

## 土石流の垂直壁衝突後の堰上げ高と圧力分布 —住民自衛工法検討のための基礎的実験—

三重大学生物資源学部 ○藤本凌平(現三重県伊賀農林事務所), 川崎裕里(現株式会社鷺見製材), 山田孝 三重県尾鷲農林水産事務所 半田理恵(元三重大学大学院生物資源学研究科)

### 【1. はじめに】

近年, 砂防堰堤等の公助によるハード対策の整備率が依然として低いこと, 指定避難路・避難場所そのものが危険であったり, 河川の氾濫などにより集落が孤立して住民の避難が困難となる場合もあることが指摘されている。近未来は, 砂防堰堤がない危険溪流では, 警戒避難のみならず, 自助や共助による集落内でのハードによる自衛も必要と考えられる。家屋の上流側にバリアを設置する, 集落内に避難路・避難場所としての高台(バリアや導流堤としての機能も発揮する)を施工するなどのことが期待される。その場合の課題の一つとして, 土石流が高台などに衝突した時の堰上げ高さや堰き上げ部を含む箇所での圧力分布を明らかにする必要がある。そこで本研究では, 水理模型実験により, 垂直壁衝突時における土石流の堰上げ高さや土石流堰上げ時における圧力の鉛直方向の分布を明らかにすることを目的とする。

### 【2. 研究方法】

(Armanini et. al., 2011)の土石流堰上げ高の実験式について, その次元を修正した(1)式から, 土石流の流速, 流動深, フルード数(Fr)が堰上げ高に影響を与えると考えた。図-1に示す実験流路を用いて, 土石流を発生させた。流路の下流側先端部には流路に対して垂直にアクリル壁を取り付け, その上流側に2列4段の計8個の圧力センサを設置した。流路下流端付近に流路正面, 側面, 上部の3か所に計3台のカメラを設置し, 土石流の流下状況, 堰上げ状況を撮影した。土石流垂直壁衝突後, 正面カメラより堰上げ速度 $\approx 0$ , または側面カメラより堰上げ後土砂が落下し始めた時点で堰上げ終了とした。土石流の流速, 流動深をビデオ画像から判読し, (1)式の適応性を検討した。さらに, 実際の土石流堰上げ映像(中国雲南省蔣家溝(1997年発生), ニューゼーランドルアペフ火山(2007年発生), 長野県松本市安曇産屋沢(2011年発生))より(1)式のパラメータである堰上げ高, 流速, 流動深を判読し, 同じく(1)式の適応性を検討した。また, 各センサはデータロガーへと接続し, 電圧値変化を記録した波形から圧力値の結果を読み取った( $0.7 \leq Fr \leq 1.4$ の領域での圧力値は未測定)。それらの値を, 土石流流体力式, 力積と運動量変化量, 衝撃的流体力(石川ら2006)から算出した圧力値と比較し, 鉛直方向の圧力値の変化を調べた。

$$\frac{1/2(\rho_m h_{ro}^2) + \alpha \rho_m u_i^2 h_{ro}}{1/2(\rho_m h_i^2)} = \left(1 + \frac{1}{2} Fr^2\right)^2 \left(1 + \frac{2\alpha Fr^2}{1 + 1/2 Fr^2}\right) \quad (1)$$

$u_i$ : 流速(m/s),  $h_i$ : 流動深(m),  $\Delta h$ : 堰上げ高(m)  
 $h_{ro}$ : 堰上げ水深(=  $\Delta h + h_i$ ),  $Fr$ : フルード数(=  $u_i / \sqrt{gh_i}$ )  
 $\rho_m$ : 土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>),  $g$ : 重力加速度(=9.8m/s<sup>2</sup>),  $\alpha$ : 定数

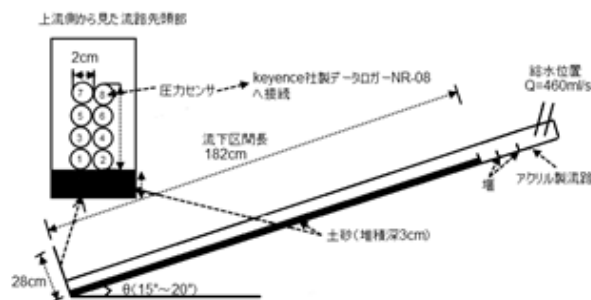


図-1 実験流路図

図-1 実験流路図

### 【3. 結果と考察】

#### 3.1 土石流の堰上げ高

図-2に堰上げ高の無次元値( $(h_i + \Delta h) / h_i$ )の実測値と(1)式による計算値の比較を示す。ちなみにこの図には, 筆者らによる別途実験で得られたデータ( $0.7 \leq Fr \leq 1.4$ )も追記した。Frが1.4程度より低い場合( $(h_i + \Delta h) / h_i$ の実測値が約3未満)では(1)式は良く適合する。しかしFrが1.4程度より大きくなると, (1)式による計算値よりも実測値は大きくなる傾向が認められる。これは本研究で対象にしている堰上げ現象は非常に短い時間で起こる現象であり, Fr値が高い場合は, 流れの圧力を静的に扱うことができないことなど

によるのではないかと考えられる。

### 3.2 測定最大圧力と計算値との比較

図-3 に実験で得られた最大圧力値と①土石流流体力式、②力積と運動量変化、③衝撃的流体力(土石流流体力式で算出した流体力に、ピーク値があり、立ち上がり時間が約 0.02 秒の場合の動的倍率=2 を乗じた値)により算出した圧力値との比較を示す。①と②の算出値は、いずれも実験で得られた最大圧力値よりも小さな値となった。③の算出値は、実験で得た最大圧力といずれのケースでも近い値となった。以上のことから、本実験条件では、堰上げ時の圧力は衝撃的流体力であると考えられる。

### 3.3 鉛直方向の圧力分布

図-4 に、圧力の鉛直方向の分布を示す。各段において記録された圧力値の大きな方をその段における堰上げ時の圧力値とし、そのケースでの最大圧力を1として無次元化した。また、堰上げ高(センサ上端高さ)を流動深で除して高さのパラメータとした。鉛直方向の圧力の分布は土石流の流動深の約3倍の高さ(2段目)になると、Fr2.2以上で最下段の6割程度の圧力を記録した。それ以下の場合では土石流先端部の圧力の3割程度にまで大きく減少した。堰上げ高が流動深の約5倍(3段目)になる位置では、直撃直後の圧力の減少割合と比べると最大圧力の1割程度と小さかった。それ以上の高さでは記録されたものでも、下段の3割程度であった。勾配が15°、18°の場合には、指数関数的な減少が顕著であった。

#### 【4. 結論】

- 1) 堰上げ高は、Fr が 1.4 程度より低い場合 ( $(h_1 + \Delta h) / h_1$  の実測値が約 3 未満) では(1)式は良く適合するが、Fr が 1.4 程度より大きくなると、(1)式による計算値よりも実測値は大きくなる傾向が認められる。
- 2) 土石流の垂直壁直撃時において壁体に作用する力は、衝撃的な流体力であると考えられる。
- 3) 垂直壁衝突時の圧力の鉛直分布は、垂直壁衝突直後の箇所では先頭直撃部の圧力の 4~7 割の減少が見られた。堰上げ部分では 1~3 割と小さな減少になることが分かった。この傾向は、15° 18° の場合に顕著であった。

Armanini A. et. al., 2011: Dynamic impact of a debris flow front against a vertical wall, 5<sup>th</sup> International Conference on Debris-Flow Hazards, Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment, p.1041-1049 石川ら(2006): 土石流モデルを用いた衝撃的流体力の測定実験について, 第8回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会, p.199-204 国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所・(株)建設技術研究所(2012): 水と緑の溪流づくり調査業務報告書 第3編 産屋沢・ワラビ沢土石流調査

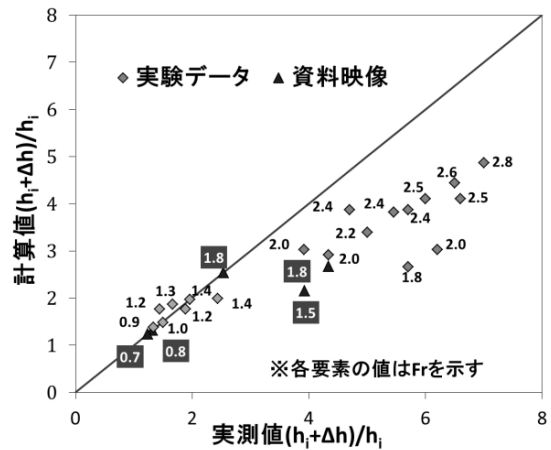


図-2 土石流堰上げ高の適合性

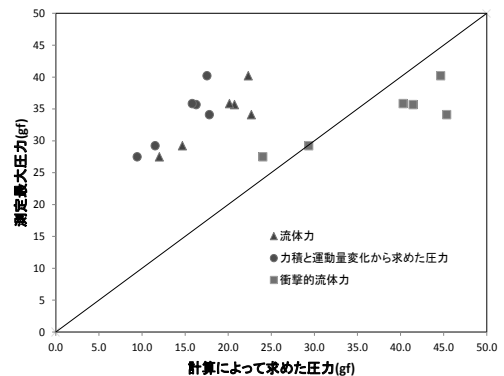


図-3 測定圧力値と計算圧力値の比較

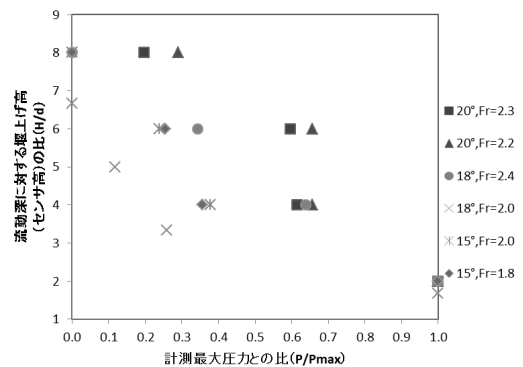


図-4 圧力の鉛直方向の分布