

# CCD カメラ斜面監視システムによる 地すべり動態観測に関する研究

建設設計工学研究室 西村 友宏  
指導教官 鳥居 邦夫  
宮木 康幸

## 1. はじめに

地すべり危険区域の監視，予測を行う事は，その近隣の安全管理上非常に重要である．地すべりが発生する可能性の高い斜面に対して，現状では，標柱・伸縮計・傾斜計等を用いて表面移動量を測定し監視する方法が主流である．しかし，これらの方法は，点レベルの監視であり，地すべり予知を行うにはデータが不足している．これに対し，CCD カメラを用いた斜面監視システムは，点レベルから面レベルに広がり，データを増加させることが可能である．

昨年度までの研究成果として，地すべりの前兆現象から崩壊に至るまでの過程を捉えることに成功し，本システムを用いた地すべり予測が可能であることが確認された．しかし，この地すべりは，数日間程度で数メートルの変動が発生するタイプのもので地すべり予測としては短期的なものであった．

そこで，本研究では，毎年数十センチから数メートルの緩慢な地すべりが発生している広範囲の地すべり地帯の一区画を観測対象斜面とし，6ヶ月にわたる連続観測を行い，本システムによる長期地すべり動態観測の適用性について検討するとともに，緩慢な動きの長期地すべり予測について検討することを目的とする．

## 2. 観測対象斜面の概要

本研究の観測対象斜面である沖見地すべり地帯（新潟県東頸城郡牧村大字神谷地先）<sup>1)</sup>は，上越市から東方へ約 14km，東頸城丘陵の一角を占める標高 100～300m の牧～三和丘陵に位置する．また，保倉川水系高谷川の一支流である平方川の上流部右岸側に位置する．

地すべりの規模は，長さ約 1500m，最大幅約 500m，面積約 70ha を有し，これまでの調査結果をもとに，写真 1 に示すように A～E の 5 ブロックに区分されている．このうち，現在最も活発な滑動がみられるのは A ブロックと D ブロックである．再三の地すべり滑動により形成された斜面は，勾配が 10 度程度の緩やかな地形を呈している．また，地すべり地の中央を横断する村道は，毎年とくに融雪期において大きく変形する．

周辺の地層は，新第三期中新世の泥岩層（椎谷層相当層）により構成されている．この泥岩は一般に，黒灰色塊状無層理で岩層の変化に乏しいが，薄い酸性の凝灰岩をしばしば介在しノジュールを多産する点に特徴がある．走向は N30～50° E で北西側へ 20° 前後で傾斜している．

### 3. 観測概要

観測区域は活発な滑動がみられるAブロック内とし、写真 2 に示す。そして、モノクロ CCD カメラ 2 台を用いて、観測区域内の異なった区画の二次元計測とし、人工のターゲットを用いたシステムとして観測を行った。ターゲットは斜面に 14 個設置し、カメラ 1 で観測するターゲット No.1 から No.7 をエリア 1、カメラ 2 で観測するターゲット No.8 から No.14 をエリア 2 とした。なお、観測

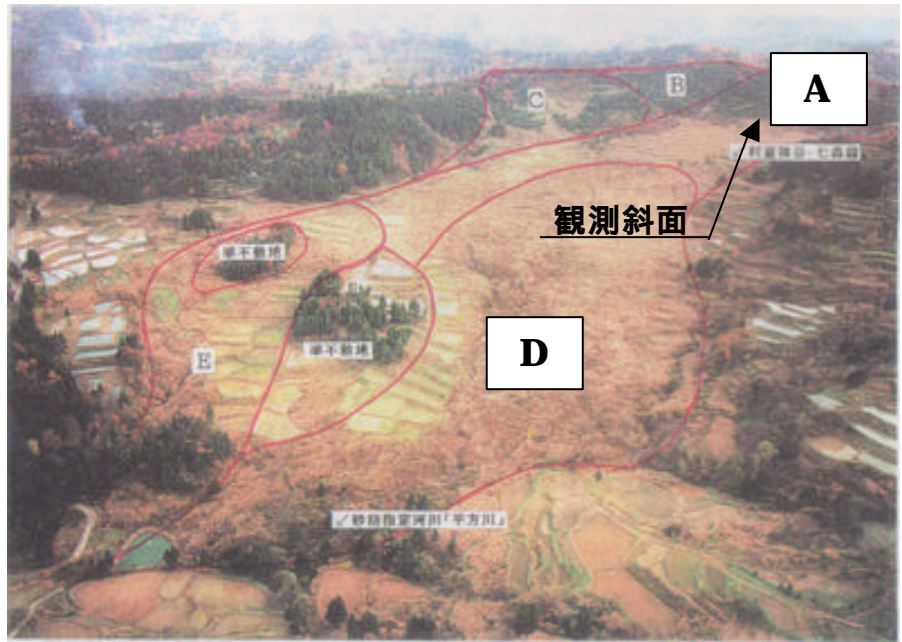


写真 1 沖見地すべりブロック区分

距離 (CCD カメラからターゲットまでの距離) 約 80m, CCD カメラの解像度約 38 万画素より、カメラから取得された画像の 1 pixel は約 23mmの変位に相当している。

観測期間は、沖見地すべり地帯が長期にわたって滑動しているため観測期間をより長く取る必要がある。そこで、2000 年 11 月末から 2001 年 10 月末までの約 1 年間とし、2000 年 11 月 30 日から 12 月 23 日までを第 1 期観測、2001 年 4 月 30 日から 10 月 15 日までを第 2 期観測とした。観測時間は 7 時から 17 時とし、計測間隔を 3 分とした。



写真 2 設置状況

#### 4. 観測結果

代表的なターゲット中心座標値の経時変化を図 1 に示す。縦軸は初期値からの変位(pixel)を示し、横軸は観測時間を示している。変位の方向は CCD カメラからの取得画像の左上を原点とし右方向を“X 方向”，下方向を“Y 方向”とした。また、両方向の変位を合成した大きさを“変位”とした。

データがプロットされていない点が多々あるが、これはパソコンがフリーズしたためである。これに関しては、観測者の設定ミスならびに、カメラを増設したことによる制御問題が考えられる。また、7月26日から9月10日は、地すべりが起きにくいと考えたので連続観測を一時中断した。これは、夏季は雨が少ないため地下水の地層への浸透が少なく、地すべり発生の直接的要因である間隙水圧が上昇しにくいと考えたためである。

図 1 より“X・Y 方向”，“変位”ともに一日平均約 2～4pixel の何らかの要因でばらつきが生じながら変位が増加していることが読み取れる。

#### 5. 観測データの抽出

図 1 に関して述べたように 1 日平均約 2～4pixel の変動が生じているが、これは計測技術の要因・計器の設置条件・振動・気象条件などの様々な要因によるものと考えられる<sup>3)</sup>。これらの変動要因について個々に処理をしようとしても、たいていの場合はそれを可能にするようなデータの採取がなされていない。そこでこれらの変動を排除するには、関係なさそうな要因を排除するか、信頼性の高いデータを抽出するかが考えられる。

昨年度のような数日間で数メートルの変動が予想される急斜面での短期地すべり観測では、1 つ 1 つのデータが重要な意味をもっている。しかし、本研究のような緩慢な動きの長期地すべり観測では、1 日あたり 1 点の信頼性の高いデータがあれば十分であると考えられるので抽出法を用いることにした。

そこで、1 日ごとの挙動を把握するためにランダムに選出した 1 日の変動の様子を図 2 から図 5 に示す。なお、天気は晴れとする。

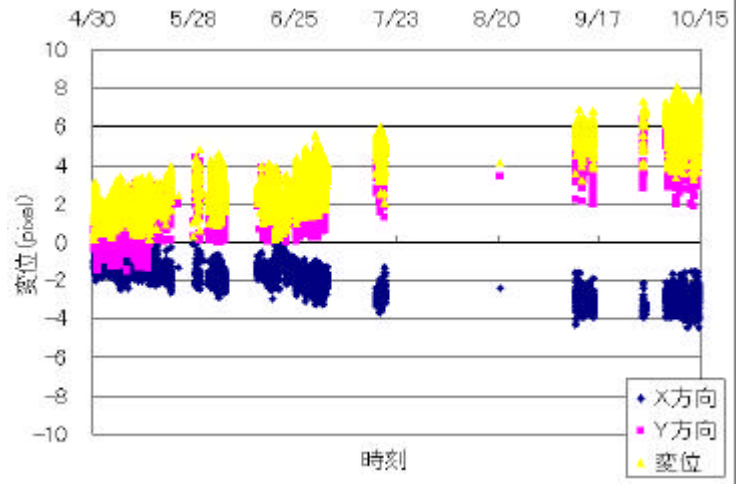


図 1 観測結果

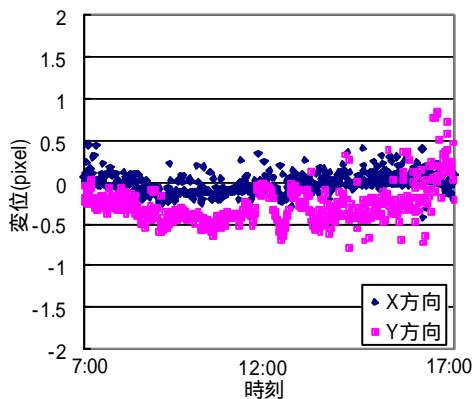


図 2

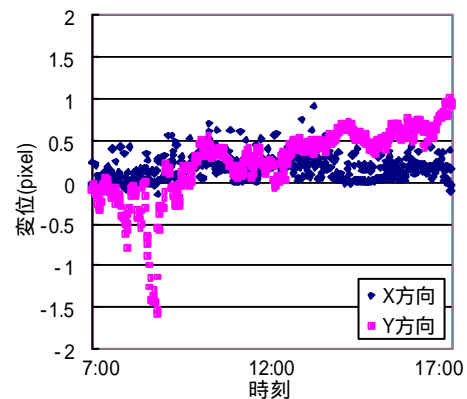


図 3

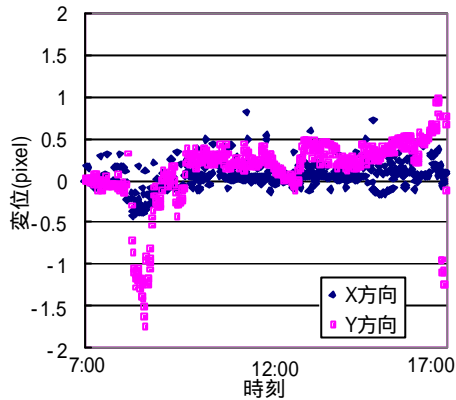


図 4

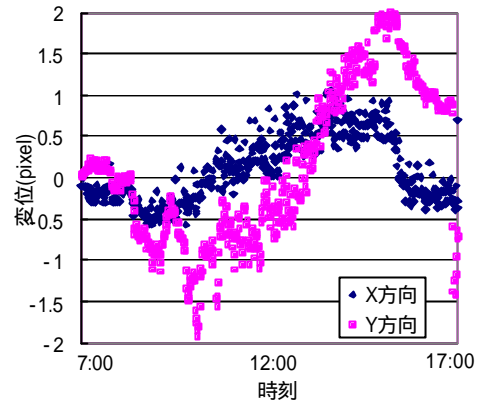


図 5

抽出した結果，朝方と夕方著しい変動を示しており，これはばらつき  
の主な要因が日照の影響であることを示している．そこで，比較的に変動が小さい12時から13時までの20個のデータを信頼性の高いデータとし，平均値を1日の信頼性の高いデータと考えた．抽出した一例を図6に示す．信頼性の高いデータを抽出することにより斜面変動が明確になったといえる．

また，図中に実線で示す独立行政法人土木研究所新潟試験所の提供による縦型伸縮計を用いた変位測定結果と本システムとの変位を比較した結果，観測地点が違いため変位の絶対量は相違しているが，その傾向は一致しており，12時から13時のデータの平均値を用いる処理を施した本斜面監視システムは長期の地すべり挙動を捉えていることがわかった．

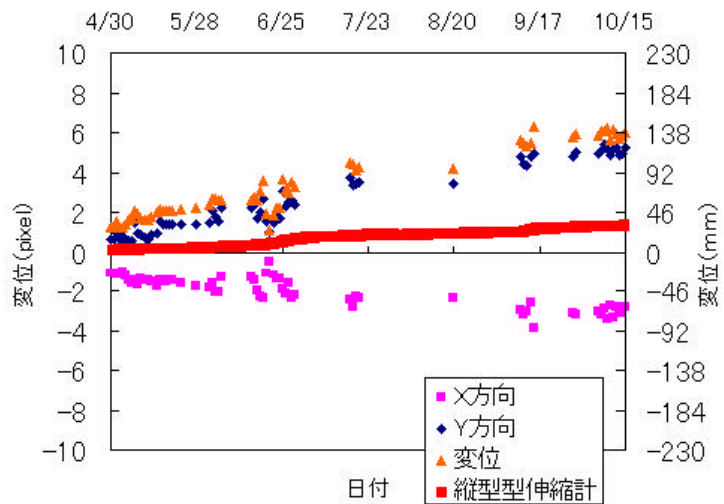


図 6 抽出後の変動挙動

## 6. 長期地すべり予測

### 6.1 クリープ

地すべりにおいては，時間と破壊時間の間に一定の関係が成立している．このような関係は通常クリープとして知られ，破壊や崩壊の予測に用いられている<sup>5)</sup>．

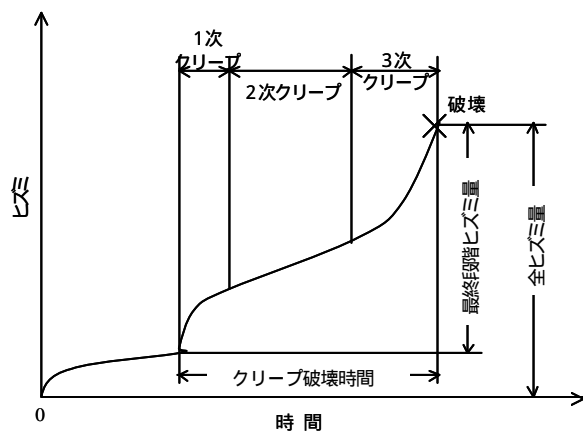


図 7 クリープ曲線



一般にクリープ破壊試験の結果では、時間とひずみの関係は図 7 で示される曲線のようなになる。また、計測結果から得られた移動量と時間の関係は図 6 に示す通りであり、曲線の形状等から、クリープに相当する現象が捉えられたと考えられる。

## 6.2 成長曲線の適用

時間ともに変化する、いわゆる、時系列観測値を将来に延長することによって予測する方法が考えられている<sup>6), 7)</sup>。ここでは、クリープ挙動が成長曲線にあてはめることができないか検討した。

成長曲線は、以下の式で示される。

$$y = \frac{a}{1 + b \exp(-ct)} \dots (1)$$

ここで、 $y$  : 地すべり変位,  $t$  : 経過日時,  $a, b, c$  : 未知パラメータである。

未知パラメータは、最小二乗法により求め、地すべり変位を時間変数により変化する関数で示すことができる。その適用による一例を図 8 に示す。

実測値と成長曲線の適用結果後の各相関係数をみると X 方向 0.88, Y 方向 0.97, “変位” 0.96 と非常に相関の高いものであった。

次に、4 月 30 日から 8 月 20 日から取得したデータから成長曲線を求め、9 月以降の変位を予測した結果を図 9 に示す。実測値と予測値の相関係数を比較した結果、X 方向 0.71, Y 方向 0.84, “変位” 0.78 と非常に相関の高いものであった。

## 7. 結論

本研究では、本システムによる長期地すべり動態観測の適用性について検討を行ったとともに、緩やかな動きでの長期地すべり予測について検討を行った。

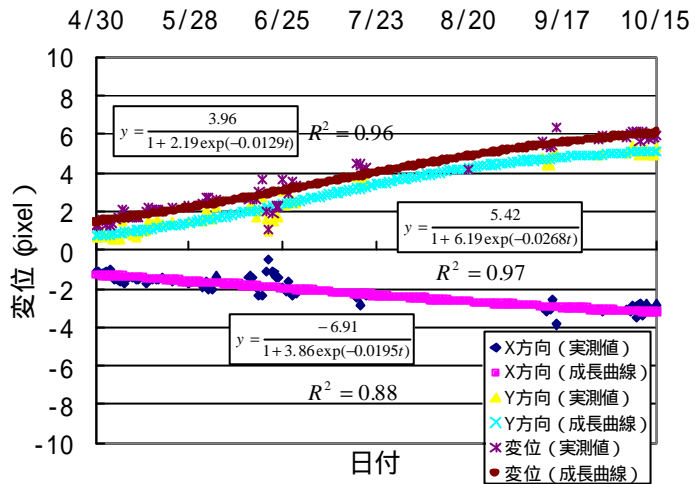


図 8 成長曲線の適用結果

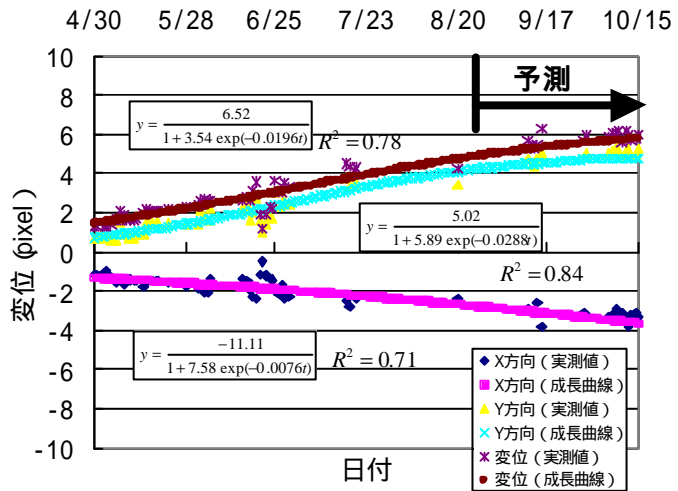


図 9 予測結果

その結果、本システムにおいて長期にわたる緩慢な動きの地すべり動態観測を行い、1日の信頼性が高いデータを抽出し適用することで、地すべり変動を捉えることが可能であることを確認した。また、長期地すべり予測においては、成長曲線を適用することで緩慢な動きでの長期地すべり予測が可能であることを確認した。

今後の課題として、ターゲットレスによる画像処理を用いた斜面監視システムの開発、表面現象と地下現象との相関関係を把握することで信頼性の高い地すべり予測システムの構築ができるのではないかと考えられる。

## **参考文献**

- 1) 新潟県土木部，地すべり学会新潟支部：地すべり研究発表会資料，新潟県土木部 地すべり学会新潟支部，2001。
- 2) 別所 正治：斜面監視システムを用いた地滑り予知に関する研究，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文，2001。
- 3) 地盤工学会編：計測結果の解釈と計測管理，地盤工学会，1999。
- 4) ザルバメンツル共著，松尾新一郎訳：地すべりとその対策，鹿島出版，1975。
- 5) 林拙郎・駒村富士弥・朴甫減：斜面崩壊発生時期の予測について - 斜面崩壊の経時進行過程 -、地すべり 24(4)、1988
- 6) 石井 一郎，湯沢 昭，村井 貞規，上浦 正樹，折田 仁典，亀野 辰三，熊野 稔：計画数理 - 土木計画のための統計解析入門 - ，森北出版，2000。
- 7) 内田 一郎：土木計画学序論，森北出版，1985。