

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 学生会員 ○岩井 鉄平
 呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫
 工業高等専門学校 正会員 加納 誠二

1. はじめに

平成 26 年 8 月 19 日から 20 日、広島県広島市に猛烈な雨が降り、広島市安佐南区、安佐北区において同時多発的に大規模な土石流が発生し、関連死を含めて死者 75 名、負傷者 44 名、全壊家屋 133 棟、半壊家屋 122 棟という甚大な被害が発生した。土田らの調査によると、八木地区と緑井地区の土石流の発生地である阿武山には断層・破碎帯・節理などの透水性の高い部分が散見され、この地区のすべての溪流で崩壊部の底面や側面に水が流出したと考えられるパイプフローの孔が認められた¹⁾。このことから阿武山の岩盤内に存在していた地下水が上方に降った大量の降雨によって被圧水となり、斜面の表層土を押し出すように作用し、斜面を急激かつ大規模に不安定化させたと考えられる。

そこで本研究では、地盤内にパイプを有する斜面モデルを用いて、実際に降雨を与えることでパイプフローが斜面崩壊にもたらす影響を検証する。また、試料の物理特性及び力学的特性を求め、斜面の安定解析を行い、パイプフロー現象が斜面崩壊に寄与する条件の一端を解明する。

2. 試験方法

本研究で用いた試料は呉市周辺のマサ土と、マサ土に粘土($\rho_s=2.738\text{g/cm}^3$)を乾燥質量率で 10%加えた試料、20%加えた試料、30%加えた試料、40%加えた試料の計 5 種類である。各試料の土粒子密度を表 1 に示す。

表 1 実験に用いた各試料の土粒子密度

試料名	マサ土	粘土10%	粘土20%
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.5762	2.5877	2.6063
試料名	粘土30%	粘土40%	本災害現場土
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.6274	2.6609	2.734

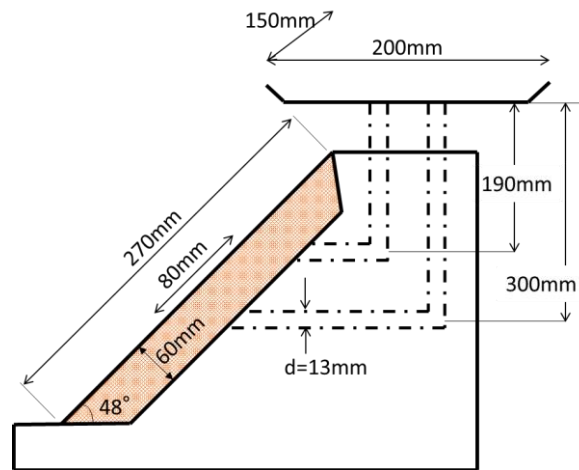


図 1 斜面モデル図

本研究に用いた斜面モデルは図 1 に示すように斜面勾配 48°、層厚 60mm、斜面長 270mm 奥行き 60mm の斜面である。この斜面内にパイプフローの水みちを想定した内径 13mm のパイプを斜面方向に 80mm 間隔で 2 本配置した。また、パイプ内に降雨を収集するために、パイプ上方に斜面の面積の 2 倍の集水面積となる 200mm×150mm の漏斗状の集水装置を設置した。斜面の形成は、斜面が水平になるように斜面モデルを傾けて、3 層に分けて各層 20 回ずつ突き固めて作成した。実験は本災害の降雨記録を参考に 100mm/h の降雨条件で、パイプフローが発生する状態、パイプに栓をしたパイプフロー現象が発生しない状態の 2 種類を行った。

安定解析では層厚が 60mm と小さなことから斜面全体が飽和状態と仮定して、次式で解析を行った。

$$F_s = \frac{C}{W \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} - \frac{U \tan \phi}{W \sin \beta} \dots \dots \text{式(1)}$$

ここに、 C : 粘着力(kN/m²)、 ϕ : 内部摩擦角(°)、 β : 斜面勾配(°)、 W : 土塊重量 = $\gamma_{sat} H \cos \beta$ 、 H : 層厚(m)、 U : 間隙水圧(kN/m²)で、

パイプフロー無しの場合: $U = \gamma_w \times H \cos^2 \beta$

パイプフロー有りの場合: $U = \gamma_w \times H_p$

なお、 H_p はパイプの高さ(300mm)である。

キーワード 平成 26 年広島土砂災害、パイプフロー、斜面モデル、斜面の安定解析

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11 呉工業高等専門学校環境都市工学分野 TEL 0823-73-8478

3. 結果及び考察

透水試験，一面せん断試験より求められた透水係数，強度定数を表 2 に示す。なお，参考として本災害現場の試料も記載しているが，本実験に用いた試料の間隙比は約 0.4 程度で，本災害現場土の間隙比は約 1.2 と試験条件が異なる。

また，斜面モデルを用いた実験結果を表 3，斜面の安定解析の結果を表 4 に示す。実験は各試料に対して 4 回ずつ行い，表の○は斜面の非崩壊，×は斜面崩壊を示している。表 3 と表 4 を比較すると，斜面モデルを用いた実験では粘土を 20%か 30%含む試料の斜面が崩壊したのに対して，安全率は 1 を大きく上回っている。これはマサ土では飽和状態になると粘着力が減少する性質が原因のひとつとして考えられる。本研究での粘着力は不飽和状態における一面せん断試験により求めたものであり，本来の粘着力より大きく算出されていると考えられる。また，本研究で用いた斜面モデルの層厚が 60mm と小さいため，安定解析の式(1)における土塊重量が非常に小さくなり，安全率に対する粘着力の影響が大きくなる。そのため粘着力を本来の値よりわずかに大きく見積もっても安全率が大きく増加するため，安全率が高めに算出されていると考えられる。また，パイプフロー有りの場合の間隙水圧を $\gamma_w \times H_p$ としたために，安全率が負の値となったため，パイプフロー有りの場合の安全率の算出方法には更なる検討が必要である。

また，安全率が 1 以下であるマサ土のみの試料では斜面崩壊は発生していない。これはマサ土の透水性が高いため，パイプ内の水位が上昇せずに流出しているためと考えられる。式(1)よりマサ土における斜面崩壊が発生するパイプ内の水位を算出すると，120mm であった。したがって，斜面崩壊には 120mm まで水位の上昇が必要となるが，マサ土において 100mm/h の降雨条件では 120mm まで水位が上昇しなかったため，斜面崩壊が発生しなかったと考える。したがって透水係数が高い試料ほど，パイプフローによる斜面崩壊が起きにくいと考えられる。

また，本考察を確かめるために，マサ土の鉛直面に粘土シームを配置した斜面モデルを用いて実験を行った結果，降雨開始から約 5 分と非常に短期間で斜面崩壊が発生した。これは透水性の低い粘土シームの影響によって，パイプ内の水位の上昇が早かった

表 2 強度定数及び透水係数

	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	透水係数 k_t (10^{-4} m/s)
マサ土のみ	1.7	40.4	3.4
粘土10%	3.7	41.0	2.4
粘土20%	4.7	41.3	2.1
粘土30%	7.7	41.5	1.6
粘土40%	8.9	41.9	1.6
本災害現場土	15.5	39.8	3.0

表 3 斜面モデルを用いた実験結果

パイプフロー	無	有1	有2	有3	有4
マサ土のみ	○	○	○	○	○
粘土10%	○	○	○	○	○
粘土20%	○	○	×	○	○
粘土30%	○	×	○	×	×
粘土40%	○	○	○	○	○

表 4 各条件の安定解析結果

安全率 F_s	パイプフロー無	パイプフロー有
マサ土のみ	3.44	-1.19
粘土10%	7.14	2.42
粘土20%	9.06	4.29
粘土30%	15.41	9.73
粘土40%	16.89	12.02

ためだと考えられ，この結果からも，透水係数が低い試料ほど，パイプフローの影響を受けやすいと考えられる。

一方で，粘土を 40%加えた試料は本研究で最も透水性の低い試料であるが，斜面モデルを用いた実験では崩壊しなかった。これは，土の持つ粘着力がパイプフローによる応力より大きかったためと考えられ，十分な粘着力を持つ土では，パイプフローによる斜面崩壊が発生しないと考えられる。

4. 結論

透水係数が高い地盤では排水性の高さから，パイプフローによる影響を受けにくいことが明らかとなった。また，粘着力が高い地盤であれば透水係数が低い場合でも斜面崩壊が起きなかったことから，透水性が低く，粘着力も小さいことがパイプフローによって斜面崩壊にもたらす影響が大きい条件だと考えられる。

参考文献

- 1) 土田孝ほか：2014 年広島豪雨災害において土石流が発生した溪流の状況と被害に関する研究，地盤工学ジャーナル，Vol.11，No.1，pp33-52，2015