

橋脚フーチング下面洗掘対策工の施工事例

— 一般国道231号 石狩河口橋 —

札幌開発建設部 札幌道路事務所 ○森本 匡晶
 札幌開発建設部 札幌道路事務所 斯波 俊二
 株式会社 北未来技研 細井 智雄

石狩川下流に位置する国道231号石狩河口橋において、平成27年度及び平成28年度に洗掘対策を実施した。本稿は、橋脚フーチング下面の洗掘対策工について、調査設計・仮設・施工について事例報告するものである。

キーワード：維持管理、長寿命化

1. はじめに

石狩河口橋は、石狩川の最下流部にある斜張橋及び合成桁であり北海道内の一般国道としては橋長が第2位の長大橋である。(平成28年度時点)

昭和47年に架橋されたことで札幌市への通勤圏が厚田村(現石狩市厚田区)まで拡大され、今もなお増毛町・留萌市をはじめとした道北との人や物を最短で繋ぐ地域にとっても重要な橋梁である。¹⁾

上部工形式

- ・ A1～P2：2径間連続鋼溶接合成I桁橋
- ・ P2～P5：3径間連続鋼補剛箱桁斜張橋
- ・ P5～A2：4径間連続鋼溶接合成I桁橋 (4連)

下部工形式

- ・ 橋台：門型ラーメン橋台 (杭基礎)
- ・ 橋脚：門型ラーメン橋脚 (杭基礎)

2. 石狩河口橋の補修履歴

本橋の補修履歴のうち、河床対策および橋脚補修に関するものを抜粋する。

昭和56年8月の大洪水(今年度の大雨に匹敵)を契機に本橋周辺の河床洗掘調査を開始。平成5～6年度の2ヶ年で捨石根固め工を実施(図-3)以後、河床の洗掘調査を継続してきたが、平成26年度にこれ以上の洗掘が地震時耐力を下回る恐れがある状況まで至ったことから、平成27年度にP5橋脚、平成28年度にP6橋脚の洗掘対策工を行った。

年度	工事履歴	調査履歴
S47年度	橋梁竣工 (供用開始)	
H5年度	一般国道231号 石狩町 石狩河口橋洗掘防止工事 工事内容：敷設工・捨て石工(P4～P7)	
H6年度	一般国道231号 石狩町 石狩河口橋洗掘防止工事 工事内容：敷設工・捨て石工(P4～P7)	
H6～25年度		防災カルテ点検等による調査 潜水夫による目視点検実施
H26年度		洗掘が進行した場合、地震時耐力に懸念がある橋脚洗掘状況を確認 設計・河川協議実施
H27年度	一般国道231号 石狩市 石狩河口橋補修外一連工事 工事内容：洗掘対策工(P5)	
H28年度	工事内容：洗掘対策工(P6)	

表-1 石狩河口橋工事・調査履歴



図-1 石狩河口橋 箇所図²⁾

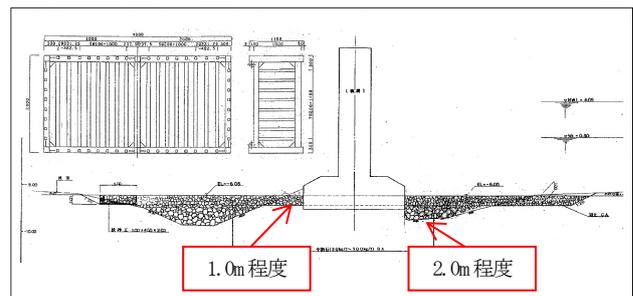


図-3 H5～6年捨石工 断面図

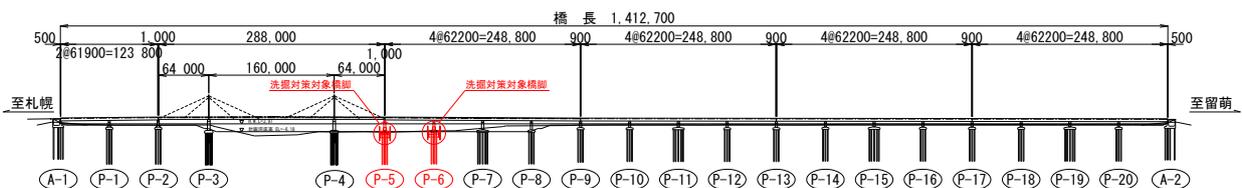


図-2 石狩河口橋 側面図

3. 現況照査

河床には過年度の捨石工が敷設されていた。今回洗掘されていたP5,P6橋脚部周囲はフーチングを囲う鋼矢板を根固め工で使用していたが、その付近の流速変動により土砂の吸い出し現象が発生したものと考察される。

地震時耐力の照査は道路橋示方書（平成24年度版）に基づき実施した。

P6橋脚最大洗掘深=3.40m（フーチング下面より）

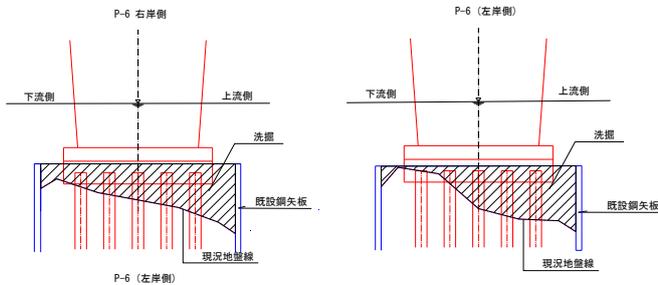


図-4 P6橋脚 設計洗掘深

上記をもとに現況を踏まえた耐力照査を実施した結果、P6橋脚についてこれ以上の洗掘進行は地震時耐力を下回る恐れがあり、P5橋脚についても同じ傾向が見られた。本橋の洗掘対策工の実施は不可欠と判断し、洗掘対策を実施することとした。

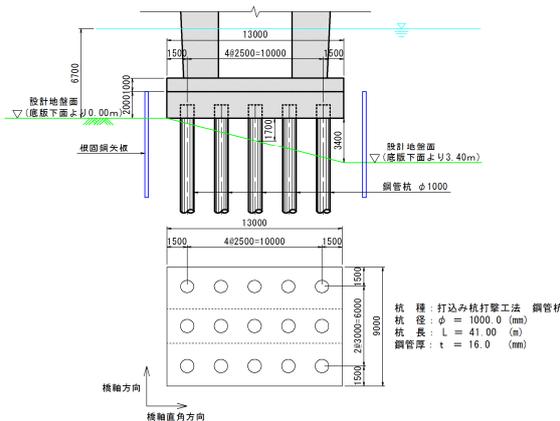


図-5 P6橋脚計算モデル

設計水平震度 $k_h = 0.26$ (レベル1)

P6橋脚		項目	単位	作用	許容	判定
橋軸方向	杭頭変位	$\delta f, \delta a$	mm	5.24	15.00	OK
	杭の鉛直反力	$P_{nmax,Ra}$	kN	2240.73	3087.00	OK
		$P_{nmax,Pa}$	kN	505.93	-1571.00	OK
	杭体応力度	σ_c, σ_{ca}	N/mm ²	-100.94	-210.00	OK
		σ_t, σ_{ta}	N/mm ²	41.64	210.00	OK
τ, τ_a		N/mm ²	9.649	120.00	OK	
直角方向	杭頭変位	$\delta f, \delta a$	mm	6.95	15.00	OK
	杭の鉛直反力	$P_{nmax,Ra}$	kN	2967.52	3089.00	OK
		$P_{nmax,Pa}$	kN	-220.86	-1532.00	OK
	杭体応力度	σ_c, σ_{ca}	N/mm ²	-140.65	-210.00	OK
		σ_t, σ_{ta}	N/mm ²	55.40	210.00	OK
	τ, τ_a	N/mm ²	14.058	120.00	OK	

表-2 地震時照査結果(P6)

4. 対策工法

本橋の現場条件で特筆すべき点は3点。

- (1) 水中部の洗掘対策工
- (2) 河床の既設捨石工
- (3) 河川への配慮

上記、現場条件に対する設計や注意点を以下にまとめた。

(1) 洗掘対策工(水中不分離コンクリート打設)

洗掘対策工は、一般的に洗掘された河床(土砂)を埋め戻すのが経済的だが、水中かつ既設鋼矢板に囲まれた狭隘部における埋戻し作業は再洗掘防止の対策とはならない。したがって、本橋の洗掘対策工としては再洗掘防止として水中施工が可能なコンクリートの打設による充填を採用した。なお、図にあるとおりコンクリートポンプ車のみではホース先端(打設口)を操作出来ないため、クレーン付台船を用いて打設する施工方法とした。

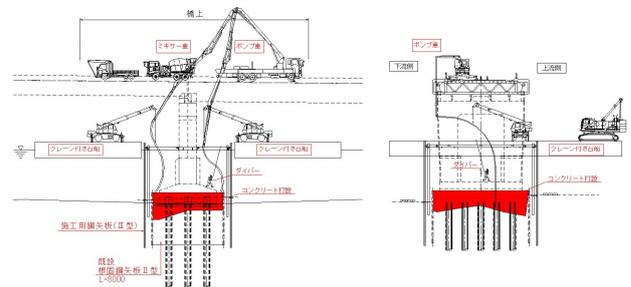


図-6 コンクリート打設(要領図)

(2) 河床の既設捨石工(仮設工検討)

水中コンクリートの施工には静水環境を構築することが必要であり仮設工として鋼矢板による仮締切工を計画した。

本工事の仮締切工は橋脚周辺に捨石工が実施されていることから、①捨石を破碎しながら鋼矢板を打ち込む案(硬質岩盤クリア工法) ②捨石を除去したのちに鋼矢板を打ち込む案(ロングアームバックホウ+圧入工法)について検討した。その結果、鋼矢板打ち込み所要日数が①案0.5枚/日(18mの場合) ②案2.0枚/日(18mの場合)であり、①案では限られた施工期間内での施工実施が困難であること、過年度成果より捨石工の施工深さが1.0~2.0mと浅いことから今回は②案のロングアームバックホウ+圧入工法を採用した。(鋼矢板枚数(Ⅲ型): P5橋脚156枚、P6橋脚176枚)

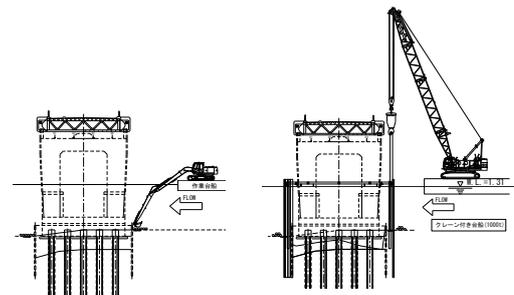


図-7 捨石除去(施工要領図)

(3) 河川への配慮

a) 施工期間

河川管理者ならびに河川利用者との協議により、非出水期である11月～3月の5ヶ月間で実施する計画とした。

次にコンクリート打設に必要なクレーン付台船の搬入出について検討。作業開始時ならびに完了後にクレーン付台船を石狩新港から現場までえい航により搬入出するものである。

当初計画にてえい航が可能な波高1.0m以下となる日数を過去のデータから集計し、石狩新港における11月、3月のえい航は可能と判断した。

波高1.0m以下となる日数 ※2010年はデータなし

		波高1.0m以下となる日数				
		11月	12月	1月	2月	3月
2014	AM	14	8	4	10	15
	PM	16	6	3	10	15
2013	AM	12	9	4	10	9
	PM	11	7	10	9	9
2012	AM	10	8	31	28	31
	PM	11	7	31	28	31
2009	AM	12	8	13	6	14
	PM	15	10	14	7	17
2008	AM	16	12	6	12	26
	PM	14	12	2	10	26



表-3 波浪データ³⁾

写真-1 クレーン付台船

b) 水中コンクリート規格の選定

選定条件としては、水中施工が可能で流動性、充填性が高い材料を選定する必要があり、さらに河川利用者の関係上、水質汚濁に配慮したものを表4の3案より検討した。

	水中不分離コンクリート	水中コンクリート	高流動コンクリート
セメント量・強度	400～430kg	340kg	FC 39
骨材最大寸法	20	40	20
スランプ・フロー	55～60	15～18	55
流動性性能	5m程度見込める。	流動性はあまり見込めない。	5m程度見込める。
	○	△	○
分離性能	材料分離が少なく、品質の低下が小さい。	材料分離がやや大きい。品質の低下が懸念される。	水中での打設は不可
	○	△	x

表-4 流動性能のあるコンクリート材料一覧

材料について比較した結果、上記を満足する材料として水中不分離コンクリートを選定した。

水中不分離コンクリートは天然素材のセルロースを原料とした化合物であり、従来の水中コンクリートに比べて高い流動性（5m程度）、セルフレベリング性を有していることから充填性も高い。また、特性上アルカリ質が水中において分解しづらく、水中施工時の水質汚濁も低減される材料である。

5. 工事着手後に発生した事案

以上の計画を踏まえ、対策工事に着手したが、計画時とは異なる様々な事案が発生した。

(1) クレーン付台船搬入出

過去5年間の波高からクレーン付台船のえい航を計画したが、潮位変動及び冬期気象影響を受けて搬入に遅れが生じた。（計画：11月上旬搬入、実施：12月上旬搬入）

(2) 流木除去

夏期調査の時点では確認出来なかった流木が洗掘箇所周辺に存在することが判明。作業前にこれらの除去が必要となった。

(3) 捨石除去の困難

捨石設置状況が当初の想定とは異なり、ロングアームバックホウでの除去が困難であった。（計画：想定深さ1.0～2.0m、捨石大きさ30cm程度、実施工：深さ3m以上、捨石大きさ70cm以上）

これらの事案は仮設工（鋼矢板）施工に与える影響が大きく、工事全体が難航することが想定された。

6. 事案対応

前項の事案は総じて時間と費用が掛かる問題であり、当初の計画では非出水期内の施工完了は困難な状況となった。そこで新たな工法検討を行った。

(1) オレンジバケットによる捨石除去

前項で述べたロングアームバックホウによる捨石除去は、掘削深さが3m以上のため届かなかった。

次にオレンジバケットによる掘削を試みたが、河床の細粒分が捨石の隙間に充填されバケットが刺さり込めなく捨石を掴めず除去出来なかった。

(2) 捨石残存での鋼矢板打設について

ロングアームバックホウによる掘削作業が出来る限り捨石を除去した上で鋼矢板打設が可能か検討したが、残存捨石層に、パイプロハンマによる矢板打設は困難と判断された。



写真-2 既設捨石(70cm相当)

(3) 硬質岩盤クリア工法について

玉石混じり砂礫や岩盤層でも対応出来る硬質岩盤クリア工法について施工出来るか検討したが、桁下作業なので高さの制限があり本工法では桁下部の矢板打設が出来ない。(高さ制限H=6.30m)

(4) 高さ制限下で可能な其他工法

制限施工が可能なハンドリングシステムのクリア工法機械があるが、この機械は全国に3台しか無く、施工する事が出来なかった。

(5) 現場条件の再検討

仮締切の目的及び現場条件について受注者と再検討した。仮締切はコンクリート打設時に洗掘部周辺を静水化し、安全な施工・品質確保・河川汚濁防止対策を目的としている。同条件を満たす工法であれば他工法でも採択可能である。施工時の現場条件を見直した結果、河川は結氷しており流速が低下していることが想定された。実測の結果、設計時の流速より緩やかであることを確認。

鋼矢板設計時の流速： $v=1.50\text{m/s}$

現場実測値の流速： $v=0.30\text{m/s}$

図-8のとおりシルトフェンスを二重囲いする仮設工を施工することで現況流速下 ($v=0.3\text{m/s}$) での水中不分離コンクリートの打設は可能であると判断された。

併せてクレーン付台船のえい航時期遅延、流木処理に伴う工程の遅延についても仮設を簡易としたことで工程が短縮され、工期内に工事を完了することが出来る。

河川管理者・河川利用者へ施工協議を行った結果、大前提として河川を濁さないこと。また、施工時流速の現場管理基準値を設定し施工時の安全を確保することを条件に同意を得た。

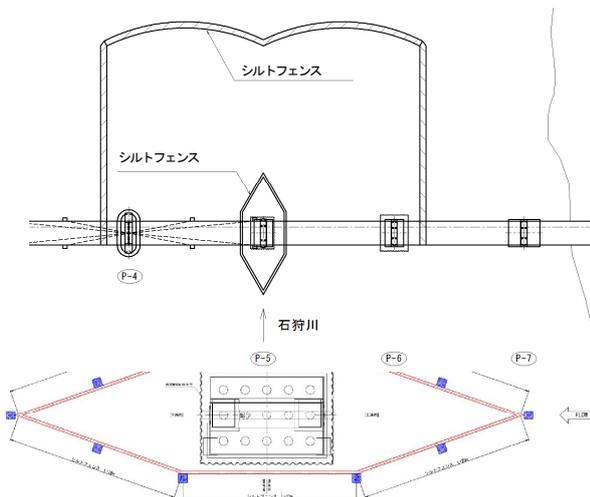


図-8 仮締切工平面図(二重囲い)

7. 工事実施

平成27年度は、シルトフェンス二重囲いで2月中旬に施工を行った。課題として結氷したことでクレーン付台船の搬出が困難を極めた。平成28年度においては、結氷前より流速調査を実施し、12月下旬に施工完了。結氷前にクレーン付台船を搬出させることが出来た。



写真-3 工事河川内結氷状況

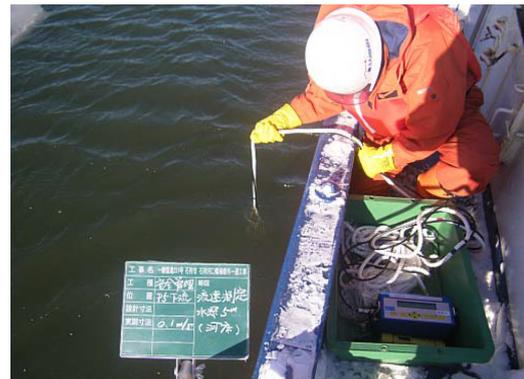


写真-4 流速調査(仮締切内)



写真-5 コンクリート打設状況1



写真-6 コンクリート打設状況2

8. 終わりに

土木工事の計画、実施は施工条件ならびに施工環境に左右されることが多く、現場毎に様々な状況がある。

今回の工事は非出水期における限られた工期の中での施工であり、細心の注意をもって計画、準備を進めていたが、仮設工において大幅な計画変更を余儀なくされた。

本工事における計画変更は現況流速等の現場条件に基づいたやむを得ないケースでの対応策であった。

今後、本稿が道路管理を行う上で、類似工事の計画、施工に対し、課題、検討などに対する一助になれば幸いである。

9. 謝辞

本論文の作成にあたり、論文作成の際に多数の助言を頂いた（株）北未来技研の細井氏、（株）秦進建設の東氏、（株）砂子組の菅原氏など、関係者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 一般国道231号石狩国道工事誌
- 2) 国土交通省 国土地理院地図
- 3) 国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網
ナウファスホームページ