

VI-50 CCDカメラを用いた斜面崩壊監視システム開発の基礎的研究

清水建設株式会社	古井正弘
東日本旅客鉄道株式会社	島村 誠
長岡技術科学大学建設系	島居邦夫
長岡技術科学大学機械系	高田孝次
長岡技術科学大学建設系	宮木康幸

1. はじめに

鉄道沿線での斜面崩壊危険地点の監視を行なうことは安全確保のうえで非常に重要であり、このために多大の人員・コストが投入されている。もし、崩壊直前の斜面移動状況を自動的かつ定量的に把握できれば、雨量計を基礎とする現行の危険判定システム等と併用することにより、よりの確かな危険予知ならびに検知と迅速な対応が可能となり、列車運行の安全性を格段に向上させるとともに列車の遅延によるサービス向上の弊害を低減することが可能になる。しかし、従来の表面移動量の観測で用いられている標柱、伸縮計、傾斜計等による方法は地形や地質、観測区域の大小によりコストが増大したり計器の設置に熟練や時間を要し、自動観測にも適していない。^{1) 2)}

そこで本研究では、これらの観測方法に代わる表面移動量観測方法として、CCDカメラを用いた三次元多点観測システムを開発する。本システムは監視対象斜面に設置した多数のターゲットをパーソナル・コンピュータの制御下にある2台のCCDカメラで同時に撮影し、三角測量法の原理より各ターゲットの三次元座標値を求め、斜面崩壊の前兆を捉える重要なファクターになる移動速度や累積変位量等を導きだす斜面計測システムとそれらの値を基にしてユーザー側に斜面の状況を提供する判定表示システムから形成されるが、本研究では模型による斜面崩壊観測実験を実施することでこれらのシステムの使用性および機能性の向上を図る。

2. 斜面計測システム

既存の研究により、固定されたターゲットを捕え、測定精度や安定性を検討した結果、 2σ で $\pm 1/2$ ピクセル以内で計測されることを確認した。しかし、実際に移動しているターゲットに対しても同等の測定が可能かどうか未検討である。そこで本研究では、模型による斜面崩壊観測実験を実施した。

2-1 模型による斜面崩壊観測実験

本実験では砂質土を用いて土槽内に斜面模型を作成し、人工的に斜面崩壊を発生させた。この斜面上に設置したターゲットに対して本システムを用いた測定および通常の測量器具による測定を実施し比較検討を行なった。

実験エリアのレイアウトを図1に示す。基線長8m、測定距離を5~6.5mとし、勾配が1:1.25の斜面を作成した。

実験方法は、斜面の挙動を詳しく把握するためにCCDカメラによって15秒間隔で撮影を行なった。また、測定値の信頼性の確認のためにターゲット番号10に対して測量器具による三角測量を行なった。測定の間隔は1分である。斜面の変動モードは実験開始から5分間は静止状態、5分から15分まで緩やかな移動状態、15分から25分までは急激な崩壊状態である。

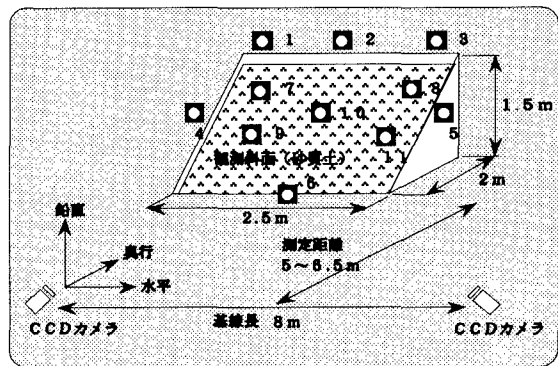


図1 観測エリア

2-2 実験結果

(1) 測定値の信頼性

本システムの移動しているターゲットの測定値の信頼性を調べるため、測量値と比較した結果を図2に示す。これは仮に測量値を真の値とし、本システムの測定値のばらつきを求めたものである。3軸方向とも本システムによる測定値のばらつきは $\pm 2\text{mm}$ 以内であり、これはカメラ画面上ではほぼ $\pm 1/2$ ピクセル以内のばらつきに相当する。このことより本システムによる測定値は信頼性があることを確認した。

（2）移動速度の検討

本研究では、斜面崩壊の前兆を捉えるため、本システムより得られた測定値から移動速度、加速度、累積変位量を算出した。ここでは、図3に移動速度をピックアップして説明を行なう。この図から移動速度が発生する時点および急激に増加する時点を本システムにより測定できることを確認した。なお、本システム固有のばらつきを低減させるために測定値に3項移動平均法を適用している。

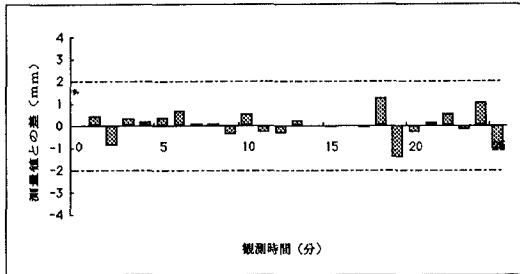


図2 測定値のばらつき（測量値を基準とする）

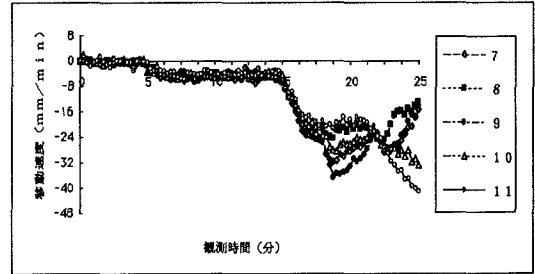


図3 移動速度（3項移動平均を適用）

3. 判定表示システム

リアルタイムで観測斜面の変動状況を分かりやすくユーザー側に提供するために、3パターンのグラフィック画面を作成した。

・ターゲット変動軌跡表示グラフ

観測斜面に設置したターゲットの移動軌跡を三次元的および二次元的に表示させるグラフで、観測斜面のどの方向に大きく変動しているのか、またどのように移動してきたのかを確認することができる。

・移動速度・累積変位量表示グラフ

それぞれのターゲットの情報（移動速度・累積変位量）を表示させるグラフで、観測斜面のターゲットを設置したポイントの変動状況が確認できる。

・要素相対変動グラフ

ターゲットを利用して斜面をメッシュ分割を行ない、それによって形成される要素の変動状況を表示させるグラフで、斜面のポイントの変動と並行して、斜面を面という立場から監視ができ、亀裂の発生箇所や危険エリアの推定に適用できる。

4. システムの統合化

以上に述べた斜面計測システムおよび判定表示システムを組み合わせ、対話形式の統合ソフトを完成させた。図4には警報発生までの本システムのフローを示す。データ処理速度の高速化を目指し、ソフト面を改良した結果、サンプリング間隔15秒で自動観測を可能にした。

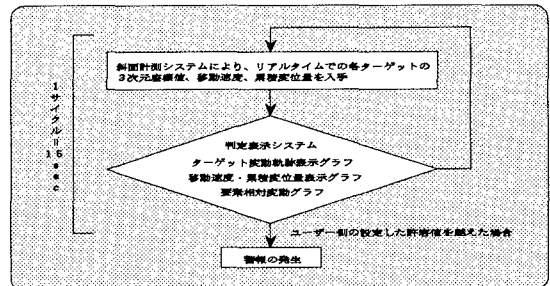


図4 警報発生フロー

5. 結論

本研究により以下の点を明らかにした。

- ・移動しているターゲットの自動追尾が可能になり、その測定値の信頼性が確認できた。
- ・本システムにより、斜面の変形が発生する時点および急激に崩壊する時点を確認することができた。
- ・3パターンのグラフィック機能を作成することで、本システムの機能性を向上させた。
- ・データ処理速度の高速化により、サンプリング間隔15秒で自動観測が可能になった。

参考文献

- 1) 谷口敏雄：新版地すべり調査と対策、山海堂
- 2) 佐藤郁彦、野沢伸一郎：東北・上越新幹線の降雨災害防止に関する一考察、土木学会第45回年次学術講演概要集第4部、平成2年、pp624～625