

既設砂防堰堤を活用したチロル式取水施設の設計手法の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○秦野拓見・小森谷哲夫・植村正・上葛健太

1. はじめに

現在、日本では2050年までにカーボンニュートラル達成と2030年度までに温室効果ガスの46%削減(2013年度比)を目指し、再生可能エネルギーの最大限導入が政策課題となっている。特に、山地が国土面積の約6割を占める日本では、既設砂防堰堤を活用した水力発電に期待が寄せられており、近年では「既設砂防堰堤の活用した小水力発電の手引き」¹⁾が発刊され、普及啓発活動が進んでいる。一方で、既設砂防堰堤が有する機能を維持に配慮した取水施設を設計について研究・実験等事例が少なく、発電事業者独自の経験や技術により事業化が実施されている。本論文では、既設砂防堰堤にてチロル式取水施設を設置する際の設計手法の検討を行った。

2. チロル式取水施設の設置方法の検討

チロル式取水施設を既設砂防堰堤に設置する際は、砂防堰堤背面の堆砂域を減じることがないように、本堤に設置する際は、堰堤下流側への設置を基本とする。副堤や垂直壁に設置する際は、既設堰堤構造、周辺地形等の条件を考慮し、下流側と上流側のうち優位な配置を計画する。チロル式取水施設の設置パターンを表-1に示す。

設計時に留意すべき事項を下記に整理した。本論文では、下記の③、④に対し設計手法を検討した。

① 取水施設の腹付け後の形状に対し、安定計算を行い、滑動・転倒・支持が既設砂防堰堤の安全率・

許容値を満足することを確認する。

- ② 既設水抜き孔を閉塞により、堰堤上流側に新たに湛水域が生じないように、水抜き孔を延伸する。
- ③ チロル式取水施設の取水口は、洪水時に水通しを落下する越流水脈を阻害しない形状・高さとする。
- ④ 取水口に設置するスクリーンバーは、土石流による破損に強い鋼管等の鋼材を基本とし、転石の衝突に対し、構造計算により使用部材を決定する。

3. 減勢機能を阻害しないチロル式取水の形状検討

減勢機能を阻害しないチロル式取水施設の形状は秦野ら²⁾により検討が実施され、水理模型実験結果と二次元標準越流頂の水面形の式³⁾とが概ね同様の結果であったことが報告された。本論文では、腹付けコンクリート厚1.5mでチロル式取水施設を設置した際の、越流水深に対し、越流水脈を阻害しないスクリーンバー傾斜角度を図-1、表-2に整理した。

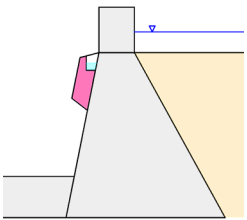
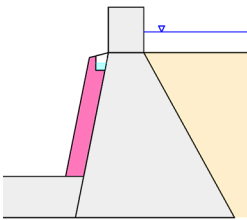
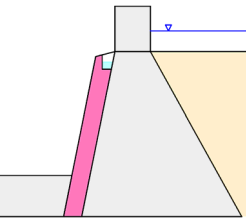
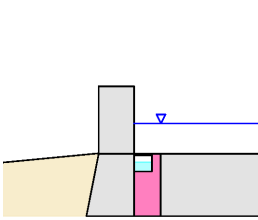
$$y/Hd = 0.53 (x/Hd)^{1.80} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、Hd：越流頂での設計水頭、y：越流頂からの鉛直距離、x：越流頂からの水平距離である。

表-2 越流水脈を阻害しないスクリーンバーの傾斜角度

越流水深	傾斜角度
1. 0m	41° 以上
1. 5m	31° 以上
2. 0m	25° 以上
2. 5m	21° 以上
3. 0m	18° 以上
3. 5m	16° 以上
4. 0m	14° 以上

表-1 チロル式取水施設の設置方法

設置箇所	堰堤下流配置 (パターン1)	堰堤下流配置 (パターン2)	堰堤下流配置 (パターン3)	堰堤上流配置
概要図				
概要	本堤水通し下流側に小規模の取水施設を設置する	水叩きより上側の本堤に腹付けし一体構造とする	水叩きを撤去し本堤に腹付けし一体構造とする	堰堤上流側の水叩きを撤去し一体構造とする
適用箇所	本堤・副堰・垂直壁	本堤・副堰・垂直壁	本堤・副堰・垂直壁	副堰・垂直壁
安定性	既設砂防堰堤より滑動・転倒の安全率が低下	既設砂防堰堤より滑動・転倒の安全率が低下	既設砂防堰堤の滑動・転倒の安全率は維持	既設砂防堰堤の滑動・転倒の安全率は維持
既設構造への影響	既設水叩きの撤去復旧が不要	既設水叩きの撤去復旧が不要	既設水叩きがある場合は、撤去復旧が必要	既設水叩きがある場合は、撤去復旧が必要
落差	高落差が確保可能	高落差が確保可能	高落差が確保可能	本堤と比べ落差が低い

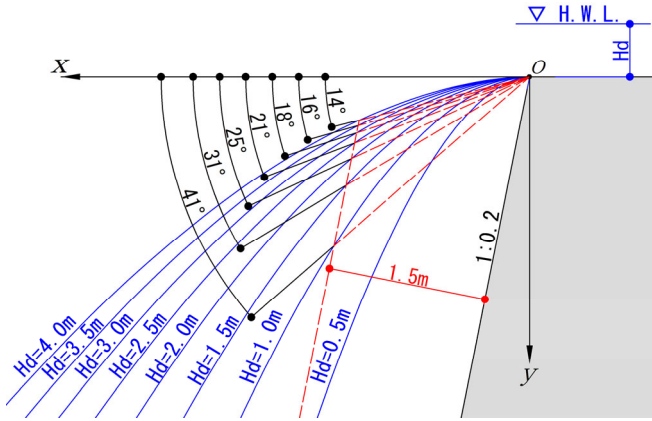


図-1 越流水脈を障害しないスクリーンバーの傾斜角度

4. 巨礫の衝突を考慮したスクリーンバーの設計

スクリーンバーの使用材料は転石の衝突に対する安全性を考慮し、鋼管（STK490、呼び径φ90mm）を基本とする。鋼管の部材は、「新編・鋼製砂防構造物設計便覧」⁴⁾を準用し、下記の(2)～(6)式を満足させる部材厚を設定した。

$$E_d > E_R \dots\dots\dots (2)$$

$$E_d = 1/4 K \sigma_y t^2 (\delta_{dc}^{1.8} / 1.8D^{0.8}) \dots\dots (3)$$

$$K = 161(D_0/D) \cdot 0.11 \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_{dc}^{1.8} = \alpha D \dots\dots\dots (5)$$

$$E_R = 1/2 m V^2 \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 E_d ：鋼材のへこみ変形による吸収エネルギー（ $kN \cdot m$ ）、 E_R ：礫の衝突（運動）エネルギー（ $kN \cdot m$ ）、 D_0 ：対象礫径（ mm ）、 D ：鋼管径（ mm ）、 σ_y ：鋼管の降伏応力度（ N/mm^2 ）、 t ：鋼管板厚（ mm ）、 $\delta_{dc}^{1.8}$ ：限界へこみ変形（ mm ）、 α ：鋼管のへこみ率（ $\%$ ）、 m ：礫の質量（ kg ）、 V ：鉛直速度（落下速度）（ m/s ）である。スクリーンバーは構造体を構成する部材ではないため、へこみ率 α は構造部材と機能部材のうち、機能部材の40%⁴⁾を採用した。

対象礫径は、洪水時の移動限界粒径とし、岩垣式⁵⁾より算出する。落下速度 V は、砂防堰堤の上流側の河道の洪水時の流速 v' を等流計算により算出し、スクリーンバーの傾斜角度に応じてベクトル分解し値を設定するものとした。

図-2に礫径φ1.0mの場合の流速（等流計算）とスクリーンバー傾斜角度に対する、鋼管必要板厚の関係性を整理する。図-2より、スクリーンバー傾斜角度が急になるほど、また流速が大きくなるほど鋼管の板厚を厚くする必要があり、傾斜角度40度では流速4m以上の範囲で呼び径φ90mmでは安定性を確

保できない結果となった。

図-3にスクリーンバー傾斜角度20度の場合の流速と礫径に対する鋼管必要板厚の関係性を整理する。図-3より、礫径が大きくなるほど、また流速が大きくなるほど鋼管の板厚を厚くする必要があり、礫径φ1.0mであれば流速7mまで鋼管呼び径φ90mmで安定性を確保できる結果となった。

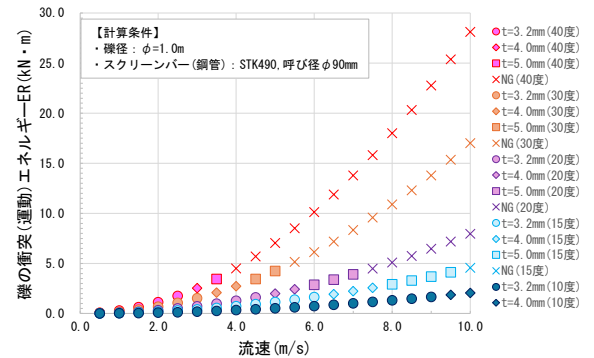


図-2 スクリーンバー傾斜角度別の鋼管必要板厚の計算結果

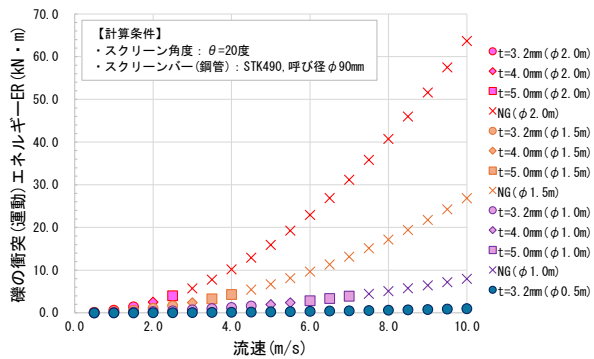


図-3 対象粒径別の鋼管必要板厚の計算結果

5. まとめ

本論文では、既設砂防堰堤にチロル式取水施設を設置した場合の設計手法の検討を行った。本報告が我が国の再生可能エネルギーの普及・拡大の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 環境省・国土交通省：既設砂防堰堤を活用した小水力発電の手引き，2024.7
- 2) 秦野拓見他：令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会 砂防設備の機能維持等に配慮した小水力発電施設の設計についての検討，2024.9
- 3) 土木学会：水理公式集[2018年版]pp.401-402，2019.3
- 4) 鋼製砂防構造物委員会：新編・鋼製砂防構造物設計便覧（令和3年版），p.115，参考資料pp17-18，2021.9
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編 第6章 技術資料，p.12，2025.8