

京都市東山地域における斜面崩壊の 潜在的危険度評価

Evaluation of the potential risk of a sediment disaster at Kiyomizu-dera Temple area

藤本将光¹・戸田堅一郎²・有光悠紀³・里深好文⁴・深川良一⁴

Masamitsu Fujimoto, Kenichiro Toda, Yuuki Arimitsu, Yoshifumi Satofuka and Ryoichi Fukagawa

¹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 University, Dept. of Civil Engineering

²長野県林業総合センター 主任研究員 (〒399-0711 塩尻市片丘5739)

Chief Researcher, Nagano Prefecture Forestry Research Center

³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 University, Graduate School of Science and Engineering

⁴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 University, Dept. of Civil Engineering

To evaluate the potential risk of sediment disasters at Kiyomizu-dera Temple, we investigated the spatial distribution of springs based on a topographical analysis using a Curvature and Slope (CS) topographical map. The study area was divided into two areas, erosion and non-erosion, divided by a fault line. We observed springs with small slope collapse at numerous points in the erosion area. Our results suggest deep infiltration of groundwater in the non-erosion area, and exfiltration of groundwater in the erosion area, leading to the occurrence of slope collapse.

Keywords : *slope failure, sediment disaster, spring, DEM, CS (Curvature and Slope) topographical map*

1. はじめに

近年、豪雨の頻度の増大に伴って斜面崩壊が多発する傾向にあるといえる。実際、2014年には台風18号によって近畿地方でも土砂災害が多発し、清水寺では大小あわせて5箇所の斜面崩壊が発生した¹⁾。また、2015年には清水寺境内で小規模崩壊、近隣する大谷本廟の墓地で斜面崩壊が発生した。清水寺境内では奥ノ院後背斜面において雨量、間隙水圧を主とした現地モニタリングに基づく斜面崩壊の危険度評価の研究が進められてきた¹⁾²⁾³⁾。また、1m深地温⁴⁾⁵⁾、地中音探査⁶⁾手法を用いて、現地モニタリングより広範囲において地下水流動の推定がなされた。しかし、これらの観測は奥ノ院らの重要文化財の後背斜面周辺の危険性を評価できるものの、清水寺境内における広域の斜面崩壊の危険度は評価できていない。

斜面崩壊発生の危険性の評価には、主として地形や地質等に支配される発生場の特徴と崩壊発生の誘因となる地下水流動等の水文的要因を把握する必要がある。地形情報に関しては、近年の航空計測技術の進展により、微地形も含めた詳細な表面地形の把握が可能となった。また、崩壊の発生に関与する地下水の流動は湧水および湧水の電気伝導度の空間分布特性を用いて把握する方法⁷⁾が提示され、簡便な調査による実態把握の可能性が報告されている。そこで、本研究では高精度・高密度の地形データを用いた地形解析と湧水の

空間分布特性調査に基づく水文情報を得ることで清水寺周辺の斜面崩壊の潜在的危険度を評価することを目的とする。

2. 調査方法

(1) 調査地

調査地である清水寺周辺の地形図を図1に示す。地形図は航空レーザ測量によって得られた1mの数値地形モデル（DEM）（中日本航空株式会社提供）を用いて、地図作成ソフト Surfer（Golden Software 社）を使用し作成した。本研究では清水山の山頂（242.2m）を有する尾根筋より西側の清水寺境内および国有林を対象とした。地質は中・古生層の丹波層群の砂岩、泥岩、チャート、大阪層群の砂礫層と粘土の互層からなる。

(2) 調査方法

地形解析では1mメッシュのDEMを用いて微地形図を作成した。微地形図には視覚的に立体的な地形判読が可能である立体図法⁸⁾を用いてCS（Curvature and Slope）立体図を作成した。CS立体図と地質図を用いて地形判読を行った後、湧水調査を行った。湧水の電気伝導度の計測は電気伝導度計（HORIBA社、ES-51）を用いて現地において行った。湧水量が極めて少なく、電気伝導の計測に必要な水量が確保できなかった地点は湧水点の位置のみの把握にとどめた。現地調査は2016年2月18-19日と4月6日の2回に分けて行った。調査日前の累積降雨はともに少なかったことから、調査結果は同条件であると判断して取り扱った。

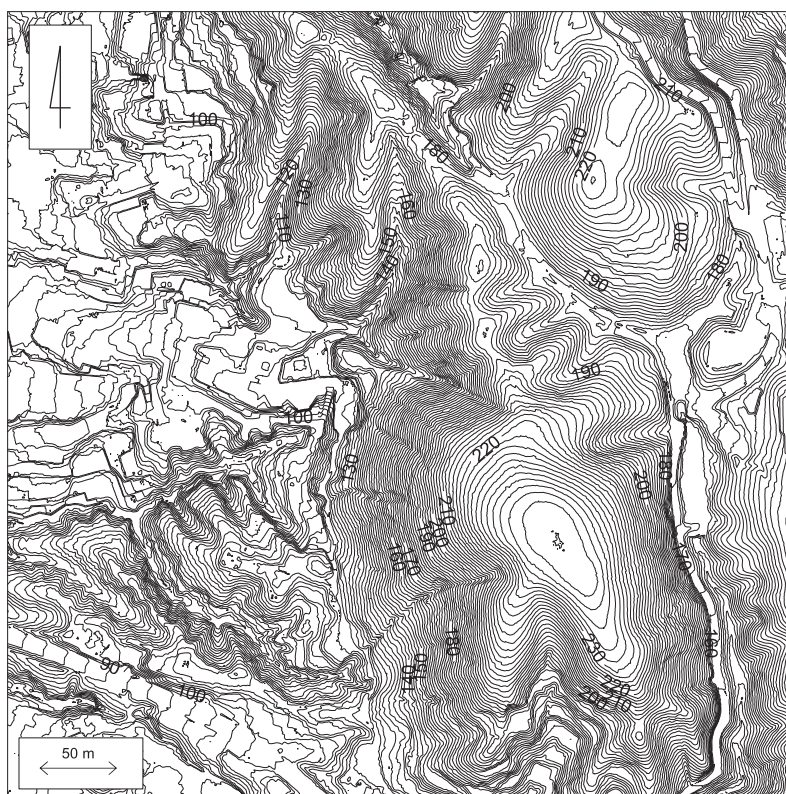


図1 対象地周辺の地形図（等高線間隔：2m）

3. 結果と考察

図2にCS立体図を基にした調査対象地の地形判読結果と過去の災害発生箇所的位置を示す。図2中の黄色破線の位置にはリニアメントが存在すると判読された。このリニアメントは桃山断層系の一部である東山西緑断層⁹⁾に相当すると考えられる。吉岡⁹⁾は断層を横切る谷筋に横ずれが認められないことから、この断層を逆断層と推定しているが、CS立体図による判読結果も同様であった。CS立体図では青黒く見える場所は崩壊地や谷の発達が発達する箇所として判断される。調査対象地では断層の東側に比べて西側で数多く

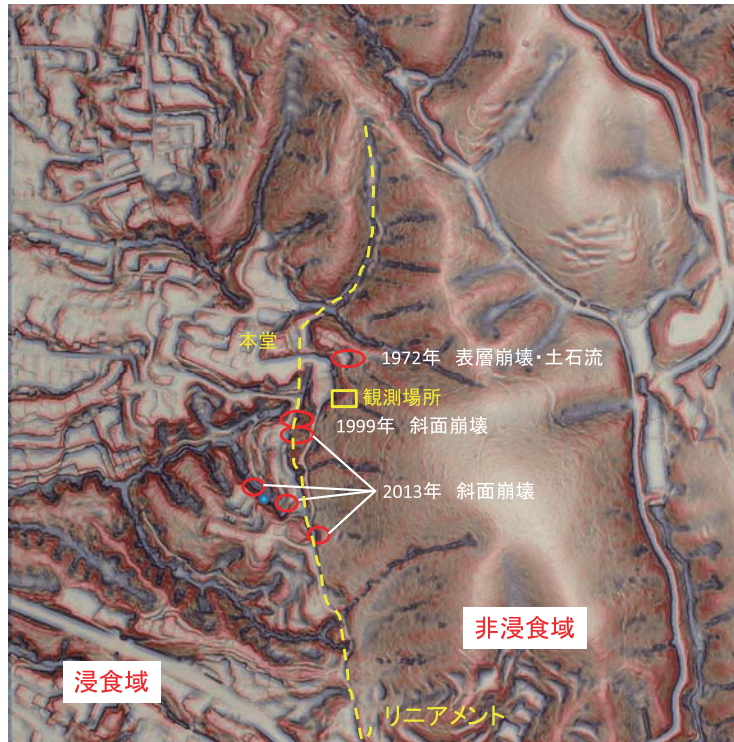


図2 CS立体図と過去の土砂災害の位置



図3 湧水の空間分布特性（図中の数値は電気伝導度を示す）

の明瞭な浸食地形が確認された。湧水調査の結果によって断層東側の斜面では確認された湧水が数少なく、西側では多数の湧水が認められた（図3）。これらの結果から、対象地はリニアメントを境界にして、水の浸食作用の影響の有無による非浸食域と浸食域に分けられると判断された。非浸食域では透水性がよく、雨水が土層以深の深部にまで浸透し、浸食地形が形成されないのに対して、浸食域では湧水や降雨時の洪水流によって浸食作用が卓越していると考えられた。また、湧水の電気伝導度には大きな差が見られなかった。

この結果は清水山は山頂が 242m の丘陵地であり、山体内の地下水帯の規模はそれ程大きくなく、湧水に寄与する地下水帯は同程度のスケールであると考えられる。浸食域では北側の領域においては谷筋（図 3 中の A）に沿って湧水が認められた。現地踏査から露頭部の岩相が南側の領域とやや異なることが確認され、同じ地質帯でも基岩構造が異なることが示唆された。また、谷筋が尾根付近にまで達しており、谷頭部に集水域を持たない谷地形であることから断層活動に起因する谷の形成であると推測された。このため、山体の地質は同様であるが地形発達過程に起因する基岩構造の違いから地下水の流動過程が異なると考えられる。

これまで非浸食域での現地モニタリング³⁾（図2, 3の黄色四角枠の範囲）の結果から、土層内での非常に素早い水移動が観測されている。また、土層内の地下水位の上昇には限界があり、累積降雨の増加に伴って地下水が深部浸透している可能性が示唆された。現地モニタリングで得られた結果と本研究の結果と調和的であり、非浸食域において雨水の浸透が卓越することが示された。本研究の地形解析から、近年の斜面崩壊は断層に沿った位置で発生している傾向が認められた（図2）。断層活動に伴う破碎帯の形成によって断層周辺が弱部となっていると推定される。地形解析と湧水の分布から推定される地下水流動の結果から、豪雨時には断層の上流域にあたる非浸食域に多量の雨水がもたらされ、深部浸透できなかった地下水が断層近辺の弱部に湧出することが斜面崩壊の発生要因となり得ることが示された。

4. おわりに

本研究ではCS立体図に基づく地形判読と湧水の現地調査から清水寺周辺の斜面崩壊の潜在的危険度を評価した。その結果、断層を境に浸食域と非浸食域に分かれ、地下水の流動一流出過程が明瞭に異なることが示された。浸食域では多数の湧水が認められ、浸食域に位置する泰産寺などでは今後の土砂流出に伴う災害が懸念される。また、断層付近で近年の斜面崩壊が発生しており、非浸食域で土層より深くの深部まで浸透した地下水が断層付近で湧出することで斜面崩壊が引き起こされる可能性が示された。本研究は清水寺周辺において斜面崩壊発生要因が場所によって異なることを示すものであり、境内内の個別の対象物の立地状況に応じた監視や現地モニタリングを行うことによって土砂災害の予見、軽減につながると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、中日本航空株式会社岩浪英二様には地形データの取得にご協力いただいた。また、本研究の一部はJSPS科研費15K18714、CREST (JST)、京都大学防災研究所共同研究の助成を受けたものです。ここに記して深く感謝を表します。

参考文献

- 1) 檀上徹・藤本将光・木村亘・平岡伸隆・深川良一：台風 18 号に伴う清水寺境内の被害と後背斜面の地盤水分変動及び挙動に関する一考察，歴史都市防災論文集，Vol.8, pp.115-122, 2014.
- 2) 酒匂一成・深川良一・岩崎賢一・里見知昭・安川郁夫：降雨時の斜面防災防止のための重要文化財周辺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.
- 3) Fujimoto M., Arimitsu Y., Hiraoka N., Danjo T., Kimura T., Ishida Y., and R. Fukagawa: Characteristics of groundwater movement at a hillslope above Kiyomizu-dera Temple, an important cultural asset, Japanese Geotechnical Society Special Publication, Vol.2, No.77, pp.2643-2647, 2015.
- 4) 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.
- 5) 仲矢順子・深川良一・酒匂一成：清水寺後背急勾配斜面における地盤表層地下水流路の調査と分析，歴史都市防災論文集，Vol.5, pp. 271-278, 2011.
- 6) 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, 145-150, 2014.
- 7) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：深層崩壊発生場予測法の提案—鹿児島県出水市矢筈岳山体を例にして—，砂防学会誌，Vol.59, No.2, pp.5-12, 2006.
- 8) 戸田堅一郎：曲率と傾斜による立体図法（CS 立体図）を用いた地形判読，森林立地，Vol. 56, No.2, pp. 75-79, 2014.
- 9) 吉岡敏和：京都盆地周縁部における第四紀の断層活動および盆地形成過程，第四紀研究，Vol.26, No.2, pp. 97-109, 1987.