

# サロマ湖漁港橋の設計・施工

## — 国定公園内のPCフィンバック橋 —

掛水 則秀\*1・庄司 和晃\*2・安藤 幹夫\*3・濱本 泰弘\*4

サロマ湖漁港橋は、北海道北東部に位置する漁業資源が豊富なサロマ湖とオホーツク海とを繋ぐ第二湖口の拡張工事に伴い、既設橋の架替えとして計画された道路橋である。また、網走国定公園内の国有保安林内に位置するという立地条件から、環境保全および観光地における景観資源の創出などに寄与する橋梁形式として、3径間連続PCフィンバック橋を採用した。本稿は、この橋梁形式を選定した理由、およびフィンバック橋特有の設計および国定公園内という制約条件下での施工について報告を行うものである。

キーワード：フィンバック，国定公園，環境保全，景観資源

### 1. はじめに

本橋は、漁業資源が豊富なサロマ湖とオホーツク海とを繋ぐ第二湖口の拡張工事に伴い、既設橋の架替えとして計画された道路橋である。橋梁計画にあたっては、交差する航路条件に加え、オホーツク海沿岸の積雪寒冷地であること、架橋地点が海浜植物の一大群生地などで観光名所の北海道遺産ワッカ原生花園の国有保安林内に位置していることが主な設計条件となった。これらの諸条件に鑑み、植生保護を目的とした盛土区間の最小化、環境保全および観光地における景観資源の創出などに寄与する橋梁形式として、3径間連続PCフィンバック橋を採用した。施工は、平成26年7月に上部工事着工、一次架設工事（側径間）および二次架設工事（中央径間）を経て平成27年3月に上部工事が竣工した。本稿では当橋梁の計画・設計および上部工施工の報告を行うものである。

### 2. 事業概要

図-1に架橋位置を、写真-1に橋梁施工前の第2湖口を示す。サロマ湖とオホーツク海とを繋ぐ2か所の湖口のうち、第2湖口は築後30年以上が経過しており、航路護岸の老朽化が著しい状況にある。また、航路内の流速が下げ潮時に最大2.5 m/secにもなり、現航路幅50 mでは操船に危険が伴うとともに、既設橋梁の桁下余裕は7.1 mと航路高が低いため、大型漁船が航行できず、湖内外における漁業活動の支障となっているのが現状である。

これらの課題に対応するため、直轄特定漁港漁場整備事業における老朽化護岸の改良計画とともに、対象船舶に合わせ、航路幅を50 mから75 m、航路高を7.1 mから12.8 mに拡張することになった。既設橋梁の架替えはこれに伴う補償工事である。

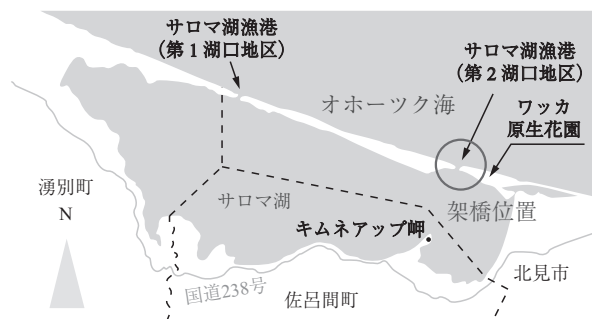


図-1 架橋位置



写真-1 橋梁施工前の第2湖口（航路幅50 m）

### 3. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を次に示す。橋梁一般図を図-2に、上部工標準断面図を図-3に示す。

架橋位置：北海道北見市常呂町栄浦

事業主：北海道開発局 網走開発建設部 網走港湾事務所

橋梁形式：3径間連続PCフィンバック橋

+ 3径間連続RC床版橋

\*1 Norihide KAKEMIZU：国土交通省 北海道開発局 網走開発建設部 網走港湾事務所

\*2 Kazuaki SHOUJI：(株)ドーコン 東北事業部

\*3 Mikio ANDOU：三井住友建設(株)北海道支店 土木部

\*4 Yasuhiro HAMAMOTO：三井住友建設(株)北海道支店 土木部

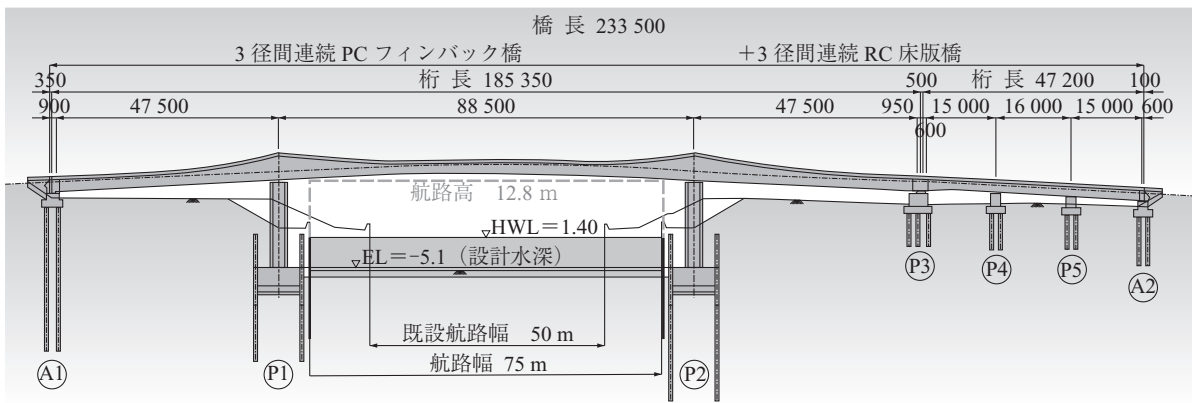


図 - 2 橋梁構造図 (3 径間連続 PC フィンバック橋 + 3 径間連続 RC 床版橋)

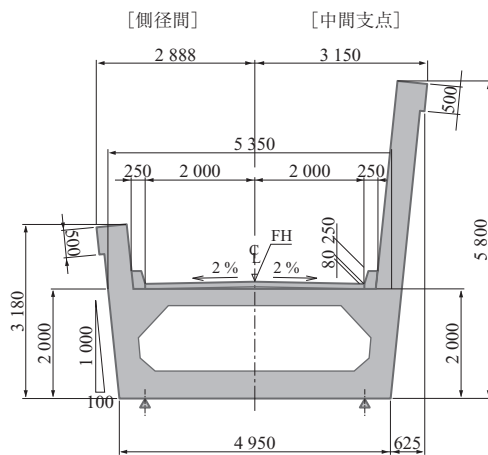


図 - 3 上部工標準断面図

表 - 1 橋梁計画上の制約

設計条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 航路幅 75 m (最大支間 88.5 m)</li> <li>• 航路高 12.8 m (H.W.L. に対する桁下余裕)</li> <li>• 最急勾配 5.0 % (自転車通行に配慮)</li> <li>• 塩害対策区分 S・A 活荷重</li> </ul>
立地条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地形改変の最小化 (国有保安林における植生の保全)</li> <li>• 厳しい腐食環境 (塩害・凍害)</li> <li>• 有数の観光名所</li> </ul>
景観	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 護岸や眺望点からの外部景観</li> <li>• 観光地としての魅力的なシルエット</li> </ul>

理性以上の3点に適合する標準的な橋梁形式は「3径間連続PC箱桁橋」である。しかし、「自然環境の保護(地形改変の抑制)」「観光地としての景観の配慮」が求められるなかで、橋長340mを要する3径間連続PC箱桁橋に替わる橋梁形式の選定が重要な課題となった。

#### 4.3 フィンバック構造の提案

本橋周辺の環境保全に効果的な方策として、計画道路縦断を下げることによる橋梁延長の短縮化に着目した。航路を跨ぐ中央径間にアプローチする側径間を短縮することで、橋梁前後の地形改変を抑制し、結果的に植生の保全に寄与すると考えた。そこで計画道路縦断の低下を可能にする橋梁形式として着眼したのが中路式PC箱桁橋(以下「フィンバック橋」)である。表-2に、一般的な上路式のPC箱桁橋とフィンバック橋の比較を示す。フィンバック橋の場合は最大支間88.5mに対して中間支点上で路面から約4.0mのフィン(上側にPC鋼材を大偏心させるための部材)が必要となるが、箱桁自体は桁高一定の2.0mとすることが可能である。これにより従来のPC箱桁橋(上路式)に対し、約2.7mの縦断低下による100mもの橋長短縮化が実現できる。また、フィンバック橋特有のシルエットは、観光地における魅力的な景観資源となることが期待できると考えた。

#### 4.4 フィンバック橋の適用性評価

大幅な橋長短縮によって、従来のPC箱桁橋(上路橋)より約30%の工費削減が可能となるフィンバック橋(中路橋)について、施工性、環境性、景観性の観点から比較検討を実施し、その適用性を評価した。

設計活荷重：A活荷重(公園内管理用車両を想定)  
 橋長：185.95 m + 47.55 m = 233.50 m  
 支間長：PC区間 47.50 m + 88.50 m + 47.50 m  
 RC区間 15.00 m + 16.00 m + 15.00 m  
 有効幅員：4.00 m  
 地域特性：塩害対策区分 S  
 架橋地は国有保安林内の観光地

## 4. 橋梁計画



### 4.1 制約条件

架橋地点は、北海道有数の観光名所である網走国定公園内ワッカ原生花園の国有保安林内に位置している。自然保護のため、園内への一般車両の乗り入れは規制されているが、橋梁は観光客(自転車・歩行者)のほか、公園や保安林の管理用道路として利用されている。そのため、国定公園管理者、地元自治体および漁業協同組合などとの協議に基づき、環境面では現況地形および植生の保護、景観面では観光地にふさわしい橋体形状(シルエット)の選定に傾注した橋梁計画を実施した。表-1に本橋計画における主だった制約条件の一覧を示す。

### 4.2 技術的な課題

表-1に示す設計条件に対し、①最大支間長に対する適用形式②航路上空での架設③沿岸地域における維持管

表 - 2 上路橋と中路橋（フィンバック橋）との比較総括

<p>■上路形式のPC箱桁橋</p> <p>【経済性】橋長が長く不経済 【環境性】保安林、植生の改変量が大きい 【景観性】一般的な形態で誘目性に欠ける ⇒施工性、維持管理性では大きな差はない</p>	<p>●柱頭部桁高 4.7 m ●支間中央 FH=19.640 ●橋長 340 m（最急縦断 5.0 %）</p> 
<p>■中路形式のPC箱桁橋（PCフィンバック橋）</p> <p>【経済性】橋長が短く経済的 【環境性】保安林、植生の改変量が小さい 【景観性】新規性のある形態で誘目性がある（景観資源・観光資源になり得る）</p>	<p>●柱頭部桁高 2.0 m ●支間中央 FH=16.990 ●橋長 234 m（最急縦断 5.0 %） 縦断低下 <math>\Delta H=2.65</math> m</p> 

(1) 維持管理性からの評価

海岸沿いの厳しい腐食環境下において、定期的な塗替えが必要な鋼桁形式は適用性が極めて低いため、低桁高が可能な鋼床版桁橋などは比較対象から除外した。なお、PC形式においてはPC箱桁橋もフィンバック橋もどちらも塩害・凍害対策を講じ易く、維持管理面での差はない。

(2) 環境面からの評価

環境面ではフィンバック橋による橋長短縮により、約850 m<sup>2</sup>の地形改変範囲を縮小し、周辺に植生するハマナスなどの保全に寄与する（図 - 4）。

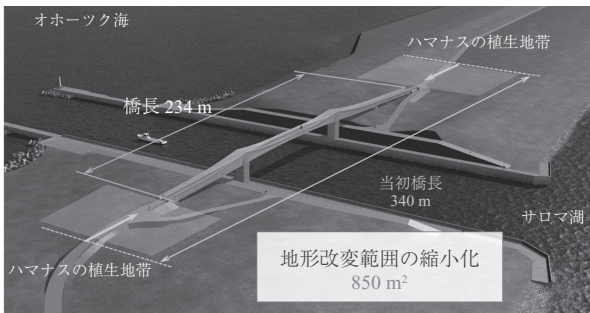


図 - 4 地形改変範囲

(3) 景観面からの評価

景観面では、側壁が歩行者に威圧感を与えるという懸念から、コンピュータグラフィックによる自転車走行シミュレーションにより評価した（図 - 5）。フィン部に外側傾斜を与える工夫により、懸念された通行時の威圧感は払拭され、橋梁区間の2/3はフィン高1.0 m以下の構造特性から、橋梁中央に近づくにつれて次第に視界が広がってゆくドラマチックなシークエンス景観（連続景）が魅力であることがわかった。橋梁中央部でのオホーツク海およびサロマ湖を眺望できるユニークな視点場の誕生は、地域資源のひとつとして期待できる。

(4) 施工実現性の観点からの評価

フィンバック橋の架設は、国内実績から得た知見より、従来のPC箱桁橋と同様の架設が可能である。移動作業車設置時における床版の安全性評価など、フィンバック橋架設特有の諸課題に対する取り組み内容は後述する。

以上より、環境面と景観面に優れ、結果的に経済的で施



図 - 5 走行シミュレーション

工上、とくに問題のない中路形式のPC箱桁橋、フィンバック橋を採用することとした。なお、本橋の橋台位置の設定に際しては、周辺の植生保護を目的に盛土区間の最小化を図り、桁下余裕を維持管理するうえで必要な最小高さ1.3 m（10年間最大積雪深100 cm + 支承高30 cm）として橋長を決定した。

5. 構造計画・検討

5.1 下部工計画

本橋の橋脚は拡幅後の航路（ $B = 75$  m）に面しており、中央径間短縮によるコスト縮減を目的に、橋脚位置は計画護岸をコントロールとして決定した。また現地盤高と航路地盤高の標高差が大きく、橋脚柱に高い偏土圧が作用するため柱形状が大型化し、基礎も併せて大型化する傾向があった。そこでケーソン基礎よりも小型となる矩形的仮締切兼用型鋼管矢板基礎を採用し、通常は施工完了後に切断・撤去する仮締切部の外周鋼管を残置し、柱に作用する土圧の大部分を基礎に分担させる計画とした。また、井筒内を軽量盛土材で充填することで地震時慣性力の低減化を図った。さらに鋼管矢板基礎側面にも鋼矢板を連続的に打設し、基礎に作用する偏土圧の影響の最小化を図った（図 - 6）。

5.2 上部工計画

(1) 片側張出し架設の採用

本橋の架設は、桁下空間が低く、支保工設置が容易な側径間部を固定支保工による場所打ち施工で先行し、その後中央径間を移動作業車で張出し架設（片側8ブロック）し、



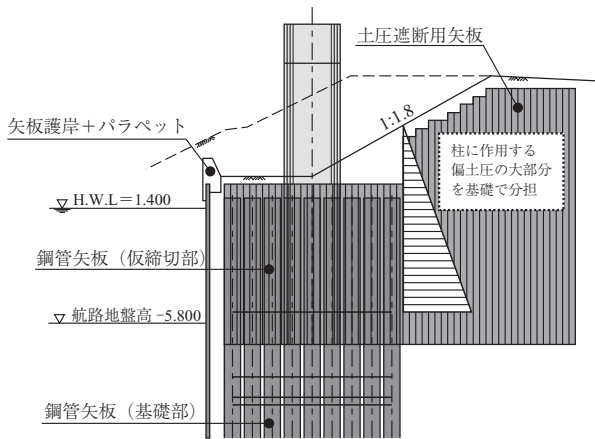


図 - 6 鋼管矢板基礎

中央閉合を行う計画とした。(6, 図 - 11 参照)

(2) 主桁の設計

桁高は、航路高に対する縦断計画に影響することから、側径間部箱桁内での緊張作業スペース ( $H = 1400 \text{ mm}$ ) を確保しうる最小桁高 ( $H = 2000 \text{ mm}$ ) とした。

中央径間側のブロック割については、 $1960 \text{ kN}\cdot\text{m}$  型移動作業車の使用を想定し、箱桁部にフィン部も加えた重量で施工ブロック長の照査を実施した結果、施工ブロック長  $3.5 \text{ m}$ 、ブロック数  $8 \text{ BL}$  となった。

フィンバックの部材形状は、架設ケーブルが片側  $2 \text{ 本}$  / ブロックであること、張出し数が  $8 \text{ ブロック}$  であることから、鋼材配置は  $2 \text{ 列} \times 8 \text{ 段}$  とし、フィン厚  $456 \text{ mm}$ 、フィン高  $3800 \text{ mm}$  とした。使用する PC 鋼材は、フィン厚ならびにフィン高の最小化を図るため  $12\text{S}15.2\text{B}$  (SWPR7B) を適用した。図 - 7 に主桁標準断面図、図 - 8 に PC 鋼材配置図を示す。

(3) 床版の設計

一般的な PC 箱桁橋では、移動作業車の支柱およびレールはウェブ上に設置されるが、本橋橋梁形式ではウェブ上にはフィンがあるため、移動作業車をウェブ上に設置することができない。そのため、移動作業車は床版付け根に設置する計画とした(6, 図 - 15 参照)。そこで床版の構造的安全性の照査には、平面骨組解析法による断面力と有限要素法 (以下「FEM」とする) で算定される断面力とを比較し、大きい値を用いて応力度の照査を行った。図 - 9 に FEM 解析モデル、図 - 10 に移動作業車荷重による床版、ウェブの応力性状、表 - 3 に着目部材の照査結果を示す。照査の結果、いずれの部材も許容応力度を満足する結果となった。ただし、一時的なひび割れの対策として、移動作業車施工部の小口から  $1 \text{ m}$  の区間については、床版下縁鉄筋をワンランクアップ (D19 → D22) させている。

(4) 中間支点ラーメン化の検討

連続ラーメン形式は、高価な支承費を省略することで、連続桁形式より経済性や維持管理性で優位となるのが一般的である。支承、橋脚および基礎に着目した比較結果を表 - 4 に示す。剛結案は乾燥収縮・クリープによる上部構造の変形と、橋梁全体構造系の短周期化による地震時応答加

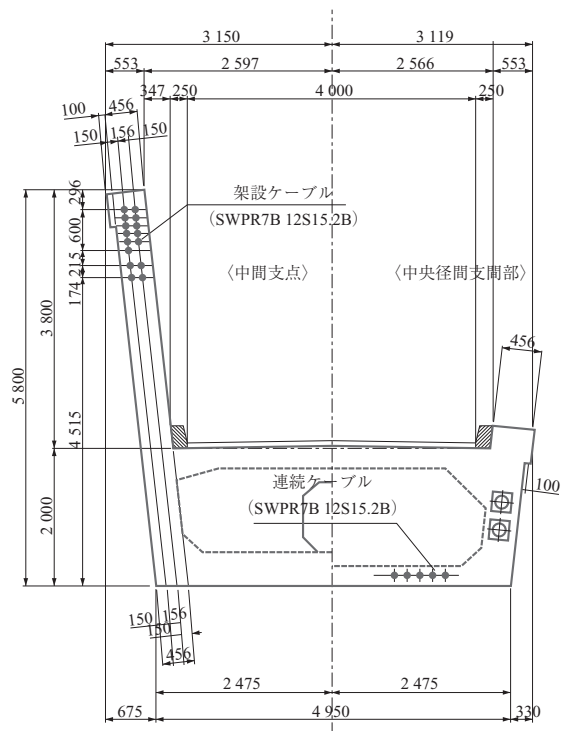
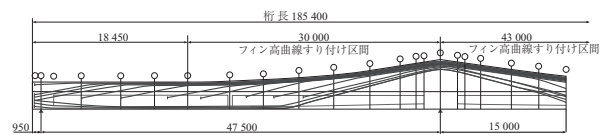
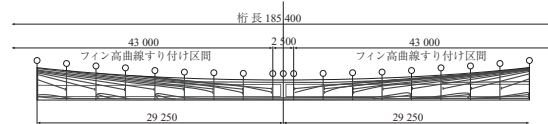


図 - 7 主桁標準断面図



(a) 側径間・柱頭部 (固定支保工架設)



(b) 支間中央部 (張出し架設)

図 - 8 鋼材配置図

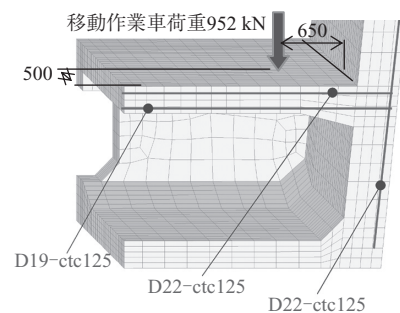


図 - 9 FEM 解析モデル

速度の増加によって、橋脚基礎の規模が増加する結果となり、経済的で弾性支持案に劣る結果となった。これは、本橋の基礎形式が一般的な杭基礎形式より高価な鋼管矢板基礎であるため、基礎諸元の増加が経済性に大きく影響を及ぼしたものと見える。

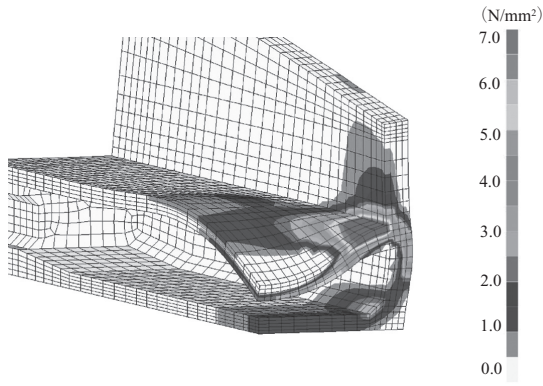


図 - 10 解析結果 (変形・最大主応力)

表 - 3 応力度照査結果

		記号	単位	平面骨組	有限要素法	配筋
床版下縁	曲げモーメント	M	kN・m	41.2	67.2	D19 -ctc125 ↓ 補強筋配置 (D22)
		コンクリート	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	4.3	
	$\sigma_{ca}$		N/mm <sup>2</sup>	<16.6		
	鉄筋	$\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	71.6	155.1	
$\sigma_{sa}$		N/mm <sup>2</sup>	<225			
床版上縁	曲げモーメント	M	kN・m	-232.5	-80.4	D22 -ctc125
		コンクリート	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	8.1	
	$\sigma_{ca}$		N/mm <sup>2</sup>	<16.6		
	鉄筋	$\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	204.2	70.6	
$\sigma_{sa}$		N/mm <sup>2</sup>	<225			
ウェーブ上端	曲げモーメント	M	kN・m	-347.4	-10.0	D22 -ctc125
		コンクリート	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	7.1	
	$\sigma_{ca}$		N/mm <sup>2</sup>	<16.6		
	鉄筋	$\sigma_s$	N/mm <sup>2</sup>	217.9	18.6	
$\sigma_{sa}$		N/mm <sup>2</sup>	<225			

※床版の許容応力度は、施工時の一時的な荷重に対するものであることから、基本値 180 N/mm<sup>2</sup> に割増係数 1.25 を考慮した値とした

表 - 4 中間支点 支持条件の比較

		弾性支持案	剛結案	
形状図				
経済比較	概算 工事費 (千円)	躯体工	11 200	11 200
		基礎工	93 300	175 200
		支承工	14 200	0
		合計	118 700	186 400
評価		○		

## 6. 施工

### 6.1 施工環境

本橋の施工箇所は、網走国定公園（ワッカ原生花園）内

であり、原則、一般車両の進入は禁止されている（写真 - 2）。4月下旬～10月中旬の開園期間中の開園時間内（8:00～18:00）は、レンタル自転車、徒歩などの観光客の往来が多数あり、安全性を確保するため工事車両の通行を制限し、開園期間中のコンクリート打設は、閉園後の夜間に行った。また、特定外来植物の侵入を防止するため公園内に入る工事車両はコンプレッサーを使用し、タイヤ洗浄を行った。なお、本工事は、上記などの理由により、施工環境監理者として、技術士（水産土木）または水産工学技士または土木施工管理技士で水産土木の実務経験が4年以上（大卒）の技術者の配置対象工事である。

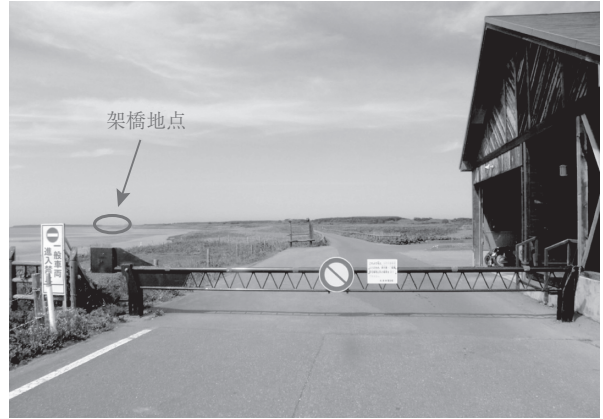


写真 - 2 ワッカ原生花園の入口

本橋中央径間部は航路上であるため、施工中は作業床に点滅式保安灯を設置し、航行する漁船に対し安全性を確保した。また、施工時の汚水が航路へ流出することを防止するため、移動作業車の床面は全面シート防水を施工し、汚水処理を行った（写真 - 3）。

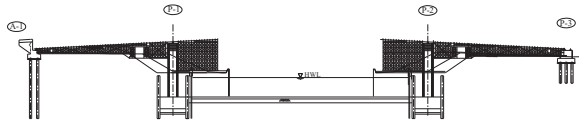


写真 - 3 移動作業車床面シート防水完了状況

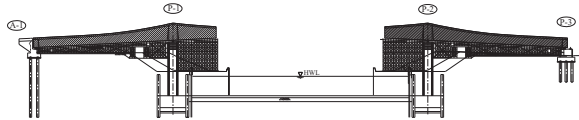
### 6.2 施工ステップ

本橋の施工ステップを図 - 11 に示す。中央閉合部の施工は、当初設計では吊支保工による施工となっていたが、解体作業時の施工性・安全性を考慮し、移動作業車による施工に変更した。その際、主桁の応力解析を行った結果、中央閉合部施工完了後に2基の移動作業車を撤去した場

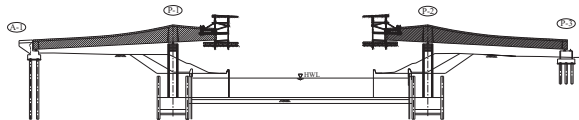
step 1 側径間 固定支保工施工



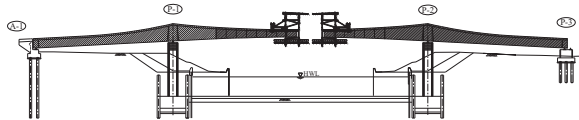
step 2 PC 箱桁製作（躯体工）



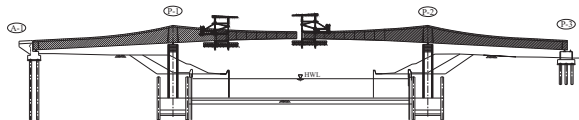
step 3 支保工解体・移動作業車組立



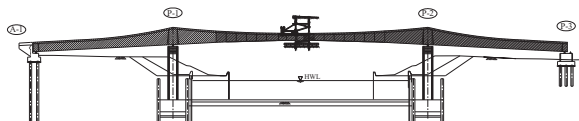
step 4 張出し架設施工（P1-1BL～8BL, P2-1BL～6BL）



step 5 移動作業車後退（P1-4BL まで）・張出し架設施工（P2-7, 8BL）



step 6 移動作業車後退、解体（P2 側）・移動作業車前進・中央閉合部施工



step 7 移動作業車後退、解体（P1 側）・橋面工（高欄、舗装）施工

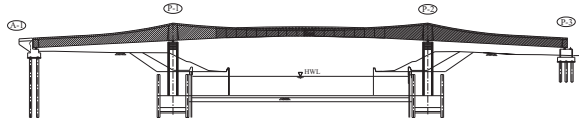


図 - 11 施工ステップ

合、主桁上縁に許容を超える引張応力が発生するため、張出し施工完了後、4 BL まで P1 側の移動作業車の引戻しを行い（図 - 11 step 5）、移動作業車を一部解体し、軽量化することで対応した。

### 6.3 固定支保工部

支保工の組立は、くさび結合式および工事用道路上は H 鋼材による支柱式で施工を行った（写真 - 4）。支保工の基礎地盤は砂であったため、支保工の沈下および凍上による躯体への影響を考慮し、砕石で置換を行い、くさび結合式支保工基部は鋼矢板を、支柱式支保工基部は敷鉄板を敷設し、その上に基礎コンクリートを打設した。

コンクリート配合は、海洋コンクリートとして、 $W/C = 45\%$  以下、空気量  $6.0\%$  が条件となる。設計基準強度  $40 \text{ N/mm}^2$  とし、固定支保工部では、温度ひび割れ低減を目的に、普通セメントを使用した（中央径間の張出し施工



写真 - 4 固定支保工組立て完了状況

部は早強セメントを使用)。生コン工場からの運搬時間が約 45 分、コンクリート打設延長が約 63 m あること、およびウェブ・フィン部が傾斜していることを考慮し、基部や側面へのコンクリート充填を確実にを行うため、高性能 AE 減水剤を用いて、スランプを 15 cm とした。コンクリート打設は、3 リフトに分割して施工を行った。リフト割を図 - 12 に示す。第 3 リフトのフィン打設時には、外部拘束によるひび割れの発生を抑制するため、膨張材を添加し施工した。

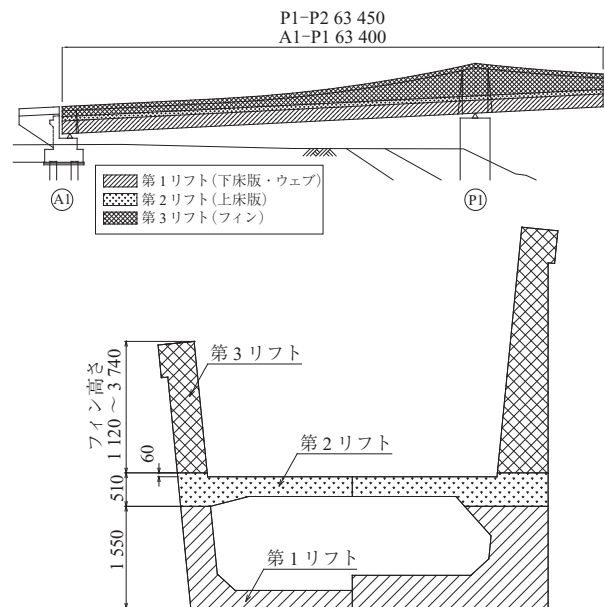


図 - 12 固定支保工部のリフト割

第 2 リフトの上床版は、橋面水がフィン部との水平打継目から橋側面に浸透することを防止するため、フィン基部の長さ 60 mm 分を上床版コンクリート打設と同時に施工した。第 2 リフトのコンクリート打設状況を写真 - 5 に示す。

固定支保工部の端支点部には、張出し架設を施工する際に地震が発生しても、アップリフトは生じない設計となっているが、安全性を向上させるため、端支点部に主桁と橋





写真 - 5 第2リフトのコンクリート打設状況

台を緊結するテンポラリのPC鋼棒(φ32mm)を配置した(図-13)。固定支保工部施工完了全景を写真-6に示す。

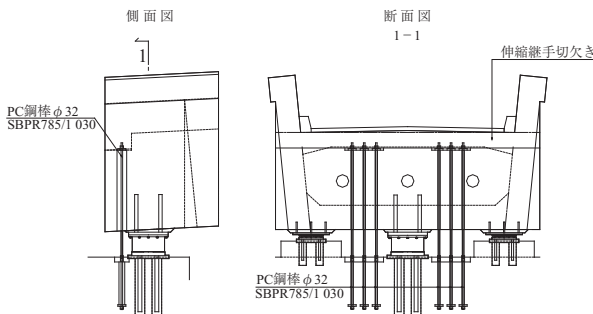


図 - 13 主桁端部のテンポラリーPC鋼材配置



写真 - 6 固定支保工部施工完了時の空撮

#### 6.4 張出し架設部

張出し架設は、両岸同時の片側張出し施工とし、8BL施工後、中央閉合部施工を行った(写真-7)。架橋地域は非常に風が強いので、移動作業車は、プレス材、水平材で補強した暴風対策型とした(図-14)。

一般的なPC箱桁の張出し架設では、移動作業車の支柱はウェブ直上に配置され、また、後方アンカーもウェブ内に固定するが、本橋の場合、床版ハンチ上に移動作業車を設置する必要がある(図-15)。床版鉄筋応力の検討は、前述のFEMにより照査をしている。移動作業車の後方ア

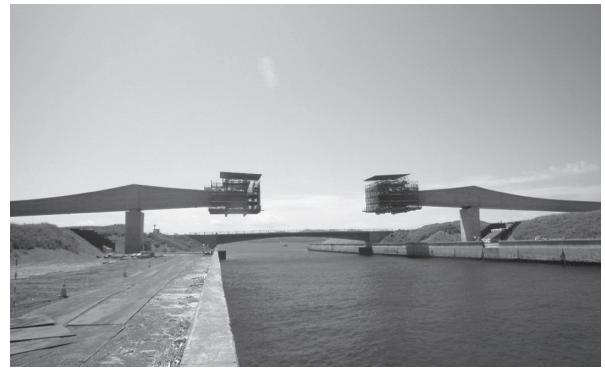


写真 - 7 張出し施工時の状況

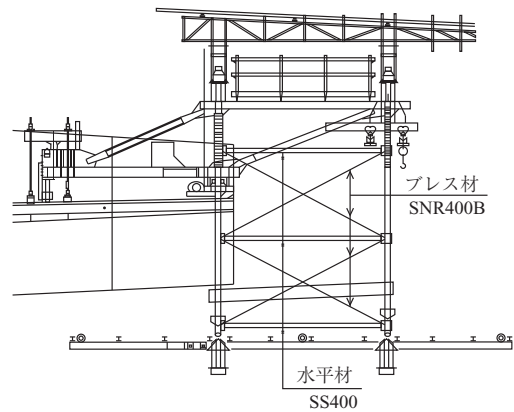


図 - 14 移動作業車暴風対策鋼材配置図

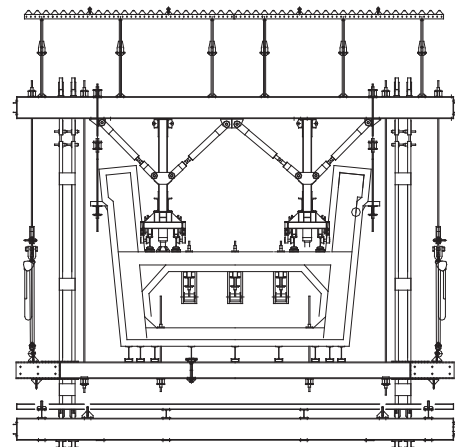


図 - 15 移動作業車配置断面図

ンカーは、上床版ハンチ部をシースで箱抜きし、主桁内部に配置したブラケット材を反力架台として施工した(写真-8)。

移動作業車での施工は、フィン部も同時打設とした。コンクリート打設順序図を図-16に、打設状況を写真-9、10に示す。

#### 6.5 RC床版橋

張出し架設の施工と平行し、RC床版橋の施工を行った。RC床版橋の壁高欄は、PCフィンバック橋の桁端部と同形状である(写真-11)。



写真 - 8 移動作業車後方アンカー固定用ブラケット

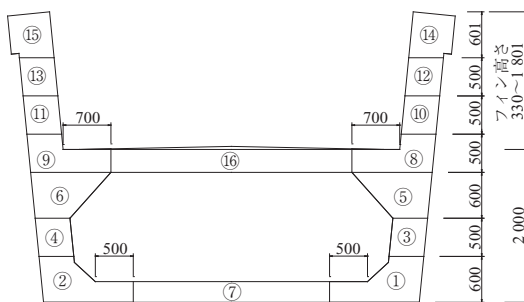


図 - 16 コンクリート打設順序



写真 - 9 夜間におけるコンクリート打設状況



写真 - 10 コンクリート打設状況 (移動作業車内)



写真 - 11 3径間連続RC床版橋施工完了状況

## 7. おわりに

橋体施工は、厳寒期を迎える昨年12月までに無事完了し(写真-12)、また、フィン部の高さが1mを下回る部分に設置する防護柵の設置も完了した(写真-13)。夏にはハマナス、エゾスカシユリなど、秋にはサング草が咲き乱れ、多くの観光客が訪れる。同時に、本橋の上でサロマ湖とオホーツク海の眺望を楽しむことができるだろう。PCフィンバック構造には、まだまださまざまなバリエーションが考えられる。本報告が、同種橋梁架設の一助になれば幸いである。



写真 - 12 橋体完成時全景



写真 - 13 橋面からの眺め

【2015年6月29日受付】