(III－94)　降雨による関東ローム斜面の変形破壊過程

防災科学技術研究所　正会員　福囿　輝旗

1. はじめに

関東ローム斜面が降雨により破壊するまでにはクリープ的な微少変形が顕著に見られる。筆者は以前に大規模な関東ローム斜面の模型を用いた降雨による斜面崩壊実験を行い、この変形過程を斜面表面の移動速度の変化を基にして、微増（Ⅰ）、等加速（Ⅱ）、定速（Ⅲ）、加速（Ⅳ）、の４段階に分類した[1]。これらの中には実験模型特有の現象が表れていることも考えられたが、その後、異なったサイズの模型斜面や現地斜面での崩壊実験結果を解析する機会を得て、Ⅲ、Ⅳ段階が関東ローム斜面では普遍的に見られる現象であることが推察された。

ここでは、これらⅢ、Ⅳ段階（この段階はクリープ変形の二次、三次クリープに類似しており、以後そのように呼ぶこともある）を中心として、模型実験ならびに現地実験により得られた関東ローム斜面の崩壊機構について報告する。

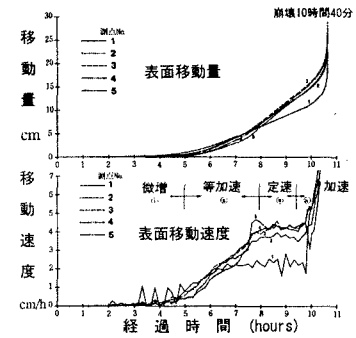

図１　30 度ローム斜面移動量変化

2. 実験概要

解析に使用した実験斜面は模型実験５種類、現地実験１種類である。これらをそれぞれ大模型（角度 40 度と 30 度の２種類、それぞれ高さ 5m、幅 4m、土層厚 1m）、小模型（角度 40 度と 30 度、大模型と幾何学的に相似で縮率約 9/20(2.45mH*2mW*0.45mD)）、25cm 厚模型（小模型で角度 30 度・土層厚 25cm）、現地斜面と呼ぶ。大模型斜面の形状ならびに計測位置等を図２に例示する。層すべり型の崩壊を想定した二次元の模型である。底面は基岩を模した不透水部で、その上面に降雨により一時的な地下水が発生する。降雨強度は 20mm/h で、崩壊発生まで連続的に散水した。

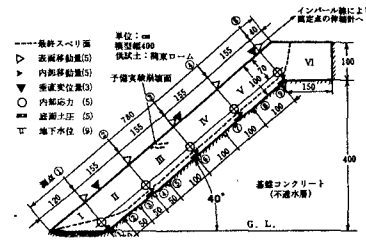

図２　40 度ローム大模型

模型実験に使用した供試土は茨城県筑波町産の関東ロームで，物理常数は文献１）参照のこと。現地斜面の構成土の物理試験結果、散水強度は不明、場所は川崎市生田町である。

3. 実験結果と考察

①模型実験における斜面変形過程：　図 4 に 30 度斜面の大・小模型ならびに 25cm 厚模型における、散水開始から崩壊までの移動量曲線を例示する。前述の大模型の変形過程と同じように、小模型、25cm 厚模型でも崩壊までに４段階の変化が見られる。

②雨水浸透と変形過程の関係：　図４に斜面土層底面での地下水発生時間（平均）と二次クリープ（Ⅲ段階）開始時間との関係を示す。地下水の発生とほぼ同時期に二次クリープが始まっている。地下水の

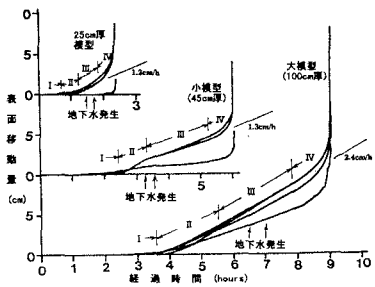

図３　30 度ローム斜面移動量変化

キーワード：粘性土斜面、予測、模型実験、クリープ破壊
連絡先：〒305-0006　つくば市天王台 3-1　防災科学技術研究所、TEL; 0298-51-1611 , FAX; 0298-51-7246

発生は斜面土層底面での支持力を大幅に減少させるので、この時期から斜面末端部の圧縮変形が本格的に始まるものと考えられる。応力状態の変化も末端部での斜面長方向の圧縮応力が急増する点で、調和的な結果が得られている。Ⅰ,Ⅱ段階は浸潤前線が降下している最中の変形であり、模型作成時の初期条件に影響されるものと考えられる。

③崩壊に要する時間は土層が厚いほど長く、層厚にほぼ比例する。

④二次クリープ（定速度）： 大模型ほど大きく、30 度斜面の場合、小模型との比は 1.9:1 であり、模型の大きさ比 2.2:1 に近い（図５）。また、40 度斜面の方が 30 度斜面より大きい。さらに、25cm 厚模型の速度は小模型とほぼ等しい。これらのことは、下端部の圧縮変形による破壊が崩壊の主要因と考えると、クリープ速度は加えられる力が大きいほど早いと言われていることと調和する。

⑤Ⅳ段階の後半は、30 度、40 度、大、小、25cm 厚模型、すべて $d^2x/dt^2=A(dx/dt)^{\alpha}$（Fukuzono, 1996）で表される。なお、$\alpha \fallingdotseq 2$である。また、Ⅳ段階の前半は、大模型では速度の逆数曲線が凸型であるが、小・25cm 厚模型では凹型である。

⑥図６に現地斜面での崩壊実験で得られた表面の移動速度とその逆数曲線を示す。本斜面における崩壊域の斜面長は約 10m、斜面角度は約 35 度である。また、崩壊深の最大は約 2.2m であるが、末端部付近は約 1m である。移動量データが途中からしか得られていないため、Ⅰ、Ⅱ段階は明瞭で無いが、模型実験と同様にⅣ段階の加速現象の前にⅢ段階の定速現象が確認される。このことは、Ⅲ、Ⅳ段階は斜面形状等に影響されないローム斜面の崩壊に共通な現象であることが推察される。定速度の値は模型斜面のそれより一桁ほど小さい。Ⅳ段階後半の崩壊直前は逆数曲線がほぼ直線であり、⑤で述べた数式モデルで表現されるが、前半は凹型である。崩土は模型実験と異なり完全に流動化している。

⑦図７に二次クリープ速度と三次クリープ段階の継続時間との関係を示す。それほど明瞭ではないが、現地斜面を除き、右下がりの関係が見られる。これに明瞭な関係が見い出せるならば、より早い段階での崩壊時期予測の有用な材料になるものと考えられる。

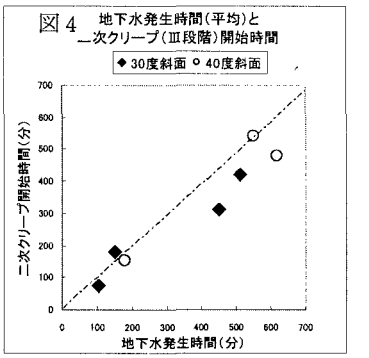

図４ 地下水発生時間（平均）と二次クリープ（Ⅲ段階）開始時間

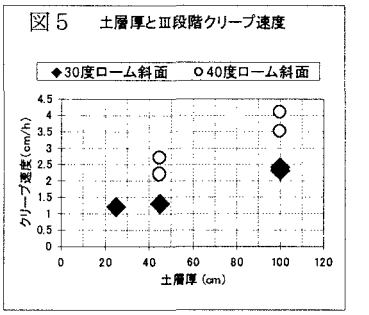

図５ 土層厚とⅢ段階クリープ速度

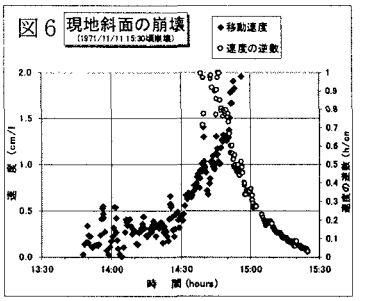

図６ 現地斜面の崩壊

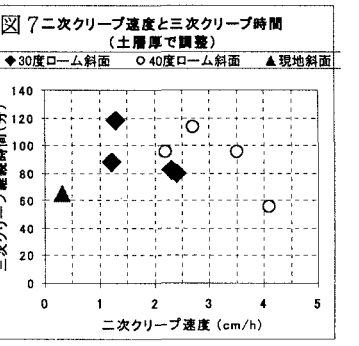

図７二次クリープ速度と三次クリープ時間（土層厚で調整）

４．おわりに

関東ローム斜面の模型および現地崩壊から、その崩壊過程と、主として二次、三次クリープ段階について得られた知見をのべた。この現象は、より早い段階の崩壊時期予測の開発に利用しうる重要な前兆現象と考えられる。今後、データの集積を行い、応力状態変化等との関連について詳細解析を進めていく予定である。

参考文献

１）福囿ら（1982）：降雨による粘性土砂面の崩壊実験，国立防災科学技術センター研究報告 29 号。

２）Fukuzono,T.(1996)：Creep model of Kanto loam and its application to time prediction of landslide, Proc. of 8th ICFL.