

豊平川における河道変遷と平成23年出水後の河道状況について

札幌開発建設部 河川計画課 ○工藤 拓也
小西 英敏
札幌河川事務所 計画課 金谷 将志

石狩川の主要な支川である豊平川は札幌市中心部を流れる急流の河川であり、上流部分では河床洗掘が進んでいる箇所も見られることからその検討と対策が急がれる。洗掘対策検討の基礎資料とするため、流域全体の状況や河川管理施設等の影響を確認しながら、これまでの河川整備による河道状況の変遷や、平成23年出水後に新たに得られた種々のデータを用いて豊平川全体の河道形成のメカニズムについて検討した。

キーワード：河道状況変化、河床洗掘

1. はじめに

(1) 流域及び河川の概要

豊平川はその源流を小漁山に発し、溪谷を流下して真駒内川を合流したあたりから扇状地を形成する。この扇状地は豊平川扇状地と呼ばれ、ここに発展した道都札幌の市街地を河床勾配を1/150～1/300の急勾配で貫流した後、雁来付近から1/1,000以下の緩勾配となり、石狩川に合流する幹線流路延長72.5km、流域面積902km²の石狩川1次支川である。豊平川の流域図を図1-1に示す。

(2) 流況の概要

図1-2に雁来地点における年最大流量を示す。昭和48年から平成21年までの平均年最大流量は440m³/sである。また近年の代表的な洪水としては昭和56年8月の下旬の

洪水が挙げられる。この出水では豊平川において戦後最大の流量1417.19m³/sを記録し、下流部の支川周辺では浸水被害が発生した。

また平成23年9月に発生した出水では、ピーク流量が1,090m³/s（速報値）となり、最近の30年で見ると昭和56年洪水に次ぐ大きな出水となった。

(3) 河道特性の概要

表1-1に豊平川のセグメントの区分と平均河床勾配、代表粒径、図1-3に平成18年の平均・最深河床高の縦断面図を示す。

セグメント2-2区間である石狩川合流点からKP6.0付近までの新水路区間を含むKP10.2までは河床勾配が緩やかである。

また、セグメント1区間であるKP10.2～KP21.4については河床勾配が急であり、KP13.4からKP17.2にかけては床止めが設置されている。

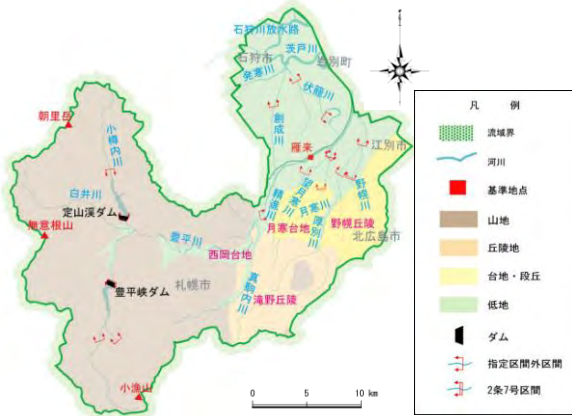


図1-1 豊平川流域図

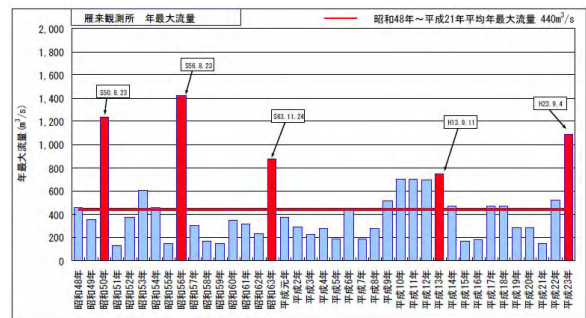


図1-2 年最大流量（雁来地点）

表 1-1 豊平川の河道特性

セグメント	2-2	2-2	1	1
	~KP8.0	~KP10.2	~KP13.42, ~KP15.93	~KP21.4
河床勾配	1/4,300	1/1,800	1/380, 1/230	1/160
代表粒径	0.52mm	0.8mm	57.9mm, 94.5mm	125mm

2. これまでの治水対策等について

主な治水の沿革は、明治14年（1881年）に初めての堤防が札幌市街地左岸に築かれたことに始まる。石狩川への合流点を下流に切り替える豊平川新水路が整備されると共に堤防が連続化した。

その後、市街地区間における河床低下対策のための床止め設置や、河岸保護、高水敷利用のために低水護岸の整備などを行ってきた。また、昭和56年（1981年）洪水では高水敷が被災したため、堤防の保護対策などを行ってきた。

(1) 直轄管理区間の主な河道改修 (KP0.0~KP21.4)

a) 築堤

札幌市は豊平川扇状地上に位置し、度重なる豊平川の洪水の被害を受けていた。そのため明治14（1881年）年頃、市街地側の左岸に堤防を整備した。その後、市街地の拡大に対応して左岸堤防が築かれ、昭和15年（1940年）に市街地区間の左右岸の堤防が連続化した。

b) 新水路、河道掘削

石狩川への合流点は現在より上流であったが、石狩川への合流点を下流に約6km切り替える豊平川新水路が昭和16年（1941年）に通水した。また、昭和41年（1966年）以降、昭和50年代にかけて新水路区間上流KP6.0からKP12.0付近までの河道掘削を行った。

c) 護岸

堤防、水衝部の防護のため、低水護岸を昭和3年（1928年）から部分的に整備された。昭和46年（1971年）から堤防防護と併せて、高水敷利用促進のため高水敷整備を進め、昭和57年（1982年）頃には市街地両岸の低水護岸が連続化した。その後、8号床止め上流のKP18.8からKP21.4の河床低下に伴い、昭和62年（1987年）～平成4年（1992年）にかけて最大3.6m低水護岸の根継ぎを行った。

d) 床止め

札幌市街部の河道の安定と既設護岸や橋脚部の局所洗掘対策を目的として昭和25年（1950年）から昭和48年（1973年）にかけて7基の床止めを設置した。平成19年（2007年）から、長年の洪水の作用に対する老朽化に伴い順次改築を行っている。

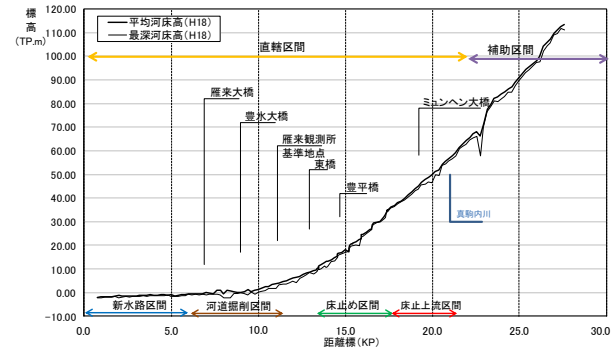


図 1-3 豊平川縦断面

(2) 上流域における主な事業 (KP21.4より上流)

a) ダム事業

昭和40年（1965年）に策定された石狩川水系工事実施基本計画に基づき、洪水調節施設として、豊平峡ダムが昭和47年（1972年）に完成し、支川の小樽内川に定山溪ダムが平成元年（1989年）に完成した。流域にはその他発電用ダムや上水道用水のための取水ダムがある。

b) 砂防事業

豊平川にある22の溪流では補助及び直轄で砂防事業が実施され、砂防堰堤、遊砂地、床固工群、溪流保全工の整備が行われている。

3. 河道状況の変化

これまでの河道改修によって大きく豊平川河道を分類すると、図1-3にも示す通り、石狩川合流点からKP6.0までの新水路区間、KP6.0からKP12.0付近までの河道掘削区間、KP13.4からKP17.2まで床止区間、KP17.2より上流の床止上流区間に分けることができる。

これらの河道状況の変化を整理するため、昭和48年（1973年）から平成18年（2008年）までの6年代の定期横断測量データ、平成4年（1992年）から平成18年（2008年）までの4年代の河床材料調査データを利用して、河床高や代表粒径、平均年最大流量時の川幅、摩擦速度の変化をについて、2つのセグメントに分けて考察を行う。

(1) セグメント2-2区間 (KP0.0~KP10.2)

図3-1、図3-2に平均・最深河床高の昭和28年（1953年）からの変動量を示す。KP0.0からKP6.0までの新水路区間は経年的に河床が安定している。新水路の上流KP6.0からKP12.0付近の河道掘削を実施した区間は河床高が変化しているが、平成7年（1995年）から平成18年（2006年）の河床高の変化は少ない。

図3-3は川幅の経年変化を示している。新水路区間よりも上流 (KP6.0~KP12.0) については、新水路の川幅に合わせて河道掘削を実施し、拡幅を行っている。

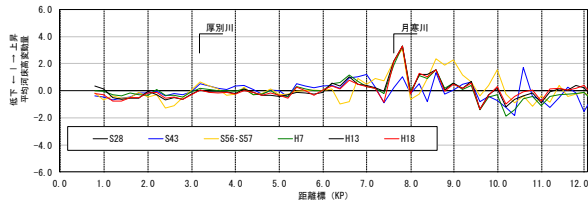


図 3-1 平均河床高の経年変化 (KP0.0~KP12.0)

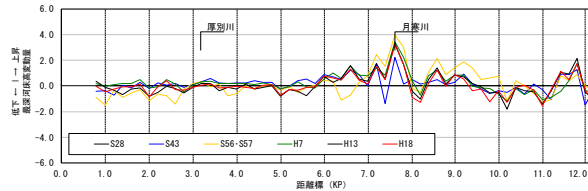


図 3-2 平均河床高の経年変化 (KP0.0~KP12.0)

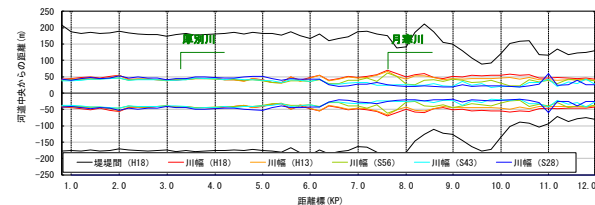


図 3-3 川幅の経年変化 (KP0.0~KP12.0)

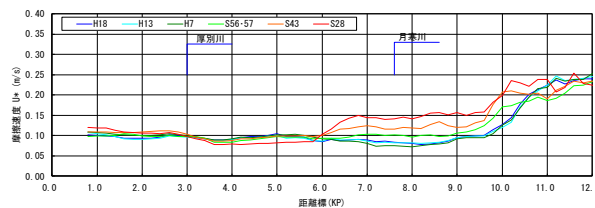


図 3-4 摩擦速度経年変化 (KP0.0~KP12.0)

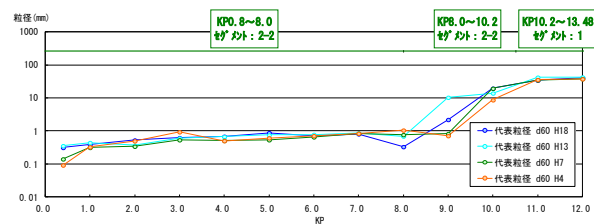


図 3-5 代表粒径の経年変化 (KP0.0~KP12.0)

図3-4に摩擦速度の経年変化を示すが、河道掘削区間については拡幅したことに伴い、摩擦速度が低下しているが近年は安定している。

図3-5に各断面の代表粒径の経年変化を示す。全体的に河床材料の変化は見られない。KP9.0は平成13年(2001年)に粗粒化している。これはKP9.0が河床勾配の変化点であり、平成13年(2001年)出水による土砂移動があったものと推測される。

(2) セグメント1区間 (KP10.2~KP21.4)

Takuya Kudo, Hidetoshi Konishi, Masashi Kanaya

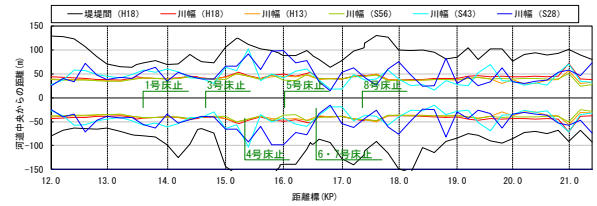


図 3-6 川幅の経年変化 (KP12.0~KP21.4)

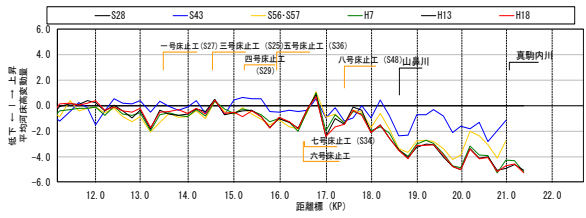


図 3-7 平均河床高の経年変化 (KP12.0~KP21.4)

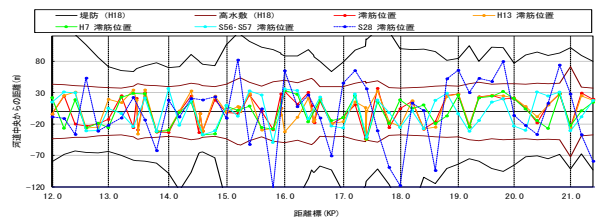


図 3-8 滞筋位置の経年変化 (KP12.0~KP21.4)

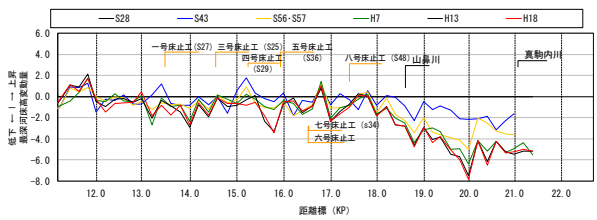


図 3-9 最深河床高の経年変化 (KP12.0~KP21.4)

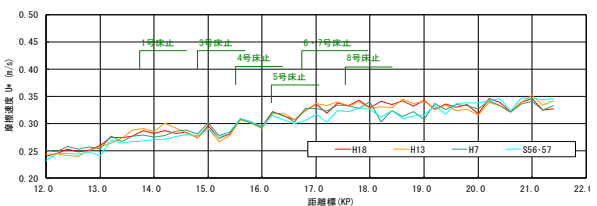


図 3-10 摩擦速度経年変化 (KP12.0~KP21.4)

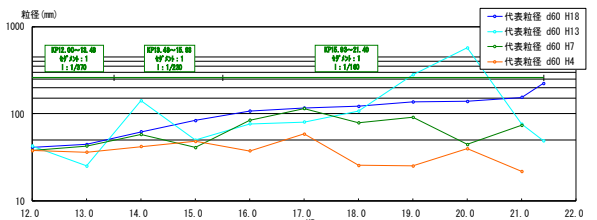


図 3-11 代表粒径の経年変化 (KP12.0~KP21.4)

図3-6に川幅の経年変化を示す。高水敷利用促進のための高水敷整備を進め、昭和57年(1982年)頃には両岸に低水護岸が連続化したことにより、縦断的に川幅は同

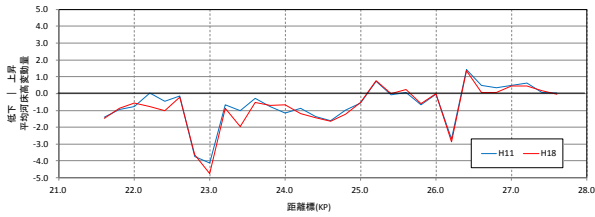


図 3-12 直轄上流区間の平均河床高の変化 (KP21.6~KP27.8)

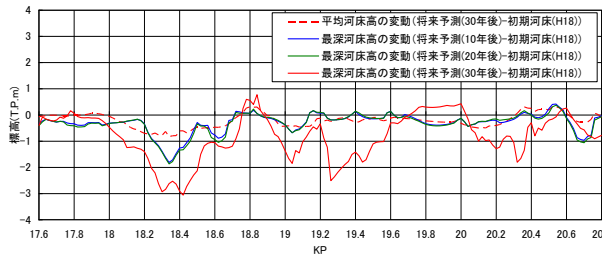


図 3-13 河床高の将来予測 (KP17.8~KP20.0)

程度となった。

図3-7に平均河床高の変動量を示す。床止区間では平均河床高に大きな変化は見られないが、8号床止め下流では河床が低下傾向にある。

図3-8は滲筋の経年変化を表しているが、近年滲筋が固定化されている。このため図3-9に示すように床止区間の最深河床高の変動量を見ると、局所的な洗掘により河床低下傾向にある。

8床止め上流の区間については昭和20年代(1945年)から平成7年(1995年)まで、平均・最深河床高共に低下傾向にある。平成7年以降の平均河床高に大きな低下は見られないが、最深河床高は平成18年(2006年)にかけても、滲筋の固定化により低下傾向である。

図3-10は摩擦速度の経年変化であるが、各床止間で局所的な洗掘により、摩擦速度が増加している。また床止上流区間(KP17.2~)で摩擦速度の増加が大きいことがわかる。

図3-11は各断面における代表粒径の経年変化を示す。大きな河床変化が見られない床止め区間においては、河床材料の変化も少ないが、局所的な河床低下傾向が伺える床止上流区間では、河床材料も粗粒化する傾向にある。

(3) 上流域 (KP21.4~) について

図3-12はKP21.6からKP27.6までの平均河床高の昭和53年(1978年)からの変動量を示す。KP21.4より上流の河床高については局所的に洗掘している箇所はあるが、近年河床高の変化は少ない。また、この区間の河床は露岩している箇所が多く確認されている。

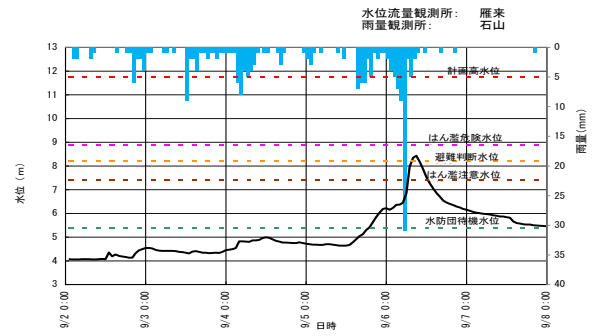


図 4-1 平成 23 年 9 月出水の水位・雨量



写真 4-1 平成 23 年出水状況 (6 日 15 時頃, KP14.0 付近)

(4) 河道状況の変化と課題の抽出

これまでの治水事業によって堤防の安全が確保された一方、川幅の縮小などによって河床が低下傾向となっている区間があり、現状では以下のような土砂動態に起因する豊平川河道の課題が考えられる。

- ・河床高の長期的変動傾向は、床止区間に対して、床止上流区間において滲筋の固定化に伴う河床洗掘が顕著である。
- ・昭和56年(1981年)出水時には局所的な洗掘・堆積傾向が確認されており、平成13年(2001年)出水を含め、流量の増大が河床洗掘につながっている。このため、今後も河床洗掘が進むと護岸の被災や橋梁などの施設管理に影響がある。

図3-13にKP17.6からKP20.8の河床変動解析の結果を示す。将来予測に与えた流量は昭和54年(1979年)から平成20年(2008年)までの実績時間流量(無次元掃流力が0.05以上となる400m³/s以上の流量、ただし、昭和56年8月下旬洪水を除く)である。10年後、20年後は最大で700m³/sから900m³/s程度である。30年の実績流量を流下させた後、整備計画流量(1900m³/s)を流下させている。

この結果からも大きな出水によって河床低下が進行すると考えられる。平成23年(2011年)9月出水による河道状況の変化を確認し、解析結果の検証を行った上で床止め上流区間の河床洗掘対策の検討を進めることとした。

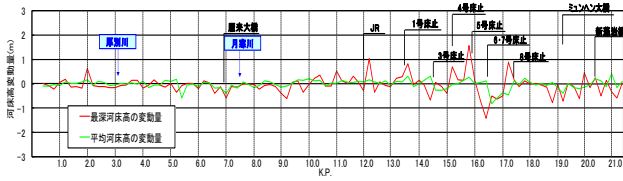


図 4-2 直轄区間 200m ピッチの河床高変動量 (H18→H23)

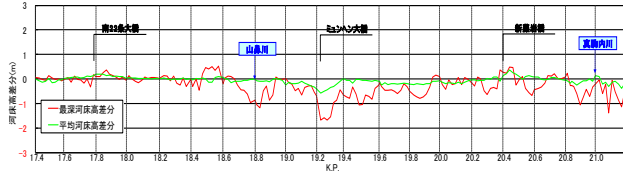


図 4-3 上流区間 20m ピッチの河床高変動量 (H22→H23)

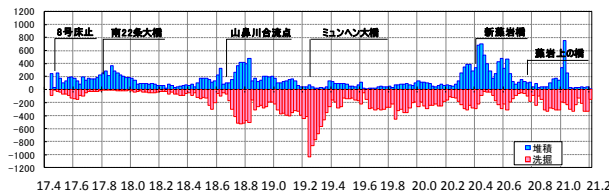


図 4-4 H23 出水前後の土砂変動量

4. 平成23年9月出水前後の河道変化

(1) 平成 23 年 9 月 出水の概要

図 4-1 に今回の出水の雁来観測所における水位と石山観測所における雨量の変化を示す。平成 23 年 (2011 年) 9 月出水は、豊平川の雁来地点においてピーク水位 8.43m、ピーク流量 1,090m³/s (6 日 8 時: いずれも速報値) の洪水規模となり、昭和 56 年 (1981 年) 8 月洪水以降、最も大きい洪水であった。氾濫被害はなかったものの、高水敷が冠水し、河川敷公園が浸水する箇所が見られた。

痕跡水位によると、雁来大橋より下流の今後河道掘削が予定されている区間 (~KP7.0)、及び苗穂 JR 橋 (JR) より上流の今後河道内樹木の伐採により流下能力を確保していく区間 (KP12.0~) において、高水敷の冠水が確認されている。

(2) モニタリング調査の実施状況

出水時の流況や出水前後の河道変化を把握するため、大規模出水時調査要領 (案) 等に準じ、以下のモニタリング調査を実施した。

a) 出水時の状況

- ①洪水痕跡調査 (直轄区間: 200m ピッチ左右岸)
- ②水位・流量観測 (雁来、藻岩、石山観測所)
- ③縦断水位観測 (簡易水位計: 約 500m ピッチ)
- ④浮遊砂観測 (石山、雁来)
- ⑤上流ダム排砂ゲート操作状況 (藻岩取水堰)

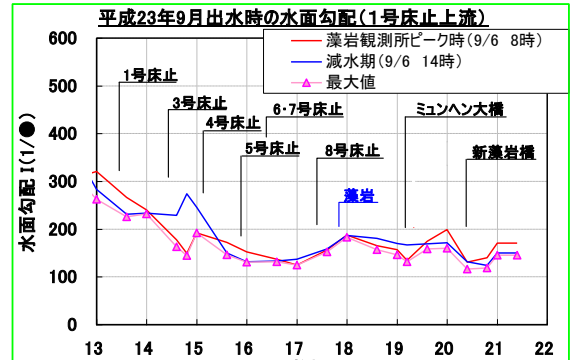
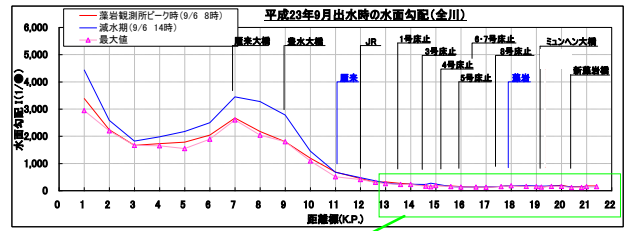


図 4-5 ピーク時及び減水期の水面勾配縦断面図 (下段は上流詳細)

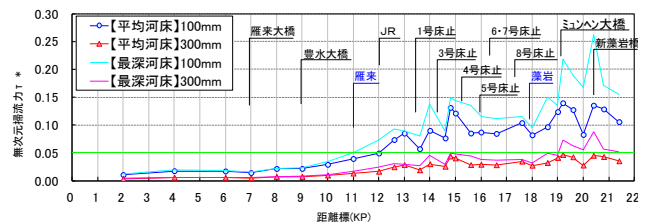


図 4-6 粒径別無次元掃流力の変化

b) 出水前後の変化

⑥河道測量

- ・定期横断測量 (直轄区間: 200m ピッチ)
 - ・低水路詳細横断測量 (8号床止上流: 20m ピッチ)
- #### ⑦河床材料調査 (直轄区間: 1km ピッチ)
- #### ⑧河畔林調査 (直轄区間: 位置情報・流出の有無等)
- #### ⑨その他 (出水前後の航空写真、サケ産卵床位置等)

(3) 出水前後の河道変化

前節に示したデータを用いて、出水前後の河道変化を把握した。図 4-2 に、定期横断測量結果 (200m ピッチ、出水前: H18、出水後: H23.10 月) に基づく直轄区間全川の河床高変動量を、図 4-3 に床止上流区間 (KP17.4~KP21.4) の詳細横断測量結果 (20m ピッチ、出水前: H22.9 月、出水後: H23.10 月) に基づく河床高変動量を示す。

直轄区間全体の河床高の変化傾向を見ると、平均河床高は 6・7 号床止から 8 号床止の区間 (KP16.6~KP17.2) を除いて比較的安定しているのに対し、最深河床高は 8 号床止より上流区間等、局所的に低下している状況が伺える。特にミュンヘン大橋付近 (KP19.2) 左岸では、20m ピッチの詳細測量 (H22.9 月→H23.10 月) において、最

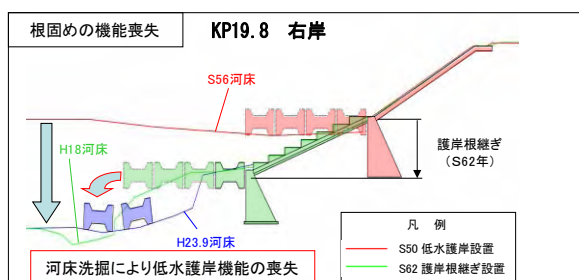


図 4-7 根固めブロックの被災状況 (KP19.8)

大 1.67m の最深河床高の低下が見られる。

図 4-4 は、床止上流区間の出水前後の河積の変化量から土砂変動量を求めたものを示す。特に山鼻川合流点付近 (KP18.6) からミュンヘン大橋上流付近 (KP18.9) の河床洗掘が大きいが、KP17.2 から KP21.4 の床止上流区間全体で、河床の低下のみならず洗掘や堆積が大きかったことがわかる。

(4) 出水時の水理特性に関する考察

図 4-5 に、簡易水位計による縦断水位観測結果に基づく、ピーク時 (6日8時) と減水期 (6日14時) の水面勾配縦断図を示す。

これを見ると、5号床止 (KP15.9 付近) を境に水面勾配が変化しており、上流側はピーク時で概ね 1/120 程度である。特に新藻岩橋周辺 (KP20.4) やミュンヘン大橋周辺 (KP19.2)、及び 5号床止上流から 8号床止下流にかけての区間 (KP16.0~KP17.0) の水面勾配が急であり、これらの箇所は、出水前後で河床高が大きく低下した箇所と概ね一致している。

図 4-6 はピーク流量時 (6日8時)、平均・最深河床高における水位と、現地最大粒径クラス (300mm) と、代表粒径程度 (100mm) に対する無次元掃流力の縦断図である。代表粒径程度の粒径の土砂は雁来観測所付近 (KP12.0)

まで動いていたと考えられる。また、KP19.2 付近ではピーク時に現地最大粒径 (300mm) の礫が移動するほどの掃流力が作用していたと考えられる。

(6) 今後の整備について

今回、昭和 56 年 (1981 年) 洪水に次ぐ規模の出水が発生したことにより、土砂の堆積や洗掘により河道状況が変化した。

出水前後の河床高変動量を見ると、平均河床高の低下に対し、局所的に最深河床高が大きく低下しており、前章で過去からの河床変動量の整理を行った結果、課題として挙げた、床止上流区間の河床低下の問題が改めて明らかとなった。

また局所洗掘に伴う根固めブロックの倒壊・流出により、低水護岸の機能喪失が確認されており、KP18.8 から KP20.0 付近にかけての右岸湾曲水衝部の状況を図 4-7 に示す。当該箇所は、過去に低水護岸の根継ぎを行っている箇所であるが、根固めブロックの倒壊、流出によって根固めブロックが 1 列しか残っていない状態であり、現在緊急的に洗掘防止のための対策を行なっている。

床止上流区間については、局所的な洗掘が続いていることから、低水護岸の根継ぎと合わせて現況の河床高の維持を意識した対策が必要と考えている。

5. おわりに

今回、豊平川における河川整備と、河道状況の変化について整理を行い、現状の豊平川が持つ河道の問題点と課題の抽出を行なった。また、大規模出水時調査要領に基づき出水前の準備を行うことによって有用なデータが得られた。さらに平成 23 年 9 月に発生した昭和 56 年 (1981 年) 以来の大きな出水による河道状況の変化を確認することで改めて課題として挙げた床止上流区間の河床洗掘対策が急がれることが改めて明らかとなった。

現在、今回の出水におけるモニタリングデータを活用して詳細な検証解析を行い、河床変動解析モデルの予測精度の向上を図り、効果的かつ効率的な対策工の検討を進めているところである。

参考文献

- 1) 河道計画検討の手引き：財団法人国土技術研究センター編
- 2) 大規模出水時調査要領 (案)：国土交通省 北海道開発局 河川計画課、独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所