

清水寺における地下水位、湧水の発生状況の実態把握、挙動に関する研究

立命館大学理工学研究科 ○鹿島翔太 高尾宗志
立命館大学理工学部 藤本将光 相倉邑哉 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、日本では集中豪雨が多発している。清水寺においてもこの約50年間で、1972年、1999年、2013年、2021年の4件の土砂災害が発生しており、今後も発生する可能性がある。その為、土砂災害発生要因となる雨量、地下水位、斜面からの湧水の実態を把握することで災害対策につながると考えた。

そこで本研究では、雨量と土砂災害の関係を清水寺の雨量・地下水位と湧水発生場所の画像データを基に、湧水の発生条件、地下水位の変動特性、土砂災害の危険性が高い降雨条件を明らかに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、釈迦堂裏において雨量、奥之院後背斜面(図1-2)と子安塔付近(図1-1)で地下水位の計測を行う。また、設置深度が3m未満を浅い、3m以上を深いと定義し(図1-3)、浅く奥之院後背斜面に位置する地点を斜面系地点(B、M、P2、C)、深くリニアメント付近に位置する地点を断層系地点(E、F1、F2)と呼ぶことにする。

*F2はデータ破損のため対象外

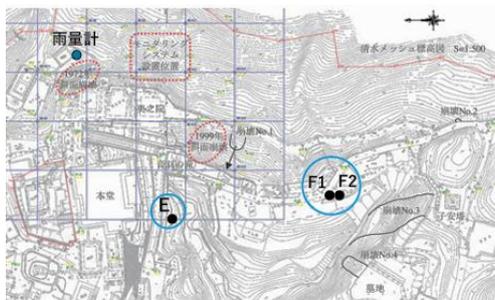


図1-1 断層系の計測地点

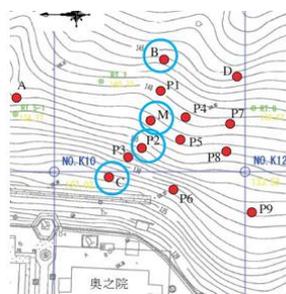


図1-2 斜面系の計測地点

地点名	設置深度(cm)
B	260
M	190
P2	200
C	230
E	1000
F1	420
F2	990

図1-3 水位計設置深度

2.2 調査期間の降雨イベント

調査を行った期間は、2023年07月19日から2024年12月17日である。本研究では、無降雨が6時間続いた場合に別の降雨イベントとして扱った。イベントは25個あり、その中で、積算雨量が30mmを超える7イベントについてのみ分析を行った。これは、土砂災害が発生するにはある程度まとまった雨量が必要であることを考慮したためである。

また、分析対象とした降雨イベントの積算雨量、最大1時間雨量、最大10分間雨量の上位10%をそれぞれ積算雨量が多いおよび降雨強度が大きいと定義した降雨イベントを分析したものが以下の表1である。

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1時間雨量(mm)	最大10分間雨量(mm)	降雨時間(h)
2	2023.8.14-16	196.6	44.5	14.2	33.5
3	2023.8.24	48.3	48.0	27.7	2.0
5	2023.9.30-10.1	106.7	48.5	16.5	20.6
12	2024.5.27-29	238.8	51.6	11.2	38.5
21	2024.8.25-27	55.8	51.6	19.6	29.3
22	2024.8.27-28	49.2	45.4	20.6	1.3
25	2024.11.1-3	120.8	34.8	6.4	26.7

2.3 分析方法

各種の雨量指標【最大1時間雨量、最大10分間雨量、積算雨量(mm)、降雨継続時間(h)】と地下水位の関係について分析する。表1の降雨イベント2、3の期間の雨において湧水の発生が生じていると考えられたため、これについても地下水位との関係を比較し分析を行う。本研究で用いたカメラは、昼間はカラーでの写真であるが、暗い時間になると「暗視モード」という白黒に近い写真になる。このカメラで撮影した画像で湧水の発生がどの程度認識できるのかを検討するために、湧水の発生に関して以下の3段階(○:明確に観察できる、△:判断がつかない、×:発生なし)に区分して考える。

3.結果と考察

3.1 斜面系地点における地下水位の分析結果

B地点(図3-1)は累積雨量が多いほど、M地点とP2(図3-2)地点は降雨強度が大きいほど地下水位が上昇した。ただ、B地点は累積雨量の増加に伴い地下水位の最大値も高くなるが、その後一定の値が計測されることが分かった。これは先行研究¹⁾と同様である。土砂災害の危険性が高い降雨条件は3つあった。条件①は累積雨量が40mm以上の降雨、条件②は1時間雨量が約50mm以上の降雨、条件③は10分間雨量が約20mm以上の降雨である。当てはまる個数が多いほど土砂災害発生の可能性が高いと考えられる。

表2 各タイプの事前降雨量

タイプ① タイプ② タイプ③

降雨期間	事前降雨量 (mm)		降雨期間	事前降雨量 (mm)		降雨期間	事前降雨量 (mm)	
	前1週間	前2週間		前1週間	前2週間		前1週間	前2週間
2024. 8. 4-5	0	35.8	2024. 6. 27-29	123.4	242.8	2024. 11. 1-3	63	64
2024. 8. 19-20	0	4	2024. 6. 30-7. 7	192.8	331.5			
2024. 8. 25-27	60.4	60.4	2024. 7. 14-16	84.4	108.8	平均	109.1	199.8
2024. 10. 3-4	1	18.2	2024. 8. 27-28	55.8	116.2			
2024. 10. 27-28	1	18.6	平均	109.1	199.8			
平均	12.48	27.4						

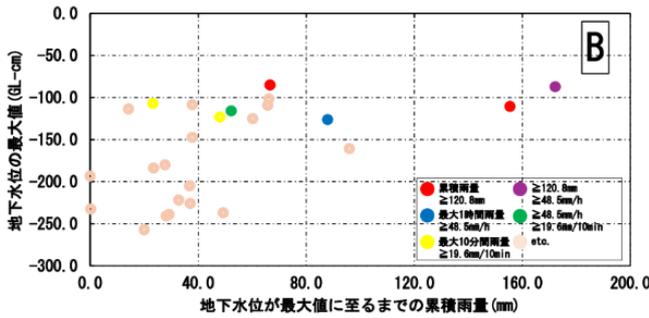


図3-1 B地点における地下水位が最大に至るまでの積算雨量 (mm)

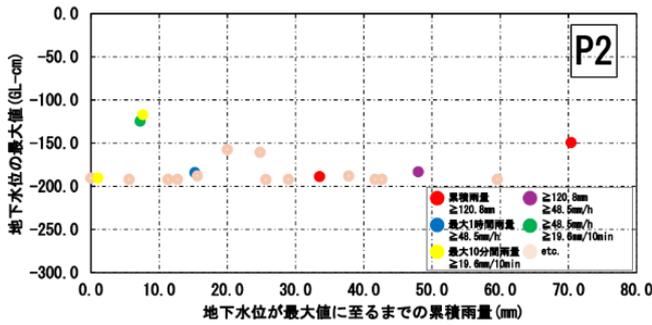


図3-2 P2地点における地下水位が最大に至るまでの積算雨量 (mm)

3.2 断層系地点における地下水位の分析結果

E地点とF1地点の2024年6月25日から11月18日までの地下水位の変動の様子を以下の図3-3に示す。

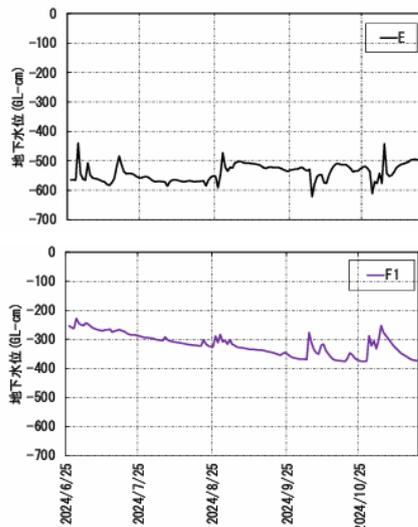


図3-3 地下水位の時系列変化

E地点とF1地点の変動傾向は3タイプあった。タイプ①はE地点の地下水位が低下した一方、F1地点の地下水位が上昇するケースである。タイプ②はE地点の地下水位のみが急激に上昇し、F1地点の地下水位は一定のケースである。タイプ③はタイプ①の後に②が現れるケースである。しかし、積算雨量や降雨強度によって変動特性が違ふといった特徴はなかった。そこで、各タイプの事前雨量について調査しまとめたものが表2である。危険性が高い降雨条件は直近2週間の総雨量が約100mm以上の時に発生する降雨であった。

3.3 湧水の分析結果

表1の降雨イベント2における、湧水発生時の地下水位と雨量の関係を以下の図3-4に示す。図3-3の結果から、湧水の生じる過程としては雨が降り始めてから約20分後から発生し、雨が降り終えてからある程度の時間が経過してから少しずつ地下水位が低下し、消失していくことが観測できた。

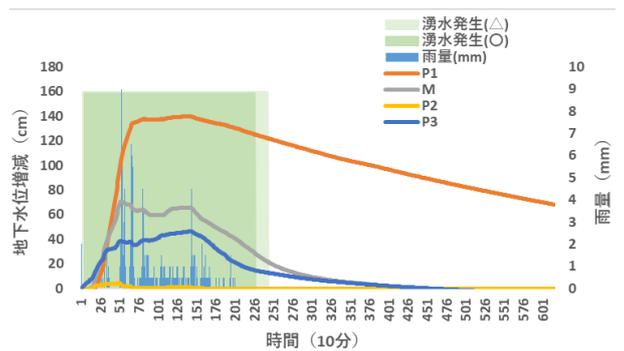


図3-4 降雨イベント2の湧水発生状況

4. おわりに

本研究では、清水寺敷地内における地下水位の変動特性と土砂災害の危険性が高い降雨条件を明らかにしてきた。斜面系地点については3つの条件があり、あてはまる個数が多いほど土砂災害発生の可能性が高いことが分かった。次に、断層系地点については、危険性が高い降雨条件は直近2週間の総雨量が約100mm以上の時に発生する降雨であった。

斜面系地点の地下水位が最大値を示した後、1時間以上遅れて断層系地点の地下水位も最大値を示していた。また、降雨イベントの中で最も降雨強度が大きい時間帯以降は、全地点で浸透量が最も増加するため危険である。湧水の発生に関しては斜面系の地下水位の変動により近い時間で発生していることが考察できた。しかし、夜間や植生回復による影響により、湧水の発生状況の判別が困難になることが分かった。そのため、夜間や自然の中で湧水の発生を観察できるように検討を行い、より多くのデータを集め、湧水の発生状況が斜面系、断層系どちらの挙動に近いのか検討を重ねていく予定である。

参考文献

1) 有本悠紀・藤本将光・平岡伸隆・壇上徹・石田優子・深川良一：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，歴史都市防災論文集，Vol.9, pp191-194, 2015.