

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）

応用地質株式会社 ○八木 雅

全地連コンソーシアム「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

1. はじめに

IoT 傾斜センサーとして開発された多くの地表面傾斜計は、斜面の表層の変形を安価で多点に設置ができるメリットがある。一方で、災害時などの管理基準値は手動での測定による古い基準¹⁾であるため、管理を伴う現場での適用が難しいデメリットもある。そこで、全国地質調査業協会連合会では、2022年4月にIoT 傾斜センサーを開発メーカーと地質コンサルタントの計15社による「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、全地連傾斜計コンソーシアムとする）を設立し、表層崩壊が懸念される斜面に集中的にセンサーを設置しモニタリングを開始した。その結果、2023年3月23日の夕刻に斜面崩壊が発生し、表層崩壊が発生する間の斜面の変化をIoT 傾斜センサーによるデータを取得することができた。本論文は、この表層崩壊のデータにより、繰り返し変形する斜面の「状態の変化」と降雨との相関について土壌雨量指数を指標にして考察し、IoT 傾斜センサーの管理基準値の設定の可能性と今後の課題と展望について述べるものである。

2. IoT 傾斜センサーと管理基準値設定に向けた取り組み

地盤の傾斜を測定する機器には、伸縮計や孔内傾斜計、地表面傾斜計など多様であるが、昨今のIoT技術により開発された地表面傾斜計は安価かつ設置が容易であることから、地表の変位を簡便に調べる機器として期待されている。しかしながら、伸縮計や孔内傾斜計のような十分な経験値に基づく管理基準値が不十分であるため、適用できる場面に限りがあった。この課題に対して、全地連傾斜計コンソーシアムの内、傾斜計メーカーの7社により2022年6月からA地区におけるモニタリングを開始した。

表1 IoT 傾斜センサーの参加企業（傾斜計メーカー）

- | | |
|---|-----|
| <ul style="list-style-type: none"> 株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング 応用地質株式会社 沖電気工業株式会社 株式会社興和 中央開発株式会社 株式会社東横エルメス 明治コンサルタント株式会社 | 計7社 |
|---|-----|

3. A地区での表層崩壊の発生

A地区は、三波川帯の泥質片岩主体（一部、砂質片岩）にある明瞭な地すべり地であり、現地において引張域と水平移動域、そして圧縮域が明瞭である（図-1参照）。特に圧縮域では、表層崩壊が発生しており、地すべり端部での崩壊による浸食が進行している（図-1、図-2参照）。各社のIoT 傾斜センサーは、崩壊地形に隣接した勾配45°の岩砕が分布する斜面に設置し、崩壊地形の上部斜面の比較的岩塊が残る箇所にも設置した（図-2参照）。モニタリングを行った結果、崩壊地形の上方斜面に設置したIoT 傾斜センサーは明瞭な変形は見られなかったが、隣接する勾配45°の岩砕が分布する斜面にIoT 傾斜センサーは降雨時に明瞭な変形を示した（図-4参照）。

表層崩壊が発生した5日後には、現場視察を行った。崩壊幅は5m程度、斜面長10m程度の小規模な表層崩壊であった（図-3参照）。崩壊した土砂の一部は直下に堆積していた。崩壊部にあったセンサーは、土砂に巻き込まれたものもあるが、確認できたセンサーはすべて前に倒れ込んでいた。



図-1 A地区のSfMによる立面図(2023年3月28日撮影)

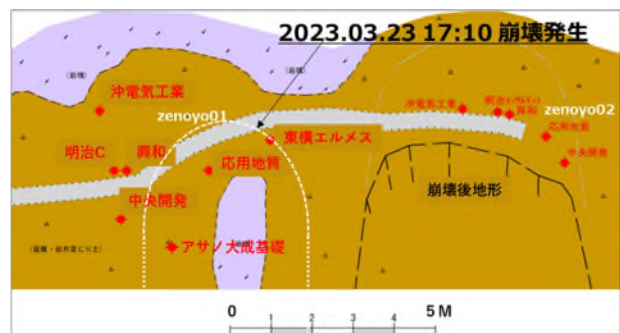


図-2 設置平面位置図(白点線の箇所が崩壊箇所)

明瞭に変形を捉えたセンサー群の代表として応用地質のセンサ（以下、zenoyo01と呼ぶ）について動態の特徴を述べる。変形は常に前傾し、降雨時に変形が大きく（角速度が早くなる）なる傾向を繰り返した。特に、最寄りの雨量計により算出した土壌雨量指数²⁾と角速度のピークは、明瞭な相関が確認された。2022年9月19日の台風14号の影響による降雨（最大時間雨量26mm、土壌雨量指数185）では大きく前傾（最大の角速度：0.52° / 時間）し、降雨による変形がより顕在化した（図-4参照）。

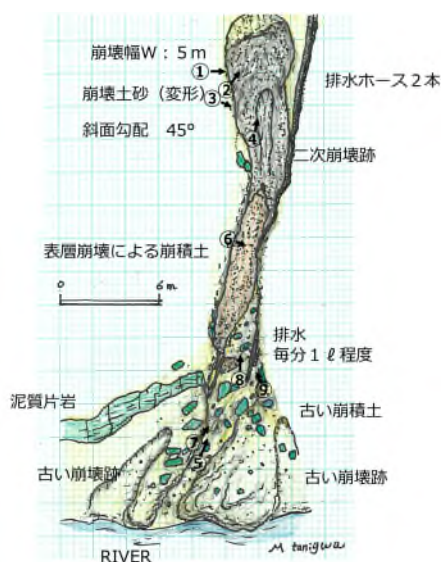


図-3 2023年3月28日の表層崩壊後の現地視察

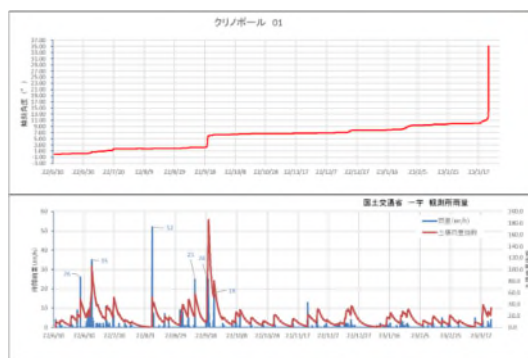


図-4 zenoyo01の傾斜計の変化と雨量との相関図

表層崩壊は、2023年3月23日の17:10に発生した。変形は、土壌雨量指数のピークであった3月23日8:00から角速度が0.02° / 時間を超えて変形が継続し、明瞭なクリープ曲線を描き、角速度が66.34° / 時間に達して崩壊へと至ったものである。

4. IoT 傾斜センサーによる管理基準値(案)の考察

前述のように zenoyo01は、土壌雨量指数のピークと角速度のピークに明瞭な相関があることから、これをグラフ化（図-5参照）した結果、下記の特徴が確認された。

- ・角速度が概ね0.02° / 時間を超過すると角速度が加速度的に大きくなる。
- ・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° / 時間を超過すると変形は加速度的に継続し、本事例では崩壊へ至った。
- ・2022年9月19日の台風14号では、土壌雨量指数が180を超過し、角速度が0.52° / 時間に達しても崩壊へは至らなかった。

上記の特徴から角速度と土壌雨量指数の相関図に危険度のレベルを意識した閾値を加筆した（図-5参照）。これをテンプレートにすることで、土壌雨量指数を考慮した角速度による危険度のレベル区分（管理基準値の設定）が可能ではないかと考えた。

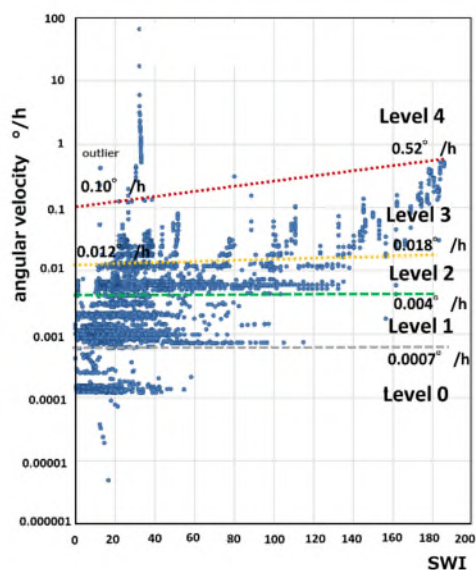


図-5 角速度と土壌雨量指数との相関図

5. 今後の課題と展望

本論文では、IoT 傾斜センサーが崩壊を捉えた事例から角速度と土壌雨量指数との相関性図をテンプレートとした危険度のレベル区分の設置（管理基準値の設定）の可能性について提言した。今後はIoT 傾斜センサーによる崩壊事例データを更に増やし、危険度のレベル区分の妥当性を検証し、閾値の精度を向上させる必要がある。また角速度との相関値として、現地の雨量や、土壌雨量指数以外の土壌水分との関係についても検証していく必要がある。

今後は、上記の課題を整理し、安価かつ設置が容易なIoT 傾斜センサーによる斜面管理の普及に繋げることにより、安心・安全な社会の実現に寄与したいと考えている。

《引用・参考文献》

- 1) 高速道路調査会：地すべり危険地における動態観測施工に関する研究（その3）。1988.
- 2) 岡田憲治（2000）：土砂災害の軽減に向けた「土壌雨量指数」の開発.消防科学と情報, No.60