

光ファイバセンサによる重要文化財後背斜面の地表面変位計測

Ground displacement measurement of a slope behind an important cultural asset
using optical fiber sensors

酒匂一成¹・里見知昭²・深川良一³・仲矢順子⁴・石田優子⁵

Kazunari Sako, Taro Nakagawa, Tomoaki Satomi, Ryoichi Fukagawa, Junko Nakaya, Yuko Ishida

¹立命館大学ポスドク研究員 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
Postdoctoral fellow, Ritsumeikan University, Research Organization of Science and Engineering

³立命館大学大学院 D2 理工学研究科 (〒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

⁵ともえ地盤情報室代表 (大津市北比良1275-20)
Head, Tomoe Geo Info

⁶CF シビル代表 (〒544-0003 大阪市生野区小路東 1-5-2)
Head, CF Civil

The purpose of this research is to investigate a relationship between ground displacement and seepage behavior on slopes. We have set up a filed monitoring system on the slope behind a structure, which is an important cultural asset in July 2004, and pore-water pressure, temperature and rainfall intensity are measured. Moreover, ground displacement is measured using optical fiber sensors. In this paper, monitoring results are explained. And, the influences of rainfall on ground displacement measurement are described.

Key Words: *Ground displacement, Optical fiber sensor, rainfall, pore-water pressure*

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。近年、日本各地で異常気象が頻発しており、降雨や地震による斜面崩壊が生じ、多くの人命や社会資本が失われている。重要文化財については代替性がなく、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わた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、これまでに京都市東山山麓周辺の重要文化財後背斜面において、現地斜面モニタリングおよび数値シミュレーションによる斜面の安定性評価を行うための防災システムの確立に取り組んできている¹⁾。現地モニタリングでは、2004年7月から負の間隙水圧、地中温度、雨量の計測を行ってきており、2006年7月26日からは広域の斜面モニタリングを行うために計測地点の多点化を実施した。さらに、光ファイバセンサ(B-OTDR方式)を設置し、2006年5月26日から斜面の地表面変位の計測を行っている。本論文では、地表面変位の長期計測結果を示し、降雨量と地表面変位の関係について考察を行う。

2. 現地モニタリングシステムの概要

図1に計測地点および多点計測システムの設置位置を示す。図1には、過去の崩壊箇所も示している。また、計測機器設置に先立って測量および簡易貫入試験を行った。図2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。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。

地点Mは、2004年度に計測を開始した地点である。写真1に地点Mの計測システム設置状況を示す。テンシオメータ(20、40、60、80、100cmの深さに計5本)、温度計(10、20、30cmの深さに3本)、転倒ます式雨量計が設置されており、間隙水圧、地中温度、10分間雨量の計測を行っている。増設した計測地点A~Dには、テンシオメータ(40、80、100cmの深さに計3本)、温度計(0、20、40cmの深さに3本)が設置されている。

また、本研究の対象斜面においては、地表面変位を計測するために、光ファイバセンサの設置を行い、2006年5月26日から計測を実施した。今回使用した光ファイバセンサは、B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer) 方式のものである。この方式は、光ファイバ中に発生する変状により散乱光の周波数が変化するという特性を持つブリルアン後方散乱光を検出することにより変位・ひずみの測定を行うものであり、センサ部分に加わる任意の場所のひずみ分布の連続検出が可能である²⁾。これまでも加藤ら³⁾、古谷ら⁴⁾により現地斜面の監視手法の確立を目指した研究の中で用いられている。図2中のB、M、C地点に沿う測線に、1スパン5mの光ファイバセンサが計5スパン(地点Mよ

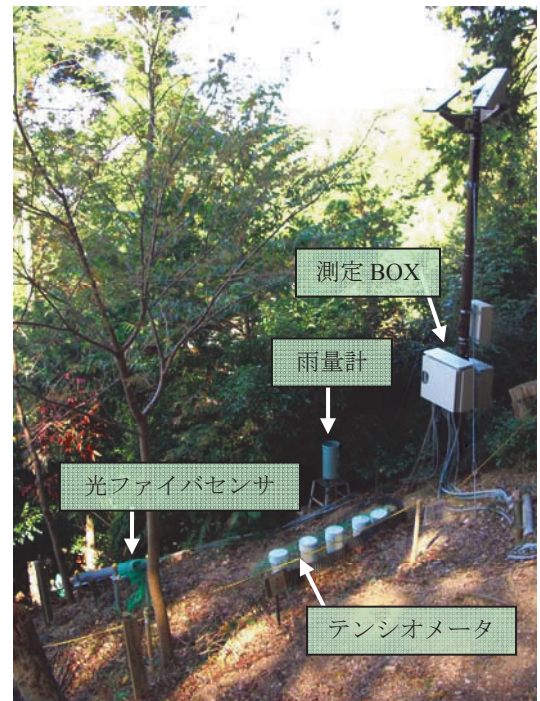


写真1 計測機器設置状況 (M地点)

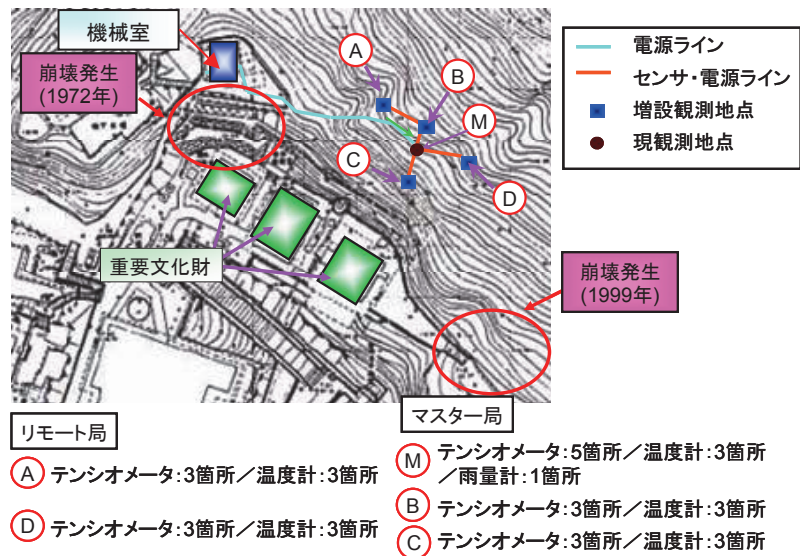


図1 現地多点計測システム概要

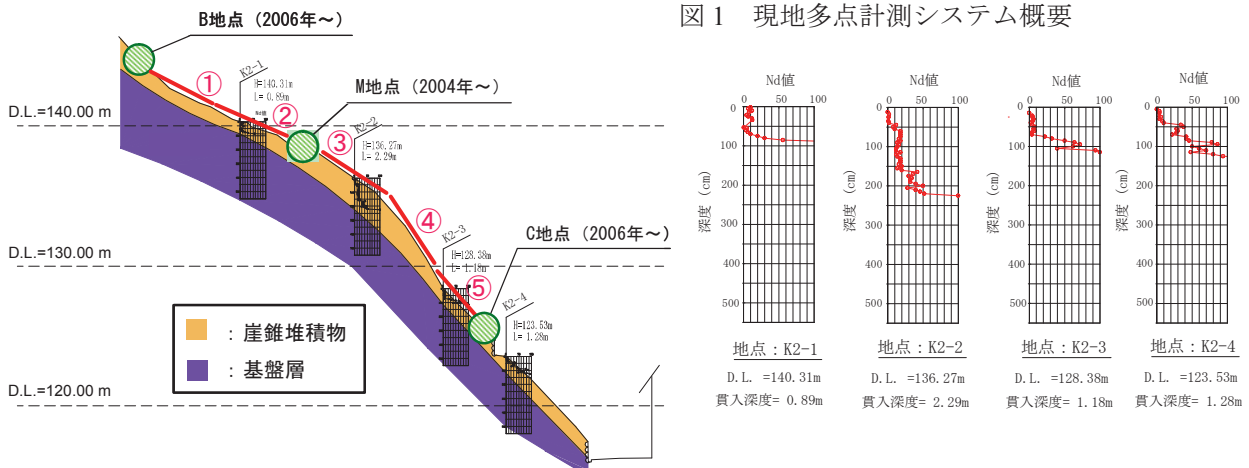


図2 地質断面図および計測地点 (縦断面図)

り上部に2スパン、下部に3スパン)設置した。センサの精度は0.1mm/mである。図3に光ファイバセンサの設置概要図を示す。センサ部は塩ビ管により保護され地面から30~80cm離れた位置に設置される。また、上部端を固定端とし、下部端を移動端としている。また、写真2に示すような光ファイバセンサの計測システムは、図1に示される機械室に設置されている。計測間隔は10分であり、計測されたデータは、光ファイバケーブルで機械室内の分析機器に取り込まれ、変位量としてPCに記録される。記録データは、計測地点Aに設置されている無線LANアクセスポイントを介して、寺務所へ転送される。

3. 現地計測結果

(1) 間隙水圧、雨量および温度の時系列変化

図4に2006年6月のM地点における間隙水圧、雨量および温度の時系列変化を示している。図より、降雨時には間隙水圧が上昇しており、晴天時には間隙水圧は減少している。特に6月上旬は長期間、無降雨であったため間隙水圧の回復(減少)の度合いが大きくなっている。また、6月中旬以降は、降雨が多かったため間隙水圧が-20kPa以上になっており、斜面内の含水量が多くなっていることが

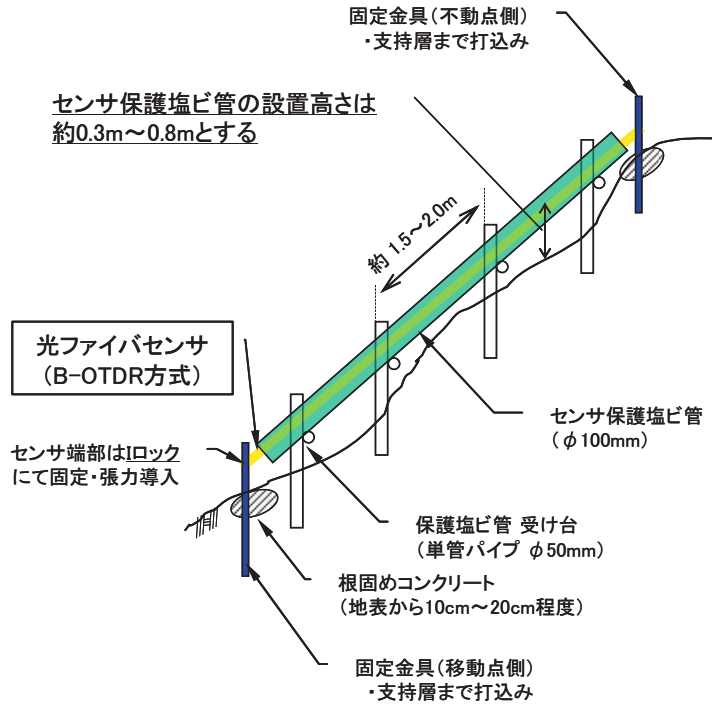


図3 光ファイバセンサ (B-OTDR) の設置概要図



B-OTDR計測システム

写真2 光ファイバセンサ (B-OTDR) の計測システム

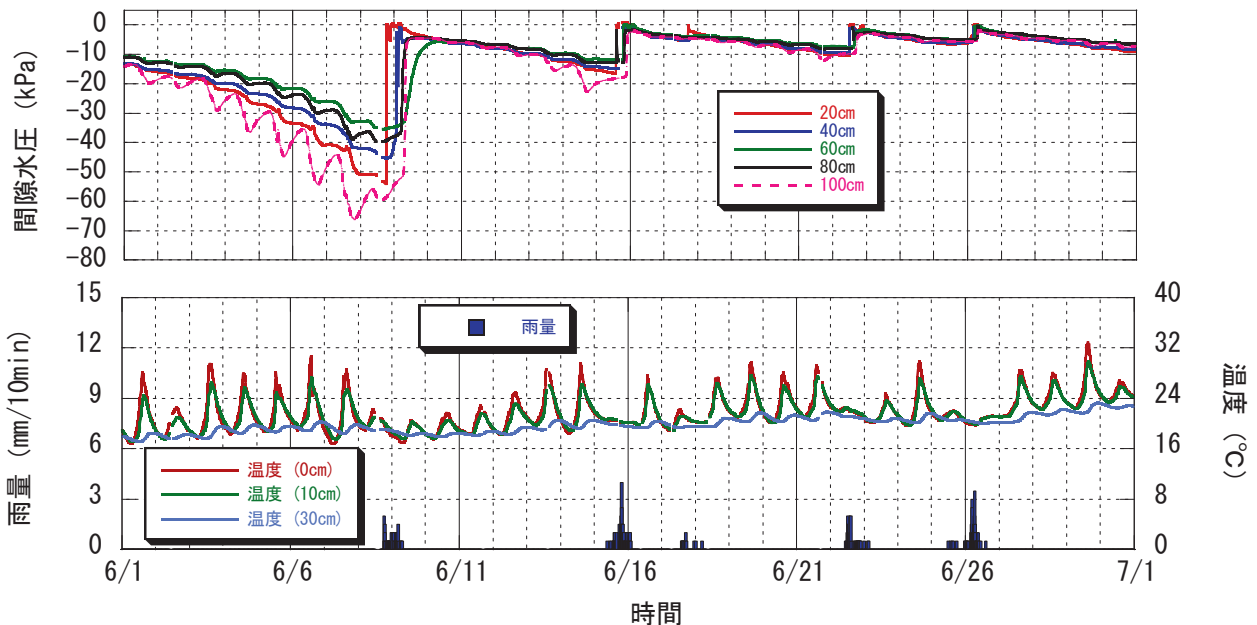


図4 間隙水圧、雨量および温度の時系列変化 (M地点: 2006年6月)

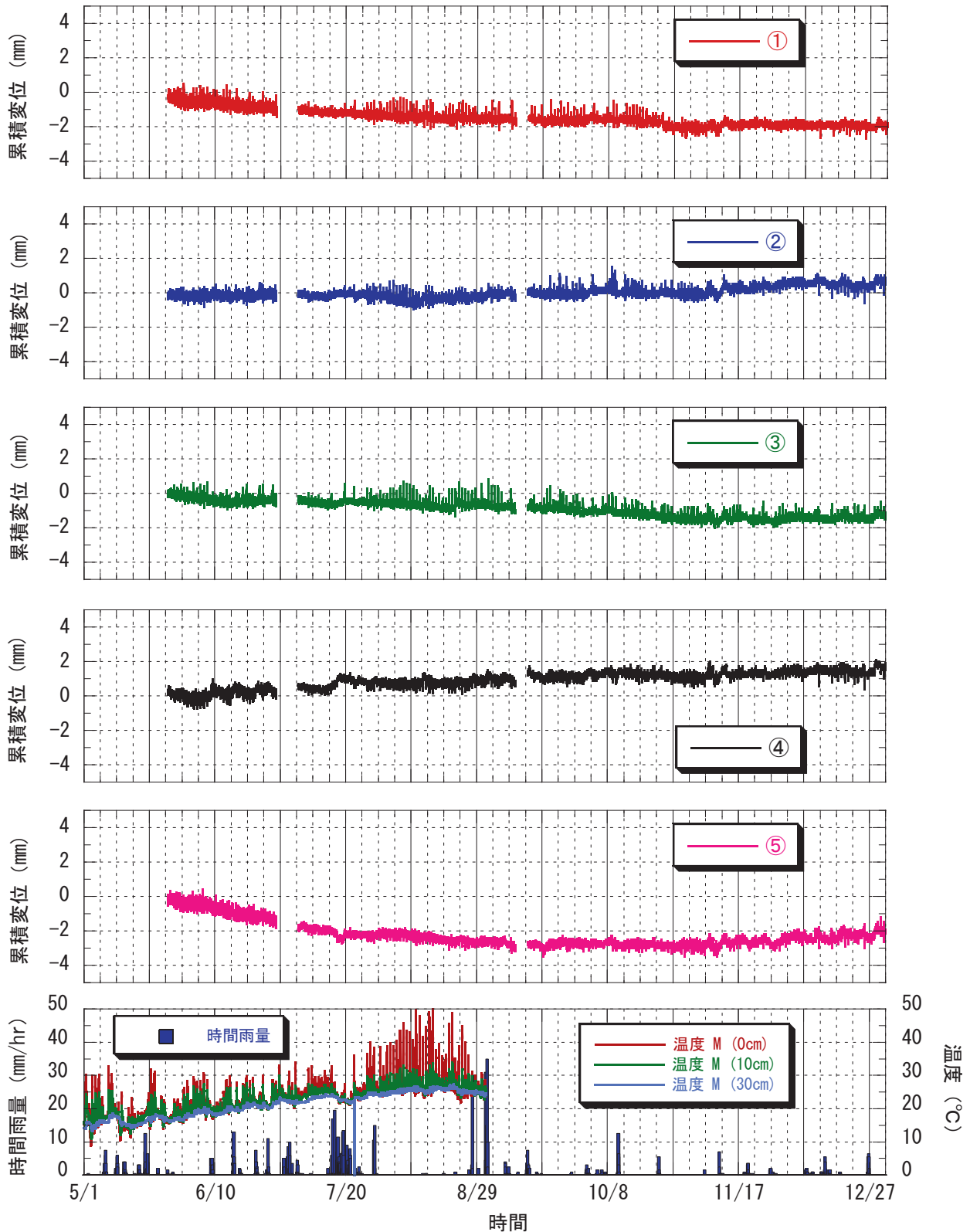


図5 光ファイバセンサの時系列変化 (2006年5月～2006年12月)

推測される。温度は、0cm、10cmの深さにおいては、日変化が激しいが、深さ30cmの温度の変化は緩やかである。また、降雨時は気温の変動が小さくなっていることがわかる。

(2) 地表面変位の時系列変化

図5に2006年5月26日から12月31日までの光ファイバセンサの時系列変化を示す。センサ①～⑤の設置位置は図2に示されている。光ファイバセンサの2006年5月26日15:00のデータを基準とし、各地点の

累積変位量を示している。累積変量は、正值を引張、負値を圧縮としている。累積変位データの一部の欠損は、落雷等による機器の故障のためである。また、時間雨量および温度の時系列変化も合わせて示している。ここで、雨量計の目詰まりのため、5月、7月、8月の雨量データは、気象庁（京都）で計測されたデータを用いている。7月26日から多点計測システムが導入されたが、温度計の不具合により温度の変動が大きくなったため、8月以降温度計測を停止している。

図5より、各地点の累積変位量データにおいて値が乱れているが、これは温度変化に伴う乱れである。全体的な変化傾向は、地点①、③、⑤において、収縮傾向が見られる。地点②、④

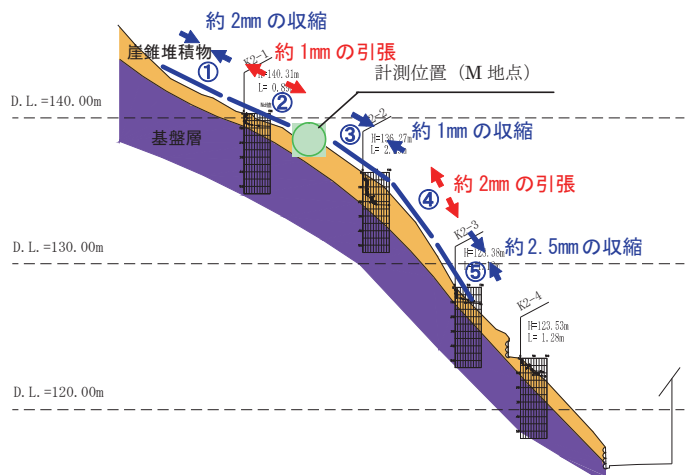


図6 光ファイバセンサの設置位置および設置日から2006年12月31日までの累積変位

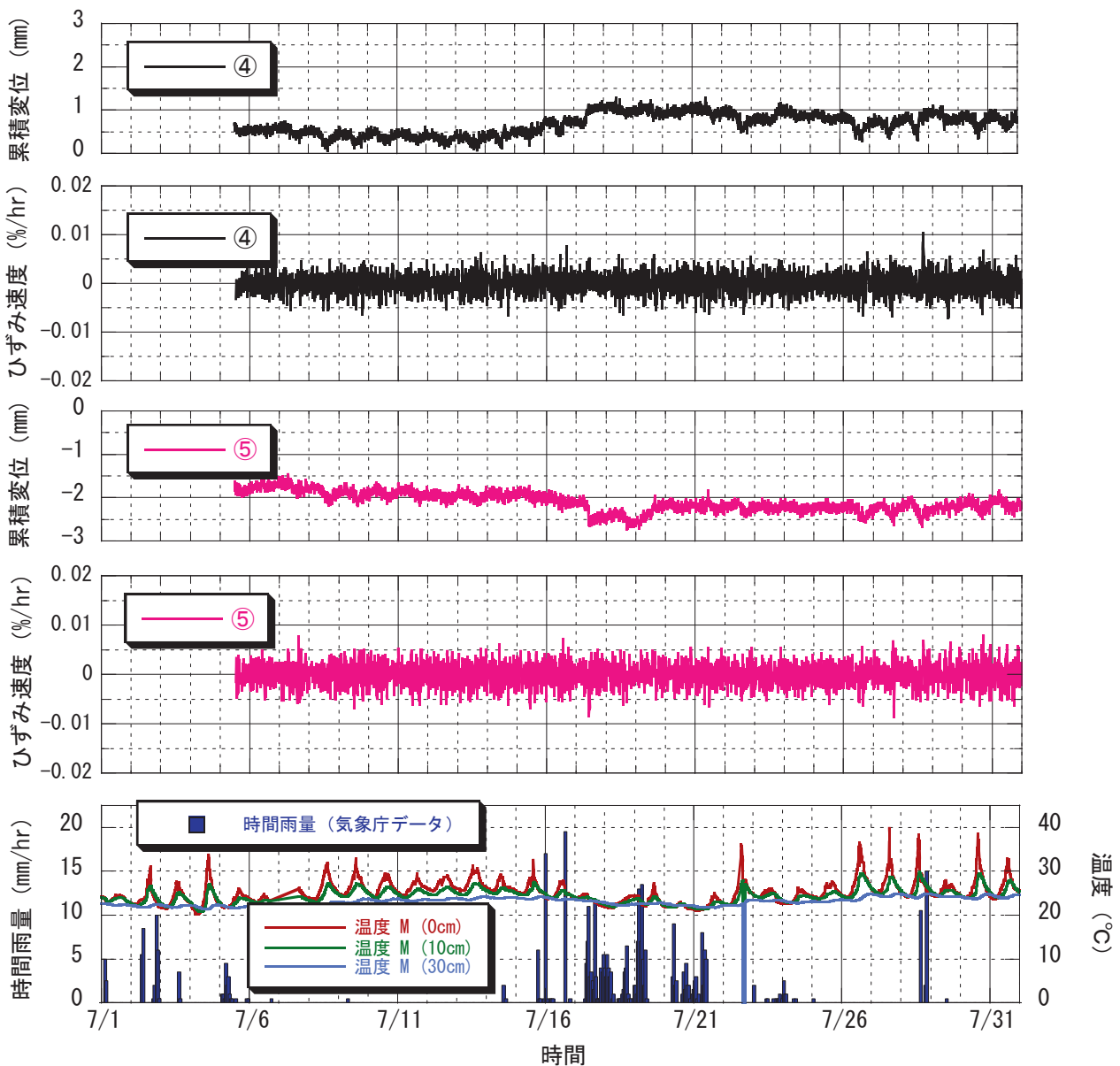


図7 2006年7月における累積変位およびひずみ速度の時系列変化

は、引張傾向である。2006年の累積変位量は、地点①：-1～-2mm、地点②：0.5～1mm、地点③：-1mm、地点④：2mm、地点⑤：-2.5～-3mm程度である（図6に示す）。これらの累積変位量には、降雨や温度変化に伴う地盤の変位量が含まれていると考えられる。

図7に降雨量の多かった2006年7月のデータを示す。累積変位量の大きかった地点④、⑤におけるデータを示した。ひずみ速度は、累積変位の値から1時間ごとのひずみ量（%）を算出して得られたものである。図より、特に降雨が激しかった16日～21日には、変位量が大きくなっている。また、ひずみ速度は、全体的に±0.002%/hour内でひずみが発生していることがわかる。変位量およびひずみ速度には、降雨や温度の影響が含まれると考えられるが、降雨時の温度変化は少ないため、変位量およびひずみ速度に対する温度変化の影響は少ないものと考えられる。よって、16日～21日の変位やひずみは降雨によって引き起こされたものと考えられる。これらのことから、光ファイバセンサを用いて斜面の管理を行う場合、ひずみ速度により管理し、降雨時の温度変化量が小さい時間帯における顕著な変位量が見られないときのひずみ速度の値を計測し、管理基準値を設定することにより、顕著な変位を引き起こす異常なひずみ速度を測定することができるのではないかと考えられる。

4. おわりに

本論文では、京都市東山山麓周辺の重要文化財後背斜面における間隙水圧、雨量、地中温度および地表面変位量の計測結果について考察を行った。以下に、本論文で得られた知見をまとめる。

- 2006年の累積変位量は、地点①：1～2mmの収縮、地点②：0.5～1mmの引張、地点③：1mmの収縮、地点④：2mmの引張、地点⑤：2.5～3mm程度の収縮である傾向が得られた。これらの累積変位量には、降雨や温度変化に伴う地盤の変位量が含まれていると考えられる。
 - 2006年7月の特に降雨が激しかった16日～21日には、変位量およびひずみ量が大きいことがわかった。降雨時の温度変化は少ないため、変位量に対する温度変化の影響は少ないものと考えられる。
 - 光ファイバセンサを用いて斜面の管理を行う場合、ひずみ速度により管理し、降雨時の温度変化量が小さい時間帯における顕著な変位量が見られないときのひずみ速度の値を計測し、管理基準値を設定することにより、顕著な変位を引き起こす異常なひずみ速度を検知することができるのではないかと考えられる。
- 以上の知見をもとに、今後、より多くのデータを蓄積し、対象斜面の降雨時の斜面崩壊に対する管理基準値の設定方法について検討を行いたいと考える。

参考文献

- 1) 酒匂一成, 里見知昭, 菅野智之, 深川良一, 安川郁夫: 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) 社団法人地盤工学会, 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する委員会編: 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する研究報告書, pp.31-37, 2006.
- 3) 加藤俊二, 小橋秀俊, 古谷充史: 斜面表層崩壊の監視・管理および崩壊予測手法の提案, 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関するシンポジウム発表論文集, pp.45-50, 2006.
- 4) 古谷充史, 小橋秀俊, 加藤俊二: 光ファイバセンサを活用した斜面監視と表層崩壊予測手法の提案, 第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.41-46, 2006.