

## 清水寺敷地内斜面における地盤調査結果

Results of ground survey at Kiyomizu temple slope

酒匂一成<sup>1</sup>・深川良一<sup>2</sup>・安川郁夫<sup>3</sup>・里見知昭<sup>4</sup>

Kazunari Sako, Ryoichi Fukagawa, Ikuo Yasukawa and Tomoaki Satomi

Bui Hong Ha<sup>5</sup>・仲矢順子<sup>4</sup>

Bui Hong Ha and Junko Nakaya

<sup>1</sup>立命館大学准教授 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, Groval innovation resurch organization

<sup>2</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

<sup>3</sup>立命館大学客員研究員 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Fellow, Ritsumeikan University, Reserch Organization of science & Engineering

<sup>4</sup>立命館大学大学院 理工学研究科総合理工学専攻 博士後期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

<sup>5</sup>立命館大学ポストドクトラルフェロー 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Postdoctoral Fellow, Ritsumeikan University, Reserch Organization of science & Engineering

The purpose of our foregoing research is to construct a real time slope disaster prevention system to protect human lives, infrastructures and heritages using field measured data, in-situ tests, laboratory tests, and numerical models. Thus, we have studied mechanisms of slope failures due to rainfall and earthquake at Kiyomizu-dera's slope. Accordingly, it is important to determine some input parameters in order to calculate the slope stability. Therefore, standard penetration test, knocking pole tests and laboratory soil tests were carried out at this slope. In this paper, results of ground survey will be shown., and the soil properties of Kiyomizu temple slope will be described.

**Key Words :** Slope, Penetraton test, Soil test

### 1. はじめに

京都盆地周辺の山腹・山麓には、世界文化遺産をはじめ数多くの重要な文化財が集積している。これらの文化遺産は、これまでに火災、地震、降雨、風などによって幾度も被害を受けてきている。これらの重要文化財は代替性がなく、また、現在の社会・経済状況を考慮すると被災後の重要文化財の修復を行うことは、容易でないことが予想される。したがって、これらの文化遺産を将来に亘って保全するためには、自然災害に対する防災システムの確立が必要である。著者らは、これまでに清水寺敷地内において降雨時の表層すべり型崩壊に対する防災システムの提案および地震時の斜面の安定性評価について取り組んできている<sup>1)</sup>。降雨時および地震時の斜面の安定性を定量的に評価するためには、地盤調査による入力パラメータの設定を行う必要がある。そこで、図1に示す清水寺敷地内の2地点の斜面において地盤調査を実施した。調査地点1は、奥之院（重要文化財）の後背斜面であり、室内土質試験および簡易貫入試験を実施している。また、ここではテンシオメータや雨量計などの現地計測システムを設置している<sup>2)</sup>。調査地点2は、本堂前の谷地形部の法

面において標準貫入試験および地盤変位および地下水位の計測を実施している。本論文では、それぞれの調査地点における2004年7～8月の地盤調査結果をまとめ、その考察を行う。

## 2. 地盤調査結果

### (1) 調査地点1

調査地点1は、奥之院（重要文化財）の後背斜面である。周辺の斜面では、昭和49年、平成11年に大雨による斜面崩壊が発生しており、テンシオメータおよび雨量計を中心とした現地モニタリングシステムを設置している。調査地点1では、モニタリングシステムを設置するにあたり、簡易貫入試験や室内土質試験を実施した。以下に、試験結果を示す。

図2に計測地点1の断面図および簡易貫入試験結果を示す。今回、対象斜面において4箇所での簡易貫入試験を行っており、その結果をもとに基盤面を推定した。地表面から想定基盤面までの深さは、約90～200cmであった。計測位置付近においては、約120cm程度と推定される。

写真1に現地計測システム設置位置付近における試料採取の状況を示す。掘削状況から斜面の土質を考察すると、表層から深さ20cmまでは、表土に近く有機質土であった。深さ40cm～50cm付近は、チャートが風化した土に有機質が混じっており、深さ45cm前後で土の色が変化した。深さ45cm以浅は黒色で有機質土だが、45cmより深い部分は茶色の粘土質の土が現れた。また、深さ70cmを境にして土の色が濃くなっていった。深さ70cm以深の土は、粘性が強く、水分量も他の深さの土よりも多く感じた。深さ110cm～120cm前後で大きな風化されていないチャート礫にぶつかり、こ



写真1 孔壁の状況 (深さ 110cm)

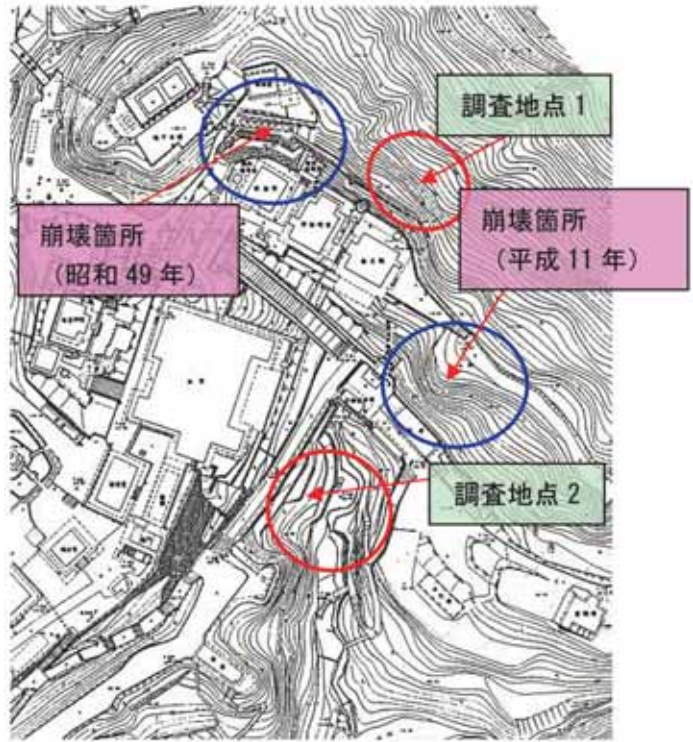


図1 清水寺敷地内における地盤調査地点

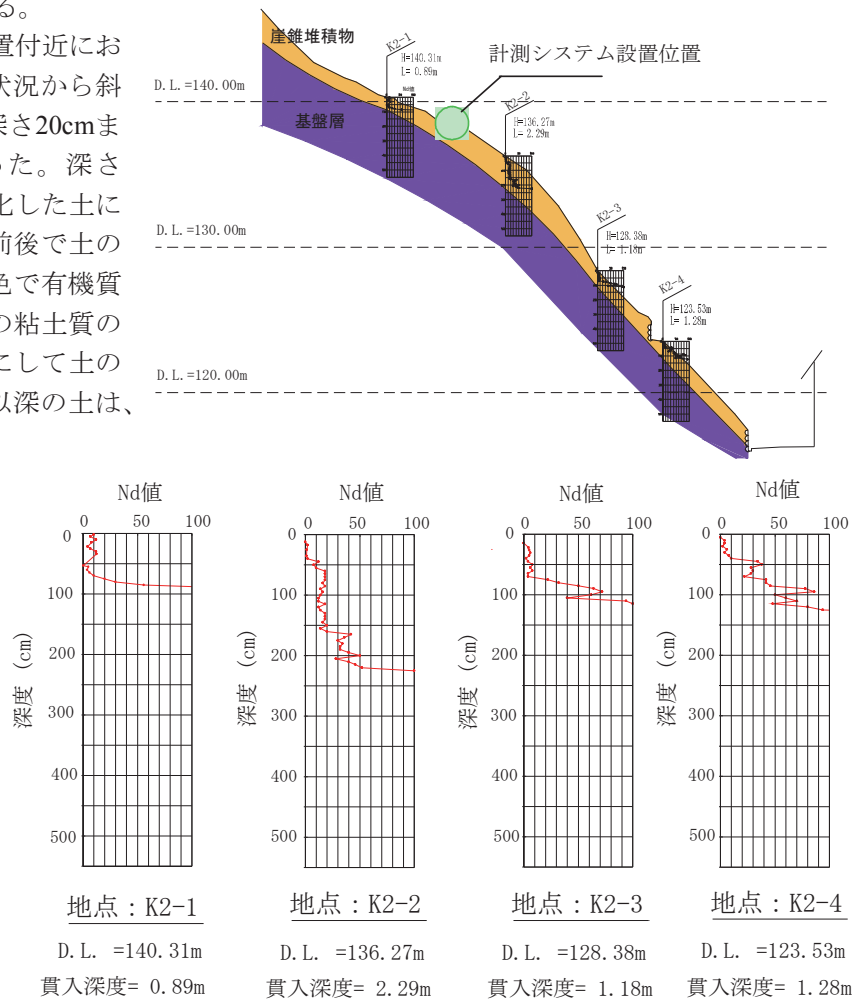


図2 地質断面図および計測位置

れ以上は掘れなくなつた。このような掘削時の土層の状況は、図2に示す簡易貫入試験の試験結果（K2-2地点）と対応していることがわかる。

表 1 室内土質試験結果 1

試料深さ (cm)	0 (表土)	20	40	50	60	80	110
含水比w(%)	38.1	20.6	19.3	18.4	19.2	20.5	20.6
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.36	2.41	2.56	2.61	2.60	2.63	2.66
湿潤密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.79	0.93	1.34	1.58	1.82	1.75	1.84
間隙比e	5.10	2.13	1.28	0.95	0.70	0.81	0.74
飽和度Sr(%)	16.9	23.4	38.8	50.5	71.5	66.8	74.0

次に、表土、50、80、110cmの深さにおける土試料を採取し、室内土質試験（土粒子密度試験、粒度試験等、全10種類）を行った。表1、2に室内土質試験結果を示す。表1より表土の含水比が高いことが分かる。これは、台風23号による豪雨後の2004年10月22日に試料採取を行ったためと考えられる。表1、2より表土と深さ20cmの土は土粒子密度の値が小さく、湿潤密度が低いことに加えて表土の液性限界の値が高いので有機質分の割合が多い土と考えられる。そのため間隙比もそれぞれ大きくなり、緩く軟弱な土と判明した。透水係数については、深くなるにつれ小さくなっていることがわかる。また、深さ110cmについては、定常浸透試験の適用範囲外であったことから、さらに小さな値（ $10^{-6}$ cm/sec）程度を示すと考えられる。

図3は粒径加積曲線を示しており、図より全ての深さで粒径幅の広い試料ということが分かる。また深さ50、80、110cmは、細粒分を多く含んだ土と分かり、同じような粒度を示した。各深さを日本統一土質分類法で分類すると、表土は細粒分質砂質礫、深さ50cmはシルト（礫まじり砂質細粒土）、深さ80cmは粘土（砂礫質細粒土）、深さ110cmは粘土（砂礫質細粒土）となり、深さ50、80、110cmの土は、集中豪雨

などによる法面崩壊・侵食を生じやすい材料を多く含む土であることが判明した<sup>3)</sup>。

また、図4に保水性試験の結果を示す。図4より、各水分特性曲線は、シルトや粘土などの細粒土に見られるような非常に高い保水性を示していることがわかる。

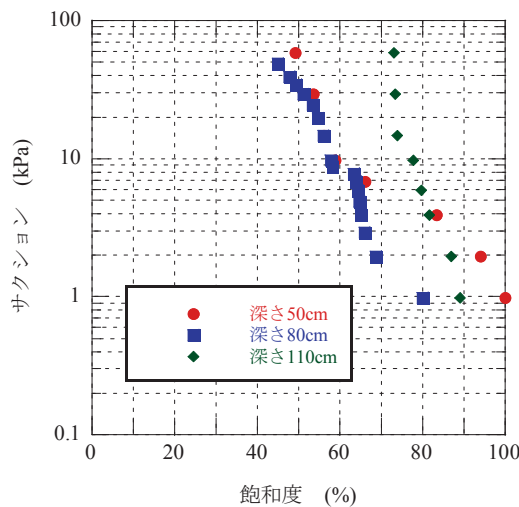


図4 水分特性曲線

表 2 室内土質試験結果 2

試料深さ (cm)	0 (表土)	50	80	110
液性限界 $w_L$ (%)	115.0	97.5	47.0	50.0
塑性限界 $w_P$ (%)	NP	NP	17.7	16.8
塑性指数 $I_P$	-	-	29.3	33.2
液性指数 $I_L$	-	-	0.096	0.114
コンシステンシー指数 $I_C$	-	-	0.904	0.886
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	-	1.77	1.70	1.74
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	-	16.5	18.5	18.0
透水試験：実施深さ (cm)	40	50	80	110
透水係数 $k_f$ (cm/s)	$3.1 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-3}$	$6.5 \times 10^{-4}$	-

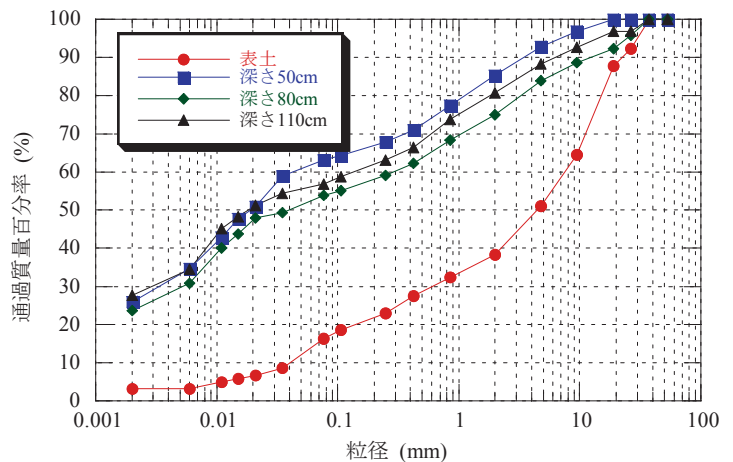


図3 粒径加積曲線

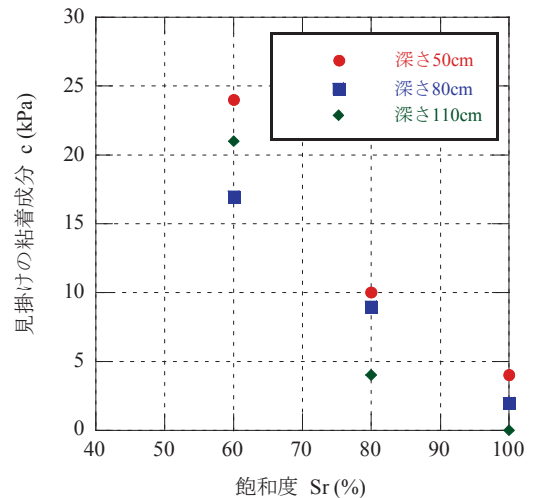


図5 飽和度-見掛けの粘着力関係

図5は、深さ50、80、100cmの試料を用いて低拘束圧（垂直応力20、40、60kPa）下で圧密定圧一面せん断

試験を実施した際に得られた飽和度と見掛けの粘着力の関係を示している。図より、飽和度の増加に伴い見掛けの粘着力が低下していくことがわかる。

図6は、現地計測システムで計測された雨量と間隙水圧の時系列変化である。本計測地点においては、連続雨量が急激に増加する場合に深さ100cmの間隙水圧が急激に変化する現象が見られる。これは、簡易貫入試験結果より、想定基盤層が約120cmであること、深さ110cmの透水係数が小さい値を示すことが予想されることから、上部からの浸透水の影響があるのではないかと考えられる。今後、不飽和・飽和浸透解析や多点計測により、原因の解明を行いたい。

## (2) 調査地点2

写真2に、調査地点2付近の現状を示している。計測地点2は、谷地形となっており、音羽の滝などの水が排水されている。この谷地形の斜面（清水寺側の斜面）には、石積みの擁壁が5段設置されている。本研究では、地質構成、地下水位、斜面の変位を調査するためにボーリング調査、標準貫入試験、水位計やパイプひずみ計の設置を行った。

図7にボーリング調査および簡易貫入試験により得られた調査地点2に地質断面図を示す。また、表3にボーリングコアの観察結果、図8に標準貫入試験によるN値データを示す。ボーリング調査、地表踏査、地質図などの資料調査などから、調査地点2は、大阪層群分布地東端部に位置し、東側直近を断層が通っており、大阪層群の砂礫層で構成されていることが判明した。地層は、20~30°程度の傾斜で京都盆地側に傾い

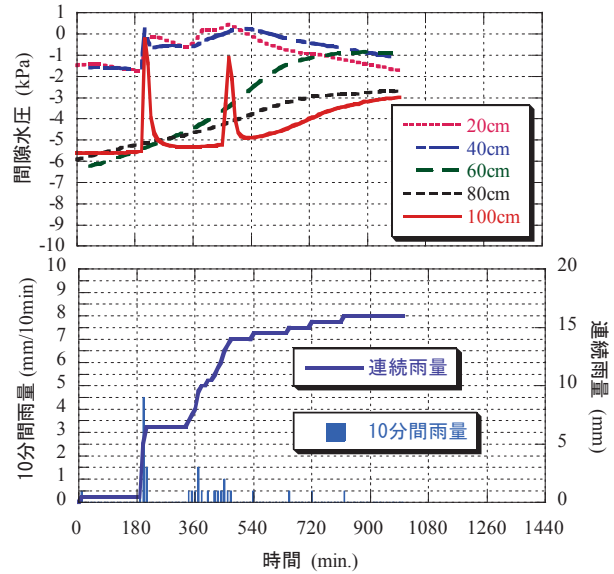


図6 連続雨量が急激に変化する場合の間隙水圧の変化傾向（2004年11月12日）



写真2 調査地点2付近の現状

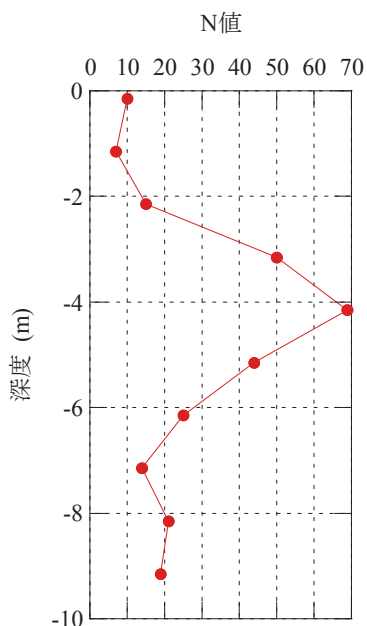


図8 N値データ

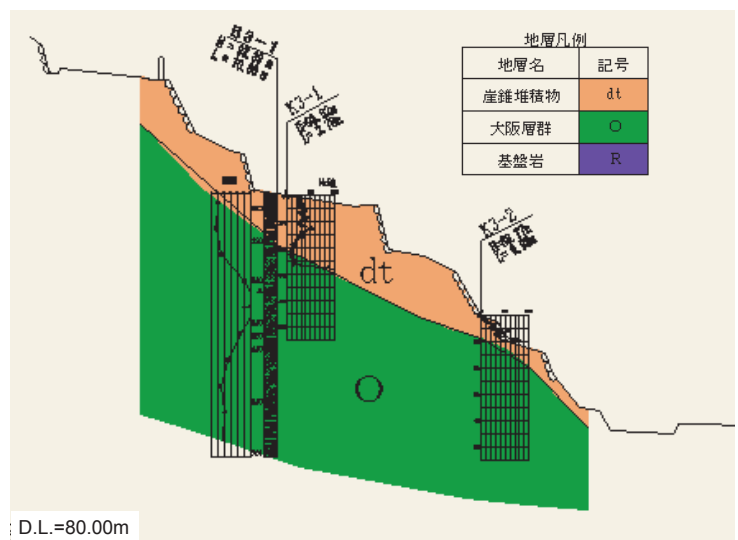


図7 調査地点2の地質断面図

表3 ボーリングコアの観察結果

深度	土質
0.00 ~ 0.65 m	盛土。緩いシルト混じり砂礫。暗褐灰色。
0.65 ~ 1.50 m	崖錐堆積物。乾燥してややかたくなった礫混じり砂質シルト。炭化物の細片を含む。茶灰褐色。
1.50 ~ 1.90 m	大阪層群の砂質粘土。含水量やや少なく、中位のかたさ。均質な土質で、細砂分をかなり含む。褐灰色。深度1.8~1.9m間は砂混じり粘土、含水量多く、軟質。
1.90 ~ 3.40 m	大阪層群のシルト質細砂。かなりシルト分に富み、粗砂~細礫を少し含む。含水量は少ない。帯青暗灰色。
3.40 ~ 5.00 m	大阪層群の礫混じりシルト質細砂。細砂主体で、シルト分がやや多く、砂岩・チャートの礫を交える。所々礫が密集。深度4.2m以下は少し固結しかけている。橙褐~黄灰色
5.00 ~ 5.50 m	大阪層群のシルト質細砂。細粒分がやや多い。含水量やや少ない。黄褐灰色。
5.50 ~ 6.00 m	大阪層群のシルト混じり砂礫。礫が多い。マトリックスはシルト混じり細砂。黄褐灰色。
6.00 ~ 8.00 m	大阪層群の礫混じりシルト質細砂。シルト分が多く、若干の礫を含む。黄褐灰色。しばしば黄灰色の砂質粘土層を挟む。含水量は中位~やや少なく、中位のかたさを示す。層理の傾斜は10°程度。
8.00 ~ 9.90 m	大阪層群の砂質シルト。細砂を多く含む。比較的均質であるが、所々細礫を含む。含水量少なくなかた。帯橙黄褐灰色。深度9m以下、砂分かなり多い。
9.90 ~ 10.00 m	大阪層群の礫混じりシルト質細砂。黄灰色。

て成層しており、断層に近いこともあり、地層の傾斜もやや立っていることがわかった。また、標準貫入試験の結果より、表層の盛土・崖錐堆積物は、N値10以下であり、ルーズであることがわかった。また、大阪層群の地層は、N値は14~25程度であるが、ボーリングコアの観察結果より、マトリックスに細粒分を多く含み、含水量は比較的少なく、少し固結しかけている状況にあり、かなり固いといえる。深度3~6m付近については、礫分に富み、N値40以上を示しており、よく締まった状態にあることがわかった。ボーリング調査の翌日の孔内水位は、G.L.-3.71mであった。

次に、パイプひずみ計および水位計の計測結果について述べる。写真3は、パイプひずみ計および水位計の設置状況を示している。パイプ歪み計は、地すべり面および滑動の状況を把握することを目的として地盤に挿入設置される。歪み計を用いて地中の水平変位を測定する方法は、地盤工学会基準（JGS1731-2003）「地中歪み計を用いた地すべり面測定方法」に規定されている。図9にパイプひずみ計の変形とひずみの関係を示している。図に示すように、パイプの山側の引張変動は正、圧縮変動は負となるようにパイプひずみ計を設置した。図10に各深さの2004年8月2日に計測した値を初期値としたときの累積ひずみを示している。表4にパイプひずみ計で計測された累積ひずみに対する斜面変動の判定方法を示す。図10より、深度-1.5m~-4.5mでは負値を、深度-4.5~-7.5mでは正值を示していることから、深度-4.5mあたりに潜在すべり面の存在が伺えるが、日変動量および月変動量共に $50 \mu \epsilon$ 以下である。表4の判定基準を参考にすると、ほと

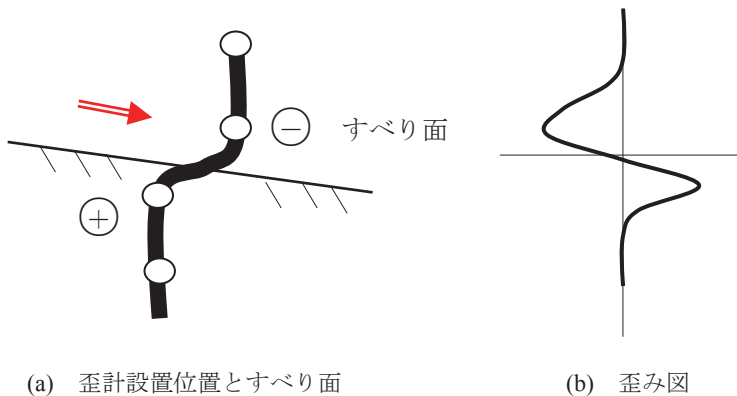


図9 パイプの変形と歪みの発現



写真3 パイプひずみ計・水位計設置状況

表4 歪変動種別一覧表<sup>4)</sup>

変動種別	日変動絶対値 ( $\mu\epsilon$ )	累積変動絶対値 ( $\mu\epsilon$ /月)	変動状態		すべり面存在の地形・地質的可能性	総合判定
			累積傾向	変動状態		
確定変動	$10^2$ 以上	$5 \times 10^3$ 以上	顕著	累積状態	あり	確定すべり面
準確定変動	$10^2$ 以上	$10^3$ 以上	やや顕著	〃	〃	準確定すべり面
潜在変動	$10^2$ 以下	$10^2$ 以上	ややあり	累積	〃	潜在すべり面
				断続		
				攪乱		
				回帰		
異常変動	$10^2$ 以上	$10^3$ 以上	なし	断続	なし	地すべり以外の要因
				攪乱		
				回帰		
				回帰		

んど変動は見られないと判断できる。また、深度-7.5m~-9.5mでは、他地点と比べ累積ひずみが大きくなっているが、日変動量および月変動量共に $100\mu\epsilon$ 以下であることから、ほとんど変動はないと判断できる。

図11は、水位計で計測された約1ヶ月間の水位の変動と雨量の関係を示す。図より、水位は、G.L.-4.5m付近に位置していることがわかる。また、10分間雨量が5mmを超えたときに水位が上昇傾向を示すことがわかる。特に、8月7日の約22mm/10minの降雨の際には、約1m程度水位が急激に上昇していることがわかる。このような激しい降雨を経験しても、図10に示した累積ひずみは顕著な変動を示さなかった。

### 3. おわりに

本論文では、清水寺敷地内の奥之院後背斜面および本堂下の谷地形部において地盤調査を実施した結果を示し、現地モニタリングデータとの比較・検討を行った。結果として、奥之院後背斜面における雨水浸透が地層構成に依存している可能性があることや本堂下の谷地形部の盛土法面の累積ひずみ量が降雨により水位が急激に上昇した場合でも変動がないと判断できるレベルのものであったことがわかった。今後、調査データをもとにした数値シミュレーションを行い、定量的な浸透特性や安定性の評価を実施していきたい。

### 参考文献

- 1) 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.
- 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.
- 3) (社)地盤工学会編: 土質試験の方法と解説(第一回改訂版), 第4編 地盤材料の工学的分類, pp.213-245, 2000.
- 4) 藤原明敏: 地すべりの解析と防止対策, 理工図書, p.222, 1979.

ひずみ ( $\mu\epsilon$ )

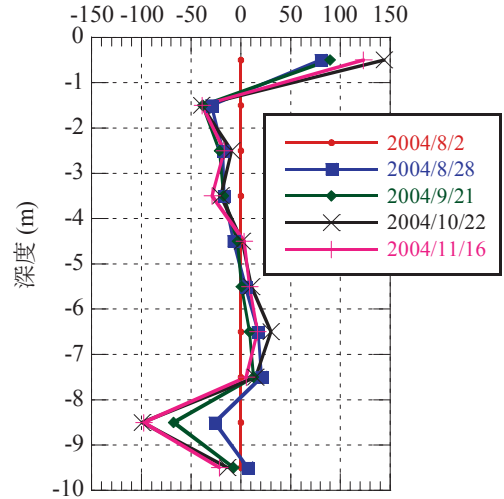


図10 深度-累積ひずみ関係

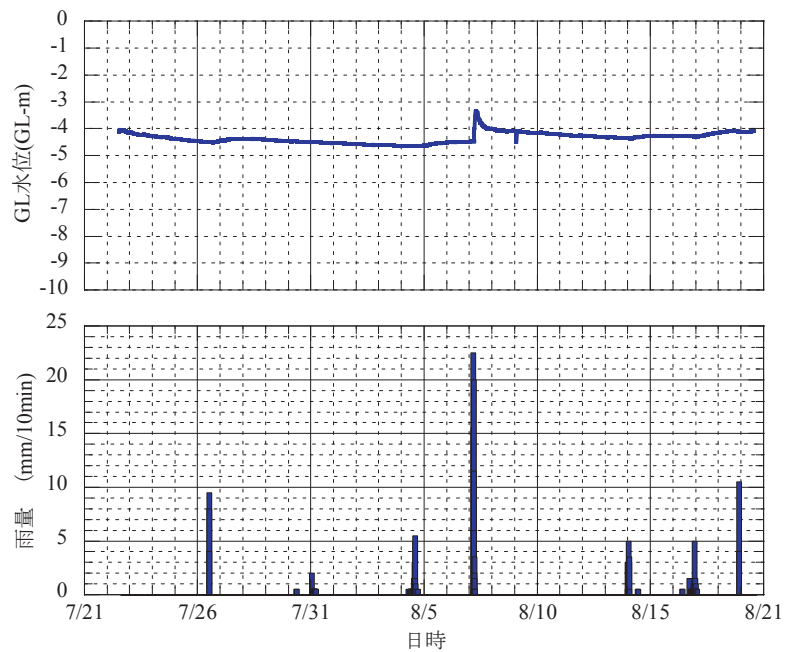


図11 水位の時系列変化(2004年7月~8月)