

# 斜面モニタリングにおける設置の簡素化の開発

## A SIMPLIFICATION INSTALLATION METHOD FOR SLOPE MONITORING

加藤 俊二<sup>1</sup> 江藤 春日<sup>2</sup> 谷口 硯士<sup>3</sup> 佐藤 秀文<sup>4</sup>

Syunji Kato, Haruhi Eto, Kenshi Taniguchi and Hidefumi Sato

<sup>1</sup>独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

E-mail: skato@pwri.go.jp

<sup>2</sup>長菱制御システム株式会社（〒850-8610 長崎市飽の浦町1-1）

E-mail: haruhi\_eto@ryousei.co.jp

<sup>3</sup>日鉄コンポジット株式会社（〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-8）

E-mail: k-taniguchi@nick.co.jp

<sup>4</sup>日本地研株式会社（〒812-0894 福岡市博多区諸岡5丁目25-25）

E-mail: satohi@chiken.co.jp

*Key Words: monitoring of surface displacement, optical fiber sensor, carbon cable*

## 1. はじめに

斜面崩壊をモニタリングするための地表面変位センサの設置作業は、斜面勾配が急でかつ足場が悪い中で行う必要がある。従来の方法は、センサを設置するために木杭等を斜面に打ち込んでいた。この方法は、足場の悪い斜面では作業性が悪く、木杭・長尺の保護パイプ等を必要とするため高所作業では運搬用のモノレールを設け、災害時の緊急作業では即時性が劣っていた。

また、面的な表層崩壊のモニタリングに有利な光ファイバセンサ<sup>1)</sup>は、多点のセンサを必要とするため、上記の設置法では非効率的でコスト高となる。

このため、図-1に示す地表面布設での簡易かつ効率的な設置方法の開発を行い、コスト低減を目的とした研究を行っている。

## 2. 設置作業の簡素化の開発目標

設置作業の簡素化は設置人工及び材料費の低減が重要であり、短時間で出来る簡単な方法が必要である。このため次の2点を開発目標とした。

(1) 固定杭をパイプ打込み方法から他の方法へ変更。

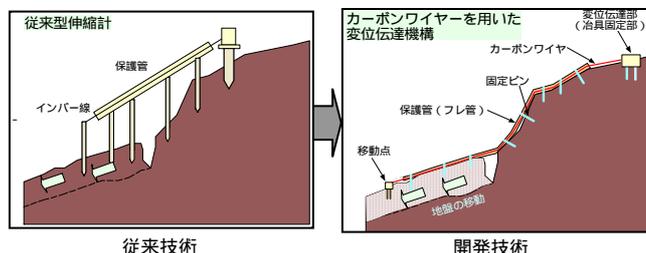


図-1 地表面変位計設置イメージ図

(2) 計測線（インバー線）設置法の簡素化。

### 2.1 固定台座の検討

固定台座は図-2に示すようにコンクリートブロックを用いる方法と工事用の足場台座を使用する方法がある。

コンクリートブロックを用いた方法は、事前の実証実験で、設置についても容易であり、自重により安定することから地盤に垂直に設置した場合も計測の際にも良好な結果を示した。しかしながら、コンクリートブロックを人力で斜面上に持ち上げることを考慮すると、大きさおよび重さの点から斜面での作業性には問題があるため、今回は工事用の足場台座を使用することとした。

### 2.2 計測線の検討

従来の計測線は線膨張係数が  $1.2 \times 10^{-6}/$  以下のイ

ンパー線を使用しているが、径が0.5mm程度で直線性を必要としていた。よって、今回は表-1に示す地形の凹凸に対して屈曲配置が可能なものとしてカーボンケーブルを用いるものとした。

表-1 インパー線とカーボンケーブルの性能比較表

項目	単位	インパー線	カーボンケーブル 3mm
材質	-	Fe - Ni 合金	高強度炭素繊維 エポキシ樹脂
公称直径	mm	0.5	3.0
単位重量	g/m	-	11.5±2.0
引張耐力	kN	0.6~0.8	11.1以上 <sup>1</sup>
引張弾性率	kN/mm <sup>2</sup>	80~140	135±25 <sup>1</sup>
線膨張係数	×10 <sup>-6</sup> /	1.2以下	-1.0~1.0

1：JIS R 7601 「炭素繊維試験方法」に準拠

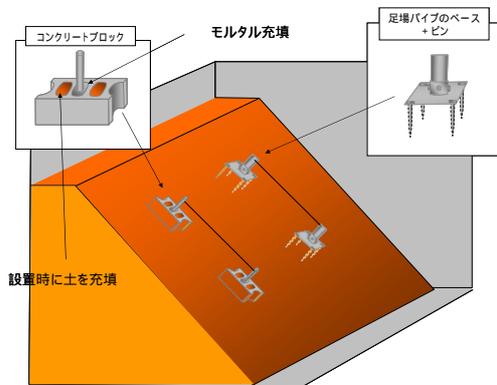


図-2 固定台座のイメージ図

### 3. 室内実験結果

工事用の足場台座および単管をピンで地盤に固定する方法について盛土崩壊実験を行った。実験は、ポイント型センサの設置方法の改良に用いることを考えているカーボンケーブルにより固定治具間を接続し、固定治具の間に崩壊を発生させ、上下の固定治具の挙動およびカーボンケーブルの状態を確認した。表-2及び写真-1に盛土崩壊実験における設置方法と実験結果を示す。

ピンを斜面に垂直に打ち込んだ場合 (Type1) は写真-1に示すように、土塊の移動に伴い転倒モーメントに耐えきれず転倒し、抜け落ちる結果となった。

一方、斜面を掘削し土層に対して垂直にピンを打ち込んだ場合 (Type2) は、崩落発生後も治具固定部は土塊と共に移動し、設置した際の姿勢を保持して移動しており、最終的にカーボンケーブルが断線した。このため、この方法は地盤の変位計測を安定して行うことが出来ると考えられる。このため、設置方法として type2 が適当と考えられる。

ただし、計測現場において長期間設置した場合は、掘削部が埋め戻しの緩い土砂となるため、降雨等による土

砂流出を要因とした底板や固定用ピンが露出し、転倒に至る可能性があるため、図-3に示すように底板周辺へのモルタル充填等による補強対策をすることが考えられる。

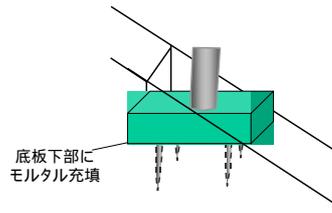
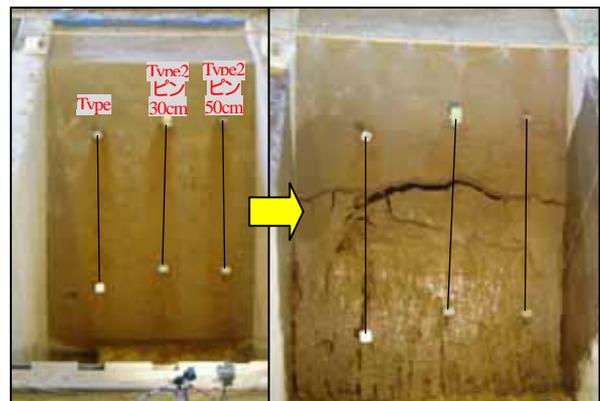


図-3 計測現場での固定台座設置法 (案)

表-2 室内盛土試験結果表

Type1 斜面直角方向打設	Type2 鉛直方向打設
<p>崩壊発生後、土塊の移動と共に治具固定部が転倒し、抜け落ちる結果となった。この固定方法は不適切と判断される。</p>	<p>崩壊発生後、移動側の治具固定部は土塊と共に移動し、設置した際の姿勢を保持している。治具への変位伝達が安定に行われていると考えられる。なお、ピンの長さによる治具の変化の違いは見出せなかった。</p>



(設置時)

(斜面崩壊時)



Type1の転倒状況

写真-1 室内実験状況

## 4. 実斜面における設置実験

### 4.1 現地概要

実斜面における設置実験は、室内盛土実験を踏まえて、現在、光ファイバセンサ（B-OTDR センサおよびMDMセンサ）<sup>1)</sup>によるモニタリングを行っている宮崎県の道路斜面で実施した。現地は、約40度傾斜の斜面で、緩い尾根と谷が連続しており、表層の崖錐堆積物を竹藪が覆っている。この斜面は、道路災害に至らないような小規模な表層崩壊が発生しやすい斜面で、平成13年と平成15年にも20m<sup>2</sup>程度の小規模の表層崩壊が発生している。

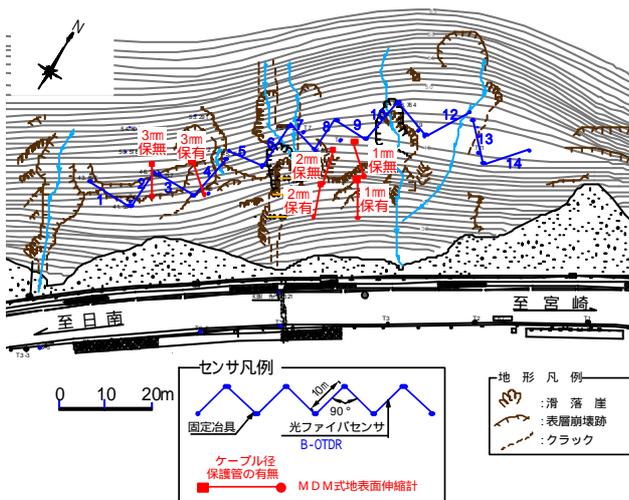


図-4 設置実験斜面平面図

### 4.2 設置作業

設置は、MDMセンサ（ポイント型光ファイバセンサ）の計測線としてカーボンケーブル（1mm, 2mm, 3mm）を使用し保護管（無し, 有り）の条件で、設置性および設置後の状態の変化を確認した。写真-2, 写真-3に保護管無しおよび有りでの設置状況を示し、設置手順は写真-4に示す。

カーボンケーブルの径による設置性の違いをみると、1mm, 2mmのものをを用いても設置は可能であるが、1mmのものは若干柔らかく保護管の中を自立して変位に追従するには剛性が不十分であった。また、2mmのものは自立してスライドするための剛性はあるが、斜面上での持ち運びや設置作業中に折れる可能性がある。

斜面上での持ち運びを考えると、3mmは、直径1m程度での巻き取りが可能であることから、可とう性と剛性の観点から3mmのケーブルが適していると考えられる。

### 4.3 経過状況

設置後の経過状況を見ると、写真-5示すようにカーボンケーブルに保護管をつけていないものには蔓が絡まっていた。また、写真-7に示すように地山に変動がある箇所は、カーボンケーブルが地山に食い込み計測に支障を



写真-2 保護管無しの設置状況



写真-3 保護管有りの設置状況



使用材料（足場台座とピン）



使用材料（フレキシブ保護管）



台座の固定ピン打込み



埋め戻しと根固め



カーボンケーブルの通線



センサとカーボンケーブルの接続



保護管の斜面固定



カーボンケーブルの固定

写真-4 設置手順

きたしていた。このことより、保護管なしの設置法には問題があることが判明した。

また、特に設置後に植生が繁茂する場所では、写真-6に示すように保護管があっても植生で隠れることからケーブルの設置位置がわからなくなり、メンテナンスに入



写真-5 カーボンケーブルに蔓が絡まっている状況（設置3ヶ月後）



写真-6 植生によって目立たなくなっている状況（設置3ヶ月後）



写真-7 カーボンケーブルが地山に食い込んでいる状況（設置10ヶ月後）

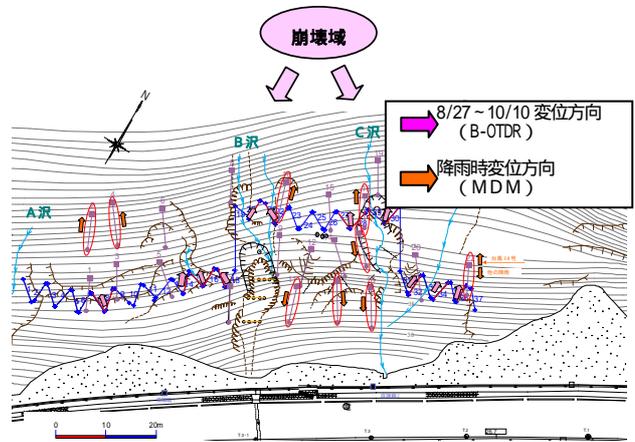


図-5 崩壊域のセンサ変位方向図<sup>1)</sup>

る際に誤って踏んで断線する可能性があることが判明した。このため、設置場所が雑草に隠れても分かるように目印を数箇所付ける方が良いことを確認した。

#### 4.4 地山モニタリング結果

現地は、過去のモニタリングから図-5に示すように崩壊域がセンサの上部斜面にあり地山の変位は10月から12月にかけて「圧縮」側に変動することが分かっている。

3mmのカーボンケーブルでのモニタリング結果を図-6に示す。今回の計測は、豪雨期後に実施しているため、降雨と地山変位の関係は明瞭に見いだされていないが、11月5日の日降水量50mmから12月22日の日降水量110mmの間はほぼ無降水状態であった。この間の地山変位は2mm程度の圧縮変位である。今回の設置でのモニタリング結果は従来のB-OTDR計測とほぼ同じ結果であり、実務への適用性は高いと考えられる。

なお、図-6に示すB-OTDRの計測で変動幅が大きいのは、計測値を温度補正していないためである。

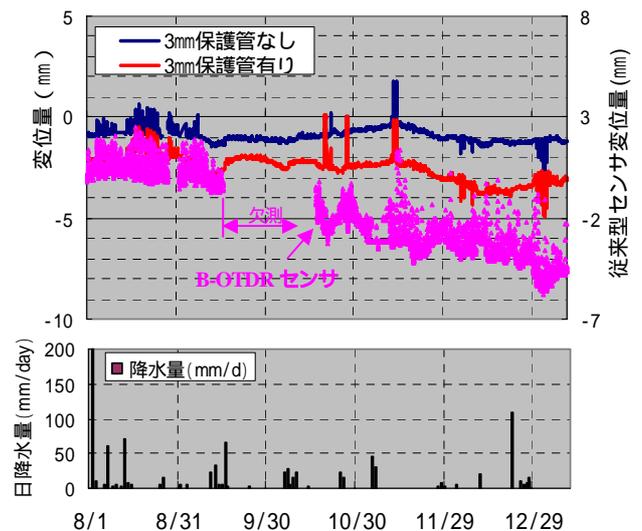


図-6 斜面モニタリング経時変化図（1997）

## 5. 簡素化によるコスト低減効果

従来の設置法である地上架設と今回のカーボンケーブルを使用した地表面布設法を比較する。

表-3 および表-4 は光ファイバセンサの B-OTDR と MDM の設置費用である。B-OTDR 設置は材料費が高く、MDM 設置は設置手間（人工）が多く必要であり、トータルコストはほぼ同じ結果であった。

今回の簡素化設置費用は表-5 に示す。設置手間は地上架設に比べて 35～60%程度縮小されている。また、カーボンケーブルはインバー線より高価であるが、他の材料が少なくないため材料費も安くなり、トータルコストで従来の地上架設方式より約 70%程度低減出来ている。

今回の費用算出には仮設費は含んでいない。高所作業でモノレール運搬を必要とするに当たる地上架設ではもっと費用差は生じるため、カーボンケーブルを使用した簡素化設置法は有効的な設置法になると考えられる。

表-3 B-OTDR による地上架設費用

品名	型式	単価	数量	計
保護管	FEP-20	230	50 m	11,500
単管	1.5m	700	6 本	4,200
かんた 筒型	支柱	700	2 個	1,400
耐候性インシュロック		500	1 袋	500
タル木用クランプ	自在	250	6 個	1,500
足長Uボルト		40	2 個	80
Uボルト用プレート		40	2 個	80
ステンレス 針金	50m	1,700	1 巻	1,700
セメント		500	1 袋	500
丸ピン	0.9m	200	8 本	1,600
VU200塩ビ	0.3m	2,420	2 本	4,840
VU200用 塩ビキャップ		1,600	2 個	3,200
VU40 塩ビパイプ	縦割り	1,800	3 本	5,400
長穴付きアングル	3m 亜鉛メッキ	2,000	3 本	6,000
消耗材料		5,000	1 式	5,000
ロック 一式		2,600	1 式	2,600
光ケーブル		1,200	10 m	12,000
			合計	62,100
設置人件	5基/日・2名	20,000	0.20	8,000

表-4 インバー線を用いた MDM による地上架設費用

品名	型式	単価	数量	単位	計
角度調整台座		11,500	1 台		11,500
保護管	FEP-20	230	10 m		2,300
長穴付きアングル	3m 亜鉛メッキ	2,000	3 本		6,000
ベース付き支柱		1,000	2 本		2,000
インバー線取付け台座	かんた筒型	700	1 個		700
スーパーインバー線	KLGF-21	6,500	1 巻		6,500
ステンレス 針金	50m	1,700	1 巻		1,700
耐候性インシュロック		500	1 袋		500
セメント 砂入り		500	1 袋		500
単管	1.5m	700	6 本		4,200
タル木用クランプ		250	6 ヶ		1,500
丸ピン	0.9m	200	8 本		1,600
単管キャップ		50	1 ヶ		50
消耗材料		5,000	1 式		5,000
保護管 光ケーブル用	FEP-20	230	50 m		11,500
			合計		55,550
設置人件	4基/日・3名	20,000	0.25		15,000

注1) 表-3～表-5 は直線的に設置した 1 箇所当たりの費用

注2) 各センサ費用は含まず

表-5 カーボンケーブルを用いた MDM による地表面布設費用

品名	型式	単価	数量	計
角度調整台座		5,000	1 台	5,000
保護管	FEP-20	230	10 m	2,300
カーボンロッド		2,000	10 m	20,000
フック型ピン		250	7 本	1,750
ベース付き支柱		1,000	2 本	2,000
インバー線取付け台座	かんた筒型	700	1 個	700
耐候性インシュロック		500	1 袋	500
セメント 砂入り		500	1 袋	500
タル木用クランプ		250	1 ヶ	250
丸ピン	0.9m	200	8 本	1,600
単管キャップ		50	1 ヶ	50
保護管 光ケーブル用	FEP-20	230	50 m	11,500
			合計	46,150
設置人件	8基/日・2名	20,000	0.13	5,000

## 6. まとめ

今回、地表面変位センサの設置・施工性の向上と設定材料費の低減を目的とした室内実験と実斜面での検証実験を行った。

カーボンケーブルは、斜面変位を良好に伝達可能で計測線として優れた特徴を有していることが確認できた。

カーボンケーブルは変位の追従性に優れ、インバー線と比べて現場での施工性が向上する。

カーボンケーブルは、可とう性と剛性の観点から 3mm 程度のケーブルが適していると考えられる。

また、植物からの保護や地山変位の追従から保護管を設置した方が適切であることが判明した。

工事用足場台座は、地盤を掘削して垂直に設置してピンで固定すれば、容易に固定台座が施工可能で地盤の移動に対し良好に追従する。ただし、土砂流出などによる治具固定部の転倒防止を考慮し、地盤条件・周辺状況により固定用ピン長選定や底板周辺へのモルタル充填等の補強対策が必要と考える。

実証実験の結果より、設置のための人工は、従来型より 1/3～1/2 程度に低減できた。

カーボンケーブルの材料費は、従来のインバー線より高価であるが、他の材料数量が少ないためトータルで従来型より安価であった。

今後は、この技術を活用し、面的な表層崩壊のモニタリングに有利な光ファイバセンサを用いた多点変位システムの低コスト化および施工性・拡張性の向上を目指したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 「光ファイバセンサを活用した斜面崩壊モニタリングシステムの導入・運用マニュアル(改訂版)」, 土木研究所共同研究報告書 第352号, 2007

(2008.5.16 受付)