した。地盤は一般的な盛土を参考にして、地山および盛土の勾配は1:1.5、盛土高を250 mmとした。締固め度はそれぞれ地山 $D_c = 70\%$ 、盛土 $D_c = 65\%$ とし、最適含水比である13%より $\pm 0.1\%$ で調整を行い、仕上がり層厚による密度管理を行いながら作製した。模型地盤材料には、東北珪砂6号と藤森粘土を1:1の割合で混合した人工中間土($\rho_s = 2.677 \text{ g/cm}^3$, $D_{50} = 0.130 \text{ mm}$, $F_c = 45.6\%$, $I_p = 13.2$, 締固め試験により $\rho_{dmax} = 1.875 \text{ g/cm}^3$, $w_{opt} = 12.98\%$)を使用した。図-1のように計測器は、地盤内に加速度計、間隙水圧計、接触式変位計、レーザー式変位計を設置した。Case 5, 6, 8, 10 は、それぞれ所定の注入口から水を地盤内に浸透させ、盛土のり先の排水水位が土槽底面から80 mmとなったのを確認した後、加振を行った。図-2に振動台入力波形を示す。入力には8 Hz, 36波の正弦波を用い、最大加速度150 galから50 galずつ上昇させた。盛土に亀裂が生じた場合には、同加速度の繰返し加振を行うこととした。

3. 実験結果および考察

図-3に崩壊状況を示す。側面のメッシュから求めたすべり線(赤線)の他に、盛土平面から算出したすべり線の位置を、図中の赤い点線で示す。水位が低く対策工が無いCase5と対策工が有るCase8では、変形は生じるものの大変形には至っていない。水位が高く対策工が無いCase6と対策工が有るCase10では、盛土がのり尻部よりすべり出し、それに伴いのり肩部も大きく下流方向に流れ出した。対策工の有無により、崩壊形態に差異は見られない。対策工の無い場合には、不織布が配置してある位置に亀裂が生じるが、不織布の持つ引張強度により亀裂の発生が抑制されたため、不織布の裏側に亀裂が生じたと考えられる。また、水位の低い場合に、対策工の有無に関係なく、すべり線は盛土内の水位線上に生じる。

図-4に応答加速度倍率を示す。各計測点での加速度の最大値を、その時点で生じている振動台の加速度で除すことで求めた。水位が低く対策工が無いCase5では、地表面に向かって応答加速度が増加する傾向があり、特に盛土の中段で顕著な増加が見られた。水位が低く対策工が有るCase8では、対策工が無い場合に比べて、全体的に応答加速度の増加が抑制されたが、崩壊時におけるのり尻部の応答加速度が急激に増加した。地表面付近の応答加速度の増加が抑制されたのは、

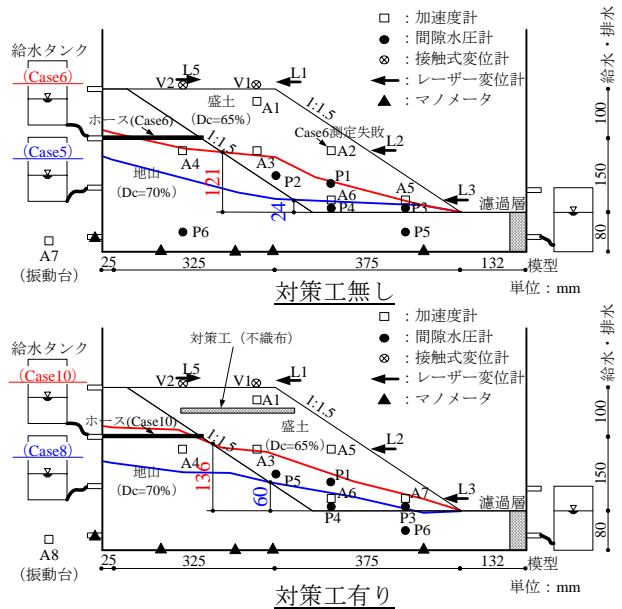


図-1 計測器配置状況および浸透水位線

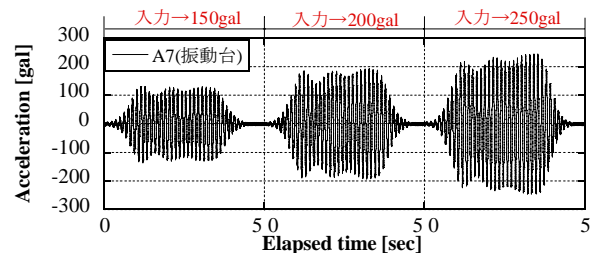


図-2 振動台入力波形

不織布を配置することにより盛土が一体化されて、不飽和領域と飽和領域との剛性差が抑制されたためと考える。図-5 に水圧の上昇による有効応力の経時変化を示す。図中の B は亀裂発生前、C は亀裂発生時、D は崩壊時のデータである。対策工の有無で計測器の配置が異なることに注意する。Case10 の C 区間で P1, P5, P3, の結果を載せていないのは、水圧計の膨張の影響が大きく結果として考察が難しいため除外した。Case8 で P3 の結果が無いのは、 $\sigma' - du$ の値が B~D 区間前に既にマイナス値を示したためである。このことから、のり尻部のせん断抵抗力が低い状態であったと考えられる。水位が低く対策工が有る Case8 は、対策工が無い Case5 に比べて B~C 区間で全体的に低い値を示しており、水位の高い場合と傾向が類似しているが、Case8 は崩壊時、盛土が大変形せずに構造を保っている。不織布を配置したことにより、応答加速度の増加を抑制し、水位が低い場合の一番の崩壊因子である、外力を抑制する効果を不織布が発揮した。しかし、崩壊因子の外力を抑制する一方で、盛土内に水位が溜まり盛土全体の有効応力が水圧の上昇を受けて低下し、せん断耐力の低下が大きくなった。加振毎に水位が、除々に溜まっていたとしても初期の水位が低いために、盛土上部に不飽和部分が広がっており、地盤が液体化する箇所が少なく大変形に至らなかったと考えられる。水位が高い場合では、対策工の有無で大きな違いはないが、Case10 で対策工無しの場合と比べて、亀裂発生時や崩壊時の入力加速度が増加していることから、不織布を配置したことにより、強い外力に耐えられるという結果となった。水位の高い場合は、盛土全体の有効応力が水圧の上昇を受けて低下する。特に、のり尻部の有効応力が大きく低下することにより、盛土を支えていたのり尻部が流れ出して大崩壊する。盛土天端付近に不織布を配置することで、不織布の持つ引張力により、亀裂の進展や応答加速度の増加を抑制することができる。また、盛土内の水位を排水することでさらに盛土の崩壊を抑制できることが予想される。

4. まとめ

地下水位を浸透させた状態と盛土上部に対策工を施した模型盛土に対し、振動台実験を実施し、盛土の崩壊機構を検証した。その結果、盛土内の浸透状況による崩壊メカニズムの違いや対策工の効果が確認された。

<参考文献>

- 1) 好井健太：高町団地の盛土崩壊地より採取した中間土の繰返しせん断特性，長岡技術科学大学修士論文，2007。

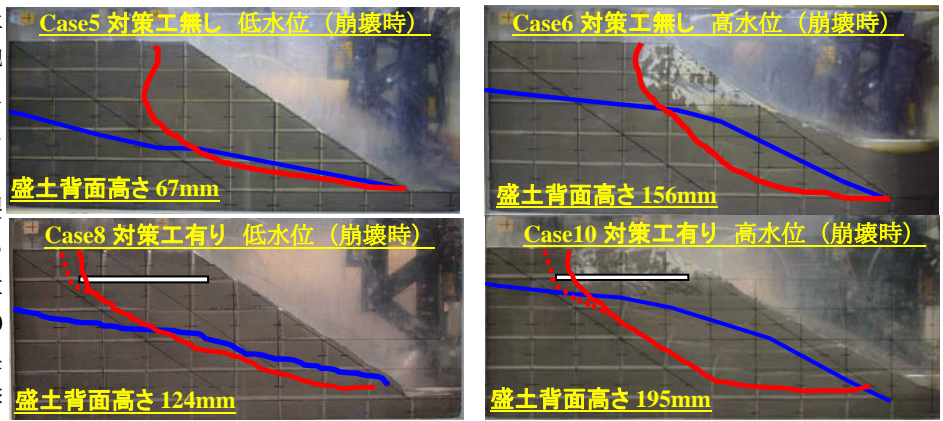


図-3 崩壊状況

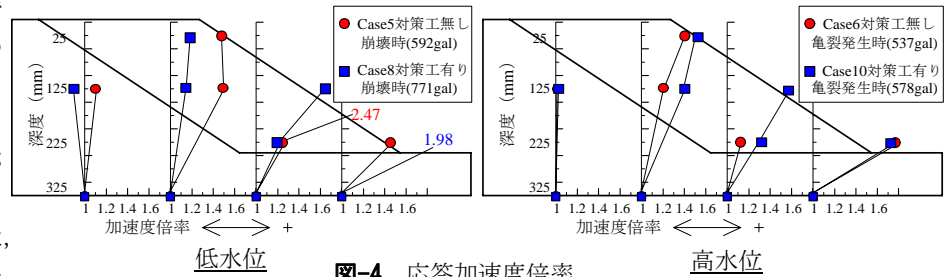


図-4 応答加速度倍率

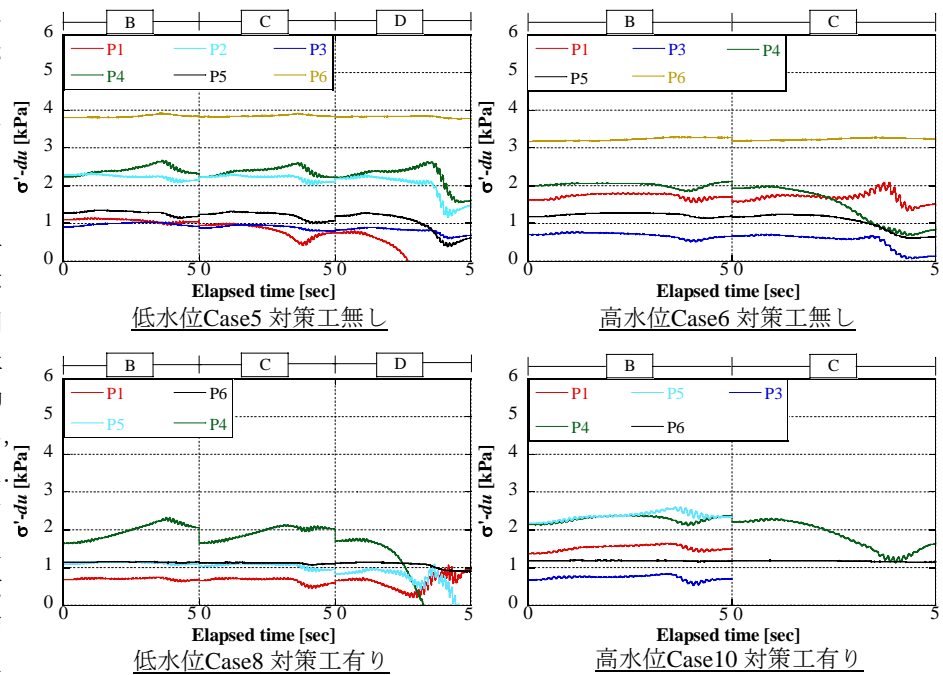


図-5 水圧の上昇による有効応力の経時変化