

パイプフローによる斜面崩壊メカニズムに関する実験的研究

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫
呉工業高等専門学校 学生会員 ○山本 直希

1. 目的

西日本において豪雨時の斜面災害は極一般的な自然災害であり、その多くがマサ土斜面で発生している¹⁾。
斜面崩壊の原因の一つとして、植物の枯死跡や断層、節理により生じた透水性の良いパイプ状の水みちの存在が挙げられ、パイプ内を流れる水（パイプフロー）が影響すると考えられる¹⁾。特に、パイプが地盤内で途切れる場合、降雨時に地盤内の一箇所に水が集中するため、斜面が不安定化すると考えられる¹⁾。しかし、パイプを流れる地下水の影響は斜面崩壊の危険度評価にほとんど考慮されないのが現状である。
そこで本研究では、パイプフローが地盤内に与える影響を検討するため、地盤内にパイプを有する斜面モデルを作成し、パイプ内に水を注入して斜面崩壊を発生させる模擬実験を行った。土の種類など様々な条件における崩壊発生時のパイプ内水位の観測結果及び、破壊形態からパイプフロー現象が斜面安定に及ぼす影響を検証する。

2. 研究方法

本研究で用いる試料は市販のマサ土及び、マサ土に粘土粉末を乾燥質量率で 10%, 20%, 30%, 40%加えた試料の計 5 種類である。各試料の一面せん断試験の結果より、得られた強度定数を表 1 に示す。
実験開始時の試料の状態は、間隙比 $e=1.00$ ，含水比 $w=10\%$ の条件下で行った。
模擬実験で用いた斜面モデルを図 1 に示す。斜面勾配 40° ，斜面長 470mm の斜面であり、この斜面内に、地盤内のパイプを想定した内径 13mm のパイプを水平方向に 1 本配置した。試料は不透水性基盤を想定した粘土層上に配置し、30mm，50mm，80mm の 3 種類の層厚にて実験を行った。
試料を配置した斜面モデルに 100mm/h の降雨強度にて 1 時間降雨を与えた後、パイプ上端から 10ml/s で水を注入し、斜面崩壊発生時のパイプ内水位を計測した。

表 1 各試料の強度定数

	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
マサ土	4.5	39.7
粘土 10%	9.1	40.2
粘土 20%	11.5	42.0
粘土 30%	13.6	44.3
粘土 40%	14.5	45.2

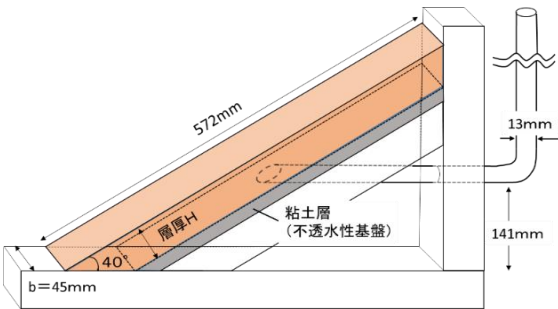


図 1 本研究で用いた斜面モデル

3. 結果及び考察

3.1 斜面の破壊形態

紙面の都合により図は省略するが、パイプフローにより斜面崩壊を発生させた後の破壊形態と、200mm/h の降雨により斜面崩壊を発生させた後の破壊形態を比較した結果、降雨のみによる破壊形態では崩壊深さが全体的に浅く表層崩壊であるのに対して、パイプフローによる破壊形態では、斜面の一部が不透水層である粘土が表見するほど深く崩壊していた。
パイプフローがある場合において、マサ土試料では斜面崩壊発生前にパイプ内の水が斜面の地盤内に浸透していたのに対し、粘土含有率 40%の試料では、斜面崩壊発生時にパイプ内の水圧により土砂が押されるような様子が見られた。このことから、粘着力が小さい地盤ではパイプ内の水が斜面に浸透し、粘着力の大きい地盤では、パイプ内の水が地盤の土塊を押すように作用していると考えられる。また、パイプフローがある場合に斜面にひび割れが生じており、これも土塊が押されたことにより地盤の間に隙間ができたためと考えられる。

キーワード 斜面崩壊，マサ土，パイプフロー

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

3.2 斜面崩壊時のパイプ水位の測定結果

斜面崩壊時のパイプ内水位の平均を表 2 に示し、粘土含有率とパイプ内水位の関係を図 2 に示す。なお、パイプ内水位は同一条件で行った 5 回の実験の平均値である。

表 2 より、全ての層厚において粘土分の増加に伴い、パイプ内水位が上昇することが分かる。また、層厚の増加に伴いパイプ内水位が上昇することが分かる。

図 2 より、粘土含有率の増加に伴い斜面崩壊時のパイプ内水位がほぼ直線的に増加することが分かる。また、図は省略するが、層厚の増加に伴うパイプ内水位も粘土含有率が 20%以上になると層厚の増加に比例して増加するという結果が得られた。

粘土含有率の増加に伴い粘着力が増加し、層厚の増加に伴い土塊重量が増加することから、パイプフローによる斜面崩壊において、粘着力と土塊重量の変化がパイプ水位に大きく関係していることが分かり、図 2 の結果からどちらもほぼ比例関係にあることが分かった。

3.3 斜面安定に及ぼす影響の検討

パイプフローによる崩壊発生時の斜面の危険度を半無限斜面の安定解析式を用いて、表 2 のパイプ内水位に対応した間隙水圧と各試料の強度定数によって安定解析を行ったが、全ての条件で安全率が 1.0 を上回り、半無限斜面としての安定解析は実態に則さないことが分かった。

安定解析においてパイプフローの影響を考慮するにあたり、3.1 章の粘着力の大きい斜面の破壊形態から、パイピング現象によって、パイプ孔上の斜面に盤ぶくれが発生し、斜面崩壊が発生するのではないかと考えられる。

パイピングに対する安全率を地盤内の土塊重量による全応力 σ とパイプ水圧 u の比で表わす式(1)より求めた結果を表 3 に示す。

$$F_s = \frac{\sigma}{u} = \frac{\gamma_{sat} \times H}{\gamma_w \times H_p} \dots \dots (1)$$

γ_{sat} : 飽和単位体積重量 γ_w : 水の単位体積重量

H_p : パイプ内の水位 H : 斜面の層厚

表 3 より、マサ土試料以外では安全率が 1.0 を下回っており、パイプ孔上ではパイピングが発生していると思われる。マサ土試料の斜面が安全率 1.0 よりも大きいにも関わらず斜面崩壊が発生した理由としては、3.1 章のマサ土試料の斜面崩壊発生直前に見られた、パイプ内の水が斜面内に浸透し、浸透力によって崩壊が発生したと考えられる。

表 2 斜面崩壊時のパイプ水位の計測結果 (mm)

	H=30mm	H=50mm	H=80mm
マサ土	38	50	83
粘土 10%	65	73	115
粘土 20%	77	113	173
粘土 30%	100	138	180
粘土 40%	127	162	198

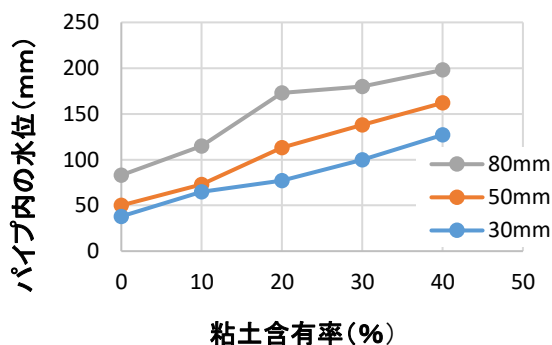


図 2 粘土含有率と層厚によるパイプ内の水位

表 3 パイピングに対する安全率

	H=30mm	H=50mm	H=80mm
マサ土	1.44	1.82	1.75
粘土 10%	0.84	1.25	1.27
粘土 20%	0.71	0.81	0.85
粘土 30%	0.55	0.67	0.82
粘土 40%	0.43	0.57	0.74

4. 結論

パイプフローによる崩壊メカニズムは、斜面の破壊形態から、降雨のみによる表層崩壊とは異なることが確認された。また、粘着力の大きさにより崩壊の様子が異なることから、パイプフローの崩壊メカニズムが粘着力により変化することが考えられる。

パイプ水位の計測結果より、粘着力と層厚がパイプ内水位の挙動に大きく寄与すると考えられる。

パイピングに対する安全率の結果から、マサ土試料における斜面崩壊では、パイプ内の水の浸透により破壊したと考えられ、それ以外の試料ではパイプ内水圧によるパイピングによってパイプ孔上に盤ぶくれが発生し、斜面崩壊が発生していると考えられる。

参考文献

- 1) A.M.R.G.ATHAPATHTU, 他 4 名 : パイプフローが斜面の安定に及ぼす影響に関する実験的研究, 地盤工学会中国支部論文報告集, Vol.33, No.1, pp131-138, 2015