

# 極めて大きな土石流荷重を受ける鋼製透過型堰堤の耐衝撃性に関する解析的検討

防衛大学校 ○別府万寿博 伊藤忠テクノソリューションズ 松澤遼  
 (一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示 砂防鋼構造物研究会 石川信隆  
 京都大学農学研究科 水山高久

## 1. 緒言

近年、集中豪雨の増加にともなって大規模な土石流が発生する傾向にある。深層崩壊や大規模な土石流が発生すると、大量の土砂や大径の礫が流下し、砂防堰堤に作用する。これらの極めて大きな土石流荷重については、統計的データが不足しているため、現在では設計の中で考慮することが難しい。本研究では、安定計算による安全限界程度の極めて大きな土石流荷重（流体力および礫衝突）を設定し、鋼製透過型堰堤の耐衝撃性について数値シミュレーションを行ったものである。なお、数値解析には、衝撃解析ソフト AUTODYN を用いている。

## 2. 極めて大きな土石流荷重の設定と対象とした鋼製堰堤

### 2.1 極めて大きな土石流荷重の設定

安定計算<sup>1)</sup>により安全限界となるような荷重として、土石流流体力は  $583.5\text{kN/m}$  と設定した<sup>2)</sup>（土石流のピーク流量  $638\text{m}^3/\text{s}$ 、土石流の流れの幅  $15\text{m}$ 、土石流径深  $5.04\text{m}$ 、土石流水深  $5.04\text{m}$ 、流速  $8.45\text{m/s}$ ）。また、礫衝突については、礫の直径を  $3\text{m}$ 、衝突速度は  $8.45\text{m/s}$  とした。

### 2.2 解析対象とした鋼製堰堤と解析モデル

解析の対象とした鋼製堰堤は、図-1 に示すように、直径  $508\text{mm}$  の鋼管と直径  $318\text{mm}$  の鋼管を接合した形状である。堰堤の高さは  $8\text{m}$  である。鋼管の接合部はモデル化していないが、鋼管直径、肉厚等は全てシェル要素を用いて忠実にモデル化した。鋼管基部は完全固定とした。鋼管の密度は  $7.85\text{g/cm}^3$ 、ヤング係数は  $206\text{GPa}$ 、ポアソン比は  $0.3$ 、降伏応力は  $315\text{MPa}$ 、引張強さは  $593\text{MPa}$  に設定した。

## 3. 流体力に関する検討

### 3.1 解析モデル

図-2 に、流体力の作用部を示す。解析では、堆砂圧および静水圧は考慮せず、圧力として  $583.5\text{kN/m}$  を作用させた。

### 3.2 解析結果および考察

図-3 に、流体力を作用させた上流側部材の塑性ひずみ分布を示す。図中(a)は上流側の表面を、(b)図は下流側の面を示している。図-3 から、塑性ひずみは下流側の斜材（図-1 参照）が支えている部位やこれらが支点となって柱がたわむ部位に集中していることがわかる。またひずみの大きさは、斜材が支えている部位は  $1\sim 5\%$ 、堰堤中央部の下流側では  $1\%$  前後であった。図-4 に、鋼製堰堤の最終変形状態を示す。図から、大きな塑性ひずみが発生するものの、鋼製堰堤が崩壊するような変形は発生しない。

図-5 に正面中央部の柱における、上流側部材（図中の鋼管 1-1）、斜材 A（図中の鋼管 1-2）、斜材 B（図中の鋼管 1-3）の上下方向の支点反力～時間関係を示す。ただし、+側は押し込み力、-側は引抜き力を表している。図-5 から、上流側に配置された鋼管基部（図-1 中の 1-1）では最大で  $3000\text{kN}$  程度の引き抜け力が生じる

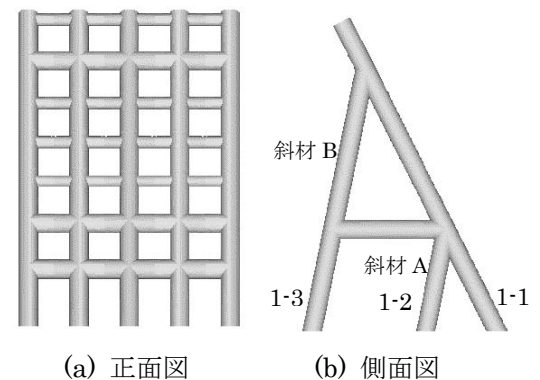


図-1 鋼製堰堤の解析モデル

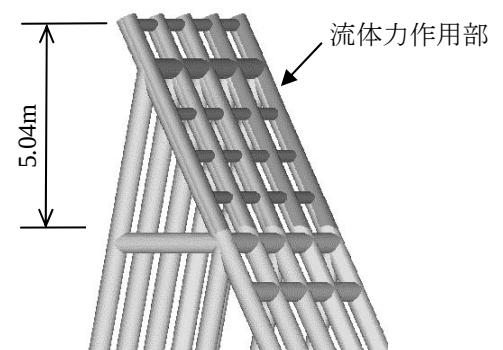


図-2 流体力に対する解析モデル

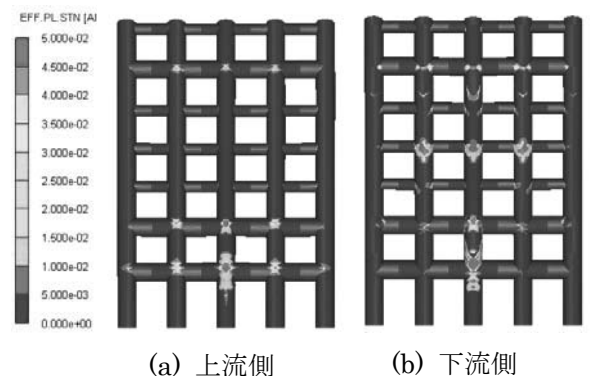


図-3 流体力に対する塑性ひずみ分布



図-4 最終的な変形状態

ことがわかる。よって、極めて大きな流体力が作用する場合には、鋼管柱基部の引き抜けに対しても照査する必要があると言える。

#### 4. 礫衝突に関する検討

##### 4.1 解析モデル

図-6 に、礫衝突に対する解析モデルを示す。鋼製堰堤の要素分割や境界条件については、流体力を作用させた場合と同じである。礫については、直径は 3m とし、衝突速度は 8.45m/s である。礫は堰堤頂部から 1.5m 下の位置へ衝突させた。礫は弾性体と仮定し、密度は  $2.60\text{g/cm}^3$ 、ヤング係数は 49GPa、ポアソン比は 0.23 に設定した。

##### 4.2 解析結果および考察

図-7 に、礫を衝突させた上流側部材の塑性ひずみ分布を示す。図中(a)は上流側の表面を、(b)図は下流側の面を示している。また、図(c)は衝突部を拡大して、塑性化および破断領域を示している。図から、礫が衝突した部位に非常に大きな塑性ひずみが発生すること、また流体力のケースと同様に、斜材が影響する位置に最大ひずみが集中することがわかる。礫が衝突した部材の最大ひずみは、5%を超えていることがわかる。流体力のケースと同様に、堰堤中央部材の下流側に大きな塑性ひずみが生じた。この理由は、斜材が支持している区間でたわみ変形が生じて塑性化したものと考えられる。ただし、堰堤の全体的な崩壊には至らなかった。

図-8 に、図-5 と同様の、上下方向の支点反力～時間関係を示す。流体力の場合と比較すると、斜材 A については支点反力が小さくなるが、斜材 B は同等の最大反力生じることがわかる。一方、上流側部材については、局部的な応答が支配的なため、流体力作用時の半分程度の値となった。

#### 5. 結言

本研究は、安定解析の安全限界程度の極めて大きな土石流荷重（流体力および礫衝突）を設定し、鋼製透過型堰堤の耐衝撃性について数値シミュレーションを行ったものである。解析結果から、極めて大きな流体力が作用すると、下流側の斜材と上流側の部材が交差する位置や斜材が支えている点が支点となつたたわみ変形が大きい位置に、ひずみが集中することがわかった。また、礫衝突に対しては、衝突部位がへこみ変形でエネルギーを吸収することがわかった。いずれも、安定計算で安全限界となる程度の荷重であるが、堰堤全体の崩壊には至らないことがわかった。

**謝辞：**本研究の一部は、科研費（24560594）の助成を受けて行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部，国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針及び同解説，平成 19 年
- 2) 山口聖勝，石川信隆，田村毅，嶋丈示，水山高久：極めて大きな土石流流体力を受ける砂防堰堤の極限状態における安定計算法，平成 27 年度砂防学会研究発表概要集，平成 27 年 5 月。

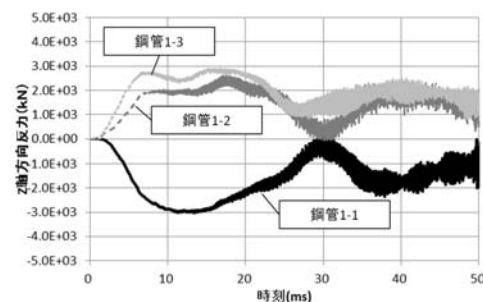


図-5 支点反力～時間関係

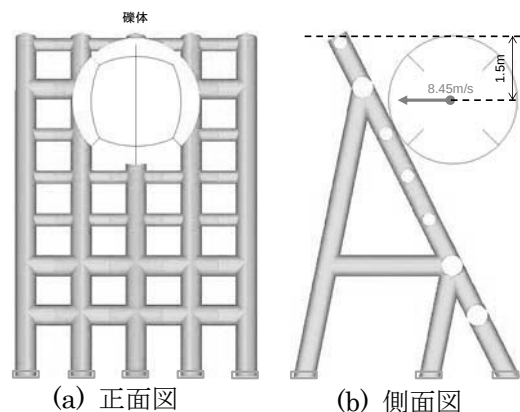


図-6 礫衝突に対する解析モデル

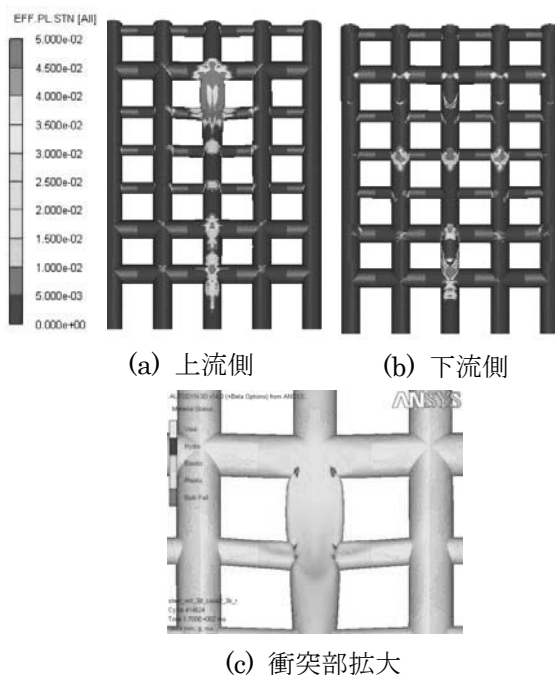


図-7 礫衝突に対する塑性ひずみ分布

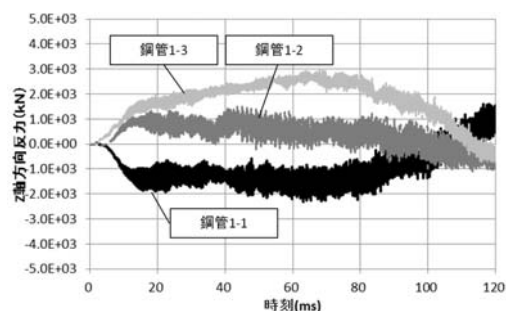


図-8 支点反力～時間関係