

地下水浸透状態における中間土で構成された盛土の崩壊機構に関する振動台実験

環境防災研究室 鈴木 幸治
指導教員 大塚 悟 磯部 公一

1. はじめに

2004年の新潟県中越地震では、大規模宅地造成地である長岡市の高町団地において盛土の流動崩壊が造成地上の建物や道路に甚大な被害を及ぼした。また、地震直前の台風による集中豪雨が被害を拡大したと言われている。盛土材の物理特性、力学特性を調査すると、砂とも粘土とも区別のつかない、いわゆる中間土に分類されたが¹⁾、これまでの研究で細粒分を多く含んだ地盤材料を用いた盛土の崩壊機構を研究した事例は少ない²⁾。そこで本研究では、砂、シルト、粘土を混合した人工中間土を用い、地下水を浸透させた状態の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。

2. 実験概要

実験は、盛土の締固め度、浸透水位をパラメータとして、7ケース実施した。本概要では、紙面の都合上、浸透水位を変化させて実施したケース3、5のみ結果報告する。図-1に、模型断面図および計測器配置状況を示す。盛土は、切土および盛土の勾配を1:1.5、盛土高を250 mmとした。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。地山 $D_c = 70\%$ 、盛土 $D_c = 65\%$ とし、含水比 $w = 13\%$ 程度にして仕上がり層厚による密度管理をしながら作製した。計測は、盛土内に加速度計、間隙水圧計、マンメータ、接触式変位計、レーザー式変位計を設置した。ここで、間隙水圧計は浸透水位を考慮して配置しているため、両ケースで配置場所が異なり、実験結果を直接比較するのが難しい点もある。盛土側面の変形を観察するために盛土壁面にメッシュを加え、盛土表面に標点を設置した。ケース3、5は、それぞれ左端の給水水位を盛土下端から高さ330 mm、280 mmとなるように保持し、盛土のり先の排水水位が80 mmとなり、間隙水圧計および変位計の安定が確認された後、加振を行った。入力には8 Hz、36波のスweep波を用い、最大加速度150 galから50 galずつ上昇させた。盛土に変形が生じた場合には、同加速度の繰返し加振を行うこととした。図-2に、振動台入力波形を示す。

3. 実験結果および考察

図-3に、加振開始前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。ケース1は、排水処理が追いつかず、のり尻が湛水状態であることもあり、のり尻の水位が高い。ケース2は、ケース1より30 mm程度水位が低い。

加振実験を行った結果、ケース3は373 galで亀裂が発生し、その後同加速度の繰返し加振により大変形が生じた。ケース5は590 galで亀裂が発生し、その後同加速度の繰返し加振により大変形が発生した。図-4に、最終加振後の変形状況および最大せん断ひずみ分布を示す。両ケースの破壊形態は異なり、水位の高いケース3は、盛土天端に亀裂が1箇所発生し、亀裂からのり尻にかけてすべり崩壊が生じている。水位の低いケース5は、盛土天端、のり面に複数の亀裂が生じ、盛土全体で同レベルのひずみが広がっている。図-5に、最終加振時の加速度時刻歴および加速度倍率を示す。水位の高いケース3は、加速度時刻歴から、切盛境界中央の加速度(A3)がマイナス方向(斜面下流方向)に若干傾斜したため、加振終了後ゼロになっていない。加速度倍率から、水位の高いケース3では盛土内の応答加速度は地表面に近づくにつれ漸増する。一方、水位の低いケース5では地表面に近い箇所で大きな応答加速度を示す。これは、水位の高いケース3では盛土全体がほぼ飽和領域あるいは飽和度の高い不飽和領域となっており、盛土全体の剛性差が少ないために局所的に加速度が増幅する箇所が見られなかったのに対し、水位の低いケース5では不飽和領域が盛土上部に広範囲で存在し、飽和領域との剛性差が生じたためにのり肩でのみ応答加速度が増幅したと考えられる。そのため、ケース5では振動台あるい

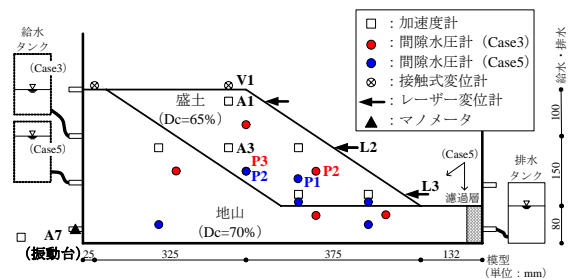


図-1 模型側面図および計測器配置状況

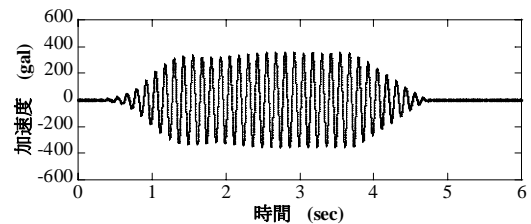


図-2 振動台入力波形

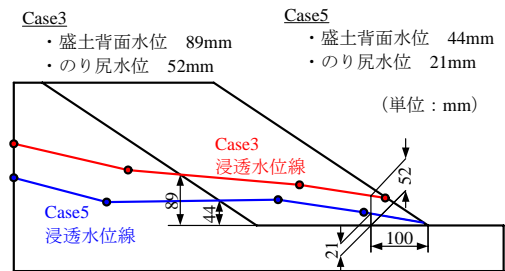


図-3 浸透水位線

は盛土中段と比較して、のり肩で周期が長くなり位相差が生じた。図-6に、変位および過剰間隙水圧比の時刻歴を示す(ケース5のL2は、3.5秒付近でレンジオーバーとなる)。過剰間隙水圧比は、過剰間隙水圧と全上載圧から算出しているが、全上載圧を算出する際の不飽和部分の含水比は、地盤作成時の値($w=13\%$)を用いており、実験中の含水比はこれより大きい値となることが予想される。したがって、実際の全上載圧は大きく、過剰間隙水圧比は図-6に示す値より小さくなると考えられる。両ケースとも、加振から約0.5秒後に過剰間隙水圧が先に上昇し、その後沈下量および変位量が増加している。この現象は、砂分を多く含む盛土の実験では水圧よりも変位が先に増加している現象^{2),3)}と異なる。これは細粒分を多く含む中間土で構成される盛土では、砂分を多く含む盛土よりも土が体積変化しようとする時に間隙水の出入りがしづらいために体積変化が起こらず、その結果過剰間隙水圧が先に増加したと考えられる。しかし、本実験においても変位の増加とともに、過剰間隙水圧がさらに増加しており、これらがせん断強度を低下させ、変位の増加を誘発している現象は他の実験結果と同様である。両ケースとも、のり肩沈下量、のり面水平変位は、加振終了後直ぐに落ち着き、変形が生じているのは加振中のみである。変形はあくまでも入力動が作用しており、クリープ、液状化に起因する流動的崩壊は発生していない。

4. まとめ

地下水位を浸透させた状態の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、盛土内の水位の違いによる加振時の崩壊機構の違いが確認された。中間土で構成された盛土は、加振により過剰間隙水圧の上昇が先行し、その後変形が生じることが確認された。

参考文献 1) 好井健太ら：中越地震における高岡団地の盛土崩壊地の土質特性，第42回地盤工学研究発表会，p.p.1811-1812，2007。 2) 松丸貴樹ら：水の浸透を考慮した盛土の振動実験，土木学会第62回年次学術講演会，p.p.93-94，2007。 3) 国土交通省土木研究所：山岳盛土地震時流動破壊現象に関する実験的研究報告，2001。

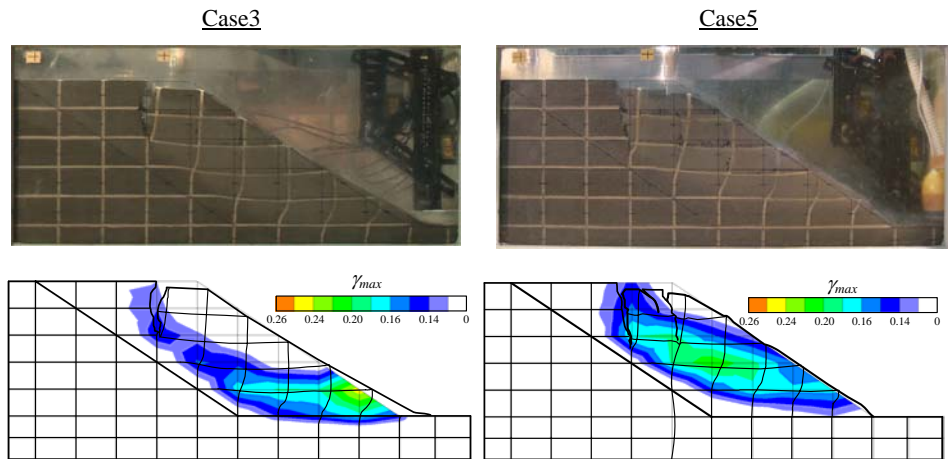


図-4 変形状況および最大せん断ひずみ分布

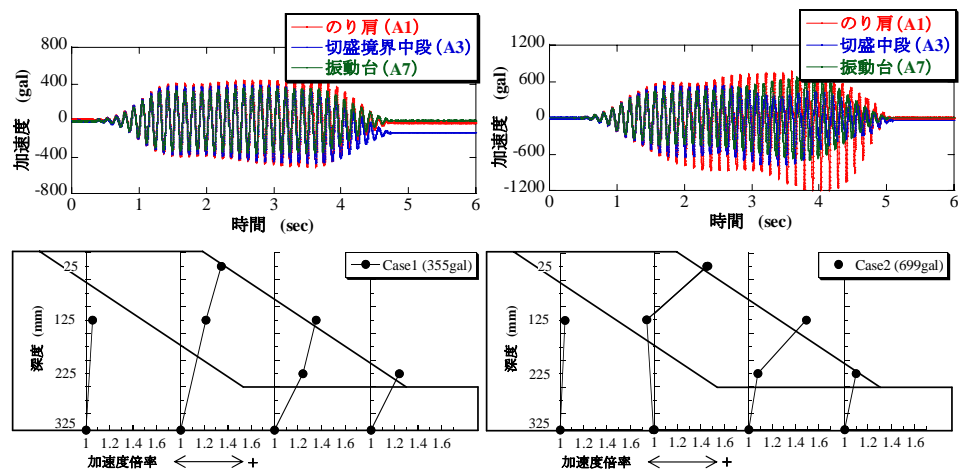


図-5 加速度時刻歴および加速度倍率

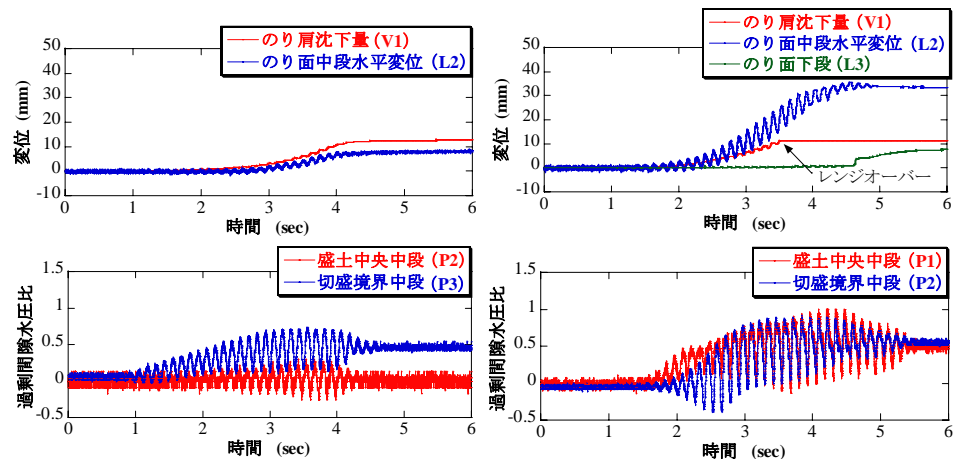


図-6 変位および過剰間隙水圧比時刻歴

地下水位を浸透させた状態の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、盛土内の水位の違いによる加振時の崩壊機構の違いが確認された。中間土で構成された盛土は、加振により過剰間隙水圧の上昇が先行し、その後変形が生じることが確認された。