

# 豊平川上流における河床洗掘対策について —帯工による河床洗掘対策の検討—

札幌開発建設部 札幌河川事務所 ○金谷 将志  
山下 彰司  
高橋 慶久

札幌市市街中心部を貫流する豊平川は河床勾配が大きく、洪水時には三角波が発生するなど河道内の洗掘・侵食を引き起こす高速で乱れた流れが伴うため、流水を安全に流下させることが課題となっている。特に8号床止から上流区間では、滯筋が固定化し河床洗掘が著しく、既設護岸の根入れが不足するなど、流水の作用に対する安全性が損なわれている状況にある。

このような背景のもと、本論文では河床洗掘対策工の治水効果及び河川環境への影響を検証したうえで、豊平川上流における河床洗掘対策を立案し考察するものである。

キーワード：自然災害、自然環境、河床洗掘

## 1. 豊平川の概要

豊平川は、札幌市と千歳市の境にある小漁山の西山麓を源として途中、白井川、真駒内川、月寒川、厚別川から水を集め、石狩川に合流する幹川



図-1 豊平川位置図

流路延長 72.5km、流域面積 902km<sup>2</sup>の石狩川の1次支川である。真駒内川から下流は扇状地を形成し道都札幌の市街地を河床勾配 1/150~1/300 の急勾配で貫流した後、雁来付近から下流は 1/1000 以下の緩勾配となっている。明治初期の豊平川は、扇状地に網状の河道を形成し、氾濫を繰り返していた。新水路や河道整備などの河川改修により、周辺流域は、広大な湿原から生産性の高い肥沃な農地や市街地等の居住空間に変貌し、現在の様相を呈している。

## 2. 豊平川の現状と課題

豊平川は、河床勾配が大きく洪水時には三角波が発生するなど高速で乱れた流れが生じる。このような流水の持つ強いエネルギーによって堤防等の安全性が損なわれて、ひとたび豊平川が破堤氾濫すると、流れの速い氾濫流が短時間で都市部に到達し、避難行動や避難誘導を困難にするだけでなく、道都札幌市の都市機能を麻痺さ

せるおそれがある。このことから、豊平川では、急流河川特有の流れの強大なエネルギーにより引き起こされる河道内の洗掘・侵食に対して耐えられる堤防、安定した河道が求められる。

近年、多目的ダムや発電のためのダム、土砂災害を防止する砂防施設等が建設され、その効用が発揮されている一方で、流況の平滑化による洪水攪乱の減少や下流河川への土砂供給の減少などの影響により、上流区間の河床低下や、それに伴う根固めブロックの倒壊・流出など、低水護岸の安全性低下が問題となっている。

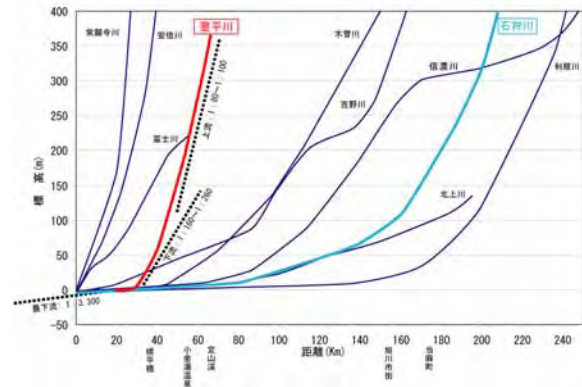


図-2 主要河川の縦断形状



写真-1 三角波の発生状況 (ミュンヘン大橋下流)

(1) 豊平川上流部の課題

a) 上流区間の河床高低下

豊平川における河床高の低下は、図-3で示すとおり、8号床止 (KP17.4付近) より上流区間で河床低下の傾向が顕著であり、ミュンヘン大橋の上流 (KP20.0) の河床高は、S56からH18までの間で、約2.9m低下している。

また、河床高の低下によって、護岸の根入れ不足し、根固めブロックの倒壊・流出が発生しており、河道の安全性が著しく損なわれている状況にある。

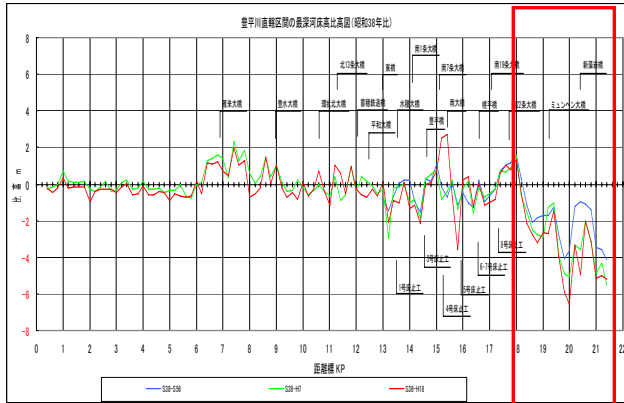


図-3 豊平川最深河床高比高図 (昭和38年比)

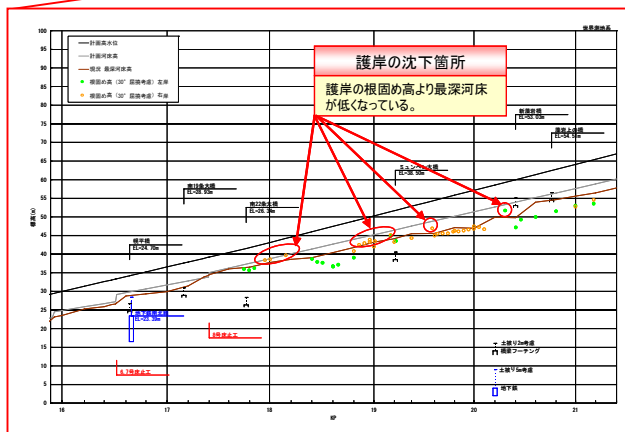


図-4 最深河床高と根固め高の縦断面図

b) 河道内の樹林化

昭和50年代の豊平川は、河道内に砂州の移動がみられ河畔林も少ない状況であった。しかし、近年、河道内において樹林化が進行し、河積阻害による水位上昇、堤防

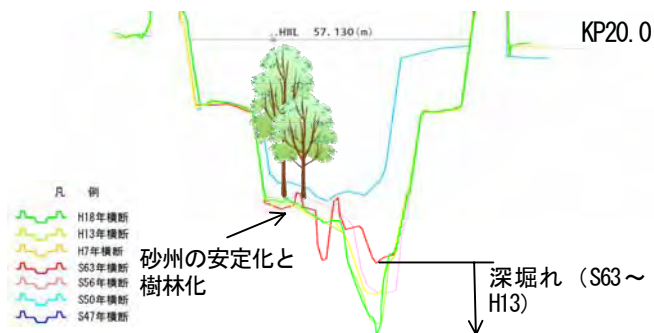


図-5 ミュンヘン大橋上流横断面図 (KP20.2)

沿いの高速流の発生、空間監視の阻害などの支障が生じている。樹林化の要因は、河床洗掘に伴う局所的な深掘れにより滯筋が固定化し、河道内の攪乱頻度の減少によって、砂州の安定化が進み樹林化が生じている。

c) 河床の露岩化

五輪大橋から上流域では、かつて砂礫に覆われていた河床が露岩化している状況にある。

今後、河床低下が進行した場合、岩河床化が下流部へ拡大する恐れがある。豊平川本来の砂礫河床が有する多孔河床状態が失われることによって、サケの産卵床の喪失や底生動物に影響をあたえ、河川環境の悪化が懸念される。



写真-2 河床の露岩化の状況 (藻南公園下流)

(2) 課題に対する対応

上流ダム施設の堆砂状況や砂防事業進展を勘案すると供給土砂量の更なる減少が見込まれ、今後、河床高低下、河道内の樹林化、河床の露岩化などの課題はさらに表面化することが想定される。

これらの課題に対して、豊平川の河床洗掘対策を立案し、実行することが必要となるが、河床洗掘対策の立案にあたって、重要となる事項を以下に示す。

a) 豊平川の目標の設定

河床洗掘の抜本的な対策は、豊平川における河床低下がどのような原因で生じているかを的確に把握し、流域全体の総合的な土砂管理の元、河川の縦断・横断形をどうするかなど、豊平川の目指すべき将来像を念頭に置いた対策が必要となる。

b) 将来の河床高の予測手法

河床洗掘対策による効果を適正に評価するため、豊平川の将来的な流出土砂の想定、流砂量の変化による河道の応答については最新の知見などを踏まえ予測手法は再現性の高い手法を用いることが重要である。

c) 対策工法の検討

床止、帯工、護岸根継、土砂供給などの複数の対策工法から、対策効果、経済性、自然環境への影響を踏まえ最適工法を選定する必要がある。

3. 河床洗掘対策の方針

(1) 河床洗掘対策の検討方針

a) 豊平川の目標の設定

豊平川には、橋梁・地下鉄等の多くの構造物が存在し、

また、高度に水利用や高水敷利用がなされている。

豊平川の改修は昭和56年8月洪水を契機に、高流速対策、低水容量の確保のための河川改修が実施されており、現在生じている河床低下対策に対する新たな河道改修計画の策定、河道縦横断面の見直しや適正な土砂管理のためのダムの排砂や砂防ダムのスリット化などの構造物の改良は早期の実現は難しく、長期的な視点で検討が必要である。

しかし、豊平川上流区間では、河床低下に伴い護岸が倒壊・流出して河道の安全性が損なわれる危険性が大きいことから、早急の対策が必要な状況である。

以上のことから、当面の目標として、早急に対策が必要な、8号床止から上流河道（図-6）の安全性を確保することを最優先として対策工を立案する。



図-6 河床洗掘対策の検討区間

b) 将来の河床高の予測手法

本検討に用いる河床変動解析は、全川の河床変動状態の把握であり、1次元河床変動解析モデルを用いて豊平川の土砂動態の再現性に留意して、表-1に示す条件のとおりとした。

c) 対策工法の検討

8号床止から上流河道の安全性を確保することを目的とした対策工法として、河床低下に追随して行う対策の「護岸根継ぎ案」（図-7）、今後の河床洗掘を解消するために河道を構造物により固定する対策の「帯工案」（図-8）や「床止案」（図-9）が考えられる。

上記の3案について、総合的に比較検討した結果、表-2に示すとおり、「帯工案」が最も経済的で、対策効果も高く、落差が生じないため環境への影響が少なく有効であると結論を得た。

表-1 1次元河床変動計算の条件（予測計算）

項目	帯工設置案
計算区間	KP0. 8~KP22. 8の約22km
計算期間	30年
計算流量	雁来観測所の昭和43年~平成9年の30年間日流量（計画高水流量配分比）
計算断面形状	平成13年測量横断形状 帯工敷設高は現況平均河床高とする
粗度係数	新河道計画粗度係数を使用する 低水路：0.022~0.037 高水敷：0.040~0.050
河床材料	平成5年度豊平川河道計画検討で検討された設定河床材料の粒度分布を用いる
起算水位	石狩川の現況H-Qを用いて石狩大橋観測所の流量より合流点水位を算出し起算水位として与える
掃流砂量式	平野の式
浮遊砂浮上量式	考慮する（板倉、岸の式）
給砂条件	河床高の検証結果を踏まえ、上流の砂防施設の堆砂実績に基づく動的平衡時の48%を流入土砂量として上流端に与える
その他	床止、岩露出部（KP21. 2）は固定点とする

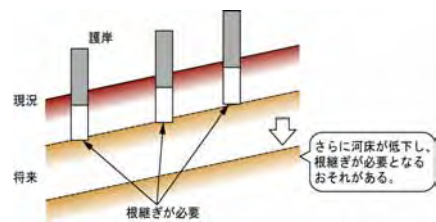


図-7 護岸根継ぎ案

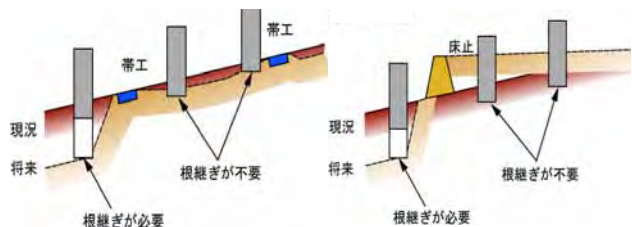


図-8 帯工案

図-9 床止案

(2) 帯工による河床洗掘対策

a) 帯工設置箇所選定

帯工の設置箇所の選定は、一次元河床変動解析による河床高の将来予測を用いて行う。帯工は河床を維持し橋脚の保護や支川合流部の河床洗掘抑制などを目的とするため、まず、支川合流地点のKP18. 4（山鼻川）、KP19. 4（精進川放水路）、KP20. 8（真駒内川）に帯工を3基配置した。3基では洗掘が抑えられなかったため、橋脚保護の目的を踏まえ、KP17. 8（南22条大橋）、KP20. 2（新藻岩橋）の2基を追加した。しかし、5基ではKP19. 0（ミュンヘン大橋）付近の洗掘が抑えられないため、KP19. 0に1基追加して、6基設置した結果、8号床止上流の全域の河床洗掘がおおよそ抑えられた。

表-2 対策工比較検討

	護岸根継ぎ案	帯工案	床止案
対策案の狙い	河床洗掘を許容し、河床洗掘しても流水の作用に対して安全性を確保できる護岸とする	現況河床高程度の高さで帯工を設置し、河床を固定することにより現状より河床が低下するのを抑制する	天端高が現況河床高より高い落差工を設置し、河床を固定することにより河床低下を抑制するとともに落差工上流での土砂の補足を図る
総合評価	経済性	事業費が床止設置案に次いで高い。(△)	事業費が最も高い。(×)
	河道維持	河床が維持できず、滞筋の固定化、樹林化が生じる。(×)	現状の河床をほぼ維持でき、恒久的な対策であり効果が高い。(○)
	河川環境	河床がアーマ化し、サケの産卵床や魚類、底生動物に影響を及ぼす。(×)	現況河床が維持され、帯工箇所に落差がないので、魚類等の生息環境への影響は少ない。(○)

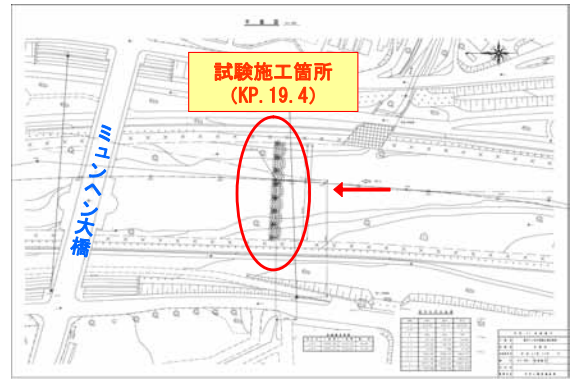


図-11 帯工試験施工位置図

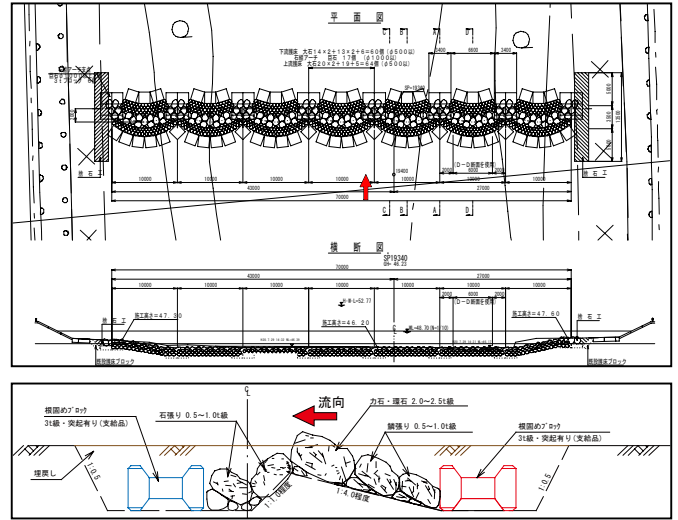


図-12 帯工試験施工平面・横断・縦断面図

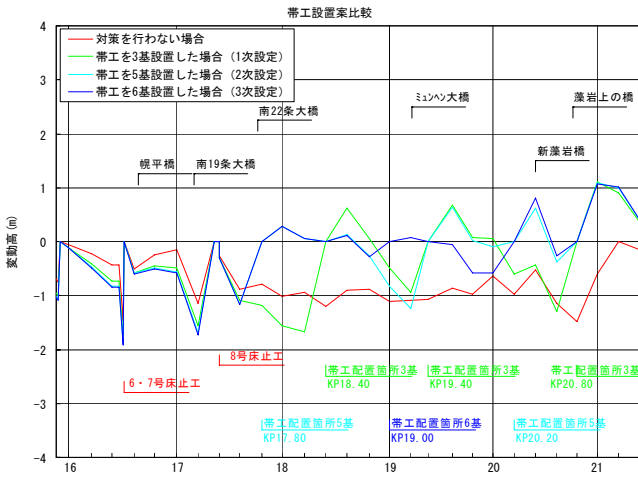


図-10 帯工案河床変動解析結果

#### 4. 帯工による河床洗掘対策の効果検証

##### (1) 帯工の試験施工

帯工設置による対策効果（河床低下傾向の抑制・河床高の維持）及び河床材料や自然環境への影響を把握することを目的として、平成 21 年度に K.P. 19.4 地点（ミンヘン大橋上流）に石組みによる試験施工を実施した。石組み工の施工にあたっては、直近10年最大流量規模（藻岩：740m<sup>3</sup>/s (H13.9/11)）を対象に、『近自然工法の石組み技術』（監修：福留脩文）を参考したアーチ構造<sup>1)</sup>とした。

##### (2) 帯工の効果検証

帯工による河床洗掘対策効果、石組みの安定性、河川環境への影響について、試験施工した帯工のモニタリング調査を実施して検証する。

対策効果及び安定性検証のためのモニタリング項目は、以下の通りである。

##### 【モニタリング調査項目】

##### a) 帯工設置による河床洗掘対策効果の検証

- ・出水による河床形状変化の把握（河床横断測量）
- ・出水による砂礫移動状況の把握（砂礫移動観測）
- ・出水時の外力の把握（縦断的な水位観測）

##### b) 帯工の安定性の検証

- ・出水による巨石移動状況の把握（巨石位置計測）

##### c) 帯工設置による環境への影響の把握

- ・現状の動植物生息生育状況の把握（生物調査）

##### (3) 帯工設置による河床洗掘対策効果の検証

##### a) 検証対象洪水

豊平川における平成 22 年度の年最大流量は 12/3 に発生した（藻岩地点：291m<sup>3</sup>/s）この出水前後及び出水中のモニタリング調査を行う。

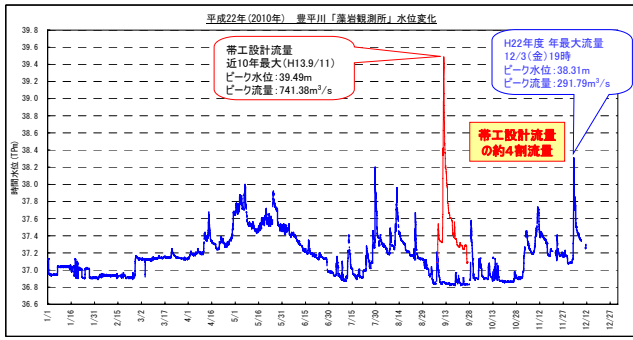


図-13 平成22年「藻岩」水位ハイドロ



写真-3 12/3 出水直後の帯工地点の状況

#### b) H22 最大出水による河床形状変化の把握

出水前後の帯工周辺の河床横断測量を実施し、出水による河床形状変化を把握する。今回の出水では、大規模な河床形状変化は見られなかった。

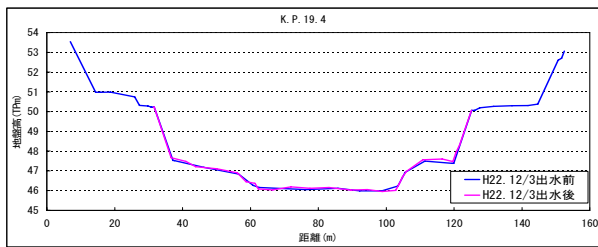


図-14 出水前後の帯工直上流 (K.P. 19.4) 横断形状の変化

#### c) H22 最大出水による砂礫移動状況の把握

帯工の土砂捕捉効果、及び出水時の土砂の移動実態を検証するため、水中・河床下からでも受信可能な低周波発信機を埋めこんだマーカーステップレンクス<sup>2)</sup>を試験施工箇所上流に設置し、その移動状況を計測する。

観測礫は帯工の約2m上流に2個設置し、出水時の礫の移動状態を検証するため、帯工の約50m上流に3個設置した。なお、礫の大きさは掃流力による移動実態を把握するため、現地最大径  $D_{max}300mm$  と  $D_{80}200mm$  の2種類を設置し、移動状況の差を比較した。観測の結果、平均年最大流量規模以下であった本出水においても、現地90%粒径(250mm)の無次元掃流力は0.05を上回り、40m以上(粒径の150倍)移動することを確認した。

土砂移動に関する Pick-up-rate や Step-length に関する研究は中川・辻本などの研究があるが、礫径が200mmなどの大きな礫を対象とした実河道での観測された事例はなく、今後掃流力の作用時間等を評価し、礫の移動状態について検討を行う予定である。



写真-4 低周波発信機



写真-5 観測礫

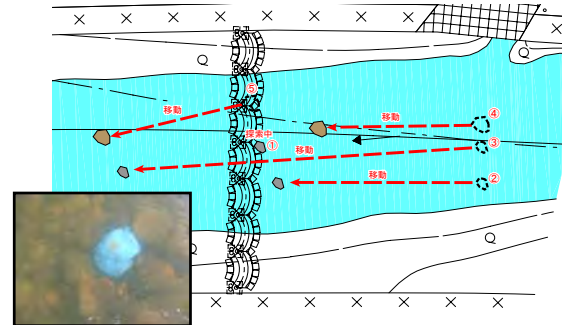


図-15 観測礫の移動状況 (K.P. 19.4 付近)

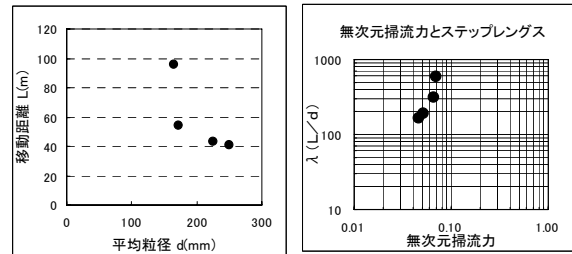


図-16 観測礫の移動と掃流力

#### d) H22 最大出水時の外力の把握

帯工周辺の出水時の外力(水位変動、掃流力、摩擦速度等)を詳細に把握するため、小型簡易水位計による縦断的な水位観測を実施する。

帯工試験施工箇所(約 K.P. 19.4)の上下流、約500m間隔で4基の水位計を設置し、出水時の水位観測を行った。

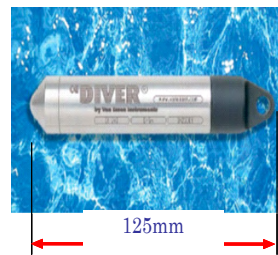


写真-6 簡易水位計



写真-7 水位計設置状況

#### (4) 帯工の安定性の検証

##### e) H22 最大出水による巨石移動状況の把握

試験施工の帯工の力石端部に設置されている7箇所の観測点の位置を計測し、帯工の変状を調査する。

12/3 出水後に観測点の位置・高さを計測し、施工直後の諸元との比較を行ったところ、変化は確認されなかったことから、今回の出水規模の洪水に対しては、石組み構造は安定している。

**(5)環境影響モニタリング**

河床洗掘対策工の実施による動植物の生息生育環境への影響をモニタリングするため、帯工周辺の生物調査を実施した。調査については、魚類相調査（H22.9月）、鳥類相調査（H22.8月,10月）、河畔林調査（H22.9月）を実施した。

環境調査の結果、生物相に関しては、いずれの生物種も既往の河川水辺の国勢調査結果等と比べて大きな変化は見られなかった。また、帯工上流のK.P.19.45においてサクラマス親魚が確認されたことから、帯工が水生生物の遡上阻害となっていないことを確認した。

表-3 魚類確認種一覧

科名	No.	種名	2010.9/24(金)		9/25(土)
			帯工下流	帯工上流	真駒内川合流地点
ヤツメウナギ	1	スナヤツメ	2		
		カワヤツメ属の一種 <sup>※2</sup>			2
コイ	2	ウグイ	9		
	3	エゾウグイ	1	12	30
		ウグイ属	42 (他多数)	13	31 (他多数)
ドジョウ	4	ブクドジョウ	14	6	23
サケ	5	ブラウントラウト			1
	6	サケ	2		
	7	サクラマス	2	2	
		ヤマメ(サクラマス幼魚)	24	50	50
トゲウオ	8	イトヨ日本海型	1		
	9	イバトラミヨ	2		
カジカ	10	ハナカジカ	6	8	13
ハゼ	11	ジュズカケハゼ		1	
テナガエビ		スジエビ	6 (他多数)	5	9 (他多数)



写真-9 サクラマスの産卵床

写真-10 採捕した魚類

**5. 考察**

以上の検討結果に関する考察は次のとおりである。

- ・当面の河床洗掘対策工法については、帯工が最も有効な対策であり、帯工を6基設置することにより、概ね現況の河床高を維持することが可能である。
- ・礫の移動状況モニタリングの結果、当該区間では、平均年最大流量規模より小さい流量でも、現場の最大粒径規模の礫が移動することを確認した。
- ・一方で、帯工周辺の河床高に大きな変化は見られないことから、現状の土砂動態としては、出水により土砂は移動しながらも上流からの土砂供給により河床高が安定している動的平衡状態にあると考えられる。
- ・土砂管理の目標設定に当たっては、上流のダムや砂防施設の堆砂・排砂実績を調査し、上述の土砂供給源の把握と今後想定される供給土砂量の設定が課題である。
- ・礫の移動モニタリングでは、床止めにより捕捉されているように見られる礫もあるが、今後出水時の掃流力を評価し、大きな礫の移動状態について観測を行い、豊平川の土砂移動状態を把握することが必要である。
- ・帯工構造の安定性については、平均年最大流量規模の

出水においては、現在の石組み構造でも問題ないことを確認した。しかし、計画流量規模については今後の検討が必要である。

- ・帯工施工による生物生息環境への影響については、今年度も施工前と同様にサクラマスの親魚の遡上やサケの産卵床が確認されたことから、帯工施工による影響はほとんどないと考えられる。
- ・以上より、現在の豊平川の河床は動的に安定状態になりつつあるが、今後の土砂供給量等、不確定要素も多いため、現地の変化を継続的にモニタリング調査しながら、河川の体質改善や流域全体の適正な土砂管理など長期的な視点の対応策を検討していく必要がある。

**6. あとがき**

豊平川上流にみられる河床の露岩化や滞筋の固定化に伴う河畔林繁茂は、過去に行われた砂利採取、利水事業等に伴う土砂供給の減少と河川流況の安定化に伴う攪乱頻度の減少が原因と考えられる。これらの現象は河川環境に影響を及ぼすことは勿論、維持管理費の増大につながる事が考えられる。こうした中で維持管理費をはじめとしたコスト削減は急務の課題である。

今回の検討が河川利用と河川環境のバランスをとりながら、より効率のよい河川管理につながればと思う。

**参考文献**

- 1) 福留脩文・有川崇・西山穩・福岡捷二：石礫河川に組む自然に近い石積み落差工の設計、土木学会論文集 F Vol.66 No.4、490-503、2010.10
- 2) 水野益宏、江島敬三ら：安倍川砂防における低周波を用いた土砂移動実験、平成17年度砂防学会研究発表会概要集、pp.136-137、平成17年5月