

斜面崩壊による生産土砂に関する実験的研究 (I)

国土防災技術 (株) ○山田 正雄 舒 安平 小川内良人
田中 清司 申 潤植

1. 研究の目的

我が国では豪雨等による斜面崩壊、土石流等の災害が頻発しており、多くの人命が失われまた財産に多大な被害が生じている。過去にも斜面崩壊の機構に関する研究は数多くなされており、崩壊実験も行われているが、斜面崩壊はその発生機構が複雑であり、また実験を実施するにあたり多くの時間と費用がかかるため、その多くは2次元実験の域を出ていない。

斜面崩壊の要因には、降雨、斜面形状、土の強度等があるといわれている。しかし、自然における崩壊現象1つをとっても均質ではなく多くのばらつきを有しており、崩壊発生の数量化解析を行っても中率があまりよくない。そこで、数多くの要因が崩壊にどの程度寄与しているかを、機構解析的にもまた統計的にも解明することを目的として3次元崩壊実験を実施した。本実験は予備実験を通して要因を8つに絞ってはいるが、それらの組み合わせをすべて行うには無理があり、実験計画法に基づき、66回の実験として割り付けた。本研究は、個々の要因の崩壊に関する評価を行うことにより、広域的に土砂生産量を把握することを目指している。

2. 実験の概要

2.1 実験装置および実験材料

実験は中国水利水電科学研究所 (水科院) 泥砂研究所内に実験装置を作製して行った。図1に示されるように、斜面装置は長さ6m、幅2m、高さ1.3mの下流端開口の箱型鋼製 (側面はガラス製) となっており、斜面傾角は0~45°まで可変可能である。降雨装置は長さ9m、幅3mの大きさで貯水槽から汲み上げた水を電磁流量計で測定・調整し細鋼網を介し均等に斜面装置に供給される仕組みとなっている。

計測センサーとして15個の小型間隙水圧計と6個の土塊移動量計を使用している。これらは本実験用に特別に清華大学で製作され、検定でその精度が良好と確認されており、予備実験でもとくに問題は発生していない。

土塊材料としては、北京市郊外蘆溝橋南部の永定河の天然土砂に、一定割合の密曇ダム付近の天然粘土を混合攪拌したものを使用した。

2.2 要因と水準

要因とそれらの水準を表1に示す。

下流端条件の固定とは孔のついた仕切板を設け下流土塊を移動しにくくしたものであり、移動可とは延長斜面を設け下流土塊を移動しやすくしたものである。すなわち移動可の方が斜面長を大きくとれる利点がある。実験は直交表 $L_{72} (2^4 \times 3^{13})$ に割り付けた。図2に示されるように斜面形状としては自然界に多く存在する6タイプを用いた。

表1 要因と水準

要因	水準
斜面形状	平衡斜面, 上昇斜面, 下降斜面 沢状斜面, 集水斜面, 尾根状斜面
横断曲率	R = 2, 5 m
横断形状	等厚, 不等厚
斜面傾斜角	30°, 35°, 40°
下流端条件	固定, 移動可
土の乾燥密度	1.55, 1.65, 1.75 g/cm ³
粘土含有率	4, 8, 12%
降雨強度	40, 60, 80 mm/h

3. 現時点における分析

現在までのところNo.1~No.15, No.19~No.24の計21回の実験を終えている。実験の途中ではあるが、現時点では横断に関する要因を除いて評価可能である。今回はこれらの評価可能な要因について現時点での評価検討を行う。

3.1 崩壊タイプとその影響因子について

崩壊のタイプは非崩壊を含め次の4つに分類される。

- 1) 非崩壊
- 2) 侵食→局部崩壊
- 3) (侵食→) 表層崩壊 (崩壊深度が基岩に達しないもの)
- 4) 全層崩壊 (崩壊深度が基岩に達するもの)

崩壊タイプに大きく影響する因子として斜面形状、下流端条件、粘土含有量があげられ、おおむね

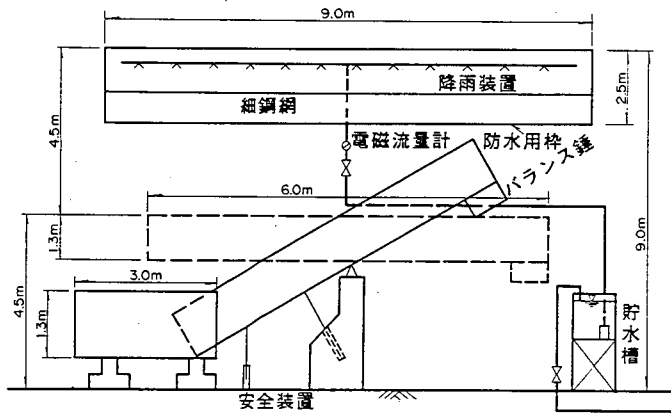


図1 実験装置

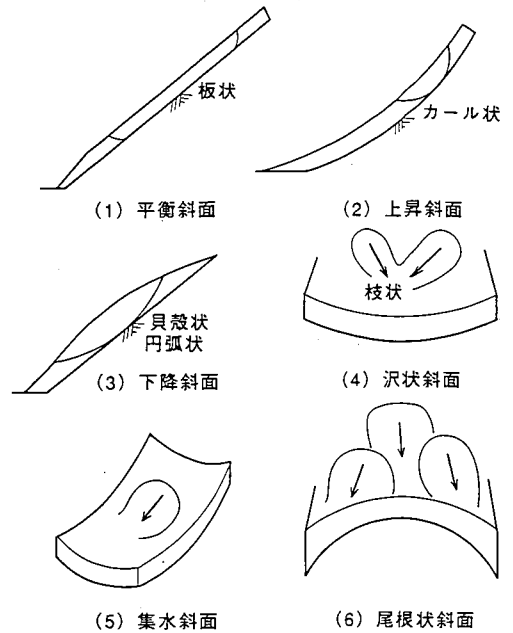


図2 斜面形状

次のような関係となっている。

(1) 崩壊タイプと斜面形状，下流端条件，粘土含有量とは関連がある。

- ① 平衡斜面
 - 固定
 - 粘土含有量が多い……非崩壊
 - 粘土含有量が少ない……全層崩壊，中部崩壊
 - 移動可
 - ……局部崩壊，全層崩壊
- ② 上昇斜面
 - 固定
 - 粘土含有量多い……非崩壊OR局部崩壊OR表層崩壊
 - 粘土含有量が少ない……表層崩壊OR全層崩壊
 - 移動可
 - 粘土含有量が多い……表層崩壊，中部崩壊
 - 粘土含有量が少ない……全層崩壊，上部崩壊
- ③ 下降斜面
 - 固定
 - ……表層崩壊，上部崩壊，平板すべり
 - ……表層崩壊，下部崩壊，円弧すべり

(2) 下流端条件は移動可の方が固定端よりも崩壊しやすい。

(3) 粘土含有量が多く，下流端条件が固定のときは崩壊しにくい。

すなわち崩壊状況に影響を及ぼす因子の関与の仕方としては次のようになる。

- (1) 斜面形状は崩壊タイプに大きく関与する。
- (2) 下流端条件としては移動可の方が崩壊発生しやすくまた中部崩壊となるケースが出現する。
- (3) 粘土含有量が多いほど崩壊が発生しにくい。
- (4) 降雨強度が大きいほど崩壊時間が短くなる傾向がある。降雨強度は累積降雨量に関係し，累積降雨量が多いほど崩壊斜面長が長くなり，崩壊土砂量も大きくなる。

3. 2 間隙水圧の時系列変化と崩壊の発生について

一般的に地中浸透水が基岩面に到達した後急激に間隙水圧が上昇するが，ある時点から間隙水圧の上昇はなくなり，土塊の部分移動とともに間隙水圧はゆるやかに上下する。

間隙水圧の変化は土塊移動現象に対応しているが，全層崩壊では急激な間隙水圧の上昇した後，崩壊が一気に発生し急激に間隙水圧の低下がみられる。この間隙水圧の時系列変化は主として土の乾燥密度，粘土含有量，斜面傾斜角の組み合わせすなわち交互作用によるものと考えられる。

4. 今後の進め方

現時点では土の密度，斜面傾斜角については要因効果が明確ではない。実験が終了した段階で要因分析を行い，各因子の崩壊の寄与率を求めることにより要因効果を明らかにしたいと考えている。また間隙水圧の時系列変化と崩壊との関係から崩壊発生機構についても明らかにしたい。

それらの知見をもとに現地へフィールドバックし，流域における生産土砂量の予測を行いたい。

本実験を行うにあたり，実験の委託先である北京ワールド防災技術有限公司の匡総経理（水科院副院长）、数々のアドバイスを頂いた清華大学の李広信教授，府仁寿教授，費祥俊教授，水利水電科学院の陳祖煜教授，鉄道科学院の周研究員，実験に携わってくれた水利水電科学院泥沙研究所の徐永年室長を始めとする関係各位に厚く御礼申し上げます。