

鋼製透過型砂防堰堤の構造部材と機能部材に関する一提案

砂防鋼構造物研究会 ○國領ひろし 石川信隆  
 (一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示  
 防衛大学校 堀口俊行  
 政策研究大学院大学 水山高久

1. 緒言

近年、集中豪雨等により大規模な土石流が発生する傾向にあるが、一方、鋼製透過型砂防堰堤（以下、鋼製堰堤）の部材間隔は狭くなる傾向にある<sup>1)</sup>。鋼製砂防構造物設計便覧<sup>2)</sup>（以下、便覧）によると、鋼製堰堤を構成する部材は、「構造部材」と「機能部材」に区分され、土石流等の外力に対する構造面（耐荷性能）および機能面（捕捉性能）の考え方は、表-1のように定義されている。また、「機能部材は小礫を捕捉する補助部材として位置づけ」とある。しかし、小礫の定義や対象礫径は記載されていない。さらに、「機能部材が全て喪失して土砂捕捉機能も喪失すると、施設本来の目的が達せられないため、機能部材が全てなくなった場合でも構造部材のみで土石流の先頭部の巨礫を捕捉できるなど、最低限の土砂捕捉機能を確保することが望ましい」とされ、「つまり、機能部材が喪失して施設全体として土砂捕捉機能が全て失われるような部材は、構造部材として設計することが望ましい」とされている。しかし、具体的な配置例や定量的な区分に関する記述はされていない。

そこで本研究では、まず構造部材と機能部材について、捕捉性能および安全性能について性能マトリックス表示でその考え方を示す。次に、その具体的な配置例を示すとともに、定量的な検討を行うものである。

2. 捕捉性能マトリックス

表-2は、構造部材と機能部材の設計の考え方を捕捉性能の観点から示したものである。ここでは、捕捉対象礫として小中礫を $D_{50} \sim D_{80}$ 、巨礫を最大礫径 $D_{95}$ と定義した。構造部材は、鋼製堰堤の形状を保持し、機能部材を支える必要性から、縦部材（柱部材）だけではなく、柱部材同士を連結する横部材（はり部材）として配置される場合がある。これより、機能部材を兼用する構造部材では巨礫を捕捉するために、礫衝突に対して短いスパン（たとえば $D_{95}$ の1.0倍）となる場合もあることがわかる。

3. 安全性能マトリックス

表-3は、構造部材と機能部材の設計の考え方を安全性能の観点から示したものである。ここで、荷重レベルⅠとは計画規模の土石流荷重、荷重レベルⅡは計画規模を上回る大規模土石流荷重とした。また、修復限界とは部材等が損傷した場合、修復を行えば継続使用が可能となる限界の状態、終局限界は構造物または部材が破壊、大変形等を起こし、機能や安全性を失う状態と定義した。これより荷重レベルⅠでは、構造部材は繰り返し使用が可能な修復限界、機能部材は終局限界で安全性照査を行えばよいこととした。

表-1 構造部材と機能部材の考え方<sup>2)</sup>

区分	構造面 (耐荷性能)	機能面 (捕捉性能)
構造部材	形状を保持することを目的とし、機能部材を支える部材 繰り返し供用できる部材	— (ただし、機能部材を兼用する場合あり)
機能部材	部材が破断せず、所定の位置に留まっていればよい部材 塑性変形を許容できる部材	土石流を捕捉する目的で配置される部材

表-2 捕捉性能マトリックス

捕捉対象 礫径	部材純間隔 (W)	
	礫径の1.0倍程度	礫径の1.5~2.0倍程度
小中礫 ( $D_{50} \sim D_{80}$ )	機能部材 (横部材)	—
巨礫 ( $D_{95}$ )	機能部材 (縦横部材) 構造部材 (縦部材) ※	構造部材 (縦部材)

※構造部材を横部材として配置する場合もある。

表-3 安全性能マトリックス

荷重レベル	修復限界	終局限界
レベルⅠ	構造部材	機能部材
レベルⅡ	—	機能部材 構造部材

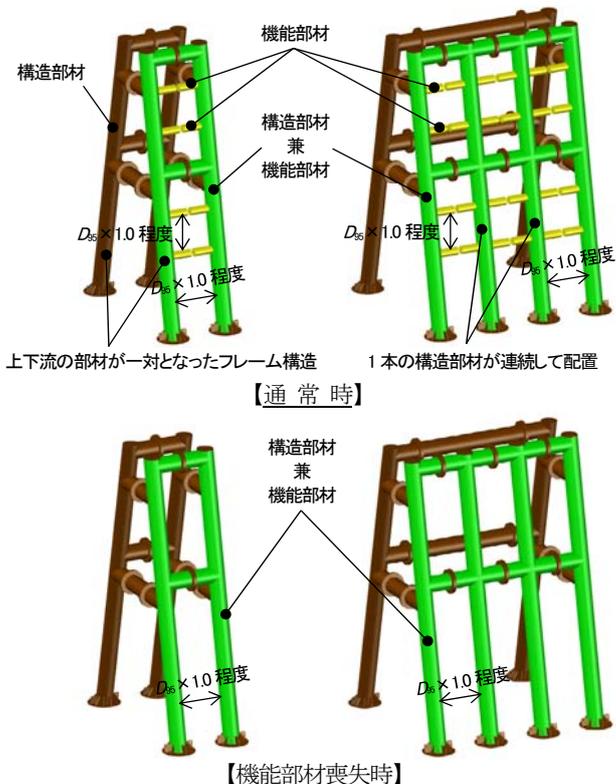


図-1 構造部材と機能部材の配置例 ( $W = D_{95} \times 1.0$ 倍の場合)  
 (上流柱部材をすべて構造部材とする場合)

#### 4. 構造部材と機能部材の配置例

図-1に構造部材と機能部材の具体的な配置例を示す。配置例は、部材純間隔  $W$  が  $D_{95}$  の1.0倍で、上流柱部材をすべて構造部材（兼機能部材）とした場合である。この部材配置では、機能部材がすべて喪失しても柱部材の純間隔は  $D_{95}$  の1.0倍を保てるため、土石流の捕捉が可能である。一方、上流側柱部材をすべて機能部材とする場合や構造部材の配置間隔を広げ、その間に機能部材を配置する場合は、機能部材喪失時に構造部材のみで土石流を捕捉できない危険性がある。よって、構造部材（兼機能部材）としての柱部材は、少なくとも  $D_{95}$  の2.0倍程度（柱部材で土石流ピークカットが可能な間隔）を超えない範囲で配置する必要がある。また、本来構造部材は、図-1(a)に示すように上下流の柱部材が対となるフレーム構造を構成し、このフレームにより土石流などの外力に抵抗するものとしているが、図-1(b)では、一本の構造部材が連続して配置される形状となるため、二次元断面（面内）での安全性の検証が困難となる。よって、このような形状となる構造部材の配置では、三次元モデルでの安全性検証など計算モデルや荷重分担幅の考え方等について留意する必要があると考える。

#### 5. 構造面の安全性照査

表-4は、構造部材と機能部材に関する安全性照査法を示したものである。ここでは、設計外力は構造部材および機能部材ともに安定計算で用いる外力とし、各部材の応力度照査においては、構造部材は許容応力度、機能部材は降伏応力度まで見込めるものとした。また、礫衝突に対する局部変形では、構造部材は修復限界としてへこみ率  $\delta_d/D$ （へこみ変形量  $\delta_d$  と鋼管径  $D$  の比）を40%未満、機能部材では終局限界としてへこみ率  $\delta_d/D$  を75%未満に設定した。ここで、柱部材の純間隔  $W$  を  $D_{95}$  の1.0倍程度で配置した場合、その柱部材間に配置される鋼管はり部材のスパン長（純スパン長）は、構造部材、機能部材を問わず  $D_{95}$  の1.0倍程度となる（図-1）。つまり、これらは礫衝突を受ける短スパンの鋼管はり部材となり、局部変形の照査式である修正エリナス式<sup>2)</sup>の適用可否が問題となる。

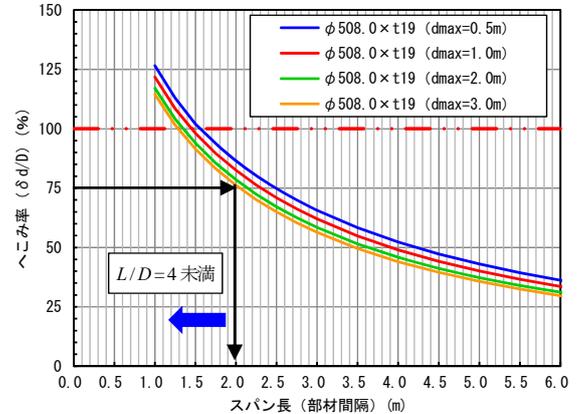
#### 6. 礫衝突を受ける短スパン鋼管はり部材に対する検討

現行設計で用いられている修正エリナス式では、鋼管はり部材のスパン長  $L$  と鋼管径  $D$  の比 ( $L/D$ ) が4~5程度から適用するものとされている<sup>3)</sup>。図-3(a), (b)は、それぞれ鋼管はり A ( $D 508.0\text{mm} \times t 19.0\text{mm}$ ) と鋼管はり B ( $D 609.6\text{mm} \times t 22.0\text{mm}$ ) について、直径0.5m, 1.0m, 2.0m, 3.0mの礫が衝突した場合のへこみ率  $\delta_d/D$  とスパン長  $L$  の関係を示したものである。これより、へこみ率をたとえば75%未満（表-4）までを有効とすると、鋼管はり A はスパン長  $L =$  約2.0m以上、鋼管はり B は  $L =$  約2.5m以上が適用可能となる。このとき、 $L/D$  は4以上となる。すなわち、へこみ率が75%未満の場合は、修正エリナス式の適用は可能であるが、これを超えると、計算は可能であるものの、 $L/D$  が4未満となる短スパンではへこみ率が100%を超える場合が生じることがわかる。よって、 $L/D$  が4未満となる短スパンの鋼

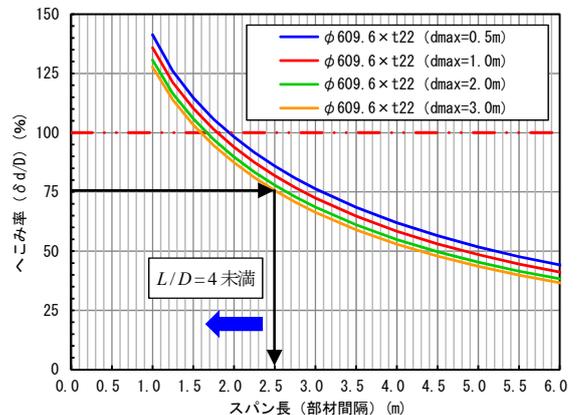
表-4 構造面の安全性照査

区分	設計外力	部材の応力度照査	礫衝突に対する局部変形
構造部材	安定計算に用いる外力	許容応力度	へこみ率 $\delta_d/D < 0.4$
機能部材	安定計算に用いる外力	降伏応力度	へこみ率 $\delta_d/D < 0.75$

※へこみ率 = 局部変形  $\delta_d /$  鋼管径  $D$



(a) 鋼管はり A ( $D 508.0\text{mm} \times t 19.0\text{mm}$ )



(b) 鋼管はり B ( $D 609.6\text{mm} \times t 22.0\text{mm}$ )

図-3 修正エリナス式によるへこみ率～スパン長関係

管はり部材に対しては、へこみ変形量を制限できる局部変形の計算法や礫の衝突速度が局部変形に与える影響<sup>4)</sup>を考慮した設計法など、別途検討が必要であると考えられる。

#### 7. 結言

本研究では、構造部材と機能部材について、捕捉性能および耐荷性能の観点から設計の考え方を提示するとともに、その具体的な配置例を示した。さらに、礫衝突に対する短スパンの鋼管はり部材の修正エリナス式の適用範囲について検討したものである。今後、短スパンとなる鋼管はり部材の局部変形にも対応できる計算法を検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針解説，国総研資料，第905号，平成28年4月，2016.4
- 2) 鋼製砂防構造物委員会編集：鋼製砂防構造物設計便覧，(財)砂防・地すべり技術センター，平成21年度版，2009
- 3) 星川辰雄，石川信隆，彦坂照，阿部宗平：局部変形とひずみ速度効果を考慮した鋼管固定はりの衝撃応答変位，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.101-115，1995.4
- 4) 別府万寿博，松澤遼，嶋丈示，石川信隆，水山高久：礫衝突を受ける鋼管部材の荷重評価と局部変形解析に関する一考察，平成29年度砂防学会研究発表論文集，pp.R3-25-26，2017年5月