

PII-02 画像解析による崩土の動態解析

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○柳原 幸希

独立行政法人土木研究所 寺田 秀樹 浅井 健一

アジア航測株式会社 華房 康憲 小野田 敏 高山 陶子

1. はじめに

崩壊の発生やその後の崩壊土砂の運動は非常に短時間で終了してしまうことから、実際の崩土の流下状態や速度の変化等、未解明な部分が多い。また、崩壊運動機構の解明や各種崩壊運動モデルの検証のため模型実験が実施されているが実大規模での実験は難しいのが実態である。そこで実際の崩壊現象が撮影された事例を用いて崩壊運動機構の検討を行うことが考えられる。本研究では、Particle Image Velocimetry (PIV: 粒子画像流速測定法) より動画像処理法を用いて実際の崩壊現象が撮影されたビデオから崩壊土砂の運動形態の検討を行った。

2. 研究方法

流れの可視化技術に最近のデジタル画像処理技術を加え、多点の速度情報を抽出するものに Particle Image Velocimetry (PIV: 粒子画像流速測定法) と呼ばれる流速計測技術¹⁾がある。近年工業計測の分野で計測技術の一手法として確立されており、流れを伴う運動形態に対して様々な分野で応用されている。そこで今回、崩壊時の映像が撮影されたビデオ画像を収集し、PIVによる動画像解析を行った。

2.1 PIVの原理

PIVは粒子密度により高密度PIVと低密度PIVに分類される。高密度PIVは粒子1つ1つではなく、ある領域の粒子の分布パターン(もしくは濃度のパターン)の移動を追跡することで速度ベクトルを算出する手法である。PIVでは固定した小領域(テンプレート)を設定し、その内部のパターンをオリジナルとして次の画像内で最も似たパターンを検索しその位置をテンプレートの移動先とする。オリジナルと移動先のずれから速度ベクトルが計算される

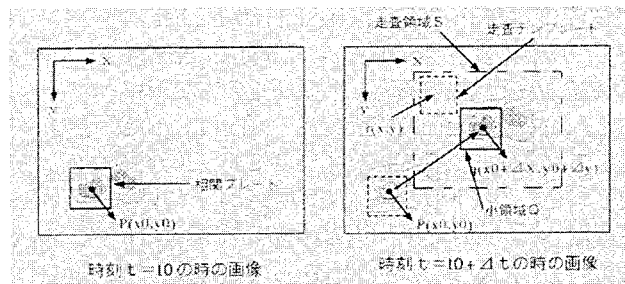


図-1 テンプレートの移動先の検索概念図

(図-1)。テンプレートの移動量を L (pixel)、時間差を Δt (s) とすると、速度 u (pixel/s) は、 $u = L/\Delta t$ と表される。PIVの計測対象は粒子が撮影された画像である必要はなく、濃淡のパターンがあればその移動をもとに速度を計測することができる。一方、低密度PIVは画像内の粒子数が少ない場合に使用される手法であり、粒子1つ1つを識別して追跡することで速度ベクトルを算出する方法である。この手法は、粒子を追跡することから PTV (Particle Tracking, Velocimetry: 粒子追跡法) と呼ばれる²⁾。検出した特定の粒子について次の画像内で最も移動先として可能性の高い粒子を選択してその移動先を算出する。この処理を連続的に行うことにより粒子を追跡することができる。今回の解析では、前者の代表的なアルゴリズムの一つであるパターン相関法を簡略化した輝度差累積法を用いた。輝度差累積法はパターン相関法における相関係数の計算を簡略して高速処理を可能とするアルゴリズムである。短時間であれば画像内における輝度値の平均の変化は小さいと仮定し、平均を除いて正規化する手順を省略し、輝度値の差そのものを集計する(式- (1))。

$$D_{ig}(k,l) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} |f(i,j) - g(i,j)|}{n^2} \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

$D_{ig}(k,l)$: 累積輝度差 (輝度値の差の合計値)

$f(i,j)$: $t=t_0$ 時の対象とする領域の輝度値

$g(i,j)$: $t=t_0+\Delta t$ の対象とする領域の移動先の輝度値

n^2 : ピクセル数 ($n \times n$)

$D_{ig}(k,l)$ は両画像が一致する場合に 0 となり、違いが大きいほど大きい値をとる。走査範囲全体について累積輝度差を計算し、最小値を示す位置を移動先とする。

2.2 PIV解析方法

PIVを用いて動画像から速度ベクトルを算出する際の作業の流れを図-2に示す。ビデオ画像からのPIV解析は大きく分けて、前処理、PIV解析、後処理に分けられる。前処理は、VHS等のオリジナルのビデオ画像のデジタル化、画像ファイ

ルの作成、グレースケール化、フレームのリサンプリング及び各種補正等が含まれる。PIV解析では、1コマ毎に作成されたビットマップ画像を基に、各種パラメータを設定して速度ベクトルの分布を計算する。一連の画像に対してそれぞれ速度ベクトル分布を作成する。PIVにより求められた速度ベクトル分布から、後処理により時系列変化の解析、みかけの速度から実速度への変換等を行う。なお、崩壊形態のビデオ画像がすべて使用できるわけではなく撮影時の画像のぶれ、崩壊時に生じる土ぼこりなどが生じている画像では解析が困難な場合がある。

3. 解析結果

平成2年5月31日に宮崎県西郷村国道327号小八重地点で発生した小規模な崩壊を解析事例とした(図-3)。解析に用いたテンプレートサイズは20×20pixel、走査範囲は、60pixelとした。斜面形状は、測量結果(平面図、断面図)を用いて計測し、崩壊上部から道路面までの比高を30m、平均斜度を60°とした。斜面長は、34.6mであり、画像上の斜面長のピクセル数は、360pixelであった。このことから画像上の1pixelは斜面方向で0.096m、比高で0.083mとなった。この結果を用いて解析結果を実距離、実速度に変換した。解析結果を図-4に示す。速度分布は、矢印で表示しており、速度が大きくなるに従って青～赤に変化している。また、崩土の範囲と速度分布の関係を時系列に示した(図-4)。図-4の破線は、芦田・江頭・神矢の式より求めた値である(動摩擦係数 $\mu k=0.53$)。解析結果より次のことが判定できた。

- ・崩壊発生域では、時刻が進むにつれて範囲が拡大しているように見える。
- ・斜度約60°の斜面のため、一部自由落下に近い速度が見られる。
- ・崩土の先頭領域に近い範囲で最大速度が出現している。
- ・比高差10~15mまでは、崩土としても若干加速傾向がみられるが、以降は等速から減速傾向に移行しているものと推定される。
- ・崩土全体の動きとしては発生域の長さが、全体的に動き出す時点で約10mで、計測速度が約4m/s程度以上の範囲を運動領域と考えると、2~3秒後までは約20m、5秒後には約25mと崩土全体の長さが伸びる形で運動している。
- ・比高20m付近で速度が低くなっているのは崩土が一旦バウンドするような運動を示しているためと思われる。このように各測点の速度は、微少な勾配変化の影響を受けているように見える。
- ・計算値の流体抵抗係数を $f=0.1\sim 0.5$ 程度とすると最大値は計測値と同程度となる。また、比高10m程度以降の定常的な傾向は同じように見える。

4. まとめ

崩壊の追跡結果からは、崩土の動きに対応した速度分布が得られた。今後、様々な崩壊形態のビデオを用いて崩土の運動形態の検討を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) (社)可視化情報学会(1998):PIVの要点
- 2) (社)可視化情報学会(2000):PIV技術入門(初級コース)

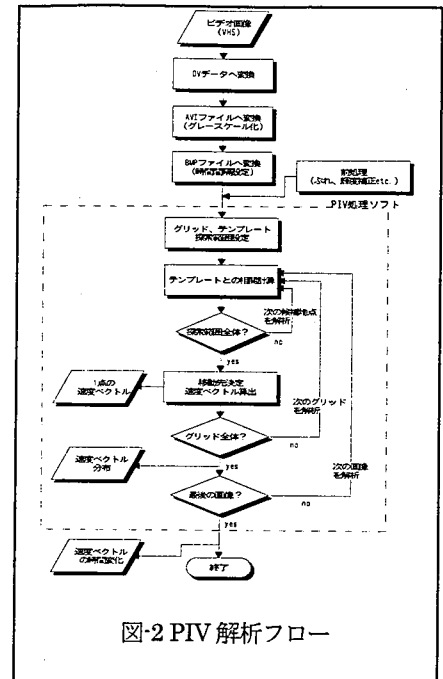


図-2 PIV解析フロー

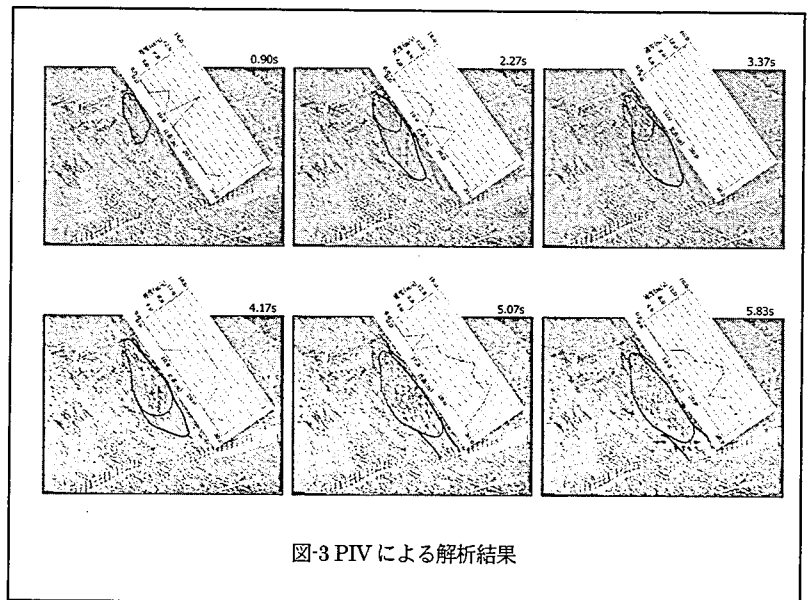


図-3 PIVによる解析結果

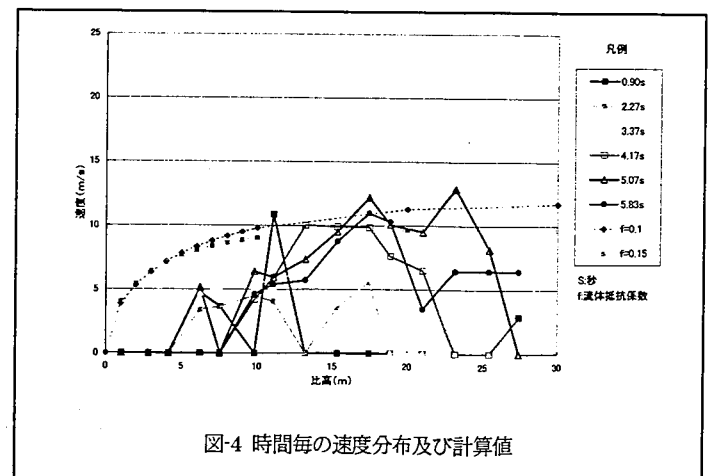


図-4 時間毎の速度分布及び計算値