

【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。

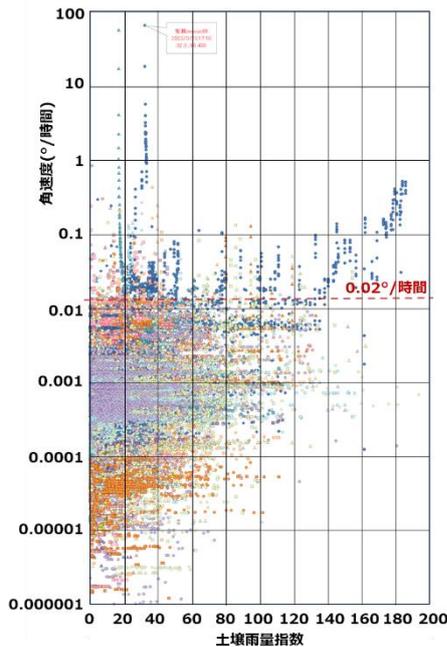


図-1 斜面変形の角速度と土壌雨量指数との相関図

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。

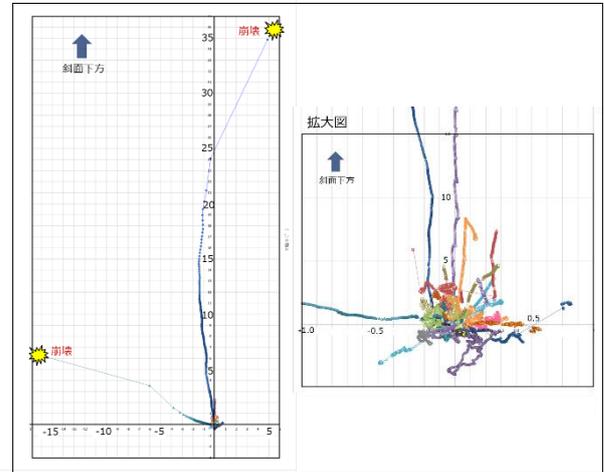


図-2 合成角度による変形ベクトルのオービット

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)。

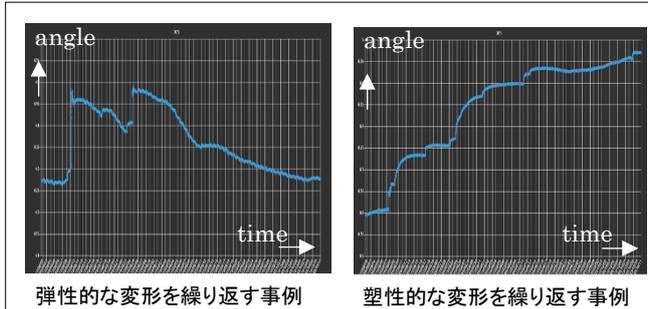


図-3 Iot 傾斜センサによる特徴的な変形事例

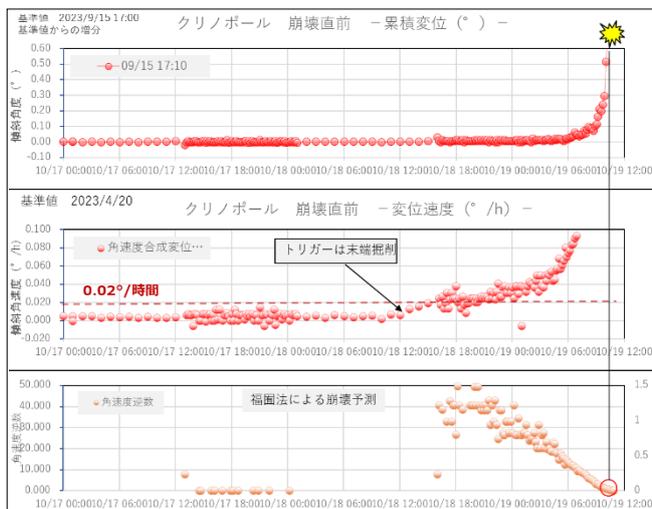


図-4 表層崩壊が発生した事例

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)。

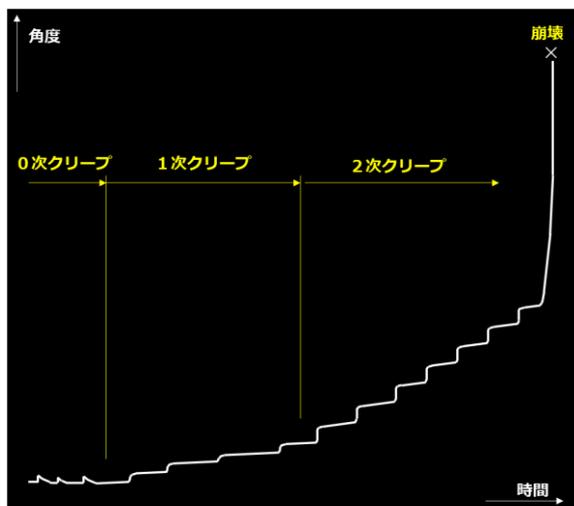


図-5 Iot 傾斜センサによる変形と崩壊のプロセス図

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)。

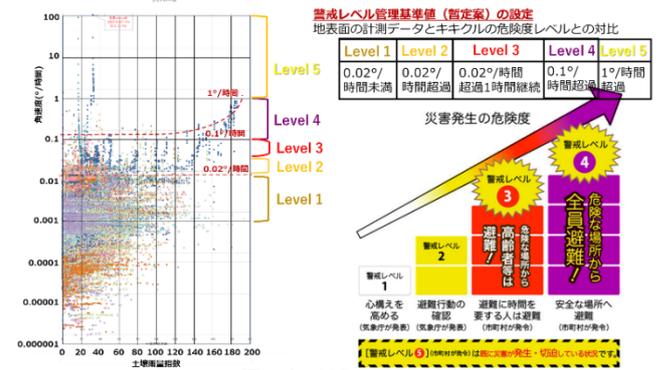


図-5 表層崩壊が発生した事例

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>