

個別要素法を用いた鋼製堰堤の補強対策への適用性に関する研究

防衛大学校 正会員 ○堀口俊行

1 緒言

鋼製堰堤は、昨今の大規模化した土石流によって、中空鋼管のへこみや継手部分における損傷が報告されるようになった。そのため、砂防計画論において要求されている荷重より、さらに大きな荷重（レベル II 荷重）へと変更されると堰堤の保有している耐力を向上させる必要があり、そのための対策が求められる。そのため、作用荷重の推定のため文献^{1), 2)}のように被災事例から得られた破壊メカニズムに基づき、縮小モデル実験の破壊現象の再現解析から、実物スケールの堰堤損傷時における要因分析を試みた。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。そのため、堰堤の補強対策として、継手部の補強が求められる結果となった。既設堰堤の補強するためには、國領ら³⁾のように継手部分のボルトを増やすより、継手カバーを採用して継手部分の保有耐力を向上させることが簡易的であると思われる。しかし、実際の災害を想定しての実証はできないので、数値シミュレーションでの検討が望まれる。

そこで本研究では、災害事例を再現した個別要素法を用いて、継手部のボルトの増加や継手部における補強カバー設置時の補強効果について検討するものである。

2. 解析モデル²⁾

図-1 に堰堤モデル、図-2 に初期配置を示す。なお、解析全体におけるモデルは文献²⁾を基に行っている。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（球形モデル）は、緑（1.6 - 3.0 m）、黄（0.95 - 1.6 m）、赤（0.2 - 0.95 m）とし、現地の礫径調査を参考に 2000 m³ を堰堤から 200 m 上流に配置し、修正流速分布モデルを用いて流下させる。

図-3 に解析時に検討する補強対策の継ぎ手補強カバーについて示して。まずは、単純に Case-1 としてボルト本数を増加した時の継手部の断面である。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。図-3 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 θ_c 、

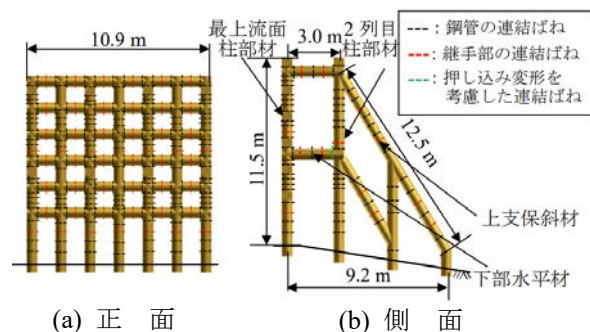


図-1 堰堤モデル

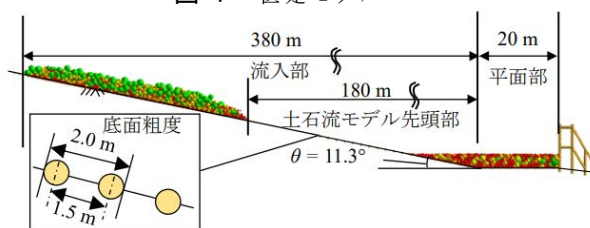


図-2 初期配置

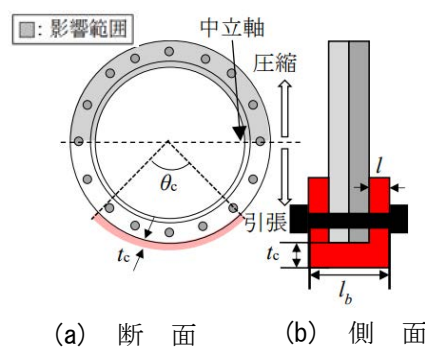
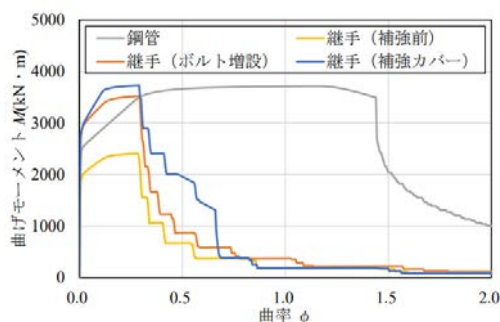


図-3 継手補強カバー

図-4 M - ϕ 関係

鋼管の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 l_b をパラメーターとする。図-4 に、断面分割法から得られた M - ϕ 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 $\theta_c = 70^\circ$ 、 $t_c =$

キーワード 個別要素法、鋼製堰堤、土石流、流速分布モデル、補強対策

連絡先 〒239-0022 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL046-841-3810

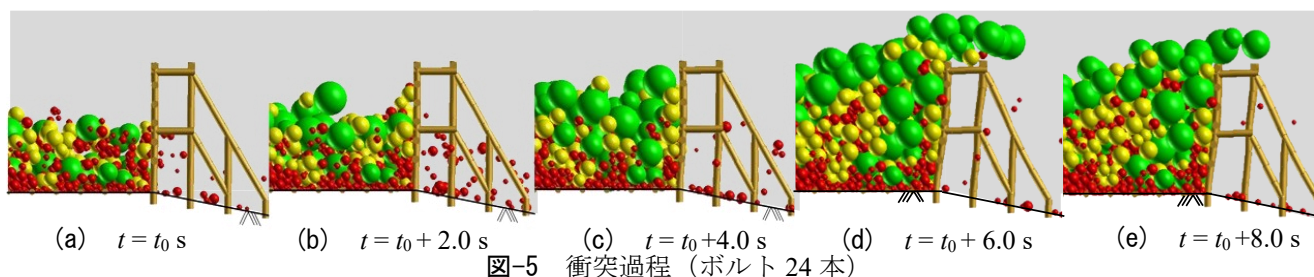


図-5 衝突過程 (ボルト 24 本)

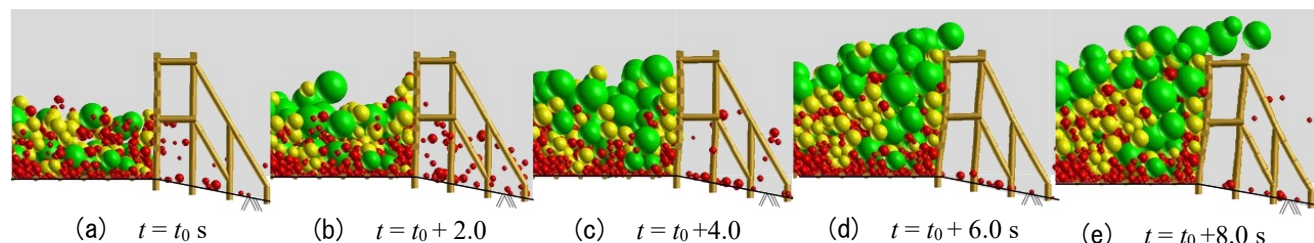


図-6 衝突過程 (補強カバー)

8 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、 $M-\phi$ 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とし、破断角も決定した。

3. シミュレーション結果

堰堤上部が破損した被災時の再現シミュレーションについては、文献²⁾に示されているので割愛する。

図-5 は、Case-1 の継手に使用するボルト本数を 24 本にした結果である。図-5(a)に示す $t = t_0$ s では、土石流モデルの先頭部が堰堤に衝突し、図-5(b)の $t = t_0 + 2.0$ s では、堰堤高さの 7 割ほどの位置まで礫が到達している。このとき下部水平材 4 本は、それぞれ 10 cm ほど下流側に押し込み変形を生じている。図-5(c)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、土石流モデルが堰堤天端付近まで到達している。図-5(d)の $t = t_0 + 6.0$ s では、下部水平材の押し込み変形が 15 cm ほど押し込まれており、最上流面柱部材の湾曲が明瞭となった。このとき礫の一部は、天端よりも高い位置まで到達している。図-5(e)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。その後、礫が満砂になり越流するが、堰堤上部が流されることはなかった。図-6 は、補強カバー設置時の結果を示す。図-6(a)は $t = t_0$ s であり、図-6(b)の $t = t_0 + 2.0$ s では土石流モデルの先頭部の到達状況は図-5 と同様である。このとき下部水平材 4 本はそれぞれ 7 cm ほど下流側に押し込み変形を生じている。図-6(c)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-6(d)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。このとき礫の一部は天端よりも高い位置まで到達している。図-6(e)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。このケースにおいても堰堤上部が損傷することがなかった。

4 結 言

本研究は、個別要素法を用いて堰堤上部が流出した解析ケースを基にして、継手を補強した効果の適用性を検討したものである。

- 1) 継手部の強度を母材強度と同等とすれば、被災時の堰堤に衝突したものと同規模の土石流の再来に対して十分な抵抗力が得られることがわかった。
- 2) 継手部の最大曲げモーメントを大きくするためには、ボルト数を増設する方法、または補強カバーを取り付ける方法が有効である。これは、母材の有する最大曲げモーメントと同程度に高めると継手部の破断は生じなくなる。

参考文献

- 1) 嶋川理, 堀口俊行, 別府万寿博, 香月智: 鋼製堰堤の破壊形態に及ぼす接合部の押し込み変形影響解析, 鋼構造論文集, 第 29 巻, 第 116 号, pp.116_29-116_39, 2022
- 2) 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.15 (応用力学論文集 Vol.25), ID : 22-15044, 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