

67 降雨実験によるローム斜面の崩壊・流下時の運動について

科学技術庁 防災科学技術研究所 森脇 寛

1 はじめに

崩壊発生後の土塊の運動に関する研究は、被災範囲予測につながる重要な課題である。近年、数値解析や土質力学的手法など、種々の分野から検討されているが、斜面崩壊の発生から流下・停止までの一連の現象を論じた研究は少ない。これは崩壊発生場の不確定性により現地の生データを得ることが極めて難しいことによる。ここでは、その解決方法のひとつとして模型実験による手法をとった。降雨装置を用いた模型実験により準自然的に斜面崩壊を発生させ、その崩土の運動を連続的に計測、検討したのでその結果を報告する。

2 実験装置と手順

〈実験装置〉実験模型は長4m (30°勾配)、幅0.5m、深さ0.7mの斜面部とその法肩及び法尻にはそれぞれ1m、3mの水平部層が接続されている鋼製水路である(図1参照)。片側の側壁は強化ガラスからなり、内部の土層の変形状態を観察できる。法尻部の水平部末端から金網を通して浸透水のみが流れる構造となっている。

〈実験条件〉実験土として関東ローム土を用いた。土層厚は0.3mである。斜面土層は、土層密度が均一になるように3層に分けて角材で一定回数を叩くことによって締め固めた。崩壊実験は3回、それぞれ異なる土層密度の条件で行った。いずれも100mm/hの降雨強度を斜面に与え、斜面土層が崩壊するまで散水している。

〈計測項目〉地表面移動量、斜面底面水位及び土層中の間隙水圧値である。それぞれの計測には回転摺動抵抗型移動計(D1,D2,D3)、拡散圧力変換器タイプ水位計(P0~P7)、歪みゲージ式間隙水圧計(位置省略)を用いた。計測は各センサーからの信号を電圧に変換し、データレコーダに記録・解析を行うシステムがとられている。このほか、側壁ガラス面を通しての目視観測及びビデオカメラ、モータドライブカメラにて撮影記録した。

3. 実験結果と検討

実験条件及び結果を表1に示す。土層密度が小さいとブロックスライド、逆に少し密度が大きいと全層崩壊を呈している。ここでは、全層崩壊を起こしたNo.2の実験を取り上げ、主に累積移動量の変化について記述する。

〈斜面変形、崩壊・流下の状況〉実験開始後17分過ぎより、斜面の変形が始まり、徐々にその変形が大きくなっていく。その後、斜面内でせん断破壊面(一次すべり面)が形成され、滑りはじめるとほぼ同時に高速でその斜面土層が水平部土層を水路末端部まで押し出している(図1)。この一次すべり面が形成されてから土砂が停止するまでの時間は約3.5秒である。一次すべり面は、法肩と水路底面と斜面下端部の勾配変換点とを結ぶ複合すべり面で、図1で図示した水平部土層のすべり面は二次すべり面である。図1の崩壊後の各移動点の位置(D1),(D2),(D3)からもわかるように斜面全体の土層が均等に滑り落ちるのではなく、水平部での抵抗力が大きいためか、斜面下端部の土層ほど圧縮を受けている。図2は降雨実験開始から崩壊土砂が停止するまでの累積移動量と底面における水圧の変化を表している(サンプリング周波数1Hz)。図2で2,700秒過ぎの垂直の線は崩壊が始まった時を表している(スケールアウト)。図2下段に

示す底面水圧は水平部土層から徐々に上昇しはじめ、その後、斜面における底面水位も徐々に上昇している。崩壊発生時には既に水平部土層は湛水していた。図2上段の累積移動量を見てみると、D1, D2, D3ともほぼ同時期に移動し始めるが、斜面下端ほど少なく、崩壊まで累積移動量のに差が生じている。累積移動量約5, 6cmに達すると急激な崩壊・流下

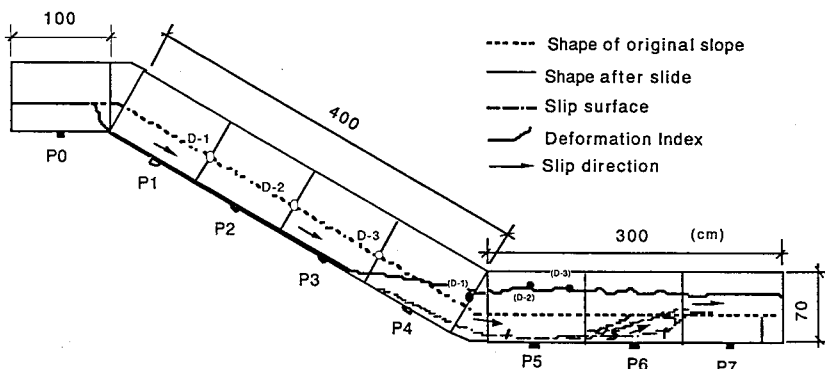


図1 崩壊前後の地形と計測センサー位置

に至っている。斜面長は4mなので破壊までの歪みは約0.015である。

<全体の移動速度変化> 図3は移動点D2の移動開始から破壊・流下までの累積移動量とその速度変化(太線)を示している。速度データは各1Hzで計測した移動データを10個毎に平均して表している。速度変化は金属や粘土のクリープ試験で見られるように1次、2次、3次クリープ域に分類できる(図中、F,S,T)。3次クリープの後にさらに高速の移動現象が見られる(崩壊流下域)。

<崩壊時の移動速度変化> この崩壊流下域における移動量変化、速度変化をさらに詳しく表したのが図4である(サンプリング周波数50Hz)。厳密に言えば、移動点はベクトル的に動いているので斜面下端部から水平部通過時の運動は精確な移動量を捉えているとはいえないが、それでも明らかに移動量も移動速度も大きく、図3の3次クリープ域とは異なる運動領域であることがわかる。ここではこの高速移動開始時点を崩土の流下運動の始まりと見なしている。図4の時間軸の数字は崩壊開始点を0秒としている。速度は最終的には減速して停止するため、上に凸の形の曲線で表されている。

また、図4で0.6秒から1.7秒間のD1、D2はほぼ直線となり、直線斜面上を一定の加速度で滑っていると考えられるから、この加速度値から見かけの動摩擦係数を求めると $f_d = 0.377-0.412$ が得られた。この含水比状態、土層密度における運動時の摩擦係数である。図5は斜面変形の開始から崩壊・流下・停止までの一連の移動速度の変化を模式的に表したものである。崩壊・流下域の時間は極めて短い。

4. おわりに

本報告では、関東ロームを使った崩壊実験から移動量の変化について検討した。崩土の流動化に関連の深い間隙水圧の挙動については次の機会に取り上げる予定である。

表1 実験条件と結果(関東ローム)

条件\実験No.	No.1	No.2	No.3
降雨強度	100mm/h	100mm/h	100mm/h
初期乾燥密度	0.645	0.674	0.76
初期含水比	72%	57%	54%
崩壊時間	22'20"	45'15"	40'05"
崩壊形態	進行性ブロックスライド。	全層崩壊。水平部土層の一部押し出しと乗り上げ	全層崩壊。水平部土層の押し出し

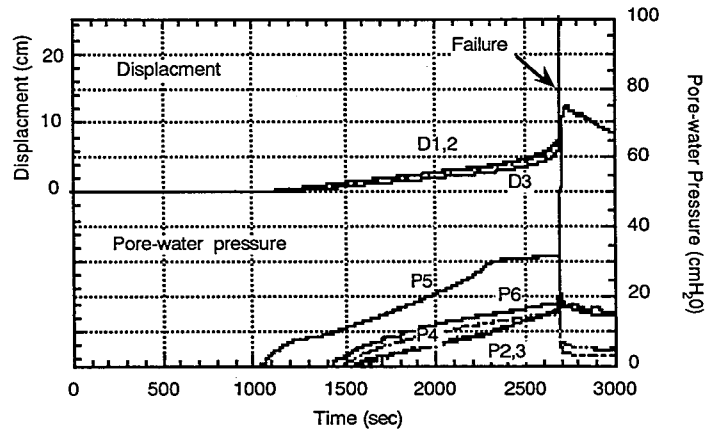


図2 累積移動量と底面水位の変化

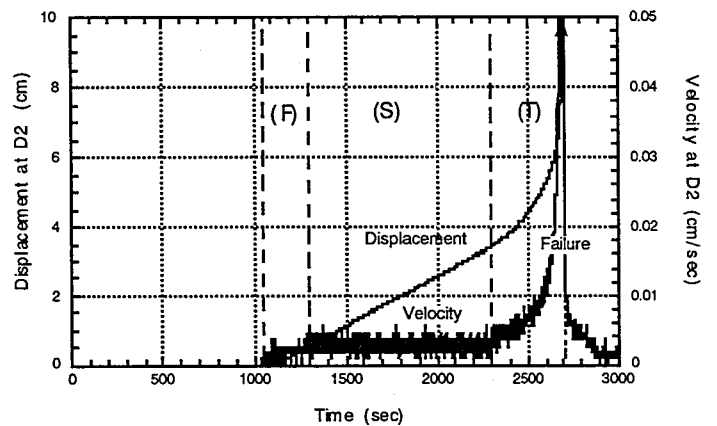


図3 D2における累積移動量と速度変化

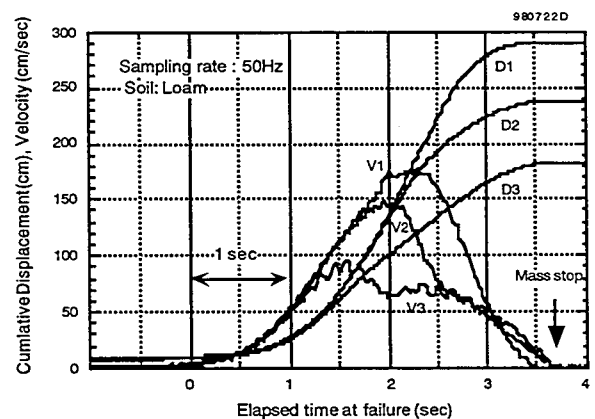


図4 崩壊流下時の累積移動量と速度の変化

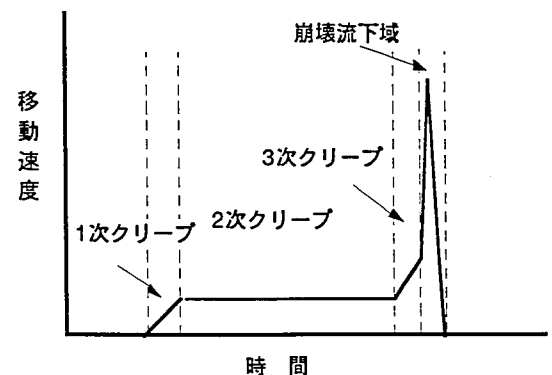


図5 斜面土層の移動速度模式図