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

Measurement and analysis of groundwater flow passageway in subsurface steep slope behind Kiyomizudera

仲矢順子[1]・深川良一[2]・酒匂一成[3]

Junko Nakaya, Ryoichi Fukagawa and Kazunari Sako

[1]立命館大学大学院　博士後期課程　理工学研究科総合理工学専攻（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）
Doctoral Program, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering
[2]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
[3]立命館大学准教授　立命館グローバル・イノベーション研究機構（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）
Associate professor, Ritsumeikan University, Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

The aim of this research is to ascertain locations where slope failure will occur. We analyzed the results of two measurements on the steep slope behind a cultural heritage; one is the periodic measurements of ground temperature taken at depths of one-meter and the other is the continuous measurement of underground pore pressure at multi-depths in the ranges of ground level to one-meter. The analysis showed a variation in response times of underground pore pressure between two locations; a hypothetical groundwater flow passageway and a location that was not a hypothetical groundwater passageway.

Keywords : *steep slope, groundwater passageway, one-meter depth ground temperature, field monitoring system*

１．はじめに

国土の7割を山地が占める日本において、衣食住の支えとなる水源や動植物等生物資源の豊富な山地が平野同様に人々の生活の場となるのは必然であった。一方で、活発な地殻変動と湿潤温暖な気候によって脆弱化した地質で構成された日本の山地に暮らすことは、頻発する山地の土砂災害と対峙することでもあった。このような山のもたらす恵みへの感謝を示すとともに災いを鎮めるために山地に建てられた寺社仏閣は、周辺の自然的景観と一体化した歴史的文化遺産として、先人たちの文化や技術などを現代に生きる我々に伝えている。

歴史的文化遺産はそれ自体がかけがえないものであり、その遺産を後世へ引き継ぐべく維持管理する関係者や、鑑賞する観光客等とともに災害から護られるべきものである。

山地にある歴史的文化遺産を襲う自然災害の一つとして、豪雨時に発生する斜面表層崩壊があげられる。表層崩壊から文化遺産を護るための第一歩である災害発生予測は、大きく発生時刻の予測と発生場所の予測に分けられる。これまでに行われてきた事例研究や地盤工学的実験、解析による表層崩壊メカニズムの検証や降雨予報の精度向上により、豪雨時の表層崩壊発生に対する広域的な警戒・警報、すなわち発生時刻予測による対策はすでに実用段階にあると言ってよい。しかし、無数にある急傾斜地のどこが実際に崩れるのか、どこで監視し、対策工事などの抑止策を施せばよいのかという局所的な発生場所予測はいまだ発展途上にある。

本研究は、斜面表層崩壊の主要因の一つである水に着目し、降雨などによって斜面表層地盤に供給された

水の流下経路とその水が斜面表層崩壊を引き起こすメカニズムを解明することにより、表層崩壊発生場所の予測およびその予測に基づく効率的な対策提案を目指すものである。発生場所予測による効率的な監視場所の設定や必要最小限の対策工事により、歴史的文化遺産周辺の自然的景観を必要以上に乱すことなく、その場所から移設避難させることのできない文化遺産を災害から護り、後世へ引き継ぐことが可能になると考えられる。

筆者らは、京都市東山区の清水山西側山腹に位置する音羽山清水寺の境内後背斜面において、斜面の降雨時および地震時における斜面表層崩壊発生危険度の定量的評価のための各種地盤調査を実施するとともに、豪雨時の地盤水分状況の把握とその計測結果をもとにした避難警戒勧告実施のための現地斜面計測システムを2004年に構築、現在まで継続的に運用してきた[1), 2)]。また2009年からは斜面表層地盤内部の地下水流動経路把握のため、1m深地温計測を中心とした斜面の面的な調査を実施してきた[3), 4), 5)]。

本論文では、上述の地盤調査、現地斜面計測システム、1m深地温計測で蓄積された現地の調査結果、計測結果を分析し、対象斜面で想定された地下水流路分布域と降雨時の地盤水分状況の関係について考察を行う。また、継続的な計測によって判明した、1m深地温計測による地下水流路探査実施における留意点についても述べる。

２．調査方法

(1) 調査対象斜面

調査対象斜面は、京都盆地の東縁を形成する山地の一部である清水山（標高242m）の西北山腹に位置する。調査範囲は比高約20m（標高130〜150m）、幅約100m、平均勾配約40°の急勾配斜面であり、その末端には清水寺が有する釈迦堂等の重要文化財建造物が近接している（図1）。

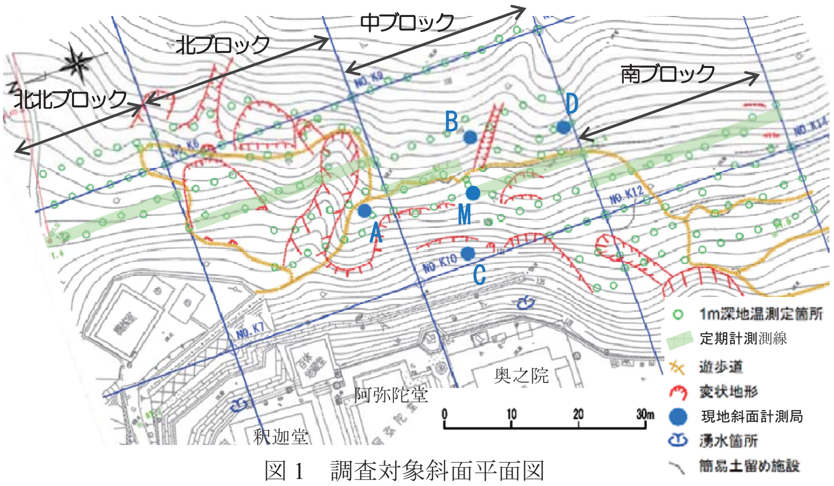


図１　調査対象斜面平面図

清水山の基盤は、丹波層群の中・古生層からなり、調査地付近には主にチャートや泥岩が分布しているが、調査対象斜面は全体が崩積土に覆われている。既往の調査により、崩積土の厚さは0.9〜2m程度であり、その下位に基盤岩が分布している[1)]ことがわかっている。

斜面を図1に示す4つのブロックに区分すると、北北〜中ブロックは北西向き、南ブロックは西向きの斜面である。斜面上には幅1〜3m程度の谷地形や小規模な崩壊跡と見られる馬蹄形の凹地形が多数存在し、そのいくつかは2009年10月および2010年1月に実施された1m深地温計測で判明した温度異常帯と一致した[3), 4)]。また斜面末端には2箇所で湧水が確認されており、いずれも温度異常帯の延長に位置していた[3), 4)]。斜面にはほぼ全体に高木が生えているが、その主要な樹種はブロックによって異なり、中ブロックはシイ類を主体とする常緑樹、それ以外のブロックは植栽された落葉樹であるサクラが主体であった。

現地斜面計測システムのための計測局は、図1に示すM局およびA〜D局の合計5地点に設置されている。この設置箇所は（社）日本道路協会発行「道路土工ーのり面工・斜面安定工指針」を参考に実施された斜面安定度評価において危険度が高いと判定され[1)]、かつ重要文化財建造物である阿弥陀堂、奥之院の背面に位置している。各計測局における計測事項等については後述する。

(2) 調査方法

調査対象斜面において、斜面表層地盤の地下水流路探査のために1m深地温計測を、また豪雨時等の地盤水分状況把握のために現地モニタリングシステムによる連続計測を実施した。

a) 1m深地温計測

1m深地温探査とは、流動地下水温の影響を受けていない平常1m深地温と、流動地下水温の温度差を利用した、比較的浅層（おおむね地表面下10〜17mより浅い範囲）に分布する地下水流路の探査手法である[6)]。地盤表層の温度は、気温や日射等の影響を受けた日内変動、季節変動が認められる。しかし深度が大きくな

るとともに気温等の影響到達に時間を要し、また気温等の影響自体が緩和されるため、地表面下1mの地温は日内変動がほとんどなく、しかし季節変動は存在する。それに対して流動する地下水の温度は年間を通じて変動が小さい。そのため、夏の暑い時期に深さ1mの地温を複数箇所で計測したとき、周囲より低温の箇所が帯状に現れた場合には、それが地下水流路の平面投影であると考えられる。逆に冬期の計測であれば、周囲より高温の箇所が地下水流路と判断できる。もちろん、地温は流動地下水以外にも斜面方位、地層構成、土地利用形態などの影響を受けるため、調査範囲内に極端に異なる条件が混在している場合には注意が必要である。

計測に先立ち、南北方向（おおむね等高線に沿う方向）に3m間隔、東西方向（おおむね斜面の傾斜方向）に5m間隔で、深さ1m、径約25mmの計測孔を設けた。ただし、計測予定箇所が削孔に不適であった場合（樹木の根や礫があって掘れない、足場が悪く安全に作業できないなど）、削孔地点を予定箇所から水平距離最大2mの範囲で変更した。計測孔は削孔後直ちにVP16塩ビ管を挿入して保孔した。保孔塩ビ管の頭部にはキャップをはめ、雨水等の侵入を防止した。計測孔の設置時期は、図1の北北ブロック全孔および中ブロックの東から2本の測線上の全孔は2010年5月、それ以外の孔は2009年8月末～11月である。

1m深地温の計測は、先端にサーミスタセンサを備えた棒状の測温体（（株）数理設計研究所製 GMMD-1MDT-Sa1、精度0.1℃）を計測孔に順次挿入し、サーミスタセンサが孔底地温となじむまで10分間以上静置した後、温度を読み取ることで行なった。温度を読み取った後は直ちに測温体を抜き取り、次の計測孔に測温体を移動、挿入、静置、読み取りを行い、これを繰り返した。なお、1m深地温には日変動がほとんどないとされているが、確認のため代表的な計測孔1箇所に、当日の計測開始から終了まで測温体を静置したまま、開始時と計測途中、終了時の3回温度を読み取り、全孔を計測する時間内に地温の変動がないことを確認した。

1m深地温の計測は、斜面地盤内部の地下水流路分布を面的に把握するための全面計測と、1m深地温の季節変動傾向を把握するための単測線定期計測の2通りを実施した。本稿で分析対象とする計測は、斜面全面170孔（図1）において2010年8月4日、2010年11月22日、2011年2月15日の3回実施した全面計測と、全面計測対象170孔の中から対象斜面を南北方向へ縦断するように抽出した測線上の42孔（図1）にて約2週間に1回の頻度で2010年5月14日～2011年4月22日に24回実施した単測線定期計測である。ただし、単測線定期計測のうち2010年5月14日は北北ブロックの計測孔設置前であったため、北ブロック～南ブロックの35孔での計測となった。

b）現地斜面連続計測[1), 2)]

調査対象斜面では、現地斜面計測局としてM局およびA～D局の合計5箇所（図1）に計器を設置して、-1.0m以浅の複数深度における間隙水圧の連続計測を実施してきた。M局では間隙水圧に加え、地温計測と気象観測も実施してきた（図2）。各局での計測事項を表1に示す。すべての計測事項について計測間隔は10分間であり、計測データはインターネットを介してリアルタイムで確認できるとともに、記録として蓄積されてきた。なお、テンシオメータはその原理上、定期的な脱気水補給が必要であり、機器全体のメンテナンスを兼ねた脱気水補給が定期的に行われている。また、各テンシオメータの地上部には塩ビ性円筒に断熱シートを巻いたカバー

図２　現地斜面計測局（M局）

表１　現地斜面計測局の計測事項

	計測事項	計測深度	計測機器
M局	間隙水圧	-0.2m	テンシオメータ
		-0.4m	
		-0.6m	
		-0.8m	
		-1.0m	
	地温	-0.2m	熱電対
		-0.4m	
		-0.6m	
	降雨量	－	転倒ます式雨量計
	気温	－	気象ユニット
	湿度	－	
	風速・風向	－	
	日射量	－	
	気圧	－	
A～D局	間隙水圧	-0.4m	テンシオメータ
		-0.8m	
		-1.0m	

がかぶせられ、計器の防水、遮光、断熱、鳥獣害予防、テンシオメータのパイプに沿った雨水の地盤深部への直接流入防止が図られている。

３．調査結果

(1) 1m深地温

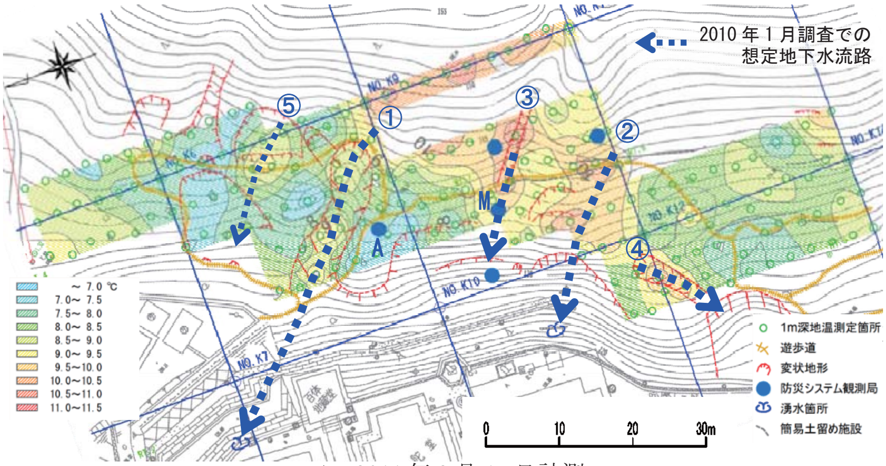
a) 平面的な1m深地温分布

対象斜面で実施した3回の全面計測結果等温線図を図3に示す。調査方法に記した1m深地温探査の原理から、探査の適期は夏ないし冬と考えられる。実際に2010年8月と2011年2月は2010年11月と比べて地温の出現範囲が大きく（8月: 18.9℃～23.1℃、11月: 14.4℃～17.1℃、2月: 6.5℃～11.3℃）、等温線図でも11月に比べて8月と2月は低温部と高温部の差がはっきり現れた。8月の低温部と2月の高温部の分布は大部分が一致して、2010年1月の計測結果で地下水流路と想定した部分（図3の①～⑤）[3), 4)]とも一致した。しかし中ブロック南部には、2010年1月と2011年2月に高温を示していたのに、2010年8月にも高温となった部分（図3の②）があった。

2010年11月の全面計測は、探査不適期と考えられる時期を狙って行ったが、比較的高温（16℃以上）を示す部分の分布が2011年2月の高温部と一致する形となった。

a)　2010 年 8 月 4 日計測

b)　2010 年 11 月 22 日計測



c)　2011 年 2 月 15 日計測

図 3　1m 深地温全面計測結果　等温線図

b) 1m深地温の季節変動

図4に2010年5月14日～2011年4月22日の期間に実施した24回分の単測線定期計測結果を示す。地温が最も高くなったのは2010年9月6日、最も低くなったのは2011年2月15日であり、これらの計測日には計測孔相互の地温差も大きかった。計測値の季節変動が比較的小さな場所は、図内で上下方向のくびれとして現れ、その出現箇所は図3に示した想定地下水流路とほぼ一致した。ただし、②については図4のグラフの上部（夏季）の温度が他の想定流路箇所と比べて明瞭に低い傾向を示さなかった。なお、計測孔相互の地温差が最も小さかったのは地温が最高となった9月6日の約1ヶ月半後の2010年10月21日であり、その地温は季節変動幅の中央より高い位置に現れた。

図5に北ブロック11孔で計測した1m深地温の季節変動を、気温（京都地方気象台観測値[7)]）と併記して示す。地温変動はおおむね気温の変動に追随していたが、夏期の気温が7月中旬から9月上旬までほぼ一定して明瞭なピーク時期を持たなかったのに対して、地温は北ブロックのほぼ全孔で9月上旬に明瞭なピークを示した。冬季は地温、気温ともピークが不明瞭であった。個々の計測孔相互の地温差は5月から9月にかけて拡

大した後、9月から急速に縮小して10月中旬～下旬に収束した。その後1月下旬へ向かって拡大し、その後再び収束傾向を示した。なお、8月13日に不自然に高い地温を示した計測孔が複数認められた。

(2) 現地モニタリング

現地斜面計測局の計測結果のうち、1m深地温の定期計測直前に計測された2010年8月12日と2010年10月31日の降雨およびモニタリングシステムの雨量指標による評価[2]が避難警戒勧告レベルに達した5月23日の豪雨に着目した。また、5つの計測局のうち、1m深地温計測結果から地下水流路と想定された温度異常帯に位置するM局と、温度異常帯から外れた場所（平常部）に位置するA局に着目した。上記3ケースの降雨前後にモニタリングシステムM局およびA局で計測された降雨量、地盤間隙水圧および地温を図6に示す。ただし、8月のM局について、-0.2mおよび-1.0mのテンシオメータが不調だったため、-0.4m、-0.6m、-0.8mのデータのみとなった。

5月、8月、10月の各降雨時における計測値について、下記の共通する特徴が認められた。

i) A局の降雨時における間隙水圧の上昇は、3深度ほぼ同時か、あるいは-1.0mが-0.4mと-0.8mより遅れて発生した。それに対してM局では、10月28日の降雨時を除いて間隙水圧の上昇タイミングに深度ごとにズレが認められた。特に5月23日にはズレが顕著で、間隙水圧上昇は-1.0mが最初で-0.2m、-0.6m、-0.8m、-0.4mの順で発生した。

ii) 降雨時に上昇した間隙水圧の低下速度は、M局のほうがA局よりも早い傾向が認められた。

iii) M局の地温は、5月24日、8月12日、10月28日の降雨時に-0.2mで0.5℃程度の急激な低下が認められたが、それ以外の降雨時には変動が認められなかった場合や、降雨と関係のない時刻に変動した場合もあった。

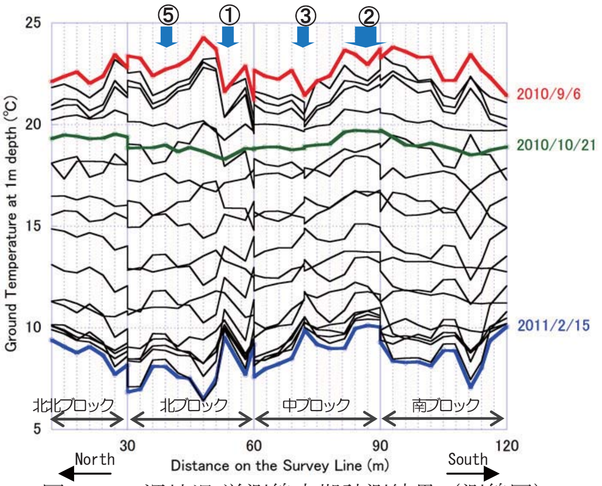


図 4　1m 深地温 単測線定期計測結果（測線図）
2010 年 5 月 14 日～2011 年 4 月 22 日、24 回分
○付き数字は図 3 の想定流路番号に対応

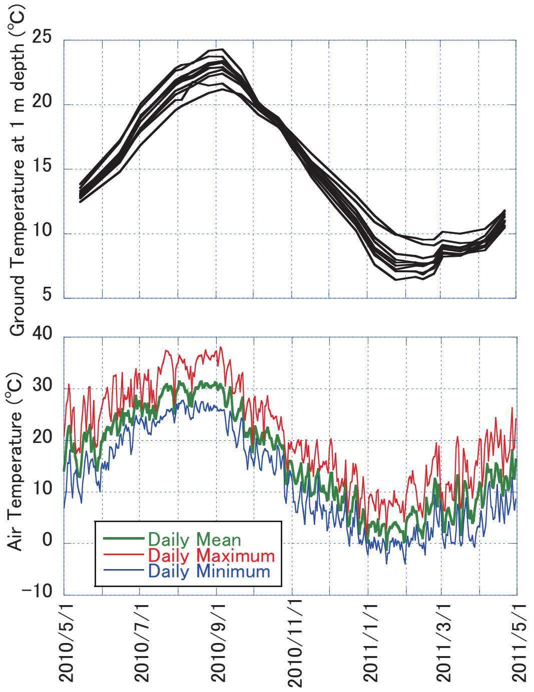


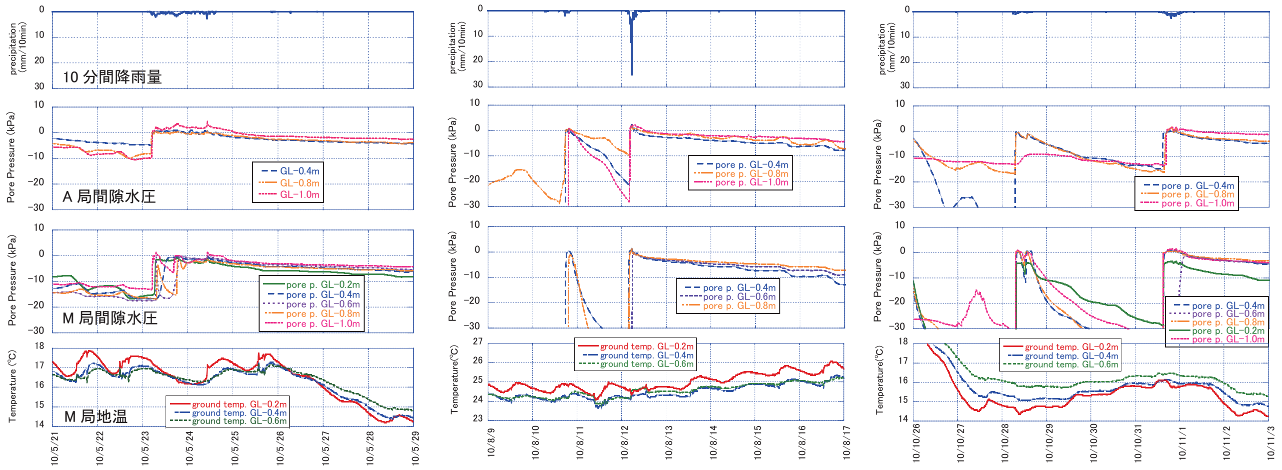
図 5　1m 深地温（北ブロック 11 孔）と気温（京都地方気象台観測値[7]）の経時変化

4．考察

(1) 1m深地温の平面分布

地下水流路の平面投影と想定される夏期の低温部と冬季の高温部が各計測結果でおおむね一致している中で、冬季計測結果から地下水流路と想定されながら2010年8月計測で高温を示した中ブロック南部（図3の②）について、この付近の植生は周囲と比べて植物による被陰が少なく、そのため日射の影響を強く受けていたのではないかと考えられた[5]。図4では、②付近の冬季の地温は周辺より高くなっていた。②の北側である南ブロックには落葉樹であるサクラが植栽されており、冬季の日射量調査では②付近と隣接する南ブロックとの日射量の差は小さかったが[8]、南ブロックの地温は②付近より低かった。このことからも、②の夏期の地温は本来周囲より低くなるはずが日射の影響で高くなったのではないかと考えられるが、夏期の日射量調査等による確認が必要である。

また、地下水温の影響を受けた温度異常帯の地温と地下水温の影響を受けない平常地温がほぼ同じとなる「探査不適期」と想定した2010年11月の計測結果（図3のb)）において、2011年2月の高温部と分布がほぼ一致する比較的高温部が現れた。これは３．（1）b)で確認した1m深地温の季節変動にあるとおり、実際の探



a) 2010 年 5 月 21 日～5 月 28 日　　b) 2010 年 8 月 9 日～8 月 16 日　　c) 2010 年 10 月 26 日～11 月 3 日

図 6　降雨時の地盤間隙水圧および地温（現地斜面計測局計測値）

査不適期は計測孔相互の地温格差が収束した10月中旬であり、2010年11月の計測時にはすでに温度異常帯の地温と平常地温の格差が開き始めていたためと考えられる。これらのことは、必ずしも気温が極値を示す夏冬の探査適期の中間に探査不適期があるとは限らないことを示しており、探査実施時期の設定には注意が必要である。

(2) 1m深地温と気温

図5の1m深地温と気温との比較において、気温上昇が7月中旬でほぼ止まった後も地温が上昇を続け、9月上旬に気温低下が始まると地温の低下も始まったことについて、地温は気温の積算値と相関を持つのではないかと考えた。

そこで、1m深地温定期計測孔全孔の平均値と、計測日前n日間の日平均気温（京都地方気象台発表値）の積算値について、nの値を変えて回帰分析を行ったところ、nが40～50日の時に強い相関が確認された（表2）。2010年は夏期の気温極値が1ヶ月半程度続いたことで、その後気温が低下傾向に移ると、約1ヶ月半の積算気温と相関の強い地温も直ちに低下を始めたものと考えられた。n = 40、n = 45、n = 50の場合について予測値と実測値を対比したグラフを図7に示す。n = 40では7月～9月上旬と1月の予測精度が良く、n = 50では11月～12月の予測精度が良かったが、5月および2011年2月以降はn = 40～50での予測は大きく外れた。

季節によって予測精度の良い積算日数が異なることや2011年2月以降の予測がうまくできなかった原因として、気温以外にも地温への影響が大きいと考えられる日射量や土壌含水率が季節によって異なっていたこと等が考えられる。

表 2　日平均気温積算値と 1m 深地温の相関分析結果一覧

日平均気温積算期間（日）	決定係数 R^2
10	0.912
20	0.957
30	0.979
40	0.991
45	0.993
50	0.994
60	0.987
70	0.969

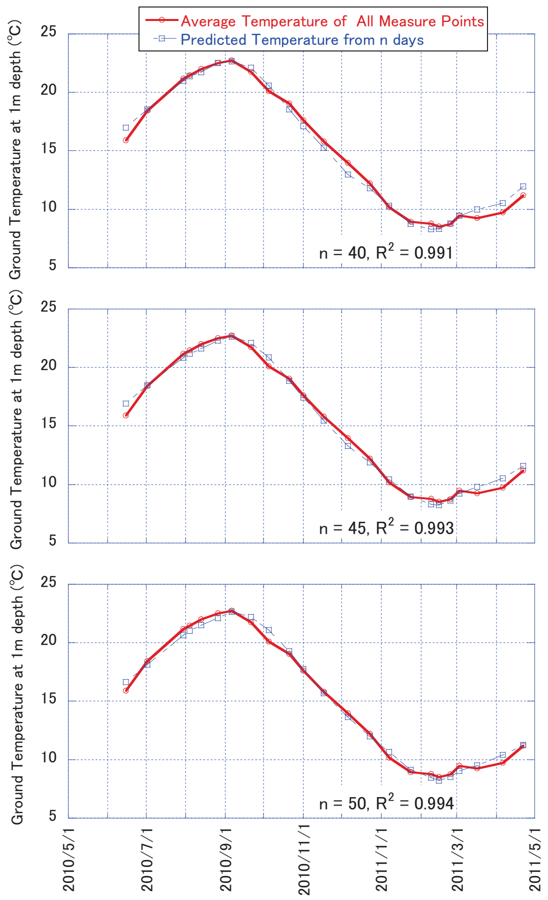


図 7　1m 深地温平均値（全定期計測孔）と計測前 n 日間の日平均気温積算値による予測値の対比

(3) 降雨時の地温

一部の計測孔の1m深地温経時変化図において、2010年8月13日に不自然な凸部が現れた。図8に平常部

計測孔のグラフ（計測範囲を北半分と南半分に分けて表記）と温度異常帯計測孔のグラフを示す。平常部においても凸部を有する計測孔が複数認められたが、温度異常帯の複数箇所では凸型が顕著であった。これらの凸型は、前述の気温積算値によっては予測できず、また8月13日はその前日である12日の3時～8時にかけて合計132mmの豪雨が現地モニタリングで記録されていたことから、この12日の豪雨が13日の1m深地温計測値に影響した可能性を考えた。

図8に示した凸部を持つデータのうちEを記録した計測孔は、現地斜面計測局のうちM局に近接していた。8月12日前後にM局で計測されたデータ（図6のb)）を見ると、12日の豪雨時に-0.4m、-0.6m、-0.8mはいずれも一時飽和状態になり、翌13日の定期計測時にも地盤の含水は高い状態であったと考えられた。しかし、-0.2m、-0.4m、-0.6mいずれの深度でも8月12日の豪雨の後に地温の顕著な上昇は認められなかった。このことから、12日の豪雨が13日の1m深地温に直接影響を与えたとは考えにくい。しかし-0.6m以浅の地温と-1.0mの地温が必ずしも同じ傾向を示しているとも言えないことから、計測日前の豪雨が1m深地温計測に影響を与えていないとは言い切れず、計測日前の降雨には注意が必要である。

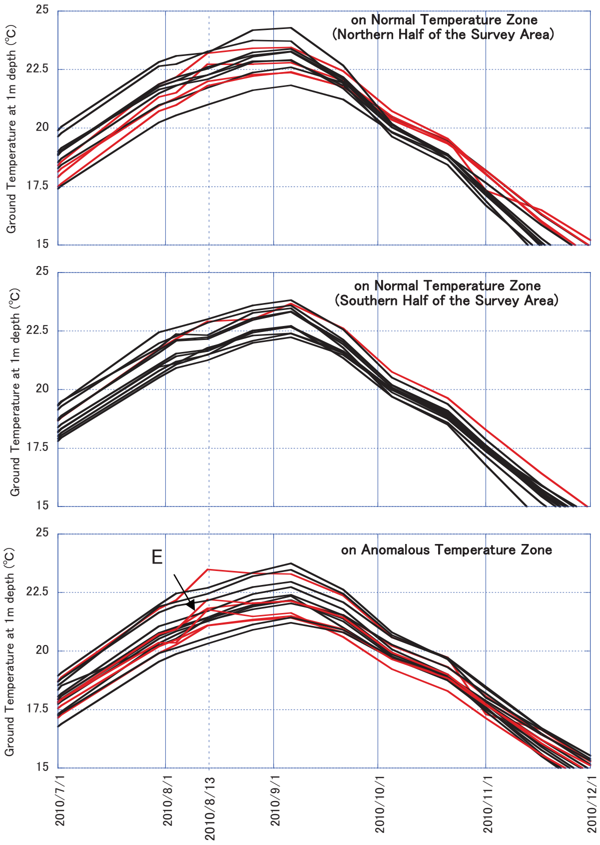


図8　2010年8月13日に認められた1m深地温の不自然な上昇
赤線は不自然な上昇が認められた計測孔のデータ
また、EはM局近接孔のデータ

(4) 降雨時の間隙水圧変動

現地斜面計測局のうち、温度異常帯に位置するM局と平常部に位置するA局では、降雨時の間隙水圧変動形態に異なる特徴が認められた。A局の間隙水圧が-0.4m、-0.8mおよび-1.0mの3深度ほぼ同時に、あるいは浅い-0.4mから上昇したのに対し、M局の間隙水圧は最も深い-1.0mでそれ以浅と同時、あるいはより早い時刻から上昇した。

豪雨時にM局-1.0mの間隙水圧が-0.8m以浅と同時あるいは先行して上昇する現象については、現地斜面計測局が設置されて間もない2004～2005年の計測でも確認され、そのような現象のほとんどは3.5mm/hを越えた降雨の直後に発生した[1)]。今回着目した降雨イベントにおいては、5月23日にM局-1.0mで以浅に先行して間隙水圧が上昇した6:20の直前1時間の降雨量は3.4mmであった。また-1.0mと-0.8mの間隙水圧が-0.6m以浅より先行して同時に上昇した10月28日7:10および10月31日16:10それぞれの直前1時間の降雨量は、いずれも1.6mmであった。豪雨というほどの時間雨量がなかった場合にも-1.0mの間隙水圧上昇が先行する現象は発生していると言える。

このことは、先行研究[1)]でも指摘されたとおり、M局付近では降雨時の地盤内水分が必ずしも鉛直下向きにのみ供給されているわけではなく、斜面傾斜方向の流下や下方からの上昇が起こっている可能性を示している。一方A局では、今回着目した降雨イベントすべてにおいて、M局のような深部の間隙水圧上昇が先行する現象は確認されなかったことから、A局付近の降雨時地盤内水分移動は鉛直下向きが主体なのではないかと考えられた。また降雨後、飽和状態からのA局各深度での間隙水圧低下速度がM局各深度よりも小さかったことは、A局付近の地盤がM局付近の地盤より透水性が低く、浸透した降雨が抜けにくかったのではないかと考えられた。

これらのことを、地下水流路と推測される温度異常帯上のM局と平常部のA局との対比として考えると、地下水流路と推定されるM局付近の地盤は、地下水流路から外れたA局付近の地盤と比べて、鉛直方向よりそれ以外の方向（おそらく側方）の透水性が良好であり、そのため降雨時には深部の間隙水圧が先行して上昇する現象が起きやすく、また上昇した間隙水圧が早期に低下するのではないかと考えられる。

しかし、これらの考察はA局とM局の2地点で、限られた降雨イベントに対してのみのものであることから、

より多くの事例検討や、現地のより詳細な地盤情報をあわせて、改めて検討する必要がある。

５．結論と今後の課題

本論文では、清水寺境内後背斜面において2010年5月～2011年4月の期間に収集した1m深地温計測結果と現地斜面計測システムによる降雨量、地盤内間隙水圧、地温の連続計測値および既往の調査報告に基づく考察から、下記の結論を得た。

① 1m深地温の季節変動特性とそれに関する探査実施上の留意点について

i) 調査対象斜面の1m深地温は、計測日前40～50日間の日平均気温の積算値と強い相関を持っていた。しかし、それ以外の熱的要素（日射量、土壌水分率など）にも影響を受けている可能性が高い。

ii) 地下水温の影響を受けた温度異常帯の地温と、平常地温との差が収束する探査不適期は、必ずしも探査適期である夏冬地温ピーク時期の中間時期であるとは限らず、2010年秋の調査対象斜面では夏期地温ピーク時期の1ヶ月半後に現れた。探査時期設定に関しては適期を逃さないように注意する必要がある。

iii) 豪雨翌日に計測した1m深地温は、無降雨時の計測値とは異なる傾向を示す場合があった。豪雨時の降雨浸透が直接影響しているかどうか現時点で明確でないが、計測実施日設定に関しては注意が必要である。

② 豪雨時の斜面地盤表層における水分状況について

iv) 調査対象斜面で地下水流路と想定されたM局付近と地下水流路外と想定されたA局付近では、降雨時の間隙水圧変動傾向が異なっていた。このことは、M局付近の方が地盤側方の透水性が高い可能性を示唆している。

今後の課題として、iv)に示した地下水流路とそれ以外の場所における豪雨時の地盤水分挙動の違いが、表層崩壊発生危険度にどう関わるのかということの検証があげられる。地盤の水分挙動の違いをつくるものとして、地盤構造（粒度や乾燥密度）の違いが考えられる。地盤構造が異なればその強度も異なり、その強度差が表層崩壊発生危険度に関わるとすれば、崩壊発生場所予測につながることが考えられる。これら検証のためには、今後より多くの事例確認とともに、地下水流路と地盤強度に関する原位置試験や土質調査、模型実験などの実施が必要と考えられる。

また、本調査地のように湧水が信仰の対象すなわち文化遺産の一部でもある場所では、崩壊発生対策工事が湧水の劣化（量、水質などの変化）を引き起こすようでは本末転倒であり、そのようなことを避けるために、地下水流路と主要な湧水箇所とのより詳細な関係把握が重要である。

謝辞：本研究に関わる清水寺後背斜面における現地計測、調査においては、清水寺関係者各位の全面的なご協力を受けた。現地モニタリングシステムの設置、定期メンテナンス、1m深地温計測孔設置や1m深地温計測作業においては、深川研究室に2004年以降在籍した学生諸氏の多大な協力、特に2010年からの継続的な1m深地温計測においては当時在籍した秋鹿孝太氏の積極的な協力を得た。皆様に心より感謝申し上げる。

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) 酒匂一成・里見知昭・菅野智之・安川郁夫・深川良一：降雨時の斜面崩壊に対する防災システムの確立に関する研究，歴史都市防災論文集，Vol.1，pp.167-174，2007.
3) 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.
4) 仲矢順子・酒匂一成・光谷俊祐・深川良一：急傾斜地における1m 深地温探査実施事例―京都市東山山腹斜面での調査結果報告―，第45回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.167-168，2010.
5) 仲矢順子・酒匂一成・深川良一：急勾配斜面地盤での温度計測による表層地下水探査，日本応用地質学会平成22年度研究発表会講演論文集，pp.61-62， 2010.
6) 竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法，古今書院，1996.
7) 気象庁：過去の気象データ検索，http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php.
8) 仲矢順子・酒匂一成・深川良一・秋鹿孝太：斜面表層の熱的環境と1m 深地温との関係－京都東山における調査事例－，第46回地盤工学研究発表会発表講演集，2011.（投稿中）