

砂防新型水制工（スクリーン枠水制）の開発研究

阿部宗平* 鎌崎祐治*

1. はじめに

河道の直線化は生態系に大きな影響を与える場合もあるので、なるべく湾曲地形を残すことに配慮して流路整備計画をたてることが望まれる。この際、湾曲部に生じる著しい局所洗掘は護岸の主な被災要因となるため、水衝部における局所洗掘を低減させる対策が必要である。また、局所洗掘が低減できれば護岸に軽易で柔構造の多自然型護岸を取り入れることもできるなど、動植物の生息環境にある程度配慮することができる。

床固工・帯工および根固工を設置して護岸基礎部を保護する従来工法では、二次流の発達が顕著な湾曲部に発生する局所洗掘を十分に低減することができないが、べーン工は局所洗掘制御工として有効な工法であることが阿部ら¹⁾によって報告されている。しかし、べーン工の材料はできるだけ薄い剛なものを想定しているが、大転石の多い礫床河川では施工が困難である場合も考えられるなど、施工法について解決すべき課題が残されている。このため実河川への適用は未だなされていない。

本研究は二次流および主流を減勢して局所洗掘を低減させるべーン工と同様な機能¹⁾を発揮し、べーン工の施工が困難な急勾配の礫河川に適用できる新型水制工の開発を目的としている。この新型水制は我が国の伝統工法である牛枠の構造に類似するもので、川鉄建材(株)との共同開発により考案され、スクリーン枠水制と名付けられている。

前報²⁾でスクリーン枠水制は、二次流の強度を弱めて局所洗掘深を低減する効果の大きいことやスクリーン枠水制の設計に必要な緒元について実験的考察を行い、配置法を提示した。本稿では水理模型実験および現地試験の事例研究を通して前報で検討したスクリーン枠水制の機能と配置法に関する実験結

果との適合性を検討する。

2. スクリーン枠水制の構造

スクリーン枠は写真-1および図-1に示すように、三角柱の骨組みと、透過性のスクリーン部で構成され、鋼製フトン籠の自重で固定するため、河床の低下に伴う沈下等に追従できる。壁面のスクリーン部のスクリーン開度はスリット（スクリーン材と



写真-1 スクリーン枠設置状況

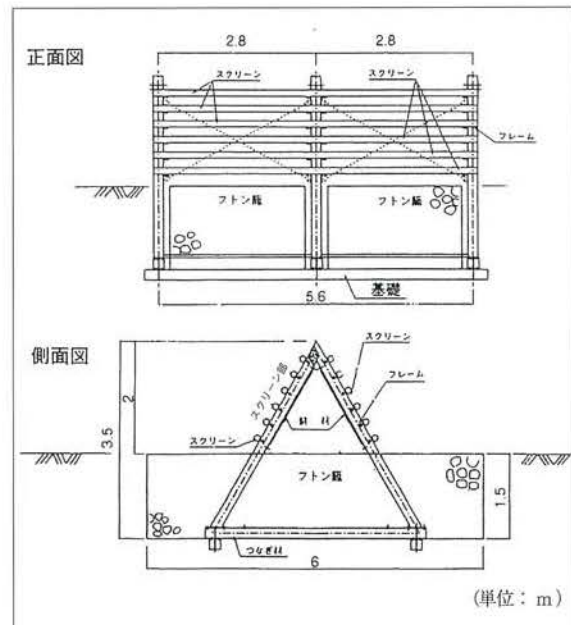


図-1 スクリーン枠の構造

* (財)砂防・地すべり技術センター砂防技術研究所

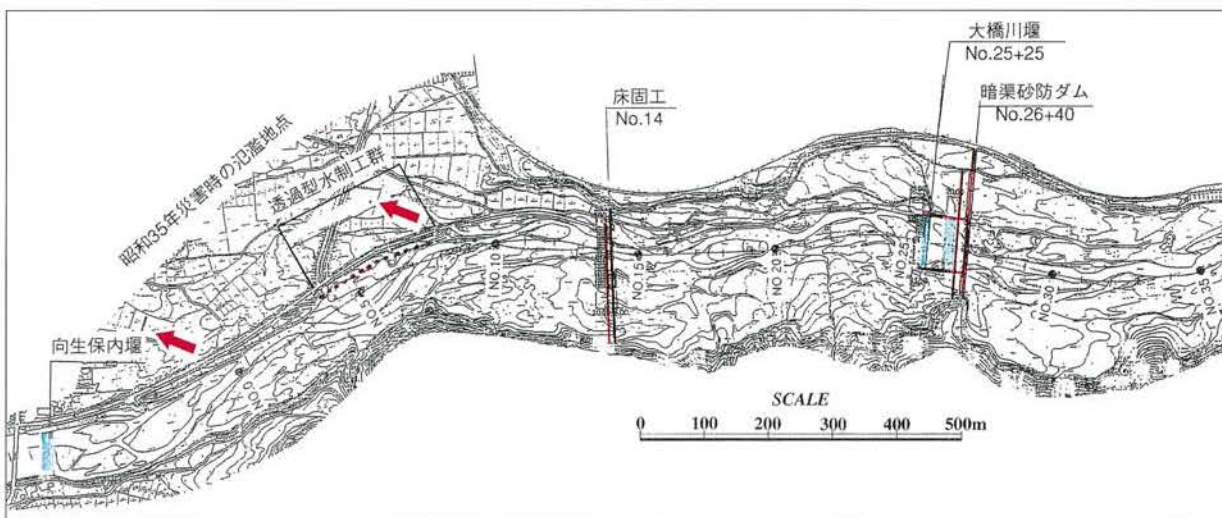


図-2 遊砂地の施設配置計画

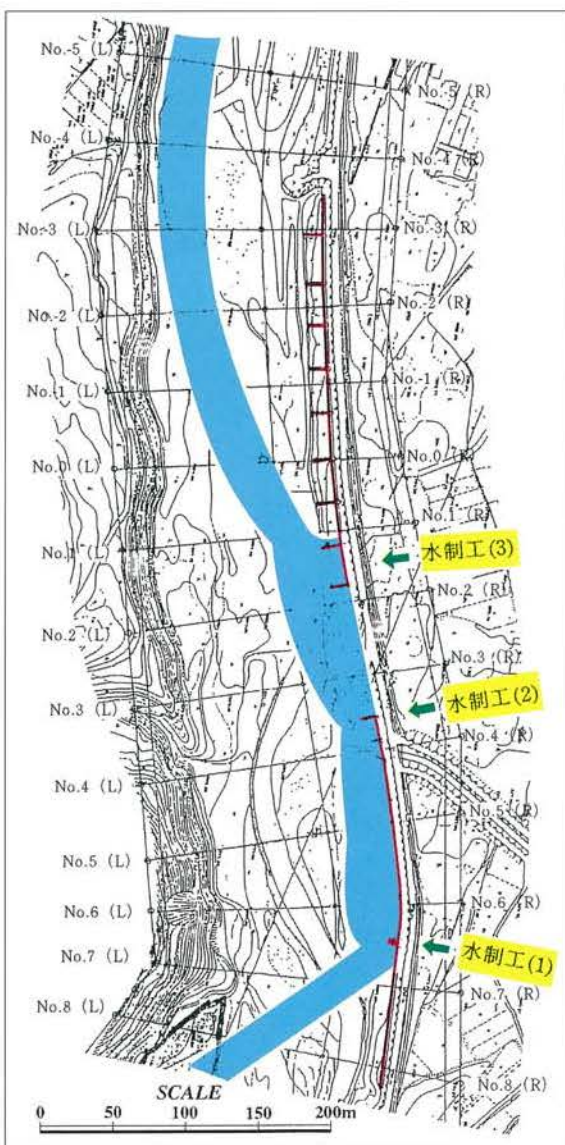


図-3 水制工の位置

スクリーン材の間の隙間 幅の総計をスクリーン幅で除した値（開度=Σスリット幅/スクリーン幅）で、実験結果に基づいてベン工と同様に二次流を減勢するのに効果的な67%に設定した。

3. 水理模型実験によるスクリーン枠水制の機能の検討³⁾

流向・流速の変化が著しく流砂量が主流方向に変化するような水衝部におけるスクリーン枠水制の機能については、明らかでない。そこで、不規則な屈曲部において砂礫堆の移動に伴う流れの集中に起因する護岸沿いの局所洗掘を低減するスクリーン枠水制の機能を水理模型実験で検討する。実験で対象としたのは建設省東北地方建設局管内の生保内川である。

(1) 実験の概要

実験は、模型縮尺1/60とし、フルード数相似則に従って実施した。実験に用いた流量ハイドログラフはピーク流量635m³/sec、最小流量100m³/secの計画洪水波形（100年超過確率）で、給砂材料は河床材料と同じで、 $d_m=4\text{ cm}$ 、 $d_{90}=10\text{ cm}$ の混合砂である。給砂は、掃流砂量式により各流量ごとに流砂量を求め、その量を模型上流部から与えた。水理模型実験で検討した遊砂地の施設配置計画を図-2に示す。砂防ダムより下流0.6kmの位置に床固工が、床固工の下流0.3kmの位置を始点として延長約0.2kmにわたって13基のスクリーン枠水制工群が計画されている。スクリーン枠水制を計画する付近の河床勾配は約1/75で、河道幅は80m~120mである。スクリー

ン枠水制は長さ6m、高さ2mの大きさで縦断方向に6.6mのほぼ等間隔に配置した。この場合のスクリーン枠の設置密度（スクリーン枠の長さの総和/スクリーン枠最上流端から最下流端までの設置距離）は、設置区間長に対して約40%になる。横断方向にはスクリーン枠の中心が堤防の法尻から10m離れた位置に設置した。流れを河道中央に寄せる目的で、上流側5基のスクリーン枠の設置角度はスクリーン枠を設置する位置の中心線に対して30°の角度を付けた。また、下流の8基は既設堤防に平行に設置した。

実験は、まず、現在の河道の状態で計画洪水流量規模の出水が発生した場合の主流路の時間的変化などを観察・測定し、水衝部の位置と局所洗掘などから現河道の問題点を考察する実験Aと、外湾側の堤防沿いに集中する流れを制御する目的で設置した床固工（図-2）の効果を検討する実験Bについて行った。実験Bで床固工は、現在の流路の中心線に対して内湾側に向けて14°の角度を付けて設置した。実験Aで明らかになった局所洗掘部に実験Bの床固工を設置した状態でスクリーン枠水制を設置し、スクリーン枠水制の流れによる減勢と局所洗掘低減機能を実験Cで検討した。

(2) 実験結果

① 実験Aの水衝部の位置は、昭和35年災害時の破堤・氾濫発生地点にほぼ一致する。災害後、図-3（5頁）に示す位置に護岸と不透過・非越流の出し水制工が建設されている。実験Aによる水制工周辺の流況の時間的変化を写真-2に示すように、砂礫堆の移動に伴って主流水は水制工周辺部に集中する。護岸および水制工周辺部の河床は4m～7mの洗掘を受ける。

② 図-4は実験A、実験B、実験Cの流量450m³/sec時（出水後半）における護岸沿い河床の縦断変化を示したもので、図-5は河床の横断測定結果である。

実験Bで床固工は流れを整流する効果が認められるが、床固工の単独で設置される床固工では方向を変化させても水衝部が下流に移行するだけで、最大洗掘深を低減できない。しかし、スクリーン枠水制を設置した実験Cの結果は、実験Aおよび実験Bに比べて局所洗掘は低減されている。

③ 写真-3は実験Cでスクリーン枠水制がピーク

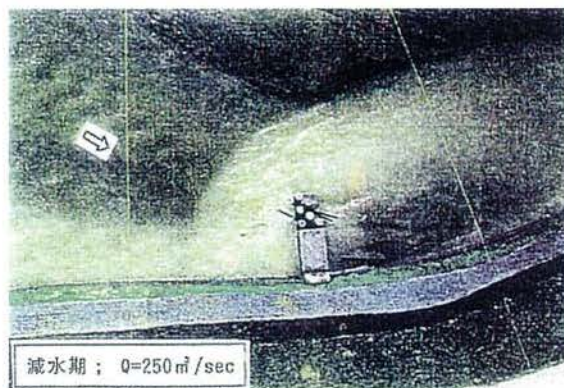
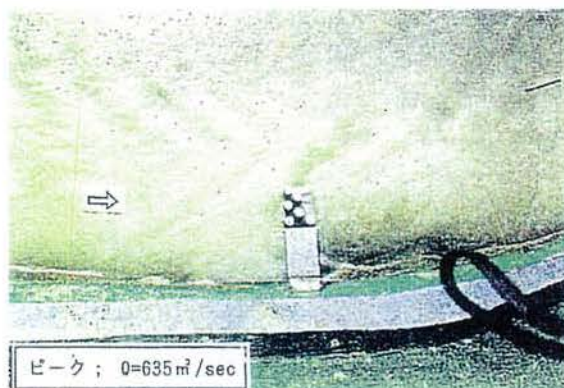
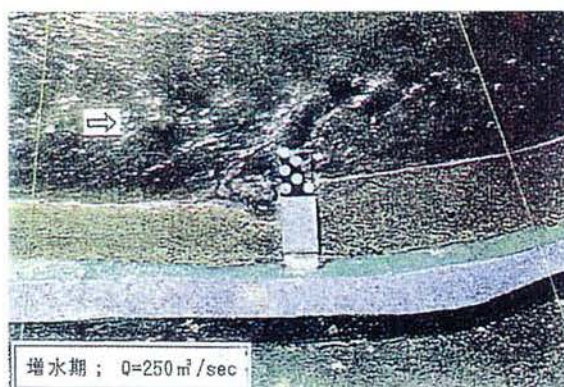


写真-2 水制工(1)周辺の流況の時間的変化

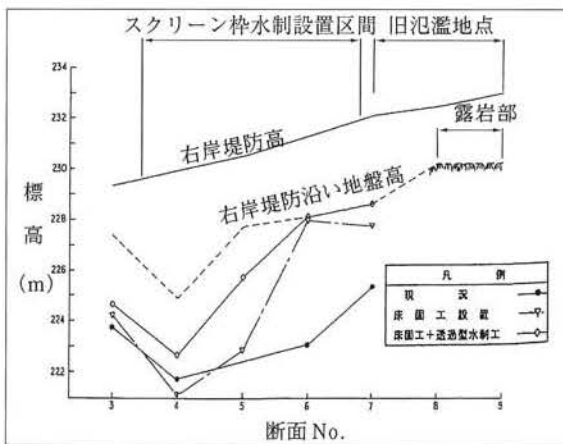


図-4 右岸堤防沿い水衝部の河床縦断変化

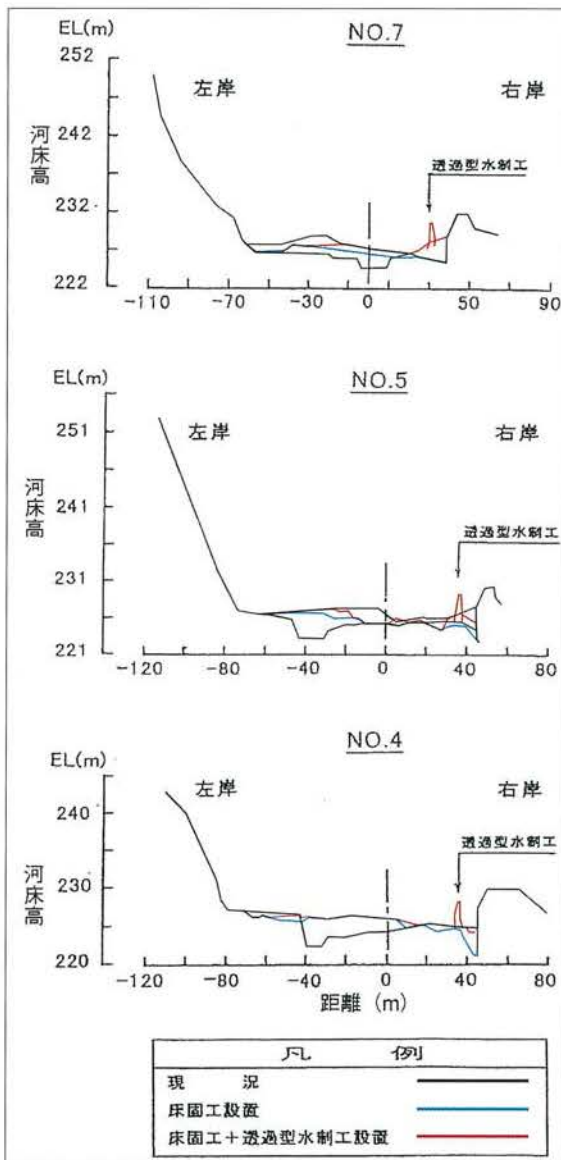


図-5 河床の横断形状の変化

流量 $635\text{ m}^3/\text{sec}$ 時の主流を減勢している状況と通水終了時の河床の状況を示したものである。写真-3(a)より、内湾側の方向に 30° の角度を付けた上流側の5基のスクリーン枠水制は、主流を河道中央方向に寄せる機能を発揮していて、実験Aのように砂礫堆の移動に伴って主流が護岸および出し水制を直撃する問題は解消されている。写真-3(b)はスクリーン枠水制の減勢効果により護岸基礎は保護されている結果を示している。

(3) 考察

- ① 不透過型の出し水制は流水に対する抵抗が大きいため、水制周辺部の局所洗掘が著しく、大規模な出水時には、破堤・氾濫を誘発することが危惧される。これに対して、スクリーン枠水制はスクリーン枠水制前面の洗掘が少し大きくなるが、流れを減勢して護岸沿いの局所洗掘を低減する効果大きい。
- ② 外湾側に集中する流水を河道中央部に寄せるスクリーン枠の設置角度は、流れに対して内湾側に



(a) ピーク流量 $635\text{ m}^3/\text{s}$ の流れ



(b) 実験終了直後における水制工周辺の河床状況

写真-3 スクリーン枠水制工による減勢と水制の効果

向けて30°の角度を付けるのが効果的であるということが確認された。

- ③ スクリーン枠水制の設置間隔をスクリーン枠の設置区間長に対して40%の密度に設置すると、局所洗掘は低減されていることから、提案されたスクリーン枠の配置法の妥当性が確認された。
- ④ 床固工群によって流れを整流させて護岸基礎を保護する従来工法によらずとも、スクリーン枠水制群により主流を減勢して、間接的に護岸を保護することが可能であり、従来工法に比べて生態系に与える影響を小さくすることが期待できる。

4. 釜川遊砂地におけるスクリーン枠水制の機能の検討⁴⁾⁵⁾

建設省湯沢砂防工事事務所の協力により、釜川に建設されたスクリーン枠水制の機能調査から実験的研究結果の適合性を確認する機会を得た。本稿では、1996年5月～1998年11月までの2年6カ月の期間にわたって実施された河床変動、主流路の経年変化、出水痕跡などの現地調査の結果を基に、スクリーン枠水制の機能と効果および実河川に適用する際の留意事項について考察する。

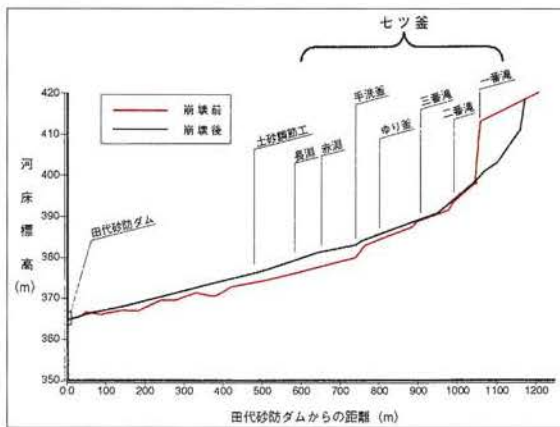


図-6 一の滝崩壊前・後の河床縦断形の変化

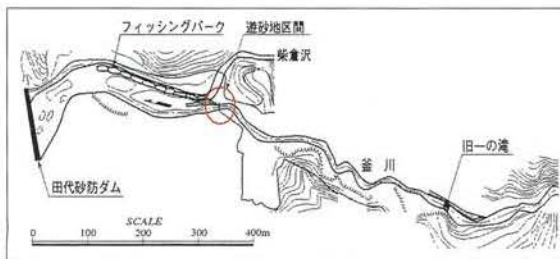


図-7 遊砂地の位置

(1) 遊砂地計画の背景と目的

釜川は信濃川水系清津川の左支川で、苗場山を源流とする流域面積21.8km²で、清津川合流点上流6kmに位置する名勝天然記念物「七ツ釜」の「一の滝」区間の平均河床勾配が、1/14の急勾配河川である。釜川は、1995年4月23日の異常高温による融雪出水により、七ツ釜「一の滝」が崩壊するとともに、右岸側の斜面崩壊を誘発し、約3.3万m³という大量の土砂が河道に流出した。土砂流出前後の田代砂防ダムから上流1.15km区間の河床縦断形を図-6に示すように、1995年8月出水で河床は3m～5m上昇した。また、右岸側斜面には、約3.3万m³の不安定土砂が残留しており、これらの土砂を放置しておけば、下流の集落や田畑は甚大な被害を被ることが危惧された（建設省湯沢砂防工事事務所調べ）。

建設省湯沢砂防工事事務所は、二次災害の発生を防止するため、災害復旧工事として「一の滝」の跡地に、崩壊前の滝の形状に似せた砂防ダムを建設し、1997年11月に完成させている。この間、河道内の堆積土砂の急激な流出を制御する一方で、埋没した6つの滝を早期に出現させることを目的として、建設省湯沢砂防工事事務所は、図-7に示すように釜川の右支川である紫倉沢が合流する付近より上流の河道拡幅部を遊砂地として位置づけ、写真-4に示すようにスクリーン枠を土砂調節工として配置した。また、紫倉沢合流部より下流約0.25km区間にわたって建設されているフィッシングパークを保全するため、スクリーン枠水制を設置した。このフィッシングパークは建設省湯沢砂防工事事務所が「魚にやさしい溪流づくり」事業として建設したもので、1995年8月出水の大量の土砂流出により埋没している。



写真-4 遊砂地に設置されたスクリーン枠水制（下流側）と土砂調節工（上流側）。写真左側手前がフィッシングパーク。

(2) 遊砂地の施設計画の概要

遊砂地区間の現河床勾配は約1/35、これより下流で1/45、砂防ダムの堆砂地で1/60に変化する。河道幅は、土砂調節工付近で35m～45m、水制工付近で30mであり、この間の河道は屈曲している。

施設の設置状況を図-8に示している。下流側右岸に6基のスクリーン枠水制工が、湾曲部の外湾に集中する流れを河道中央方向に寄せる目的で設置され、また、上流側には、河道横断方向に7基のスクリーン枠を用いた土砂調節工が2列に配置され、1996年1月に施工が完了している。スクリーン枠の大きさは高さ2m、長さ5.6mで、フトン箆によって固定されている。

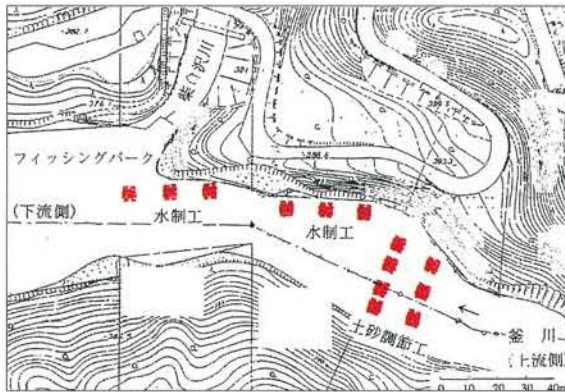


図-8 土砂調整工とスクリーン枠水制の配置図

(3) 遊砂地建設後の主な出水

1996年1月から1998年11月の期間を対象に、各月別ごとに1カ月の期間内に発生した田代砂防ダム地点における出水時の最大流量（建設省湯沢砂防工事事務所の調査による）を図-9に示した。1997年2月に約127m³/secの流量が、1996年8月と1998年9月に約80m³/secの流量が記録されている。また、施設設置後、1996年7月に斜面崩壊により約800m³の土砂が生産されている。なお、上流の七ツ釜下流砂防の設計対象流量は、230m³/secに設定されている。

(4) 現地調査の項目と方法

調査は、縦横断測量と写真撮影、水位・堆砂痕跡、流況観察、河床材料調査を実施した。調査時期は、降雪時直前（出水の半年後）、融雪出水後の年2回とすることを基本とした。縦横断測量の範囲は、土砂調節工より上流50m、下流150mの延長200mの区間とし、横断測量の断面および縦断測量の測線は各測量時期を通して同じにした。河床変動測量は、上流の七ツ釜下流砂防ダムから下流の田代砂防ダム区間について行うのが望ましいが、七ツ釜下流砂防ダムが建設中であり、上流まで立ち入れなかったこと、また、平時の出水流量が比較的多いことなどにより測量範囲が制約された。1997年1月出水（流量127m³/sec）の水位と堆砂の痕跡調査を行い、その

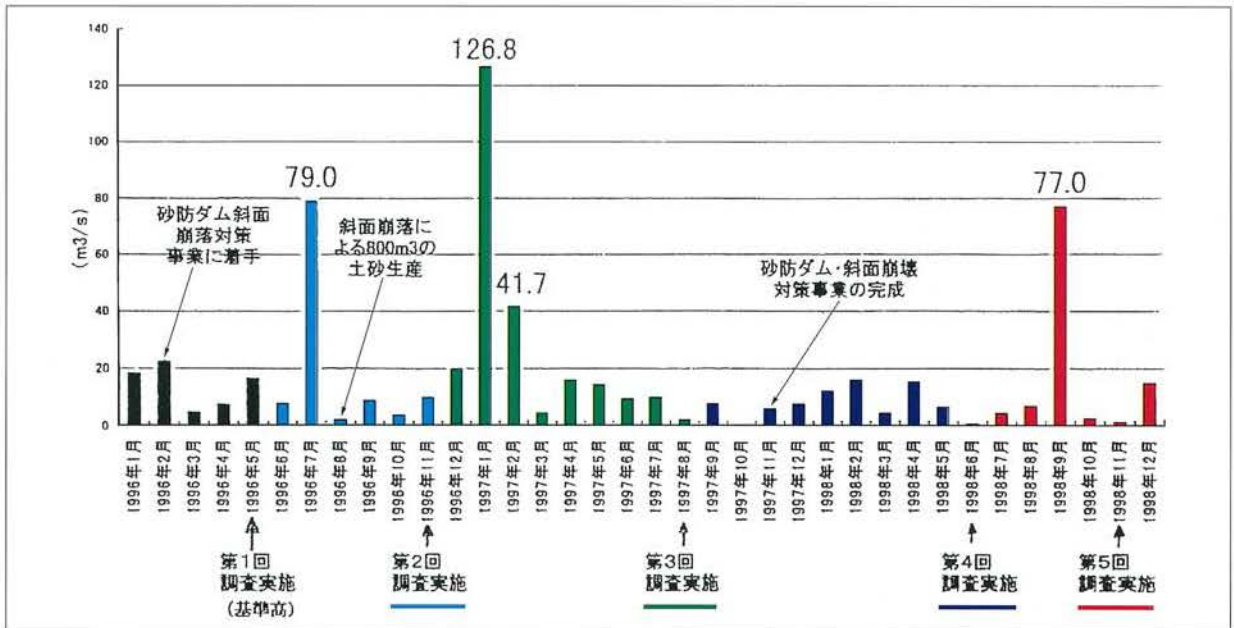


図-9 月別の最大流量（提供：建設省湯沢砂防工事事務所）



(a) 土砂調節工（スクリーン枠）による流れの減勢
スクリーン枠の頭部と後部の水面形の変化から流れは減勢されていることがわかる。



(b) 上流側スクリーン枠水制工周辺の流況
スクリーン枠水制の河道寄り、構造体の中、渓岸寄りの水面形の変化から、スクリーン枠に集中する流れが減勢されている状況がわかる。

後の出水による河床変動解析に反映させた。

河床と主流路の経年変化の記録、定点からの写真撮影、施設周辺に見られる特徴的な現象の観察と、その写真撮影を行った。また、縦断方向の粒径の変化と施設の機能を表現するのに適切な河床材料調査地点を選定し、河床材料の粒径を写真測定法により計測した。

(5) 調査結果と考察

① スクリーン枠水制流向制御

写真-5は、1996年6月出水時の土砂調節工およびスクリーン枠水制近傍の流況を示している。また、土砂調節工から下流における主流路の経年変化を写真-6に、また、各測定断面ごとに、前期の測量時の河床高に対する堆積深の変化と洗掘



(c) 上流側スクリーン枠水制間の流況
スクリーン枠水制と下流のスクリーン枠水制との間の流勢と河道中央寄りの流勢を比較することにより、スクリーン枠水制の減勢効果ができる。また、スクリーン枠水制は主流を左岸渓岸側に寄せる水は効果を発揮している様子が見える。

写真-5 融雪出水時の流況（1997年5月撮影）



(a) 1996年5月撮影



(b) 1997年5月撮影



(c) 1998年4月撮影



(d) 1998年11月撮影

写真-6 主流路の経年変化（スクリーン枠水制の流向制御効果）

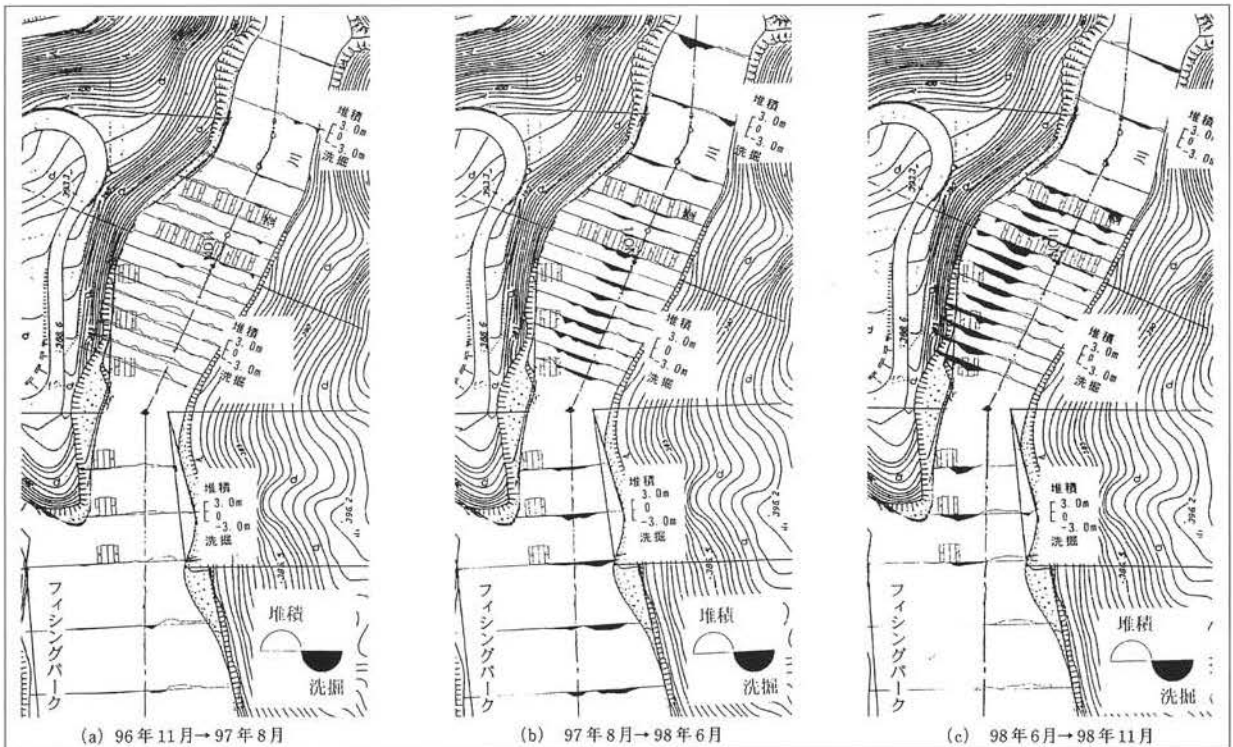


図-10 河床形状の経年変化

深を求めて、図-10に示している。写真-6と図-10よりスクリーン枠水制の機能は以下のように記述される。

- 1) 1996年5月撮影の写真-6(a)より、下流側の3基のスクリーン枠水制群は右岸側に向かう流れを河道中央部に寄せる機能を発揮していることがわかる。
- 2) 写真-6(b)は融雪出水時の流況を示している。1997年1月に発生した流量 $127\text{ m}^3/\text{sec}$ の出水およびそれ以後の出水で、図-10(a)に示されるスクリーン枠水制群の設置区間に堆積した土砂の影響を受けて、流水は河道全幅にわたって流下している。このときの流況観察によると、上流から2基目と3基目のスクリーン枠水制間の表面流速は、水制の左岸側（河道中央側）で $2.5\text{ m}/\text{sec}$ 、水制の右岸側（水制の裏側）で $1.3\text{ m}/\text{sec}$ であり、スクリーン枠水制が流れを減勢する効果の大きいことが観測された。また、写真-6(b)より下流3基のスクリーン枠水制群は河道中央に向けて流水を寄せている状況がわかる。図-10(a)に示すように河道の中央から左岸側にかけて土砂が堆積し、スクリーン枠水制群周辺および右岸側の河床の変化は小さい。

3) 写真-6(b)に示した堆積土砂は写真-6(c)で見るようにその後の出水で流出しているが、下流のスクリーン枠水制群周辺での河床はほとんど変化していないことが、写真-6(c)と図-10(b)によってわかる。

4) 1998年9月に流量 $77\text{ m}^3/\text{sec}$ の出水が発生している。写真-6(d)はその2カ月後の状況を示すもので、9月の出水時の主流水は、外湾側（右岸）に集中したものと推察される。しかし図-10(c)で示されるように、スクリーン枠水制の裏側での河床の変化は小さい。

以上の結果よりスクリーン枠水制は、流れを河道中央部に寄せる水刎ねと流れを減勢する機能を発揮していると判断される。

② 石礫の分級効果

河床材料の調査は、広さ $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ の範囲の表層河床材料を写真に撮り、それを読み取る写真測定法によって行った。なお、調査は1998年11月に実施した。調査地点は図-11（12頁）に示すように土砂調節工群の上流で3カ所、上流側のスクリーン枠水制群で2カ所、下流のスクリーン枠水制群で3カ所および水制工群より下流1カ所の計9カ所である。河床材料の粒度分布を図-12に示す。

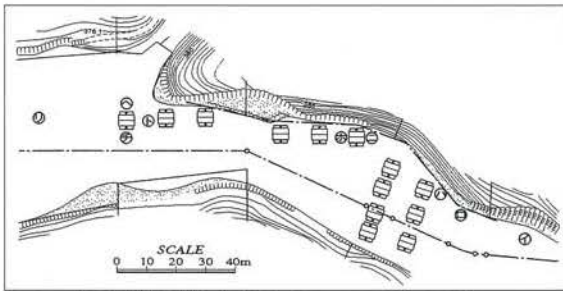


図-11 河床材料調査地点 (調査年月: 1998年11月)

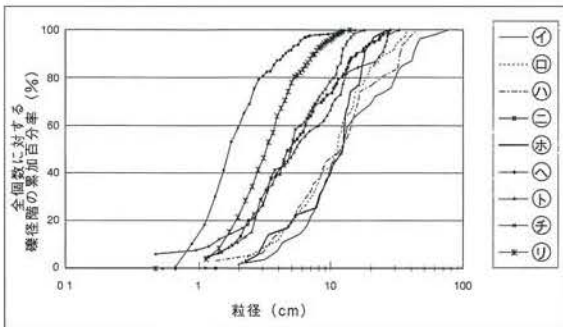


図-12 河床材料の粒度分布

図-12の河床材料の粒度分布加積曲線は、まず、個々の材料の直径と短径を写真上から計測し、平均値を求め、粒径別にサンプリングした全個数に対する百分率を計算し、粒径階ごとに対応した累加百分率を求めて作成されたものである。図-12より、土砂調節工の上流側と水制工群の下流側では、明らかに河床材料の粒径は変化していて、下流ほど細かいことがわかる。

土砂調節工の近傍(調査地点①②③)の60%粒径 d_{60} は、およそ15cmであるのに対して、水制工群の下流⑨の粒径 d_{60} は、4 cmである。このような石礫の分級は、土砂調節工による流れの減勢効果が大きく関係しているものと判断される。

水制工周辺(調査地点④⑤⑥)では、水制工の面④と水制工と水制工の間の⑤の粒径が、ほぼ $d_{60} = 6 \text{ cm}$ で水制工の裏⑥の $d_{60} = 2 \text{ cm}$ に比べて大きい。このことは、水制工が、流向を制御するとともに水制群に集中する主流を減勢した結果の現れであると判断される。

写真-7は、土砂調節工群の上流の堆積土砂と、上流側のスクリーン枠水制群および下流側のスクリーン枠水制群付近における河床面の状況を示している。写真-7より、上流より下流に向かって河床材料の粒径が小さく変化していく様子がわかる。



(a) 土砂調節工上流付近に堆積した土砂の状況



(b) 水制工中流付近の河床状況



(c) 水制工下流付近の河床状況

写真-7 河床表面粒径の縦断的变化

写真-8は水制工周辺部の粒径の変化を示している。写真-8(a)より、水制の河道寄りと水制間の河床材料の粒径は、水制の裏(溪岸側)の粒径に比べて相対的に大きいことがわかる。また、水制裏では、河床の洗掘は生じていない。写真-8(b)のように、集中する流れによって運搬された直径20cm~30cmの大きさの石礫が水制工前面(河道側)に堆積している状況から明らかなように、スクリーン枠水制群による流水の減勢・水勿ね効果は、



(a) スクリーン枠水制の後面の粒径は、スクリーン枠水制前面およびスクリーン枠水制間の粒径に比べて小さい。



(b) スクリーン枠水制の前面に堆積した石礫の状況。

写真-8 スクリーン枠水制付近の粒径の変化

大きいといえる。

5. 結 語

(1) 生保内川を例とした水理模型実験において、出水制の周辺部の河床は砂礫堆の移動に伴う流れの集中によって著しい洗掘を受けるのに対して、スクリーン枠水制工は流れを減勢して局所洗掘を低減する効果が大きいことがわかった。また、スクリーン枠水制の設置角度と配置間隔などの配置法の妥当性が確認された。

(2) 釜川遊砂地工に設置したスクリーン枠水制工は、流向の制御と流れを減勢する機能を発揮し、また、河床材料の分級作用を高める機能を有することが確認された。スクリーン枠水制より溪岸側の河床は洗掘を受けにくいので、多自然型護岸を取り入れやすくなる。また、出水時のスクリーン枠周辺の流れの減勢は魚類の避難場所となり得るなど、魚類の生息環境を創出することが期待できる。

スクリーン枠を固定するフトン籠の金網が石礫の衝突により切断され、中埋材の一部が流出した。調査期間中においてスクリーン枠の変位は認められていないが、スクリーン枠の前面が深掘れするので、今後洗掘状態に追従できる材料でスクリーン枠を固定する方法を開発したい。

最後に、生保内川水理模型実験の委託者であり、また、貴重な資料を提供して下さった建設省東北地方建設局湯沢工事事務所ならびに釜川遊砂地の現地調査の場を与えて下さった上、多大なご協力を賜った建設省北陸地方建設局湯沢砂防工事事務所の関係者に深く感謝申し上げます。また、スクリーン枠水制工は川鉄建材(株)との共同で開発したものであり関係者に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阿部宗平・天田高白；湾曲部における局所洗掘制御工に関する実験的研究、砂防学会誌投稿中
- 2) (財)砂防・地すべり技術センター；流路工計画におけるスクリーン材の機能と効果に関する実験的研究報告書、1994
- 3) (財)砂防・地すべり技術センター；生保内川緑の遊砂地水理模型実験業務報告書、1998.3
- 4) 井良沢道也・板鼻昭夫・阿部宗平・荒牧浩・田島秀俊；現地調査による多機能型スクリーン枠工の機能と効果に関する考察、砂防学会平成10年度砂防学会研究発表会概要集、pp292～293、1998.5
- 5) 大野宏之・本郷國男・阿部宗平・鎌崎祐治・和田浩；ブロック式土砂調節工の機能と効果に関する研究、砂防学会平成11年度砂防学会研究発表会概要集、pp224～225、1999.5