

鋼製透過型砂防堰堤の性能設計に関する一提案

砂防鋼構造物研究会 ○石川信隆, 飯塚幸司
 (一財)砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示
 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(写真-1)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(写真-2,3,4)が発生した。また一方で, 小流域で頻繁に小規模な土石流の発生も見受けられる。そこで本研究は, 鋼製構造物のレジリエントな(粘り強い)特徴を活かす観点から, 鋼製透過型砂防堰堤の性能設計法¹⁾を提案するものである。これまで2段階の外力レベルを想定した例²⁾があったが, ここでは3段階の外力レベルを想定する。すなわち, 現行の設計荷重を荷重レベル2として, そのまま現存の鋼製透過型砂防堰堤の設計を行う^{3),4)}ものとし, 新たに現行の設計荷重以下の小規模な土石流を荷重レベル1とし, また深層崩壊などに起因する大規模な土石流を荷重レベル3として, 鋼製透過型砂防堰堤の性能設計法の提案を行うものである。

2. 鋼製透過型砂防堰堤に求められる要求性能

鋼製透過型砂防堰堤に求められる要求性能としては, 以下のように機能と性能を分けて考える⁵⁾。

- (1) 機能とは, 土石流・流木捕捉機能を言う。
- (2) 性能とは, 外的安定性能(転倒・滑動・地盤支持力)および内的安全性能(部材の強度や変形など構造上の安全性)を言う。

[用語の定義]⁵⁾

機能: 鋼製透過型砂防堰堤が土砂災害防止のために, 有すべき堰堤の働きのこと。
 性能: 当該砂防堰堤が機能を発揮するために必要となる, 構造上保持すべき安定性および強度等のこと。

ここでは, (2)の性能のみを取り扱い, (1)の機能については, 取り扱わない。すなわち, 鋼製透過型砂防堰堤は, 3.の作用荷重に対し, 以下の性能を保持しなければならない。

- ① 外的安定性能(安定計算): 転倒, 滑動, 地盤支持力の安定性の条件を保持しなければならない。
- ② 内的安全性能(構造計算): 部材あるいは構造全体が限界を越えて変形もしくは破壊してはならない。

3. 作用荷重

鋼製透過型砂防堰堤に作用する力学的荷重は, 自重, 静水圧, 堆砂圧, 土石流流体力, 地震荷重, 巨礫衝突荷重, 流木衝突荷重, 底面に発生する揚圧力があるが, ここでは, これらを考慮して以下のように荷重レベル1, 2, 3を設定する。

すなわち, 現行設計法の設計荷重(荷重レベル2:100年確率)はそのまま踏襲し, 新たに小規模土石流による荷重(荷重レベル1:5年-20年確率)と深層崩壊などに起因する大規模土石流荷重(荷重レベル3:200年確率)を設定するものとする。ここで, 新たに設定した荷重レベル1とは, 小流域で頻繁に発生する小規模な土石流を言い, 荷重の種類は現行の設計荷重と同じである。一方荷重レベル3は, 主として深層崩壊などに起因する大規模土石流荷重を言い, 次の荷重を考慮する。

- (1) 礫衝突時: 礫の直撃など局所的に作用する外力で, 本体の内的安全性(構造計算)について照査する。
- (2) 土石流作用時: 土石流など想定される土砂移動現象中に作用する流体力で, 本体の外的安定性(安定計算)と内的安全性(構造計算)について照査する。
- (3) 損傷後: 土砂移動現象終了後で恒常的に作用する外力(堆砂圧等)で, 礫衝突または流体力で損傷した場合を初期条件として, 外的安定性(安定計算)を照査する。

4. 性能規定

荷重レベル1およびレベル2に対しては, 現行の性能規定^{3),4)}を満足させるものとし, 荷重レベル3に対しては以下の規定を設ける。

4.1 外的安定性(安定計算)

- (1) 転倒: 応力作用面が底面外に出ない。(2) 滑動: 底面せん断力が極限底面せん断抵抗力を上回らない。
- (3) 地盤支持力: 底面圧縮力が極限地盤支持力を上回らない。

4.2 内的安全性(構造計算)

堤体の過度の変形もしくは破壊しない。鋼製構造物全体としての形状保持ができる。

5. 性能マトリックス

以上より, 鋼製透過型砂防堰堤の耐土石流の性能マトリックスは, 表-2のように3段階設計とする。



写真-1 下流の巨礫 (幅約 10m)



写真-2 鋼製透過型堰堤の事例 1



写真-3 鋼製透過型堰堤の事例 2



写真-4 コンクリート堰堤の事例

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
荷重レベル 1 (5-20 年再現確率)	○	△	
荷重レベル 2 (100 年再現確率)	◆	○	△
荷重レベル 3 (200 年再現確率)		◆	○

表-1 の記号および用語は、以下のとおりである。

△: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 (a. 小規模型(小規模溪流に適用), b.大規模型(大規模溪流に適用))。

◆:重要砂防堰堤：保全対象直上流、堰堤の規模が大きい等、下流域への影響が大きい重要な鋼製透過型砂防堰堤。

[限界状態の定義]

① 使用限界状態：構造物の要求される使用性を損なわず、目的とする機能が確保される限界の状態。

② 修復限界状態：もし損傷した場合、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば継続使用を可能とすることができる限界状態。

③ 終局限界状態：構造物または部材が破壊したり、大変形・大変位等を起こし、機能や安定性を失う状態。

表-1 の内容は、以下のとおり説明できる。

(1) 緊急（応急）砂防堰堤の場合、荷重レベル 1 に対して、一部の部材が塑性変形したり破壊しても修復すれば良く、荷重レベル 2 に対して構造全体が破壊しないように、終局限界状態を照査すれば良い、という意味である。

(2) 通常（現存）の砂防堰堤の場合、荷重レベル 1 に対して部材の応力が弾性範囲内になるような現行設計法をそのまま踏襲し、荷重レベル 2 でも想定外の場合が生じる可能性があるため、一部塑性変形しても修復すれば使用可能とすることとした。その上、必要に応じ荷重レベル 3 を設けて、終局限界に対する安全性照査を行う。

(3) 重要砂防堰堤の場合は、荷重レベル 2 に対して使用限界内に収まるようにし、荷重レベル 3 に対しては修復限界内になるような設計を行う。

6. 性能照査方法

以上より、鋼製透過型砂防堰堤の性能照査は、表-2 のようになる。

表-2 鋼製透過型砂防堰堤の性能照査法

土石流規模	外的安定性(安定計算)	内的安全性(構造計算)
荷重レベル 1 (5 年-20 年再現確率)	土石流作用時：安定性照査 満砂時：安定性照査	礫衝突時：礫衝突に対するエネルギー照査 土石流作用時：部材の応力照査 満砂時：部材の応力照査
荷重レベル 2 (100 年再現確率)	土石流作用時：安定性照査 満砂時：安定性照査	礫衝突時：礫衝突に対するエネルギー照査 土石流作用時：部材の応力照査 満砂時：部材の応力照査
荷重レベル 3 (200 年再現確率： 大規模深層崩壊など)	土石流作用時：安定性照査 損傷後：安定性照査	礫衝突時 ⁶⁾ ：礫衝突に対して部材の応力および変形照査 土石流作用時：部材の応力照査 損傷後：部材の応力照査

7. 結論および問題点

本研究は、鋼製透過型砂防堰堤の 3 段階の性能設計法を提案したもので、以下の結論と問題点が得られる。

(1) 表-1 のような耐土石流性能マトリックスおよび表-2 のような性能照査法を示すことにより、鋼製透過型砂防堰堤の性能設計法を提案した。

(2) 荷重レベル 3 の設定法について、以下の方法が考えられる。

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⁷⁾ (個別要素法+粒子法)などを開発して荷重レベル 3 を設定する。

d. 砂防堰堤の安定計算の終局限界条件から限界流体力を逆算して、これを荷重レベル 3 の流体力とする⁸⁾。

(3) 今後、細部の限界値や規模の大きさなど、具体的数値について検討していく予定である。

参考文献

(1) 土木学会：防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計-基準体系の指針-, 構造工学シリーズ 22, 2013 年。

(2) 国交省水管理・国土保全局砂防部：「土砂災害対策の強化に向けた検討会、ハード対策分科会討議資料」, 平成 26 年 3 月。

(3) 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。

(4) 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧, 鋼製砂防構造物委員会編集, 平成 21 年版。

(5) 国交省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン (案) 平成 26 年 6 月。

(6) 別府万寿博、松澤遼、嶋丈示、石川信隆、水山高久：極めて大きな土石流荷重を受ける鋼製砂防堰堤の耐衝撃性に関する解析的検討、平成 27 年度砂防学会研究発表概要集, 平成 27 年 5 月。

(7) 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概要集, 平成 27 年 5 月。

(8) 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。