物部川統合堰の護床工破壊過程と改良策の提案

高知工科大学 システム工学群
建築・都市デザイン専攻 海岸工学研究室
1250069 熊埜御堂 稜汰
指導教員 佐藤 慎司

1. 研究背景と目的

河川の取水堰は、安定な取水を実現する重要施設である。図 1 で示した物部川統合堰では、護床工の移動・破壊、河床の低下と巨石化[1)2)]が進行している。しかしながら、水位と護床工破壊の具体的な関係は未解明であり、対策の検討も進んでいない。

本研究では、新たに UAV 調査を追加するとともに、既往全データを統合分析し、護床工の破壊とブロック移動の進行度合いを解明し、改良策を提示することで、この問題を解決することを目的とする。

図 1 研究対象領域

2. 研究内容

(1) 護床ブロックの移動

北側と南側に分け比較していく。用いるデータは 2021 年 7 月 2 日、2021 年 7 月 19 日、2021 年 10 月 15 日(稲田 2021)、2022 年 8 月 17 日(朝倉 2022)、2024 年 6 月 14 日、2024 年 9 月 10 日(本研究)の 6 つの時期の画像データを用い、ブロック移動の進行度合いを調査した。

護床ブロックの移動は図 2 の通りである。堰の北側、南側の護床ブロックの移動を期間ごとに比較したが、どちらも移動しているものの南側の方がより破壊が進んでいることが見て取れる。

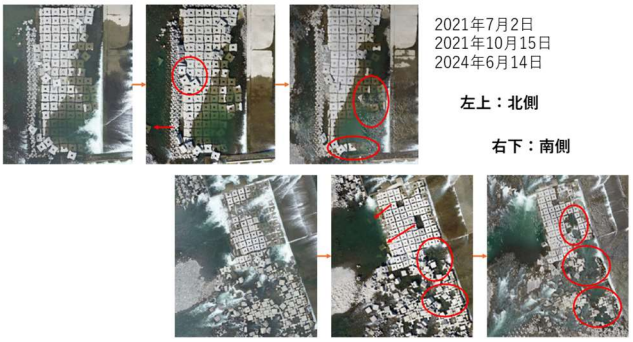

図 2 護床ブロックの移動

(2) 移動限界流速の算定

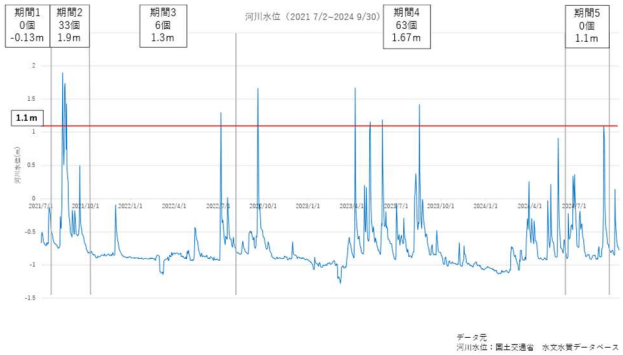

図 3 戸板島観測所における水位

護床ブロックの移動限界流速v_cを以下の手順で推定した。まず、堰下流の戸板島水位観測所[4)]の水位は図 3 である。グラフ上部の期間 1～5 はデータ取得日によって区切られた期間であり、移動ブロックの個数と最高水位が示してある。同図を見ると水位が$1.1m$以下の時には護床ブロックが移動していないことが確認できる。

この水位を利用してブロックの移動限界流速を推定した。堰前後では図 4 のように高さ$2.18m$の堰の上をある水深で越流し、堰下流部で流速vの流れとなっている。堰上部での水位は観測されていないた

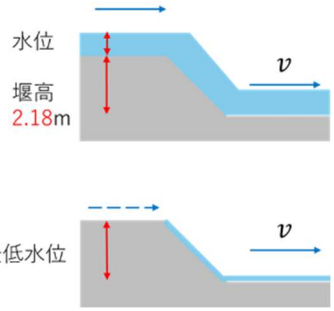

図 4 堰前後の越流の模式図

め、堰下流側の戸板島の水位を用いてこれを推測することにした。まず、図 4 下図のように堰でほぼ完全に水がせき止められている時、戸板島での水位は最低水位となる。図 3 の最低水位は$-1.28m$であるため、この時の堰上部の越流水深は 0 になると考える。さらに、堰上部の越流水深は最低水位を超える水位差と等しいと仮定すると、

$$h_c = \text{堰高} + \text{基準水位} - \text{最低水位}$$
$$= \text{堰高} + \text{越流水深}$$

によって、堰上部の越流水位h_cを求めることができる。越流前後の水位と流速の関係はベルヌーイの定理より、

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = \text{一定}$$

$$0 + 0 + h_c = \frac{v_c^2}{2g} + 0 + 0 \ \rightarrow \ v_c^2 = 2gh_c$$

$$v_c = \sqrt{2gh_c}$$

で求めるため、基準水位$1.1m$、最低水位$-1.28m$を先の式にそれぞれ代入すると、

$$h_c = \text{堰高} + \text{基準水位} - \text{最低水位}$$
$$= 2.18 + 1.1 - (-1.28)$$
$$= 3.46\ m$$
$$v_c = \sqrt{2gh_c}$$
$$= \sqrt{2 \times 9.8 \times 3.46}$$
$$= 9.45\ m/s$$

となり、移動限界流速は$9.45m/s$となる。以上よりブロック移動の流速が解明された。

(3)破壊曲線の算定と今後の予測

護床ブロックの破壊曲線を図 5 で示す。縦軸をその期間内に移動したブロックの個数、横軸を同期間に基準水位を超えた分の超過エネルギーの和(=$\int v_{1.1m\uparrow}^2 - v_c^2)dt$)とする。この時、破壊曲線をその期間内の最高水位だけで示すことも可能であるが、瞬間的過ぎる点、また、$1.1m$を超えたその他の日もブロックの移動に関与することも鑑み、より合理的なものを求めるため、超過エネルギーの累積値で示す。この超過エネルギーの和とは、図 6 に示したように、基準水位$1.1m$を超えた時の水位のエネルギーを期間ごとに足し合わせたもの(三角部分)である。得られたデータは基本的に図 5 の赤線で示した回帰直線上に位置するが、外れ値(期間 2)が存在する。

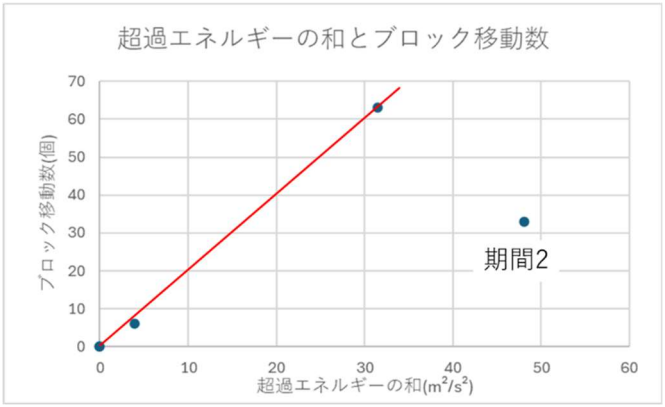

図 5 破壊曲線

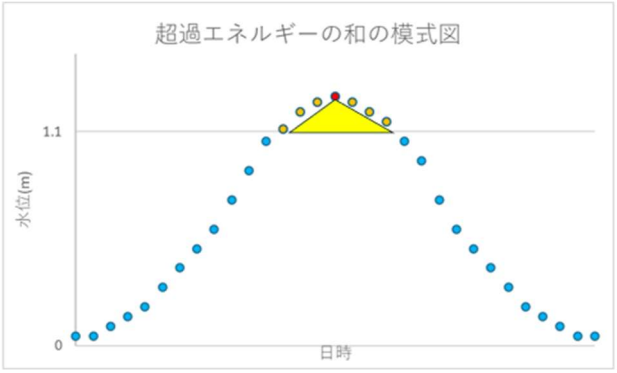

図 6 超過エネルギーの和の模式図

外れ値の考察として、稲田(2021)[1]の研究を参考にする。稲田(2021)[1]より移動のメカニズムは、

①弱い流れによる巨石化

②河床低下

③支持を失った護床工の流出

の順で段階的に進行する。つまり、洗堀による河床低下が起こることで支持地盤を失った護床ブロックが移動するのである。破壊が段階的に進むことを考慮すると、期間 2 では短期間に何度も高水位を記録したことにより、①、②の段階が十分に進行しなかったため、エネルギーに対し移動数が少なくなったものと考えられる。

また、各期間の超過エネルギーの累積値を算定し、これを当該期間の移動ブロック数で割ることにより、ブロック 1 個を移動させるのに必要な超過エ

ネルギーを算出した。その推移を図 7 に示す。同図より、年々ブロック 1 個を移動させるエネルギーは減少していることがわかる。

これより、これまでの破壊過程を経て、破壊段階は③の段階まで十分に進み、現状では小規模の出水でも破壊が進行することが分かる。今後もより多くのブロックが移動する可能性がある。

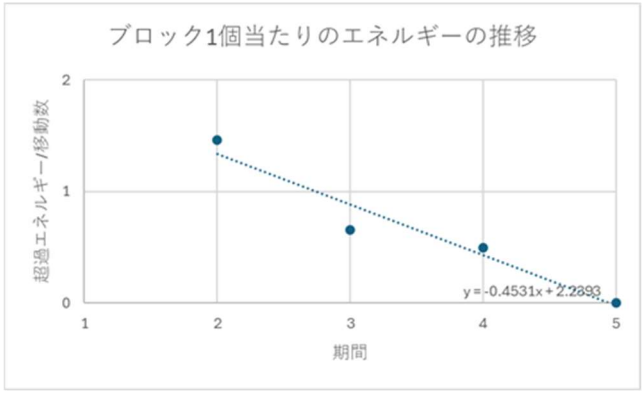

図 7 ブロック 1 個当たりのエネルギーの推移

(4) 取水と治水を両立する堰の事例

改良策を考える上で、取水と治水のバランスに優れている筑後川山田堰を参考にし、物部川統合堰の改善点をより明確にする。

図 8 筑後川山田堰

筑後川山田堰は加賀百工により 1790 年に完成した湾曲斜め堰である。物部川統合堰との共通点は、川の湾曲部外側から取水している点である。

相違点は、堰の高さに差をつけ、中央部を低くすることで、安定した取水と河川水の安全な流下を両立している点(図 9 左上)、また石畳により水を跳水させ減勢している点が挙げられる。

図 9 筑後川山田堰の工夫

増野(2005)[6]によると、①土砂が堰下(図 9 右上)にたまる、②そこに両船通しからの水を約 20 度の角度でぶつけ減勢しつつ(図 9 左下)、③その流れと土砂吐きからの水により、堰下で時計回りの渦流を作ることで土砂を運び(図 9 右下)、洗堀を防止しているといった工夫が見られる。以上まとめると、

①落差によるエネルギーを抑える(石畳の跳水)
②洗堀を防ぐ工夫(水の流し方の工夫)
③取水と排水のバランスをとる(治水)

といった点が重要であることが分かった。

(5) 改良策の提案

先の調査で得られたデータをもとに、護床工の破壊、ブロック移動を防止する方法を考える。

図 10 物部川統合堰の現状

物部川統合堰の現状は図 10 で示すように、川の湾曲、堰上流の水制工による水の誘導、土砂吐き側の水位差増により、護床ブロックの移動、破壊が続いている。

まず、図 11 左のように水制工を撤去することで、水の誘導をなくし均一に水が流れるようにする。その上で、渇水時、増水時の 2 パターンに分けて考えていく。

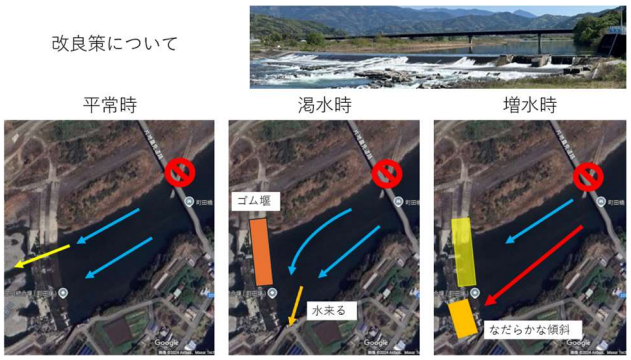

図 11 各対策案

渇水時の対策について図 11 中央に示す。水制工を撤去したことにより、堰北側にも水が流れるようになる。しかし、渇水時では堰南側の取水口で取水することが難しくなるため、必要に応じて堰の高さを変えることのできる可倒式ゴム堰を用い安定した取水を可能とする。平常時は倒しておき、渇水時は起こすことで取水と洗堀防止のバランスをとる。

続いて増水時の対策について、図 11 右に示す。増水時は護床ブロックの移動、特に南側の移動を抑えるために、土砂吐き背後の落差をなくし緩傾斜化することで水勢を減少させる。この時、先程のゴム堰を倒しておくことで北側に流水を誘導し、南側に水勢が集中しないようにする。

以上の対策により、護床ブロックの移動・破壊を抑えられると考える。

3. 結論

本研究により、護床ブロックの移動は進行中であること、今後も続いていくと考えられることが確認された。また、以下の点が本研究で新しく解明された。

(1) 移動限界流速と破壊曲線を算定したことにより、どのような条件下で、どのくらいブロックの移動が起こるのかを定量的に示した。

(2) ブロック 1 つが受けるエネルギーは年々減少しより移動しやすくなっていることが分かった。

(3) 護床ブロックの移動には、洗堀と河床低下が重要であり、このプロセスを経て戸板島水位観測所が 1. 1m 以上の出水でブロックが移動する。

(4) 筑後川山田堰を参考にすることで、洗堀を防ぐには落差を抑えること、減勢すること、取水と流水のバランスが重要であることが分かった。

(5) 以上の分析を総合し改良策を検討した。その結果、北側部分を可倒式ゴム堰とし、南端部土砂吐き背後を緩傾斜化することで、渇水時、増水時それぞれ安定的な取水と治水上の安全を確保できると考える。

図 12 改良策イメージ

今後も護床ブロックの移動・破壊は続くと予想される。したがって、上記に示した解決策の早期実行が望ましい。

参考文献

1) 稲田裕人,「高頻度 UAV 観測に基づく町田統合堰護床工破壊のメカニズムの分析」, 高知工科大学 2021 年度卒業研究
2) 朝倉優香,「物部川町田統合堰下流部の河床低下と底質変化」, 高知工科大学 2022 年度卒業研究
3) 権利帰属 Google Earth Pro
4) 国土交通省 水文水質データベース 「水位年表検索」http://www1. river. go. jp/cgi-bin/SiteInfo. exe?ID=308051288808010
5) 福岡県朝倉市山田堰 https://www. city. asakura. lg. jp/www/contents/1297659953084/index. html
6) 増野途斗,「筑後川山田堰における石張構造の機能について」, 農業土木学会誌 73 (1), 35-38, a2, 2005