

令和元年6月13日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16379

研究課題名（和文）パイプ流を起因とした斜面崩壊発生機構に関する研究

研究課題名（英文）Study on mechanism of slope failure caused by pipe flow

研究代表者

平岡 伸隆（Hiraoka, Nobutaka）

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・建設安全研究グループ・研究員

研究者番号：00756546

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：土砂崩壊の一因となる地盤内のパイプ流について、水分水位計測で観測が可能か、またその影響について検証を行った。自然斜面での長期計測では、降雨に対して浅層より深層の方が早く反応する地点が観測され、このような地点付近にパイプ流や水みちが存在していることが示唆された。また、室内実験によって、飽和帯を持つ斜面において、パイプ流は排水効果をもたらし、多地点で水位計測を行うとパイプ流に近いほど、水位が低い傾向が得られた。ここに高強度の降雨を与え、パイプ流の許容流量を上回る水が供給された場合や、パイプ流が閉塞した場合には、パイプ流から斜面内に水が浸透し、そこから崩壊を起こすことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

降雨による土砂崩壊の一因とされているパイプ流の影響について、自然斜面における長期水分・水位計測によって位置や傾向が計測できることが確認できた。また、室内実験によって、パイプ流をもつ斜面が降雨によって崩壊に至るメカニズムが確認できた。これらの成果によって、より精度の高い斜面崩壊危険予測が期待でき、防災・減災に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：About pipe flow in the ground causing sediment disaster, it was verified whether the pipe flow could be detected by measuring the water level and the effect. In long-term measurements on natural slopes, it was observed that the deep layer responds faster to rainfall than the shallow layer. Therefore, it was suggested that there was a pipe flow and a water path near such a point. In the laboratory experiment, the pipe flow has drainage effect on slopes with saturated zones, and when the water level is measured at multiple points, the water level tends to be lower the closer to the pipe flow. When water exceeding the allowable flow rate of the pipe flow was supplied due to heavy rainfall, or when the pipe flow was blocked, water permeated from the pipe flow to the slope and collapsed.

研究分野：地盤工学

キーワード：斜面崩壊 パイプ流 地下水 モニタリング 土砂災害

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

土砂災害の崩壊地では、滑落部には地下水の流れた跡であるパイピングホールが確認されることがある¹⁾。通常、パイプ流は湧水となり、斜面内の地下水の排水効果をもたらすため、安全側に働く。しかし、豪雨による雨水浸透により斜面内にパイプ流が発生しているときに、パイプ流路が閉塞された場合や許容流量を超えるパイプ流が発生した場合、過剰間隙水圧の発生原因となり、斜面の不安定化に寄与する²⁾。したがって地盤内の過剰間隙水圧発生箇所を特定し、その上昇量や分布から崩壊危険度を評価することが崩壊予測に繋がる。

2. 研究の目的

本研究では、土砂崩壊の一因となっているパイプ流が水分・水位のモニタリング計測によって観測が可能か、また斜面安定性への影響について検証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では屋外実験および室内実験によって、パイプ流の斜面安定性への影響を検証した。屋外実験では、周辺に降雨による崩壊履歴のある自然斜面を対象に、地下水の多い箇所を調査し選定した。これまでの計測結果から集水地形と思われる箇所 1.6 m 四方を計測領域として、超音波水分・水位計を 9 地点 3~5 深度、計 32 基設置し、長期計測を実施した（図 1）。設置深度の決定は 9 地点で行なった簡易動的コーン貫入試験結果（図 2）から、対象エリアを深度方向 4 層に分け、層境界に設置した。

2018 年 1 月から 11 月までの計測の結果、途中で計測機器のトラブルでデータ欠損したが、38 の降雨イベントを記録した。なお、1 降雨イベントは 24 時間無降雨で区切った。期間中、2018 年 9 月 29 日に記録した連続雨量 76.5 mm（最大時間雨量 9.5 mm/h）が最も強い降雨であった（図 3）。高強度の降雨時に 2 層目と 3 層目の境界に設置した超音波検出器によって地下水が 10cm 程度まで観測されることがあったが、その他の表層や深層では地下水の発生はほとんど確認されなかったことから、ここに地下水帯を形成しやすい要因があるものと思われる。土中水分量の変化では、各地点、各層の水分変化傾



図 1 超音波水分水位計測による高密度自然斜面計測。斜面の傾斜は約 30 度。

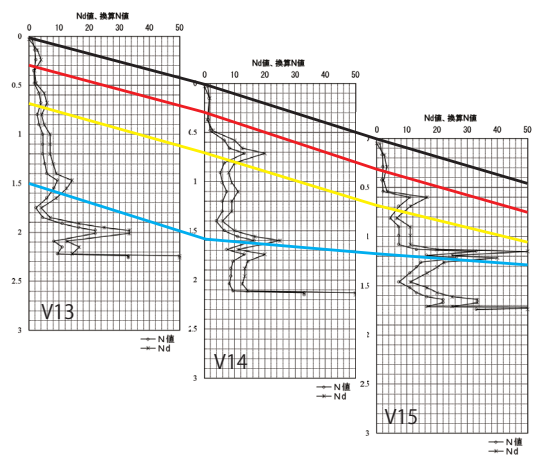


図 2 簡易動的コーン貫入試験から得られた N_d 値の一例

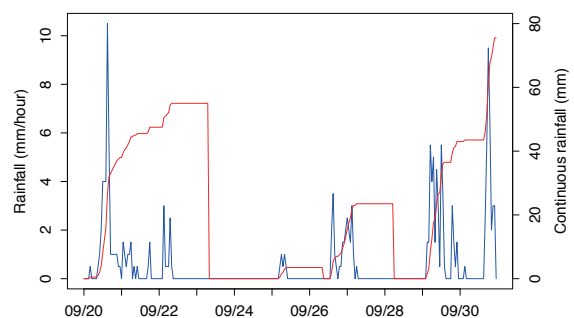


図 3 2018 年 9 月 20 日から 10 月 1 日までの降雨データ

向は様々で、全ての地点において上部からの鉛直浸透によって、浅い地点から水分量が上昇するわけではなく、深い深度の方が早く反応を示す地点が確認された（図 4）。このような変化は、深部に地下水の流路があることを示唆しており、まさにパイプ流や水みちの存在が疑われる。ただし、自然状態の斜面の不均一性や背面地山の水門環境、植生の影響等が複雑に関係しており、本実験のサイトでは高密度の計測であってもパイプ流の位置の把握は困難であった。継続してデータを取り溜めることで、統計的な危険度予測が期待できる。

自然斜面ではパイプ流の特定が困難であったため、地盤モデルを単純化した室内実験を実施した。計測位置の違いによるパイプ流の影響について考察するため、モデル斜面内にパイプ流を模擬し、降雨量、配置を変えて計 6 ケースの検証を行った。表 1 に各ケースの実験条件を示す。本稿では、CASE6 の結果について示す。斜面向かって右側寄りに模擬パイプ流となるように穴を開けた塩ビパイプを敷設し、左側に等間隔で超音波検出器および圧力式水位計を設置した。先行降雨として時間雨量 9 mm/h の降雨を 7 時間与え、その後 40 mm/h の降雨を与えた。その後、パイプ流から湧水が確認でき、排水効果があることがわかった。前面部から越流が発生したため、一度降雨を止め回復過程を記録した後に、再び高強度の降雨を与えた。10 時間 16 分（37000 秒）から斜面中腹の水

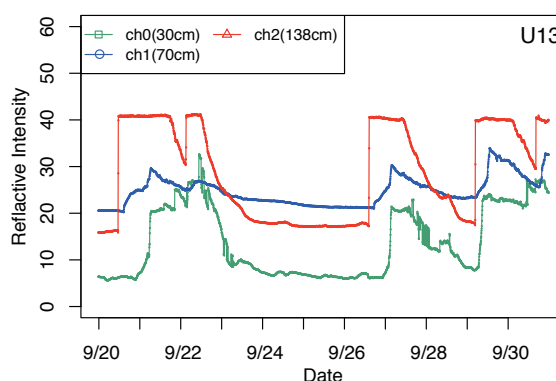


図 4 U13 地点の水分量の変化。深い計測点から反応している。

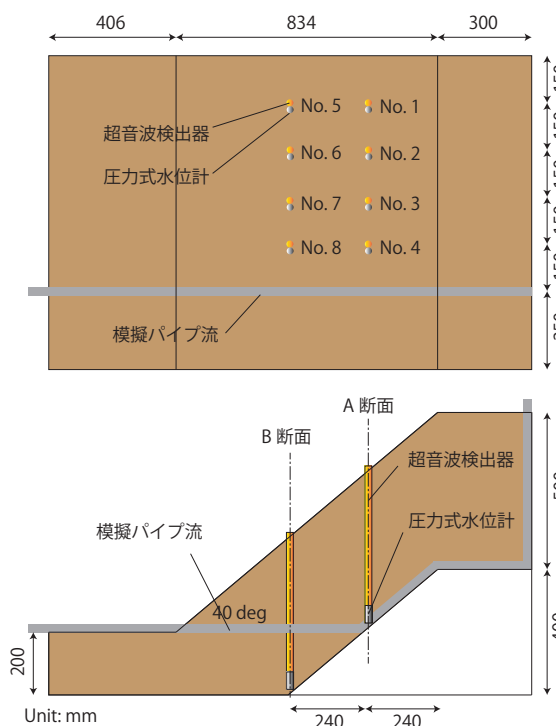


図 5 室内実験 CASE6 の概略図

表 1 室内実験での実験ケース

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
含水比	10%					
湿潤密度	1.40 g/cm ³					1.50 g/cm ³
排水条件(非排水)	背面, 底面, 側面					
排水条件(排水)	前面	前面, パイプ				
降雨条件	30mm/h:2時間	20mm/h:5時間	20mm/h:5時間	124mm/h:30分	9mm/h:4時間	9mm/h:7時間
	20mm/h:3時間	50mm/h:7時間	50mm/h:5時間		40mm/h:1時間30分	40mm/h:1時間15分
	50mm/h:28分	パイプ閉塞	パイプ閉塞		66mm/h:40分	9mm/h:35分
		パイプ開放し注水	パイプ開放			降雨停止:30分
		パイプ閉塞し注水	パイプ閉塞し注水			66mm/h:40分
模擬パイプ流	内径20mm, 外径26mm開孔率5%の塩ビ管					

位計が反応し、地下水の上昇が確認された。図 6 に A 断面における試験開始 36800 秒後からの地下水の変化を示す。パイプ流に近い地点の方が水位が高く、上からの浸透の他にパイプ流によって水が供給されているものと考えられる。試験開始 376000 秒後にはパイプ流付近の水位の急速な上昇とともに、法尻部が浸透性崩壊を起こした。図 7 に試験開始から終了までの B 断面における地下水の変化を示す。B 断面は斜面底部にあたり、常に飽和帯を形成している。この地下水はパイプ流を通して、排水されていくため、A 断面とは逆にパイプ流に近い箇所の方が、水位が低いことがわかる。

以上より、常時はパイプ流があることで排水効果生まれ、これは斜面安定化に寄与するものと思われるが、パイプが閉塞した場合や、排水量を上回る地下水が供給された場合には、パイプ流から斜面内に地下水が溢れ、斜面を急激に不安定化させることがわかった。また、これとは逆に常時地下水が形成されるような箇所では、パイプ流に近いほど地下水位が低い。計測結果の時系列変化を長期に渡って分析することで、パイプ流や水みちの存在を予見できる可能性が示唆された。

4. 研究成果

自然斜面での高密度な水分・水位測定の結果、地盤内の不均一性の影響が大きく、本研究対象としたエリアでは計測結果からパイプ流箇所を特定するのは困難であった。ただし、継続した計測によって、その地盤の水分動態傾向を掴み、統計的な危険予知手法によって避難警報などの管理的な対策ができる可能性がある。また、室内実験の結果から、パイプ流が地下水位に与える影響について検証し、パイプ流が排水孔として機能している場合は、パイプ流に近いほど地下水は低下し、パイプ流が閉塞した場合や、許容流量を超える降雨が与えられた場合には、逆にパイプ流に近いほど水位が高くなることがわかった。

<引用文献>

- 1) 木下篤彦, 北側眞一, 大山誠, 小杉賢一朗, 内田太郎, 横山修, 眞弓孝之, 小川内良人, 平成 23 年台風 12 号で大規模崩壊が発生した那智川流域平野川斜面における土層構造及び水文特性に関する研究, 第 62 回砂防学会研究発表会, R06-01, 2013.
- 2) 堤大三, Roy C. Sidle, 藤田正治, 水山高久, パイプ流存在下での斜面の安定性に関する数理実験, 水工学論文集, Vol. 48, 337-342, 2004.

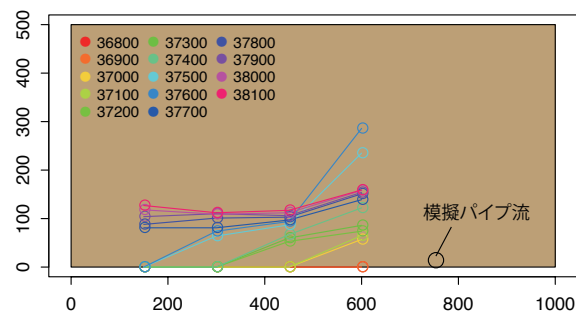


図 6 A 横断面における地下水の変化

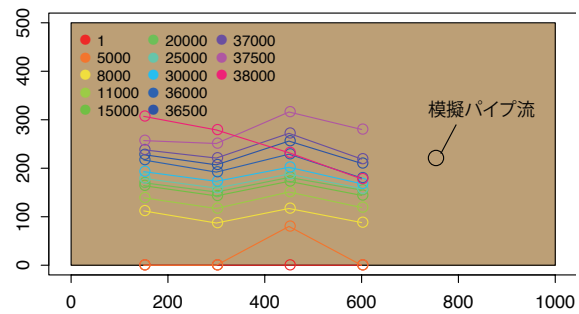


図 7 B 横断面における地下水の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 室内降雨実験に基づくパイプ流周辺における地下水位変動に関する考察, Kansai Geo Symposium 2018— 地下水盤環境・防災計測技術に関するシンポジウム— 論文集, 査読有, 2018, pp. 249-252.
- ② 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 斜面内のパイプ流による地下水位の変動に関する実験的考察, Kansai Geo Symposium 2017— 地下水盤環境・防災計測技術に関するシンポジウム— 論文集, 査読有, 2017, pp. 190-195.

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 斜面土層内のパイプ流が地下水位変動に及ぼす影響, 第 53 回地盤工学研究発表会, 0164, E-07, pp. 327-328, 2018.
- ② 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 斜面内のパイプ流周辺における地下水位変動に関する実験的考察, 平成 30 年度砂防学会研究発表会, P-105, 2018.
- ③ 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 模擬パイプ流を用いた室内降雨実験, 平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会, III-7, 2017.
- ④ 伊良知慎太郎, 平岡伸隆, 稲垣大基, 藤本将光, 田中克彦, 深川良一, 模擬パイプ流を用いた室内降雨実験による斜面内水分動態に関する研究, 平成 29 年度砂防学会研究発表会, pp. 610-611, 2017.
- ⑤ 平岡伸隆, 中野峻也, 有光悠紀, 田中克彦, 藤本将光, 岩佐直人, 深川良一, 超音波による斜面水分動態モニタリング手法の現地適用性の検討, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp. 1599-1600, 2016.
- ⑥ 平岡伸隆, 有光悠紀, 田中克彦, 藤本将光, 吉川直孝, 深川良一, 清水寺後背斜面における超音波を用いた土中水分・水位計測に関する研究, 安全工学シンポジウム 2016, 9-5, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：田中 克彦

ローマ字氏名：(Katsuhiko Tanaka)

所属研究機関名：立命館大学

部局名：総合科学技術研究機構

職名：上席研究員

研究者番号 (8 桁)：00367997

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：藤本 将光

ローマ字氏名：(Fujimoto Masamitsu)

所属研究機関名：立命館大学

部局名：理工学部

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：60511508