

地すべりモニタリング

—IT地盤傾斜計、無線式距離計測システム—

独立行政法人 土木研究所土砂管理研究グループ
地すべりチーム

川崎地質 株式会社
曙ブレーキ工業 株式会社
坂田電機 株式会社
株式会社 共和電業
株式会社 エイト日本技術開発



発表項目

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1 開発の背景 | 4. 実証実験 |
| 2 IT地盤傾斜計(重力加速度計)とは | 4.1 試験地 |
| 2.1 計測原理 | 4.2 設置位置 |
| 2.2 重力加速度計の利用事例 | 4.3 観測結果 |
| 2.3 IT地盤傾斜計の特徴 | 5. まとめ |
| 3 無線式距離計測システムとは | 5.1 IT地盤傾斜計 |
| 3.1 地盤伸縮計と課題 | 5.2 無線式距離計測システム |
| 3.2 無線式距離計測システムの特徴 | |



1. 開発の背景

1.1 地すべり調査に関する質問

～地すべりによると思われる亀裂が生じたらどうしますか～



写真1.1.2 擁壁にクラック発生

写真1.1.3 擁壁変状の拡大

1.2 地すべり調査(緊急時の処置)

地すべりにより斜面やのり面に変状が確認された場合は、以下の対応を検討する。

- (1) 変状範囲と地すべり移動方向の確認 ← 踏査により確認
- (2) 移動量、変位量等の計測
- (3) 発生機構(素因、誘因)の推定
- (4) 移動土塊の挙動の予測
- (5) 拡大の可能性の検討
- (6) 影響範囲の推定
- (7) 監視機器の設置及び連絡体制の整備
(地すべり防止技術指針及び同解説 p67)

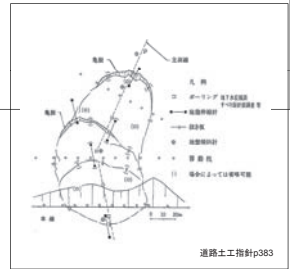


図1.2.1 計測機器の一般的な配置図

(1) 現地踏査(範囲、移動方向等の把握)



写真1.2.2 斜面崩壊状況

写真1.2.3 道路の隆起状況

(2) 移動量、変位量の計測

①地盤伸縮計(斜面上部)



写真1.2.4 地盤伸縮計



1.3 特殊条件下での観測

- ・地すべり背後斜面への崩壊の拡大の可能性がある場合(派生的な地すべりの検出)
- ・地すべり土塊の動きが比較的大きい、泥滓化・流動化した地すべり場合(長期間の立ち入りが困難な場合)
- ・測定範囲を超える移動速度、移動量が生じる可能性がある場合

既存の計測機器では、計測が困難である

地すべりの動きを計測したいが、特殊な条件下では計測が困難...

共同研究で開発した計測機器

・民間企業4社と「厳しい条件下での使用に耐える地すべり観測装置の開発」共同研究を実施、共同研究を通じて計測機器の開発を実施
 ・土木研究所と民間5社(曙ブレーキ・川崎地質・坂田電機・共和電業、エイト日本技術開発)とで構成される「特殊な地すべり環境下で使用する観測装置の開発研究会」で引き続き、技術の向上・普及を目的に活動中

【実用試験済あるいは試験中】

- ①IT地盤傾斜計測システム
- ②大変位伸縮計
- ③無線式距離計測システム

【試験段階】

- ④音響式距離計測システム
- ⑤転倒式土塊到達検知システム
- ⑥振動デバイス式土塊到達検知システム



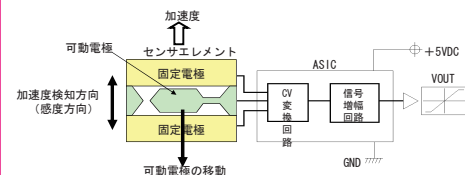
①IT地盤傾斜計、
③無線式距離計測システムを紹介

2. IT地盤傾斜計(重力加速度計)とは

2.1 計測原理

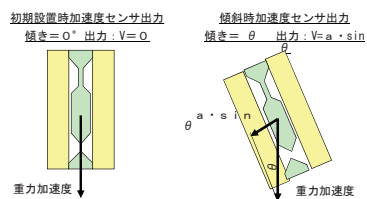
(1) 加速度の検知原理

- ①加速度により可動電極に力が発生し、可動電極が動く。
- ②可動電極と固定電極間の距離が変化し、静電容量が変化する。
- ③CV変換回路により、静電容量を電圧に変換する。
CV変換：静電容量Capacitanceを電圧Voltageに変換する。
- ④信号増幅回路により、電圧を実用的な値まで増幅する。



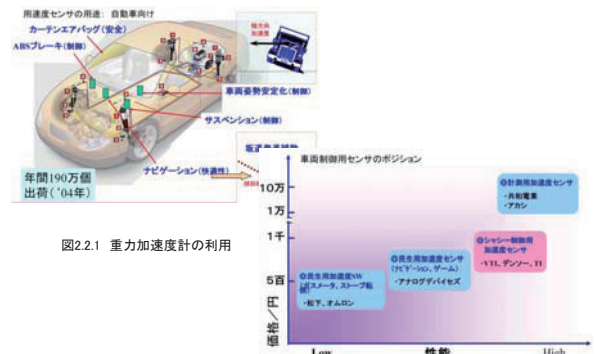
(2) 角度の検知原理

- ①加速度センサで重力加速度を検知。
- ②加速度センサが角度 θ 傾いた時は、加速度センサの感度方向の分力は、 $\sin \theta$ であり、これが加速度センサの出力となる。
- ③加速度センサの出力電圧 $V = a \cdot \sin \theta$ (a : 加速度センサの感度)より、傾斜角度 $\theta = \sin^{-1}(V/a)$ で求められる。



2.2 重力加速度計の利用事例

自動車の車体制御用センサ(重力加速度計)を利用し、安価に精度よく地盤の傾動を検知



2.3 IT地盤傾斜計の特徴

- ①1台のデータロガーに対し最大100台のセンサを繋げて面的な多点計測ができる50箇所までセンサを連結可能
→頭部背面に拡大する派生的地すべりの面的検出に！



設置イメージとセンサの特徴

■センサの基本仕様

- ・測定レンジ: $\pm 200\text{mg}$
- ・測定精度: $\pm 0.01\text{deg}$ 温度特性: $\pm 0.006\text{deg}/^\circ\text{C}$
- ・長期安定性: $\pm 0.001\text{deg}/\text{day}$
- ・電源: AC100V又はDC12V
- ・センサ軸数: 2軸 ケーブル総延長: 100m(1本当り)
- ・測定数最大100台(ケーブル2~3本使用時)
- ・使用温度範囲: $-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 記録メモリー付

図2.3.1 IT地盤傾斜計の設置イメージと仕様

- ②測定精度 $\pm 0.01^\circ$ (36秒) × 測定レンジ $\pm 20^\circ$ (幅広い)
→活発な地すべりに向いている(測定レンジが広い)

*IT: Information Technology (情報技術)
Intelligent Transducer (知能を持ったセンサ)

写真2.3.1 IT地盤傾斜計

③0.5MPaの耐水圧性能を有し、水深50mまで計測できる。

地すべり末端部が水面下にある場合、その変状範囲や規模を適切に計測・把握することは困難である。



本システムは、陸上での計測を想定して開発したものであるが……。
水深50mまで計測できる(0.5MPaの耐水圧性能)

水没斜面での計測の適用

・貯水池の湛水後における水没斜面での計測手法としての適用性の検証ならびに解決すべき課題の明確化を目的とした実証実験を実施

※実施結果は、ダム技術3月号を参照

④特定小電力無線通信システム及び携帯電話回線等を用いて遠隔監視ができる。

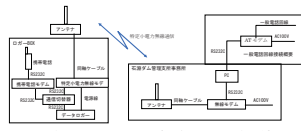


図2.3.2 特定小電力無線通信システム及び一般電話回線接続概要図 (石淵ダム管理支所の場合)

⑤打設した単管にセンサを挿入・固定するだけで迅速に設置ができる。

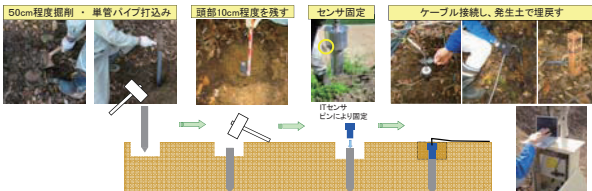


図2.3.3 IT地盤傾斜計測定システム 設置手順

3. 無線式距離計測システムとは

3.1 地盤伸縮計(従来の技術)と課題

地盤伸縮計とは、地すべりによる亀裂や段差をはさむ区間の伸縮量を測定する計測機器である。

課題

- ①インパー張り替え
- ②測定範囲(数十cm)
- ③オーバーハング斜面
- ④豪雪地への設置
- ⑤小崩落への対応(埋没)

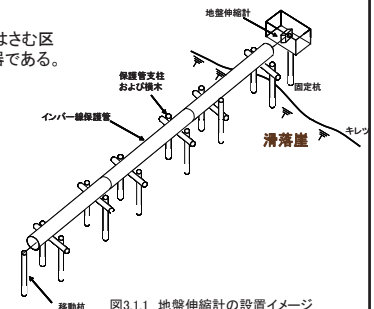


図3.1.1 地盤伸縮計の設置イメージ

3.2 無線式距離計測システムの特徴

【システムの特徴】

- ・電磁波強度によるワイヤレス変位計測システムである。
- ・センサが発信した磁気信号を受信アンテナで受信して、測定器が信号の強度から変位センサと受信アンテナの距離を求めめる。
- ・1kHz以下の周波数を使用しているため、媒質での反射、減衰の影響がほとんど無いため、土(土被り)・水(冠水)・植生(密集した植生・倒木)の影響が無い
- ・長スパン伸縮計のワイヤレス化(15~30m)

精度: 距離30mで50mm以下、15mで20mm以下(実績)

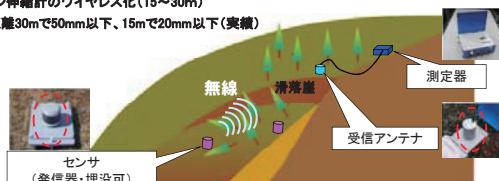


図3.1.2 無線式距離計測システムの設置イメージ

4. 実証実験(塩の川地すべり)

4.1 試験地

- (1)試験地: 塩の川地すべり
- (2)地すべりの規模等: 長さ: 320m、幅250m
約3年間で約1mの移動量(平均変位量10mm/月)
- (3)設置台数: IT地盤傾斜計: 6基
無線式距離計測システム: 1台



図4.1.1 試験地の位置図

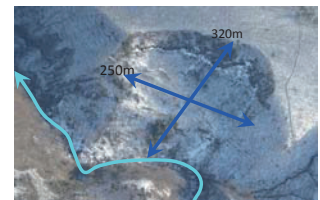


写真4.1.1 塩の川地すべり全景

提供: 福島河川国道事務所

4.2 設置位置

(1) IT地盤傾斜計

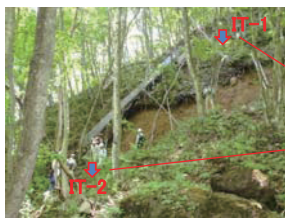


写真4.2.1 IT地盤傾斜計の設置状況 (IT-1, IT-2)

既設地盤伸縮計の不動杭側と移動杭側にそれぞれ1基計3箇所にIT地盤傾斜計を6基設置

- ①頭部滑溜崖エリア
- ②新しい開口亀裂発生エリア
- ③末端小ブロックエリア

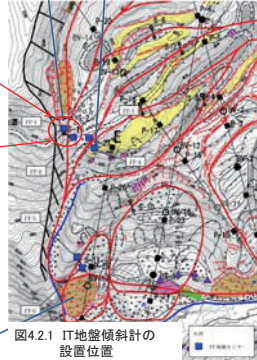


図4.2.1 IT地盤傾斜計の設置位置

(2) 無線式距離計測システム



写真4.2.2 無線式距離計測システムの設置状況

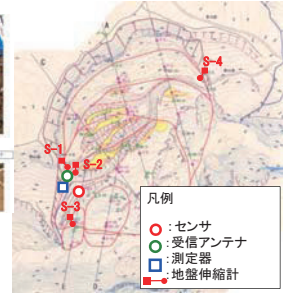


図4.2.2 無線式距離計測システム設置位置図

4.3 観測結果

4.3.1 地盤傾斜計観測結果の評価方法

①累積傾動量

合成変動量 ($\sqrt{NS傾斜^2 + EW傾斜^2}$) を求め、日および月当たりの傾動量を下表より評価

②傾動方向

傾斜方位図(ベクトル図)から傾動方向と地すべり方向の関係を評価

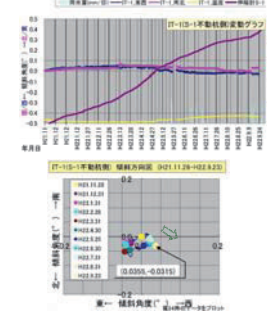
表-4.3.1 地盤傾斜計観測結果による地すべり判定基準

変動種別	日平均変動量 (秒)	累積変動量 (秒/月)	傾斜盤の累積傾動の有無	傾斜運動方向と地形との相関性	変動判定	活動地はか
変動 A	5以上	100以上	顕著	あり	確定	活発に運動中
変動 B	1~5	20~100	やや顕著	あり	推定	緩微に運動中
変動 C	1以下	20以下	ややあり	あり	推定	継続観測が必要
変動 D	3以上	なし	なし	なし	異常	局所的な地盤変動・その他

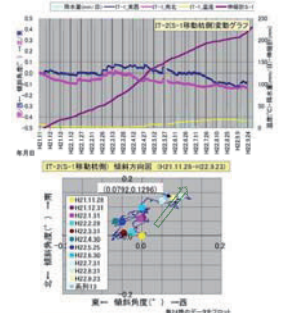
出典「地すべり防止技術指針及び解説」平成20年4月、土木研究所

4.3.2 IT地盤傾斜計(IT-1・IT-2)

【IT-1】不動杭側



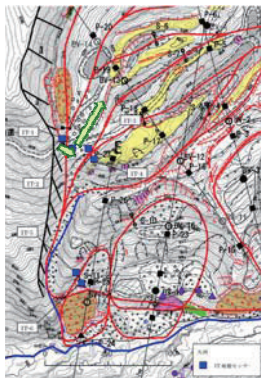
【IT-2】移動杭側



0.6秒/日・103.4秒/月評価:D(累積性に乏しい) 1.8秒/日・76.7秒/月 評価:B(活発な傾動回帰)

図4.3.1 IT地盤傾斜計観測結果(傾動量) (IT-1, IT-2)

【傾動方向】



IT-1
見かけ上
北西(谷側)へ

IT-2
転倒と回転を繰り返しながら南東へ

図4.3.2 IT地盤傾斜計観測結果(傾動方向) (IT-1, IT-2)

【参考】東北地方太平洋沖地震前後の動き

表4.3.2 地震前後の変動量

観測地点	日平均変動量		
	震災前	震災前後	震災後
IT-1(S-1)不動杭側	0.7	178.1	5.0
IT-2(S-1)移動杭側	1.4	1063.5	4.6
IT-2(S-2)不動杭側	1.7	398.1	3.0
IT-2(S-3)移動杭側	7.8	447.4	6.1
IT-2(S-4)不動杭側	1.7	908.8	2.2
IT-2(S-5)移動杭側	4.2	832.4	2.6

地震(震災)前 : H21.11.28~H23.3.10
地震前後 : H23.3.11~H23.3.14
地震後 : H23.3.15~H23.4.30

※4月は融雪期なので、昨年度は、変動量が大きくなる傾向がみられます。

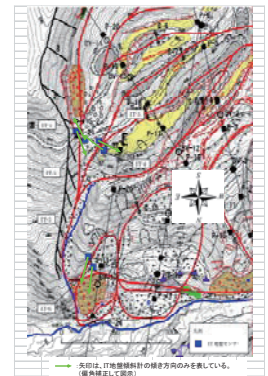
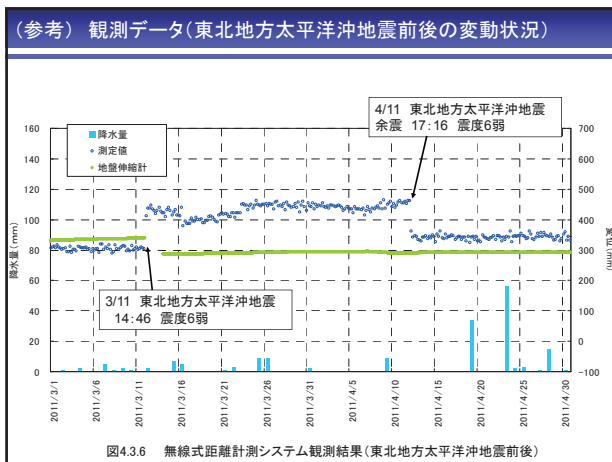
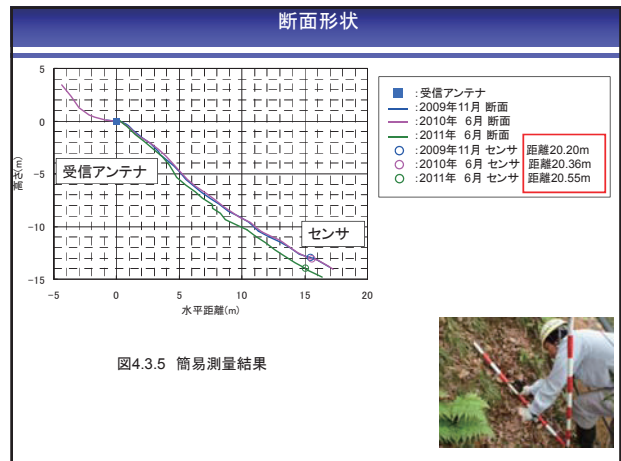
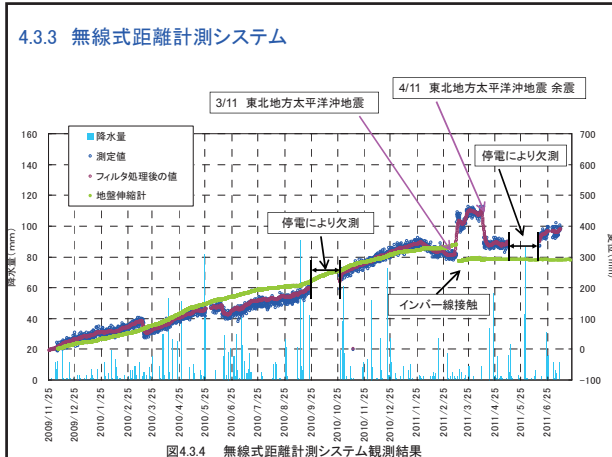


図4.3.3 地震後の傾動方向



5. まとめ

5.1 IT地盤傾斜計

- 累積傾動量
 - 活発な地すべり地において、変動評価に資する傾動量が得られた。
- 傾動方向
 - 地すべりブロックと相関のある傾動方向が観測された。
- 適用性
 - 概ね実用に耐える観測結果が得られた。

5.2 無線式距離計測システム

- 観測傾向及び距離
 - 地盤伸縮計の変位傾向と概ね一致することが確認できた。
 - 観測開始と1年半後のセンサと受信アンテナ間を鋼製巻尺で距離を測定した結果、約350mmの引張変位が確認され、これは本システムの観測値と同値であった。
- 地震関係
 - 地震により3/11には引張亀裂が、4/11には、圧縮変位が観測された。
 - 地震後には、地盤伸縮計はインバー線が保護管に接触したため、観測が不能となったが、本システムは地震後も継続して観測ができた。

ご静聴、ありがとうございました

