

# 京都市周辺斜面における崩壊発生予測を意図した 現地斜面モニタリング

## FIELD MONITORING IN ORDER TO PREDICT A SLOPE FAILURE AT A SLOPE ON THE PERIPHERY OF KYOTO

酒匂一成<sup>1</sup>・岩崎賢一<sup>2</sup>・里見知昭<sup>3</sup>・深川良一<sup>4</sup>・安川郁夫<sup>1</sup>

Kazunari SAKO, Kenichi IWASAKI, Tomoaki SATOMI, Ryoichi FUKAGAWA  
and Ikuo YASUKAWA

<sup>1</sup>立命館大学 COE 推進機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail : [kaz-sako@fc.ritsumeikan.ac.jp](mailto:kaz-sako@fc.ritsumeikan.ac.jp)

<sup>2</sup>株式会社奥村組 関西支社 (〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2)

<sup>3</sup>立命館大学 理工学研究科 環境社会工学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

<sup>4</sup>立命館大学 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)

*Key words: field monitoring, rainfall, pore water pressure, slope failure*

### 1. はじめに

京都盆地周辺の山麓・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(図-1)。これらの文化遺産は、これまでに火災、地震、降雨、風などに



図-1 京都市内の重要文化財分布図(文献1)に加筆

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。

一方で、近年、日本各地で梅雨期、台風襲来期の局地的な集中豪雨により、斜面崩壊が多発している。特に、2004年は29個の台風が発生し、そのうち観測史上最多となる10個もの台風が上陸し、神戸、福井、香川、愛媛、新潟や静岡などの日本各地で豪雨災害が発生した。今後も異常気象により豪雨による自然災害が日本各地で起こると考えられる。

本研究では、降雨による斜面崩壊から代替性のない重要文化財および人命(観光客、周辺住民など)を守るための防災システムを確立することを目的としている。

本論文では、降雨時の斜面崩壊に対する防災システムの概要について述べるとともに、京都市周辺斜面における現地斜面モニタリング結果について考察を行う。

### 2. 京都府内での斜面崩壊に関する文献調査結果

京都府内で過去に生じた斜面崩壊の特徴を把握するた

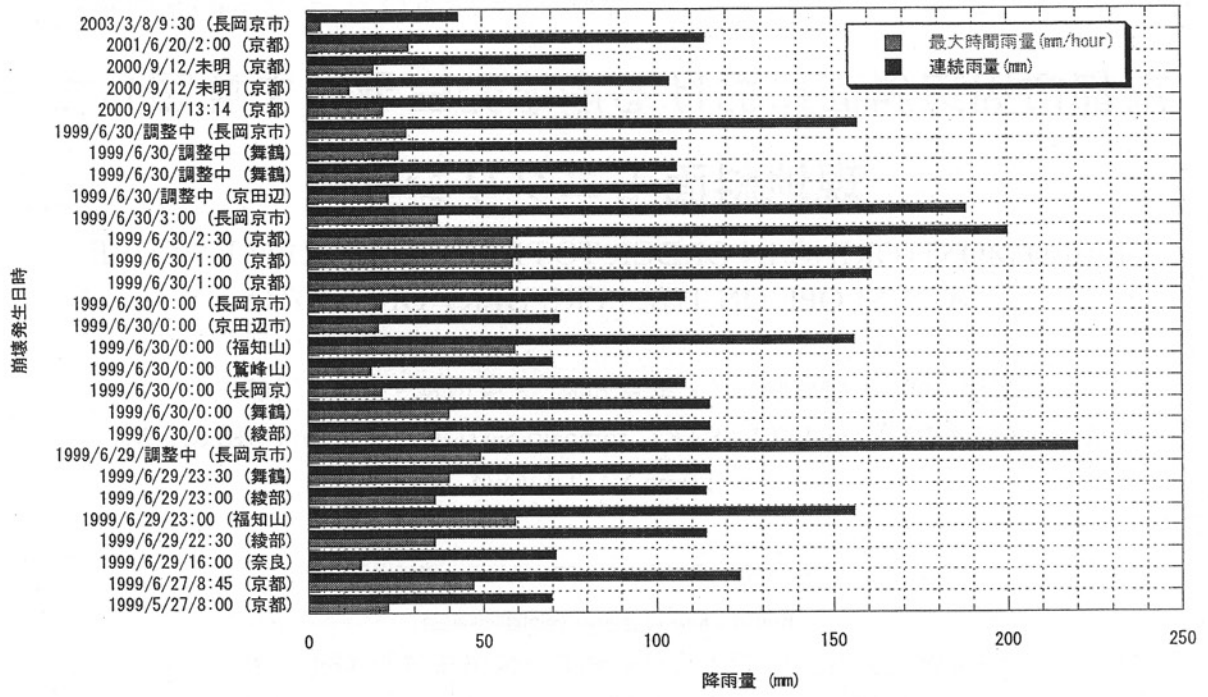


図-2 崩壊発生箇所による雨量

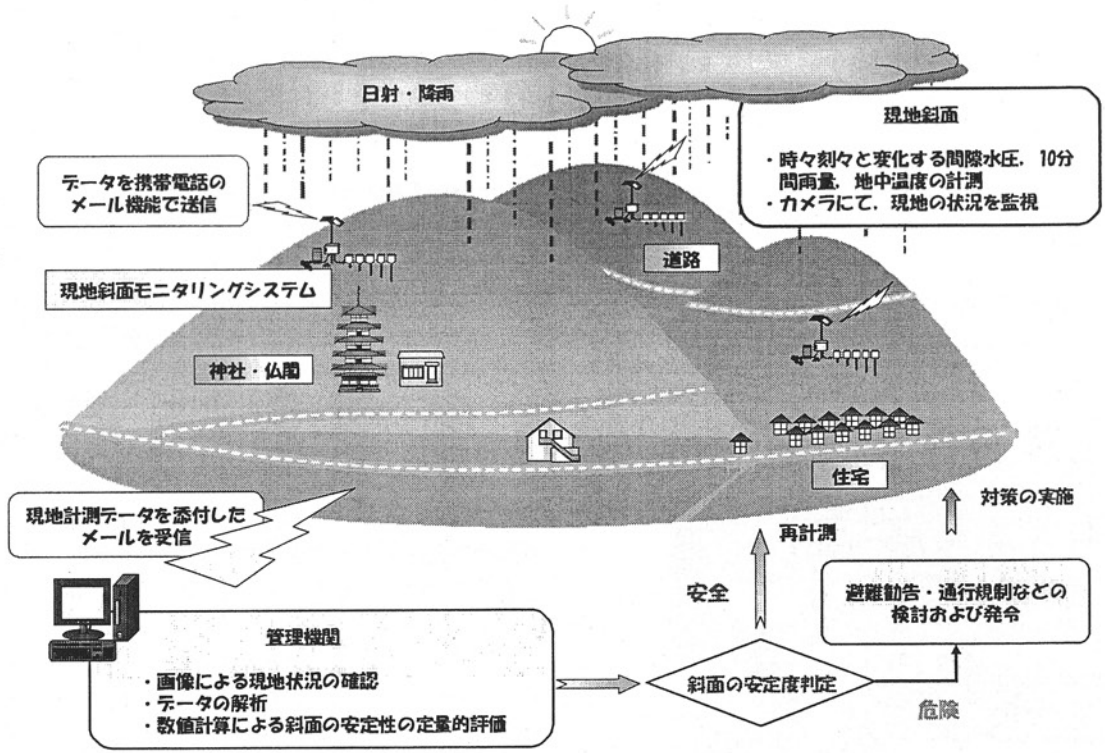


図-3 降雨時の斜面崩壊防止システム

めに行った文献調査結果について述べる。平成10年から14年までの過去5年間に京都府内で起きた斜面崩壊の件数は、土石流:12、地すべり:5、急傾斜地崩壊(崖崩れ):89であった。森ら<sup>2)</sup>や藤井ら<sup>3)</sup>が行った京都市内の神社・

仏閣周辺における斜面崩壊の危険性の検討および平成11年~平成15年に京都で発生した急傾斜地崩壊履歴に関する資料(京都府京都土木事務所、京都市産業観光局農林部林業振興課)に基づいた斜面崩壊現象の考察によ

ると、京都市内の文化財が多く集積している東山山麓周辺において、近年、崩壊が多発している。また、降雨時の斜面崩壊は、すべり厚さ数十 cm～数 m 程度の表層すべり型崩壊がほとんどである。図-2 は、崩壊発生箇所の最寄りの観測所のデータに基づいた最大時間雨量および崩壊発生時刻までの連続雨量を示している。ここで、崩壊時刻が「調整中」となっているデータは、京都府および京都市により報告された急傾斜地崩壊履歴に関する資料にそのように記載されており、崩壊時刻が不明であることを示している。全体に最大時間雨量が 20～30mm/h を超えたり、連続雨量が 100mm に達したりすると崩壊が生じていたことがわかる。

降雨時の斜面崩壊は、雨水の浸透による土塊自重の増加、間隙水圧の増加に伴うせん断強度の低下および地下水上昇に伴う浸透力の増加により生じると定性的にいわれている。そこで、本研究における現地計測では、降雨量や土中の負の間隙水圧の変化の計測に重点をおいた現地計測システムを採用している。

### 3. 降雨時の斜面崩壊防止システム

松尾ら<sup>4)</sup>は、降雨時の斜面崩壊を予知して災害を未然に防ぐことに重点を置き、現地斜面モニタリングシステムと数値シミュレーションを有機的に結びつけることにより構築される防災システムを提案している。予知は、「場所」、「時間」、「規模」を事前に知ることを意味しているが、本システムで目指している予知はその中の時間と規模のみであり、崩壊が予想される危険斜面（場所）を予め特定し、降雨により時々刻々と変化する斜面の安定性を定量的に評価することを目指している。

図-3 は、降雨時の斜面崩壊に対する防災システムの概要を示している。まず、現地斜面において、予め地盤調査および原位置試験により斜面形状や層構成等の把握、試料採取や計測位置の選定を行う。選定された計測位置にテンシオメータ、温度計、転倒ます式雨量計、データロガ、カメラおよび携帯電話からなる現地斜面モニタリングシステムを設置し、時々刻々と変化する地盤内のサクション（本論文では、間隙水圧に換算した。）、地中温度、降雨量および現地画像のデータを得る。それらのデータは、携帯電話のメール機能を利用し、管理事務所などに設置されているコンピュータへ転送される。

一方、管理事務所などでは、現地調査や室内土質試験等から得られたデータと現地モニタリングシステムにより得られたデータをもとに、不飽和・飽和浸透解析や斜面安定解析を行い、降雨時の斜面安定性を定量的に評価する。ここで、危険度が増大した場合は、避難勧告および防災対策を行う。その後、現地モニタリングを継続し、再度斜面安定性を評価し、危険度が減少した場合は避難の解除等を行うことが可能である。防災システムのより

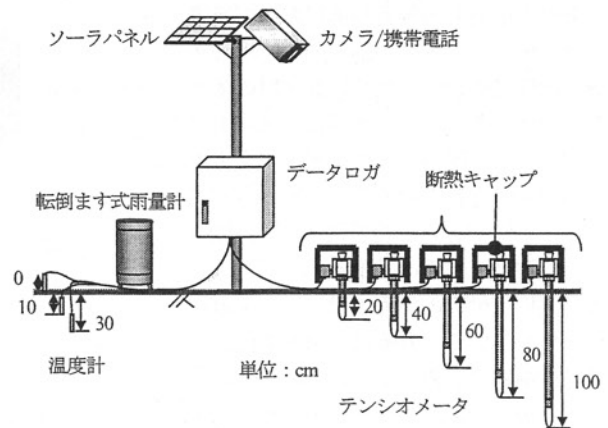


図-4 現地斜面モニタリングシステム概略図

具体的な内容については、参考文献4)を参照されたい。

そこで本研究では、京都市の重要文化財周辺斜面を対象とし、降雨による斜面崩壊から重要文化財および人命（観光客、周辺住民や従業員など）を守るための防災システムを確立することを目的として研究を行っている。

### 4. 現地モニタリングシステム

図-4 は現地斜面モニタリングシステムの概略図を示している。本システムは、テンシオメータ（20, 40, 60, 80, 100cm の深さに計 5 本）、転倒ます式雨量計、温度計（0, 10, 30cm の深さに計 3 本）、データロガ、カメラおよび携帯電話から構成されており、間隙水圧、10 分間雨量、地中温度のデータと現地画像を得ることができる。これらのデータは、データロガに蓄積され 2 時間毎に携帯電話のメール機能を用いて、研究室に送信されている。また、テンシオメータ上部の水タンク部は、テンシオメータの圧力センサが防水加工されていないことと水タンク部に直射日光が当たることによる日周期の変動を抑えることから断熱キャップで覆われている。

本研究では、2004 年 7 月から京都市東山山麓に立地す

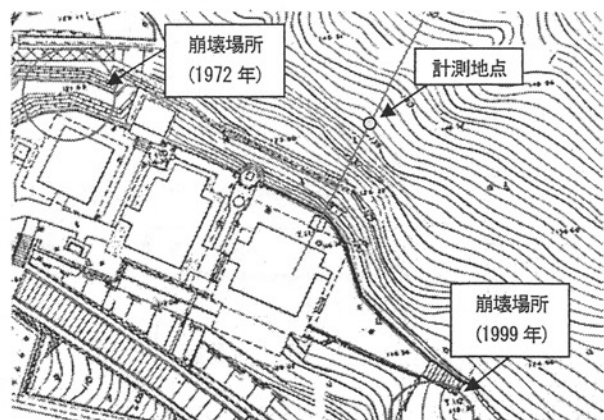


図-5 計測地点の地形図

る重要文化財の一後背斜面において計測を行っている。本来、論文内容を検証可能な状態で提示するために文化財の名称を明記すべきところであるが、文化財の管理者から、現時点では公表を控えてほしい旨示唆されているので、その意向に従うことにする。ご理解頂きたい。図-5は、計測地点付近の地形を示している。本計測地点付近の斜面では、過去に崩壊が発生している。図-6は地質断面図および計測機器の設置位置を示している。今回、対象斜面において4箇所で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。計測位置における地表面から想定基盤面までの深さは、約120cmであった。また、計測位置の土質は、現地試料における粒度試験結果をもとに日本統一土質分類法により分類すると、表土(地表面～深さ40cm)は細粒分質砂質礫、深さ50cm付近の土はシルト(礫まじり砂質細粒土)、深さ80～110cmの土は粘土(砂礫質細粒土)であった。

### 5. 現地モニタリング結果

図-7, 8に現地モニタリング結果(間隙水圧, 10分間雨量および温度の時系列変化)を示す。図-7は、2004年10月、図-8は、2004年11月の結果を示している。図より、降雨に伴い間隙水圧が上昇し、晴天時の無降雨期間に間隙水圧が減少していく様子が見られる。地中温度

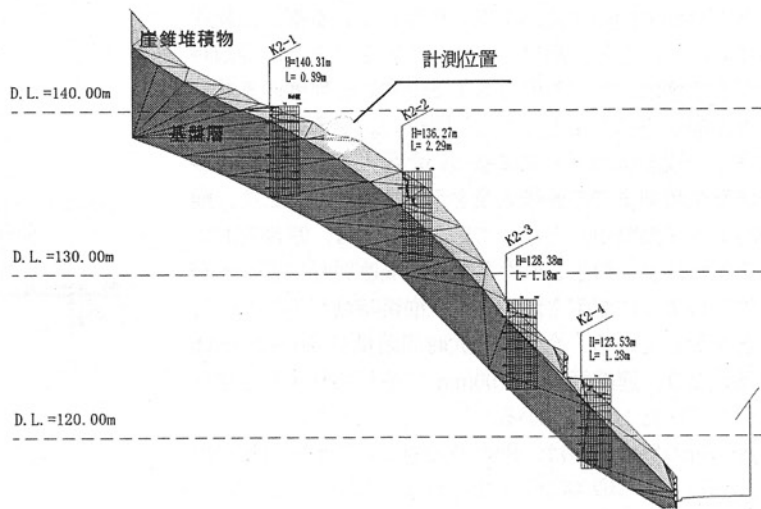


図-6 地質断面図および計測位置

は、深さ0, 10cmにおいて日変化が明瞭に認められる。また、温度の日変化に伴い、間隙水圧が僅かに変化している様子が見られる。10月20日の非常に強い降雨は、関西地域で多くの災害を引き起こした台風23号の影響である。

現地モニタリング結果をまとめると、図-9に示されるように短時間の降雨量が激しい場合(連続雨量が急激に変化する場合には、深さ20, 40cmにおける間隙水圧の上昇後に、深さ100cmにおいて急激な間隙水圧の上昇が見られた。深さ60, 80cmにおいては、間隙水圧の上昇は見られないこと、図-6の地質断面図よりモニタリング設置位置における地表面から想定基盤面までの深さが約120cmであることから、斜面上部で浸透した雨水が

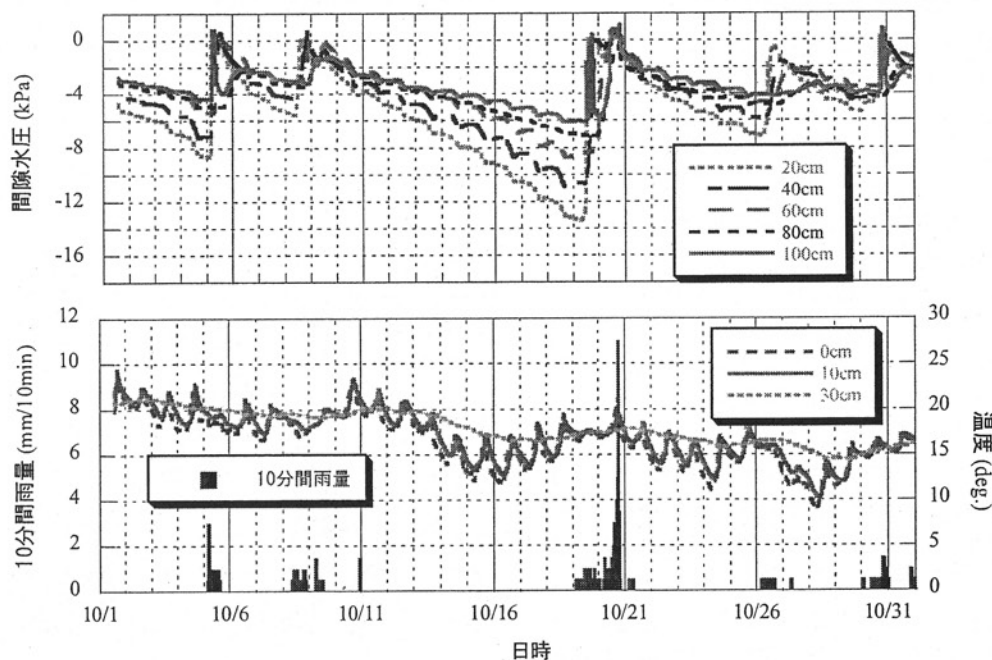


図-7 間隙水圧, 地中温度および10分間雨量の時系列変化(2004年10月)

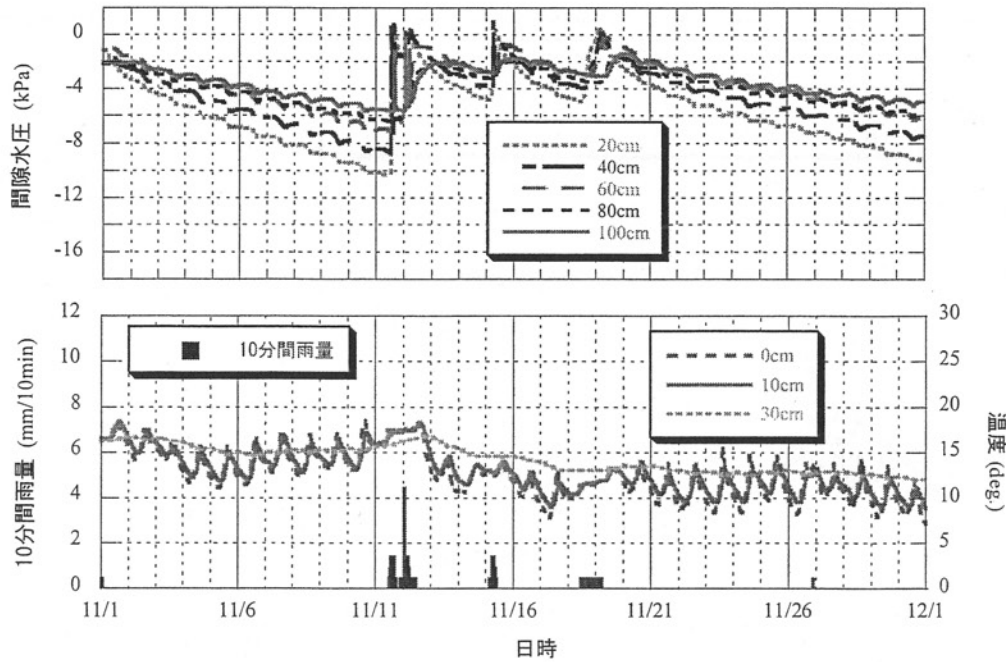


図-8 間隙水圧，地中温度および10分間雨量の時系列変化（2004年11月）

想定基盤面上を流れてきたためではないかと考えられる。一般に斜面内の間隙水圧の増加，特に深い部分の間隙水圧の増加は，安定性の著しい低下を招くと考えられる。よって，斜面内の間隙水圧，特に本対象斜面においては深さ100cm付近の間隙水圧の変化に着目することが重要であると言える。

そこで，本論文では土中の間隙水圧の時系列変化の傾向と降雨パターンとの関係について考察を行う。2004年8月から2005年12月の期間における降雨データに基づいて，連続雨量，最大時間雨量および間隙水圧の変化傾向についてまとめ，これらを図-10に示した。ここで，深さ100cm部分の急激な増加と降雨量との関係を明らかにするために，間隙水圧の変化の傾向を1)▲：間隙水圧の増加が深さ20，40cmの浅い地点のみで生じたデータ，2)■：浅い順に全ての深さで間隙水圧が増加したデータ，3)●：深さ60cm，80cmよりも先に深さ100cmの間隙水圧が増加したデータの3種類に分類した。図より，連続雨量7.0mm以上かつ時間雨量が4.0mm/h以上の場合，深さ20～100cmの全ての深さにおいて間隙水圧の増加が見られ，さらに深さ100cm地点の間隙水圧が急激に増加する現象が生じていることがわかった。

また，1999（平成11）年6月27日に調査地点付近で発生した斜面崩壊時の降雨データ（図-10の◆印）を用いて考察を行った。降雨データは京都地方気象台で計測されたもの<sup>5)</sup>を用いた。京都地方気象台と調査地点の場所の違いによる降雨量の差異や崩壊斜面と調査斜面の違いについては考慮せず，参考値として使用した。崩壊が発生した時刻は午前8時45分頃であり，午前7時から8時までの時間雨量が28mm/h，午前8時から9時までの

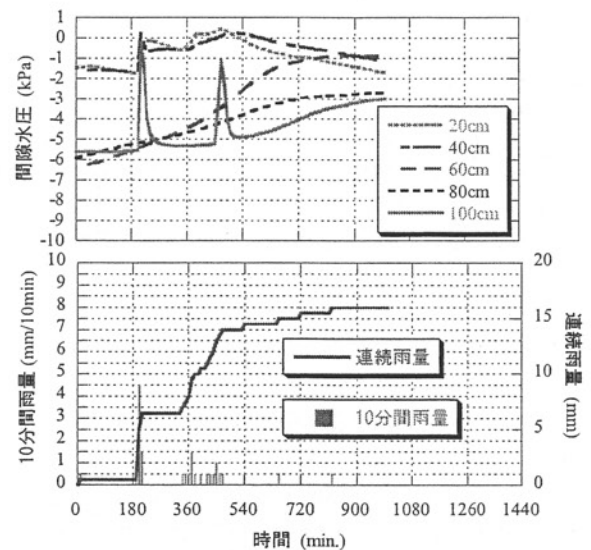


図-9 連続雨量が急激に変化する場合の間隙水圧の変化傾向（2004年11月12日）

時間雨量は47mm/hであった。また，最大時間雨量を記録した時刻までの連続雨量は123.5mmであった。図-10において崩壊時のデータと現地計測結果を比較すると，京都府北部や兵庫県豊岡市に被害をもたらした台風23号による2004年10月20日の降雨が崩壊時のデータに近く，本計測地点でも非常に崩壊の生じやすい状況であったことが推測される。より定量的な考察を行うために，斜面安定解析を試み，その結果を本論文に反映させるべきだと考えるが，文化財の管理者から，斜面安定解析の結果およびそれに関するパラメータの公表は，現時点

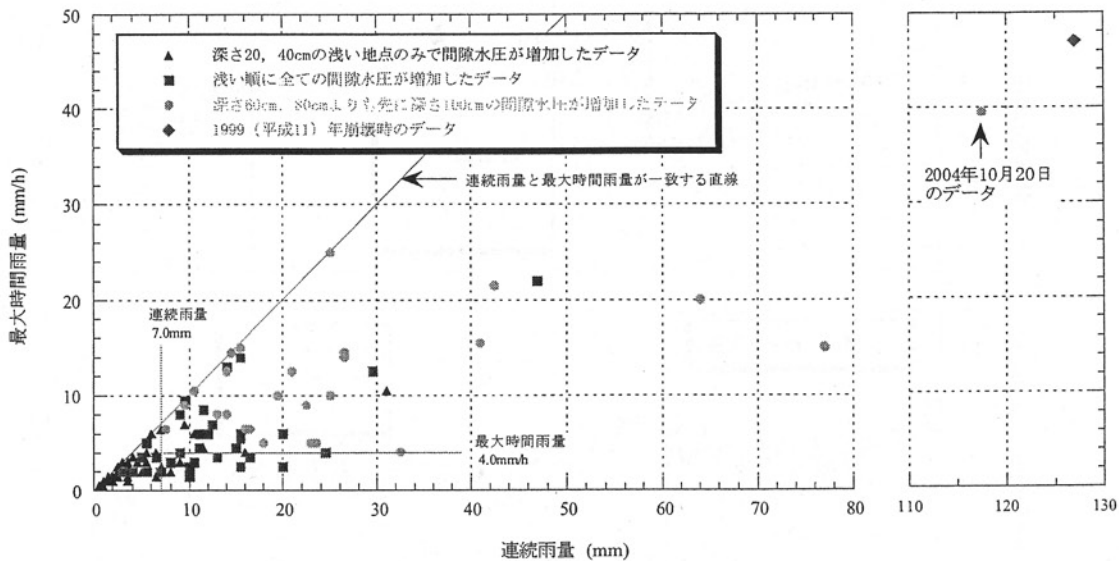


図-10 降雨と間隙水圧の変化傾向の関係 (2004年8月~2005年12月)

では控えてほしい旨示唆されているので、その意向に従うことにする。ご理解頂きたい。

## 6. おわりに

本論文では、降雨時の斜面崩壊に対する防災システムの概要について述べるとともに京都市周辺斜面の重要文化財後背斜面における現地斜面モニタリング結果について考察を行い、土中の間隙水圧の変化傾向と時間雨量および連続雨量の関係について述べた。

現地モニタリング結果から時間雨量 4.0mm 以上かつ連続雨量 7.0mm 以上で地表面から想定基盤面付近まですべての深さで間隙水圧が急激に増加し、さらに想定基盤面付近の間隙水圧が急激に増加する傾向が生じることがわかった。また、計測結果と過去の崩壊記録と比べることにより、連続雨量 100mm、時間雨量 20~30mm/h 以上の降雨を受けると斜面崩壊が起きるのではないかと推測することができた。これらの現地モニタリングシステム結果に基づいて、避難警報を出すことが可能であると言える。しかしながら、現状では、斜面の安定度を正確に把握できない。

そこで、研究対象とする重要文化財周辺における防災対策として、まず上述した現地モニタリング結果を用いてシステムを構築する。その後、数値シミュレーション(不飽和・飽和浸透解析, 斜面安定解析)により、降雨時の斜面の安定性の定量的評価を行い、現地モニタリングシステムと組み合わせることにより精度の高い崩壊予

知システムの構築を行いたいと考えている。

また、調査対象斜面を増やし(システムの多点化)、データを蓄積することにより、敷地内の斜面の安定性を管理することができ、観光客や従業員の避難や斜面の対策工実施の資料として役に立つと考えられる。

今後、より精度の高い防災システムを構築することにより、減災や防災、また重要文化財の保全に貢献できると考えられる。

謝辞：本研究に対して科研費(若手(B), No.17760396, 代表 酒匂一成)の援助をいただいた。また、鹿児島大学北村良介教授には、研究を行うにあたり、貴重なアドバイスをいただいた。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) NPO 災害から文化財を守る会：  
<http://www.bunkaisan.or.jp/bunkazai.htm>.
- 2) 森晋哉, 上石洋輔, 藤井康弘, 深川良一, 酒匂一成：京都市内の神社仏閣周辺における斜面崩壊の危険性の検討, 第59回年次学術講演会講演概要集, pp.721-722, 2004.
- 3) 藤井康弘, 深川良一, 酒匂一成：京都における過去の斜面崩壊現象の考察, 第59回年次学術講演会講演概要集, pp.719-720, 2004.
- 4) 松尾和昌, 酒匂一成, 北村良介：斜面崩壊予知戦略-南九州シラス地帯を例として-, 自然災害科学(日本自然災害学会誌), 第21巻1号, pp.25-33, 2002.
- 5) 気象庁：<http://www.data.kishou.go.jp/etm/index.html>.

(2006. 5. 19 受付)