

大規模土石流に対する鋼製透過型砂防堰堤の安全性照査法に関する一考察

砂防鋼構造物研究会 ○石川信隆
 (一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 文示
 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 松澤 遼
 防衛大学校 香月 智
 政策研究大学院大学 水山高久

1. 緒言

近年、異常気象の影響により、設計で想定したよりはるかに大きな巨礫を含む大規模な土石流が発生して、砂防堰堤を破壊する事例が発生してきた。このため著者ら¹⁾は、想定外の大規模な土石流に対して鋼製透過型砂防構造物の性能設計法について提案した。本研究では、大規模土石流に対する鋼製透過型砂防堰堤の性能設計法を具体的に提示するため、性能規定を設定したうえで、AUTODYNプログラムを用いてFEM動的弾塑性解析を行い、安全性照査の一例を示したものである。

2. 性能マトリックス

著者ら¹⁾は、砂防堰堤の耐土石流の性能マトリックスを表-1のように提案した。

表-1 耐土石流の性能マトリックス

土石流規模	使用限界状態	修復限界状態	終局限界状態
レベル1 荷重(再現期間 100 年)	◆	○	△
レベル2 荷重(再現期間 200 年-500 年)		◆	○

[記号の定義]

△:緊急砂防堰堤：緊急的に設置可能な鋼製透過型砂防堰堤

○:通常砂防堰堤：現行の鋼製透過型砂防堰堤

◆:重要砂防堰堤：最下流に設置する鋼製透過型砂防堰堤

3. 大規模土石流（レベル2 荷重）に対する安全性照査法

大規模土石流荷重（レベル2の流体力および礫荷重と呼ぶ）を受ける鋼製透過型砂防堰堤の動的弾塑性解析を行い、表-2および表-3のような性能規定（限界値）を設定して、解析結果と比較して安全か否かを判定し、構造物の損傷レベルを決定する。

3.1 レベル2 荷重の設定法

- a. 過去の土石流災害の最大クラスの巨礫から礫衝突荷重を採用する。
- b. 過去の大規模深層崩壊土石流で、規模の大きい流体力を採用する。
- c. 今後新たに発生する土石流荷重に対しては、土石流シミュレーション解析手法²⁾（個別要素法+粒子法）などを開発してレベル2 荷重を設定する。
- d. 砂防堰堤の安定計算の終局限界条件から最大流体力を逆算して、これをレベル2の流体力とする³⁾。

3.2 構造安全性の性能規定

- (1) 鋼管部材のへこみ変形の限界値は、一部実験によって規定した⁴⁾が、ここでは表-2のように仮定する。

表-2 鋼管部材の残留へこみ変形の限界値(案)

限界状態	使用限界	小修復	修復限界	大修復	終局限界	交換/補強
へこみ変形/鋼管径(δ/D)	0.1		0.4		0.7	

- (2) 構造系としての変形限界値も、本来実験により決定すべきであるが、ここでは表-3のように仮定する。

表-3 鋼製透過型砂防堰堤の残留全体変形の限界値(案)

限界状態	使用限界	小修復	修復限界	大修復	終局限界	交換/補強
水平変形/堰堤高さ(Δ/H)	0.02		0.05		0.1	

4. 数値計算例

- 4.1 レベル2 荷重の設定：ここでは、便宜上3.1のd.から最大流体力583.5kN/mと最大流速8.45m/sを採用し³⁾、3.1a.から礫衝突荷重として礫径3.0m、礫衝突速度8.45m/sを採用した。

4.2 解析モデル

レベル2 流体力に対しては図-1、礫衝突に対しては図-2のように作用させて、FEM動的弾塑性解析を行った。

4.3 計算結果

(1) 構造系の水平変位-時間曲線

図-3に流体力作用時の水平変位（天端変位）-時間曲線、図-4に礫衝突時の水平変位（天端変位と衝突点変位）-時間曲線を示した。流体力作用時の最大水平変位は60mm、礫衝突時の最大水平変位80mmである。

(2) 衝突荷重-時間曲線

図-5は礫衝突時の荷重-時間曲線を示したもので、最大平均荷重は約6MNを示している。

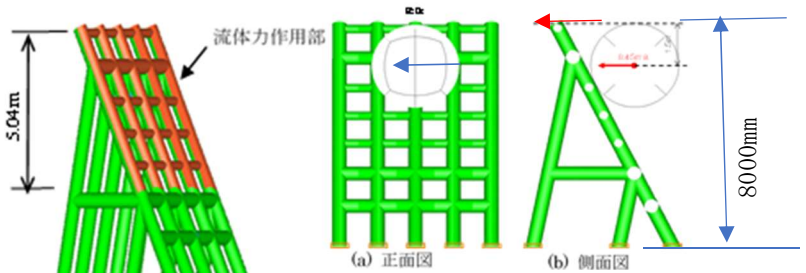


図-1 流体力に対する解析モデル 図-2 礫衝突に対する解析モデル

(3) 鋼管のへこみ変形

図-6 は礫衝突時の鋼管のへこみ変形図を示したもので、最大へこみ変形は 80mm を示している。

(4) 礫衝突時の荷重-変位関係

図-7 および図-8 は、それぞれ礫衝突時の荷重-へこみ変形および荷重-水平変位を示している。

5. 安全性照査

(1) 構造系としての変形照査

- ① 流体力作用時: $\Delta_{max}/H=60/8000=0.0075<0.02$ (使用限界以下であり、そのまま放置する.)
- ② 礫衝突時: $\Delta_{max}/H=80/6500=0.012<0.02$ (使用限界以下であり、そのまま放置する.)

(2) 鋼管部材のへこみ変形照査

礫衝突時; $\delta_{max}/D=0.8>0.7$ (終局限界以上であり、当該鋼管部材を交換または補強する.)

(3) エネルギー照査

礫衝突時の外力エネルギー: $E=mV^2/2=36.7t \times (8.45m/sec)^2=1310kJ$

一方、内力エネルギー: $U=$ へこみ変形吸収エネルギー (図-7 の面積:1016kJ) + 構造系の吸収エネルギー (図-8 の面積:285kJ) =1301kJ

となり、ほぼ礫衝突エネルギーの約 78% が鋼管のへこみ変形で吸収されていることが分かる。

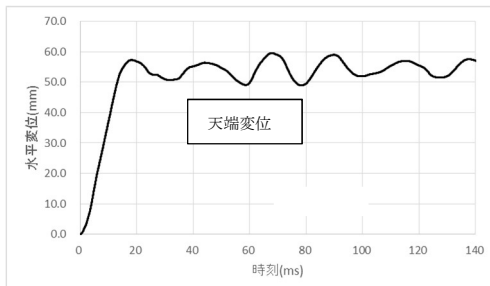


図-3 流体力作用時の水平変位-時間曲線

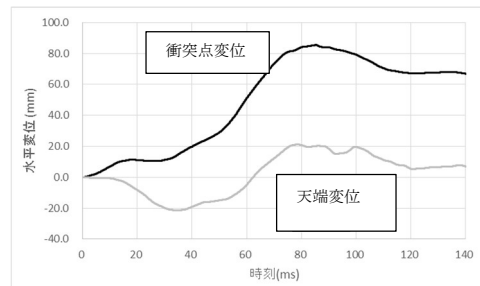


図-4 礫衝突時の水平変位-時間曲線

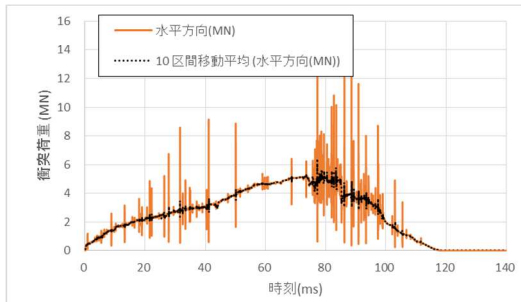


図-5 礫衝突時の荷重-時間曲線

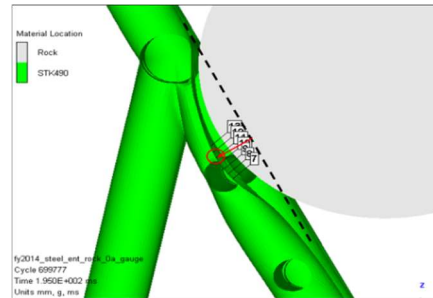


図-6 礫衝突時の鋼管のへこみ変形図

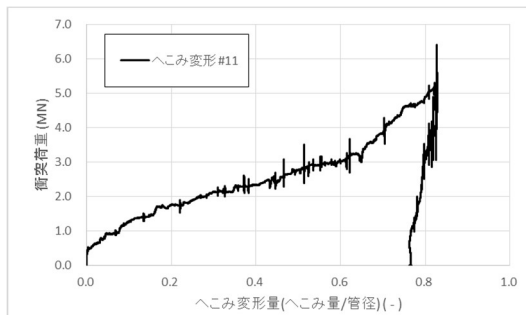


図-7 礫衝突時の荷重-へこみ変形関係

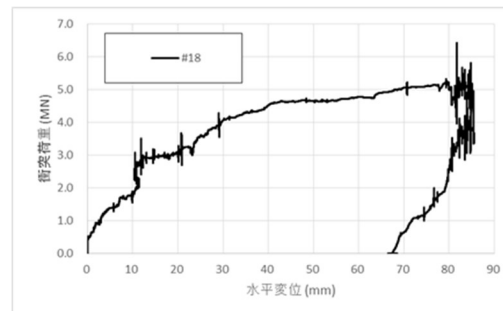


図-8 礫衝突時の荷重-水平変位関係

6. 結言 本研究は、大規模土石流に対する鋼製透過型砂防堰堤の安全性照査法について、具体的な数値計算の一例を示したもので、今後、さらに終局限界値などの実験的検討が必要である。

参考文献

- (1) 石川信隆,飯塚幸司,嶋丈示,香月智,水山高久; 鋼製透過型砂防堰堤の性能設計に関する一提案、平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集、R5-15、B204-205、平成 28 年 5 月、
- (2) 別府万寿博,松澤遼,嶋丈示,石川信隆,水山高久; DEM-MPS 法による土石流荷重評価と砂防堰堤の耐荷性能に関する一考察、平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集、R5-24、B222-223、平成 28 年 5 月、
- (3) 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会概要集、R6-13、B218-219、平成 27 年 5 月、
- (4) 白石博文,梶田幸秀,香月智,石川信隆,松村和樹,嶋丈示; 礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填 鋼管の残存耐力に関する実験的研究、土木学会論文集 No.738/I. No.64、pp.85-95、2003. 7.