

清水寺後背斜面における土層内の 間隙水圧値の変動特性の把握

Characteristics of pore water pressures in soil layer on the hillslope behind Kiyomizu temple

有光悠紀¹・藤本将光²・平岡伸隆³・檀上徹⁴・石田優子⁵・深川良一⁶

Yuuki Arimitsu, Masamitsu Fujimoto, Nobutaka Hiraoka, Toru Danjo, Yuko Ishida and Ryoichi Fukagawa

¹立命館大学大学院博士前期課程 理工学研究科環境都市専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate student, Ritsumeikan Univ, Master's Course of Science and Engineering

²立命館大学助教 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, Ritsumeikan Univ, Dept. of Civil Engineering

³立命館大学専門研究員 総合科学技術研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Senior Researcher, Ritsumeikan Univ, Research Organization of Science and Technology

⁴国立研究開発法人防災科学技術研究所 特別研究員 (〒305-0006 つくば市天王台3-1)

Fellow, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.

⁵立命館大学専門研究員 衣笠総合研究機構 歴史都市防災研究所 (〒603-8341 京都市北区小松原北町58)

Senior Researcher, Ritsumeikan Univ, Kinugasa Research Organization, Institute of Disaster Mitigation for Urban Cultural Heritage.

⁶立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan Univ, Dept. of Civil Engineering

To prevent damage to important cultural assets by natural disasters, we evaluated the characteristics of groundwater movement, which is a significant factor in potential slope failure. The pore water pressures in the soil layer were monitored on a slope behind the historic Kiyomizu-dera Temple. Our results indicated that the pore water pressure responded quickly, reaching a positive peak value until the accumulated amount of rainfall fell below 20 mm. Although the responses of pore water pressure to rainfall were similar among observation points, there were differences in decreasing pore water pressure following the peak value. These characteristics were related to the highly porous soil structure at this site.

Keywords : *ground water movement, pore water pressure, slope failure*

1. はじめに

近年、大雨や台風襲来の頻度の増加に伴い、斜面崩壊が多発している。京都市東山区に位置し、重要文化財に指定される清水寺境内の斜面においても1972、1999、2013年に斜面崩壊が発生した。そこで、降雨時の斜面崩壊の発生危険度を事前に把握し、貴重な重要文化財、住民や観光客に対する被害を軽減することが必要となる。

降雨時に斜面崩壊が発生する要因として、自重増加によるせん断応力の増大、せん断強度の減少が挙げられる。そのため斜面崩壊を予測する上で、降雨時の土中の含水量、地下水変動の把握が重要となる。これまで清水寺後背斜面では現地斜面モニタリングシステムを設置し、地盤内における間隙水圧の計測を長期的に行ってきた¹⁾。また、仲矢らにより1m深地温調査による水みちの推定が行われた²⁾。さらに藤本らは比較的

簡易に調査を行うことが可能であり、広範囲の詳細な地下水流動を把握することが可能である、地中音測定法を用いた地下水流動の把握を行った³⁾。檀上らは2013年9月に発生した台風18号の降雨に伴う地盤内の水分変動を明らかにし、過去の斜面崩壊時の降雨量、地盤水分量と比較を行った⁴⁾。しかし、これまで調査対象斜面において、間隙水圧値の長期変動については検討されたが、短期間の変動に着目し、地盤内が飽和に至るまでの雨量の検討はされていない。そこで本報告では、清水寺後背斜面において降雨時の短期間の間隙水圧変動特性を把握することを目的とする。

2. 調査方法

本報告では、調査対象斜面において雨量と地盤内の間隙水圧の計測を行った。雨量の計測には転倒ます式雨量計（DAVIS社：Vantage Pro2）を利用した。間隙水圧の計測には先端にポーラスカップのついたテンシオメータを用い、圧力センサー（日本電産コパル電子株式会社：PA-850-102V-NGF）により取得した間隙水圧値を10分間隔でデータロガー（CAMBELL社：CR1000）に記録した。テンシオメータは調査対象斜面上に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推定した土層深さを基準とし、鉛直方向に2から6つの深度において51基設置した。計測地点を図1、テンシオメータの計測深度を表1に示す。

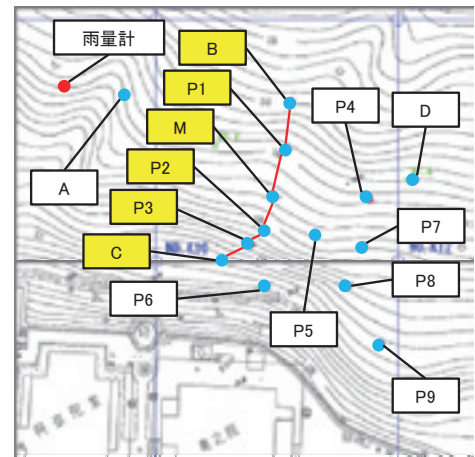


図1 計測地点

表1 テンシオメータの計測深度

地点名	計測深度(cm)	地点名	計測深度(cm)
A	40.80.100	P3	30.80
B	40.80.100.200.260	P4	30.60.100
C	40.80.100.230	P5	30.60.100.200
D	40.80.100	P6	30.60.100.200.280
M	20.40.60.80.100.190	P7	30.60.100
P1	30.65	P8	30.60.100.200
P2	30.60.100.200	P9	30.60.110

3. 結果と考察

(1) 間隙水圧値の時系列変化

本報告では14地点内のB、P1、M、P2、P3、Cの6地点を分析対象地点とした（図1中の黄色マーカー）。

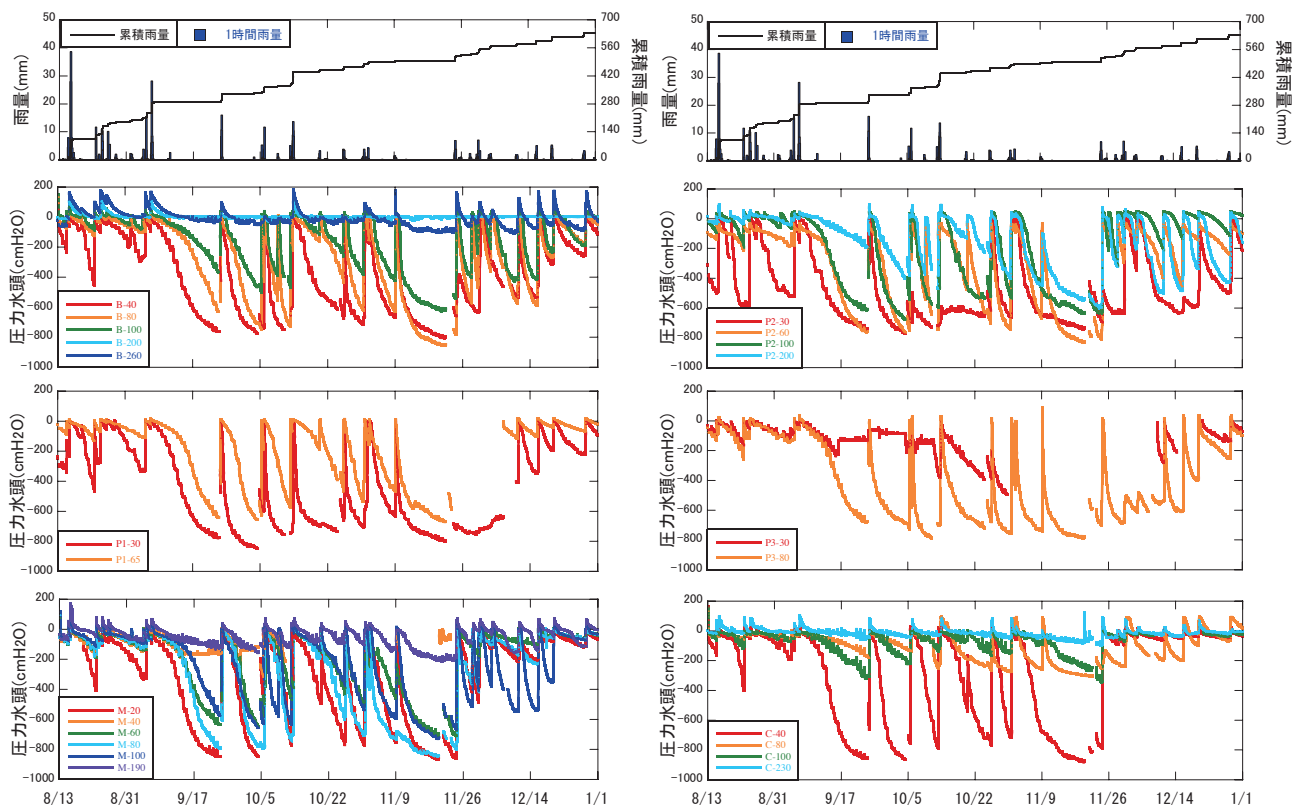


図2 間隙水圧値の時系列変化

2014年8月13日から2015年1月1日までの計測結果を分析対象期間とした。図2に間隙水圧値の時系列変化を示す。基盤境界面付近の深度のうち、B-260cm、M-190cm、C-230cmは各地点の深度の浅い点に比べ、降雨後の間隙水圧値が高い値を示し、減衰が小さいことから地盤内の湿潤状態が長時間継続される傾向がある。P1-65cm、P2-200cm、P3-80cmは上記の3地点に比べ、降雨後の間隙水圧は低い値を計測し、すばやく乾燥状態へ移行する傾向が認められた。また、深度の浅い点では、降雨終了後の間隙水圧は低い値を示し、減衰が大きいためからすばやく乾燥状態に至る地点が多く見られた。

(2) 降雨時の間隙水圧値の変動特性

降雨の特徴の違いによる間隙水圧変動の特性を把握するため、降雨イベントを分割した。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。本報告ではイベント総雨量が10 mm以上の17イベントを分析した。図3に分析対象の降雨イベントにおけるイベント総雨量と最大1時間雨量の関係を示す。

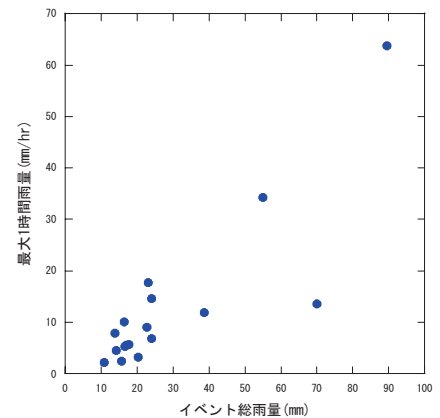


図3 各降雨イベントの総雨量と最大1時間雨量

本報告では、深度100cmと基盤境界面の深度を分析対象深度とした。降雨開始から間隙水圧値が正圧に到達するまでの累積雨量と、その降雨イベント開始時の間隙水圧値の関係を図4に示す。本報告では、間隙水圧値が0cmH₂Oを超えると計測点が飽和とする。図4 (a) にB、M、P2、Cの4地点の深度100cm、図4 (b) にB、M、P2、Cの4地点の基盤境界面の深度における結果を示す。P1-65cm、P3-80cmの2地点の基盤境界面の深度では今回計測された雨量では飽和まで到達しないイベントが見られたため、降雨開始時の間隙水圧値と間隙水圧値が最大値を計測するまでの雨量の関係をを用いて考察した (図5)。

深度100cmでは、降雨開始時の間隙水圧が-600cmH₂O付近の低い値を示し、地盤内が極めて乾燥状態にある場合も、累積雨量20mmで飽和に至った。B、M、P2、C地点の基盤境界面の深度においても同様に、地盤の乾燥状態にかかわらず20mmで飽和に到達した。P1-65cm、P3-80cmでは今回計測された雨量では飽和まで到達しないイベントがみられたが、多くのイベントにおいて累積雨量20mmで飽和に到達することが確認された。以上のことから、分析対象地点における100cm、基盤境界面の深度では、降雨開始時の乾湿状態に影響を受けず、20 mm程度の少量の累積雨量で飽和に到達することが示された。

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について検討した。図6 (a) , 図6 (b) に各降雨イベントにおけるB、M、P2、C地点の飽和後から間隙水圧値の最大値までの累積雨量と間隙水圧最大値の関係を示す。前述のとおり、P1-65cm、P3-80cmでは飽和まで到達しないイベントが見られたため、P1-65cm、P3-80cmにおいて降雨開始後間隙水圧値が最大値を計測するまでの累積雨量の関係を検討した (図7)。P2-100cm、C-100cm、M-190cm、 P1-65cm、P3-80cmでは雨量に関わらず間隙水値の最大値は、ほぼ一定であった。M-100cm、P2-200cm、C-230cm、B-260cmでは飽和後

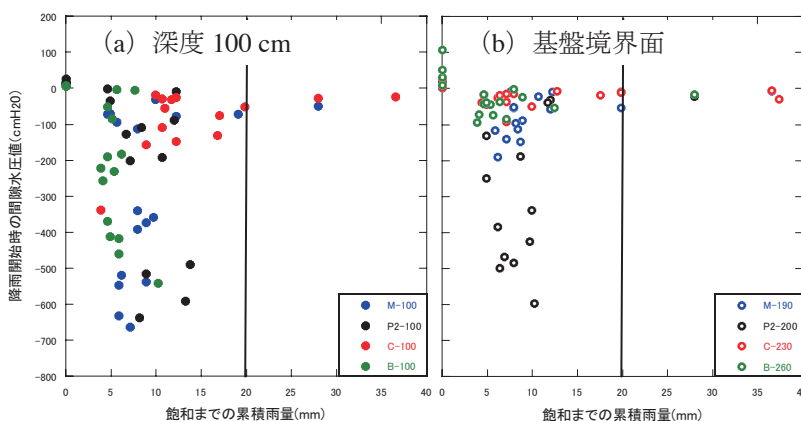


図4 降雨開始時の間隙水圧値と飽和までの累積雨量 (B、M、P2、C地点の100 cmおよび基盤境界面)

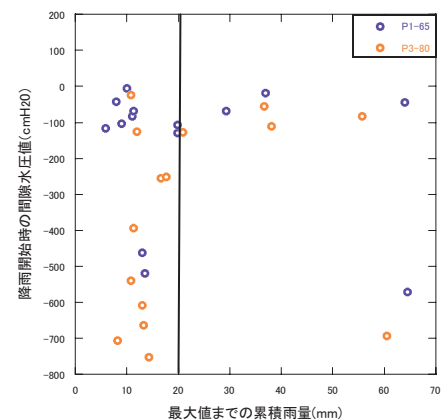
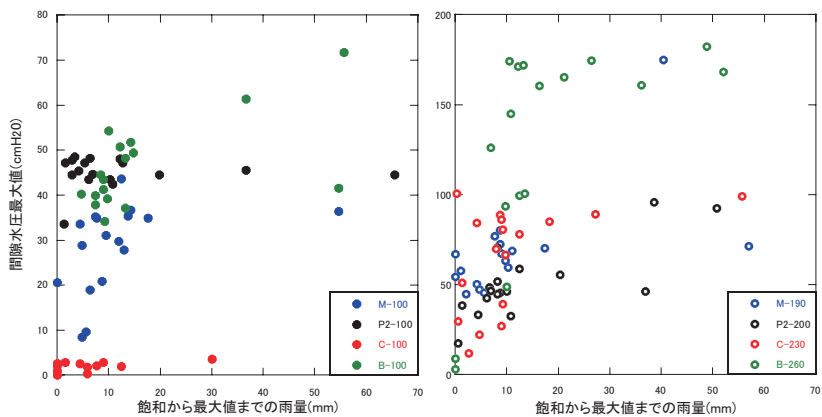


図5 降雨開始時の間隙水圧値と間隙水圧値の最大値までの累積雨量 (P1、P3地点の基盤境界面)



(a) 深度 100 cm (b) 基盤境界面
 図 6 間隙水圧値の最大値と飽和後から間隙水圧値の最大値までの累積雨量 (B、M、P2、C 地点の 100 cm および基盤境界面)

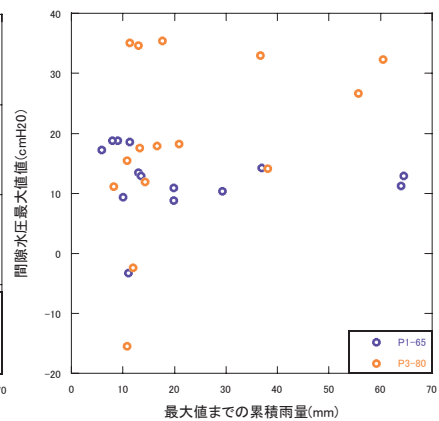


図 7 間隙水圧値の最大値と間隙水圧値の最大値までの累積雨量 (P1、P3 地点の基盤境界面)

の累積雨量の増加に伴い間隙水圧最大値も増加し、その後一定の値が計測された。B-100cmでは間隙水圧最大値は累積雨量に伴い増加する傾向が認められた。全計測地点で雨量にかかわらず、間隙水圧値が一定の値を超えない傾向が認められた。

(3) 土層内の水移動の特徴

本報告の計測結果は、降雨開始時の地盤内の水分量に関わらず、累積雨量20mmの小規模な雨量で飽和帯を形成することが明らかとなった。また、間隙水圧の最大値は一定の値を計測する地点が多いことを示した。傾斜地において、透水性の低い層の上に透水性の高い層がある場合、地下水位の上昇により、まず透水性の低い層内が飽和する。その後、透水性の高い層内に浸透した地下水は、境界面に沿い傾斜方向へ流れるため、間隙水圧は一定の値を計測する現象が生じたものと考えられる。全計測点で同様な傾向が認められたことは降雨時には同様な水移動現象が場所によらず発生していることが示唆される。

4. おわりに

本報告ではテンシオメータを用いて清水寺後背斜面の間隙水圧値の変動特性の把握を行った。その結果、降雨開始時の地盤内の乾燥状態に関わらず、累積雨量20mmでほぼ飽和に到達することが明らかとなった。また、透水性の異なる土層の存在により、飽和後の間隙水圧値は各地点において一定の値を計測することが示唆された。これらの現象が斜面崩壊発生に与える影響について検討し、今後の重要文化財の保護に努める必要がある。

参考文献

- 1) 酒匂一成・深川良一・岩崎賢一・里見知昭・安川郁夫：降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺の斜面における現地モニタリング，地盤工学ジャーナル，Vol.1，No.3，pp.57-69，2006.
- 2) 仲矢順子・酒匂一成・光谷俊祐・深川良一：急勾配斜面表層における水文環境—清水寺後背斜面における地下水流路調査—，歴史都市防災論文集，Vol.4，pp.83-90，2010.
- 3) 藤本将光・檀上徹・土山拓也・木村亘・深川良一：清水寺後背斜面における地中音測定を用いた地下水流動の把握，歴史都市防災論文集，Vol.8，pp.145-150，2014.
- 4) 檀上徹・藤本将光・木村亘・平岡伸隆・深川良一：2013台風18号の豪雨に伴う清水寺境内の被害と重要文化財後背斜面の地盤内水分変動に関する考察，歴史都市防災論文集，Vol.8，pp.115-122，2014.