

## 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 —

Hydrological Environment in Subsurface of a Steep Slope  
- Flow Passages of Groundwater on the Slope Behind Kiyomizu Temple -

仲矢順子<sup>1</sup>・酒匂一成<sup>2</sup>・光谷俊祐<sup>3</sup>・深川良一<sup>4</sup>

Junko Nakaya, Kazunari Sako, Shunsuke Mitsutani and Ryoichi Fukagawa

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>西日本旅客鉄道株式会社 京都支社 (〒601-8411 京都市南区西九条北ノ内町5-5)  
West Japan Railway Company, Kyoto Office

<sup>4</sup>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

It is necessary to comprehend the hydrological environment to control water flows adequately for a slope stability with less cost of benefits from rainfall, such as groundwater occurrence and flood control. We conducted surveillances - field studies to get the current state of the site and measurements one-meter-depth ground temperature to investigate groundwater passageways -- on the slope behind cultural heritages of Kiyomizu Temple. The result shows there are some probabilities of relationships between groundwater passageways and topographical deformations.

**Key Words :** *hydrological environment, groundwater passageway, slope failure, one-meter-depth ground temperature*

### 1. 研究の背景と目的

古来日本において、山腹や山裾にわき出す湧水、山に生きる植物や動物、そして山体そのものも、人々の信仰の対象であった。それらをまつる宗教的建造物などは時を経て、周辺の自然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。

一方で山腹や山裾は、豪雨や地震などをきっかけとして発生する土砂崩壊による災害の最前線でもある。日本において、急傾斜地における土砂崩壊は豪雨時およびその直後に多発しており、降雨や降雪による急勾配斜面への水供給は土砂崩壊の主要な発生要因と言える<sup>1)</sup>。裏返せば、急勾配斜面における水の動きを制御することにより、土砂崩壊の発生を防ぐことができる可能性があるということである。実際に、急勾配斜面における土砂崩壊対策工事や災害復旧工事では、降雨時における斜面表流水の発生や斜面地盤への雨水浸透を防ぐために、排水工など、斜面地盤へできるだけ水を入れず一刻も早く下流へ排除する手法が一般に採用されている<sup>たとえば、1)2)</sup>。このような「抑制工」<sup>2)</sup>は、斜面の不安定化要因を除去あるいは低減することにより、大がかりな工事と構造物の設置による景観の改変をもたらしやすい「抑止工」<sup>2)</sup>の規模を縮小、あるいは省略できるという効用を持つ。

しかしながら、降雨が斜面地盤へ供給され浸透することは、上述のような土砂災害を招く「厄災」である反面、自然の「恩恵」でもある。斜面地盤に浸透した降雨は、斜面に成立する森林等の生物相を育み、また地下水を涵養する。これらの森林、地下水は単なる資源ではなく、地域の自然的、文化的景観を支えるものである。

例えば本稿の調査対象地で、世界文化遺産にも指定されている京都市東山の清水寺は、その名が示すとおり山腹からわき出す水を信仰の対象として成立した寺院である。この山腹において斜面安定化のためとして不用意な排水工等を実施し湧水等に悪影響が及ぶようなことになれば、寺院の存在意義に関わる問題になりかねない。

筆者らは、文化遺産の後背斜面地盤における降雨浸透や地下水流動を適切に管理することにより、その「恩恵」—文化遺産の存在意義の一部である水や森林等の文化的景観などを損ねることなく、土砂災害という「厄災」から文化遺産を護ることを最終目標として、まず、斜面地盤内における水の動き（斜面水文環境）の把握と、水の動きが土砂崩壊発生に関わるメカニズム解明のための研究を行っている。

本稿では、清水寺境内後背斜面における斜面水文調査結果に対する考察と、今後の課題について述べる。

## 2. 調査地の概要

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）。

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ことがわかっている<sup>3)</sup>。

なお、奥之院と阿弥陀堂の後背斜面上に雨量計等気象観測装置と深度別テンシオメータ（地表面下1.0m以浅）による現地モニタリングシステム（防災システム観測局M, A, B, C, Dの5箇所、図1）が2004年7月より順次稼働している<sup>3) 4)</sup>。

## 3. 調査方法

対象斜面において、現況を把握するための地表踏査を行うとともに、地下水流路を把握するための1m深地温探査を実施した。それぞれの方法を以下に記す。なお、各種調査結果を記載した平面図は、清水寺から提供を受けた1:500測量平面図である。

### (1) 地表踏査

踏査においては、特に崩壊跡地形や谷地形などの変状地形、樹木の伐根（切り株）、湧水に注目した。

樹木の伐根に注目した理由は、以下に記すとおり、伐根根系が地下水流路形成に関係している可能性を考えたからである。対象斜面では2000年にサクラの一斉植栽が行われたが、植栽に先立って従前に生育していた樹木の大半が伐採され、その伐根が斜面に残存している。樹木伐採と斜面安定の関係についての知見として、人工一斉林における更新の後、20年経過後までの斜面の崩壊発生率が高いという統計的研究<sup>5)</sup>がある。その理由として、伐採後の伐根の根系強度低下と、新たに植栽された苗木の根系強度増大との和が極小にな

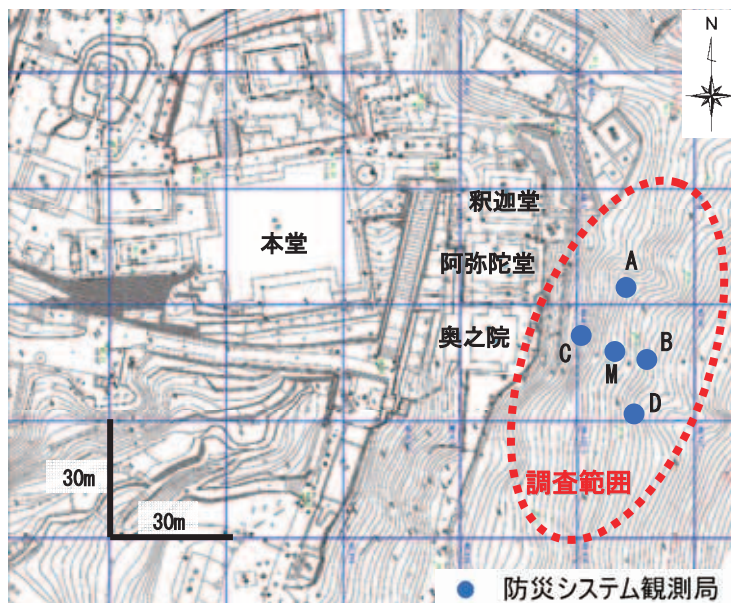


図1 調査地周辺平面図

る時期が伐採・新植後10～15年であるからという説が、実験的に示されている<sup>6)</sup>。ここで、筆者らは20年経過後までの斜面崩壊発生率が高い理由として、上述の根系強度の変化に加えて、伐根の根系が腐朽することにより地盤内に空隙ができ、それが地下水流路を形成して斜面の安定性に影響を及ぼしている可能性もあるのではないかと<sup>7)</sup>と考え、伐採・新植後10年が経過した対象斜面において、伐根の分布と地下水流路との比較を試みることにした。調査では伐根の分布箇所のみを記録し、大きさや腐朽状況については調査しなかった。

## (2) 1m深地温探査

対象斜面地盤内の地下水流路を把握するため、1m深地温探査を実施した。

### a) 原理

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<sup>8)</sup>。

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の地温を複数箇所にて計測したとき、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じっている場合には注意が必要である。

### b) 計測方法

対象斜面において、2009年10月1日と2010年1月22日の2回、1m深地温の計測を実施した。

計測間隔は、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間隔とした。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の範囲で変更している。

計測に先立ち、直径約25mm、深さ1mの孔を掘り、保孔のための塩ビ管（VP16）を挿入して、これを計測孔とした。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。

計測は、先端にサーミスタセンサを備えた棒状の測温体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分間静置した後、温度を読み取った。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2箇所の計測孔に、当日の計測開始から終了まで測温体を静置したまま、開始時と終了時の2回（計測が半日以上にわたった場合は中間の1回を含めた3回）温度を読み取り、日変動がないことを確認した。

また、地温計測後に測温体を計測孔から引き抜く際、測温体先端部に水がついていないかどうかを確認した。先端部が単に濡れているだけではなく、水がしたたるような状態であれば、孔底地盤が飽和状態であった（孔底水があった）と判断して記録した。

なお、1m深地温計測日には、斜面下部の湧水温度も計測した。

## 4. 調査結果

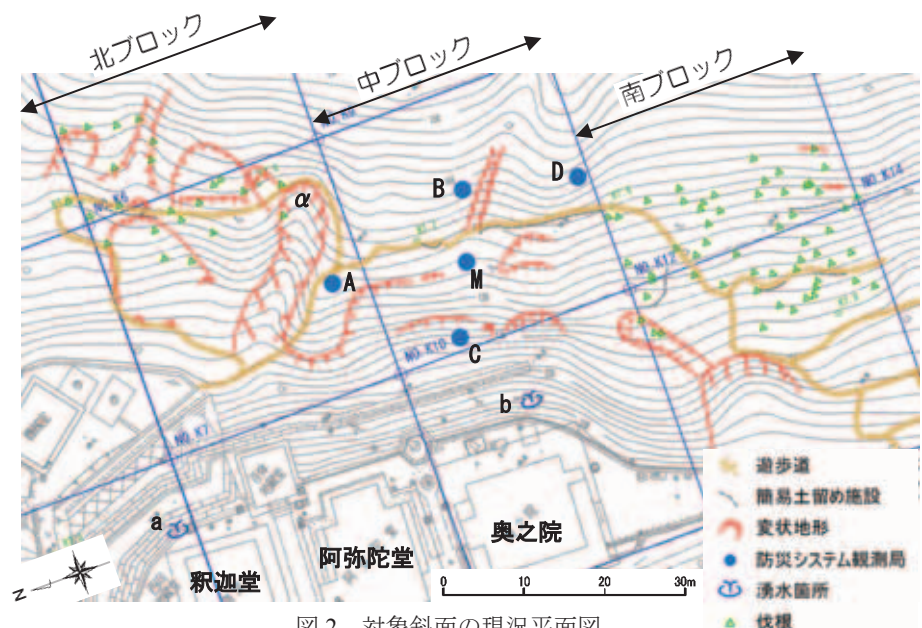


図2 対象斜面の現況平面図  
(伐根分布調査は、北ブロックと南ブロックのみが対象)



## (1) 対象斜面の現況

地表踏査の結果を図2に示す。対象斜面はサクラ植栽地として遊歩道が整備されているが、調査期間中（2009年夏～2010年春）にはサクラの養生などのために拝観客の立ち入りが制限されていた。

対象斜面は、その外観から大まかに3つのブロック（北、中、南）に区分できる。斜面方位は北ブロックが北西向きであるが、中ブロックと南ブロックは西北西～西向きである。

### a) 北ブロック

北ブロックは、表層土壌に落葉等の腐植を多く含み、土壌の湿り気が高かった。ブロック全体に小崩壊跡（高さ0.5～1m、幅1～3m程度）や、古い崩壊跡と考えられる浅く幅の広い凹地形（頭部滑落崖0.5～1m、幅5～10m）が複数認められ、斜面傾斜方向に続く谷地形（深さ1～3m、幅2～5m）も複数存在した。小崩壊跡の多くは遊歩道脇に分布していたことから、遊歩道開設のための切土法面で肌落ちが起こったものが多いと考えられた。2004年の地表踏査にて、ブロック内南側谷地形頭部（図2 α地点）に湧水が確認されていた<sup>9)</sup>が、今回の調査期間中（2009年8月～2010年4月）には、α地点を含めブロック内斜面上で湧水箇所は確認できなかった。斜面植生に関して、ブロックのほぼ全域にサクラが植栽されていたが、ブロック南側の谷地形沿いに若齢のヒノキ（樹高約3m、10年生程度と見られる）が数本あったほか、サクラの中に高さ3m程度の常緑広葉樹が数本散在していた。

### b) 中ブロック

中ブロックも北ブロック同様、全般には表層土壌に落葉等の腐植を多く含み、土壌の湿り気が高かった。特に防災システムC局付近の急崖部分は、晴れた日にも地表面の草本が濡れているような状況だった。一方、ブロック南側（南ブロックとの境界付近）の尾根状範囲の表層土壌には腐植が少なく、角礫（1～10cm角）を多く含み、降雨のないときには乾燥気味であることが多かった。中ブロックの地形については、防災システムM局の北西側に遷急線があり、その上方斜面勾配は30°～40°、下方斜面勾配は50°と下方斜面は急崖となっていた。遷急線肩部付近から下方斜面には、浅い馬蹄形の崩壊跡（頭部滑落崖0.5～1m、幅5～10m）が多数存在した。一方、遷急線より上方斜面の地形は、植生や伐採された枝条に覆われて把握しきれなかった部分があるが、遷急線下方にあるような馬蹄形の崩壊跡は目立たなかった。防災システムB局南側に、斜面上方から続く谷地形（深さ約1m、幅約5m）が存在したが、谷地形は遊歩道を越えた防災システムM局付近では不明瞭となり、遷急線より下方までは連続していなかった。中ブロックの植生については、遊歩道西側に数本のサクラが植栽されている以外、ほぼ全体が常緑広葉樹の中高木に覆われていた。

### c) 南ブロック

南ブロックは、北ブロック同様ほぼ全体がサクラの植栽地であるが、北ブロック、中ブロックと比べて斜面が明るく、表層土壌は常時乾燥気味であった。また斜面表層全体に角礫（1～10cm角）が多数浮いており、林床植生はまばらであった。北ブロック、中ブロックと比べて斜面の起伏は少なく、ブロック北端の谷地形（深さ約1m、幅約4m）とその下部につながる馬蹄形の崩壊跡（滑落崖高さ約5m、幅約10m）およびブロック南東端に複数見られる小滑落崖（高さ1～1.5m、幅1.5～2m）以外に、目立った谷地形や崩壊跡は認められなかった。しかし、斜面の随所に小口丸太と樹脂製ネットからなる簡易土留め柵（高さ0.5～0.7m）や土のうによる土留めが施されており（図2 簡易土留め施設）、表土の移動が激しいのではないかと考えられた。南ブロックの斜面上に、湧水のようなものは全く確認できなかった。

### d) 伐根の分布

対象斜面上の伐根分布は図2に示すとおりであった（ただし、今回は作業の都合上、北ブロックと南ブロックのみを調査対象とした）。伐根の数は北ブロックの23箇所に対して、南ブロックは57箇所と、分布に大きな差があった。北ブロックではサクラの間にサクラ植栽前から存在していたと思われる樹木が若干数だが現存しているのに対して、南ブロックにはサクラの間に他の中高木樹種が混じっていることはなかったことから、南ブロックの方でサクラ植栽前の除伐が徹底しており、その分伐根が多いのではないかと考えられた。なお、全ての伐根が2000年のサクラの一斉植栽時に伐採された樹木のものかどうかの確認はできていない。

### e) 斜面裾部湧水

対象斜面の裾部には2箇所湧水が確認された（図2湧水マークa、b）。

北ブロックの斜面末端に石積擁壁が設けられており、その脚部中央付近の水抜パイプから湧水が認められた（図2 a）。しかし、この湧水は常時流出していたわけではなく、毎週1回程度の頻度で湧水の確認を行っていた2010年1月下旬～2010年4月下旬の期間中、1月下旬～3月初めの期間は流出が確認できなかった。しか

し、2010年3月上旬以降4月までの期間は、週1回の現場入りの都度湧水が確認できた。

中ブロック斜面脚部には、寺内用水として用いられている湧水箇所がある（図2 b）。常時相当量の流出があるということであるが、湧出箇所には用水タンクが設けられており、斜面からの湧出箇所を直接観察することはできなかった。タンクから用水を分配した後の余剰水は奥之院背面に吐出箇所が設けられており、ここで湧水に直接接触することが可能である。後述の1m深地温探査時の湧水温計測は、この吐出箇所にて実施した。

## (2) 1m深地温

対象斜面にて、2009年10月1日（秋計測）と2010年1月22日（冬計測）の2回、1m深地温の計測を実施した。その結果を表1および図3に示す<sup>10)</sup>。

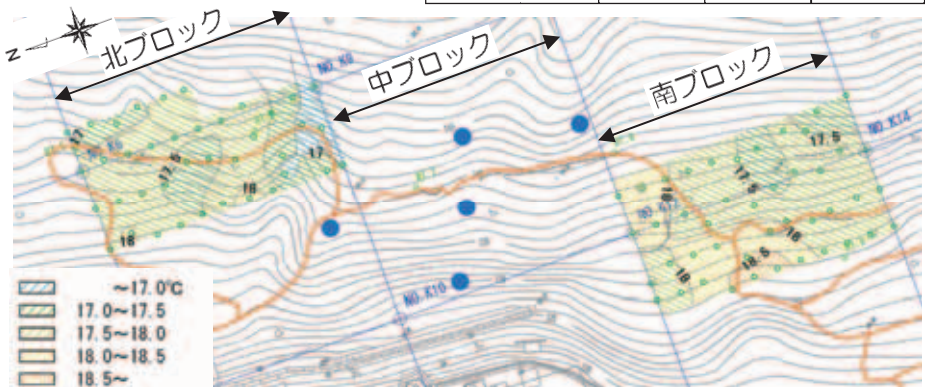
秋計測より冬計測の方が計測箇所数（計測孔数）が多いのは、秋計測の後に中ブロックおよび北ブロックの斜面下部に計測孔を追加したためである。湧水温は、奥之院背面（図2 湧水マークb）の湧水温をポータブル温度計にて計測した。釈迦堂背面の湧水aは、秋冬いずれの計測時にも流出していなかったため、湧水温を計測することができなかった。

1m 深地温の平均値と計測当日の湧水温を比較すると（表1）、秋計測時は平均地温より湧水温が低く、冬計測時は平均地温より湧水温が高かった。1m深地温探査の原理から、秋計測時は周囲より地温の低い部分に、冬計測時は周囲より地温の高い部分に地下水流路があると想定できる。以下、そのように周囲と比べて温度の異なる部分を、温度異常部と称する。

秋計測では、北ブロック南東端部から斜面下方へ向かって帯状の温度異常部が現れた（図3 (a)）。冬計測では、秋計測とほぼ同様に北ブロック南東端部から斜面

表1 1m深地温探査結果一覧

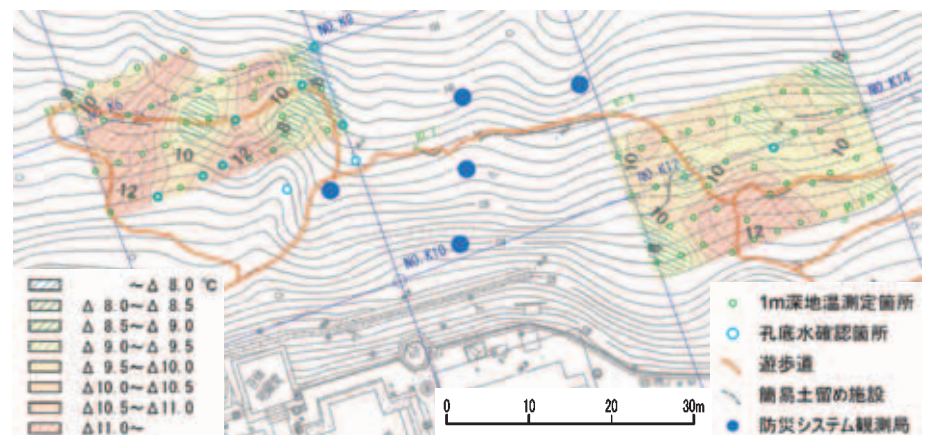
	秋計測 '09年10月1日	冬計測 '10年1月22日	秋計測値と 冬計測値の 差
湧水温(奥之院背面)	16.2 °C	12.3 °C	3.9 °C
平均地温	全体	17.7 °C	10.2 °C
	北ブロック	17.5 °C	7.2 °C
	中ブロック	—	8.5 °C
最高地温 (秋冬差の 最大値)	全体	18.8 °C	10.0 °C
	北ブロック	18.2 °C	9.3 °C
	中ブロック	—	9.7 °C
最低地温 (秋冬差の 最小値)	全体	16.6 °C	5.6 °C
	北ブロック	16.6 °C	5.6 °C
	中ブロック	—	6.5 °C
計測孔数	全体	83	128
	北ブロック	39	51
	中ブロック	—	31
	南ブロック	44	46



(a) 2009年10月1日計測（秋計測）



(b) 2010年1月22日計測（冬計測）



(c) 秋計測値と冬計測値の差

図3 1m深地温計測値 平面コンター図



下方への帯状温度異常部の他、中ブロックの中程と南側に2本、南ブロックの北西端部に1本の帯状温度異常部が認められた(図3(b))。

ここで、北ブロックと南ブロックを比べると、秋計測、冬計測とも南ブロックの方が北ブロックより平均地温で0.5℃程度高く、コンター図にもその差が現れていた。そこで、同一計測孔における秋計測と冬計測の計測地温の差を採ると、北ブロックと南ブロックの平均値の差はほとんどなくなった(表1)。このことから、北ブロックと南ブロックの平均地温の差は、斜面方位の違いにより生じる斜面への日射量の差によるものだったと考えられる。秋計測値と冬計測値との差のコンター図を作成すると、北ブロックと南ブロックの全体的な差は目立たなくなる一方、秋冬計測値の差の小さい部分が帯状に現れ、それらは秋計測、冬計測での温度異常帯と重なった(図3(c))。

冬計測でのみ計測した中ブロックは全体に地温が高い傾向を示したが、中ブロックの斜面方向は北ブロックとほぼ同じ北西向きであり、また冬期にも常緑樹で斜面への日射量が遮られていることから、日射量の影響は少ないと考えられる。

1m深地温計測の際、計測孔の孔底水も確認した。前日に降雨のなかった秋計測では、孔底水は全く確認されなかった(図3(a))が、前日に6mmの降雨を観測した冬計測では、複数箇所で孔底水が確認された(図3(b))。

## 5. 考察

### (1) 温度異常帯と湧水

1m深地温の冬計測結果と斜面裾部の湧水箇所の位置関係(図4)を見ると、北ブロック南側の温度異常帯①の延長線上に湧水aがあり、中ブロック南側の温度異常帯②の延長線上には湧水bがある。また、①とほぼ重なる谷地形の頭部では、2004年の踏査で湧水が確認されていた<sup>9)</sup>。これらのことから、温度異常帯①および②には地下水流路が存在するのではないかと考えられる。特に温度異常帯②が大きな幅(約10m)を有していることは、寺内用水として利用できるほどの豊富な地下水流量や大きな流路を反映しているのではないかと考えられる。

帯状の温度異常部は、①、②以外にも、中ブロックの③、中ブロックから南ブロックへ抜ける④が認められる。また、北ブロックの⑤も、周辺との温度差が比較的小さいものの斜面傾斜方向に連続する温度異常帯となっており、これら③、④、⑤も地下水流路を示すものである可能性が考えられる。しかし、これらの温度異常帯上およびその延長線上では、③の延長線上である防災システムC局付近の急崖に非常に水分の多い箇所が認められた以外、湧水等の確認はできていない。これは、地下水流路が比較的深く、調査対象斜面内で地表に水が現れない、等の理由が考えられる。

なお、秋計測より冬計測の方で温度異常部が多く認められたことについては、秋計測の湧水温と平均地温の差が1.5℃程度だったのに対して、冬計測は差が6℃以上あり(表1)、そのために冬計測の方が流動地下水温の影響が顕著に現れたのではないかと考えられる。

### (2) 温度異常帯と地形

1m深地温の冬計測結果と斜面斜面上の変状地形を重ねると(図4)、地下水流路と想定した温度異常帯と変状地形の多くが重なっていることが見て取れる。温度異常帯①、③、④は、谷地形とほぼ一致している。また、②と⑤は谷地形とは重なっていないが、温度異常帯上ないしその延長線上に馬蹄形の浅い崩壊跡が存在

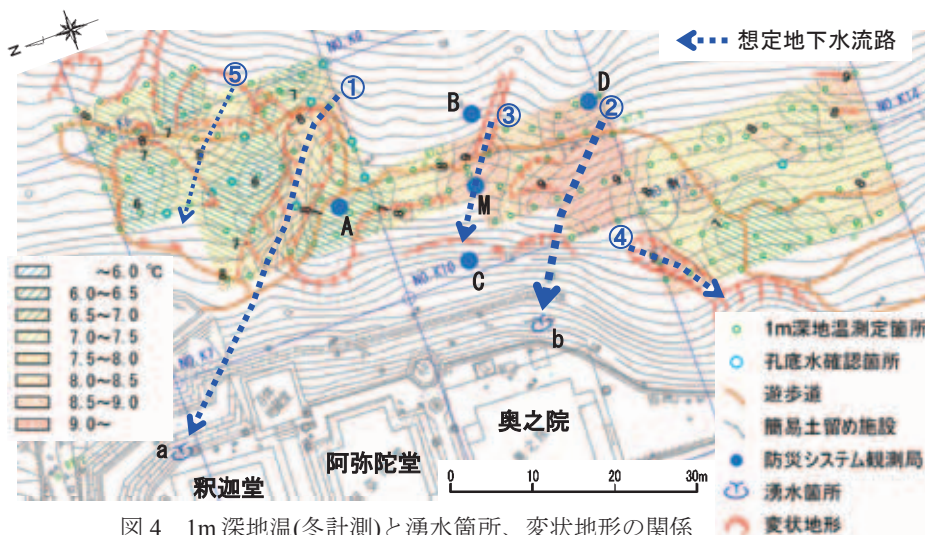


図4 1m深地温(冬計測)と湧水箇所、変状地形の関係

する。

しかし、①は谷地形頭部より上方にも温度異常帯が続いており、③は谷地形が遊歩道下部でとぎれているのに温度異常帯は遊歩道下部まで続いている。北ブロック北東端付近では、谷地形があるのに帯状の温度異常帯が認められない箇所があり、馬蹄形の崩壊跡地形は温度異常帯以外の箇所にも複数存在する。

このように、地下水流路と想定した温度異常帯と斜面上の変状地形の対応は必ずしも1対1ではないながら、温度異常帯と変状地形（この対象斜面では特に、谷地形）には何らかの関連性があると考えられる。

もし、温度異常帯が地下水流路の平面投影であるとすれば、地下水流路における地下水流が斜面地盤の土質構造を変化させ、それが変状地形形成の要因の一つになっているのではないかと考えられる。従来より斜面崩壊発生において地中に存在するパイプ状の粗大孔隙が大きな影響を与えているという指摘がある<sup>11)</sup>。また、斜面地盤における地下水流路（パイプ流）への細粒土流出（地下浸食）が斜面の陥没等地形変化の要因となる可能性の指摘<sup>12)</sup>や、対象斜面表層に分布する崩積土層と類似した比較的粒径幅の広い土石流堆積物層や扇状地堆積物層において発生する地盤陥没が、地下水流による細粒分洗い出しを起因としているという報告<sup>13)</sup>などがある。

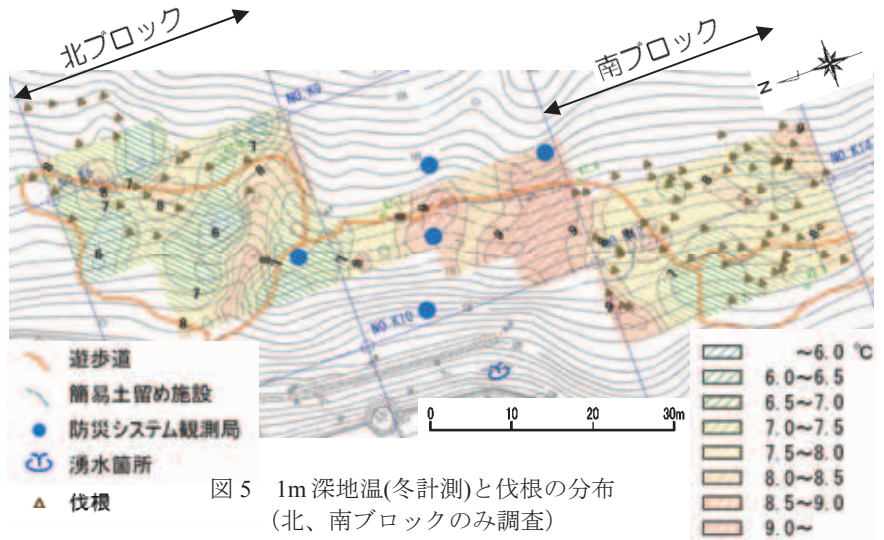


図5 1m深地温(冬計測)と伐根の分布 (北、南ブロックのみ調査)

表2 伐根箇所の1m深地温 (冬計測、単位: °C)

	伐根分布箇所平均	ブロック全体平均
北ブロック	7.4	7.2
南ブロック	7.7	7.8

### (3) 温度異常帯と伐根分布

1m深地温の冬計測結果と斜面上の伐根分布を図5に示す（ただし、伐根分布調査範囲は北ブロック、南ブロックのみ）。伐根分布箇所の1m深地温の平均値を求め、ブロック全体の平均値と比較したところ、伐根分布箇所の地温はブロック全体の平均とほとんど差が見られない（表2）。また、温度異常帯が多数存在する北ブロックよりも、温度異常帯がほとんど確認できなかった南ブロックのほうが伐根分布数が多い。このように、今回の調査からは、伐根の分布と温度異常帯との関係は認められない。

温度異常帯が地下水流路の平面投影であると考えた場合、地下水流路と伐根分布には関連性がないのだろうか？ 3章で述べたような根系腐朽による地下水流路の形成には時間がかかるため、今後伐根の腐朽による新たな地下水流路形成が起こる可能性が考えられる。また樹木根系はその大部分が地表から深さ30cmまでの間に集中して分布しているという知見<sup>14)</sup>があることから、伐根等の根系腐朽によって形成されるのは、後述する1m深地温探査での把握が困難な地盤のごく表層部の一時的な地下水流路である可能性も考えられる。したがって、伐根の分布と地下水流路の関係については、より長期的かつ多面的な検討が必要と考えられる。

### (4) 1m深地温と関連性が認められない地下水の存在

前日に降雨がなかった秋計測では、孔底水は確認されなかったが、前日に降雨のあった冬計測では、複数箇所孔底水が確認された。しかし、その分布に温度異常帯との関連性は認められなかった（図3 (b)）。

また、防災システム観測局Aでは冬計測前日の降雨時、一時的に飽和状態が発生した（図6）が、A局は1m深地温探査における温

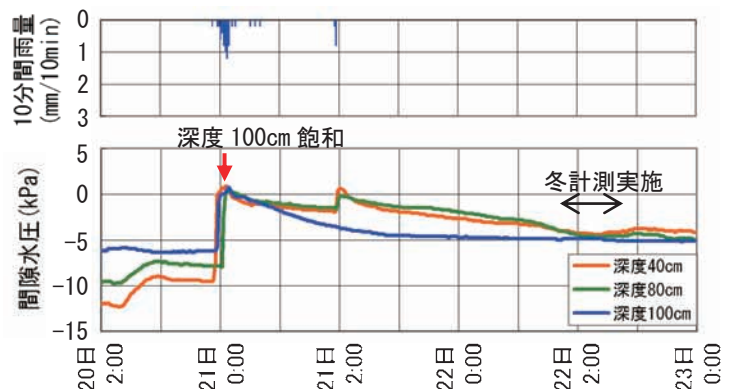


図6 降雨時のA局地中間隙水圧変動 (2010年1月20日～22日)



度異常帯の外に位置しており（図4）、1m深地温計測時には間隙水圧が低下して不飽和状態となっていた。

これら、1m深地温探査において地下水流路と想定されない場所で地下水が確認されたことについて、地下水の流量や流速が小さい場合、地下水温が地温に影響するよりむしろ地下水温がその場所の地温になじんでしまうことが指摘されており<sup>8)</sup>、上述の孔底水やA局の飽和間隙水も一時的な出現のために地温への影響をほとんど及ぼしていなかったのではないかと考えられる。

このような一時的に出現する地下水についても、実際に1m深地温との関連性がないのか、またその挙動や斜面安定性との関連性など、詳しい検証が必要と考えている。

## 6. 結論と今後の課題

調査対象斜面である清水寺文化財建造物の後背斜面地盤には、斜面傾斜方向にほぼ沿った1m深地温の異常帯が複数存在している。これらの温度異常帯は地下水流路であるのではないかと考えられ、またその分布は斜面上の変状地形（崩壊跡や谷地形）と何らかの関係を有していると考えられる。

今後の課題としては、下記のようなことが挙げられる。

- (1) 1m深地温探査で得られた温度異常帯に地下水流路が存在することの実証
- (2) 地下水流路が変状地形の形成におよぼす影響とその機構の解明

これらの課題に取り組み、斜面地盤の地下水と斜面安定性との関係を解明することにより、文化遺産に関わる地下水その他の「恩恵」を損ねずに文化遺産を土砂災害という「厄災」から護るための方策を見いだしたいと考えている。

**謝辞：**本稿で報告した現地調査にあたって、清水寺関係者の皆様には、境内の詳細な測量平面図を提供いただいたとともに、境内への立ち入りにご理解をいただいた。1m深地温探査の開発者でもある自然地下水研究所 竹内篤雄氏には、測温機器の貸与、実地での1m深地温探査方法のご指導をはじめとして、多大なるご指導、ご協力を賜った。深川研究室の学生有志（2009年度在籍）には、機器設置等に関して多大な協力をいただいた。ここに謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ23、豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測、2006。
- 2) 国土交通省河川局砂防部 監修：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例、(社)全国治水砂防協会、2007。
- 3) 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。
- 4) 里見知昭・酒匂一成・石田優子・安川郁夫・深川良一：降雨時斜面の崩壊危険度評価における現地計測システムの効率化—京都市東山区の重要文化財後背斜面を対象として—、歴史都市防災論文集、Vol.3, pp.115-120, 2009。
- 5) 小橋澄治：現代の林学8、山地保全学、文永堂出版、1993。
- 6) 秋谷孝一：豪雨時における自然斜面の安定（崩壊の素因としての植生特に森林）、豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム論文集、土質工学会、pp.33-38, 1978。
- 7) 塚本良則：森林・水・土の保全—湿潤変動帯の水文地形学—、朝倉書店、1998。
- 8) 竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法、古今書院、1996。
- 9) 岩崎賢一・藤井康弘・酒匂一成・仲矢順子・安川郁夫・深川良一：降雨時斜面崩壊予測のための現地モニタリングシステム、第40回地盤工学研究発表会講演集、pp.2383-2384, 2005。
- 10) 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 平成22年度発表講演集、2010。（投稿中）
- 11) 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴 編：水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—、古今書院、1996。
- 12) 寺嶋智巳：0次谷谷頭凹地におけるパイプ流に影響された水および土砂の流出、地形、第23巻、第4号、pp. 511-535, 2002。
- 13) 久野春彦・小早川博亮・塩竈裕三・末永弘：未固結地盤陥没メカニズムの検証、地盤工学会誌、Vol.57, No.9, pp.10-13, 2009。
- 14) 佐藤大七郎・堤利夫：樹木—形態と機能—、文永堂、1978。