

1. はじめに

これまで日本では、梅雨や台風の降雨に起因して各地で斜面崩壊が起こり、土砂災害が繰り返されてきた。このような土砂災害を防止するため、斜面崩壊発生予測や、それに基づいた土砂災害ハザードマップを作成することは重要な課題であり、斜面崩壊を含む土砂移動現象に対する流域単位のハザードマップを作成するための研究や技術はある程度のレベルに達していると考えられる。しかし、斜面単位の詳細な崩壊条件・プロセス等の理解は、まだ不十分であり、これらの詳細情報を取り込んだハザードマップの高精度化が望まれる。本研究では、斜面土層の内部摩擦角・粘着力で表される強度や、透水性・保水性といった水理特性等の物理性が、崩壊発生時刻・崩壊規模崩壊等の崩壊特性に与える影響に着目し、人工斜面実験および数値シミュレーションによって検討を行った。

2. 方法

2.1 人工斜面実験

長さ6m、深さ0.5mの水路に土砂を充填し、幅0.2m、厚さ0.3m、長さ5m、勾配30°の人工斜面を作成した。充填土砂には、表-1に示す3号珪砂、6号珪砂、パールクレイを異なる割合で混合した3種類のものを用いた。各土砂の物理性も表-1に合わせて示す。ここで、水理特性に関するパラメータ K_s , θ_s , θ_r , ψ_m , σ は、Lognormalモデル (Kosugi, 1996) におけるパラメータである。充填時の土層は飽和状態であるが、その後、水平状態で24時間、さらに30°に傾け1時間排水させ初期状態を調整した。斜面に人工降雨装置を用いて、149 mm/hrの降雨を与え、斜面底面における圧力水頭分布を測定すると同時に、ビデオカメラ、デジタルカメラにより、斜面状況を観察し、崩壊発生までの時間と崩壊形状、崩壊土砂の流動化状態を記録した。

2.2 数値シミュレーション

浸透流解析と、斜面安定解析とを組み合わせ、斜面崩壊の発生を判定する方法を用いた。浸透流解析では、Richards式を有限要素法によって解き、土層内の圧力水

表-1 実験に用いた土砂の混合割合と物理性

	Case 1	Case 2	Case 3
weight %			
S.S.3*	80	100	50
S.S.6**	-	-	50
P.C.***	20	-	-
c' (tf/m ²)	0.054	0	0
ϕ' (degree)	25	37	37
K_s (cm/sec)	0.05	0.57	0.08
θ_s	0.48	0.41	0.37
θ_r	0.14	0.032	0.046
ψ_m (cm/sec)	-5.7	-4.3	-15.4
σ	1.1	0.70	0.58

*3号珪砂, **6号珪砂, ***パールクレイ

頭分布の変化を求めた。崩壊では、簡易 Janbu 法と動的計画法を組合せ、安全率が最小となる臨界すべり面を求める方法を採用した。

人工斜面実験の再現計算の他、傾斜30°、斜面長5m土層深0.3mの小規模斜面と傾斜30°、斜面長100m、土層深2mの大規模斜面を想定し、森林土壌と火砕流堆積物由来の土壌の水理特性を与えた斜面についても解析を行った。また、崩壊後の崩土の流動化についても検討を行った。

3. 結果と考察

3.1 人工斜面実験

Case 1では、降雨開始から15分5秒後に崩壊が始まり、下流端から0.39mの部分が一度に崩壊し、ほぼ同時にその上の部分も崩れた。崩土は流下を続け、大部分が下流端を越えて流下した。Case 2では、崩壊は発生しなかったが、これは土層の高い透水性によるものと思われる。Case 3では降雨開始から13分13秒後に崩壊が始まり、まず下流端から0.11mまでの部分が動き出し、その0.4秒後には下流端から2.15mまでの部分が、

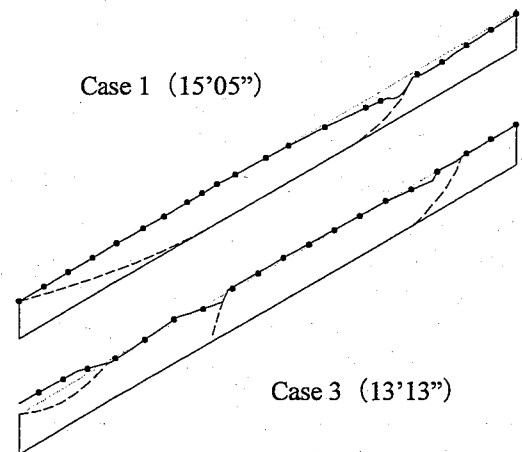


図-1 崩壊実験結果：崩壊1秒後の斜面形状

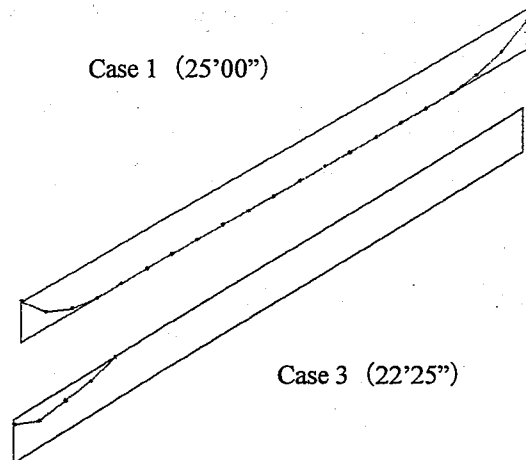


図-2 崩壊実験のシミュレーション結果

さらに 0.4 秒後には下流端から 4.4 m までの部分が動き出し、3 秒後に崩土が停止した。最初に崩壊した土塊の一部は流動化し、下流端を越えて流下したが、残りは後続の崩土に押される形で下流端に到達した。Case 1, 3 において観察された崩壊プロセスを図-1 に示す。

これらの崩壊プロセスの違いは、土層の水分特性と土質強度に依存するものと思われ、実際に測定された土層の水分分布の変化も各 Case で異なっていた。

3.2 実験の再現計算

図-2 に実験の再現計算の結果を示す。崩壊発生時刻と崩壊規模に関して、完全に実験結果と一致しているわけではないが、Case 1, 3 の違いが、傾向としてよく再現されており、シミュレーション手法の有効性が確認された。

3.3 土壌物理性が崩壊特性に及ぼす影響

傾斜 30°、斜面長 100m、土層深 2 m の斜面に対して行ったシミュレーションにより得られた、土質強度の崩壊特性に及ぼす影響について図-3 に示す。図では、シミュレーションにおいて様々な c , ϕ の組合せを与え、崩壊したときの時刻、崩壊断面積、崩土の土砂濃度を表示している。a 図より、 c , ϕ が大きい、つまり強度の大きい斜面ほど崩壊発生時刻が遅くなる明確な傾向が見られる。これは、きわめて当然の結果と考えられるが、このことが次の崩壊規模や崩土の土砂濃度に間接的に影響を与えていると考えられる。b 図より、 ϕ の寄与が大きい斜面より、 c の寄与が大きい斜面の方で崩壊規模が大きくなる傾向が見られる。また、斜面強度が大きくなると、a 図で示したように崩壊発生時間が遅くなり、斜面の地下水位が十分に発達するため、 c , ϕ の寄与率には関係なく、崩壊規模が大きくなる傾向が見られる。c 図より、きわめて早い段階に発生する斜面崩壊では、土砂濃度が飽和状態に達していないが、斜面強度が大きくなると、報土はほぼ完全に飽和状態となり、流動化が起こりやすくなっていることが示されている。これらの傾向は、斜面規模、土層の水理特性によっても違いが見られ、土壌物理性が斜面崩壊特性に対して複雑な影響を及ぼしていることが示されている。

4. おわりに

土壌物理性が斜面崩壊特性に及ぼす影響に関して検討を行った結果、以下に示す知見が得られた。

- 1) 斜面強度の内部摩擦角と粘着力に対する依存度によって斜面崩壊規模は変わる。
- 2) 斜面強度が大きい場合ほど、崩壊発生は遅く、崩壊規模は大きく、崩土の土砂濃度は小さくなる。
- 3) 上記 1), 2) の傾向は、水理特性の違いによっても大きく異なり、複雑に影響している。

斜面安定解析における滑り面の 3 次元化や、段階的崩壊プロセス、物理性が崩壊特性に寄与するメカニズムの解明等、課題が残されており、今後も更なる検討を要する。

参考文献

Kosugi K. (1996): Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. Water Resources Res. 32, p.2697-2703

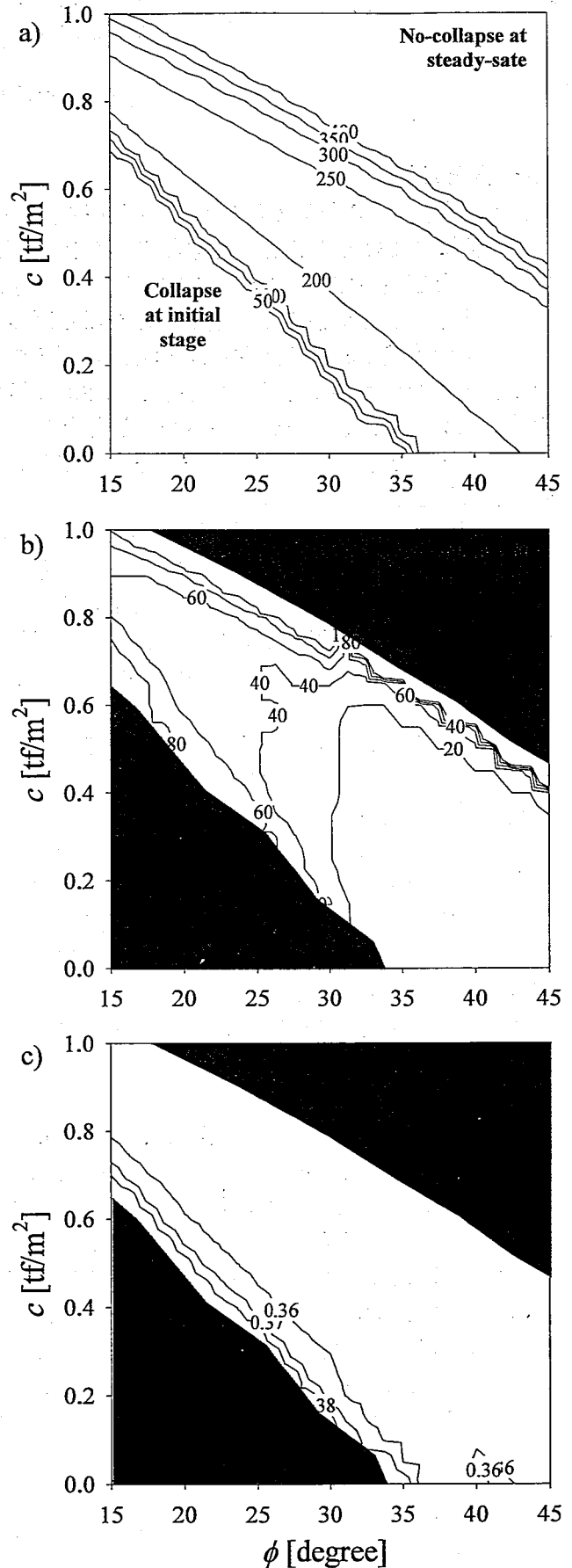


図-3 斜面長 100m の斜面において、土質強度が a)崩壊時刻 [min], b)斜面崩壊規模 (崩壊断面積 [m²]), c)崩土の土砂濃度 [m³/m³] に与える影響