

# 急勾配区間での土石流に関する運動学的特性の再現手法について

国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 中谷洋明  
 名古屋工業大学都市社会工学科 前田健一  
 (財)名古屋産業科学研究所 菅井径世  
 株式会社パスコ 中部事業部 ○筒井胤雄 杉井大輔

## 1. はじめに

2004 (平成 16) 年 5 月に手取川上流別当谷で発生した土石流は約 9 万 7 千  $m^3$  の土砂が勾配 22 度の急渓流を流下したため、撮影されたカメラ画像からは流速が 15~22m/s にも達し、現地痕跡からは非常に大きな偏流となったことが認められた。

土石流の先端部の流速は、一般に、石礫型土石流では、3~10m/s、泥流型土石流では、5~20m/s 程度とされている<sup>1)</sup>。堆積した土石流から採取された試料からは泥流型とは考えにくい、一方、石礫型と考えた場合に、従来の計算手法 (例えば混相流として扱う一般的な手法等) では偏流による水位差や跳ね上がりを的確に表現することが困難になることが予想された。そこで、石礫型の土石流の流動を現象面から再現する方法として個別要素法<sup>2)</sup> (以下、DEM と略す) を適用した。DEM は比較的緩勾配の区間や、砂防堰堤付近の局所なかれの解析に適用されているが、湾曲の激しい急勾配な区間に 3 次元で適用された事例はまだ少数である。DEM の問題点として、パラメータ設定がやや恣意的になることがあるが、本論文では経験的な設定方法を用い、どの程度実現象と対応するかを検討することとした。

## 2. 検討方法

### 2.1 手順

本検討は、急勾配における土石流の再現シミュレーション手法の適応性を検討し、各地点までの土石流到達時間や偏流の高さ、衝撃力等を考察するものである。再現性の検討では、航測図化により TIN モデルを作成し、必要なパラメータの設定、計算、再現性の確認、偏流高の算定、到達時間検討という流れで実施した。

### 2.2 主なパラメータ

主な解析パラメータは、現地での実測値並びに経験的な値<sup>3)</sup>を基に設定した (表-1)。

表-1 DEM 解析に用いたパラメータ

パラメータ (単位)	設定値
(粒子単位, 接触モデル)	
粒子半径: $r$ (m)	0.05~0.50
粒子の密度: $\rho_s$ ( $kg/m^3$ )	2600
接触面法線方向バネ定数: $k_n$ (N/m)	$1.0 \times 10^8$ ※
接触面接線方向バネ定数: $k_s$ (N/m)	$2.5 \times 10^7$ ※
接触面法線方向粘性定数: $c_n$ (kg/s)	$1.0 \times 10^6$ ※
接触面接線方向粘性定数: $c_s$ (kg/s)	$5.0 \times 10^5$ ※
粒子間摩擦角: $\phi_\mu$ (deg.)	30
計算時間刻み: $\Delta t$ (s)	$1.0 \times 10^{-5}$ ※
(パラメータ算定に用いた粒子集合体としての参考値)	
密度: $\rho$ ( $kg/m^3$ )	1800
P波速度: $V_p$ (m/s)	266 ※
S波速度: $V_s$ (m/s)	133 ※

※: 参考文献 2), 3) に基づく

## 3. 検討結果

### 3.1 解析結果

粒状体として計算した DEM 解析の結果、土石流の流下範囲を平面的に示すと図-1 となる。

また、湾曲部においては、右岸 37m、左岸 12m となり、水位差 25m という著しい偏流を示す結果を得た (図-2)。

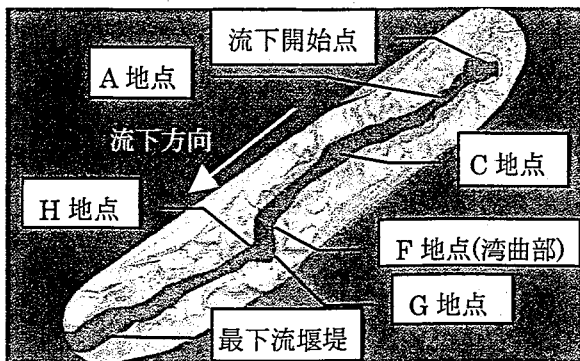


図-1 流下範囲図 (DEM)

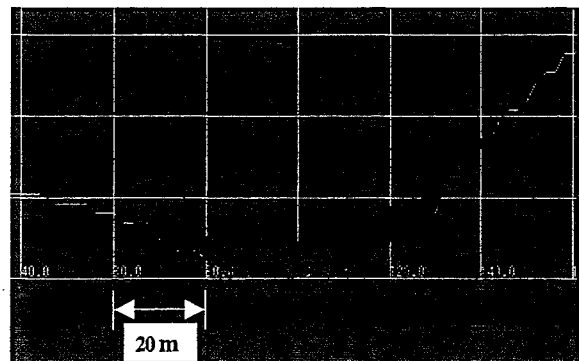


図-2 湾曲部 (F 地点) での流下断面 (DEM)

### 3.2 再現性

DEM 解析の結果について、流速、水位差の面から実現象と比較した。

流速の面では、A 地点から C 地点の区間に限ると、DEM では下流の C 地点に流下するほど流速が増大する傾向が認められ、実現象の再現性が高い (図-3)。

一方、各地点における左右岸の水位差の面では、DEM の値が実現象 (現地踏査) と比較して、F 地点 (湾曲部) でやや大きくなっているが、全体的な傾向をよく表している (図-4)。

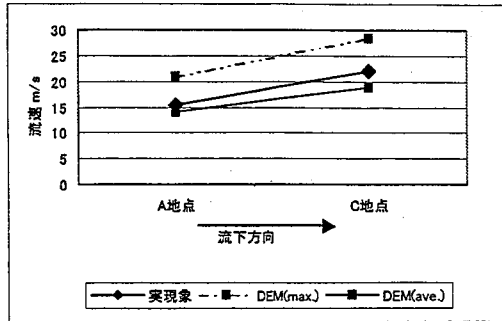


図-3 流速の比較

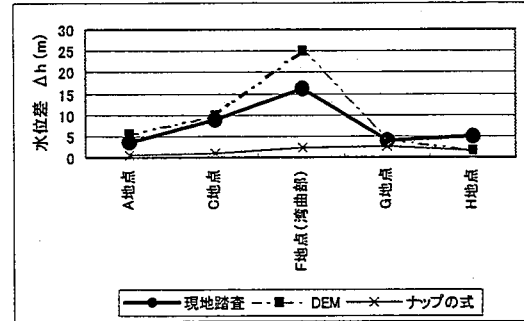


図-4 水位差の比較

## 4. 考察

### 4.1 地点別の土石流到達時間

土石流到達時間を複数の地点で検討した (図-5)。観測値は、土石流の先端部を示しており、水位は 2m 程度の状態であるため、水位 2m 上昇時の時間、最大波高到達時間と観測値の時間を比較対象とした。

結果、観測値が得られている C 地点では、DEM による水位 2 m 上昇時の時間=60 秒が、観測値 56 秒と良く整合がとれている。従って、観測値が得られていない D 地点以降の各地点における推定到達時間について、DEM による値は、ある程度の信頼性を有していると考えられる。

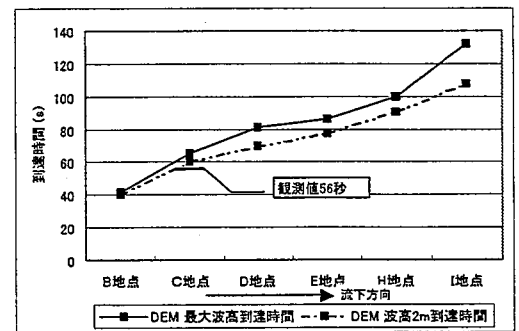


図-5 到達時間の推定

### 4.2 堰堤効果

土石流の流下した区間の 4分の3 程度には砂防堰堤群が整備されているため、この堰堤群の効果について検証した。

最下流堰堤より下流側へ流下した粒子数の投入粒子数に対する割合、並びに、流速、偏流の高さは、堰堤がなかった場合には、ある場合と比べて増大したであろうことが分かる (表-2)。

このことから、階段状の堰堤群による縦断勾配の規制だけでも下流への流出土砂量を半減させる効果があったことが分かる。

表-2 堰堤有無による流下状況の比較

検討事項	堰堤の有無	
	上流域の堰堤あり	上流域の堰堤なし
最下流堰堤より下流へ流出した粒子数の割合(%)	12.3	25.1
C地点最大流速 (m/s)	28.3	35.5
I地点での偏流による水位(m)	右岸:7.1 左岸:9.4	右岸:10.2 左岸:11.7

## 5. おわりに

本論文では、非常に急勾配な区間を偏流しながら流下した土石流への DEM の適用性を検討した。その結果、流速や偏流による左右岸での水位差等、土石流の観測結果を DEM で概ね再現することができた。実現象における物性を反映したパラメータ設定は行えなかったが、運動力学的に比較的良い再現が行えたのは、流動形態が地形制約の強いものであったためと考えられる。計測が充分ではないため、各地点までの到達時間や湾曲部の偏流による水位、衝撃力等の試算結果の信頼性は限定的なものであるが、現象の運動面は定性的には再現されていると考えられる。今後は、接触モデルや粒径・粒度分布等のパラメータの感度分析を行う必要がある。

## 参考文献

- 1) 池谷 浩 (1999) : 土石流災害 岩波書店、 p. 43-48.
- 2) Cundall, P. A. (1971) : A computer model for simulation progressive, large scale movement in blocky rock system. Symp. ISRM, Vol.2, p.129-136
- 3) 伯野元彦 (2004) : 破壊のシミュレーション 森北出版株式会社、 p. 40-51.