

斜面傾斜コンソーシアム市場開拓WGの活動報告

中央開発株式会社 ○森 大器, 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム

1. はじめに

「傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム」(以下、全地連傾斜センサーコンソーシアム)はIoT 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングの認知度を高め、その潜在マーケットを開拓して普及を図ることで、社会の防災・減災に貢献することを目的として令和4年4月に全国地質調査業協会連合会が支援する新マーケット創出・提案型事業に採択され発足した。本コンソーシアムは会員企業 15 社で構成されている。

2. 全地連傾斜センサーコンソーシアムの活動

全地連傾斜センサーコンソーシアムでは、具体的な活動を、「技術開発ワーキンググループ(以下WG)」と「市場開拓ワーキンググループ(以下WG)」の2つの分科会に分かれて活動している¹⁾。当初コンソーシアムの活動期間は2年間の予定であったが、活動期間を1年間延長した。表-1にコンソーシアムの活動スケジュール¹⁾を示す。

表-1 コンソーシアムの活動スケジュール¹⁾

	2022年度(令和4年度)	2023年度(令和5年度)	2024年度(令和6年度)
準備会・勧誘	実施		
全体	実施	実施	実施
コンソーシアム活動	実施	実施	実施
学識経験者との意見交換	実施	実施	実施
実証サイトにおける傾斜センサの比較検証	実施	実施	実施
活動	実施	実施	実施
挙動データの収集・整理・分析	実施	実施	実施
傾斜センサの傾向・適用性の分析	実施	実施	実施
とりまとめ:各社センサの傾向整理、標準化、適用方法の整理	実施	実施	実施
市場開拓、普及・啓発の戦略・行動計画の検討	実施	実施	実施
活動	実施	実施	実施
市場開拓、普及・啓発の行動の実践	実施	実施	実施
国内関連機関への働きかけ	実施	実施	実施
海外関連機関への働きかけ	実施	実施	実施

■ 実施
■ 予定

技術開発WGでは、IoT 傾斜センサーメーカーに対するアンケートによる実態調査や実証サイトにおけるモニタリングを実施している。

市場開拓WGでは、全国市町村の防災担当セクションに対してアンケート調査を実施し、関係省庁などへのヒアリングおよび意見交換会を行った。また、ポータルサイトを構築し、会員企業各社によるIoT 傾斜センサーの事例紹介などの情報発信を行っている。

3. アンケート調査

(1) IoT 傾斜センサーメーカーへのアンケート調査

IoT 傾斜センサーメーカーに対するアンケート調査は全地連傾斜センサーコンソーシアムに参画するIoT 傾斜センサーメーカー7社とコンソーシアム外のメーカー5社の計12社に回答を依頼した。アンケートの内容はIoT 傾斜センサーに関しての斜面モニタリングの契機、技術的

課題、市場的課題、実績とした。

図-1に「IoT 傾斜センサーの解決すべき技術的課題」についてのアンケート結果を示す(複数回答可)。およそ8割のメーカーが「管理基準値(閾値)の設定」の回答であった。IoT 傾斜センサーには現在のところ公的に定められた管理基準値がなく、業界として運用面での課題となっていることが明らかとなった。

図-2に「IoT 傾斜センサーの有利な点(メリット)」についてのアンケート結果を示す(複数回答可)。どのメーカーも安価であること、設置の容易さ、自由度をIoT 傾斜センサーの強みだと認識しているとわかった。

傾斜センサーに関して、解決すべき技術的課題等

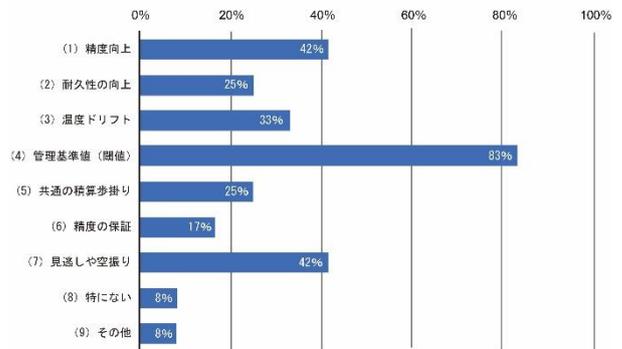


図-1 IoT 傾斜センサーメーカーのアンケート回答①

傾斜センサーの有利な点(メリット)

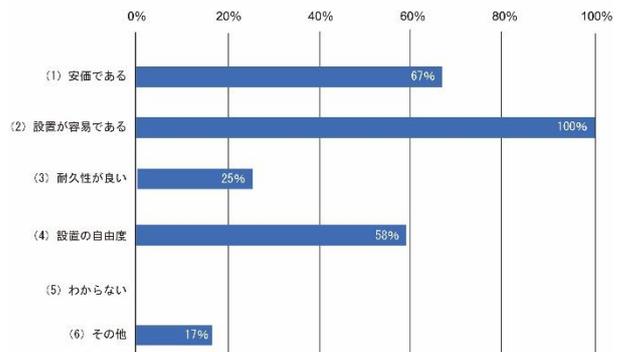


図-2 IoT 傾斜センサーメーカーのアンケート回答②

IoT 傾斜センサーメーカーに対するアンケート結果をまとめると、全体として高い回答率は特定の回答に集まる傾向がみられ、各社のIoT 傾斜センサーに対する認識や問題意識は共通していることが窺えた。

(2) 自治体へのアンケート調査

自治体に対するアンケート調査は、ニーズ把握やIoT 傾斜センサーの紹介・認知度の向上を目的として行った。対象は市町村の防災担当セクション(777自治体)とし、土砂災害特別警戒区域(いわゆるレッドゾーン)を保有

する全市町村から、県別に40%程度の区町村をランダムに抜き出した。アンケートにはIoT傾斜センサーのモニタリングについての概要も記載した。

IoT傾斜センサーに関心があると回答した自治体へどのような点に関心があるかを問うた設問の結果を図-2に示す。関心がある自治体では、災害情報の発信への活用や避難の警告の発出などへの活用に高い関心があることがわかった。一方で、関心がないと回答した自治体の理由としては費用の不透明さや予算確保の難しさが挙げられた。



図-3 自治体向けアンケートの回答の一例

また、得られたアンケート結果から「A.IoT傾斜センサーの関心の有無」と「B.過去の被害の有無」と「C.地域住民の土砂災害に対する意識」と「D.IoT傾斜センサーによる斜面モニタリングにあたっての懸念事項や支障となる事項」の4項目について、クロス集計をおこなった。図-3にクロス集計の結果の一例を示す。クロス集計の結果、過去に土砂災害が発生した自治体や地域住民の土砂災害の意識が高い自治体では、IoT傾斜センサーへの関心が高いことが分かった。また、そういった自治体ではIoT傾斜センサーのモニタリングに対して、精度や設置箇所の選定、警戒判断などの基準が未確立であるという具体的な懸念に関心があることが分かった。

IoT傾斜センサーへの関心

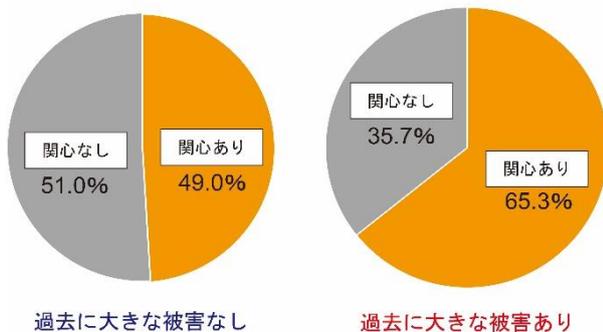


図-4 クロス集計結果の一例

(3) 関係省庁への働きかけ

関係省庁に対し、本コンソーシアムの存在・活動の認

知、IoT傾斜センサーの現状と今後の展望などについて、ヒアリングおよび意見交換会を実施した。対象者は7つの省庁関連部署である。

また、関連部署の担当者からの話題提供では、モニタリングの現状や今後のIoT傾斜センサーの適用可能性について情報提供を頂き、それについての議論を行った。

4. IoT傾斜センサーの適用事例

全地連傾斜センサーコンソーシアムのHP²⁾上では会員企業のIoT傾斜センサーの仕様やその適用事例について掲載しており、本稿ではその一部を紹介する。

(1) 災害現場の安全監視

崩壊した国道に面する斜面において、モニタリングを実施し通行規制解放の基準として運用。

(2) 工事現場の安全監視

工事中の安全監視、労働災害防止を目的にモニタリングを実施。

(3) 鉄道沿線斜面の変状監視

鉄道沿線斜面の安定性を定量的に把握する目的で「斜面変位」と「体積含水率」のモニタリングを実施。

(4) 道路法面の変状監視

国道沿いの道路法面にクラック等の変状が見られたため、変状の進行を把握する目的でモニタリングを実施。

(5) 土砂災害警戒区域内でのモニタリング

土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）において、豪雨時に斜面崩壊の危険が懸念されたためモニタリングを実施。

5. おわりに

全地連傾斜センサーコンソーシアムはIoT傾斜センサーの普及を目的に活動し、今後も展示会参加やWebセミナーの開催、管理基準値の設定に向けての活動予定している。管理基準値が整備されIoT傾斜センサーの認知度が向上し、普及することで防災・減災に寄与していくことが期待される。

《引用・参考文献》

- 1) 地質関連情報WEB, 新マーケット創出・提案型事業, 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム報告書(最終閲覧日2024.5.24) https://www.zenchiren.or.jp/market/pdf/R5con_report.pdf
- 2) 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアムHP(最終閲覧日2024.5.24), <https://tiltsensorcon.com/>

【CO16】

斜面傾斜コンソーシアム技術開発 WG の活動報告 (Iot 傾斜センサによる斜面の変形及び崩壊のプロセスの考察と新たな管理基準値の暫定案)

応用地質株式会社 ○谷川 正志, 傾斜センサによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム

1. はじめに

2022年4月に設立した「傾斜センサによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム(以下、コンソーシアムとする)では、技術開発WGとして表層崩壊やがけ崩れなどの斜面の変形および崩壊のデータが集積され参加した7社の内3社で崩壊を捉えた¹⁾。コンソーシアムを含む200万程度のデータの解析では、土壌雨量指数と角速度の相関性や、斜面の段階的な変形の特徴が鮮明となった。本論文では、取得したデータに基づき、斜面変形が3つの段階に区分できる可能性を提示し、Iot傾斜センサの角速度による管理基準値の暫定案を土壌雨量指数によるキキクル²⁾と対比して提示するものである。

2. 土壌雨量指数と角速度の相関性と変形ベクトル

日本各地で計測した200万程度のIot傾斜センサのデータによる角速度と土壌雨量指数の相関を図-1に示す。

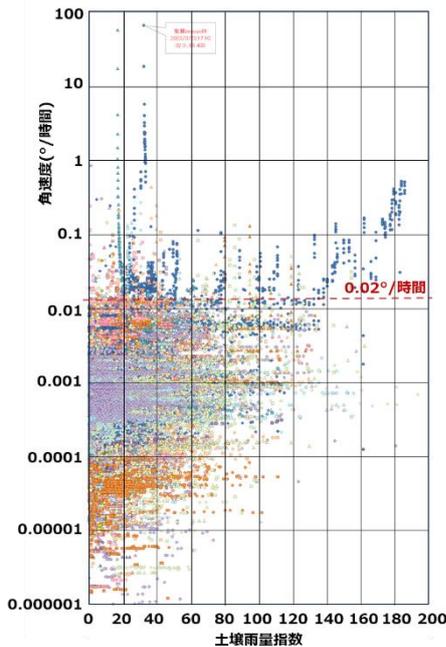


図-1 斜面変形の角速度と土壌雨量指数との相関図

上図の相関図から下記の特徴が確認された。

- ・角速度が0.02°/時間を超過すると継続的に変形が進む場合は、角速度が加速的に大きくなる。
- ・上記の角速度の変化は、降雨時の土壌雨量指数が高まる際に生じるが、必ずしも一律ではない。
- ・降雨が少ない場合でも角速度が0.1°/時間を超過した変形は加速的に継続し、2つの事例で崩壊に至った。
- ・2022年9月19日の台風14号で確認された土壌雨量指数180の超過時には角速度が0.52°/時間に達したが崩壊には至っていない。

次に、X軸とY軸の合成角度によりIot傾斜センサの変形ベクトルをオービットとして図-2に示す。

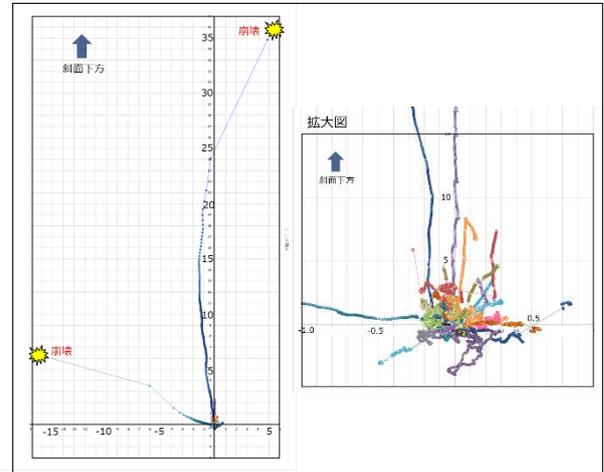


図-2 合成角度による変形ベクトルのオービット

上図の変形ベクトルでは、下記の特徴が確認された。

- ・初期の斜面変形では、変形ベクトルの軌跡がランダムである。
- ・斜面変形が進行した段階では変形ベクトルが一定の走向に収斂する。
- ・人工的な外力によりIot傾斜センサが反応した場合は、上記の軌跡を逸脱する。

3. Iot 傾斜センサによる斜面の変形の特徴

Iot傾斜センサのデータを整理している過程で、下記の特徴的な斜面の変形があることを確認した。

- 1) 常時もしくは豪雨時や土壌雨量指数の相対的ピーク時に特徴的な変形を示さない。
- 2) 豪雨時や土壌雨量指数の相対的ピーク時に一時的に角速度0.02°/時間を超える斜面下方の変形を示すが、その後の無降雨時に斜面上方へと緩やかな角速度で変形が継続し、変形の累積の変形が小さい(図-3左図参照)。
- 3) 豪雨時や土壌雨量指数の相対的ピーク時に一時的に角速度0.02°/時間を超える斜面下方の変形を示し、その後の無降雨時でも0.02°/時間を下回る角速度を継続しながら徐々にその速度が収束する。(図-3右図参照)。
- 4) 3)の特徴的な変形が偏在化すると、わずかな降雨や小さな土壌雨量指数のピークでも敏感に反応し、角速度0.02°/時間を超える斜面下方の変形が頻繁に発生する。無降雨時に角速度も3)の変形よりは早い角速度となる。
- 5) 4)の特徴的な変形を繰り返す内、0.02°/時間を下

回らない角速度を継続し、かつ指数関数的に大きくなる。無降雨もしくは少量の雨で 0.1° /時間を上回る角速度に達したものは2つ事例共に確認されているが、いずれも崩壊した(図-4参照)。

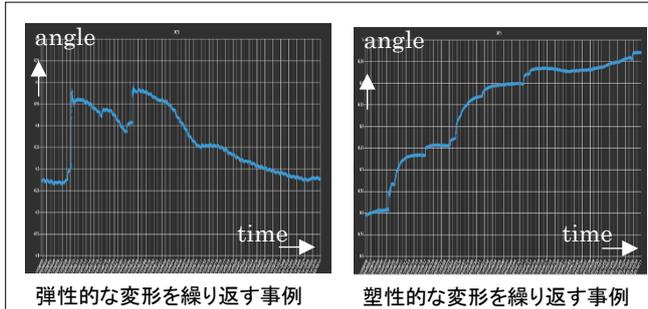


図-3 Iot 傾斜センサによる特徴的な変形事例

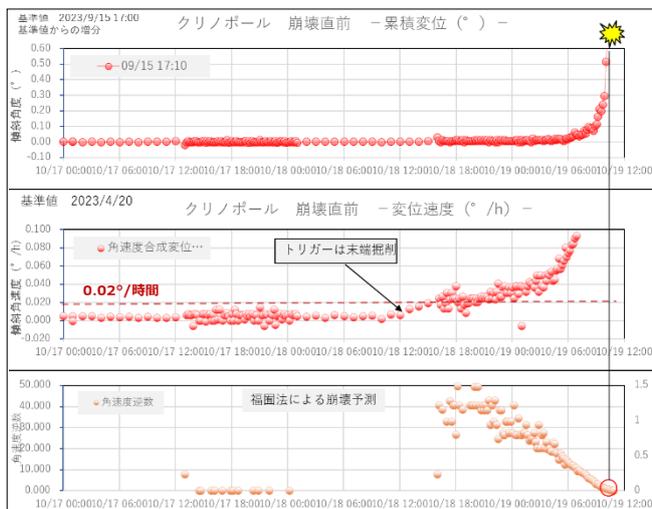


図-4 表層崩壊が発生した事例

4. 変形および崩壊のプロセスの考察

Iot 傾斜センサによる変形と崩壊のデータに基づき、斜面の変形および崩壊のプロセスを整理した(図-5参照)。

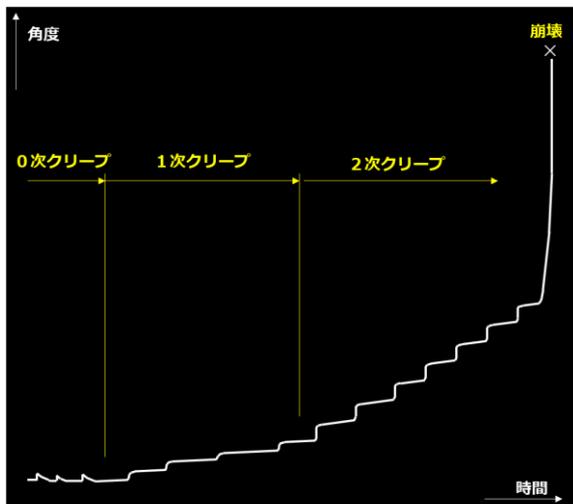


図-5 Iot 傾斜センサによる変形と崩壊のプロセス図

上図のクリープの特徴とクリープレベル区分は、下記のように考察している。

0次クリープ：図-4の弾性的な変形の段階である。降雨

などの誘因により一時的に変化するが徐々に回帰。図-2のオービットは不規則。

1次クリープ：図-4の塑性的な変形の段階である。降雨などの誘因による変化と平常変形を伴う。

2次クリープ：1次クリープが顕在化した段階である。

※1次と2次は図-2のオービットは一定の走向を示す。

3次クリープ：変形が加速的に変化し崩壊へ至る。

5. Iot 傾斜センサの管理基準値の暫定案

Iot 傾斜センサによる実測値を踏まえ、土壌雨量指数による災害発生危険度をレベル分けしたキキクル²⁾と、Iot 傾斜センサによる角速度の変化を対比することで警戒レベル管理基準値の暫定案を提示する(図-5,表-1参照)。

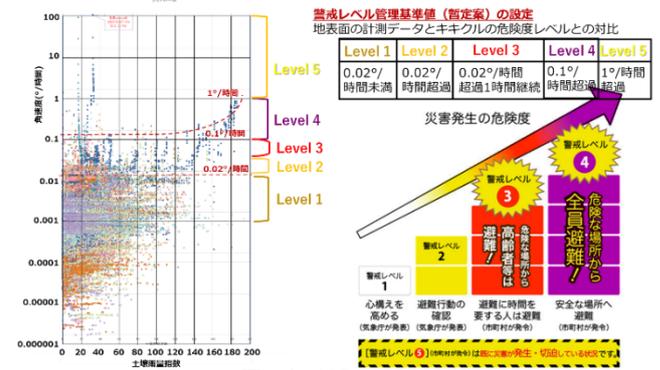


図-5 表層崩壊が発生した事例

表-1 Iot 傾斜センサによる警戒レベル管理基準値の暫定案
地表面の計測データとキキクル²⁾の危険度レベルとの対比表

Iot傾斜センサ	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
	0.02°/時間未満	0.02°/時間超過	0.02°/時間超過1時間継続	0.1°/時間超過	1°/時間超過

キキクル ²⁾ 警戒レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5
	心構えを高める	避難行動の確認	避難に時間を要する人は避難	安全な場所へ避難	災害が切迫・発生
	気象庁発表	気象庁発表	市町村発令	市町村発令	市町村発令

5. 今後の課題と展望

本発表では、全国の200万程度のIot 傾斜センサのデータの整理による斜面の変形及び崩壊のプロセスの考察と新たな管理基準値の暫定案を提言したものである。

今後は、地質や土質、斜面傾斜角度などの要因別のIot 傾斜センサの相関や、その理論的な裏付けを検討したいと考えている。

《引用・参考文献》

- 八木雅, 全地連斜面傾斜コンソーシアム (2023) : 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアムの活動報告(IoT 傾斜センサーが捉えた表層崩壊事例と管理基準値の設定に向けた考察), 全地連技術フォーラム2023論文集, 論文 C088.
- 気象庁 (HP, 2024. 5. 15閲覧) : キキクル (警報の危険度分布), <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/riskmap.html>

【CO17】

活動中の地すべりにおける高精度GNSS衛星測位技術の有効活用事例

-地上観測値との比較による有効性の検討-

ニタコンサルタント(株) ○虎尾 魁人, 橋本 昌夫, 新野 裕明
国際航業(株) 飯島 功一郎

1. はじめに

近年, GNSS (全地球測位衛星システム) を用いた「斜面の変位や構造物の維持管理」などの変位モニタリングの進歩がめざましい。利点として, 変位を mm 単位の高精度かつ 3 次元で捉えることができる他, 計測結果を遠隔地でもリアルタイムで閲覧することができる。そこで活動中の地すべり地区に活用し変位量の把握を試みた。また当地区は, 移動杭観測を実施しており, GNSS 観測値との比較により, その有効性の検討について報告する。

2. 対象地の地形・地質と地すべり概要

調査地の有瀬地区は活動中の地すべり地であり, 斜面は地すべり地特有の複雑な形態を示している。斜面の上位には旧滑落崖と考えられる馬蹄形を呈した凹状地形および段差等がみられる他, 斜面中位では地すべりで形成された緩斜面地帯が存在している。

地質は, 中央構造線直下の三波川帯の結晶片岩で主として泥質片岩と塩基性片岩の互層となっている (図-1)。

本事例箇所の地すべりブロックは, 年間 10 cm 程度の変位が確認され, 地すべり変動が顕著であることから, 一般車両の立ち入りが制限されている。

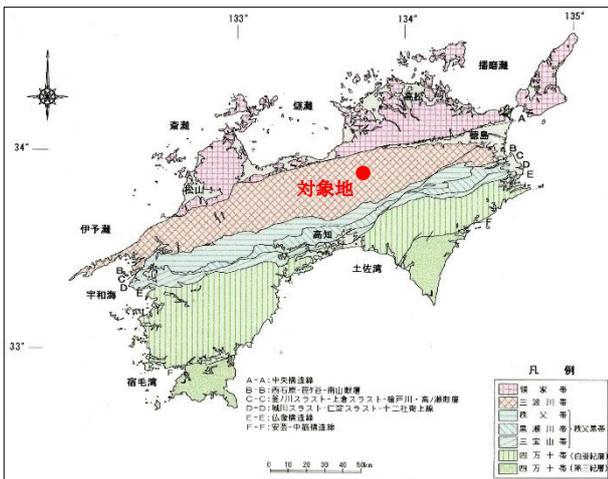


図-1 四国の地質区分図¹⁾

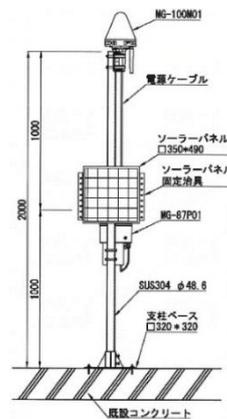
3. 現況の監視体制について

当地区は, 幹線道路から離れた山間地で連続250mm の累積降雨で通行止めとなり, 現地計測が遅延してしまう。そのため, 地すべり変位をリアルタイムで把握するために, 遠隔監視システムによる自動観測化の体制が構築されている。現在多用されている自動観測機器の地盤伸縮計, 固定型傾斜計等は, 2次元の変位量である。一方, 移

動杭観測は, 現地で手動による観測のためリアルタイム性に欠ける上, 地すべりなどの災害リスクに巻き込まれる危険性も考えられる。そこで, 3次元で高精度な自動観測ができる可能性のある GNSS に着目し, 当地区で観測を開始したところである。

4. 活用した機器およびシステムの概要

(1)GNSS 計測機器



項目	性能
受信信号	GPSL1C/A 12ch
動作温度	-20~60℃
防水性能	IPX5
データ取得 間隔	30 秒
解析間隔	1 時間
計測誤差	XY: ±2mm Z: ±3~4mm

図-2 GNSS 計測機の概要図

(2)GNSS 計測システムの精度

GNSS 計測では, 衛星配置や上空視通, 基線長, 気象条件, マルチパス等の様々な誤差要因のため計測値がばらつき, 通常の基線解析のみでは, 最も高精度なスタティック計測でも幅数 mm~10 数 mm の帯状に分布する (図-3)。そこで, 今回採用した GNSS 計測システムでは, 時系列統計解析(トレンドモデル)による誤差処理を行い, 誤差成分 W_n を分離・除去し, 真の変位 U_n を求めることで mm 単位での計測精度を可能としている。

$$\Delta^k u_n = v_n \text{ (システム方程式)}$$

$$y_n = u_n + W_n \text{ (観測方程式)}$$

y_n : 実際の計測変位

w_n : 観測ノイズ (平均値 0, 標準偏差の σ の正規分布)

v_n : システムノイズ (平均値 0, 標準偏差の σ の正規分布)

u_n : 真の変位 (トレンド)

Δ^k : k 階の時間差分演算子

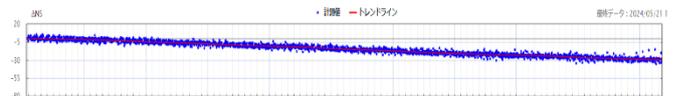


図-3 観測変位グラフ図²⁾

(3)監視連絡体制

GNSS 計測結果は, 監視センターで 24 時間監視されており, 管理基準値を超える異常な変位が発生した場合には警報を発令し, 監視センターから管理者に通報されるシステムが組み立てられている。

5. 移動杭観測とGNSS観測の比較

(1) 観測位置

移動杭観測の位置は、ブロック頭部および中央部に横断する道路に計20箇所設置している。一方、GNSS機器は、上空からの見通しが良い箇所を選定してブロック内に計4箇所設置している(図-4)。また、基準点であるGNSS回線集約機は、堅固な地盤で、計測点から1km以内のブロック外の



写真-1 GNSS回線集約機
コンクリート擁壁の天端に設置している(写真-1)。

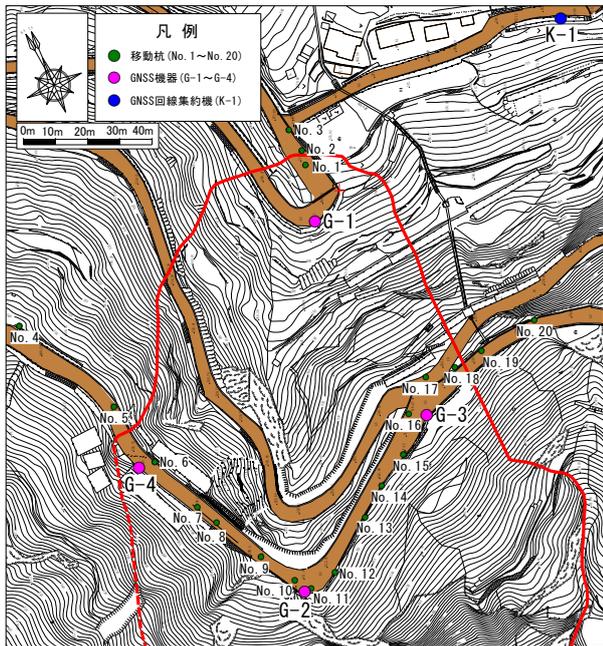


図-4 観測機器設置平面図

(2) 観測結果

GNSS観測は、令和6年2月にGNSS機器を設置して開始した。一方の移動杭観測は、平成30年に移動杭を設置して開始した。ここで、同時期のGNSSと移動杭の変位量(X, Y, Zの3次元合成変位量)を比較した。

- ① 地すべりブロック頭部に設置したG-1で41.11mm(0.5mm/日)の累積変位があり、近傍の移動杭No.1で25.37mm(0.3mm/日)の累積変位を捉えている。観測データにばらつきはほとんど見られず、一定方向の顕著な変位を捉えた。しかし、変位量の差は約15mmであり、ブロック頭部の差異はやや大きかった。
- ② 地すべりブロック内に設置したG-2~4で11.03mm~16.38mm(約0.2mm/日)の累積変位があり、近傍の移動杭No.6, 11, 16で8.76mm~15.43mm(約0.2mm/日)の累積変位を捉えている。観測データに多少のばらつきが見られるが、概ね明瞭な変位を捉えている。変位量の差は約0.5mmであり、差異は比較的小さかった。

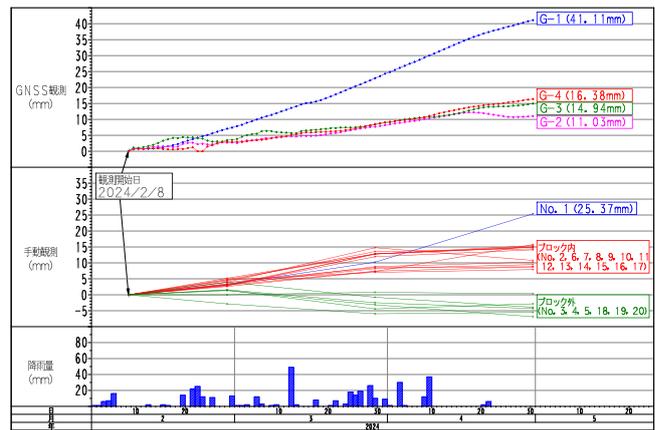


図-5 三次元変位変動図

6. 考察

観測値を比較した結果、GNSSと移動杭の変動量については、降雨による変位の増加を記録しており、降雨との相関性を捉えられている。移動方向については、主視線方向に変位しており、移動杭の変位方向とGNSSの変位方向は概ね一致している。GNSSと移動杭の変位量の差は、地すべり変動が顕著な頭部で15mm、その他の箇所でも約5mmの差異があった。

これらの結果より、観測期間が数カ月と短いものの変位傾向と変位方向は類似している。また、変位差についても数mm程度の差異であるため、GNSS観測機器の有効性を確認した。

7. 今後の課題

当地区にGNSS観測機器を設置する際、上空からの見通しが良い箇所を選定を行ったが、G-2の斜面周辺には杉が植生されており、上空視界の問題で観測データにばらつきがみられる他、太陽光パネルによる機器の充電不足により、観測データが一時的に欠測する障害が発生した。これらのトラブルを防ぐため、障害物除去や設置箇所の再検討を含めた、計測環境の改善に努めたいと考える。

8. 展望

今回の結果より、地すべり地におけるGNSS観測の有効性が認められたため、手動による移動杭観測にかわる機器として、GNSSによる自動観測化の体制を構築し、災害リスクの低減やDX化に対応していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 四国地方土木地質解説書「四国地方土木地質図編集委員会(1998.3)」(財団法人国土開発技術センター)
- 2) NETIS登録技術:KT-190078-A「shamen-net 計測情報提供サービス」(国際航業株式会社)
<https://www.shamen-net.com/index.html>

BIM/CIM とビジュアルプログラミングを用いた 地すべり対策工の半自動設計と業務効率化

応用地質株式会社 ○阿部 淳一, 田中 康博

1. はじめに

(1) 調査設計業務における BIM/CIM の課題点

2023 年からの国土交通省の直轄事業における BIM/CIM 原則化により、調査業務でも CIM 適用業務の発注が広がり始めた。しかし、CIM 活用は、モデル作成や可視化の観点にとどまっておらず、より高度化させた設計への CIM 適用化が求められている。しかし、現状では、受注業務の中で担当者が可視化以外への CIM 活用を提案する流れは乏しく、設計への CIM 活用は普及しきっていない。その背景として、三次元モデル作成技術の習得は、時間と費用がかかるものという考えが担当者に浸透していることがあげられる。

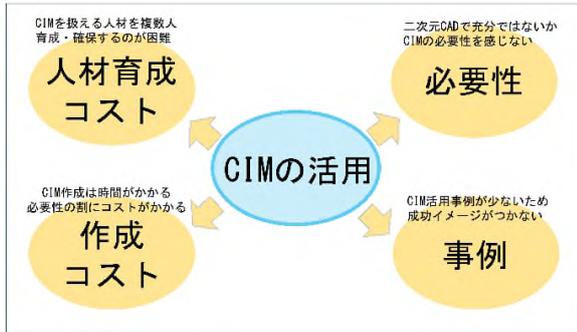


図-1 BIM/CIM のイメージと課題点

(2) 地すべり対策工における二次元設計の課題点

地すべり対策工の選定において、横ボーリング工や集水井は最も採用される工法であり、その概略設計のほとんどが、これまで二次元で行われてきた。しかし、二次元での概略検討は、既設構造物や対策工との干渉が不明瞭なこと、対策工の打設位置が変更となった際に生じる手直しの時間的コストや労力が大きいことといった課題があり、以前より品質の向上・高度化、業務効率化が求められてきた。

本稿では、上記(1)(2)の課題解決のために、BIM/CIM とビジュアルプログラミングを使用して開発した半自動設計システムを紹介するとともに、それを活用した横ボーリング工と集水井の三次元での概略設計の例を紹介する。

2. 半自動設計システムの概要

半自動設計システムの概要を図-2に示す。半自動設計システムとは、ビジュアルプログラミング言語によって構造物のモデル化工程をプログラム化し、構造物の寸法や角度などの属性情報を入力するだけで、パラメトリックモデリングによりモデルを自動生成するシステムであ

る。本プログラムの構築には、Robert McNeel & Associates 開発の Rhinoceros のビジュアルプログラミングツールである「grasshopper」を使用した。

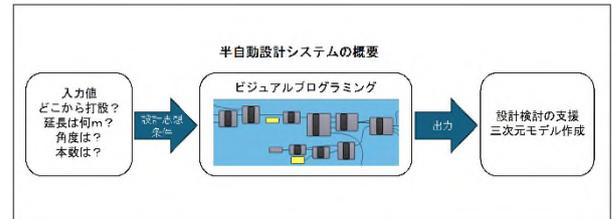


図-2 半自動設計システムの概要

3. 半自動設計システムを用いた概略設計

(1) 横ボーリング工・集水井の半自動設計システムの概要

横ボーリング工と集水井の半自動設計システムの概要を図-3に示す。半自動設計システムは、誰もが簡単に扱うことができるという点に重点を置いて構築し、モデル生成のトリガーは点要素とし、構造物の以下の制御項目をパラメータバーで可変式として設定した。

- ・集水井：井筒径、井筒延長
- ・横ボーリング工：呑口深度・位置、伸長方向、孔径、延長、本数、開きの角度、仰角

集水井のモデルは、技術者が設定した点を天端位置として自動生成され、点の移動に伴いモデルもリアルタイムで移動する。集水井モデルは、必要に応じて表示・非表示が可能で、横ボーリング工のみの概略設計にも転用可能なものとした。上記に示した制御項目についても個別にパラメータバーが設定されており、それを用いて入力値を制御し、モデルをリアルタイムで変化させることが可能である (図-4)。

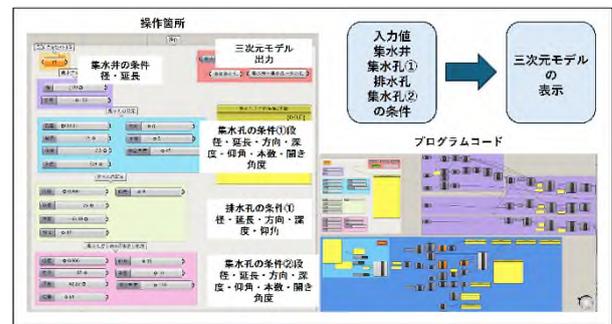


図-3 横ボーリング工、集水井の半自動設計プログラムの概要

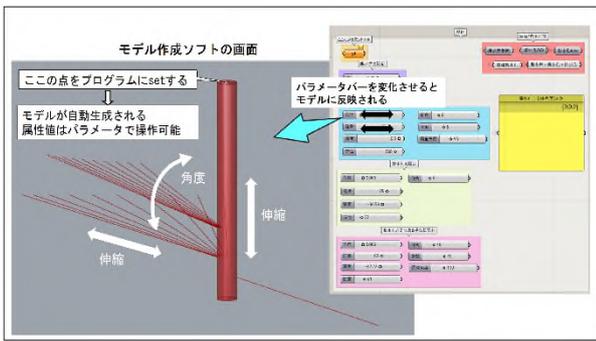


図-4 パラメータの制御状況

(2) BIM/CIM と半自動設計システムによる概略設計

すべり面と調査時の地下水位、既設対策工の鉄筋挿入工が BIM/CIM に反映されている例をもとに活用方法を紹介する。

例えば、横ボーリング工の概略設計をする場合、ボーリング打設位置を点要素としてプログラムにセットし、モデルを生成する。その後、横ボーリング工の伸長方向や本数、角度などをパラメータ操作で変化させ、設計条件をモデル上で確定する。モデル上に地下水位面や既設構造物を反映させておくことで、二次元では確認が困難であった各孔の地下水位との関係や既設構造物との干渉状況が可視化できるため、より効果的で高品質な対策工の概略設計となる。また、すべり面をモデルに反映させることで、各孔の有効長が把握できるため、二次元では一律で同延長としていたボーリング延長を孔ごとに設計でき、過大・過小設計の防止や工費削減につながる(図-5)。仮に提示した設計計画案に変更が生じた場合でも、二次元設計では平面図と断面図を作成する工程まで戻るため、時間的コストや労力への負担が大きかったが、BIM/CIM と半自動設計プログラムを利用することで、打合せをしながらでも再設計や図面作成を容易に行うことが可能である。

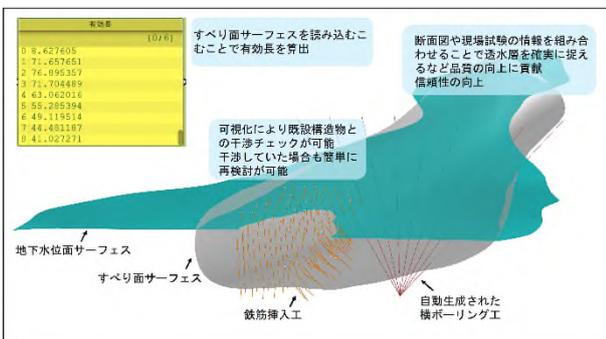


図-5 概略設計時のモデル画面状況

4. BIM/CIM 活用による業務効率化と生産性向上

地すべり対策工の概略設計での CIM 活用は、業務効率化と生産性向上に明らかに貢献している。それは、デスク作業の点にとどまらず、設計思想を三次元モデル上にリアルタイムで表示できる点を活用して関係者間のコミ

ュニケーションツールとして運用することで、施工イメージ、完成イメージを共有し、計画の手戻り防止対策の点にも有効に働く。前述のとおりプログラムの開発は、誰もが簡単に扱えるということに重点を置いている。それは、システムを開発することが目的ではなく、社内に BIM/CIM を水平展開することが目的だからである。経験が浅く対策工の完成イメージを想像しづらい若手技術者の支援にも本システムは活躍が期待できる。CIM を若手技術者の支援ツールとして活用することは、設計に限らず地質調査・計画においても同じであり、今まで熟練した技術者が考案していたことが、若手技術者が CIM を活用することで対応可能範囲が広がれば、生産性向上へつながることは間違いないと考える。

5. まとめ

ビジュアルプログラミング言語を用いた半自動設計プログラムの地すべり対策工の設計での活用は、業務効率化や品質の向上に貢献することが検証できた。

BIM/CIM を若手技術者の支援ツールとして活用することで、調査・設計問わず、多様な場で業務効率化・生産性向上につながることを期待される。

6. 今後の展開

横ボーリング工・集水井の半自動設計プログラムの活用事例を増やすとともに、地すべり対策工の排土工・杭工の半自動設計プログラムも業務に導入し、活用事例を増やす(図-6)。また、三次元すべり面の作成支援システムの開発を推進し、調査・計画業務での CIM 活用事例を増やす(図-7)。

BIM/CIM を通じて業務全体に付加価値を生み出す基盤を構築することを目指している。

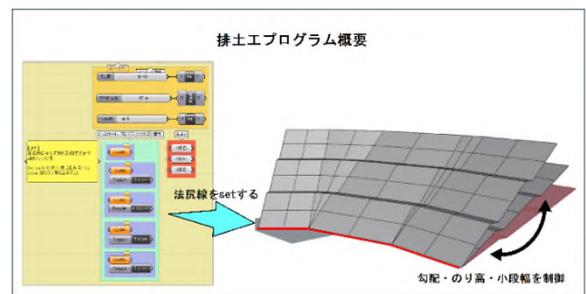


図-6 排土工の半自動設計プログラム

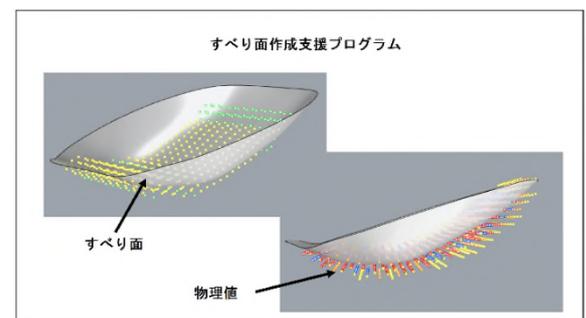


図-7 すべり面の作成支援ツール

【CO19】

地表面の起伏に沿って屈曲配置可能な地盤伸縮計の事例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社, ○渡邊 頼和、篠原 良彰

1. はじめに

地盤伸縮計は、主として地すべりの移動状況の把握を目的に、地表面に入った亀裂や段差を挟むように設置し、インバー線の伸縮量を経時的に測定する。しかし、季節変化による動植物の接触や積雪地域ではインバー線の保護管が雪の重みで歪むといった事例から従来の地盤伸縮計には設置環境によって観測データの信頼性が左右される可能性が大きい欠点があった。

本稿では、地表面の起伏に沿って埋設することで動植物との接触や積雪に対する保護が不要な地盤伸縮計の事例について述べる。

2. 一般的な地盤伸縮計の設置状況と観測原理

地盤伸縮計は、主として地すべりの移動状況を把握するために使用される。地すべりの活動が活発化し、地表面に入った亀裂や段差などが生じた場合、それを挟むように設置し、時間経過とともに変化する亀裂の拡大や地すべりの移動状況を観測する。そのため、従来の地盤伸縮計の設置では、不動土塊側と地すべり土塊側の2地点を直線に、かつ緩みなくインバー線で結んでおり、移動土塊側が滑動しインバー線が引っ張られることにより、微小な地滑りの挙動として捉えることができる。

3. 本業務で採用した地盤伸縮計の事例紹介

(1) 伸縮計設置の経緯及び設置に関する問題点

本業務では、新潟県山岳部で計画されている国道改修事業に伴うトンネル工事で、坑口斜面に存在する地すべりの活動と保全対象への影響を監視する目的で伸縮計を設置し、観測を行った。

今回、地盤伸縮計を設置した新潟県山岳部では、冬季の積雪が月別平年値で2mを超える月があるほどの積雪地域であり、設置箇所は山林に囲まれた低木などが繁茂する箇所であった(図-1)。



図-1 地盤伸縮計設置箇所
(赤破線:ガイド管、赤四角:起点及び終点)

従来の地盤伸縮計では、低木などを伐採した上で地表面の亀裂や段差の跨ぐように一直線に設置する。しかし伐採にかなりの時間を要することや動物の影響も十分に考慮する必要があった。さらに冬季には積雪により現場まで向かうことが困難になることから、大掛かりな雪囲いを行い、冬季における積雪の影響を最小限に低減しなければならなかった。

以上のように従来の地盤伸縮計では、動植物の影響や設置時及び冬季のメンテナンスの困難さが大きな課題となっていた。

(2) 地表面の起伏に沿って屈曲配置可能な地盤伸縮計

そこで本業務ではインバー線ではなく、伸縮計用に開発された炭素繊維複合材ケーブル¹⁾(以下、伸縮計用カーボンケーブルと呼称)を使用した伸縮計を採用した。伸縮計用カーボンケーブルをガイド管と呼ばれる塩ビ管(VP13)に挿入し、2地点間を地形に這わせるように設置した(図-2)。

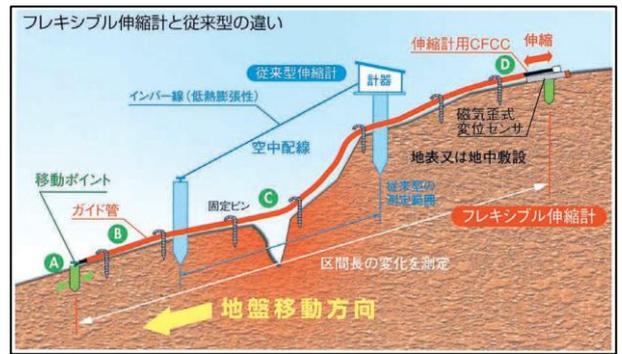


図-2 フレキシブル伸縮計と従来型伸縮計の違い¹⁾

伸縮計用カーボンケーブルは、弾性係数がピアノ線の1.7倍と従来のインバー線と比較して高強度かつ耐食性に優れているため、ガイド管内でスムーズに伸縮でき、ガイド管を屈曲させても地すべりの挙動を正確に捉えることができる。さらに、線膨張係数においても従来のインバー線の半分と外気温変化の影響を低減できる。

表-1 伸縮計用カーボンケーブルの仕様¹⁾

炭素繊維複合ケーブル	CFCC-U-4.2φ(断面積13.8mm ²)	オプション
一般特性	直径	4.2mm
	最小曲げ半径	50cm(輸送は直径1m巻きの状態となります)
	単位長さ質量	30g/m(20mで600g 比重1.5は鋼材の約1/5)
物理特性	破断加重	23KN (約220kg, 2.14KN/mm ²)
	弾性係数	137KN/mm ² (ピアノ線78.5KN/mm ² の1.7倍)
	線膨張係数	0.6×10 ⁻⁵ /°C(インバー線1.1×10 ⁻⁵ /°Cの半分、鋼線の1/20, 20m-10°Cで0.12mmの膨張)
その他	耐熱性	130°C
	耐腐食性	通常土中環境において腐食せず(耐酸性あり)

また変位センサーは従来の地盤伸縮計が計測器の分解能が0.1mmである²⁾のに対して、分解能0.03mmと高分解能

を有する磁気歪式変位センサー¹⁾を使用している。そして樹脂製の半割れ管をガイド管に被せることにより、動物からの被害を防止できるほか、雪に埋もれても観測を行えるため、大掛かりな積雪対策を行う必要がなく、冬季のメンテナンスにかかる作業を削減できる。(図-3)。



図-3 半割れ管の設置状況

4. 現状の課題と今後の展望

本伸縮計での観測を令和6年1月17日から開始したところ、3月24日ごろより累積変位量に増加傾向が認められた(図-4)。その後、累積変位量が横ばいであるにも関わらず、昼間の気温上昇時にのみ増加する傾向が認められた。

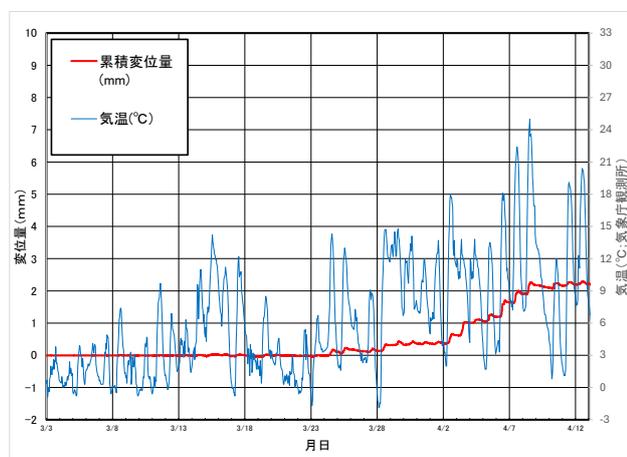


図-4 L1伸縮計の変位量及び気温変化³⁾
(出力期間: 令和6年3月3日~4月12日)

これは設置した伸縮計用カーボンケーブル及び変位センサーが融雪後の気温上昇に伴い、昼夜の気温変化の影響を受けている可能性が考えられた。4月4日~8日の期間では、変位量に連続的な増加傾向が認められ、累積性を有する特徴を示したことからトンネル施工の影響を捉えている可能性が考えられるが、変位量の推移が気温変化の影響を受けてしまっており、本来の地すべりの活動状況を正確に捉えるために、気温による影響低減対策が新たな課題となった。

地盤伸縮計の設置場所は融雪後、日当たりが良く、半

割れ管に直射日光が当たることで管内部の温度も上昇した可能性が考えられる。そのため、検討した低減対策として、①伸縮計用カーボンケーブル及びガイド管の埋設と②不動土塊側の変位センサー部及びガイド管に日よけカバーの設置の2つの対策を行った。当初設置した際は、地形に合わせるようにガイド管を地表面に設置したが、気温変化の影響を低減するためGL-0.3mまで掘削し、ガイド管を土砂で埋設した(図-5)。

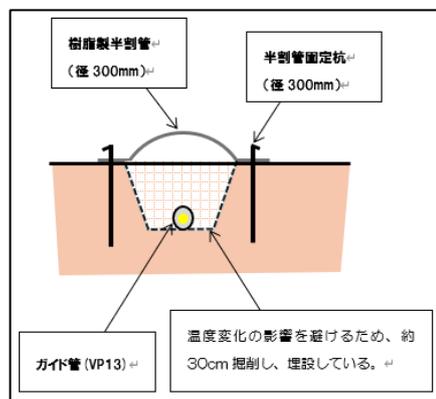


図-5 ガイド管埋設(低減対策①)の状況

さらに変位センサー付近の影響を低減するため、不動土塊側の変位センサー及びガイド管に日よけカバーを設置した。

これら気温の影響低減対策により、日周期の変動は最大±0.1mm程度に抑えたとうえで、現在監視を継続している。ただし依然として日周期の変動を示しており、今後気温の上昇に伴う変動が大きくなった場合には、改めて低減対策を行う必要があると考える。

5. おわりに

本業務における地すべり観測は、従来の地盤伸縮計では多くの問題点があり、伸縮計の設置時から観測中のメンテナンスまで多くの作業時間とコストを要していたと考えられる。そのため積雪などの地域性や設置場所の状況に対応できる本事例は、非常に有効な手法であったと考えられる。

今後は、本事例で新たに浮上した課題に対し、現場状況に応じた対策を立て、さらなる効率化に努めたい。

《引用・参考文献》

- 1) 株式会社 興和：フレキシブル伸縮計，
<https://www.kowa-net.co.jp/wp-content/uploads/1276/06extensometer.pdf>
- 2) 株式会社オサシ・テクノス：伸縮計 SLG-100，
https://www.osasi.co.jp/support/pdf/spec/spec_slg_100.pdf
- 3) 気象庁アメダスより (最終閲覧日2024. 5. 19)，
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

傾斜センサを用いた斜面崩壊監視における 崩壊時刻予測に与える要因の考察

応用地質株式会社 ○矢部 満, 根本 雅夫, 石川 貴規, 森川 倫人
防災科学技術研究所 酒井 直樹

1. はじめに

近年豪雨による土砂災害は、降雨量の増加も相まって、現代社会における人間生活へのインパクトは今後大きくなる可能性が高い。特に、土砂災害防止法で対象となっている3種類の土砂災害の一つ“急傾斜地の崩壊”は、他の災害に比べて対象箇所数が格段に多く、人口が集中した都市部にもその警戒区域が数多く分布していることから、今後その発生による影響拡大が懸念される。

この急傾斜地崩壊を各種センサにより早期検知し、崩壊発生前に安全な場所に退避する取り組みは、近年のIoT、デジタル通信技術の進展も手伝って加速している¹⁾。それらのうち傾斜センサはコンパクトさ、設置のしやすさから、利用例も増えている。一方で、現象が他の土砂災害に比べて急速に発生する斜面崩壊は、素因としての地形・地質の多様性、不均一性や誘因としての降雨の空間分布特性の影響を複雑に受け、退避の目安となる管理基準値設定を一律に扱うことは現状難しいとされてきた。この件に関する系統的な研究も現状少ないといえる。

本研究では、上述の課題を踏まえ、豪雨時の斜面の表層崩壊を対象とし、高分解能の傾斜センサを急傾斜地に適用するとともに、リアルタイム観測データに基づき、信頼性の高い崩壊時刻の予測手法の確立、管理基準値設定を最終目標とした。本報文では、その成果に影響を与える要因について、実物大盛土を利用した人工降雨実験により斜面崩壊を再現して得られた知見を報告する。

2. 実物大盛土による降雨実験について

豪雨による急傾斜地の崩壊を再現し、斜面に設置した傾斜センサによる測定データから、崩壊時刻予測や管理基準値設定に与える要因を把握するため、防災科学技術研究所が保有する大型降雨実験施設を利用した実物大盛土斜面を対象とした降雨実験を行った。図-1に実物大盛土の諸元と傾斜センサ設置状況を示す。また、図-2に実験で与えた降雨条件を示す。

傾斜センサを設置した盛土斜面勾配は1:1.2 (約40度)、その材質は、筑波山麓周辺で採取した砂混じりローム質土を主体した建設発生土の混合土である。盛土はバックホウによる盛り立て、転圧、法面整形で築造した。均質な築造を心掛けたが、厳密な締固め管理は行わなかった。盛土は、築造後約1年屋外に放置後に実験に供した。

適用した傾斜センサは、2軸の加速度センサ (傾斜分解能0.001度、測定範囲±30度) を長さ約1mのロッド先端

内に組み込んでいる。ロガー機能もセンサと同一箇所に組み込んでおり、深度0~1m付近の気温の影響を極力排除した平均的な斜面変動を傾斜量として把握できる。

傾斜センサ設置位置は、その位置が崩壊時刻予測に与える影響を確認するため、図-1に示す3測線上でそれぞれ法肩、法中央、法尻の3箇所、合計9箇所とした。また、測定間隔は1分毎とし、データ整理は10分毎で行った。

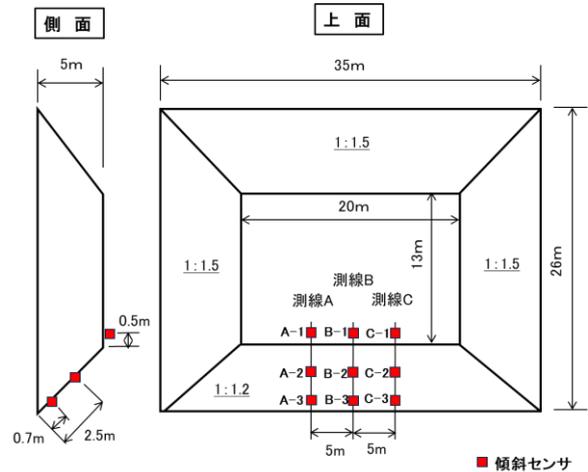


図-1 実物大盛土の諸元と傾斜センサ設置位置

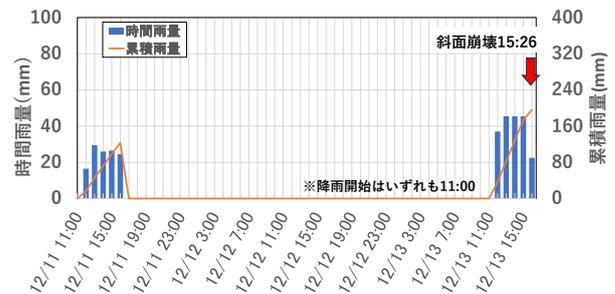


図-2 実験で与えた降雨条件

3. 実験結果について

図-2に示すように、降雨条件は、事前降雨 (時間雨量25~30mm、累積雨量124mm) の後、1日間を空けて本降雨 (時間雨量約50mm) をとした。斜面崩壊は、本降雨開始後4時間26分後、累積雨量195mm (土壌雨量指数196) に達した時点で発生した。図-3は、斜面正面から見た崩壊状況のスケッチ図である。斜面中央 (測線 B) から斜面右 (測線 C) 側にかけては概ね均一にすべり破壊が起きており、崩壊側部の非崩壊部分との境界が明確となっている。一方で斜面左 (測線 A) 側は、崩壊側部の非崩壊部分との境界が明確ではないことが分かる。

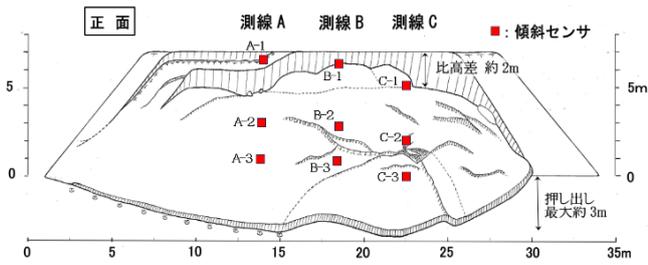


図-3 崩壊後の斜面スケッチ図

図-4は、3測線の法肩、法中央、法尻に設置した傾斜センサの累積傾斜角（斜面方向）の経時変化図である。グラフでプラス方向の変化は法尻方向の変位モード、マイナスはその逆で法肩方向に転倒するような変位モードを示している。いずれの経時変化も土のクリープ的な挙動を示している。ここで特徴的なのは、崩壊が比較的均一なすべりとして現れている測線 B および C では、法中央のセンサが法肩方向の変位モード、法肩と法尻は崩壊直前までは法尻方向の変位モードであることである。一方、非崩壊部分との境界が明瞭でない測線 A については、3箇所のデータはいずれも転倒モードであった。この崩壊の不均一性やセンサ設置位置がどのように崩壊時刻予測に影響するかを次章で考察する。

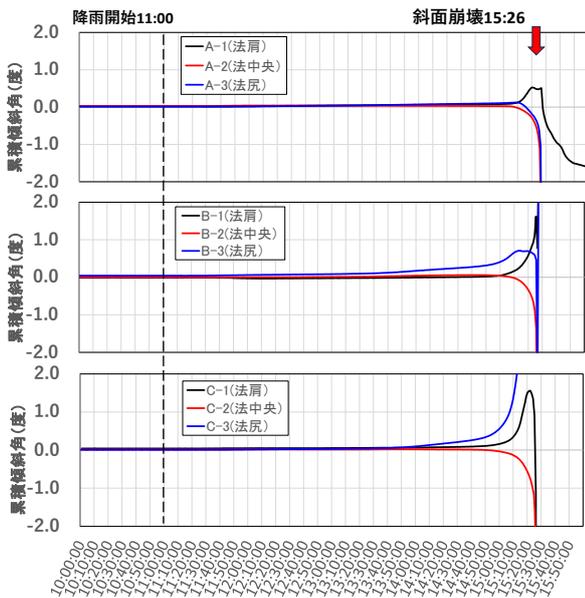


図-4 各測線の傾斜センサの累積傾斜角経時変化

4. センサ設置箇所が崩壊時刻予測に与える影響について

菅原²⁾は、国内外の傾斜センサのデータを整理し、傾斜角速度から斜面安定度の判定基準を提唱している。このうち、「嚴重警戒、崩壊覚悟」から「緊急避難」への対応レベルの判定基準の値を 10^{-2} rad/day ($\approx 0.02^\circ$ /hour)としている。一方、瀬古³⁾も同じ観点で整理した結果を踏まえ、「警戒・応急対策・通行止検討」から「嚴重警戒・通行止」への判定基準値を 0.1° /hourとしている。両者の対応内容と基準値は必ずしも一致するものではないが、

センサ設置位置の崩壊時刻予測に与える影響を確認するための“尺度”として、本研究では2つの値を便宜的に利用した。そして、各尺度に対する観測値超過時刻から崩壊発生時刻までを“崩壊余裕時間”として整理した。整理結果を表-1に示す。

表-1 センサ設置位置と崩壊余裕時間

傾斜角速度の超過尺度	超過時刻/崩壊余裕時間(分)※崩壊時刻15:26					
	測線A		測線B		測線C	
	A-1(法肩)		B-1(法肩)		C-1(法肩)	
0.02° /hour	12:20	186	11:50	216	14:10	76
0.1° /hour	15:10	16	15:00	26	14:50	36
	A-2(法中央)		B-2(法中央)		C-2(法中央)	
0.02° /hour	11:50	216	13:30	116	13:40	106
0.1° /hour	15:10	16	15:00	26	15:00	26
	A-3(法尻)		B-3(法尻)		C-3(法尻)	
0.02° /hour	13:00	146	11:40	226	12:00	206
0.1° /hour	15:20	6	13:50	96	14:00	86

センサ設置位置と2つの尺度による余裕時間を比較した結果、すべりが一様でなかった測線 A を除き、法尻が他の場所に比べて各尺度に対する観測値超過が早期発現しやすい。このことは、斜面法尻で傾斜観測を行えば、崩壊に対して比較的余裕を持った警戒避難行動が可能になることを示唆するといえる。一方、設置位置毎で異なる変位モードに応じ崩壊余裕時間の違いはあるが、 0.02° /hour 超過後の余裕時間は最短でも C-1 (法肩) の76分であり、この時を起点とした警戒避難行動は時間的に十分可能であるといえる。この場合、今回使用した高分解能の傾斜センサの使用に限るが、警戒避難行動の端緒としての崩壊前兆現象の判定基準値 $=0.02^\circ$ /hour は妥当な数字であるといえる。菅原²⁾は傾斜角速度値からの崩壊余裕時間の定式化も行っており、この式からの崩壊時刻予測も期待できる。しかし、一連の妥当性評価は、センサ設置位置や降雨条件などの他要因の影響確認など、今後の課題といえる。

5. まとめ

本報文では、センサ設置位置が崩壊時刻予測に与える影響について、実物大盛土斜面の降雨実験結果より、崩壊余裕時間の比較により調べた結果を示した。今後、本関連技術を防災目的に広く社会実装していくために、自然斜面についても同じ観点で調べたい。

《引用・参考文献》

- 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓コンソーシアム (2023) :全地連 新マーケット創出・提案型事業 傾斜センサーによる斜面監視モニタリングのマーケット開拓 報告書。
- 菅原紀明 (2000) : 地表面傾斜計を用いた岩盤斜面の安定度評価法の提案, 応用地質技術年報 No. 20.
- 瀬古一郎 (2015) : 斜面災害防止のための早期警報システムの開発と運用, 東京大学博士論文。