砂防堰堤を活用した小水力発電の取水設備に関する水理模型実験

パシフィックコンサルタンツ（株）　○片山直哉，小森谷哲夫，秦野拓見，
松田尚郎，堂ノ脇将光，袴谷秀幸

1. はじめに

再生可能エネルギーのうち，水力発電は安定的な電力供給が可能で未開発の多くの包蔵水力があると言われており，更なる導入促進が期待されている。そのような中，山岳地が国土の 3/4 を占める日本では，小規模化・奥地化し，開発の難易度が高くなっており，既設砂防堰堤を活用した水力発電に期待が寄せられている。一方，既設砂防堰堤を活用した水力発電所の建設事例は全国で 50～60 箇所程度であり，土砂の移動が活発な砂防指定区域に発電施設を設置する際のリスクや課題については，十分な知見が蓄積されていない。代表的な取水構造であるチロル取水施設（**図-1** 参照）は，堆砂域が満砂の状況下で適用性が高く，澪筋の変化に対しても安定的な取水が可能であることが示唆されているものの [1)]，越流部下流面に設置することにより本副堤間距離を狭めることや，土石流の衝撃による施設の損傷，土砂堆積による発電効率低下などが懸念されている。ここでは，チロル取水施設を砂防堰堤に設置した際のこれらの影響を把握するために実施した水理模型実験の結果を報告する。

2. 実験条件及びケース

実験条件は，モデル砂防堰堤の候補として抽出した複数渓流のデータから平均的な値を抽出し，以下のとおり設定した。各諸元の添字 p は原型値を表している。地形諸元は，河道幅 B_p=100m，渓床勾配 I=1/18，長さ L_p=900m（堆砂範囲等を考慮）とした。堰堤諸元は，堤高 Hp＝14m（有効高 hp＝10m），本副堤間距離 Lp=29m とした。模型縮尺は，フルード相似則を用い，ピーク流量，土砂量，実験砂の再現性，模型規模等を考慮し 1/50 とした。実験砂は，60%d_p=550mm，95% d_p=1200mm の混合砂を使用した（**図-2** 参照）。対象流量は，取水施設及びその周辺の土砂流下・堆積状況の確認が主目的であるため，平均粒径 $dave_p$= 427mm が移動する程度の規模以上の流量 Q_p（20 年確率 189m³/s，50 年確率 269m³/s，100 年確率 383m³/s）とした（**図-3** 参照）。

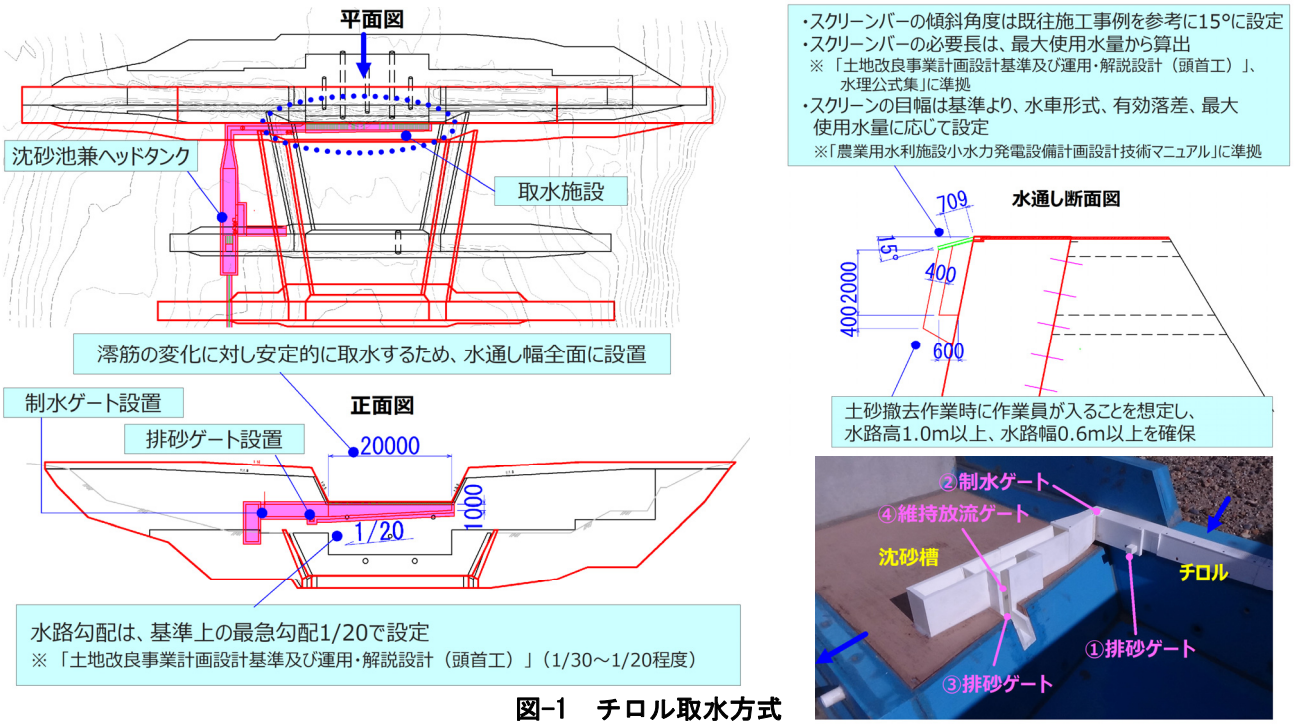

図-1　チロル取水方式

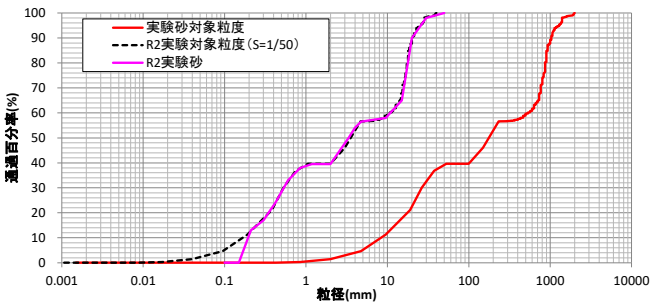

図-2　実験砂

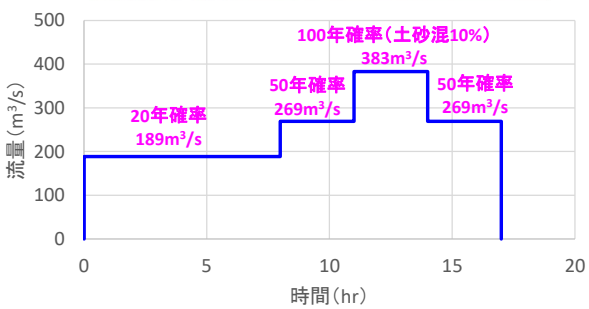

図-3　実験波形

3. 実験結果及び考察

3.1 減勢状況確認実験

チロル取水設備による減勢状況への影響を把握した。**図-4** に減勢工の水位縦断図を示す。チロル取水設備設置有無により，放流水脈の軌跡や本副堤間の水面形に大きな違いは認められない。本副堤間の水面形を見ると副堤上流側で最高水位が生じていることが確認でき，跳水による減勢効果を発揮している。

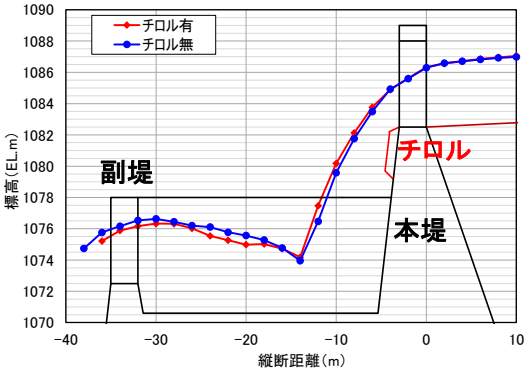

図-4 減勢工水位縦断：100 年確率 383m³/s

3.2 巨石流下実験

巨石流下時のチロル取水設備への影響を把握した。**写真-1** に巨石の流下状況を示す。巨石はスクリーン（傾斜角度 15°）上を回転することなく，滑り落ちるように通過するため，取水設備への激しい衝突は認められない。

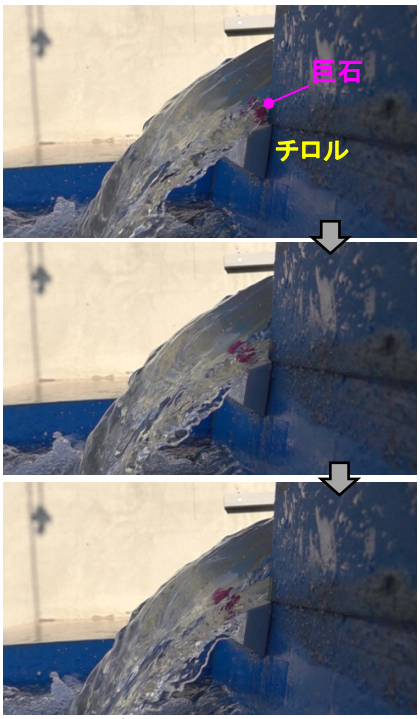

写真-1 巨石流下状況
：100 年確率 383m³/s

3.3 チロル取水設備内の土砂堆積状況確認実験

洪水時に発電をしない場合，②制水ゲートは“閉”で運用することとなる。そのため，チロル内に土砂が堆積することが予想され，維持管理のために，洪水中は①排砂ゲートを“開”にすることが考えられる（**図-1** 参照）。ここでは，洪水中に②制水ゲートを“閉”とした際に，①排砂ゲートを“開”とした場合のチロル内の土砂堆積状況について把握した。**図-5** にチロル取水設備内の土砂堆積状況を示す。制水ゲート“閉”で，排砂ゲート（80cm×80cm）“閉”の場合は，取水設備内にスクリーンを通過した土砂が堆積するが，排砂ゲート“開”の場合は，排砂ゲートから水とともに土砂も排出されるため，取水設備内に土砂はほぼ堆積しない。

3.4 チロル取水設備の洪水時発電可能性検討実験

洪水時の流水による発電の可能性検討のために，チロル内部の②制水ゲートを“開”とし，チロル内部の①排砂ゲート，沈砂槽の③排砂ゲート，④維持放流ゲートの開閉の組み合わせを変更し，実験を実施した（**図-1** 参照）。沈砂槽内に土砂を極力堆積させないために排砂ゲート“開”とすると，沈砂槽内に土砂が堆積しにくくなるが，水圧管路流下流量が圧倒的に減少し，発電効率は悪くなる。一方で，発電効率を上げるために排砂ゲートを“閉”とすると，土砂混入が非常に多くなり，管路・水車の摩耗が懸念される。

4. おわりに

水理模型実験を実施した結果，以下の事項が判明した。

① スクリーン傾斜角度を 15° とすれば，現況（取水設備無し）と比べて水面形は変化せず，砂防堰堤の減勢効果への影響はない。チロル取水施設を設置しても本副堤間距離を変更する必要はないことが示唆された。

② 巨石はスクリーン（傾斜角度 15°）上を回転することなく，滑り落ちるように通過するため，取水設備の損傷の原因となる巨石衝突の懸念が少なくなる。

③ 洪水時は取水（発電）せず，②制水ゲート“閉”で運用する場合，洪水時に①排砂ゲートを“開”とすれば，チロル取水設備内に土砂は堆積しない。

④ 土砂混入低減のために排砂ゲートを“開”とすると発電効率が悪くなり，発電効率を上げるために排砂ゲートを“閉”とすると土砂混入が非常に多くなり管路・水車の摩耗が懸念されることが分かった。よって，チロル取水方式の洪水時の発電は困難と考えられる。

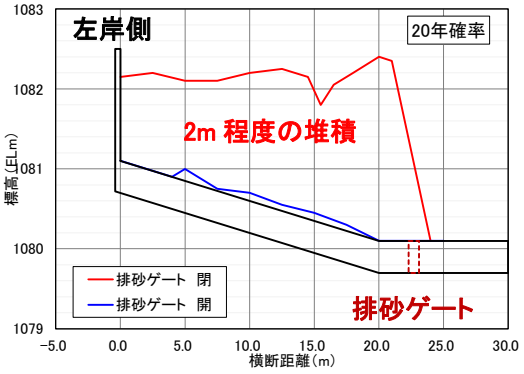

図-5 チロル取水設備内の土砂堆積高
：20 年確率 189m³/s

謝辞：本検討は，環境省委託事業「既存インフラ等を活用した再エネ普及加速化事業」の一環で実施したものである。ご協力頂いた環境省大臣官房総合政策課環境研究技術室様，国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課流木対策係様に感謝の意を申し上げます。

参考文献：1）環境省:既存インフラ等を活用した再エネ普及加速化事業令和 2 年度業務報告書(2021. 3)
https://www.env.go.jp/content/900495264.pdf