

気候変動を踏まえた河床低下対策について —軟岩河床を有する常呂川水系無加川の場合—

網走開発建設部 北見河川事務所 計画課

○齋藤 直之

石田 時代

北見市役所 都市建設部

中南 力

近年の強度を増した降雨の発生頻度の増加により、河床低下が誘発され、橋梁や農業施設等のインフラ施設への被害が発生している。常呂川水系無加川においては、インフラ施設以外に、流域の主要な産業に関わるサケ等の産卵環境への影響も懸念される。本論は、平成27年度より試験的に進めてきた無加川の河床低下対策について気候変動を踏まえた適応策の考察を加えるとともに、地元自治体との連携も含めた取り組みを紹介する。

キーワード：河床低下、気候変動、適応策

1. はじめに

常呂川水系無加川は、本川常呂川中流部の左岸側に注ぐ流域面積536.1km²、幹川流路延長74.6kmの一次支流で、オホーツク地域の社会・経済・文化の中核にある北見市を流れている。この流域における地質の特徴は、主に火山岩や火山砕屑岩といった火山性堆積岩類が広範囲に分布しており、特に河道が形成されてきた範囲は、未固結堆積物であることが認められる(図-1、写真-1)。

直轄管理区間は常呂川合流点部より約7.2kmで、この区間の河床勾配は1/210から1/230と急勾配であり堤内側は無加川を囲むように両岸とも住宅等が密集している(写真-2)。また、無加川は北海道の河川環境に代表されるサケ・マス類の産卵環境が直轄区間にも多く点在し

ており、地域の基幹産業に重要な水産資源機能を有している。

無加川では昭和40年代から多くの箇所での護岸工事やそれに伴う河道整正が行われ、昭和50年代から昭和60年代にかけてはKP3.0付近より上流において高水敷が造成され、これにより低水路幅が縮小した。平成以降は大きな河道改修工事はなかったものの、定期的に行っている測量データより河床高の低下速度が速いことが確認され始めた。図-2に平成元年、平成10年、平成22年・平成23年の河床高について昭和54年を基準とした変動量を示す。横軸に常呂川合流点からの距離標を表すが、KP3.0付近より上流区間の河床高の低下が顕著に進行し、護岸機能の喪失や橋脚の根入れ不足など、洪水に対する安全性の低下といった課題が現れてきた。これは、低水路幅の縮

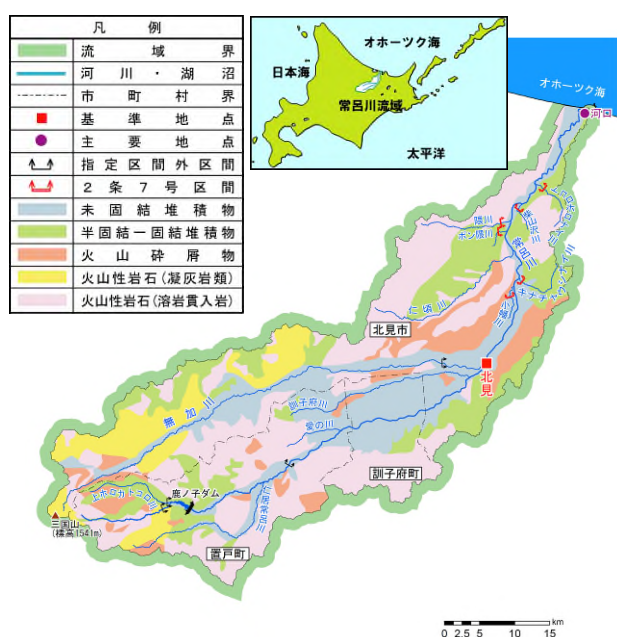


図-1 常呂川の位置と地質図



写真-1 無加川の軟岩河床



写真-2 市街地を流れる無加川

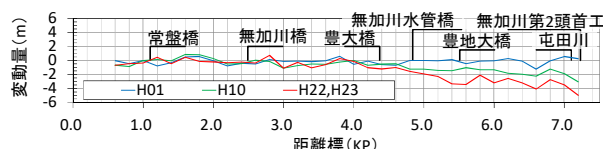


図-2 最深河床高変動量(昭和54年基準)

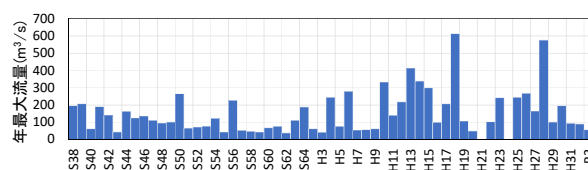


図-3 無加川の年最大流量変遷
(北光社水位流量観測所)

小により掃流力が上昇し、河床の砂礫が移動しやすくなったことに加え、出水の規模が年々大きくなってきたことも引き金になったと考えられる（図-3）。

また、出水毎に河床の砂礫が移動し、その流失により侵食抵抗の弱い軟岩河床が露出するなど、流水によって洗堀や摩耗を受けやすい状態となっており、河床低下を進行させていることがその後のモニタリングで明らかになった。

前述したように、当該区間は堤防背後地に住宅地等が密集しているため、堤防への悪影響が起きないように河床低下の急激な進行を抑える必要がある。併せて、基幹産業に甚大な影響を及ぼさないよう魚類の産卵環境の保全を図ることも重要であるため、対策を講じることとした。

本論は、平成25年度¹⁾と平成26年度²⁾に報告した無加川における河床低下対策の論文の続報として、平成27年度より試験的に着手した袋型根固めを用いた帯工による対策の実施状況や、関係機関も参画した勉強会など「対策に向けた取組み」を第2章に、対策実施後の「モニタリング状況」を第3章に、そして本対策について「気候変動を踏まえた今後の取組みの方向性」を第4章に述べた。

2. 対策に向けた取組み

(1) 平成24年度の覆礫対策と事後モニタリング検証による見直し

既往論文¹⁾で報告しているが、河道拡幅の整備に合わせて拡幅作業で発生する礫材を使用し、軟岩露出箇所を覆う応急対策を平成24年度にKP5.2からKP7.2の区間で実施した。

しかし、応急的な対策であったため、実施後約3年間の河床高モニタリングにおいて、KP6.5より上流はその効果が認められたものの、侵食速度を遅らせるには一時的なものであると判断された³⁾。そのため、露出が進んだ軟岩分布箇所に着目し、詳細な調査・分析を進め、抜本的な対策の立案を行い、平成27年度より試験施工を開始した。

(2) 抜本的な対策

a) 対策箇所の選定

抜本的な対策を検討するにあたって、まず効果的な対策箇所の選定を行った。応急対策として行った覆礫の効果は限定的であったものの、覆礫直後からの河床高モニタリングで得られたデータを活用し、平面二次元河床変動解析（iRIC-Nays2DH）による再現検証を行い、砂礫層被覆率や軟岩侵食速度を考慮した河床変動モデルを構築⁴⁾した。このモデルにより短期予測モデルの再現性が確認できたことから、当該モデルを用いて無対策の場合と対策を講じた場合のそれぞれについて20年間の長期予測計算を行った。予測計算は、軟岩や火山灰層が露出し護岸機能の損失や橋脚の根入れ不足など、洪水に対する安

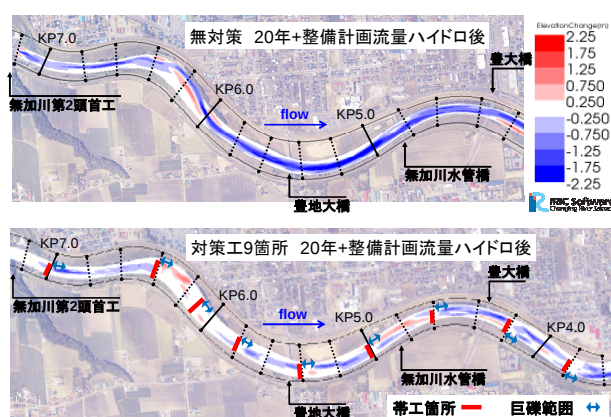


図-4 軟岩侵食を考慮した
平面二次元河床変動予測結果

全性の確保が懸念される河床低下が著しく見られるKP3.8からKP7.0の区間を対象とした。配置数は最大11箇所として配置パターンを変えた複数のケースについて予測計算を行った。河床低下抑制に効果的な箇所数と配置について将来的なコストの最小化を考慮して検討した。

図-4にその結果を示すが、上段が無対策のケース、下段が対策した場合の最適配置ケースである。なお、予測においては、軟岩強度や土砂供給量といった不確実な条件設定が伴うことから、不利な条件を与えた感度分析も行った。配置は、蛇行波長の半分程度（約400m）毎に全部で9箇所としたケースが経済性も考慮したうえで河床高の変動量が小さく最も効果的な結果となった。また、整備順序についても低下の進行が最小となるよう整備の優先度の検討も行い、KP5.0を最初の対策箇所として、順次上下流に整備することとした。

b) 対策工の構造

次に、対策工の構造及び素材について検討を行った。河床高の自然回復や環境への影響を考慮するにあたり、対策工は縦断的に不連続であることから、将来的には無対策の箇所でも局所的な河床低下の発生が起り得る。そのため、局所的な低下が発生した場合に追従可能な屈撓性を有し、かつ、産卵環境に不可欠な湧水機能を損なうことがない構造が求められた。この条件を満たすために対策工に袋型根固めを用いることとし、平成27年度に試験施工に着手した。施工箇所のモニタリングを行い検証をしながら整備を進めているが、令和3年度末までに全9箇所の敷設計画のうち7箇所の対策工が完成予定である。

c) 試験施工の実施と改善

前述したように無加川の河床低下対策は喫緊の対応が求められたことから、平成27年度より整備の優先度が高いKP5.0地点から試験施工を開始した。最初に行った試験施工KP5.0地点の対策工平面図・標準図及び施工状況を図-5に示す。袋型根固めを連結した帯工区間の直下流部については、局所的な洗堀及び水衝部外岸側での河床低下の抑制を図るため、河床材料表層の粒度分布から粒径150mm程度の巨礫を敷設した。また、帯工上流部は現

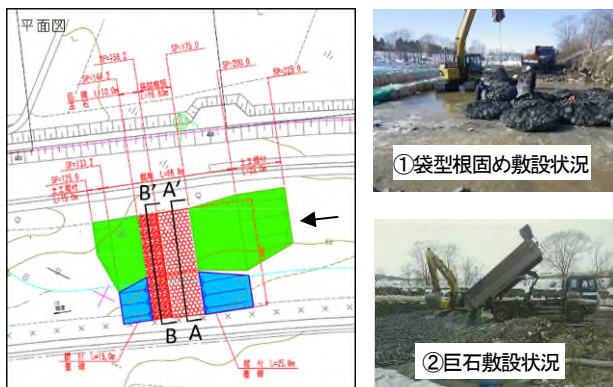


図-5 試験施工KP5.0の
平面図・標準図及び施工状況



写真-3 施工後3ヶ月目とH28.8洪水時の状況

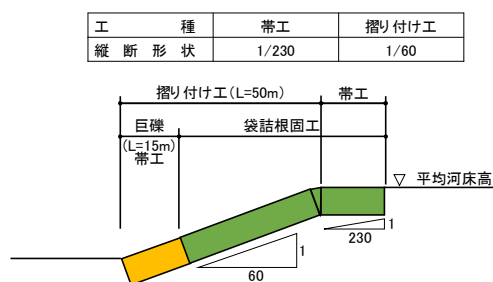


図-6 試験施工及び室内試験を踏まえた見直し対策工

地材料を横断的に流用して覆礫による摺り付けを行った。

施工は非出水期の平成28年2月から3月に実施したが、整備後の平成28年8月に計画を超える戦後最大の洪水が発生し、試験施工の袋型根固めの一部が流出した（写真-3）。そのため、流出箇所については、その年の冬に袋型根固めを再度敷設し、それらの連結方法や緊結するロープや袋材料の素材も強固なものに見直し、設計流速4.5m/sまでの移動抵抗の強化を図った。また、試験施工の着手と併せて、縮尺1/50の模型を用いた軟岩侵食を考慮した室内水理模型実験を平成27年度と平



写真-4 工事前の環境保全対策
(産卵防止ネット敷設状況)

成28年度に行った。これは、無加川の河床低下対策の事業化にあたり、すでに河床に軟岩の露出が散見されていることから、軟岩侵食を考慮した模型実験により効率的・効果的な対策工の構造諸元の設定のための知見を得ることを目的とした。

結果、KP3.8からKP7.0の対策区間の河床勾配に対して帯工部分は勾配を1/230程度とし、その帯工直下には斜路勾配1/60の摺り付け区間を設けた。摺り付け区間の上流側には袋型根固めを敷設し、下流側には緩衝帯として巨礫を厚く配置した。この形式が帯工下流部の局所的な軟岩侵食を防止するのに有効であると判断された。下流の摺り付けに用いた巨礫については、被災箇所を検証し、安定性の確保より、粒径150mm程度から270mm以上に見直した。そして、この巨礫部に対する摺り付けとして近傍の砂礫材を用い、施工完了後には上流から流れてくる砂礫材の溜まりも期待する構造とした。

KP5.0の現地試験施工の知見と、室内水理模型実験から得られた知見を踏まえ、8箇所対策工については、図-6に示す縦断形状を基本とした。KP5.0の試験施工箇所については、摺り付け区間が図-6に示す諸元より短い施工であったが、平成28年8月の出水後の補強対策後の状況を引き続きモニタリングし、状況に応じて必要な対応を図ることとしている。なお、図-4に示した予測計算による配置箇所については、順次施工している中で、モニタリングにより得られた河床材料や現地確認による砂州変動の状況等を踏まえ、予測計算の再検証を行い、より効果的な配置について上下流に微調整を行うなどPDCAの対応を図っている。

d) 施工時の環境保全対策

サケ等の魚類の産卵床として好適な環境が点在しているため、整備に際しては施工時の配慮についても検討を行い対策を講じている。河床低下対策工事の具体的な時期は、水位が低く流量が少なくなる当該施工に有利な冬期間に実施しているが、産卵時期前に産卵防止ネットを敷設することで、その年に工事箇所産卵することがないよう事前に保全策を講じている。

写真-4に産卵防止ネットの敷設状況を示す。この保全策は工事を行う年は一時的に産卵の使用ができない状況になるが、湧水機能の保全が図られた対策工であることから、工事完了後は湧水機能の復元が図られ、施工後のモニタリング調査においても産卵床として利用されていることが確認されている。



写真-5 関係機関参画の勉強会
及び現地合同踏査の状況

(3) 関係機関参画の勉強会

直轄管理区間の河床低下の要因分析を進める上で、上流区間の状況把握も重要なことから、平成25年度より上流区間の管理者の北海道オホーツク総合振興局や橋梁等の施設管理者の北見市など、関係機関の参画による勉強会を開催している。写真-5に取り組み状況を示す。左が勉強会で右が河床低下対策の施工後の状況を合同踏査している状況写真である。勉強会は開催当初から地元大学や研究機関の河川及び地盤の専門家に参加頂いている。情報共有を図る中で、合同現地踏査時に留意すべき観察点や、共有されたデータから懸念される事項の有無など、専門家による広い視点の情報やアドバイスは、関係機関が所管する管理箇所状況を理解するにあたって、非常に参考となり共通認識の深まりに繋がっている。

また、管理者からの最新の管理状況等が説明される中で、その管理情報に対し専門家の気づきや知見について助言等がされる場合、管理者側も再確認を行い、その結果が流域住民の安全性に対して懸念が予想される場合は、再度専門家から具体的な助言を仰ぐなどの対応が可能となる。実際にこの合同現地踏査において専門家からの助言をきっかけに、地域住民の安全確保に向けた関係機関の迅速な取組がなされた。次項に北見市による具体事例を紹介する。

(4) 北見市の取組

写真-2に示す通り無加川は両岸に市街地が広がっており、横断する橋梁は地域住民の生活を支える重要なインフラ施設となっている。市としてもまちのインフラ施設については長寿命化計画を立案するうえで、点検を行っており、無加川に架かる橋梁についても平成27年から平成29年にかけて詳細点検が行われていた。

市が管理する無加川の橋梁は北海道管理区間も含め24橋あるが、勉強会では北海道管理区間の現地踏査も行われた。その折、令和元年7月に開催された勉強会では、北見市が管理する朝日橋の現地確認を行った。この時、朝日橋の橋脚の状態について安全性に対し不安との認識がされた。朝日橋は、河床洗掘により橋脚のフーチングがほぼ露出しており、橋脚周辺の洗掘も見られ、危険な状態が進行していた。

当該橋梁の点検は平成28年に行われており、7月の点検実施時点では橋脚周辺の洗掘は見られなかったが、その後、平成28年8月の出水で、急激な河床洗掘が起こり、



写真-6 北見市管理の橋梁の応急対策

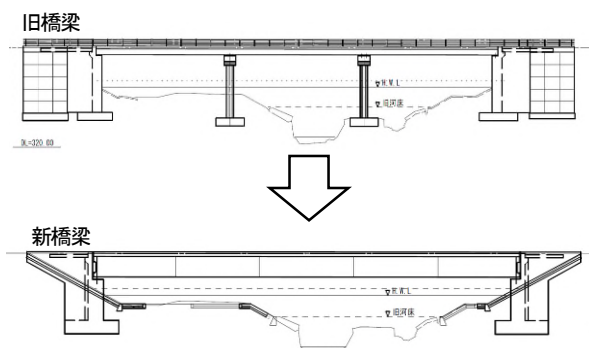


図-7 朝日橋の新旧の橋梁一般図



写真-8 橋梁傾斜状況の遠隔監視

その状況が変化したものであった。市はこの現地踏査による状況確認を踏まえ、一時的ではあるが、応急対策としてフーチングの上流側にコンクリートを打ち継ぎ、根固めを敷設することで橋脚周辺の洗掘低減対策を急遽実施した（写真-6）。

しかし、これも応急的な対策であることから、市は住民の安全・安心を確保するために抜本的な解決に向けた検討を行い、橋脚無しの構造に架け直す計画とした。見直し前後の朝日橋の橋梁一般図を図-7に示す。令和3年度より、架け替え工事を開始し、令和4年度中の完成を目指している。

また、この朝日橋の架け替えは現在位置での架け替え工事であり、完成までは全面通行止めとなることから、一つ下流に架かる川北橋を迂回路とする検討が行われた。

しかし、川北橋付近においても河床低下が進んでおり、通行量の負担が増すことでその安全性に懸念がある。

そこで、地元北見工業大学との共同研究⁹⁾により、遠隔による橋梁観測が実施され、橋梁の通行において安全性に懸念が生じた場合、通行止めの措置を迅速に行えるよう監視体制の整備が図られた。具体には、リモート観測が可能な傾斜計を橋梁に取付け、道路管理担当職員がWEB上でリアルタイムに遠隔監視を行っており、架け替え完了まで継続予定としている（写真-8）。迂回路としての通行開始後、異常値の発生はなく、令和4年1月時点で住民生活に支障を来す状況は確認されていない。

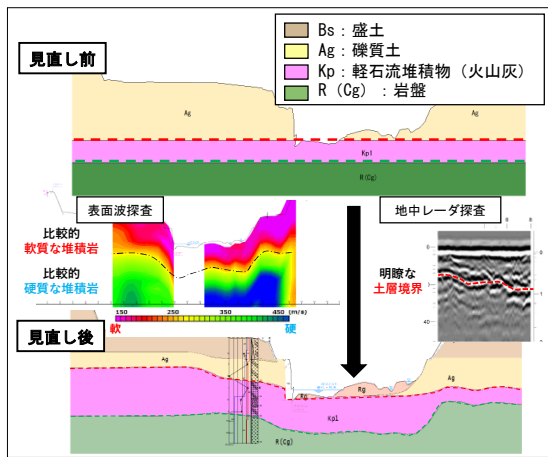


図-9 物理探査による無加川の地質構造の把握

(5) 地元大学による研究フィールドとしての取組

すでに紹介しているが、無加川の河床低下の課題対応については、地元大学と連携した取組を実施している。前項の遠隔監視の取組以外にも、無加川の将来的な河床低下の進行予測については、精度向上にも資する地盤状況の把握に関する研究が平成27年より進められている。

一般的に、河川管理における地質の把握は堤防整備や根入れを必要とする構造物の設置に伴ってボーリング調査が行われ、過年度の調査データと併せて一元的に縦断面・横断面図を作成するなどして状況把握に努めている。

無加川についても同様な地質データの管理を行っているが、河床低下予測に必要となる低水路近傍の地質深部までの把握は予算や現場条件などに限界があるため、既存調査からの推定によるところが大きい。

このような状況を踏まえ、地元北見工業大学の地盤研究チームにより無加川をフィールドとした研究がされている。表面波探査と地中レーダ探査の物理探査を行い、既往の土層縦断面図・横断面図にその結果を投影することで推定に留まっていた区間の地中深層構造を、非破壊手法によって精度向上を可能とする研究である。

図-9に研究成果の一例を示すが、硬質と軟質の地盤の境界の精度向上把握に成功している。こうした研究は、本論で扱っている河床低下予測において有用で、非破壊によるデータ取得であることから、特に調査に制約条件のある現場においては、研究の進展が期待される。

3. モニタリング状況

抜本的な対策を実施している中で当該帯工の効果をモニタリングにより検証している。次にその状況を示すが河床高と砂州の動向については、本論では紙面の関係から、モニタリングデータが最も蓄積されている試験施工で最初に着手したKP5.0を中心について報告する。

(1) 河床高の動向

平成27年度に試験施工着手のKP5.0を中心にその上下

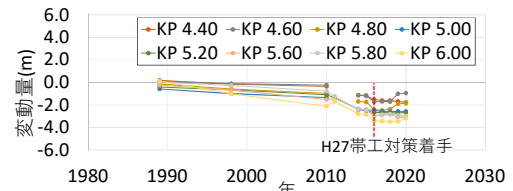


図-10 昭和54年基準の
平均河床高変動量の経年変化

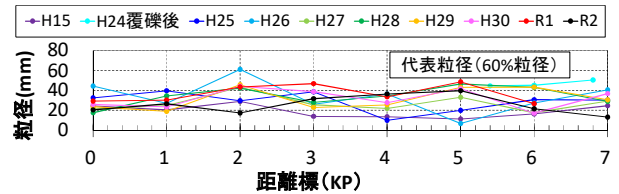


図-11 河床材料の経年変化（直轄管理区間）

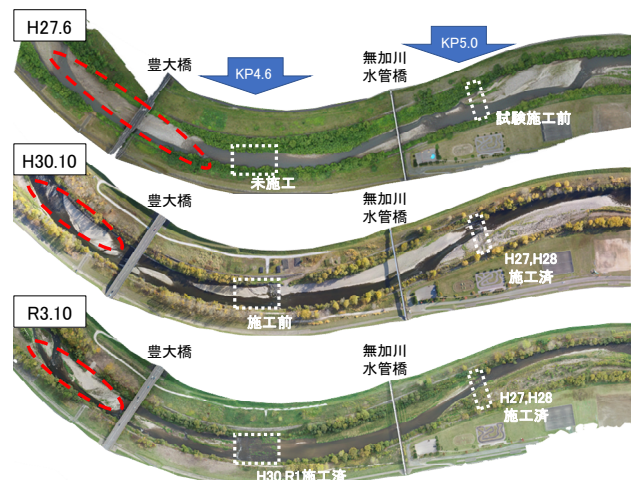


図-12 砂州の変動状況
(試験施工KP5.0の上下流区間)

流で順次整備をしたKP4.6（平成29年度及び平成30年度施工）とKP5.8（平成30年度及び令和元年度施工）の3地点を含む区間の200m毎の平均河床高の経年変化を図-10に示す。昭和54年を基準とした変動量で、対策実施後は多少の変動が見られるものの、その速度は緩速傾向、あるいは低下と復元をわずかに繰り返しているといった状況で、急激な低下は抑えられていることが確認できる。

(2) 河床材料の動向

図-11に直轄管理区間全川の代表粒径60%の河床材料の経年変化を示す。平成27年度調査以降は20mmから50mmの範囲で粗粒化と細粒化を繰り返している。KP7.0は、無加川第2 頭首工の復旧工事による影響で細粒分が多くなっている。

(3) 砂州の変動状況

KP5.0の上下流の砂州状況の変遷について対策前の平成27年6月と対策後の平成30年10月及び令和3年10月に撮影したものを図-12に示す。対策工設置後、対策工の上下流の砂州の発達形状に変化が現れ、約600m下流の豊大橋箇所の砂州が下流に移動したことが確認できる。

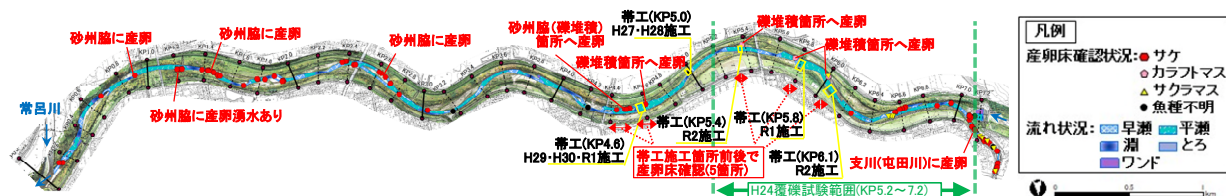


図-13 産卵床確認箇所（令和3年調査）

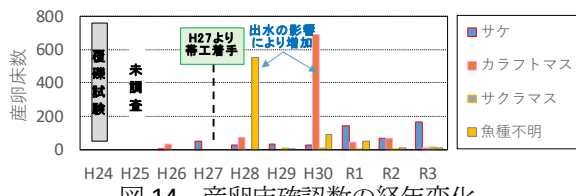


図-14 産卵床確認数の経年変化
（平成26年～令和3年調査）

(4) 産卵床調査

令和3年の9月と10月に実施した産卵床調査の確認箇所を図-13に、平成26年からの産卵床確認数の経年変化を図-14に示す。令和3年度の調査は、過年度の調査以来、最多のサケ産卵床数を記録した。帯工施工箇所の下流に巨礫を敷設し、そこに砂礫の復元も見られていることから、サケ科魚類の産卵に適した環境が帯工施工後も保全・創出が図られていると推察される。

4. 気候変動を踏まえた今後の取組みの方向性

平成28年8月の北海道と東北地方に1週間に3つの連続して押し寄せた台風により常呂川本川では戦後最大の洪水が発生した。支川である無加川においてもこの出水により上流区間で河床低下が進行し、橋脚の根入れ不足が進行するなどの事態が発生した。平成27年度より抜本的な河床低下対策を講じているが、今後も気候変動の影響による降雨の増大によって、洪水被害の激甚化はさらに進むことが想定されている。

こうした想定に対し、これまでは過去に発生した災害の経験を踏まえて対応すべき目標や整備内容を定め治水対策を講じてきたが、今後は気候変動による将来のリスクを踏まえた治水対策に転換することが急務となってきた。常呂川水系河川整備計画については、気候変動を踏まえた降雨量の増大によるリスク評価や、河川区域のみならず流域全体であらゆる関係者と治水対策を行う「流域治水」への取組の推進や戦後最大洪水の更新等を踏まえ、平成21年2月に策定した整備計画を見直し、変更計画を令和3年12月に策定した。変更した整備計画の中で、無加川の治水上の課題について「管理区間上流部においては、近年、礫河床の消失に伴う河床低下が進行しており、河川管理施設及び許可工作物が被災するおそれがある。このため、引き続きサケ等の産卵環境に配慮しながら、予防策等に取り組む必要がある。」と謳い、気候変動による被災のおそれがあるものの、豊かな河川環境を持続することの重要性も盛り込んでいる。そして河川整備の実施に関する事項については「河床低下区間においては、帯工等の設置について検討を行い、必要に

応じて実施する。河岸保護工や帯工の実施にあたっては、関係機関と連携を図りモニタリングしながら河道管理を行い、流域全体の河道の状況に配慮しつつ、多様性のある河岸等の形成に努める。」といった本論の取組内容が明確に記述された。現在取り組んでいる無加川河床低下対策は、あらゆる関係者が協働し、流域全体で水害を軽減させる治水対策の「流域治水」の取組である。

第2章（4）項の勉強会を通じて北見市が行った対応は、住民の安全に対する関係機関との連携により手遅れにならない時点で対応が講じられた。今回のような迅速な対応は地元大学や研究機関の河川工学や地盤工学の専門家の助言や協力が効果的に機能した結果である。

本取組は、関係機関も参画した合同現地踏査や一同に介する勉強会などの場において、関係者が共通の課題認識・情報共有を行うことで、効果的な予防対策や課題の解決が図られている好事例といえる。

今後も発生し得る洪水に備えて河床低下速度を遅らせる施策を進め、モニタリング結果等を関係者で注視するなど、引き続き連携しながら対応を図っていくこととしている。また、令和2年度に設立された常呂川流域治水協議会に本取組から得られたノウハウ等を共有し、流域のあらゆる関係機関との連携強化を図り、流域全体で治水対策の推進に取り組んでいくことが重要である。

参考文献

- 1) 高橋紳吾, 木下誠一, 鈴木利幸 無加川における河床低下要因の分析と対策について：平成 25 年度北海道開発局技術研究発表会
- 2) 小泉和久, 木下誠一, 鈴木利幸 無加川における河床低下対策について：平成26年度北海道開発局技術研究発表会
- 3) 高橋紳吾, 木下誠一, 鈴木利幸, 小泉和久, 渡邊康玄, 中村哲：常呂川水系無加川における軟岩河床の低下対策に関する試験施工とその有効性, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp229-234, 2014.6
- 4) 井上卓也, 船木淳悟：岩床と砂礫床が混在した河川における河床変動計算手法の構築：寒地土木研究所月報, No.737, 2014.10
- 5) 濱木道大, 戸村翔, 渡邊康玄, 井上卓也, 安田裕一, 古溝幸永 水理模型実験と現地試験施工を踏まえた軟岩露出河川に対する河床低下対策工の検討：河川技術論文集, 第 23 巻, pp477-482, 2017.6
- 6) 引地祥太, 川尻峻三, 近藤桂二, 鏡原聖史, 阿部勇治, 小泉圭吾, 中南力, 小山真輝：河川増水時の橋脚不安定化に関する地盤工学的なメカニズムとモニタリング手法の検討, 地盤工学会北海道支部技術報告集, Vol.61, pp.199-208, 2021.