新潟応用地質研究会誌 第71号
49－54頁（2008年12月）

地盤災害監視のための変位計とモニタリングシステム

大川　　滋*

1. はじめに

地盤災害監視において、変状を監視するためのセンサとして伸縮計が多く使用されている。伸縮計は、地盤にクラックが発生した場合に、その拡大や地盤の移動状況を把握する目的で設置されることが多く、クラックの発生が確認された時や活動の活発化が確認された時など監視が必要と判断された時に、比較的短時間で設置して観測を開始することが可能であるため、地すべりや斜面崩壊など多くのケースで利用されている。しかし一方、この伸縮計は、空中部にインバ線を一直線に張る必要があることから、保護設備の設置が大掛かりとなったり、気象条件等の外的要因による影響を受ける場合がある。また、ある範囲にわたって多数地点の変位計測を行う必要がある場合、従来の１点計測型の変位計では計測システムが煩雑となったり、コスト高となったりする状況が発生する。

そこで、地盤災害監視のための変位計測を簡素化・低コスト化でき、効率よく変位計測を行うことを目的として、剛性とフレキシビリティを有する伸縮計（以下、フレキシブル伸縮計、NETIS登録審査中）およびフレキシビリティを有する長尺・多点計測型の変位計（以下、多点変位計、NETIS登録：HR－000010－A）を考案し、計測実績を重ねてきた。ここに、それらの概要、監視システム、施工例を紹介する。

2. フレキシブル伸縮計の概要

従来からの代表的な伸縮計（写真１）は、観測対象の両端に丈夫な杭を固定し、片側に伸縮計を設置し、もう一方の杭からインバ線（低熱膨張率ニッケル鋼線）をテンションをかけて張る。通常、風雨や動植物などからの影響を軽減するため、インバ線を空中に張っている区間では、塩ビ管と杭を設置して保護する。

写真１　従来型伸縮計の設置例

この従来の伸縮計には以下の欠点がある。

① 杭や塩ビ管などの防護設備の設置に手間がかかる

② インバ線を空中部に設置するため、保護管を設置しても気象条件、動植物、その他の外的要因の影響を受けやすい

③ インバ線や保護管について定期的な保守・点検が必要であり、長期計測には不向きである

以上のことから、従来の伸縮計を利用する場合、様々な外乱の影響を考慮して運用する必要があり、定期的な保守・点検も重要となる。

そこで、従来の伸縮計の欠点を考慮し、インバ線の替わりに炭素繊維複合材ケーブル

*㈱興和

写真２　フレキシブル伸縮計

(Carbon Fiber Composite Cable) を利用した伸縮計を考案した（写真２）。

２．１　炭素繊維複合材ケーブルの特徴

炭素繊維複合材ケーブルは、高強度かつ耐食性に優れているほか、剛性とフレキシビリティを持ち合わせている（表１）。特に線膨張係数は0.6×10^{-6}/℃とインバ線の約半分である。また、直径は4.2㎜であるものの、単位質量が30g/mと軽量である。

表１　炭素繊維複合材ケーブルの仕様

項　目	仕　様
直　径	4.2㎜
最小曲げ半径	50cm
単位長さ質量	30g/m
破断加重	23kN
弾性係数	137kN/㎟ (ピアノ線78.5kN／㎟の1.7倍)
線膨張係数	0.6×10^{-6}/℃ (インバー線1.1×10^{-6}/℃の半分)
耐熱性	130℃
耐腐食性	通常土中環境において腐食せず

２．２　炭素繊維複合材ケーブルの優位点

炭素繊維複合材ケーブルは剛性を有するため、ガイド管内をスムーズに往復する（写真３）。そのため、図１のように従来の伸縮計では不可能であった地表面にはわせる屈曲配置が可能となる。これにより、従来のようにインバ線を一直線に張る必要がなく設置が容易になる。さらに、風雨や動植物、その他の外的要因を受けにくくなるうえ、伸縮計が現場内での往来の妨げにならない利点もある。また、積雪地での計測の場合、従来の伸縮計のような大掛かりな雪囲いは必要ない。炭素繊維複合ケーブルを地中に埋設することで、積雪やその他の外的要因の影響を大幅に軽減することができ、安定した計測が可能となる。

写真３　炭素繊維複合材ケーブルの挿入

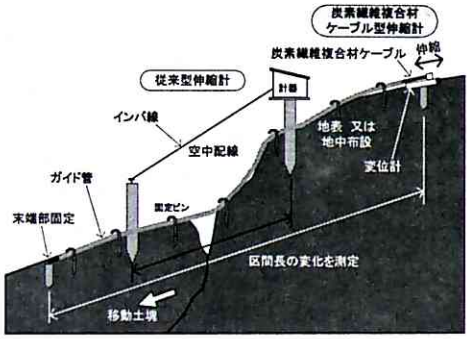

図１　フレキシブル伸縮計の設置概要

3. 多点変位計の概要

地盤や構造物の変位計測を行う際は、一般に１点計測型の変位計が用いられる。ある範囲にわたって多数地点の変位計測を行う場合は、この１点計測型の変位計を複数台設置する必要があり、計測システムが煩雑となったり、コスト高となったりする状況が発生する。

そこで、多点計測を簡素化・低コスト化し、効率よく変位計測を行うことを目的として、磁歪式位置センサを用いて、フレキシビリティを有する長尺・多点計測型の変位計を考案した。

3．1　多点変位計の特徴

多点変位計（写真４）は、フレキシビリティを有する長尺・多点計測型の磁歪式位置センサである。測点に計測ターゲット（マグネットが装填された計測リング）を設置し、ケーブル状センサの長さ方向に移動する計測ターゲットの位置を検出するものである。表２に主な仕様を示す。

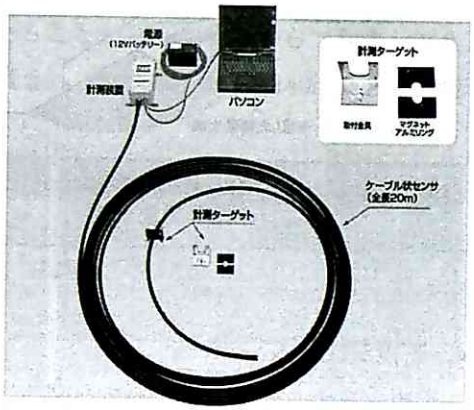

写真４　多点変位計（20m計測型）

① 多点計測型：
多点の位置を同時に計測する(最大20点)。

② 長尺型：
ケーブル状センサは標準10m、最長20mである。

③ フレキシブル型：
センサ部（磁歪線）はフレキシブルなケーブル状であるため、計測対象物の形状に合わせてケーブル状センサを設置することができる。

表２　主な仕様

項　目	仕　様
電源	DC12V（DC10～15V）
消費電流	約180mA(動作時)、約0.3mA(待機時)
分解能	0.01mm
計測ターゲット数	最大20個/台
インターフェース	RS－232C

④ 絶対位置検出型：
アブソリュート位置検出であるため、万が一の停電やデータ欠損が発生した場合、復帰に際して原点復帰する必要がなく、計測ターゲットの位置を検出する。

⑤ 複数連結：
複数台の多点変位計を連結して、計測範囲を拡大することができる。

⑥ 非接触型：
非接触検出であるため、地中地盤の計測においては計測終了後、センサ部を回収することができる。

3．2　多点変位計の優位点

１台の変位計で変位計測を行う際、変状位置が不確定な場合は多点計測が有効である。図２に従来型変位計と多点変位計による計測の例を示す。従来型では予想した移動土塊の上方に固定点、予想した移動土塊の下部に移動点が設置してある。一方、多点変位計では

予想移動土塊の上方に固定点、予想移動土塊に多数計測点を設置し多点計測を行なっている。そこで、予想移動土塊内の一部で移動が発生すると、従来型変位計では移動を計測できない場合があるのに対して、多数計測ターゲットを設置した多点変位計は変状位置が不確定な場合でも変位が計測できる。

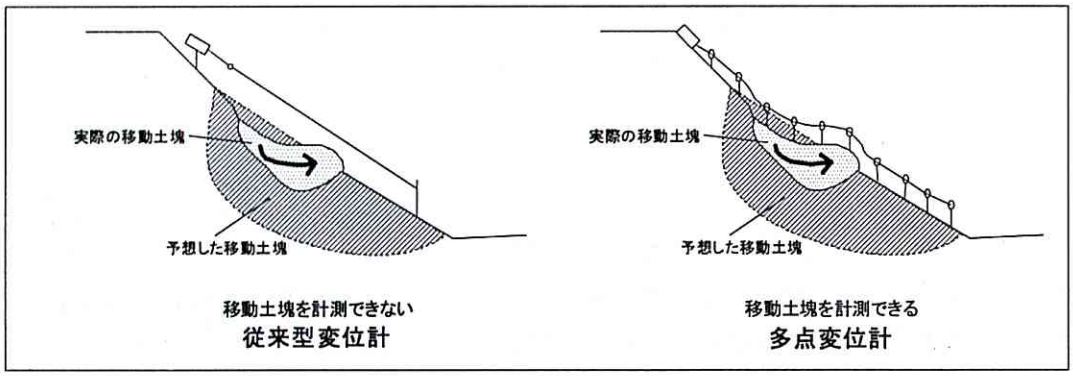

図2　多点計測が有効な例

4. 監視システム

監視システムのモデルケースを図3に示す。

①現場内警報発信方式は、警報判定機能を備えたデータロガーが計測データから警報を判定し、警報装置に警報を発信するものである。最もシンプルな監視システムである。監視PCがないためリアルタイムでデータを確認できないが、データロガーに蓄積されたデータを手動で回収することができる。

②現場内監視方式は、監視PCが計測データから警報を判定し、警報装置に警報を発信するものである。監視PCで計測結果を数値データやグラフで確認でき、警報履歴を管理できる。

③遠隔監視（インターネット監視）は、携帯電話パケット通信網を利用して、遠隔地の監視局において計測データを一括管理し、インターネットにより計測データを数値データやグラフとして配信するものである。インターネットに接続できる環境であればどこでも遠隔地で監視ができるシステムである。また、現場担当者に警報をメール配信することもできる。

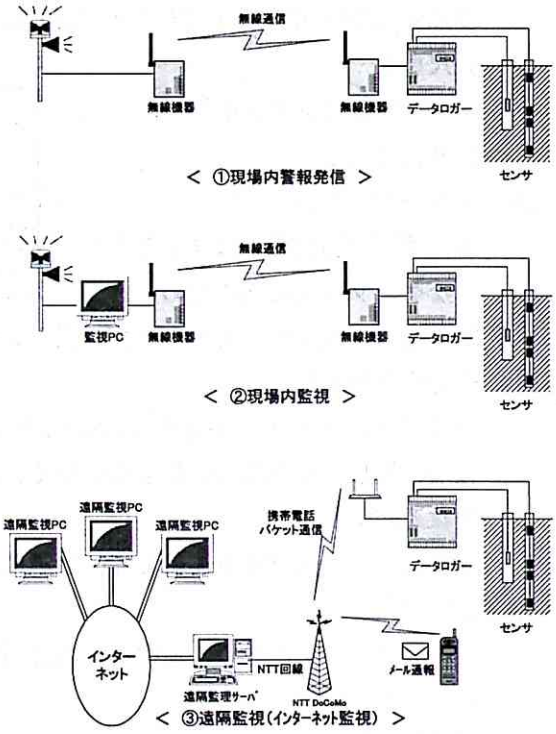

図3　監視システムのモデルケース

5. 施工例

5. 1　フレキシブル伸縮計による地すべり監視

世界最大の水利電力プロジェクトである中国三峡ダム建設がほぼ完成されている。ダムの部分完成に合わせて湛水が実施され、貯水位上昇に伴って、貯水池に面する斜面で変動が活発になった。なかでも、ダム上流の揚子江本流右岸に位置する樹坪（Shuping）地区では、貯水位上昇によって古い地すべり地の一部の変動が活発化した。地すべり変動機構を検討する目的で2004年からインバ線を利用した従来の伸縮計による観測が開始されているが、貯水位上昇によって地すべり末端が水面下になることから、2006年からフレキシブル伸縮計を斜面に埋設し観測が行なわれている（写真５）。その測線は最大140mであり、現在、末端部は水面下にある。

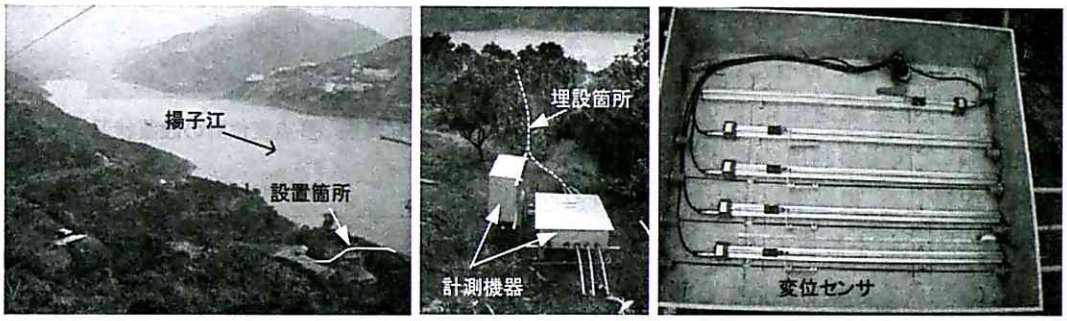

写真５　フレキシブル伸縮計の設置状況（樹坪地すべり）

水面付近におけるフレキシブル伸縮計の観測結果（図４）では、貯水位上昇期（2006年８月以降）に変動を生じ、貯水位低下期（2007年２月以降）には、貯水位低下が緩速であるにも関わらず斜面変動が活発化していることから、貯水位低下時の地すべり斜面の管理の重要性が示された。

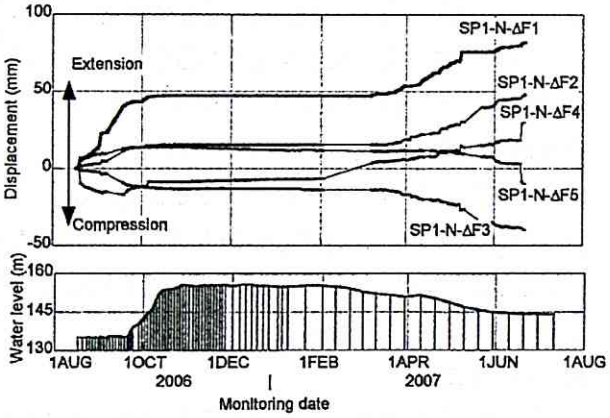

図４　フレキシブル伸縮計の観測結果（樹坪地すべり）

この地すべり監視においては、フレキシブル伸縮計の設置により、従来の伸縮計では困難であった水面付近の斜面変動を安定して観測することができた。

5. 2　多点変位計による安全管理

急傾斜地の法面工事において、施工中の法枠と斜面上部の地盤に亀裂が生じたため、安全管理として斜面上部地盤と法枠の変位計測を行ったものである。

多点変位計の配置は、20m計測型３台とした（図５、写真６）。計測ターゲットは、法枠上ではホールインアンカーで固定し、斜面上部地盤上では亀裂を挟むかたちで木杭を用いて固定した。ケーブル状センサは末端におもりをつけ、途中たるまないように設置した。

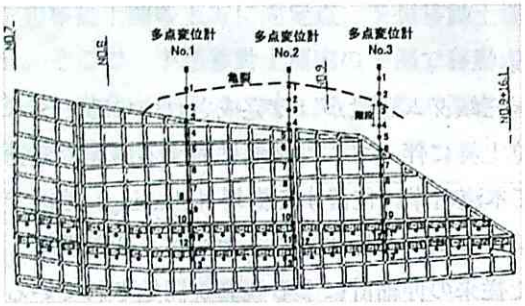

図5　多点変位計の設置位置

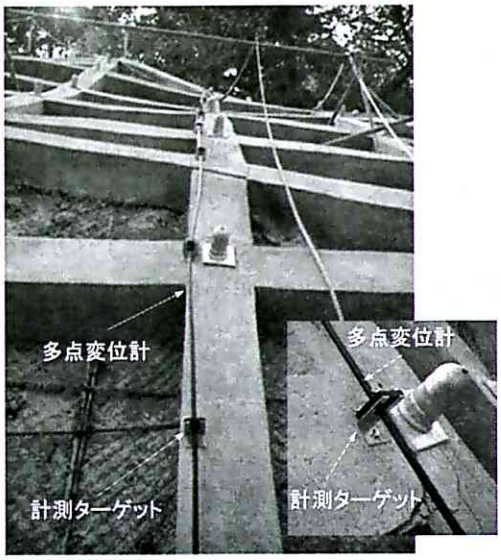

写真6　多点変位計の設置状況

計測ターゲット数は多点変位計３台ともに、１台につき13点とした。

現地の多点変位計への電源供給は太陽電池とバッテリを設置し行った。計測データは、特定省電力型無線通信により、現地から約100m離れた現場事務所の監視PCに通常15分間隔で記録した。現場事務所内には警報機（回転灯・サイレン）を設置し、変位がある規定値を超えた時点で警報を発信する体制をとった。

計測期間中の2003年５月26日18時24分に発生した宮城県沖地震（M7.0、現地の震度６弱）の影響で、図６に示すように法枠の変位が計測された。図は隣り合う計測ターゲットの区間変位を表したものである。地震により、斜面上部地盤の計測ターゲット２と法枠の計測ターゲット10に斜面下方への変位が計測されたが、その後は変位がみられなかった。

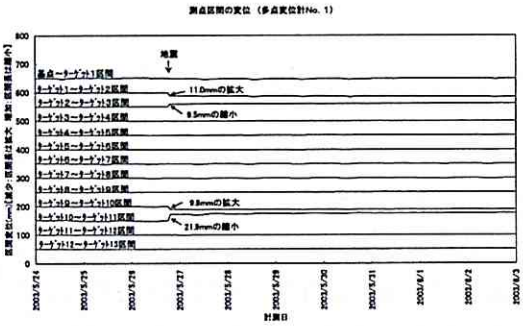

図６　計測ターゲット区間の変位

変状位置を特定することができたこれらの多点変位計測結果は、工事再開を判断する有用データのひとつとなった。

6. おわりに

炭素繊維複合材ケーブルを利用したフレキシブル伸縮計および１台で計測範囲の多数点の位置を同時に計測する多点変位計を考案し、その概要、監視システム、施工例を紹介した。変位計測を簡素化・低コスト化可能なこれらの変位計を使用し、監視の目的に応じた計測システムを構築することにより、より効果的な地盤災害監視システムの運用が期待できると考えている。

参考文献

汪発武・新井場公徳他（2008）中国三峡ダム貯水池における樹坪地すべりの変動観測．日本地すべり学会誌、44（６）：68－74