

施工中の斜面崩壊による労働災害防止のための モニタリングに関する実地観測

伊藤和也*1 笹原克夫*2 芳賀博文*3 土佐信一*4
南雲政博*4 内村太郎*5 王林*6 矢野真妃*7

治山・林道工事現場における切土掘削工事は、施工途上において斜面の安定性が低下する 경우가多く、掘削作業中やその後の斜面近傍作業中に突然斜面が崩壊し、労働災害となる事例が多く報告されている。しかし、斜面崩壊には必ず何らかの前兆現象があり、施工箇所に計測機器を設置して前兆現象を検知できれば労働災害を防止することが可能となる。本報では、実際の切土掘削工事現場にて幾つかの計測機器を設置し、計測機器の施工性、精度、長期安定性の確認を行った。工事全体としては無事に終了したが、掘削作業中において切土掘削範囲近傍に設置した計測機器が微小ながら変化を示し、また長期的にも降雨等によって斜面が変形する様子を確認することができた。

キーワード: 斜面安定、モニタリング、労働安全、伸縮計、傾斜計、労働災害、

1 はじめに

治山・林道工事現場における切土掘削工事は、施工途上において斜面の安定性が低下する 경우가多く、掘削作業中やその後の斜面近傍作業中に突然斜面が崩壊して労働災害となる事例が多く報告されている¹⁾。しかし、斜面崩壊には必ず前兆現象があり、施工箇所に何らかの計測機器を設置して前兆現象を検知できれば労働災害を防止することが可能となる。そのような背景から本研究では、実際の切土掘削工事現場に幾つかの計測機器を設置し、施工中の斜面の変形挙動はもとより、計測機器の施工性、精度、長期安定性の確認を行った。本報では、平成23年4月7日～9月22日まで高知県早明浦地区小北川復旧治山工事（翌債）現場の法面付近にて各種計測機器を設置した結果の中でも、切土掘削作業中の計測結果を取り上げて報告する。

2 計測箇所

1) 計測箇所の概要

今回計測を行った箇所は、高知県早明浦地区小北川復旧治山工事（翌債）現場の治山堰堤築造工事に伴う袖部切土掘削箇所の上部斜面である。当該箇所は、平成19年頃の台風により治山堰堤上部の斜面が崩壊したもので、平成20年に、その崩壊土砂によって堰堤の上流側が満砂となったことが確認されている。当該工事は、治山堰堤の機能を回復するための堰堤の嵩上げ工事である。工

事箇所の平面図を図1に示す。工事前に堰堤の測線方向（図1の点線）について、簡易動的コーン貫入試験を実施して表層厚さを把握した。計測結果を図2に示す。斜面上部では1.5m程度、切土掘削箇所周辺では0.5m程度の表層地盤があることが分かった。



(a) 上部斜面の崩壊状況



(b) 満砂になった治山堰堤

写真1 治山堰堤築造工事（工事前）

*1 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

*2 高知大学 教育研究部自然科学系農学部

*3 曙ブレーキ工業(株) 新規事業部

*4 国土防災技術(株) 技術部

*5 東京大学 工学部社会基盤学科

*6 中央開発(株) 技術センター

*7 (株)オサン・テクノス

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 伊藤和也*1

E-mail: k-ito@s.jniosh.go.jp

2) 計測機器

今回設置した計測機器の配置図を図1に示す。堰堤袖部の切土掘削範囲の上部斜面に6種類の計測機器を設置した。そのうち、雨量計(オサシ・テクノス製 転倒ます型雨量発信器 RS-1)、伸縮計(オサシ・テクノス製 グラフ付伸縮計 SLG-30)は従前から使用されているタイプの計測機器であり、伸縮計については、他の計測機器

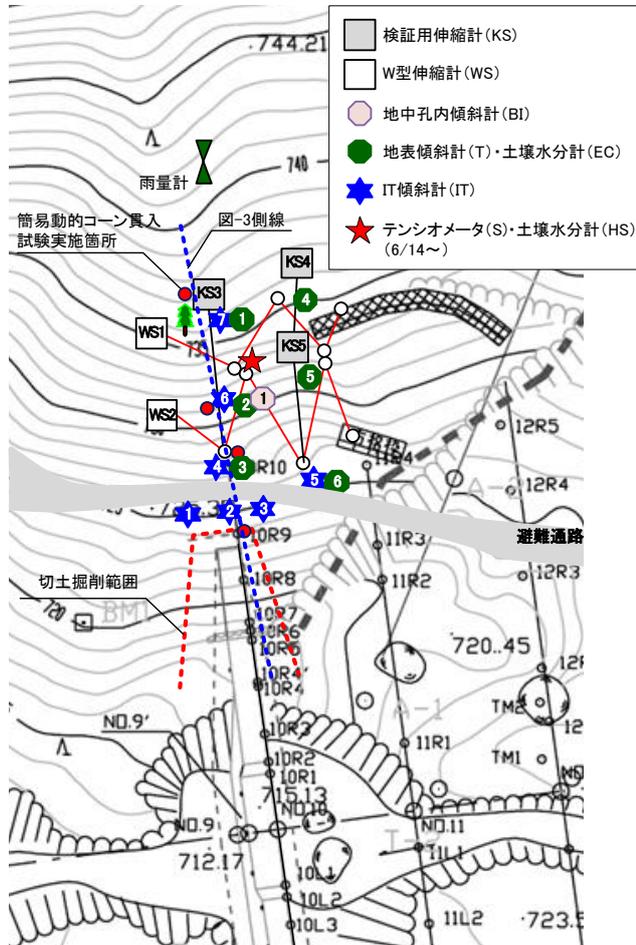


図1 計測機器の配置図

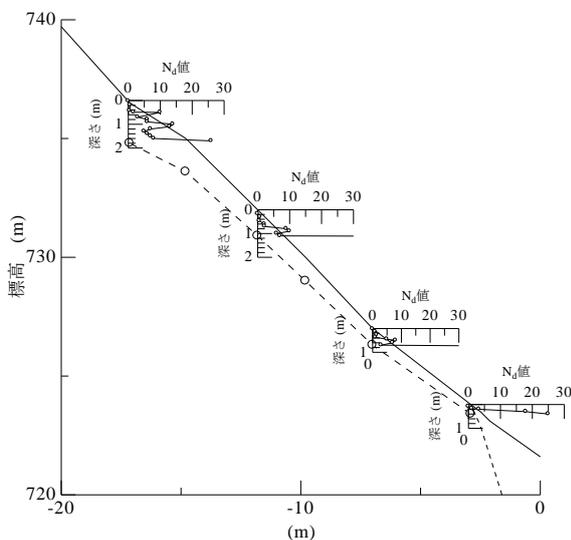


図2 側線部の動的コーン貫入試験結果

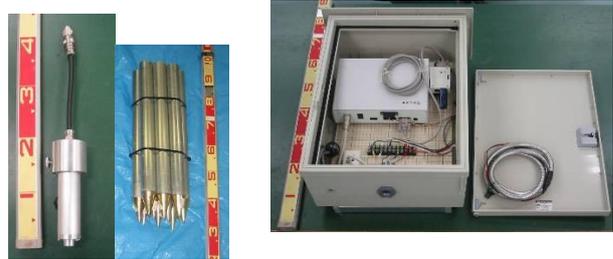
の検証用として3箇所を設置した。その他、今回切土掘削工事中の崩壊検知用計測機器として設置した4種類の計測機器の詳細について以下に示す。

(1) IT傾斜計

半導体加速度センサーを使用した傾斜計で、地中に埋設設置することにより1/100度の分解能で計測が可能である。0.5m程度打ち込んだ単管パイプにセンサーをセットして上から土のう袋を載せて設置する(図3(c))。センサーは7ユニットを図1の位置に設置した。ユニットは数珠つなぎで接続することができるCAN通信によりデータロガーへ保存される。また今回の計測では、計測精度を確保するために省電力化については検討せずソーラーパネル(図3(d))を設置して常時電源供給を行った。

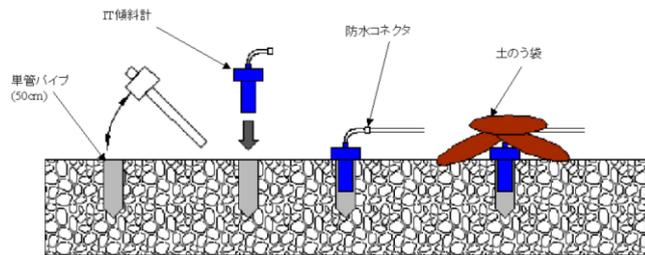
(2) W型伸縮計

通常の伸縮計はインバー線設置区間のみの線データとなり、設置箇所以外が変形した場合に検知できない。現在検討を進めているW型伸縮計は、1台の伸縮計で複数の移動杭に滑車を介して一筆書きで連結することで、どこが動いたか特定は出来ないが、少数の伸縮計で面的監視が可能なものである(図4)。この概念は加藤らによって検討がされており、光ファイバー計測による斜面変状監視²⁾や伸縮計による擁壁の微小変位計測³⁾が行われている。本現場では、オサシ・テクノス社製 伸縮データ

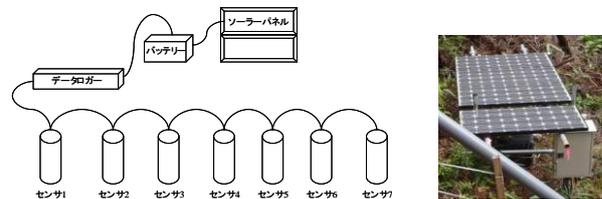


(a) IT傾斜計(左)と打込単管パイプ(50cm)(右)

(b) データロガーとロガーBOX



(c) 設置方法



(d) 計測器配線方法

図3 IT傾斜計

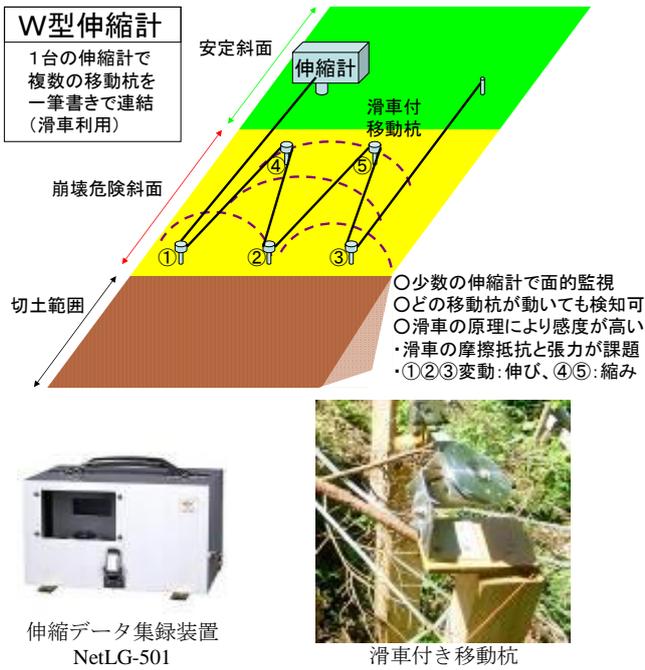


図4 W型伸縮計



図5 地表傾斜計 4)

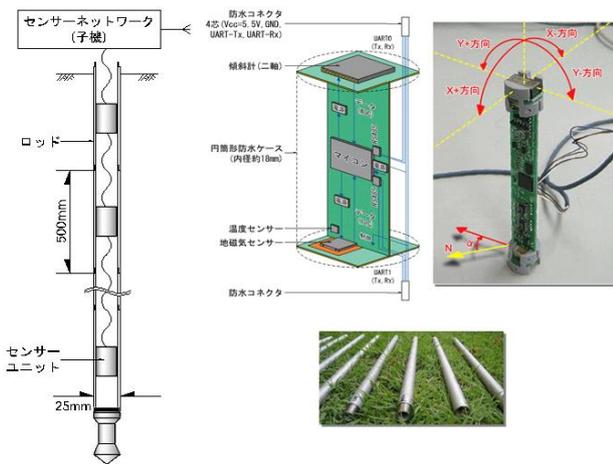


図6 地中孔内傾斜計 5)

収録装置(NetLG-501)を使用し、張力を標準の1.8kgとした装置(WS-1)と3.0kgとした装置(WS-2)をそれぞれ設置した。なお、今回の現場では保護管による保護を行わなかった。

(3) 地表・地中孔内傾斜計

地表傾斜計は2軸MEMS技術を用いた傾斜センサーを使用し、ワイヤレス通信が可能な廉価な簡易崩壊検知センサーである。オプションで土壌水分計(Decagon

Devices製EC-5)も接続する事ができ、今回の現場では土壌水分計も設置した(図5)。なお、No.1~3の傾斜計は地中に埋設され親機へ配線されるタイプであり、No.4~6は地表部に取り付けられた親機に傾斜センサーが内蔵されているタイプである。本報では、No.1~3の結果について説明する。地中孔内傾斜計(図6)は、動的コーン貫入試験と同じ要領で打ち込むだけで多段の傾斜を計測出来るシステムである。なお、これらの詳細については文献4)~5)が詳しい。

今回の計測箇所は切土掘削範囲の上部斜面に避難通路が設けられていることと、作業の都合から切土掘削範囲周辺では計測機器の地上突出を避ける必要があった。そのため、切土掘削範囲近傍には、埋設型の高精度IT傾斜計IT-1~3のみを設置し、他の計器については、避難通路より上側斜面に設置した。

3 切土掘削作業中の計測結果

1) 切土掘削作業中および降雨時の斜面変状

計測機器設置後、切土掘削作業は平成23年5月6日、7日、9日の3日間において実施された。写真2は切土掘削作業前後の様子を示したものである。当該箇所の切土掘削は5月7日に大部分が終了している。図7、図9~11に各計測機器から得られた切土掘削作業前後(平成23年5月1日~15日)の挙動を示す。ここで、図7および図9~11の全てに従来型の計器である雨量計と伸縮計の結果を示した。切土掘削作業期間には、5月7日0:00~7:00にかけて時間雨量0.5mm程度の弱雨が降っている。それ以外は5月10日~13日にかけて最大6.5mm/hの雨が観測されている。伸縮計のデータを見ると、切土掘削作業期間には、KS3が微小ではあるが変化している。なお、KS3とKS4の5月9日に生じた変動は、計測機器のメンテナンスのために構内に立ち入ったためである。以下、それぞれの計測機器の挙動について示す。

2) 高精度IT傾斜計による計測結果

図7はIT傾斜計の傾斜角度の時系列を示したものである。周辺避難経路より下側に設置したIT-1~3は、5月7日11:00前後と17:00前後に最大0.1度程度の角度変化が計測された。計測箇所と傾斜計のx, y軸の変化から切土掘削作業時の斜面変動を計測する事が出来たと思われる。その後は平衡状態を保ち切土掘削作業は終了した。図8に反応が見られたIT-1~3の切土掘削期間前後の挙動をXYにて図示したものである。ここで、灰色線は切土掘削作業前後を、黒色箇所は切土掘削作業を実施した平成23年5月6日8:00~5月9日17:00までの挙動をそれぞれ図示している。掘削作業開始によりIT-1とIT-2が斜面に向かって左方向である下流側に傾き、その後切土掘削側へ倒れるような挙動を示していることが分かる。これは、治山堰堤や砂防堰堤のように河川岸の斜面を切り取る際には、切土掘削の方向だけではなく従来からの地盤の堆積過程を踏まえて下流側への移動も起きうることを示している。



掘削前 (5/6 8:00)



掘削中 (5/7 8:00)



掘削後 (5/9 9:00)

写真2 切土前後の写真

切土掘削範囲に対して避難通路より上側に設置した計測機器については、切土掘削作業中の有意な変化は計測されなかった。今回の切土掘削範囲は切取り高さは約12mと比較的高いが幅は約3mと狭いため、切土掘削による変状範囲が局所的であったことが一因として考えられる。なお、切土掘削作業終了後の5月10日6:00前後からIT-1~3とIT-6が変化しており、降雨による表層の変化を計測出来たと思われる。

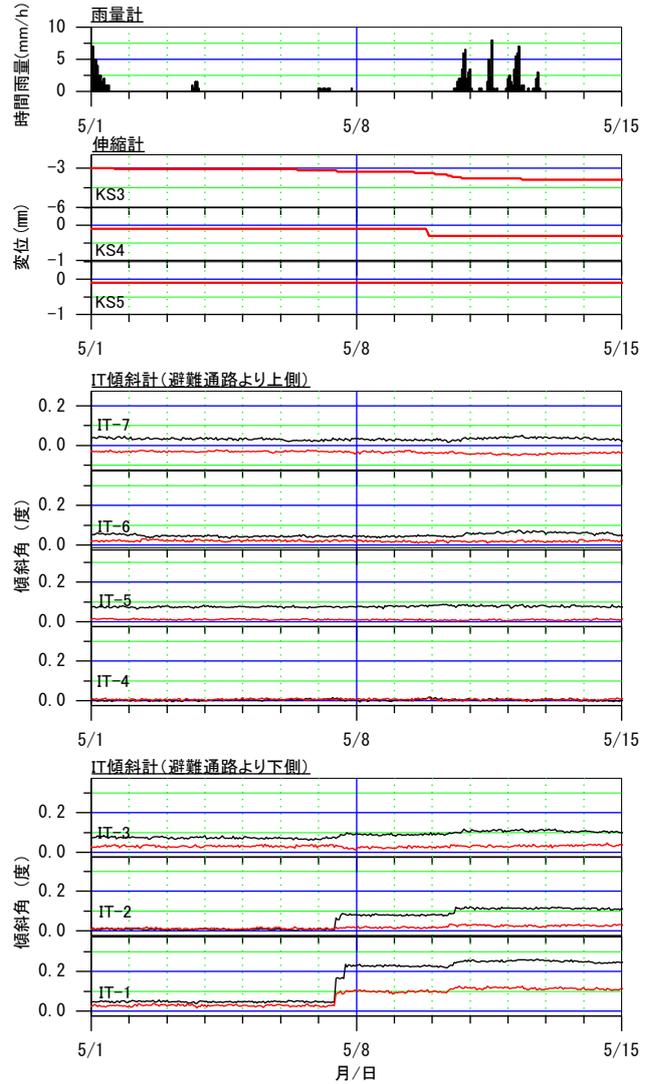


図7 切土掘削作業前後(5/1~15)の挙動
(雨量計, 伸縮計, IT傾斜計)

3) W型伸縮計による計測結果

図9はW型伸縮計の挙動を示したものである。W型伸縮計では、切土掘削作業中の有意な変化は計測されなかった。これは、上述にも記載したが切取り幅が3mと狭いため、切土掘削の影響範囲が局所的であり、W型伸縮計を設置した避難通路より上側の斜面には切土掘削による影響が及ばなかったことを示している。また、5月9日のWS2の変化は前述したように計測機器のメンテナンスのために構内に立ち入った影響であるが、5月10日のWS2の変化は降雨による影響だと考えられる。

4) 地表傾斜計, 土壌水分計による計測結果

図9は地表傾斜計と土壌水分計の挙動を示したものである。ここで、地表傾斜計は日周期で変動している。これは、MEMSによる傾斜センサーは温度依存性が大きいためである。この温度依存性を除去するために通常は温度センサーを同包して温度補正を行うが、今回温度センサーが計測不良であったため温度補正を行うことが出来なかった。ここでは、温度補正無しのデータを掲出している。日周期の変動が見られるが、地表傾斜計について

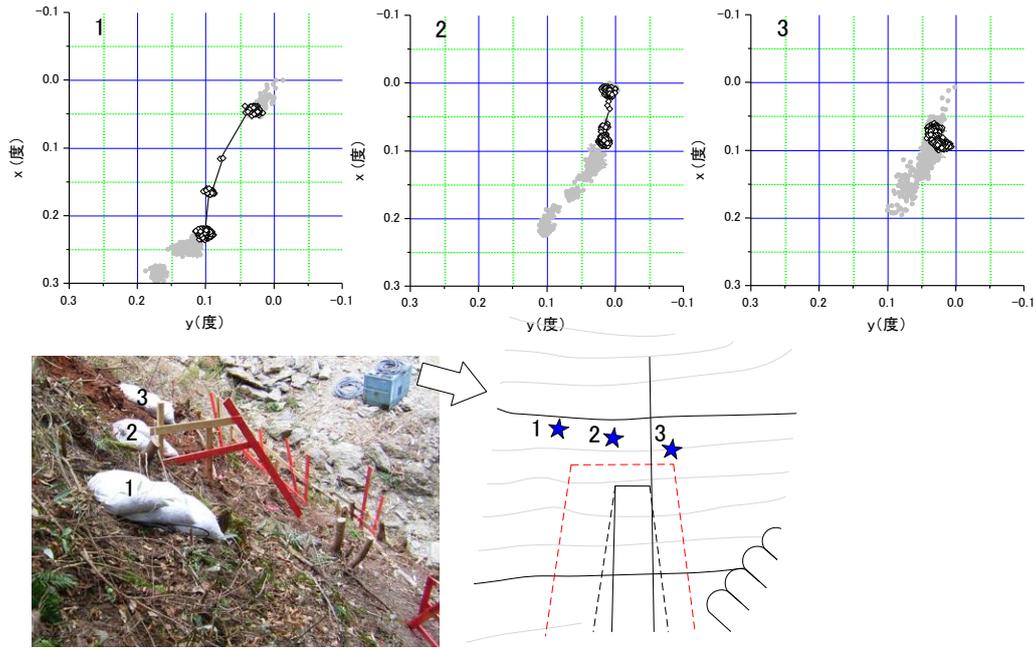


図8 IT-1~3の切土掘削期間前後のXY挙動

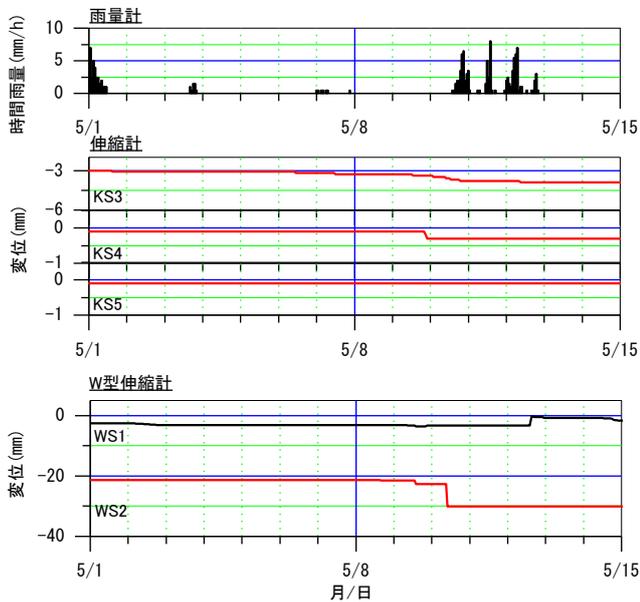


図9 切土掘削作業前後(5/1~15)の挙動
(雨量計, 伸縮計, W型伸縮計)

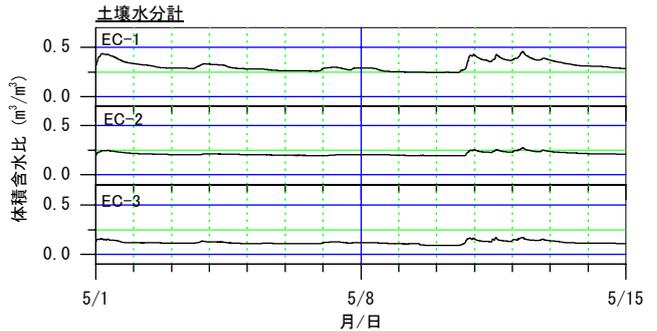
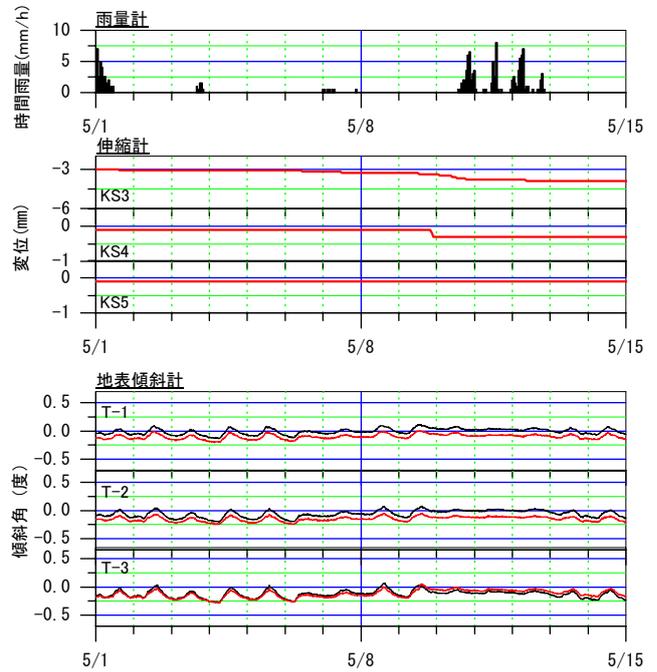


図10 切土掘削作業前後(5/1~15)の挙動
(雨量計, 伸縮計, 地表傾斜計, 土壌水分計)

も、避難通路よりも上側に設置されているため切土掘削作業中の有意な変化は計測されなかった。5月10日~13日の降雨時には、土壌水分計は反応しており、表層に水分が浸透している様子が伺える。

5) 地中孔内傾斜計による計測結果

図11は地中孔内傾斜計の挙動を示したものである。ここで、地表面のX軸は計器破損によって計測不良となっている。BI-1~2にて5月9日にパルス的な挙動を示しているが、これも前述した計測機器のメンテナンスのために構内に立ち入った影響である。地中孔内傾斜計の設置箇所も避難通路より上側であるため、切土掘削作業

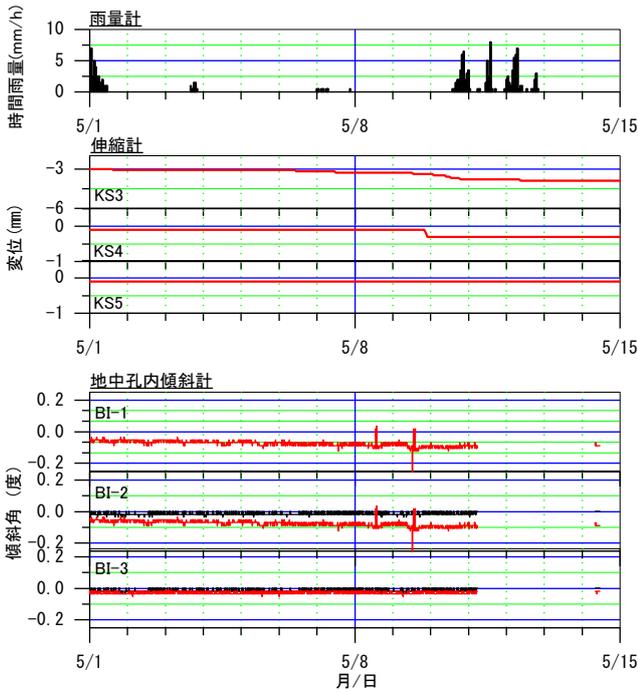


図 11 切土掘削作業前後 (5/1～15) の挙動
(雨量計, 伸縮計, 地中孔内傾斜計)

中の有意な変化は計測されなかった。また、降雨による影響についても検知されなかった。

4 まとめ

本報では、実際の切土掘削工事現場に幾つかの計測機器を設置し、施工中の斜面の変形挙動はもとより、計測機器の施工性、精度、長期安定性の確認を行った。

今回の切土掘削範囲は切り取り高さは約 12m と比較的高いが幅は約 3m と狭いため、切土掘削による変状範囲が局所的であったことにより、切土掘削近傍に設置できた計測器以外は、切土掘削作業中の変形挙動を把握することが出来なかった。しかし、その後の降雨時の変形挙動なども計測することができ、工事完了まで一部の計器を除きほぼ問題なく稼働できた。また、台風の風によっ

て枝が計器に落下するなど改善すべき問題点も浮かび上がった。

今後は現場での安全監視の点からもよりハンドリングの良いシステムの構築を目指すとともに、前兆現象を把握後に作業員が退避するまでにどの程度の時間が必要か等を検討していきたい。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、林野庁四国森林管理局嶺北森林管理署早明浦治山事業所並びに岡村組(有)の皆様には本研究の趣旨に御理解頂き、御協力のもと円滑に実施されました。ここに末筆ながら謝意を表します。また、現地での計測機器設置や機器メンテナンスにご尽力頂いた国土防災技術(株)高知営業所ならびに(株)オサシ・テクノス技術サービス課の皆様感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 安衛研「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」報告書、
http://www.jniosh.go.jp/results/2010/0407/pdf/report_slope_201004_2.pdf
- 2) 加藤ら：滑車機構を用いた斜面の多点変状計測技術の開発、第 64 回土木学会年次学術講演会講演概要集、(社)土木学会、2009.9
- 3) 加藤ら：滑車機構を用いた変状計測技術の開発、第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集、(社)土木学会、2009.9
- 4) 瀬古ら：リアルタイム斜面監視システム構築のための斜面崩壊検知センサー開発、第 58 回(平成 21 年度)砂防学会研究発表会概要集、O4-09、2009
- 5) 王ら：土砂災害の 2 次被害防止のための迅速に設置可能な監視装置の開発、第 59 回(平成 22 年度)砂防学会研究発表会概要集、O2-13、2010