

7 斜面崩壊による生産土砂に関する実験的研究 (II)

国土防災技術(株) ○山田 正雄 舒 安平
小川内良人 田中清司

1. 研究の目的

平成10年度の砂防学会において、実験計画法に基づく72回の3次元斜面崩壊実験のうち21回の実験結果について報告し、平衡斜面、上昇斜面、下降斜面(以上2次元斜面として位置づけられる)における崩壊形式と要因との関係、間隙水圧の時系列変化と崩壊発生との関連について考察した。今回は斜面横断形状を含む72回の崩壊実験について累積法、精密累積法による崩壊発生、崩壊規模および崩壊形式と斜面形状、斜面傾斜、粘土含有率等の要因との関係、および浸透流と崩壊の応答性について述べる。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の大きさを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。これらは清華大学で開発したもので、検定でその精度が良好と確認されている。

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。

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

下流端条件の固定とは水抜き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3mの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L₇₂(24×3¹³)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。

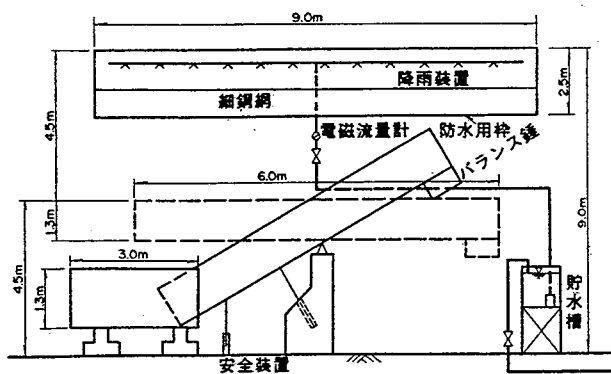


図1 実験装置

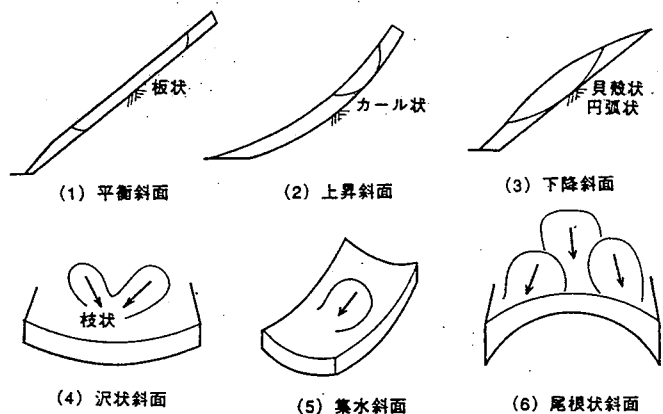


図2 斜面形状

3. 統計解析結果

3.1 精密法および累積法の経過時間による崩壊発生と要因効果

表2は要因別推定効果の高い順に水準を並べたものである。崩壊は浸透流の発生する4~7時間後に起きている。4時間後では降雨強度の寄与率が大きい、5時間後以降は粘土含有率の寄与率が高くなる。

崩壊発生に対する主効果は、粘着力、内部摩擦角、透水係数の影響が大きく、斜面形状は時間とともに影響が小さくなる傾向がある。斜面形状と他の要因の組み合わせが崩壊発生率に対する寄与率が大きく（斜面形状と斜面傾斜が寄与率が最も大）、崩壊発生は斜面形状に大きく影響される。

表2 要因別推定効果（崩壊発生率に対して）

順位	要因効果大 ← → 要因効果小				斜面形状
	粘土含有率	乾燥密度	斜面傾斜	降雨強度	
1	4.8%	1.55, 1.65g/cm ³	35°	80mm/hr	下降斜面 集水・尾根斜面 平衡・沢状斜面 上昇斜面
2	12%	1.75g/cm ³	40°	60mm/hr	
3			30°	40mm/hr	
4					

3.2 累積法による崩壊規模（崩壊土砂量）、崩壊形式と要因効果

精密法や経過時間を外的基準とした解析では粘土含有率の寄与率が最も大きい値を示したが、外的基準を崩壊土砂量とした場合は表3に示すように斜面形状の寄与率が最も大きくなる。

崩壊形式に関しては、全層崩壊、表層崩壊、局部崩壊、崩壊なしの4つに区分し、全層崩壊発生側（崩壊規模が大の側）に対する要因効果を求めると、表4に示すように斜面形状、斜面傾斜、降雨強度の寄与率が大きい特徴がある。

崩壊土砂量、崩壊形式とも、斜面形状と他の要因の組み合わせの寄与率が大きく（斜面形状と粘土含有率が最も寄与率が大）、斜面形状が大きく影響する。

表3 要因別推定効果（崩壊土砂量に対して）

順位	要因効果大 ← → 要因効果小				
	斜面形状	乾燥密度	斜面傾斜	降雨強度	粘土含有率
1	平衡斜面	1.65g/cm ³	35°	60mm/hr	4.8%
2	上昇斜面	1.55g/cm ³	40°	40, 80mm/hr	12%
3	下降・沢状斜面	1.75g/cm ³	30°		
4	集水斜面				
5	尾根斜面				

表4 要因別推定効果（崩壊形式に対して）

順位	要因効果大 ← → 要因効果小				
	斜面形状	斜面傾斜	降雨強度	乾燥密度	粘土含有率
1	上昇斜面	35°	60mm/hr	1.65g/cm ³	4%
2	平衡斜面	40°	80mm/hr	1.55g/cm ³	8%
3	集水斜面	30°	40mm/hr	1.75g/cm ³	12%
4	下降・沢状斜面				
5	尾根斜面				

4. 間隙水圧の時系列変化と崩壊特性

斜面形状別の崩壊特性は次のとおりである（図3）。

- 1) 平衡斜面、上昇斜面は定常水位形成後10~60分程度水位を維持した後崩壊に至る。斜面傾斜や土の強度によって、定常水位維持時間や崩壊形式（局部崩壊~全層崩壊）が異なる。平衡斜面は全層崩壊が優勢で、上昇斜面は表層崩壊が優勢である（図2は間隙水圧の時系列変化の一例）。
- 2) 下降斜面は定常水位形成後50分程度で崩壊に至り、斜面傾斜が40°の場合であっても崩壊形式は表層崩壊となる。
- 3) 沢状斜面、集水斜面は定常水位形成後10~150分程度で崩壊に至る。間隙水圧の増加→土粒子の部分的移動→応力減少→間隙水圧の増加を繰り返し、斜面傾斜や土の強度の他横断曲率の大きさによっても、定常水位維持時間や崩壊形式（局部崩壊~全層崩壊）が異なる。
- 4) 尾根状斜面は定常水位形成後短時間で崩壊に至る。

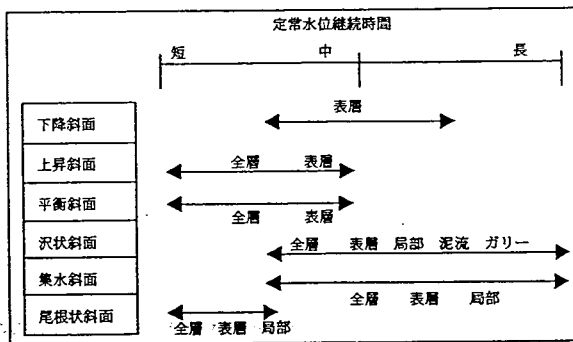


図3 斜面形状別崩壊特性

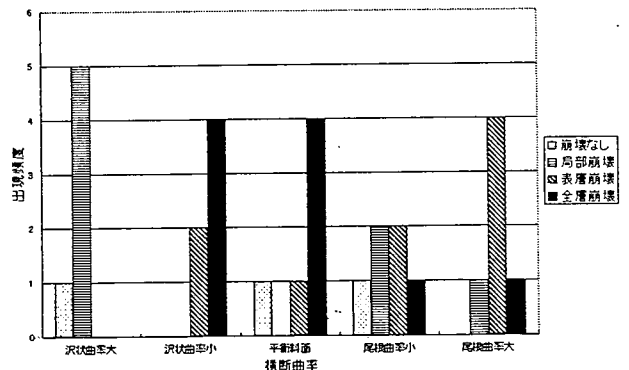


図4 横断曲率の違いによる崩壊形式

図4は横断曲率の違いによる崩壊形式を示したものである。平衡斜面では全層崩壊がとくに卓越するが沢状斜面では曲率が大きくなるにしたがって表層崩壊→局部崩壊となり、尾根斜面では表層崩壊が卓越する。

5. おわりに

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（水科院副院長）、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、水利水电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电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。