

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18714

研究課題名(和文) 豪雨時における斜面水文プロセスの把握に基づいた斜面表層崩壊の発生機構の解明

研究課題名(英文) Mechanisms of a shallow landslide based on the evaluation of hydrological processes at a hillslope during the heavy rainfall

研究代表者

藤本 将光 (Masamitsu, Fujimoto)

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：60511508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、室内及び現地モニタリングを行い、斜面の不安定化要因となる斜面土層内の過剰間隙水圧や複雑な地下水面形成を把握し、風化基岩層の地盤特性と水文プロセスの挙動の関連性を明らかにした。また、斜面崩壊地において地形解析、水文調査、地盤調査を含む詳細な野外調査を行い、複数の解析・調査結果を組み合わせることで、脆弱性を持ち、斜面崩壊の潜在的危険度を評価する手法の構築を行った。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the factors for the shallow landslide, this study conducted the laboratory experiments and in-situ monitoring of pore-water pressures in the soil layer. Our results indicated that the rapid responses of water movement and several groundwater water table formations were occurred. Also, this study conducted the spatial analysis of topography and field investigations which include the spatial distribution of spring and shallow landslide points, and the geophysical structure. Based on above results, this study proposed the evaluation methods of potential risk of shallow landslide in a hillslope.

研究分野：砂防工学

キーワード：斜面崩壊 豪雨 岩盤地下水 微地形 湧水 地形発達 地下水流動

1. 研究開始当初の背景

近年豪雨災害が頻発しており、降り始めからの総雨量が 1000mm を超えるような大雨や降雨強度 100mm/hr を超えるような降雨が毎年のように発生している。こうした豪雨による山体や森林の保水能力を超える雨水の供給・浸透は斜面崩壊や土石流発生を引き金となることが予測される。今後、降雨特性の変化に伴って災害の発生数の増大、規模の拡大が懸念される中、従来の災害の想定を超える複雑な災害発生機構の解明に基づいた災害危険箇所の予測手法の確立が急務となる。

災害調査において崩壊斜面では基岩の風化に伴った亀裂や節理の発達が認められ、地下内部での複雑な雨水の浸透経路が存在することが示唆される。地盤内部の雨水の複雑な浸透挙動に伴い斜面内部で空間的に偏在的な地下水帯が形成されている可能性が考えられる。空間的に偏在して存在する地下水の存在は斜面崩壊の発生危険箇所の推定に直結する。このことから、土層および風化基岩層内の水文プロセスを把握し、それらが崩壊発生に至る過程でどのような影響を及ぼすのかを解明することが必要となる。

以上の背景から、豪雨時における土層および風化基岩層の構造を詳細に評価すること、また、地盤構造に支配される降雨時の浸透水、地下水の流動経路を明らかにすることによって、斜面表層崩壊の発生機構を解明し、崩壊発生危険箇所を予測することが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、実際に発生した斜面崩壊地の詳細な地盤調査を行うことで、脆弱性を持つ斜面の特徴を把握する。明らかになった崩壊地の特徴を指標として、脆弱性をもち崩壊の危険性の高い斜面を野外調査に基づいて選定する。また、対象斜面の野外水文観測を行うことで、風化基岩層の地盤特性と水文プロセスの挙動の関連性を明らかにする。また、豪雨時の降雨特性が土層および風化基岩内の水文プロセス、崩壊プロセスに及ぼす影響を室内降雨実験によって検証する。これらの結果に基づき、豪雨時における斜面崩壊の発生機構を解明する。斜面内の地盤構造と複雑な水文プロセスを組み込んだ斜面崩壊発生モデルを構築し、豪雨災害を予測することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 現地計測

現地モニタリング対象斜面は京都市清水寺奥ノ院の後背斜面を選定した。基岩は砂岩、頁岩、チャートからなる丹波層群で構成され、表土は崩積土である。図-1 に示す位置において雨量と地盤内の間隙水圧の計測を行った。調査対象斜面上に 14 観測場を設定した。また、簡易動的コーン貫入試験の結果から土

壤強度特性を把握するとともに基岩面までの土層深さを決定した。決定した土層深さを基準とし、鉛直方向に各点で 2~6 箇所の深度において計測点を設定し、計 51 基を設置した。

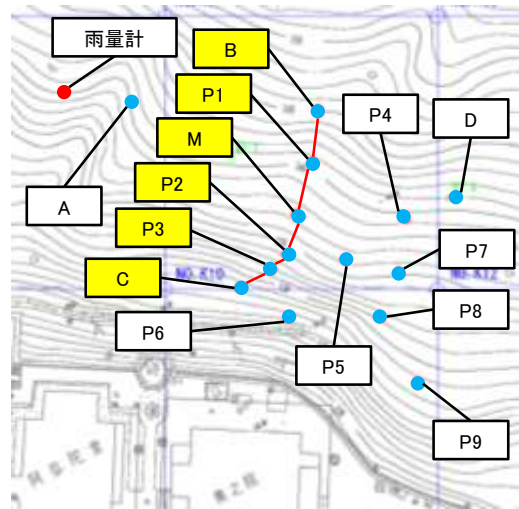


図-1 奥ノ院後背斜面における計測点位置

(2) 潜在的危険斜面の抽出

清水寺境内斜面ではこれまでに奥ノ院後背斜面周辺で 1m 深地温探査、地中音調査、電気探査を行ってきた。また、詳細な微地形図 (CS 立体図) を作成し、地形、湧水点の位置 (有無の含む)、斜面崩壊発生地の関連性を現地踏査に基づいて調査した。調査範囲は清水寺を含む東山地区一帯である。

4. 研究成果

(1) 斜面内の水文プロセスの把握

図-1 中の B-C 側線の内の B, M, P2, C 地点の基盤境界面の計測深度を分析対象とした。降雨イベントは無降雨状態が 12 時間継続した場合、異なるイベントとして扱った。観測された総雨量が 10mm 以上の 17 イベントを分析対象とした。図-2 に各降雨イベントにおける B, M, P2, C 地点の降雨開始時の間隙水圧値が正圧に到達するまでの累積雨量、間隙水圧値が正圧に到達してから最大値を計測するまでの雨量を示した。

P2 地点の土壌-基岩境界面は降雨前において非常に乾燥した状態であることが示された (図-2b)。M 地点は P2 地点ほどではないものの同様に乾燥状態を示した。しかし、非常に降雨前の状態が乾燥しているにもかかわらず、約 10 mm 程度の累積雨量で飽和状態に至ることが示された。飽和に至った後、累積降雨量が増加した場合において間隙水圧値が大きく上昇しないことが結果として得られた (図-2c)。B 地点は飽和後の降水量の増加に対して、間隙水圧値はやや上昇傾向を示すが、それ以外の地点を合わせて見ても、計測点が飽和に至った後、わずかな累加降雨量で間隙水圧値がピークに至り、その値は頭

打ちになる傾向を示した。

以上の結果から、奥ノ院後背斜面では土層内において非常に素早い水の移動によって地下水帯が形成されていることが示された。これは土層が主として砂岩やチャートが風化した礫で構成されており、礫間の空隙を水が素早く移動することに起因していると考えられる。また、地下水帯の発生後に地下水位の上昇を抑制する要因が存在する可能性が示され、斜面の不安定化要因となり得る過剰間隙水圧の発生が示唆された。

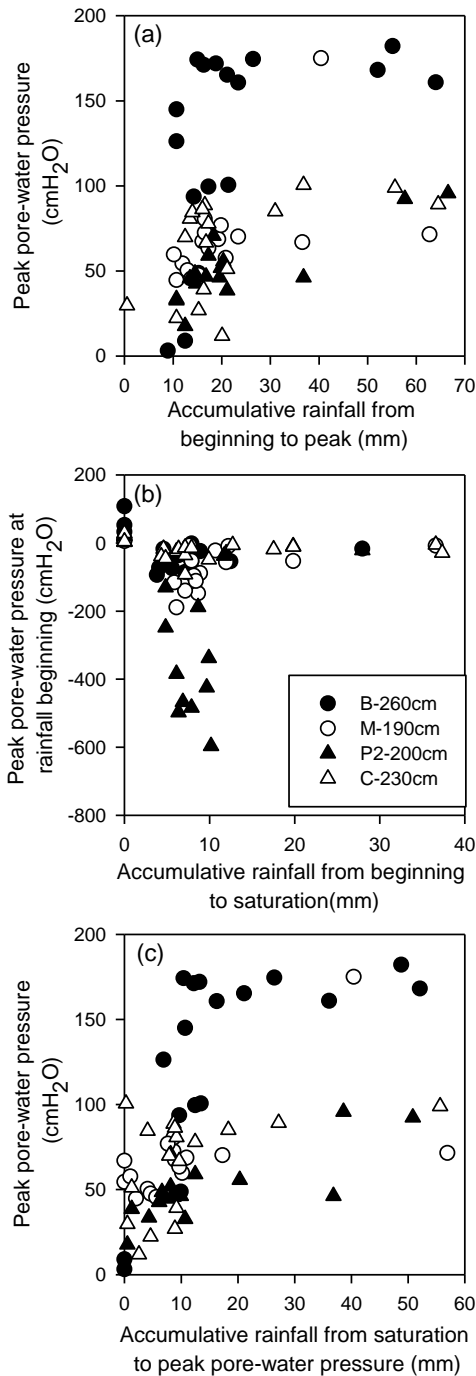


図-2 間隙水圧の変動特性

(2) 斜面崩壊の潜在的危険度の評価

微地形図 (CS 立体図) に基づく地形判読、現地踏査、湧水調査を組み合わせることで広域的な地下水流動の把握と土砂災害の潜在的発生危険度の評価を行った。本堂東側に位置するリニアメントを境に谷の開析状況が大きく異なることが明確になった (図-3)。これはリニアメント東側が砂岩、頁岩、チャートからなる丹波層群であるのに対し、西側は新生代第三紀末から第四紀更新世の大阪層群から構成されていることに起因していると考えられる。リニアメント東側では深部にまで地下水が浸透し、東側のシルト、砂礫から構成されるエリアまで流動し、その後、地表面へと湧出すると考えられる。リニアメント西側は湧水が多く、湧水による浸食崩壊が卓越していることが明瞭である。また、近年の崩壊がリニアメント周辺で発生していることは東側の非浸食域で深部浸透した地下水が豪雨時に稀に地質境界であるリニアメント周辺で湧出することで引き起こされている可能性が示された。以上の結果から、詳細な地形データと湧水の有無、湧水点の位置、法価値の現地調査を組み合わせることで潜在的な土砂災害の危険度を評価できることが明らかになった。



図-3 微地形図 (CS 立体図) を用いた地形判読と湧水調査の結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

1. 藤本将光・檀上徹・平岡伸隆・深川良一 (2017): 京都市清水寺境内斜面における水文観測, 砂防学会誌, Vol.70, pp. 43-47 (査読なし)
2. 縄手洋介・梶山敦司・藤本将光・里深好文 (2017): 清水寺周辺溪流における

- 土石流氾濫解析に基づくハード対策の提案, Kansai Geo-symposium 2017 論文集, pp.254-259 (査読有)
3. 藤本将光・正岡直也・小杉賢一朗・馬場直輝・糸数哲・上田竜也・酒井康裕・下垣内裕哉・勝山正則・深川良一・谷誠(2016): 花崗岩山地小流域における基底流出の空間分布特性に及ぼす岩盤地下水の影響, 地形, Vol. 37, pp.493-510 (査読有)
 4. 藤本将光・戸田堅一郎・有光悠紀・里深好文・深川良一(2016): 京都市東山地域における斜面崩壊の潜在的危険度評価, 歴史都市防災論文集, Vol.10 pp.55-58 (査読有)
 5. Fujimoto, M., Arimitsu, Y., Hiraoka, N., Danjo, T., Kimura, T., Ishida, Y., and Fukagawa, R. (2015): Characteristics of groundwater movement at a hillslope above Kiyomizu-dera Temple, Japanese Geotechnical Society Special Publication, 2-77, pp.2643-2647, DOI:10.3208/jgssp.TC301-01 (査読有)
 6. 有光悠紀・藤本将光・檀上徹・平岡伸隆・石田優子・深川良一(2015): 清水寺後背斜面における現地モニタリングの有用性の検討—大規模降雨時の間隙水圧値と土壌雨量指数の比較—, Kansai Geo-symposium 2015 論文集, pp.181-186 (査読有)

[学会発表] (計 18 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 (2017): 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
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 (2017): 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 —地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム—
3. 飯田哲也・藤本将光・小杉賢一朗・平島永嗣・平岡伸隆・深川良一 (2016): 大規模降雨時における斜面崩壊発生機構に関する実験的検討, 平成 28 年度砂防学会研究発表会
4. 有光悠紀・藤本将光・檀上徹・平岡伸隆・石田優子・深川良一 (2016): 重要文化財後背斜面における間隙水圧値を用いた斜面崩壊危険度予測の検討, 平成 28 年度砂防学会研究発表会
5. Iida, T., Fujimoto, M., Kumakura, N., Takasaki, D., Hiraoka, N. and Fukagawa, R. (2015): A method for judging the risk of slope failure based on precipitation and soil moisture

characteristics, GEOMATE2015

6. Arimitsu, Y., Fujimoto, M., Hiraoka, N., Danjo, T., Ishida, Y. and Fukagawa, R. (2015) Characteristics of subsurface water movements in soil layers on the hillslope behind Kiyomizu temple, GEOMATE2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 将光 (FUJIMOTO, Masamitsu)

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号: 60511508