第Ⅲ部門　　模擬パイプ流を用いた室内降雨実験

立命館大学理工学部　学生会員　○伊良知　慎太郎
（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所　正会員　平岡　伸隆
立命館大学理工学部　学生会員　稲垣　大基
立命館大学理工学部　正会員　藤本　将光
立命館大学総合科学技術研究機構　正会員　田中　克彦
立命館大学理工学部　フェロー　深川　良一

1. はじめに

自然斜面で発生した斜面崩壊の滑落崖ではパイピングホールが確認されることが多い. 通常パイプ流は斜面安定に寄与する天然の地下水排水溝だが，パイプ流路が閉塞，または許容流量を超える水が流れ込んだ場合, 閉塞周辺の間隙水圧が上昇し，斜面は極めて危険な状態となる．したがって，斜面内部のパイプ流周辺の地下水圧の観測により崩壊の予測や適切な対策を行える可能性がある. そこで Tanaka ら [1]が開発した多地点多深度計測に適した超音波による水分水位測定システムを応用し, パイプ流の有無によって斜面の地下水位にどのような影響が発生するか室内実験を行って確認した.

2. 室内降雨実験

本研究では模擬パイプ流を用いない Case1 と模擬パイプ流を用いた Case2 を実施して斜面崩壊に及ぼすパイプ流の影響を調べた． Case1 と Case2 の側面から見たモデル斜面の寸法と各計測機器の設置箇所を**図-1**，**図-2**，実験条件を**表-1** に示す．実験土槽は，木製の基盤の上に高さ 50cm，横 154cm，幅 100cm の斜面を作製し，人工降雨装置を用いて降雨を与えた．模擬パイプ流には内径 20mm，外径 26mm，開孔率 5%の塩ビ管を用いた．計測機器は超音波測定器の他に圧力式水位計，誘電率土壌水分計，テンシオメータを設置した． Case1 で降雨量 30mm/hr を与えると斜面の表面侵食が発生したため, Case2 では 20mm/hr から開始した. また, Case2 では降雨による斜面崩壊が確認されなかったため, 降雨開始 9 時間 20 分後に模擬パイプ流の先端を閉塞し，さらにパイプ内に注水した．各実験の実験経過を**表-2**，**表-3** に示す.

超音波検出器と水位計から得た各実験の時間ごとの水位を**図-3**，**図-4** に示す．Case1 では降雨量を 50mm/hr に変更したあと斜面中部の水位が大きく上昇していることから, 急な降水強度の変化により地下水位が上昇したことで滑り崩壊が発生したと考えられる．Case2 では模擬パイプ流の影響により斜面中部の地下水位が低下した．また，有孔パイプ内に流水した状態で先端部に栓をしたが斜面崩壊は発生しなかった。そこでさらにパイプ内に注水をすると斜面下部から崩壊が発生し，斜面内部の水位が上位も上昇していった.

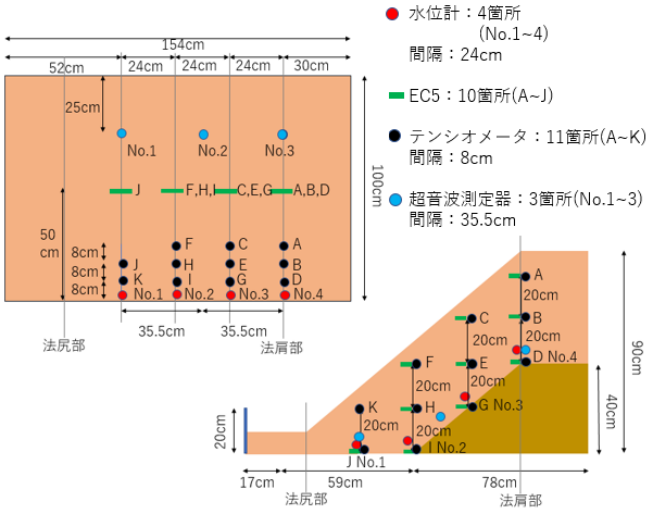

図-1　Case1 の測定器配置

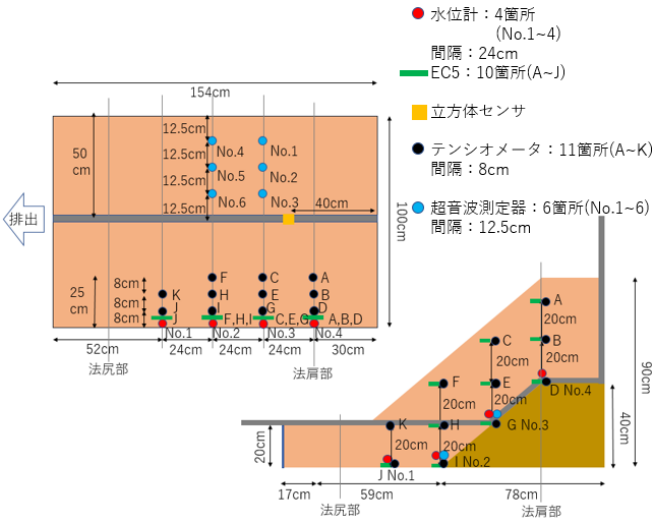

図-2　Case2 の測定器配置

Shintaro IRACHI，Nobutaka HIRAOKA，Daiki INAGAKI，Masamitsu FUJIMOTO，Katsuhiko TANAKA and Ryoichi FUKAGAWA　rd0041ks@ed.ritsumei.ac.jp

表-1　実験条件

	Case1	Case2
含水比	10%	
乾燥密度	1.40g/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：3時間	50mm/h：7時間
	50mm/h：28分	
模擬パイプ流	なし	内径20mm，外径26mm，開孔率5%の塩ビ管

表-2　Case1 の実験経過

経過時間	概要
0:00	降雨開始(30mm/hr)
0:42	前面の盛土に水が溜まり始める
2:00	降雨量を20mm/hrに変更した
2:30	水槽前面部から越流を確認
5:00	降雨量を50mm/hrに変更した
5:28	斜面崩壊を確認し，実験を終了

表-3　Case2 の実験経過

経過時間	概要
0:00	実験開始(20mm/hr)
1:30	前面の盛土に水が溜まり始める
2:20	水槽前面部から越流を確認
5:00	雨量を50mm/hrに変更
9:20	パイプの先端に詮をする
10:20	パイプの詮を開けてパイプ内に注水開始
10:50	水を流した状態でパイプに詮をする
11:02	パイプの穴からの水により斜面下部が崩れ始める
11:26	超音波測定器No.6の地点まで斜面が崩れる
11:40	超音波測定器No.3の地点まで斜面が崩れる
11:45	超音波測定器No.2の地点まで斜面が崩れる
11:50	斜面の大部分の崩壊を確認し，実験を終了

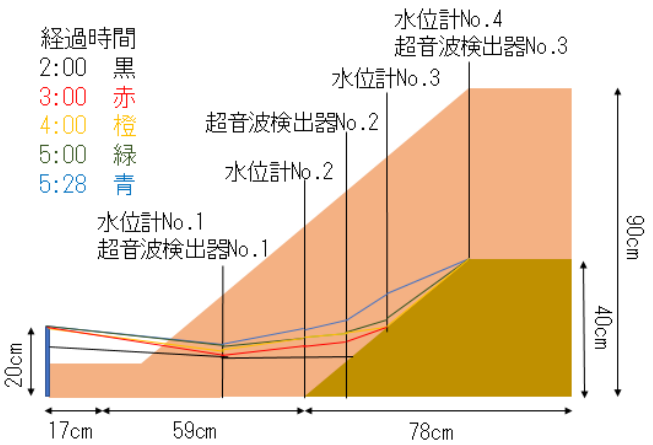

図-3　Case1 の各時間の地下水位

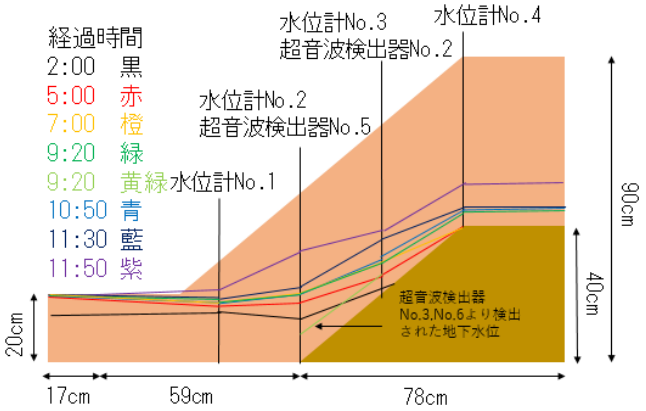

図-4　Case2 の各時間の地下水位

また，Case2 の 9 時間 20 分後の地下水位は，パイプ流から横方向に 25 cmはなれた超音波検出器 No.2 および No.5 の結果と 12.5cm 離れた超音波検出器 No.3 および No.6 の結果を比較するとパイプ流に近づくほど，大きく地下水位が低下しており，パイプ流によって斜面内の水分が排水されていることが確認された．

3. 模擬パイプ流による影響の考察

模擬パイプ流を設置しない Case1 では降雨によって地盤内の水分量が上昇し，滑り崩壊が発生した．模擬パイプ流を設置した Case2 ではパイプ流によって斜面内部の地下水が排出されたことによって同量の降雨を与えても崩壊は発生せず，地盤内の貯溜量の減少，地下水位の低下を確認した．さらにパイプの先端を閉塞し，斜面下端部でパイプ流を閉塞させたが，斜面崩壊は発生しなかった．この要因として斜面下端部まではパイプ流が排水孔としての機能を失っておらず，斜面内の排水は継続して補助されていたためと思われる．そこで斜面上部からのさらなる浸透流の供給があったと仮定してパイプ内に水を流したところ，排水能力を超える流入によって斜面内の水位が上昇し，斜面下部から上部へ崩壊が進む進行性崩壊が発生した．

4. おわりに

本実験結果から，パイプ流はその機能が維持されれば斜面安定に寄与するが，閉塞箇所が斜面中腹であった場合や，排水許容量を上回る浸透流が流入したときには，斜面安定度を低下させる要因となることが示唆された．

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（若手（B），16K16379）（2016～2018 年度）の助成を受けて行った．

参考文献

1) K. Tanaka, et al. Monitoring of soil moisture and groundwater level using ultrasonic waves to predict slope failures. Japan. J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 9, pp. 09KD12–1–09KD12–4, 2009.