

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

立命館大学大学院理工学研究科 ○有光 悠紀 独立行政法人労働安全衛生総合研究所 平岡 伸隆  
 立命館大学理工学部 藤本 将光 立命館大学衣笠総合研究機構 石田 優子  
 国立研究開発法人防災科学技術研究所 檀上 徹 立命館大学理工学部 深川 良一

1. 背景と目的

近年、局所的大雨や台風襲来に伴う雨量の増加により、日本各地で斜面崩壊が多発している。京都市東山区に位置す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ている。清水寺は 1994 年に「古都京都の文化財」の一つとしてユネスコ世界遺産に登録されており、年間を通じて多くの観光客や参拝客が訪れている。そのため、代替性のない重要文化財の保護、人的被害の軽減が重要視されており、降雨時の斜面崩壊発生の危険度を事前に把握することが求められている。清水寺後背斜面では地盤内の水分変動に関して現地モニタリングが行われてきた。現在、雨量を用いた斜面崩壊発生の危険度評価は行われているが、間隙水圧値を考慮した危険度判定の実務運用までは検討されていない。そこで、本論文では 2015 年に発生した台風 11 号による大規模降雨イベント時の間隙水圧値の計測結果を分析し、従来の土砂災害警戒基準に用いられる土壌雨量指数と間隙水圧値の変動を比較することで、間隙水圧値を用いた斜面崩壊危険度予測の有用性について検討する。

2. 研究方法

本論文では、清水寺境内の奥之院後背斜面を調査対象斜面とし、雨量と間隙水圧値の計測を行った。雨量の計測には転倒ます式雨量計 (DAVIS 社: Vantage Pro2) を使用した。間隙水圧値の計測には 51 基のテンシオメータを用い、テンシオメータの圧力センサー (日本電産コパル電子株式会社: PA-850-102V-NGF) 部分で測定した間隙水圧値を 10 分間隔でデータロガー (CAMPBELL 社: CR1000) に記録した。間隙水圧値は、降雨前の地盤内が乾燥した状態では負圧を示す。降雨により地盤内が飽和状態になると 0 cmH<sub>2</sub>O 以上の値を計測し、計測値は地下水位に相当すると考えられる。テンシオメータは調査対象斜面内に 14 観測場を設けた。また、簡易動的コーン貫入試験の結果から推定した各地点の土層深さを基準とし、計測深度を決定した。図-1 に計測機器設置位置、表-1 にテンシオメータの計測深度を示す。本論文では 14 地点の内、データの欠損期間が少なく安定した計測が認められた B、M、P2、C の 4 地点 (図-1 中の黄色マーカー) を分析対象地点とした。また、浸透能が異なり土壌水が集まりやすいと考えられる、計測深度が最も深い基盤境界面を分析対象深度とした。

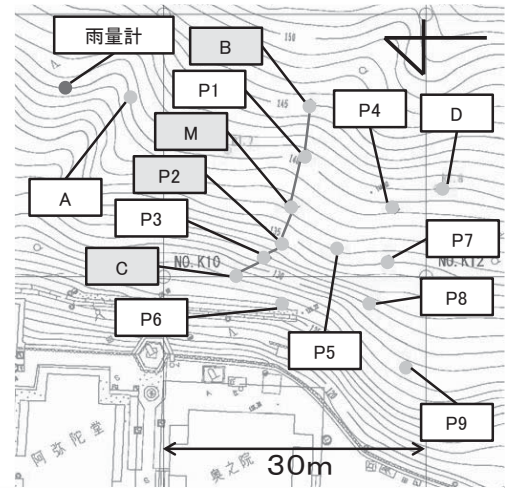


図-1 計測地点

3. 結果と考察

調査対象地における大雨注意報・警報発令基準は、注意報が土壌雨量指数 90 以上、警報が 112 以上に設定されている。2014 年 8 月 13 日から 2015 年 12 月 2 日までの期間において、調査対象斜面で計測された実降雨を用い、土壌雨量指数を算出した。分析対象期間内に、土壌雨量指数が注意報発令基準の 90 を上回った降雨イベントは、2015 年 7 月に発生した台風 11 号のイベントのみであった。台風 11 号は日本各地で大規模な降雨をもたらし、調査対象地において 7 月 16 日の午前 2 時 10 分から 7 月 18 日の午前 9 時 10 分の間に、総降水量 234.6mm、最大 1 時間雨量 16.8mm が観測された。台風 11 号発生時における間隙水圧値の上昇に要する時間と土壌雨量指数が警戒基準に到達するまでのタイムラグについて着

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

目し、間隙水圧値を用いた斜面崩壊危険度予測の有用性について検討する。

図-2 に台風 11 号発生時における降雨開始からの経過時間と土壌雨量指数、間隙水圧値の変動を示す。斜面崩壊の発生要因として地下水帯の形成が考えられることから、間隙水圧値が上昇し、0 cmH<sub>2</sub>O を超え、飽和に至った時点をも水分条件の警戒基準とした。土壌雨量指数が 90, 112 以上の値を示したのは、降雨開始からそれぞれ 2450 分、2620 分経過後であった。B-260 cm、C-230 cm の間隙水圧値は、土壌雨量指数が警戒基準に到達するよりそれぞれ 30 分、360 分早く急激に上昇し飽和に至った後、上昇幅は小さくほぼ横ばいの変動となることが確認された。M-190 cm における間隙水圧値は、注意報発令基準より 430 分早く上昇し飽和に至り、土壌雨量指数が警報発令基準に到達後も上昇が確認された。同様に P2-200 cm における間隙水圧値は、注意報が発令された時刻より 420 分早くゆるやかに上昇し飽和に至り、その後も雨量に伴い上昇を示した。以上の結果から、本観測地は間隙水圧値の応答が早いため、雨量に基づく警戒基準より早く崩壊の危険性が高くなることが示された。しかし、本イベントでは斜面崩壊は発生していないため、間隙水圧の変動特性を斜面崩壊発生危険度評価における指標に用いることには課題が残ると考えられた。一方、M-190 cm、P2-200 cm は、土壌雨量指数が警戒基準を上回った後も、間隙水圧値の上昇する傾向を示した。観測イベント以上の累積雨量の場合、更なる地下水位の上昇が発生する可能性があり、崩壊発生危険度評価に利用できる可能性があると考えられた。

#### 4. おわりに

本論文では、重要文化財後輩斜面において、台風 11 号発生に伴う間隙水圧値と土壌雨量指数の変動について比較することで、間隙水圧値を用いた斜面崩壊発生危険度予測について検討した。分析対象地点では、(I) 土壌雨量指数が警戒基準に到達するタイミングより早い段階で、間隙水圧値の急激な上昇が計測され、その後の上昇幅が小さい、(II) 土壌雨量指数が警戒基準を上回った後も、間隙水圧値が上昇する、二つの変動過程が確認された。(II) は雨量の増加に伴い間隙水圧値も上昇するため、今後さらに大規模な降雨が発生した際にも間隙水圧値は上昇することが予想される。そのため、現地モニタリングにより観測例のない値が計測された際に、警報を発令するなど崩壊発生危険度評価に利用できると考えられた。

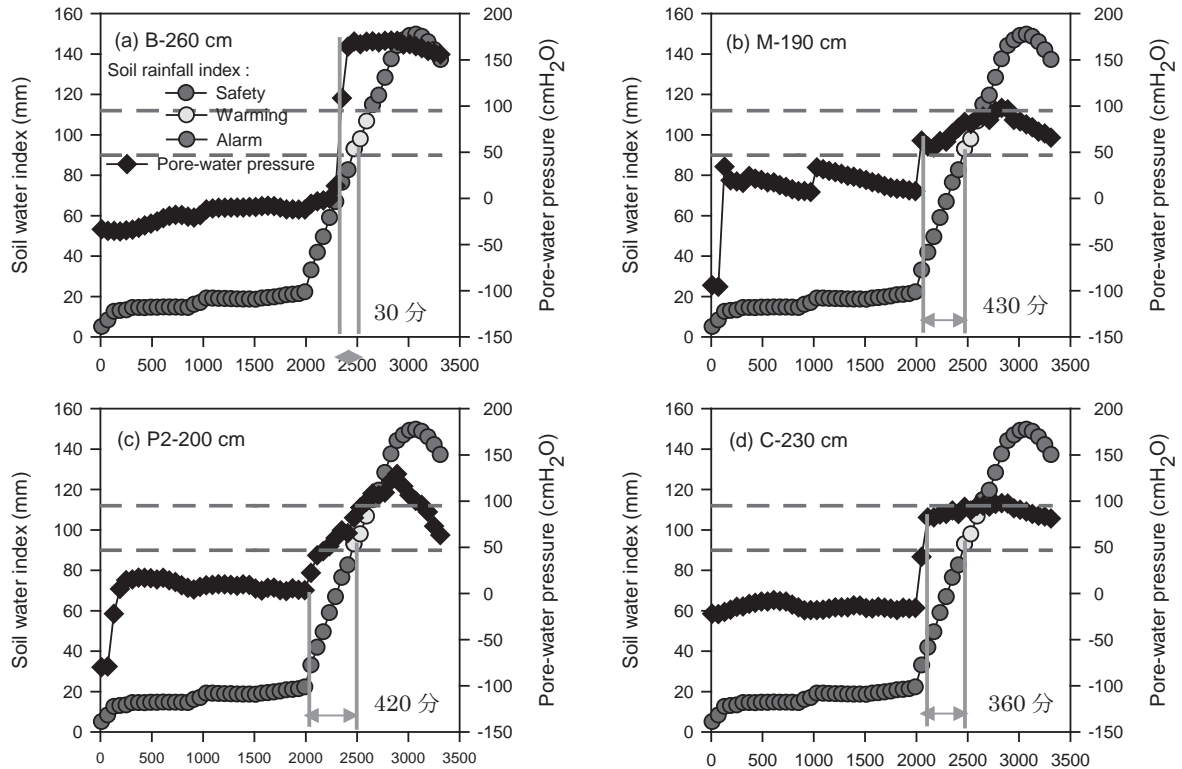


図-2 台風 11 号に伴う降雨開始からの経過時間と土壌雨量指数、間隙水圧値の変動（青色破線：注意報発令基準、赤色破線：警報発令基準）