

地盤の透水性が斜面表層崩壊現象に及ぼす影響

立命館大学大学院 理工学研究科 ○石坂陽太・水野仁  
立命館大学 理工学部 藤本将光・林祐妃・藤井鼓太郎・里深好文

1. 研究背景と目的

これまで斜面表層崩壊に関する解析・実験は多く行われてきたが、それらの多くは真砂土など単一の土層試料で行われており、土層の透水性について議論されていることは少ない。本研究では透水性を支配条件として実験・解析することで、地盤の透水性が斜面崩壊現象に及ぼす影響について考察する。

2. 室内人工降雨実験

2.1 概要

本実験では模型斜面を作成し、人工降雨装置を用いて降雨を与える室内模型実験を行った。土試料には真砂土にカオリン粘土を配合した混合試料を採用し、この割合を変更することによって透水性の異なる3種類の土試料を用意した。

2.2 実験方法

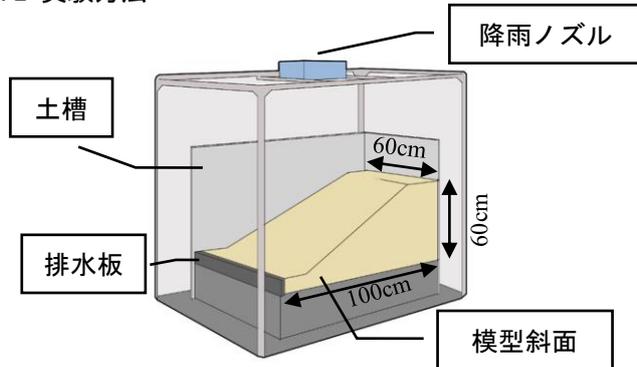


図1 実験装置

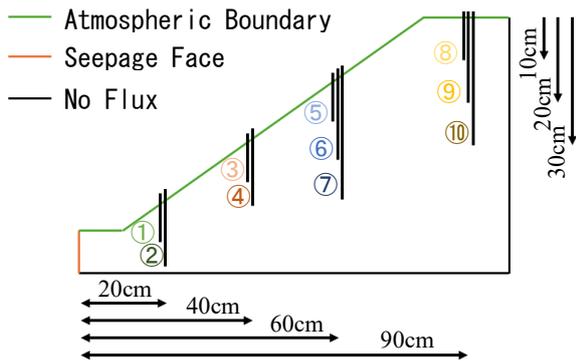


図2 斜面形状、計測点および境界条件

実験装置は図1に示すように降雨装置と模型斜面を載せる土槽から構成されており、底面と側面は不透水面である。土層正面には穴の開いた高さ10cm、排水率10%のアルミ製排水板が取り付けられている。上部から霧状の降雨を与えた。模型斜面の各寸法は横幅60cm、奥行100cm、高さ60cm、傾斜勾配36°である。

本実験では土層内部の乾湿状態を計測するために圧力センサを取り付けたテンシオメーターを用いた。図2

のように斜面手前から20cm、40cmの位置に斜面表面から10cm、15cmに(①②および③④)、斜面手前から60cm、90cmの位置に斜面表面から10cm、20cm、30cm(⑤⑥⑦および⑧⑨⑩)の位置に、計10本のテンシオメーターを設置した。

2.3 実験ケース

表1 実験条件

Case	カオリン粘土の割合(%)	初期含水比(%)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
Case1	0	15	1.5
2	10	18	1.5
3	15	18	1.5
4	10	15	1.5
5	15	15	1.5

各ケースにおける実験条件を表1に示す。いずれのケースにおいても1時間降水量50mmとなる雨を3時間降らせた。また3時間経過後に崩壊現象が見られなかった場合は降雨強度を100mm/hに変更し、15分間雨を降らせた。本紙では表1のケースのうち、Case1とCase4を抜粋して紹介する。

2.4 実験結果および考察

Case1 および Case4 の結果を図3に示す。

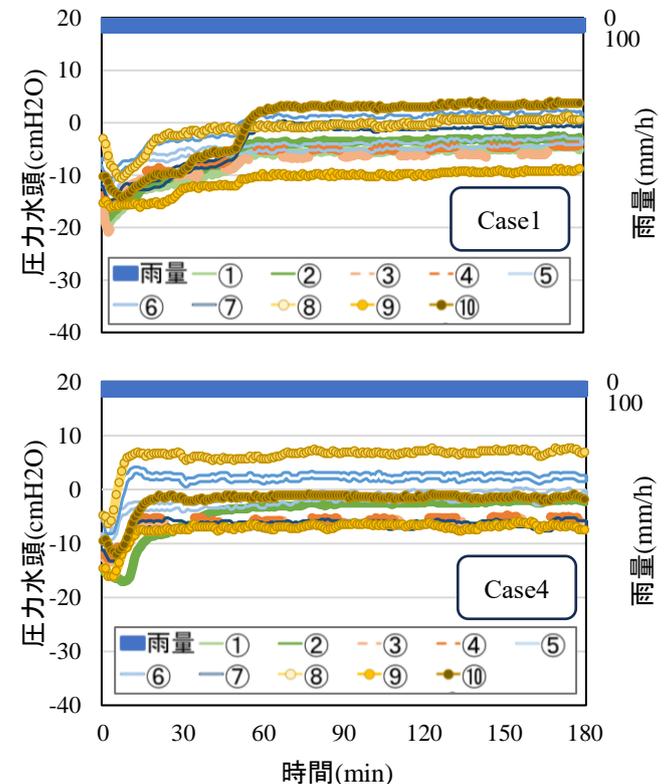


図3 実験結果

Case1、Case4 ともに崩壊は発生しなかった。180min 経過したのち、降雨強度を 100mm/h に変更すると短時間でそれぞれ泥流化、部分浸食が発生した。このとき、土層全体の沈下は見られなかった。また両ケースのほとんどの観測点において降雨開始後 30min 程度で圧力水頭の上昇は頭打ちになり、180min まで横ばいで推移している。圧力水頭の経時変化からは斜面崩壊の前兆は見られなかった。

Case1 と Case4 を比較すると、ほとんどの計測点において Case4 がより高い圧力水頭を持ち、特に斜面表面から浅い計測点においてより素早い圧力変化を見せているとわかる。後に示す室内試験(表 2)において Case4 の土試料は比較的透水性が低く、飽和体積含水率も低いことが明らかになった。この結果からも Case4 は鉛直浸透が斜面側方への流動をより卓越しており、土層からの排水が起りにくい状況であったと考えられる。

崩壊が発生しなかった要因として、本実験ではテンシオメーターを所定の場所・深度まで差し込む方法を採用したが、アンカーのような役割を果たし斜面安定に寄与した可能性がある。また計器の配線等に防水保護を施したために、斜面表面に降雨を均等に与えられず正確な圧力水頭の取得が出来なかった可能性がある。

### 3. HYDRUS を用いた解析

#### 3.1 概要

HYDRUS-2D を用いて斜面内部における浸潤過程の解析を行い、降雨実験の結果と比較することで、透水性の違いが斜面表層崩壊現象に及ぼす影響について検討する。HYDRUS-2D とは、米国の有無省塩類研究所において Dr. Simunek らによって開発された 2 次元土中の物質移動予測のための汎用計算プログラムである。

#### 3.2 室内試験

降雨実験で使用した土試料の特性を把握するために、室内変水位透水試験および加圧板法による pF 試験を実施した。試験結果より残留体積含水率  $\theta_r$ 、飽和体積含水率  $\theta_s$ 、孔隙の総量を示す  $\theta_e$ 、孔隙径分布の中央値に対する圧力水頭を示す  $\psi_m$ 、孔隙径分布の分布幅  $\sigma$  および飽和透水係数  $K_s$  を得た。このうち、真砂土の質量に対してカオリン粘土をそれぞれ 0%、10% 配合した混合試料の結果を抜粋して表 2 に示す。

表 2 透水試験および保水性試験の結果

	試料 1	試料 2
カオリン粘土の割合(%)	0(真砂土のみ)	10
$\theta_r(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	0.064	0.064
$\theta_s(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	0.479	0.372
$\theta_e(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	0.415	0.308
$\psi_m$	16.729	20.221
$\sigma$	1.384	2.395
$K_s(\text{m}/\text{sec})$	$5.30 \times 10^{-4}$	$7.34 \times 10^{-5}$

#### 3.3 解析の条件とケース

水分移動特性モデルには Kosugi (1996) を使用した。解析を行った斜面については降雨実験で使用したモデ

ルと同様に幅 100cm、高さ 60cm、傾斜勾配 36°とし、図 2 に示すように境界条件および計測点を設定した。また解析を行う際に統一した計算条件を表 3 に示す。ただし本解析では蒸発散は考慮していない。

表 3 各ケースの統一条件

初期時間刻み幅(min)	0.001
最小時間刻み幅(min)	0.0001
最大時間刻み幅(min)	5
水分量許容誤差	0.001
圧力水頭許容誤差(cm)	0.05
間隙結合パラメータ	0.5
Hysteresis	考慮しない
Evap/Transp	考慮しない

本紙では真砂土のみで構成される土試料を想定し、初期含水率 15%を与えた状態で解析を行った。また降雨条件として 50mm/h の降雨を 180min 与えるものとする(図 2、Atmospheric Boundary)。これら条件を表 4 に示す。

表 4 解析ケース

試料	実験ケース	初期含水率	計算時間
試料 1	Case1	15%	180min

#### 3.4. 結果

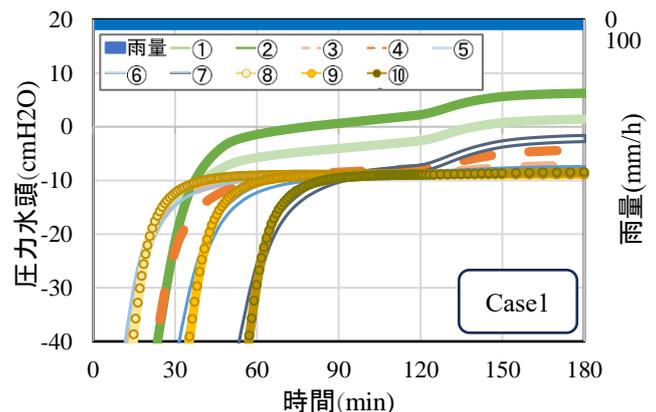


図 4 Case1 の解析結果

Case1 の解析結果を図 4 に示す。圧力水頭の最大値は法尻側(①、②)の計測点が高くなる結果となった。実験では開始直後に一部で圧力水頭の低下がみられている(⑧、⑩等)のに対し、解析では浅い計測点より順に圧力水頭が上昇している。また実験結果と比較して初期圧力水頭が 40cmH<sub>2</sub>O 程度低くなった。圧力水頭の上昇が頭打ちになる時刻は概ね実験と同程度で、30min 前後となった。

実験結果と差異がでた要因として、実験土層の密度の不均一さや土層の乾燥および水分移動が考えられる。今後は解析に密度分布や土層作成時の水分移動を加味する必要がある。

#### 4. まとめ

実験ではカオリン粘土を配合することによって圧力水頭の上昇過程に変化がみられた。しかしながら解析では土層の乾燥などを加味した検討が出来なかった。今後これらを考慮した検討を行う必要がある。