

## DEMを用いた透過型砂防堰堤の補強対策の検討

防衛大学校 学生会員 ○嶋川 理 防衛大学校 正会員 堀口 俊行  
防衛大学校 正会員 別府 万寿博

## 1. 緒言

平成26年長野県南木曾町読書地区で発生した土石流により、梨子沢第1砂防堰堤の上部が損壊した<sup>1)</sup>。梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会の報告書<sup>1)</sup>（以下、報告書）では、継手部の損傷と越流礫によって堰堤の水平材および上支保斜材の一部が損傷し、堰堤上部流出に至ったと推定されている。しかし、この推定メカニズムの信頼性は未検討のままである。

そこで著者ら<sup>2)</sup>は、報告書の破壊メカニズムに基づき、南木曾町の破壊事例において得られた基本条件をもとにして縮小モデル実験を行い、再現解析を試みた。その結果、現地の堰堤と同様の破壊性状を示し、破壊メカニズム推定に対する適用性が確認された。一方、堰堤の補強対策として、堰堤を再建する際は多くの場合、現行設計荷重に対する抵抗力に上乗せを図った構造設計を行う必要が生じる。その際、補強策が適用されるがその効果を評価する手法が求められる。

そこで本研究では、継手部への補強カバー設置<sup>3)</sup>、再建時の処置として継手部のボルト本数の増加<sup>4)</sup>を行った際の補強効果を、著者ら<sup>2)</sup>の解析である破壊が生じた解析ケースに適用し比較検討する。

## 2. 解析モデル

図-1に堰堤モデルを示す。堰堤モデルは、円柱形要素を連結ばねで結合しており、部材が交差する箇所は剛体の集合体要素を用いた。連結ばねの構成則は、断面分割法によって算出した。下部水平材と2列目柱部材の結合部には、修正エリナス式を用いて鋼管が押し込み変形する際の剛性値で決定した。図-2に初期配置を示す。先行堆積礫高は、実験で損傷・破壊が生じた30%と50%を採用した。礫モデルは、緑（1.6-3.0m）黄（0.95-1.6m）、赤（0.2-0.95m）とし、現地の粒径分布を参考に2000 m<sup>3</sup>を堰堤から200 m上流に落下法で初期配置し、流速分布モデルを用いて流下させる。

図-3にボルト本数を増加した際の継手部の断面を示す。この継手部は16本から24本にボルト本数を増加させている。これは、梨子沢第1砂防堰堤の被災後の再建時と同様の処置である。図-4に補強カバーを設置した継手部の断面を示す。補強カバーは、強度に影響する扇形のカバーの角度 $\theta_c$ 、鋼管の

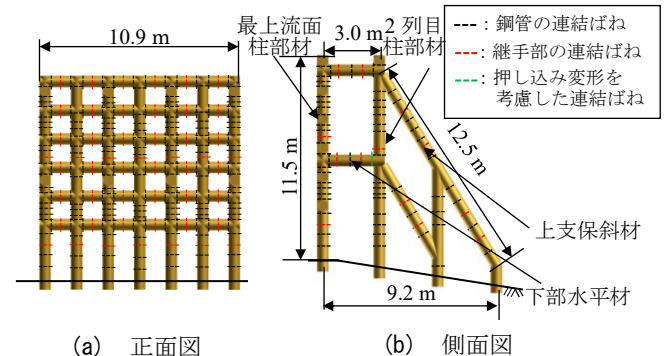


図-1 堰堤モデル

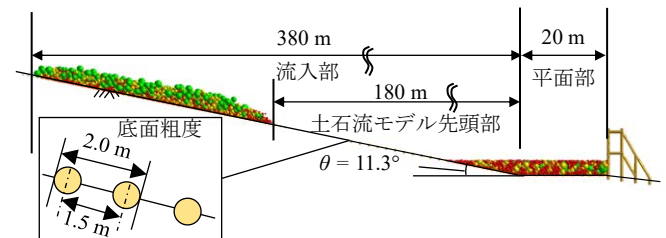
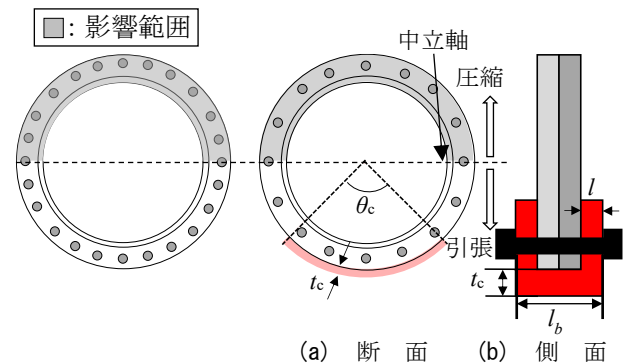


図-2 初期配置

図-3 継手断面  
(ボルト 24本)図-4 継手断面  
(ボルト 16本, 補強カバー)

厚さ方向を補強する長さ $t_c$ と破断までのエネルギーに影響する補強カバーとフランジプレートを含んだ塑性ヒンジ長さ $l_b$ をパラメーターとする。図-5に、断面分割法から得られた $M-\phi$ 関係を示す。補強前の継手部の最大曲げモーメントは鋼管母材の最大曲げモーメントと比較して約70%であった。ボルト本数の増加は母材鋼管との強度比95%、補強カバーは $\theta_c = 70^\circ$ 、 $t_c = 8 \text{ mm}$ で母材鋼管との強度比100%となった。鋼管および継手部の剛性値は、著者ら<sup>2)</sup>の既往の研究と同様に $M-\phi$ 関係から、最大曲げモーメントと破断までのエネルギーが等価となるようにバイリニアで与え、同様に破断角も決定した。

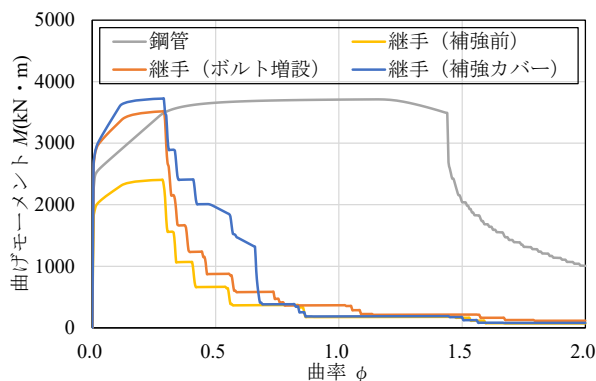
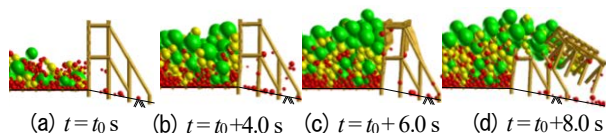
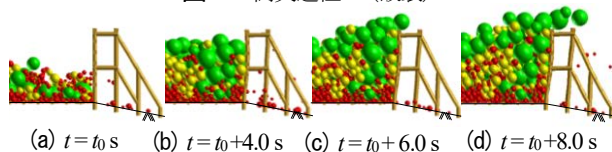
図-5 M- $\phi$ 関係図-6 衝突過程<sup>2)</sup> (破壊)

図-7 衝突過程 (ボルト24本)

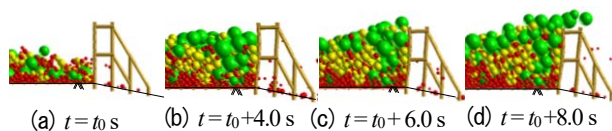


図-8 衝突過程 (補強カバー)

### 3. 解析結果

図-6に損傷が生じたTD-S30-M70（押し込み変形を考慮した堰堤モデル，先行堆積礫高30%，継手部の母材強度比70%）の衝突過程を示す．図-6(a)に示す土石流モデルの先頭部が堰堤モデルに衝突した時間を $t=t_0$ とする．図-6(b)に示す $t=t_0+4.0$ sで堰堤の天端付近まで礫が到達した．図-6(c)に示す $t=t_0+6.5$ sで上流側柱部材7本と2列目柱部材の内3本が破断した．図-6(d)に示す $t=t_0+8.0$ sで堰堤上部が流出した．破断した継手部の応答を確認したところ，全ての継手は曲げモーメントによって破断していた．また，押し込み変形は最初の継手部の破断が生起する $t=t_0+5.5$ sの時点で平均して227 mm押し込みが生起しており，以降も変形量は増加し，計算終了時には平均して340 mmとなった．

図-7に継手部のボルトを24本に増設した際の衝突過程を示す．図-7(a)の $t=t_0$ sでは，土石流モデルの先頭部が堰堤に衝突している．図-7(b)の $t=t_0+4.0$ sでは，下部水平材に押し込み変形が12 cmほど生起しており，土石流モデルが堰堤天端付近まで到達している．図-7(c)の $t=t_0+6.0$ sでは，下部水平材の押し込み変形が15 cmほど押し込まれ，最上流面柱部材の湾曲が明瞭となった．図-7(d)の $t=t_0+8.0$ sでは礫が堰堤を越流しており，2列目の柱部材に変形が見受けられ

るが堰堤の損傷・破壊は生起しなかった．破断したケースと比較すると，押し込み変形は26%低減されていた．曲げモーメントの最大値は，降伏曲げモーメントの68%となり，継手部は破断しなかった．これは，補強により降伏モーメントが母材と同程度となっているためである．しかし，再建において，大きな土石流荷重に対応する必要が生じた場合に，ボルト増設では施工の関係上95%強度以上に大きくできない．

図-8に補強カバーを設置した際の衝突過程を示す．図-8(a)の $t=t_0$ sでは，土石流モデルの先頭部が堰堤に衝突している．図-8(b)の $t=t_0+4.0$ sでは，下部水平材に押し込み変形が11 cmほど生起しており，土石流モデルが堰堤天端付近まで到達している．図-8(c)の $t=t_0+6.0$ sでは，下部水平材の押し込み変形が約14 cmほど押し込まれており，最上流面柱部材の湾曲が明瞭となった．図-8(d)の $t=t_0+8.0$ sでは2列目の柱部材に変形が見受けられるが堰堤の損傷・破壊は生起しなかった．破断したケースと比較すると，押し込み変形は38%低減されていた．曲げモーメントの最大値は，降伏モーメントの63%となり，継手部は破断しなかった．また，本解析以上の外力を想定する場合に，補強カバーは厚さ $t_c$ や角度 $\theta_c$ を増すことによって更に補強効果が期待できる．

総じて，不適格となる構造物に対する補強効果について提案した個別要素法によって検討が可能であることを示した．

### 4. 結言

本研究は，再現解析で破壊が生起した解析ケースに対して継手部に補強を施した際の効果を個別要素法で検討したものである．

- 1)継手部のボルト増設と補強カバー設置による補強効果を個別要素法で検証することができた．
- 2)破壊したケースと比較すると土石流の外力は同じであるため，補強により降伏モーメントが大きくなったことで破断が生起しなかった．

### 参考文献

- 1)国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所：梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会，2014．
- 2)嶋川理，堀口俊行，別府万寿博，香月智：個別要素法を用いた透過型砂防堰堤の損傷事例解析，土木学会論文集A2（応用力学），Vol.79，No.2，2023．
- 3)國領ひろし，堀口俊行，別府万寿博，園田佳巨，石川信隆：礫衝突を受けるフランジ継手を補強した鋼管はりの耐荷性能に関する一考察，構造工学論文集，Vol.67A，pp.779-793，2021