

パイプフローによる斜面崩壊の発生条件に関する実験的研究

呉工業高等専門学校 学生会員 ○山本 直希
広島工業大学 正会員 森脇 武夫
呉工業高等専門学校 正会員 重松 尚久

1. はじめに

西日本、特に広島県では、まさ土が広く分布しており、豪雨時には多くの斜面崩壊が発生している。最近では、2014年8月20日広島土砂災害が発生し、関連死を含め死者77名と過去30年で最大の人的被害をもたらした。本災害後の現地調査より崩壊した斜面は、地下水位が地表面に達しても崩壊しない強度を有していたことが分かっている¹⁾。一方、本災害では崩壊源頭部の壁面に複数のパイプ孔が見られている。これらは、断層、破碎帯および地盤の節理により生じた透水性の高い水みちで¹⁾、このパイプが斜面の途中で途切れる場合、地盤内の一箇所に降雨が集中し、過剰な間隙水圧により斜面が不安定化するパイプフロー現象が考えられている²⁾。

そこで、本研究では斜面モデルを作製し、5種類の強度条件の異なる試料で斜面を再現し、人工降雨実験を行った。斜面が崩壊しない場合、斜面モデルに設置した模擬パイプに水を注入し、崩壊時のパイプ水位の測定を行った。これらを3種類の層厚による各15ケースで実験を行い、パイプフロー現象の発生条件を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料および斜面モデルの概要

本実験で用いる試料は市販のまさ土と、まさ土に乾燥質量で粘土粉末を加えた、粘土含有率10%、20%、30%、40%の計5試料である。土質試験から求めた各試料の物性値を表1に示す。本実験では、間隙比 $e=1.00$ 、初期含水比 $w=10\%$ と設定した。

図1に本実験で用いた斜面モデルの概要を示す。傾斜角は 30° に設定し、地盤内のパイプを想定して内径13mmの塩ビパイプを斜面の中央に配置した。不透水層は油粘土で再現した。試料の設置は、斜面を水平にし、3回に分けて試料を入れ、間隙比 $e=1.00$ となる質量の土を所定の高さまで締め固めて再現した。本実験は、まさ土、粘土10%、20%、30%、40%の計5試料および層厚 $H=30\text{mm}$ 、 50mm 、 80mm の計15ケースで行った。

2.2 実験方法

斜面モデルに設置した試料に、約 100mm/h の強度で1時間降雨を与え崩壊の有無を調べた。崩壊しない場合、パイプ上端から約 $10\text{mm}^3/\text{s}$ で水を注入し、斜面崩壊を発生させた。崩壊する瞬間、水圧が解放されパイプ水位が急激に下がる直前の水位を崩壊水位とし、パイプに設置したメジャーにより崩壊水位の測定を行った。各15ケースの実験を3回ずつ行い、崩壊水位を測定した。

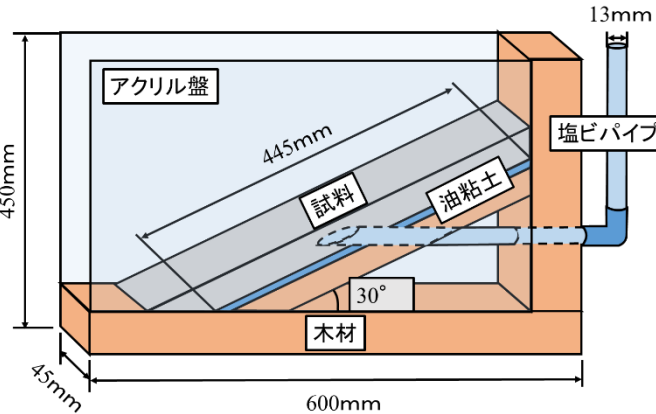


図1 斜面モデルの概要

表1 各試料の物性値

	まさ土	粘土 10%	粘土 20%	粘土 30%	粘土 40%
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.671	2.681	2.689	2.695	2.698
透水係数 k (m/s)	2.0×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.2×10^{-3}	1.5×10^{-4}	3.4×10^{-5}
内部摩擦角 ϕ (°)	38.7	37.6	36.7	36.1	34.6
粘着力 c (kN/m ²)	12.6	17.0	22.0	23.9	27.2

キーワード 斜面崩壊、まさ土、パイプフロー、斜面モデル
連絡先 〒737-0004 広島県呉市阿賀南2丁目2番11号 呉工業高等専門学校 TEL0823-73-8478

本実験後、100mm/h の降雨による斜面の飽和度を調べるため、各ケースにおいて斜面の飽和度を測定した。飽和度は、各試料において降雨開始から 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30 分後に斜面の上方から計 12 地点で採取した試料の含水比から算出した。最終的な各斜面の飽和度は、飽和度の変化が無くなる点から、降雨終了時までの飽和度を平均して算出した。

3. 実験結果

3.1 人工降雨実験結果

表 2 に、人工降雨実験における各ケースの崩壊の有無を示す。崩壊しない場合を×、崩壊した場合を○とした。表 2 より、100mm/h の強度では、ほとんどのケースで崩壊しないことが分かった。一方、粘土 40%における層厚 $H=50\text{mm}$, 80mm の場合では、降雨開始から 10 分程度で崩壊が発生した。これは、表 1 より試料の透水性が低いことから斜面の排水が追い付かず、後述するように飽和度が上昇して崩壊が発生したと考えられる。

3.2 粘土含有率による飽和度の変化

粘土含有率と飽和度の関係を図 2 に示す。図 2 より、粘土分の増加に比例して飽和度が上昇していることが分かる。従って、人工降雨実験での粘土 40%の試料は、飽和度の上昇により滑動力が増加するとともに抵抗力が減少し、斜面崩壊が発生したことが考えられる。また、粘土含有率が低いと斜面は不飽和状態のままであることが分かる。

3.3 パイプフローによる崩壊水位の測定結果

崩壊しない場合におけるパイプフローによる崩壊水位の測定結果より、粘土含有率の増加による崩壊水位の変化を図 3 に示す。図 3 より、粘土分の増加に伴い崩壊水位は増加傾向であることが分かる。このことから、パイプ水位の増加の要因として、表 1 より粘着力の増加および透水性の低下が考えられる。しかし、層厚 $H=50\text{mm}$, 80mm では、粘土 20%の試料の崩壊水位が最大となっている。よって、粘土分と層厚がある一定まで増加すると、それ以前の粘土分と層厚に比べ低い水位でパイプフロー現象が発生することが考えられる。

以上より、粘土分と層厚の増加によって崩壊水位は増加傾向であるが、これらがある一定値まで増加すると崩壊水位が減少する可能性が考えられる。

表 2 人工降雨実験による崩壊の有無

粘土分 層厚	まさ土	粘土 10%	粘土 20%	粘土 30%	粘土 40%
30mm	×	×	×	×	×
50mm	×	×	×	×	○
80mm	×	×	×	×	○

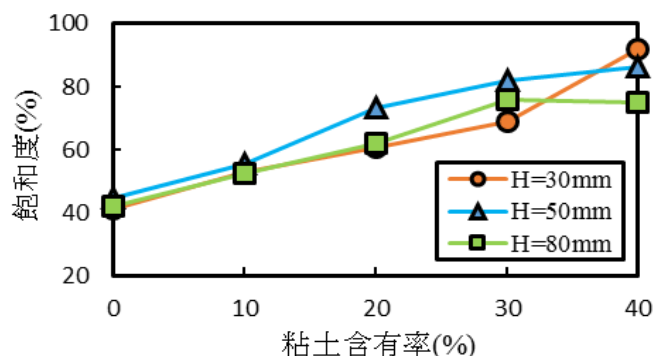


図 2 粘土含有率による飽和度の変化

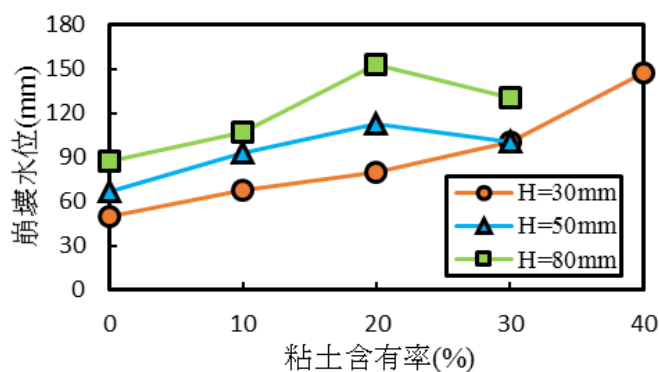


図 3 粘土含有率による崩壊水位の変化

4. 結論

本実験では、斜面モデルを用いて様々な条件で人工降雨実験およびパイプフローに関する実験を行った。その結果、層厚 H が $30\text{mm} \sim 80\text{mm}$ の斜面では、 100mm/h 程度の降雨強度では、ほとんどの条件で斜面崩壊が発生しなかった。また、パイプフロー実験より、粘土分と層厚の増加に伴いパイプ水位は増加傾向であり、粘土分と層厚の増加に伴う透水性の低下、飽和度の上昇により崩壊水位は上昇することが考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会・地盤工学会：平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書，2014
- 2) 土田孝，他 4 名：2014 年広島豪雨災害において土流が発生した溪流の状況と被害に関する調査，地盤工学ジャーナル，Vol.11，No.1，pp.33-52，2016