

## 大規模土石流(レベル II 荷重)の検討の必要性と設定方法に関する一考察

防衛大学校名誉教授 ○石川信隆  
 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示  
 防衛大学校 堀口俊行  
 東京農工大学名誉教授 石川芳治

## 1. 緒言

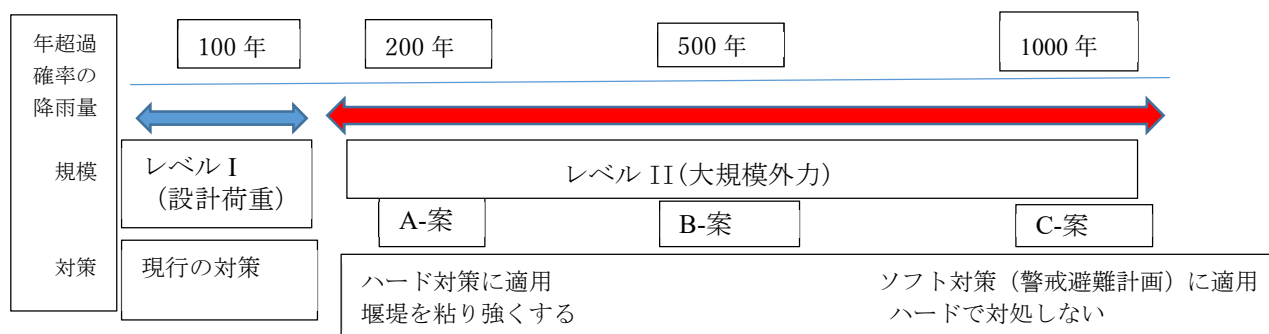
砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)<sup>1)</sup>においては、土石流・流木対策施設(砂防施設)の計画規模は100年超過確率の降雨を基に算定されている。しかしながら、2011年9月の台風12号による紀伊半島における豪雨、2013年10月の伊豆大島における豪雨、2014年8月の広島地方での豪雨ではいずれも100年超過確率を超える豪雨が発生し、大規模な土石流災害をもたらしている。すなわち、100年超過確率(レベル I)を上回るような年超過確率の降雨が発生した場合には、大規模な土石流(レベル II)による災害が発生する可能性が高い。よって、ここでは、レベル II 荷重の考え方、検討の必要条件、設定方法、レベル II 荷重の推定例などについて検討するものである。

## 2. 土石流レベルの設定方針(案)

1995年1月の兵庫県南部地震および2011年3月の東日本大震災を契機として、各分野でレベル II(大規模外力)という用語が使用されるようになってきた。砂防分野でも2013年10月の伊豆大島災害<sup>2)</sup>からレベル II に対する対策を検討する必要性が高まってきた。

## 2.1 ハード対策におけるレベル II 土石流の考え方

レベル II 土石流について、イメージで表すと次のようになる。



## 2.2 レベル II の設計方針(案)

ここでは、砂防施設の設計に用いるレベル II 土石流の設定方針(案)について、表-1 のように A-案について検討してみた。

表-1 土石流レベルに対応する砂防堰堤の設計方針(案)

| 土石流レベル                                                    | 定義                               | 防護目標                                                             | 計画                | 設計                        |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 発生頻度の高い土石流レベル I (L1)<br>現行設計荷重レベル<br>(100 年再現確率)          | 数十年～百数十年に 1 回の頻度で発生する土石流         | Protection(防護)を目標。<br>人命・財産を守る。<br>発生直後に必要な地域活動の継続可能。            | 砂防堰堤の設計外力として考える。  | 原則として許容応力範囲の設計を考える。       |
| 過去最大クラスの土石流レベル II (L2) または<br>新たに想定する大きな荷重<br>(200 年再現確率) | L1 を上回る大規模な土石流<br>例えば、深層崩壊による土石流 | Mitigation(減災)を目標。<br>機能を失うような破壊を防止<br>砂防堰堤に多少の損傷が生じても人命を守る。早期復旧 | 避難計画を含めて被害想定も考える。 | レジリエントな設計および損傷後の補修補強を考える。 |

## 3. 砂防施設の設計においてレベル II 荷重を考慮するための必要条件

- (1) 大規模土石流の発生が懸念される場合(潜在的な巨礫の存在)
- (2) 深層崩壊の可能性がある場合
- (3) 下流側に重要な施設がある場合(学校・病院・原発関連施設など)

## 4. 砂防施設の設計におけるレベル II 荷重の設定法

## A 過去の災害から推定する方法

- (1) 過去の最大クラスの土石流災害から礫衝突荷重と流体力を推定する。
- (2) 被災した堰堤の損傷状態から推定する。

## B. 砂防堰堤の抵抗限界から推定する方法

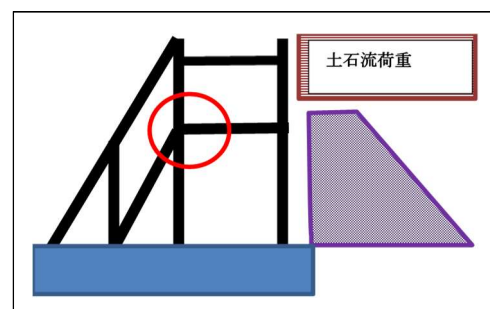


図-1 鋼製透過型砂防堰堤モデル

- (3) 既設の堰堤を用いて安定計算から極限の流体力を逆算する。
- (4) 既設の堰堤を用いて静的弾塑性解析から荷重—水平変位を求め、その最大荷重をレベルⅡとする。

C. シミュレーション解析による推定方法

- (5) DEM<sup>3)</sup>(個別要素法)などを開発してレベルⅡ荷重を算出する。

## 5. 土石流に対する鋼製堰堤の性能マトリックス

表-2 性能マトリックス

| 土石流規模 | 修復限界 | 終局限界 |
|-------|------|------|
| レベルⅠ  | ○    | △    |
| レベルⅡ  | ◆    | ○    |

ただし、

△：緊急的砂防堰堤：緊急的に設置する砂防堰堤で、供用期間は約20年。

○：通常砂防堰堤：現行の砂防堰堤で、供用期間は約50年。

◆：重要砂防堰堤：下流域に重要な施設などがある場合で、供用期間は約70年。

## 6. レベルⅡ荷重の推定法に関する計算例

### 6.1 被災した鋼製堰堤の損傷状態に基づく簡易なレベルⅡ荷重の推定法

図-1における2列目の柱の接合部(○印)の残留へこみ変形(写真-1)は、584mm(へこみ率0.95)であった。この残留へこみ変形から、修正エリナス式を用いて、レベルⅡ荷重を推定する。図-2に示すように、残留へこみ変形584mmに対応する荷重は約1900kNとなる。よって、2列目の柱は4本あるので、全体の破壊荷重は、1900kN x 4本 = 7600kN、単位奥行当り(10.9m)の破壊荷重は  $F=697.2\text{kN/m}$  となる。

### 6.2 DEMによるレベルⅡ荷重の推定

図-3に示すようにDEMによる解析を行い、2列目の接合部における荷重を算出した。その結果、図-4に示すような荷重—時間曲線が得られた。ただし、ここでは継手部は鋼管部材と同じ曲げ剛性としている。

最大荷重は、 $P=4 \times 10^6\text{N}$  となった。

よって、単位奥行幅(10.9m)当りの荷重は、 $F=367.0\text{kN/m}$  となる。以上をまとめると表-3のようになる。

表-3 レベルⅡ荷重

| 推定法                 | 土石流流体力(kN/m) |
|---------------------|--------------|
| 検討委員会 <sup>4)</sup> | 520.3        |
| 簡易推定法               | 697.2        |
| DEM                 | 367.0        |

参考：設計荷重  $F=163.85\text{kN/m}$

## 7. 結語

砂防施設の設計においてレベルⅡを考慮することのメリットは次のようである。① 粘り強い施設の設計に役立つ。

② レベルⅠで設計(許容応力設計法)された堰堤をレベルⅡ荷重で安全性照査することにより、設計では分らなかった構造物の弱点を見つけることができる。③ 補修・補強対策に役立つ。④ 過去の災害での最大レベル級の土石流規模を調査・推定することにより、砂防技術レベルの向上につながる。

### 参考文献 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針

(土石流・流木対策編)解説，国土技術政策総合研究所資料，第904号，p.8，平成28年4月。

2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：「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」，2014年3月

3) 香月智・堀口俊行・石川信隆・水山高久：個別要素法による土石流に対する鋼製透過型砂防堰堤の荷重評価解析，平成29年度砂防学会研究発表概要集，R3-14，p.160-161，2017年5月

4) 梨子沢流域砂防堰堤に関する検討委員会，報告書，平成26年11月。



写真-1 接合部の残留へこみ変形  
(左の梁が右の柱をへこませている)

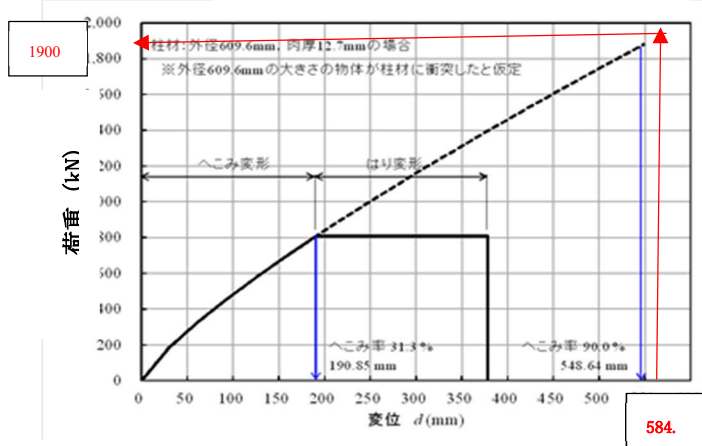


図-2 2列目の柱 609.6 x 12.7 の接合部の  
荷重—へこみ変形関係

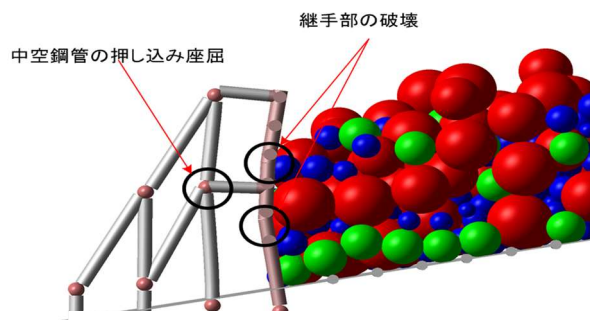


図-3 DEMによるレベルⅡ荷重の推定

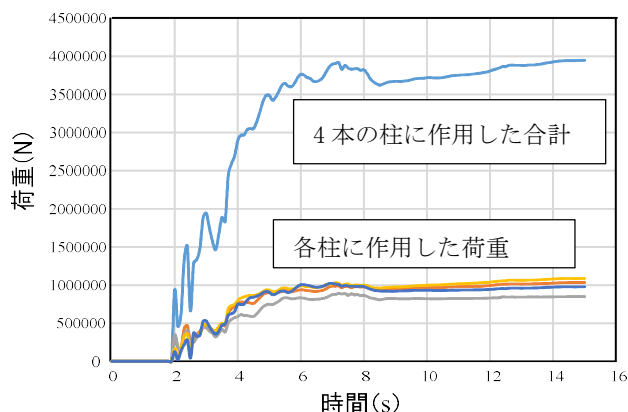


図-4 DEMによる計算結果  
2列目柱接合部の荷重—時間曲線