

京都大学 大学院工学研究科
 京都大学 防災研究所
 京都大学 大学院工学研究科

○林雄二郎
 堤大三・藤田正治
 宮寄俊彦

1. はじめに

毎年、各地で斜面崩壊や土石流が発生し、大きな被害がもたらされている。これらの被害を防ぐには崩壊の規模や時刻を正確に予測することが必要であるが、降雨浸透解析と安定解析の組み合わせにより、ある程度のレベルまで崩壊発生予測が可能となっている。しかし、その予測精度は十分とは言えず、土砂災害防止に対する実用化には至っていない。その原因のひとつとして、複雑な斜面崩壊プロセスが挙げられる。いくつかの土砂災害現場において斜面が数回に分けて段階的に崩壊する現象が目撃されているが、既往の解析手法では再現できない。また、このような崩壊プロセスは崩壊後の土石流発生や二次災害防止などの観点からも重要な現象であると考えられるが、これまでほとんど検討されていない。本研究では、このような斜面崩壊プロセスに着目し、特に土質強度（粘着力・内部摩擦角）が斜面崩壊プロセスに及ぼす影響について検討する実験を行った。さらに、実験に対する数値シミュレーションを行い、その適合性を検証すると共に、土質強度と崩壊プロセスとの関係について検討を行った。

2. 人工斜面を用いた崩壊実験

2.1 実験方法

土質強度と崩壊形状との関係を見るため、土層材料の配合を変え、3通りの土層を調整した。土層材料には3号珪砂、6号珪砂、パールクレイ（粘土）を用い、表1に示す割合で混合した。また、粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ' 、飽和透水係数 K_s の実測値を表1に示す。実験には長さ6m、奥行き20cm、高さ50cmの水路を用い、勾配は可変で実験実施時には 30° に設定した。各Caseとも乾燥密度 1.4 g/cm^3 、含水比が10wt%となるよう土層を充填し、均一に締め固め、図1に示すような土層形状にした。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、これを初期状態とした。境界条件は、土層底、下流端、上流端ともに不透水とした。作製した人工斜面に 150 mm/hr の降雨を与え、斜面崩壊を観測した。実験中は常時、テンシオメータを用いて土層底の間隙水圧を計測した。

2.2 実験結果と考察

Case1では降雨開始から15分5秒後に崩壊が始まり、

表1 実験における各Caseの土層条件

	Case1	Case2	Case3
材料混合比	3号* : PC*	3号*のみ	3号* : 6号*
(重量比)	8 : 2		5 : 5
c' (tf/m ²)	0.054	0.0	0.0
ϕ' (degree)	25	37	37
K_s (cm/sec)	0.050	0.567	0.079

*PC：パールクレイ，3号：珪砂（3号），6号：珪砂（6号）

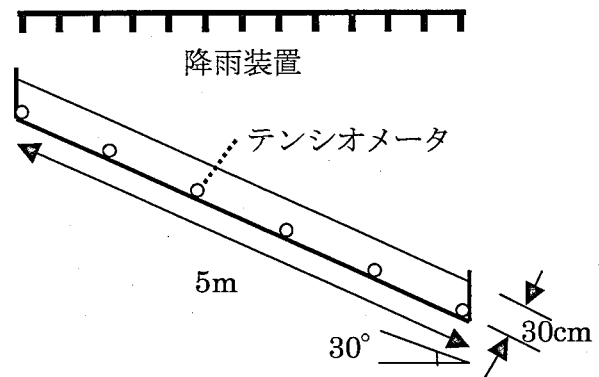


図1 実験斜面

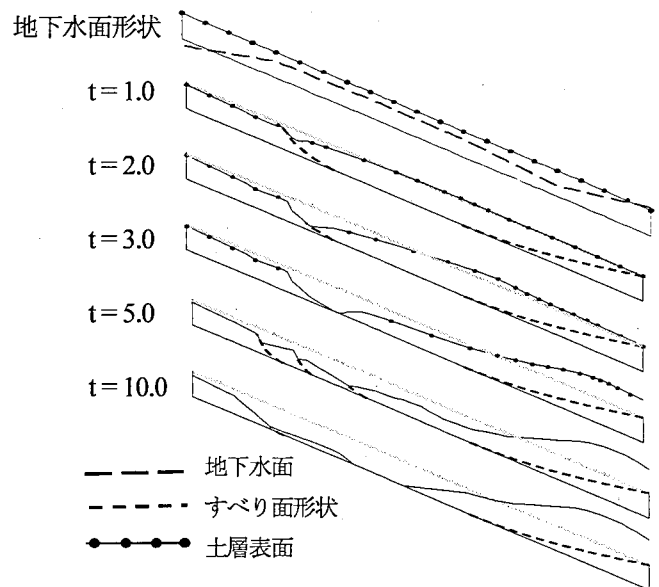


図2 地下水面形状と崩壊形状 (Case1)

下流端から長さ390cmの部分が一度に崩壊し、崩土はそのまま流下を続け、崩壊開始から10秒後には崩土の大部分が下流端から流出した。間隙水圧から推測した崩壊時の地下水面形状と崩壊形状を図2に示す（上か

ら、地下水面形状、崩壊開始から1, 2, 3, 5, 10秒後の斜面形状). Case2では土層の動きは見られず、崩壊も発生しなかった。透水性が大きすぎたのが主な原因だと思われる。Case3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110cmまでの部分が動き出し、崩壊開始から0.6秒後には下流端から215cmまでの部分が動き出した。さらにその0.4秒後には下流端から440cmまでの部分が動き出し、崩壊開始から3秒後には崩土の動きが止まった。Case1と同じく地下水面形状と崩壊形状を図3に示す。Case1とCase3を比較すると、崩壊発生はほぼ同じタイミングであるが、そのプロセスは大きく異なる。特に1回目の崩壊が、Case1 (c が大きく、 ϕ' が小さい場合)では長いのに対し、Case3 (c が小さく、 ϕ' が大きい場合)では短くなっている。またCase1はCase3よりも崩壊時の地下水位が高く、水を多く含んだ状態で崩壊している。このことが、Case1がCase3よりも崩壊後の流下土量が多い事に影響していると推測される。

3. 数値シミュレーションによる検討

3.1 計算方法

ここでは、降雨浸透流解析と、DP法と簡易Janbu法を組み合わせた崩壊判定とを用い、さらに崩壊後に計算条件を更新することで2回目以降の崩壊も再現できるモデルを用いた。このような方法により、降雨にたいする任意の非円弧すべり状崩壊、段階的崩壊も再現することができる。計算に際しては実験における土層、初期水分状態、pF曲線、透水係数、降雨強度、境界条件などを与えた。

3.2 計算結果と考察

Case1, Case3の崩壊プロセスをそれぞれ図4, 図5に示す(崩土は全て流下するとしたので、図は残った土層とすべり面を表す)。Case1については3回の崩壊が見られたが、これらはほぼ同時刻に起こった(1分以内)。Case1, Case3の1回目の崩壊位置はそれぞれ、下流端から375cm, 40cmであり、崩壊時刻はそれぞれ16分30秒, 4分15秒であった。Case1, Case3ともに計算の方が崩壊長を短く、Case3に関しては崩壊時刻をかなり早く評価しているが、 c' , ϕ' の違いによる一回目の崩壊長さの傾向は正しく再現されていると考えられる。またCase1については連鎖的な崩壊もほぼ正しく再現されたが、Case3については一回目の崩壊以降計算が収束せず、うまく再現されなかった。今後改善すべき点である。

4. おわりに

実験と数値シミュレーション双方の結果から、1回

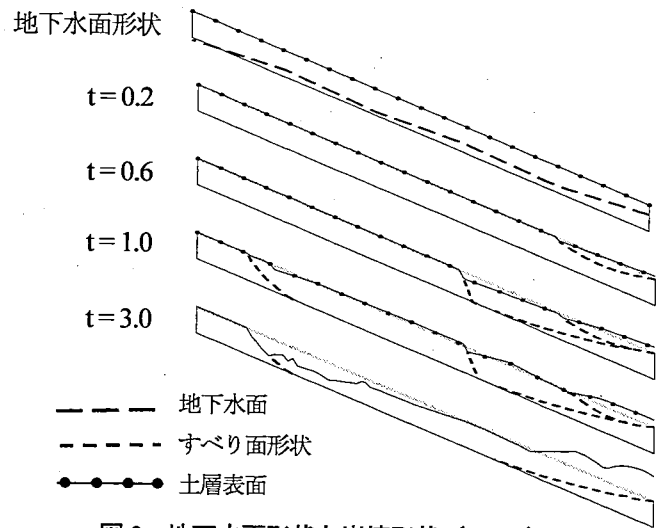


図3 地下水面形状と崩壊形状 (Case3)

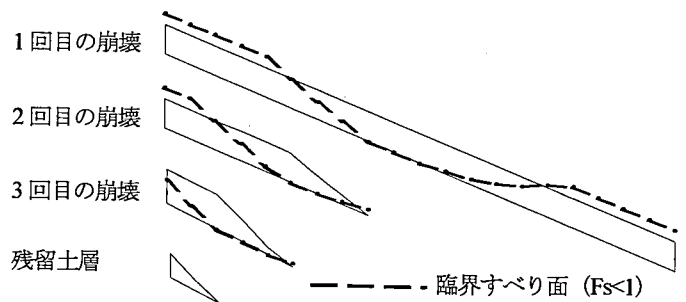


図4 Case1の崩壊形状 (数値シミュレーション)

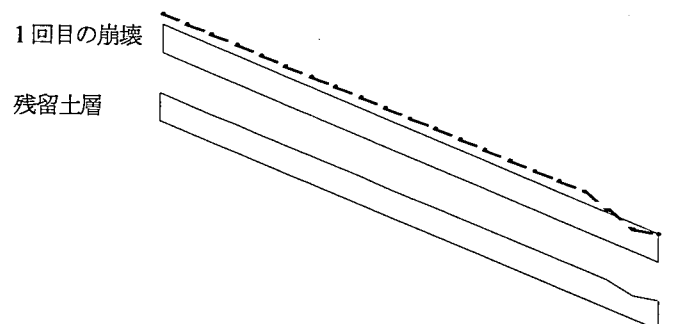


図5 Case3の崩壊形状 (数値シミュレーション)

目の崩壊については、粘着力が大きく内部摩擦角の小さい土層の方が、粘着力が小さく内部摩擦角の高い土層よりもその規模が大きいという土層強度と崩壊プロセスの関係についての仮説が得られた。ここでは示していないが、様々な土層強度もついて計算を行っても、これと同じ傾向が見られた。しかし今回の実験に関しては、土層強度の他に各Caseで透水性や保水性の違いもあり、それらも崩壊プロセスに影響していると考えられる。今後はその影響も考慮に入れ、土壌の性質と崩壊プロセスとの関係をさらに探る必要がある。