

不飽和砂質土斜面における表層崩壊発生機構の検証実験

京都府立大学大学院生命環境科学研究科 ○吉田衣里 松村和樹 三好岩生

1. はじめに

日本はその地形・地質特性から土砂災害が発生しやすく、特にがけ崩れ等の斜面崩壊が頻発している。崩壊を予知・予測するため従来から斜面表層崩壊発生メカニズムに「飽和浸透斜面解析モデル」が適用されているが、実際そのメカニズムによる崩壊とは考え難い表層崩壊が発生している。そこで飽和度上昇に伴う粘着力の減少と土層の自重の増加の2つの崩壊発生要因に着目した新たな表層崩壊機構「不飽和モデル」による崩壊の検証実験を行い、その現象を詳細に知ることによって様々な崩壊発生メカニズムの解明に役立てることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 斜面崩壊実験

斜面長 270cm, 土層幅 40cm, 土層厚さ 30cm, 勾配 45°の斜面を作成し、崩壊実験は人工降雨装置を用いた。また実験材料にはマサ土を用いた。目的とするモデルでは斜面土層の含水状態の変化が重要であると考えられる。そこで、土層下端から4ヶ所の位置について土層表面の鉛直方向に土壌水分計を3基、計12基設置して土層内の土壌水分変化を計測した。さらに土層底面にかかる間隙水圧を同時に計測し従来モデルによる崩壊要因が影響しているかを確かめた。また崩壊後はポイントゲージを用いて測量を行いその形態を調べた。実験条件および実験装置をそれぞれ表-1、図-1に示す。

2.2 セン断試験

土層の含水量変化に伴ったせん断抵抗力および粘着力変化を調べるために崩壊実験の初期間隙比に近い $e=0.85$ の条件の下で含水状態を変化させた一面せん断試験を行った。一面せん断試験の供試体(せん断箱)の大きさは $W150\text{mm} \times L150\text{mm} \times$

D80mm であり、3種の荷重条件で行い粘着力と内部摩擦角を求めた。

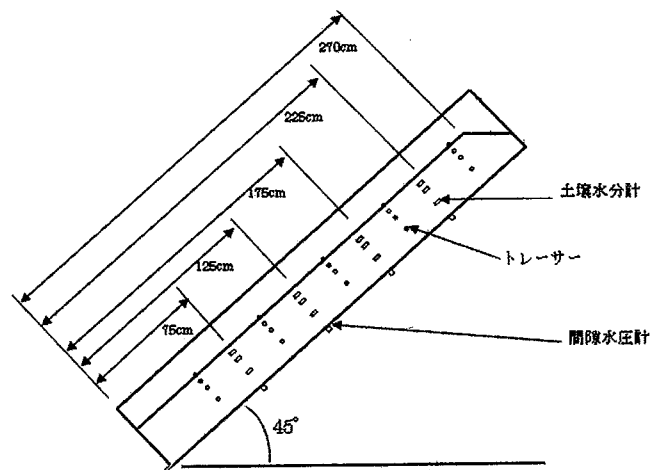


図-1 実験装置

3. 実験結果および考察

斜面崩壊実験における実験結果を図-2, 3に示す。本実験において従来モデルの崩壊要因である「地下水面形成による間隙水圧の上昇」が起きず、表層部の飽和度のみが上昇している状態で崩壊が発生しており(図-2), その不飽和状態における表層崩壊の発生には斜面構成土の「見かけの粘着力の低下」と「自重の増加」が寄与していることが考えられる。そして実験によって初期条件に多少の違いはあるが、不飽和状態における表層崩壊の場合、強度が大きな雨に比べ比較的強度の小さい降雨の方が、崩壊深が大きくなることが図-3より推測される。また降雨強度が小さいほど崩壊発生までに時間がかかる傾向が見られた。これらの結果について考察する。まず上から与えられる水の量が時間的に少ないほど降下・側方浸透がスムーズに行われて飽和度上昇も深率的に一樣にまた徐々に起きるため、せん断力とせん断抵抗力が釣り合った均衡状態が長く続いたと考えられる。そして深さ別の層で考えた場合、浸透が徐々に行われることでどの位置でも崩壊が起こらない限界状態を長く保ち続けられるため崩壊面が深い位置に形成されたと推測される。したがって不飽和状態の表層崩壊では崩壊深・崩壊までの時間・崩壊規模は降雨強度と斜面構成土の

表-1 斜面崩壊実験条件

実験	斜面初期条件		降雨強度 (mm/h)
	空隙比 e	飽和度 $S_r(\%)$	
1	0.85	33.12	34
2	0.93	29.50	36
3	0.98	28.26	59
4	0.86	33.37	60
5	0.91	31.54	90
6	0.85	35.11	103

浸透速度及びその浸透過程に支配的であると考えられる。

さらに、一面せん断試験の結果から間隙比 0.85 のマサ土の粘着力は飽和度 30% 付近で最大となり、せん断抵抗力の増加に寄与していることがわかる (図-4)。また低応力下ほどせん断抵抗力が粘着力に依存する部分が大きくなり、さらにマサ土のような砂質土の不飽和状態での粘着力はサクシオンによる「見かけの粘着力」の効果が大きいと考えられる。

そして不飽和状態で崩壊が発生した本実験において、一面せん断試験結果による飽和度上昇に伴うせん断抵抗力変化と自重の増加を考慮し、飽和度をパラメータとした安定解析を行った結果 (間隙比 0.85 に近いケース 1・4・6 における結果) を表-2 に示す。なお、ケース 1 に関しては測量による崩壊深よりも深い位置のトレーサーが大幅に移動していたため崩壊深を大きく推定した。表-2 から本実験における崩壊要因と考えられる「粘着力の減少」と「重量増加によるせん断応力の増加」を確認できる。そして不飽和モデルにおける 2 つの発生要因「見かけの粘着力の低下」と「土層重量増加」の崩壊への影響度について、不飽和土斜面の特に低応力下ほど前者が崩壊に大きく影響すると予測される。

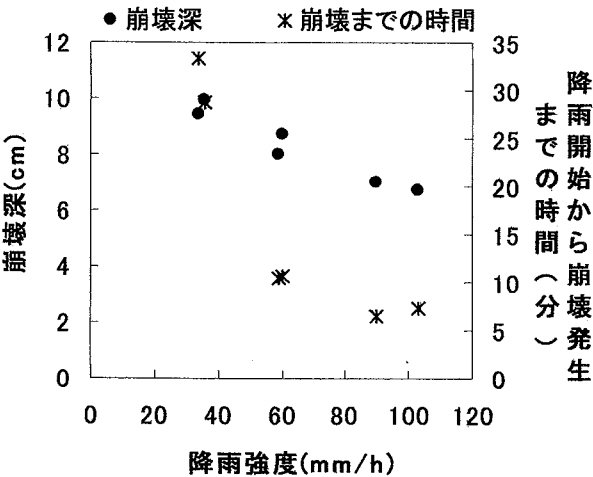


図-3 降雨強度と崩壊深および崩壊発生までの時間

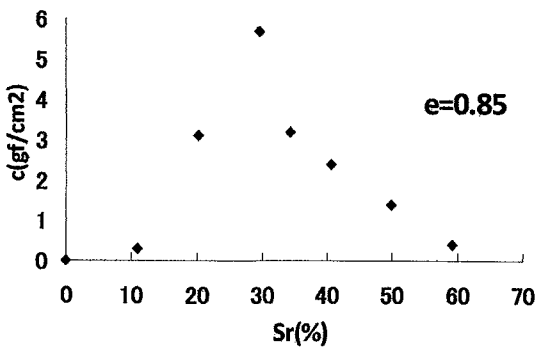


図-4 飽和度と粘着力の関係

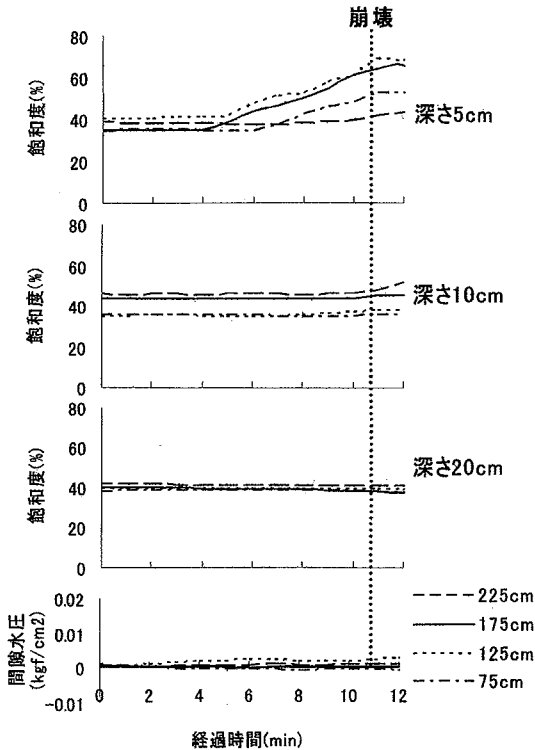


図-2 土壌水分変化および間隙水圧変化 (実験 4)

表-2 安定解析結果

実験ケース		1	4	6
推定崩壊深(cm)		10.0	8.7	6.7
安全率	初期	0.96	1.02	1.15
	崩壊時	0.71	0.74	0.79
崩壊要因	粘着力 c	せん断応力 τ		
初期(gf/cm ²)	4.14	11.19	9.74	7.50
崩壊時(gf/cm ²)	1.82	11.62	10.11	7.78

4. おわりに

本研究では、「粘着力の低下」と「土層重量の増加」を飽和度をパラメータとして表現し、深さ的に粘着力とせん断応力が釣り合いとなることによって不透水層を崩壊面としない表層崩壊が発生することが検証できた。

しかし、この崩壊発生機構において最重要項目である含水状態に伴ったせん断抵抗力変化に関して、より正確に、また水分状態に応じて詳細に計測する必要がある。また崩壊面の飽和度推定も課題である。さらに斜面崩壊実験については、勾配・降雨強度・土の初期状態によってその結果は異なってくると予測されるため、これらのパラメータを変化させた実験を続けていくべきである。そして、崩壊を予測する上では斜面構成土の降雨強度・勾配などに応じた降雨の浸透速度及び浸透過程を詳細に知る必要があると思われる。