

森林総合研究所 ○大倉陽一, 落合博貴, 三森利昭, 川浪亜紀子
 信州大学農学部 北原 曜

1 目的

崩壊土砂の流動化機構の一つとして、非排水急速載荷に伴う土層内過剰間隙水圧の発生と急速せん断の進行が指摘されている(例えば Hutchinson, 1988)。この事は土質試験においては既に確認されているが(例えば海堀, 1997)、実際の斜面現象としては、モデル斜面を用いた土層圧縮域における過剰間隙水圧の発生を再現しているにとどまる(例えば三森ら, 1995)。

そこで本研究では、モデル斜面を用いて崩土の運動と過剰間隙水圧との時空間的關係を検討し、流動化の発生メカニズムを実証的に明らかにする事を目的とする。なお、当研究は林野庁中部森林管理局との共同研究「斜面崩壊の土石流化に関する基礎的条件調査」の成果によるものである。

2 方法

2.1 土槽概要

実験は降雨装置を備えた土槽に砂を詰めて、降雨により崩壊を誘発することにより行った。土槽は水平長 9.0 m, 垂直高 4.8 m, 幅 1.0m, 下部斜面水平長 4.0m, 上部斜面水平長 4.0m, 上部平坦面水平長 1.0m, 下部斜面傾斜 10°, 上部斜面傾斜 32°, 側壁高さ 1.0m である。左側壁面は崩壊運動を観察するために強化ガラス製となっている。また、降雨強度は 100mm/hr で、均等分布となるよう調整されている。

実験に用いた砂は、平均粒径 0.7mm, 均等係数 3.5, CU 一面せん断試験による内部摩擦角 30° で、土槽に詰めた状態の砂層間隙比 0.66, 乾燥密度 1.35g/cm³ である。また、土槽全域にわたり 50cm 均一砂層深とした。

2.2 観測システム

小型の間隙水圧計を砂層内に埋設するとともに、土槽床面に水圧計、土圧計を設置した。砂層運動を観測するため、小型の円柱状マーカーを土槽ガラス面に密着させて埋設し、ビデオカメラにより砂層運動を撮影した。さらに、水・土圧データと動画記録との同期を取るため、画像内に実験開始時からの経過時間のデジタル表示を写し込むと同時に、水・土圧データへタイムコードを記録した。水・土圧は 100Hz で、動画記録は 30 コマ/秒で観測を行った。

3 結果ならびに考察

崩壊は降雨開始より 53 分後、累積雨量 88mm で発生した。図 1 に (a) 崩壊直前に於ける砂層内飽和域、(b) 崩壊発生前後の水圧計変位ベクトル、(c) 崩壊直後の飽和ならびに過剰間隙水圧発生域を示す。図より崩壊は飽和水面の生成後発生しており、過剰間隙水圧は砂層圧縮域において発生していることがわかる。

図 2 に土槽下端壁より 3m ならびに 5m 地点床面での水圧、土圧、上載砂層厚、砂層体積歪み、せん断速度との関係を示す。圧縮域となる 3m 地点では、崩土による急速載荷にともなう非排水せん断により、有効応力の急減と過剰間隙水圧の発生、その直後のせん断速度の増加と圧密が進行している。そしてその後の上載砂層厚の増加に応じた付加応力により過剰間隙水圧の上昇が継続している。

これに対して崩壊発生源となる 5m 地点では、内部摩擦係数よりも斜面傾斜の方が大きく、安定を失った

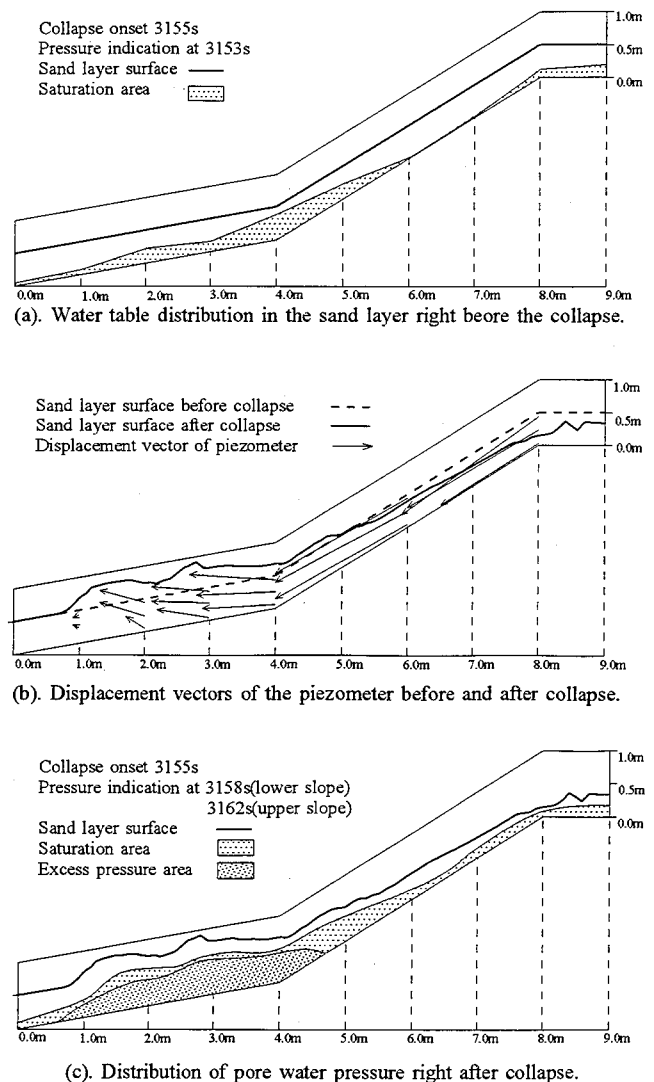


図 1 実験前後における間隙水圧分布と砂層変位。

砂層は即座に高速運動へ移行している。そのため体積収縮は顕著でなく間隙水圧値の増加も緩やかであった。土槽圧縮域に於ける流動化伝播のメカニズムを明らかにするため、図3に崩土の直撃を受けた4m地点から下端壁近辺の1m地点までの床面における水圧、体積歪み、運動速度の伝播の様子を示す。なお、図中各観測点での崩壊発生直前の水圧は正圧を示していたが、水頭値の相対的な上昇傾向を比較するため0点補正して表示している。

図より4～2m地点では間隙水圧値の上昇速度に明瞭なピークが観られるのに対して、1m地点では観られない。この理由について、崩土の衝撃による弾性波により砂粒子骨格が破壊され、その伝播過程でエネルギーが消散されると仮定し、無限弾性体中を伝わるS波の速度 V_s を(1)式により算出した。

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1)$$

ここで、 G ：せん断弾性係数、 ρ ：媒質密度。また、 G は(2)式により表される。

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2)$$

ここで、 τ ：せん断応力、 γ ：せん断歪み。CU一面せん断試験結果より G を算出して V_s を求めたところ7.3 m/sとなった。P波についてはS波の数倍程度になることが予想されるが、図3中の4～1m間の間隙水圧の伝播はこれらP・S波の伝播速度よりも遅い6.0m/sとなっている。よって、弾性波は過剰間隙水圧伝播の主要な要因ではないと考えられる。

そこで、4～2m地点では崩土の急速载荷による土粒子骨格の非排水せん断破壊が急速に進行したのに対して、1m付近では流動化により新たに滑動を始めた低速土塊による水平付加応力により過剰間隙水圧が発生したものとする。また、3、1m地点とも過剰間隙水圧が上昇してから後、せん断速度が増加している。

以上、急速载荷による過剰間隙水圧の発生と、新たな土層運動の誘発・伝播に関するメカニズムを、実規模に近い崩壊モデル実験により実証的に明らかにした。

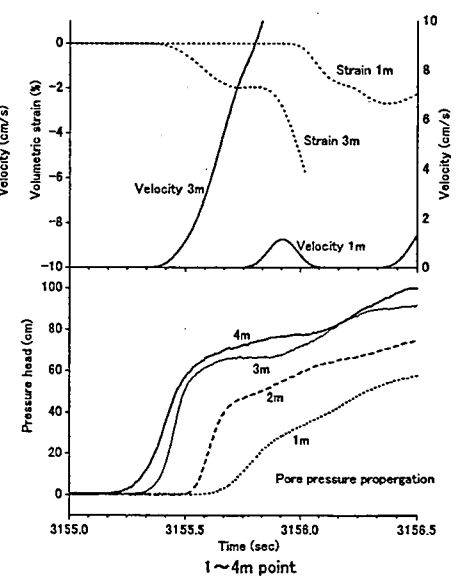
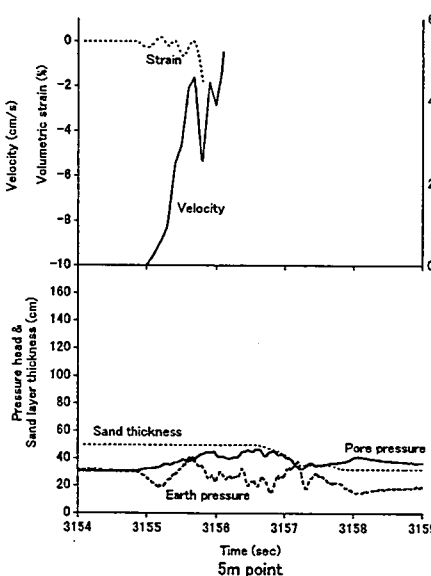
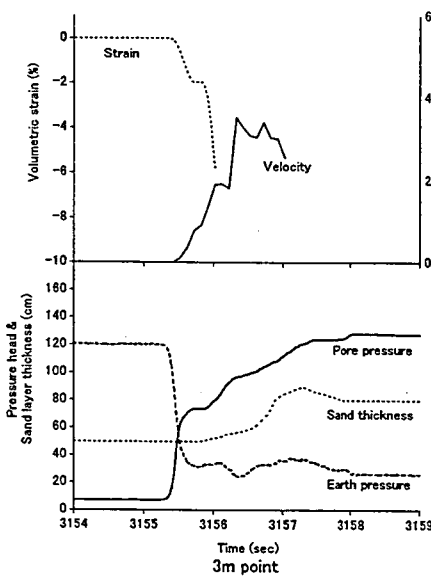


図2 土槽床面における間隙水圧、土圧、砂層厚、砂層体積歪み、ならびにせん断速度。

図3 圧縮域における間隙水圧と砂層運動の伝播。

参考文献

Hutchinson, J. H., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides : 3-35.
 海堀正博, 1997. 流動型崩壊発生メカニズムの研究のための試験機の試作と適用, 砂防学会誌, Vol. 49 No.6 : 24-28.
 三森利昭, 大倉陽一, 落合博貴, 北原 曜, 1995. 降雨を原因とする斜面崩壊に土層厚が及ぼす影響, 新砂防, Vol. 48 No.1 : 12-23.