

豊平川8号床止における老朽化対策について —河道特性を考慮した床止の設計—

札幌開発建設部 札幌河川事務所 計画課

○横山 享平
大山 孝
川井 淳一

豊平川の床止群は、河床低下対策など河道の安定化を目的に昭和25年から昭和48年にかけて設置された。しかし、長年の流水の作用により破損、磨耗、空洞化等が生じており、洪水時の安全性が損なわれている状況にあったことから、平成19年より順次改修工事を実施しているところである。本論文は、床止群のうち8号床止において、平成23年9月洪水の影響による河床変動形状等を考慮した床止施設設計について報告するものである。

キーワード：計画手法、構造物の改築、河床洗掘

1. 床止設置の経緯

1.1 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流路延長72.5km、流域面積902km²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が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。



1.2 床止設置の背景と目的

豊平川では以下の要因により戦前から河床低下が発生し、既設護岸や橋脚の洗掘被害が発生、用水の取り入れにも支障をきたすようになり対策が必要となった。

- ① 大正9年に上流に発電用ダム等が建設されたため下流への土砂供給が減少
- ② 治水工事の進展により乱流は整理された反面、水深・勾配がまして掃流力が増加
- ③ 札幌市の発展に伴う砂利採取の増加

このような豊平川の河道状況に対して、洗掘防止、橋脚保護の緊急措置として1, 3, 7号床止を昭和25~27年に施工するとともに、昭和29年に既設3箇所を含む計画7箇所の床止全体計画を立案して4, 5, 6号床止を施工した。更に、昭和45年には豊平川河道計画における床止計画の見直しを行い、予定していた2号床止を削除するとともに、新たに8号床止が計画され、昭和48年に施工した。図-1に河床高（平均河床高、最深河床高）の経年変化図を示す。

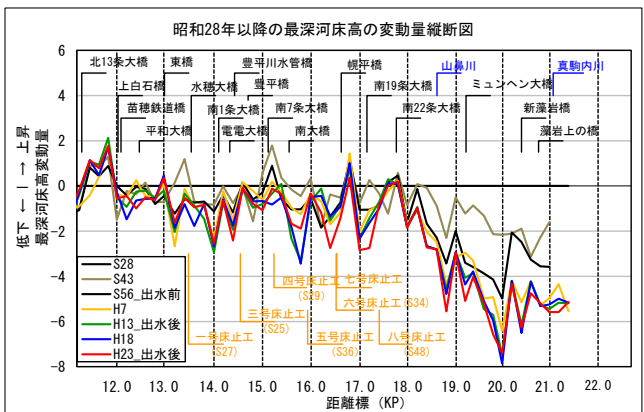
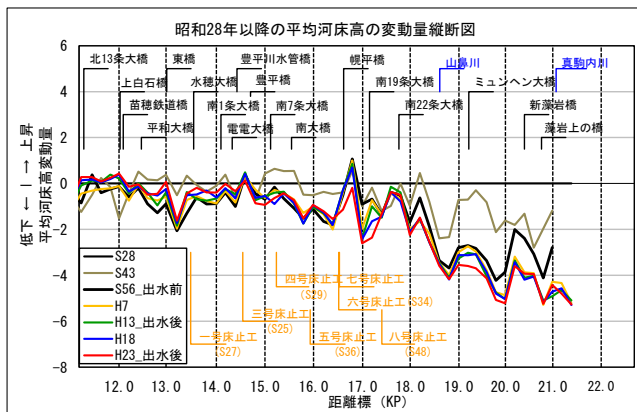


図-1 河床高の経年変化（左図：平均河床高、右図：最深河床高）

2. 床止の現状と課題

2.1 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（図- 2参照）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。

一方、豊平川における河床高の低下は、図- 1に示すとおり、8号床止（KP17.4付近）より上流区間でそ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、護岸の根入れが不足し、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。

これらから、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。



図-2 三角波の発生状況
(昭和56年出水、ミュンヘン大橋下流)

2.2 床止老朽化の現状と課題

(1) 床止の現状と老朽化対策

床止工群は、昭和25年～昭和48年に設置されて以降も災害復旧により補強・補修が行われてきている。しかし、設置後50年以上を経過していることから現地調査を実施した結果、老朽化による本体の摩耗・剥離・空洞化などの損傷が確認され、施設の安全性の確保の観点からも早急な対策が必要と判断された。

また、過去の被災事例やこれまでの研究成果をもとに、「河川管理施設等構造令」、「建設省河川砂防技術基準（案）」を補完し、床止を設置する場合のマニュアルとなる「床止の構造設計手引き」が平成10年に刊行された。それを受け、現地調査に基づく現状把握、現況床止の安全性照査、変状等に対する原因検討を行い、老朽化対策の基本的な方向を定めた。

(2) 被災要因と対策の検討

a) 被災要因の分析

過去の被災事例から被災メカニズムを推察すると、空洞化と摩耗が大きな要因と考えられ、摩耗箇所が発生したクラック部からの吸出しやパイピングが空洞化を引き

起こしていると考えられる（図- 3参照）。また、護床工の重量や敷設長不足による下流部での河床洗掘が要因となり、被災が発生した事例も確認されている。

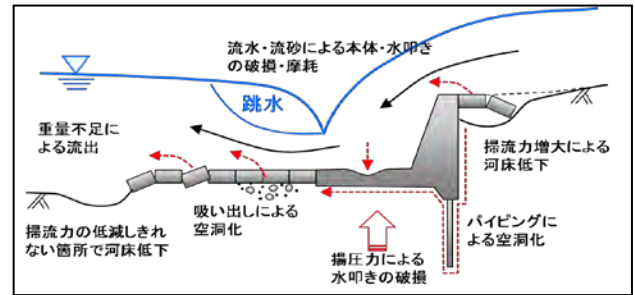


図-3 床止周辺で発生する水理現象と被災要因

b) 安全性の照査

既設床止の安全性の照査対象は、基準の変更等に関する設計確認と変状又は損傷の有無等の現状に対する確認が一般的である。本床止においては、老朽化対策を主目的としているため、変状を受けた現状を対象として「床止の構造設計手引き」に準拠した最新の知見に基づき、主として表- 1に示す箇所を対象として安全性を照査した。

表-1 照査箇所・項目と想定される現象

照査箇所	照査項目	想定される現象
本体	本体厚	揚圧力による本体厚不足
水叩き	水叩き長	水叩き長不足による河床洗掘
	水叩き厚	揚圧力による水叩き厚不足 水叩きの摩耗・剥離
遮水工	遮水効果	吸出し・パイピングによる空洞化
護床工	護床工重量	重量不足による護床工滑動・掃流
	護床工長	護床工長不足による河床洗掘

c) 対策の基本方針

対策の基本方針は、経済性や施工に伴う周辺環境への影響等を考慮し、全面改築と部分改築とを比較検討し総合的に判断した。

(3) 8号床止の現状と課題

a) 既設床止工諸元（表- 2参照）

表-2 8号床止現況諸元

位 置	17.4km 南22条橋下流
施 工 年 次	昭和48年6～12月
有 効 落 差	1.2m
本 体 幅 ・ 長 さ	本体幅89m 本体長5m
水 叩 き 長	43m
護床工形式・長さ	51.15m（形式諸元は未確認）
パ ッ フ ル ピ ア	2列

b) 床止の現状に対する安全性評価（表- 3参照）

現地調査に基づく8号床止及び周辺河道の現状に対する安全性の評価は、「床止の構造設計手引き」に基づき

以下に示すとおりである。その結果、揚圧力に対する本体厚不足と摩耗に対する対策が必要と考えられる。

表3 8号床止の安全性評価

対象箇所	照査項目	照査結果
本体	本体厚	揚圧力に対し0.4m程度厚さが不足 摩耗は10cm程度以下で平均的に摩耗している。 天端部では、護床ブロックの突起によって流水が集中し摩耗が進行している箇所がある。
	水叩き	水叩き長 問題なし（現況>必要長） 水叩き厚 問題なし（0.2m程度の余裕代有）
遮水工	空洞化	空洞化なし
	浸透経路長	問題なし（クブ比6.6>3.5）
護床工	護床工重量	上下流ともに問題なし
	護床工長	上下流ともに問題なし

このため、下流側擦付け部での落差が最も大きな状態となっており、今後大きな出水が生じた場合には、河床低下がさらに進行する可能性が考えられる。



図4 平成23年出水状況（6日15時頃、KP14.0付近）

3. 平成23年9月出水の状況と8号床止の被災要因

3.1 平成23年9月出水の概要（表-4参照）

平成23年9月出水は、昭和56年洪水以降最大規模の出水であり、氾濫被害はなかったものの、流下能力の低い箇所で大水量が冠水（図-4参照）し、護床や根固めブロックの流出などが発生した。



図5 床止工下流側護床工直下流の洗掘（右岸側）

表4 平成23年度出水の概要

項目	概要
雨量	石山観測所：最大1時間雨量31mm 24時間雨量101mm 72時間雨量179mm 空沼沢観測所：最大24時間雨量335mm
最大流量	雁来観測所：1088m ³ /s（9月6日、9時） 藻岩観測所：1035m ³ /s（9月6日、8時） 石山観測所：846m ³ /s（9月6日、7時） 各観測所で昭和56年洪水以降、最大規模
最大水位上昇速度	雁来観測所：1.12m/hr（9月6日、6～7時） 藻岩観測所：0.77m/hr（9月6日、5～6時） 石山観測所：0.49m/hr（9月6日、5～6時）
被災状況	高水量冠水 床止上流護床工のめくれ（6・7号床止） 床止下流の河床洗掘（8号床止） 護岸根固めブロックの流出等

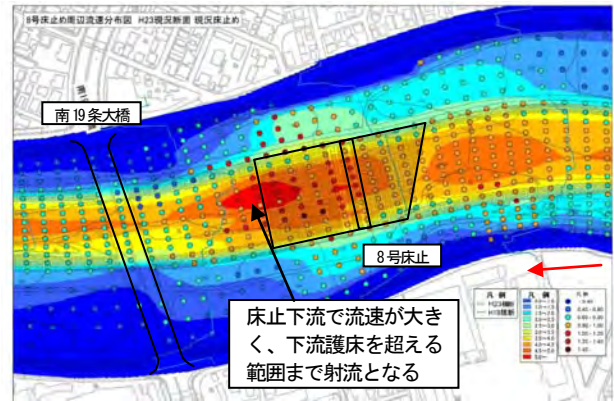


図6 平面2次元解析結果（平成23年9月出水時）

3.2 出水による被災状況と流況解析

平成23年の出水により、8号床止の下流に深掘が生じ、現況床止落差1.2mに対して下流護床直下で2m以上の落差が生じた（図-5参照）。平面2次元流況解析による再現結果によると、床止下流で流速が減勢されず、下流護床工を超える範囲まで射流となることによって、大きな深掘れが生じたものと推察される（図-6参照）。

また、整備計画目標流量を対象とした平面2次元流況解析においても、平成23年の出水と同程度の大きな流速が発生した場合、床止で減勢されずに下流の南19条大橋の付近まで及ぶことが推定されている（図-7参照）。

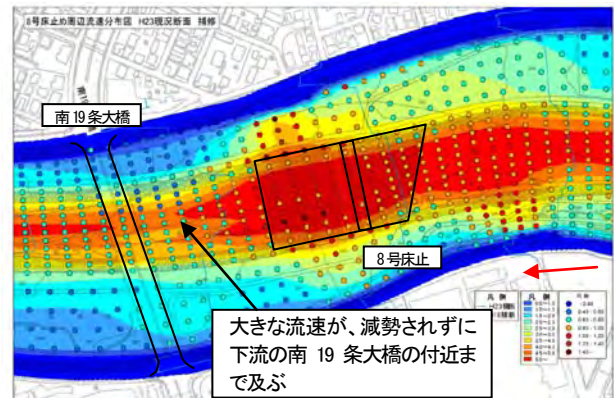


図7 平面2次元解析結果（整備計画目標流量）

3.3 被災要因と床止形式との関係

平成23年の出水において床低下部で大きな洗掘が生じた原因は、前述した洪水時の流況と床止形状に起因したものに加え、以下の通り河床低下の進行とそれに伴う局所洗掘等に起因したものであると考えられる。

- ① 8号床止は落差が小さく床止全体が斜路形状になるため、減勢効果を十分に発揮できず、床低下部まで射流が発生し流速が大きくなりやすい状況にあった。
- ② 河床低下の進行に伴い、ミオ筋の固定、砂州の樹林化が進行し、河岸際で局所的な洗掘が発生しやすい状況であった。
- ③ 河床低下の進行により現状の下流護床が屈倒した状態となり、破損しやすい状況となった。

4. 豊平川8号床止の改築方法について

4.1 改築方法の検討

(1) 改築の必要性

8号床止は、河川整備計画の実施に際して既往調査結果及びH23出水における被災状況に対して、以下の理由から改築が必要な施設であると考えられる。

- ① 8号床止は昭和48年に設置され、築後37年（検討当時）が経過しているため老朽化が顕在化し、特に天端部のコンクリートの摩耗が著しく、機能維持が困難な状況である。（図-8参照）
- ② 水理計算に基づく作用外力に対する安定照査において、揚圧力に対して本体厚が0.2~0.4m不足しており、構造物としての安定性に問題がある。
- ③ 現況河道に対して、既設形状では減勢効果が不十分であり、床低下部において局所洗掘を助長するため橋梁等の構造物への悪影響が懸念される。



図8 床止工天端の摩耗状況

4.2 床止の改築方法

床止の改築方法としては表-5のように既設補修案と全面改築案の2案に大別される。

表-5 床止の改築方法

改築案	改築方法
既設補修案	経済性、周辺環境への影響を勘案し、増厚による揚圧力への対応、護床工の延長による河床洗掘抑制等により既設床止を極力活用して安全性を確保する方法。
全面改築案	既設床止を活用した場合において、被災要因となる流況の改善や構造物としての安全性が確保できない場合に、既設床止を全面的に撤去し新たに床止を設置する方法。

4.3 床止改築の留意点

床止改築の必要性と床止周辺の社会環境等を踏まえ、改築方法を選定するうえでの留意点と対応策は表-6のとおりであり、特にH23出水時における被災要因を踏まえ、流況の改善に留意して改修を行う必要がある。

表-6 床止改築の留意点と対応策

留意点	対応策
流況改善	・H23出水に見られた河床低下の抑制に有効な、減勢効果の確保に配慮した落差を設定する。
安全対策	・1段の落差を極力小さくするなど、転落等による危険性の軽減に留意した構造とする
環境保全	・魚類の遡上経路の確保に配慮して、魚道を設ける構造とする。 ・魚道の隔壁等は、流況が多様化し対象魚種全ての利用が可能となる形状とする。
取水確保	・既設天端高を維持するなど、茨戸川導水のための取水を確保する。
景観	・8号床止めは規模が大きく景観に与える影響が顕著であることから、複数の視点場からの景観評価に基づき、構造形式を検討する。
摩耗対策	・将来的な摩耗量を予め確保する「量的対策」と、表面保護により耐摩耗性を向上させる「質的対策」を比較検討する。

4.2 流況改善の対策

床止改築の留意点として挙げた流況改善について、床止形式による要因と対策を整理すると表-7となる。

一方、現況落差と落差改善を図った場合の整備計画目標流量を対象とした平面2次元計算解析結果の比較（図-9）によると、落差を拡大することで、流速の速い箇所が床止区間に集中し、下流に減勢効果が確認できた。また、床止工に起因する高流速・射流発生区間の抑制が図られ、河床保護工の範囲も狭く設定できることから、落差を拡大し流況改善を行うメリットが大きいことを確認した。

表-7 床止流況改善に係る要因と対策

要因	対策
・8号床止の落差が小さく減勢効果を十分に発揮できないため、下流の流速が大きくなりやすい。 ・現状の下流護床は深掘れにより破損しやすい。	・射流区間に護床工敷設。 ・落差を大きくして下流河床勾配を緩和し、流速の低減を図る。 ・護床の摺付延長を長くして、深掘れを抑制する。

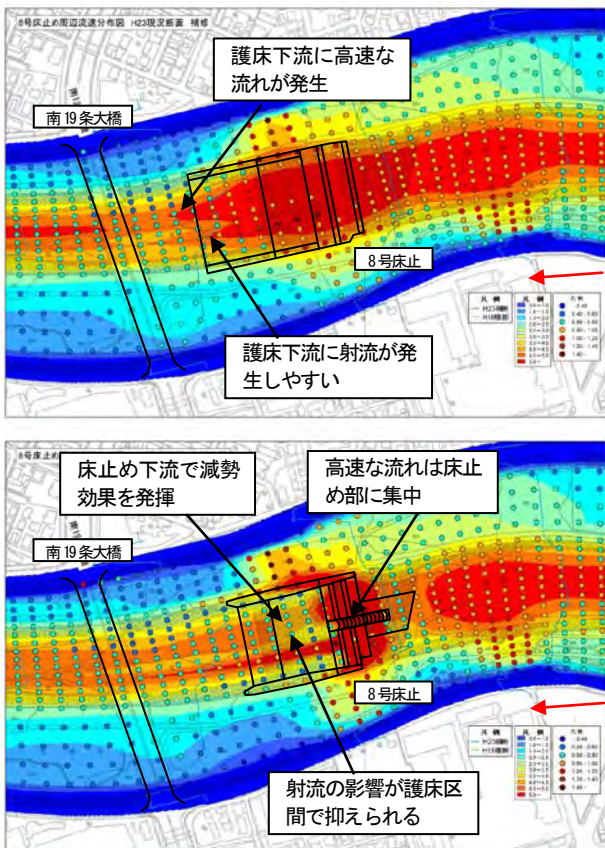


図-9 床止改修による流況改善（整備計画目標流量）
 (上図：既設補修(落差1.3m)、下図：全面改築(落差2.6m))

4.4 床止の改築方法の選定

改修方法は、既設補修案と全面改築案について比較検討を行い、流況改善による安全性向上と護床工範囲の効率化、環境保全（魚類の遡上性等）で有利となることから、全面改築を行う計画とした（図-10、表-8参照）。
 摩耗対策としては、経済性、施工性を勘案して「普通コンクリートによる増し厚工法（量的対策）」を採用した。なお、摩耗予測量は摩耗実績に基づく予測量と床止落差との関係を踏まえて将来摩耗量0.5mを設定した。

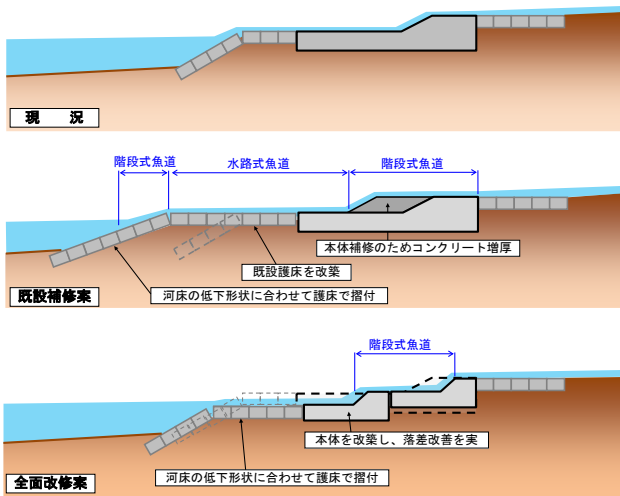


図-10 改築方法のイメージ図

表-8 床止構造形式比較表

項目	既設補修案	全面改築案
床止諸元	<ul style="list-style-type: none"> ・緩傾斜型1段落差 ・床止落差1.2m ・床止延長48m ・床止部材厚1.8m ・上流護床工長36m ・下流護床工長114m 	<ul style="list-style-type: none"> ・直壁式2段落差 ・床止落差2.6m ・床止延長37m ・床止部材厚3.3m ・上流護床工長36m ・下流護床工長84m
流況改善	護床の摺り付けにより流況は改善されない。	落差改善により減勢効果が向上し、護床工範囲を狭く設定できる。
安全対策	落水音は抑制されるが、流速が速いため安全性は劣る。	2段落差として、落下に対する安全性の確保に配慮する。
環境保全	流速が速い区間が広く、護床工にも魚道を設置する必要がある。	水叩きに水罨池を設け遡上性の向上を図る。魚道の側壁及び隔壁の傾斜化により対象全魚種の遡上が可能。
取水確保	床止天端高を維持するための天端補修が必要。	天端高は既設と同様であり、取水への影響はない。
景観	縦断的に景観が分断され画一的で単調。	縦断的な景観が緩和され動的で複雑。
評価	△	○

5. あとがき

豊平川の市街地区間に設置されている床止群は、その多くが昭和20～30年代にかけて設置され、長年の流水の作用により破損、磨耗、空洞化等が生じており、洪水時の流水の作用に対する安全性が損なわれている状況にあった。豊平川は道都札幌を貫流し、河川空間は市民の憩いの場として幅広く活用されていることから、改修計画においては景観や安全性に配慮したうえで、河床低下を効果的に抑制するなど治水安全性の確保が重要となる。

本検討では大規模出水時における8号床止の被災状況や河道特性の変化を踏まえた床止下流への影響低減を図ることに留意し、安全性や周辺施設への影響、景観設計等を踏まえた床止構造とした。

なお、床止の補修・改築にあたっては、産卵防止ネット等サケなどの魚類の生息環境に配慮するとともに、道都札幌の市街地を貫流しているという特性上、騒音対策等の近隣住民への配慮を優先して実施する必要がある。

参考文献

- 1) 解説・河川管理施設等構造令：(社)日本河川協会
- 2) 建設省河川砂防技術基準(案)：(社)日本河川協会
- 3) 床止の構造設計手引き：(財)国土技術研究センター
- 4) 平成16年度豊平川床止評価検討委員会資料：(財)国土技術研究センター