

実効雨量を用いた清水寺境内における地下水位の変動特性に関する検討

立命館大学理工学研究科 ○青木陽音 鹿島翔太 疋田桜士郎
立命館大学理工学部 藤本将光 永田葉子 里深好文 深川良一
日特建設 宇次原雅之 藤田哲

1.はじめに

近年、集中豪雨が多発しており、文化財の土砂災害の発生リスクが高まっている。我が国を代表する歴史的文化遺産である京都市東山区に位置する清水寺においてもこの過去約 100 年間で、6 回の斜面崩壊が確認されている。2013 年、2021 年の豪雨時に発生した斜面崩壊では、崩壊斜面からの湧水の発生が確認されており、地下水の挙動が斜面崩壊の発生に深く関与している可能性が示唆される。そのため、斜面崩壊の前兆現象になりえる湧水発生時の地下水位の動態を把握することで災害対策につながるものと考えられる。

本研究では、地下水位などの観測データを用いて、斜面不安定化に寄与していると考えられる湧水発生時の地下水位変動特性を把握することを目的とする。

2.研究方法

2.1 研究対象

本研究において、雨量、地下水位、湧水を観測した(図 1)。地下水位の観測地点は 7 地点(地点 B、M、P2、C、E、F1、F2)である。また、設置深度が 3m 未満を浅い、3m 以上を深いと定義し、浅い地点を斜面系地点(B、M、P2、C)、深い地点を断層系地点(E、F1、F2)と呼ぶことにする。湧水の観測地点は、5 地点(地点 1、2-0、2-1、2-2、2-3)を設定した。

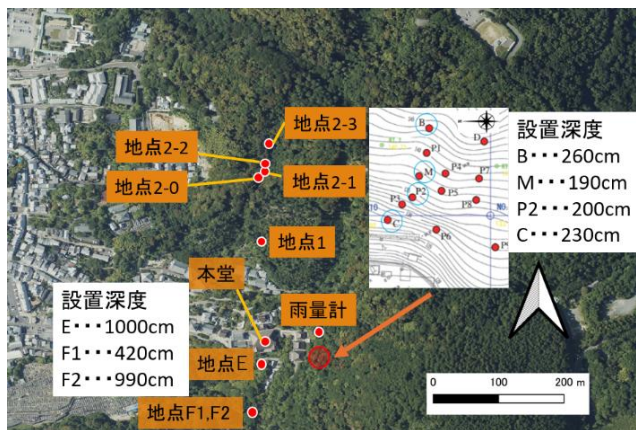


図 1 観測地点(地理院地図¹⁾と参考文献²⁾を加工

2.2 観測期間の降雨イベント

観測期間は、2025 年 6 月 17 日から 2025 年 11 月 10 日である。湧水発生の判定については、10 分間隔で撮影された画像を用い、目視で湧水の発生を判断した。湧水発生の解析対象とした観測地点は、観測期間中に湧水の発生が確認できた地点 2-1 のみとした。本研究では、無降雨期間が連続して 12 時間以上継続しているものを 1 つの降雨イベントと定義した。対

象とする降雨イベントを累積雨量 20mm 以上のものに限定した。これは、観測結果から、湧水発生までに必要であった累積雨量の最小値が 19.4mm であったためである。

また、湧水の発生は確認されなかったものの、設定した累積雨量の基準値を上回る降雨イベントについても、湧水発生に寄与する可能性があったと判断し、対象に含めた。降雨イベントの概要を表 1 に示す。

表 1 分析降雨イベント

降雨イベント	降雨期間	累積雨量(mm)	最大	湧水発生 非発生
			1時間雨量(mm)	
1	2025 6.23~6.25	53.8	11.2	発生
2	2025 7.16~7.17	107.8	20.8	発生
3	2025 8.10~8.12	75.8	12.2	発生
4	2025 9.4~9.5	62.6	11.4	発生
5	2025 9.11	22.0	6.0	発生
6	2025 10.3~10.4	41.5	6.0	発生
7	2025 10.14~10.15	38.0	25.4	発生
8	2025 10.25~10.26	30.2	8.0	非発生
9	2025 10.31~11.1	42.4	8.6	発生
10	2025 11.9	29.2	6.0	非発生

2.3 解析方法

解析にあたっては、半減期を 1.5、6、8、10、12、16、24、36、48、60、72、96、120 時間の 13 種類を設定した実効雨量を算定し、各半減期について地下水位の変動との相関関係を評価する。その際、対象とした期間全体におけるデータを用いて相関分析を行うことで、地下水位の平均的な応答を把握することを目的とした。本研究では、半減期が 24 時間未満を短期型、24~72 時間を中期型、72 時間以上を長期型として区分し、地下水位の応答の違いを評価した。

本研究で用いる実効雨量 R_e を次式で算定した。

$$R_e = \sum_{i=0}^n R(i) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{i}{T}} \dots \dots \dots (1)$$

$R(i)$ は i 時間前の観測雨量(mm)、 T は半減期(h)である。

3.結果と考察

3.1 地下水位と各半減期による実効雨量の相関結果

降雨イベント 1 において C 地点では降雨に対する地下水位の上昇が確認されず、B 地点では地下水位が減少傾向を示すなど、地点ごとに不規則な挙動が見られた。このような挙動は他の降雨イベントでは確認されておらず、降雨イベント 1 を含めて相関係数を算出した場合、当該イベントの影響によって相関係数が低下する結果となった。そこで、降雨イベン

ト1を解析対象から除外し、残る9イベントを対象とした。

本研究では、相関係数が最大となったときの半減期を、当該地点における地下水位の変動を最もよく説明する半減期とみなし、最適半減期として決定した(表2)。結果からM地点、P2地点、C地点は短期型、B地点、F1地点は中期型、F2地点、E地点は長期型の半減期グループに分類した。

代表的な地点(B、F2地点)の決定された最適半減期を用いた実効雨量と地下水位の相関関係を図2と図3に示す。

相関が非常に高い地点(B、C地点)は、最適半減期を用いた実効雨量で地下水位の応答を説明できる。一方で相関が低い地点(M、P2地点)については、地下水帯が複数あるなど、地下水の流動構造の不均一性などが地下水位に影響を与えていることが考えられる。

B地点は設置深度が浅いにもかかわらず、他の浅い地点と比較して最適半減期は36時間と中期型に分類された。これは、設置深度の浅さが必ずしも地下水位の応答が速いことを意味しないことを示している。B地点では、降雨の影響はすぐに地下水位の変動として現れるのではなく、地盤内に蓄えられた後に反映され、他の浅い地点よりも降雨の影響が持続すると考えられる。

表2 地点別の最適半減期

地点名	設置深度(cm)	最適半減期	相関係数	タイプ
M	190	6時間	0.418	短期型
P2	200	1.5時間	0.359	短期型
C	230	16時間	0.896	短期型
B	260	36時間	0.893	中期型
F1	420	24時間	0.641	中期型
F2	990	120時間	0.811	長期型
E	1000	120時間	0.792	長期型

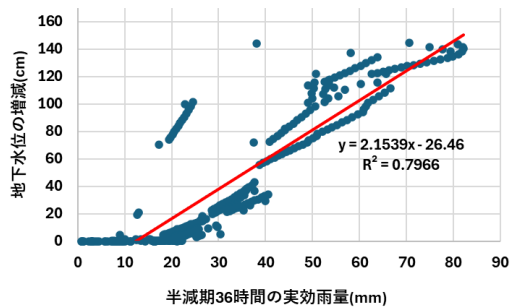


図2 B地点の実効雨量と地下水位の相関関係

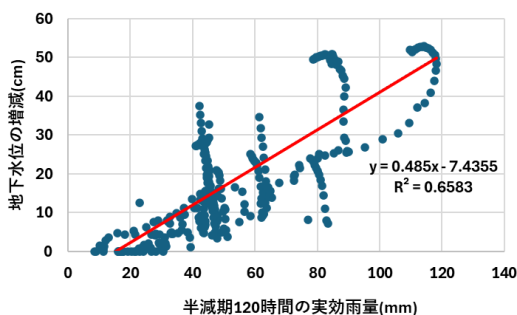


図3 F2地点の実効雨量と地下水位の相関関係

3.2 降雨イベント時の地下水位の応答

B地点では、湧水が発生しなかった降雨イベント(イベント8、10)では、最大地下水位が約20cm以下(図4)と、湧水が発生したイベントと比べて小さい。また、M、F1地点では、湧水が発生していないイベントでも湧水発生時と同様に地下水位が応答していることが確認できる。C地点では、湧水が発生しているにもかかわらず、地下水位の応答が見られない降雨イベント5が存在した。このことから、B地点の地下水応答と地点2-1の湧水発生が同様のメカニズムである可能性が示唆される。

降雨イベント5は例外であるが、B地点の実効雨量が約30mm程度では、地下水位の応答が小さいため、この値を下回る降雨イベントでは、地下水位の応答が小さく、湧水の発生が期待できないと考えられる。

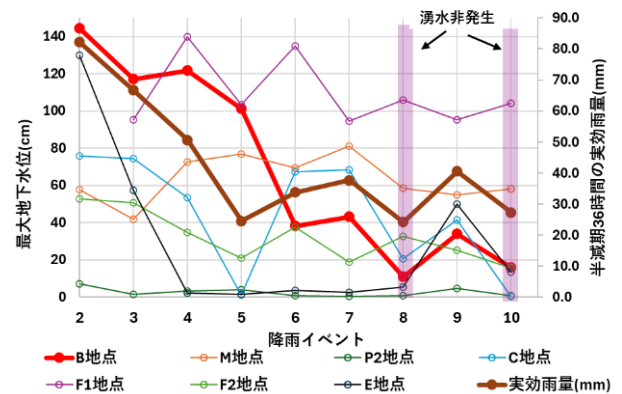


図4 降雨イベント時の最大地下水位とB地点の最適半減期を用いた実効雨量の関係性

4. おわりに

本研究では、清水寺境内における地下水位の変動特性および斜面不安定化の指標となる可能性のある湧水発生と地下水位の関連を把握するために、実効雨量を用いた検討を行った。その結果、清水寺境内の斜面は、直前の降雨に反応する地下位帯と数日間の降雨の貯留により影響を受ける地下水帯が近接している可能性が示唆された。今後、さらに清水寺周辺斜面の不安定化に寄与する降雨形態および、斜面不安定化と地下水位応答、湧水の発生の関係性を検討し、斜面監視の指標化につなげていく必要がある。

参考文献

- 1) 国土地理院, 地理院地図 <https://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/airphoto/{z}/{x}/{y}.png> (参照日 2026年3月31日)
- 2) 藤本将光・檀上 徹・平岡伸隆・深川良一: 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, 2017