

平成26年度

網走川下流部特殊堤に生じた変状の 要因分析と対策について

網走開発建設部 治水課

○滝口 真澄

大田 見 定

日本工営株式会社

澤田 公男

昭和53年～平成4年に網走川下流部の特殊堤として施工された加圧コンクリート矢板に、塩害・凍害を要因とする加圧コンクリートの剥離・剥落、鉄筋露出・腐食等の劣化が進行しており、今後10年程度で多くの加圧コンクリート矢板が耐用限界を下回ると想定され、早急な対策が求められている。本論文では、加圧コンクリート矢板の劣化過程を分析するとともに、緊急性を要する劣化に対し実施した補修工法について報告を行うものである。

キーワード：コンクリート矢板、劣化、塩害、補修

1. はじめに

網走川の網走湖下流域に位置するKP0.9～KP5.0の区間に、昭和53年から平成4年にかけて特殊堤方式の加圧コンクリート矢板（以降、矢板）が施工された。図-1に示すように、当該区間は河口に近い緩流区間であり、常時順逆流を繰り返し塩分濃度も高く、冬期結氷などの物理条件も加わり、金属類の腐食に対して大変厳しい環境であったため、矢板が採用された。

しかしながら、平成13年頃より、矢板の損傷、鉄筋露出、目地部の吸出しによる矢板背後地の陥没等の劣化が顕在化し始めた。以降、網走開発建設部では、損傷状況調査、要因調査および補修工法検討を継続して実施してきた。その中で、平成20年度から平成22年度には緊急性の高い箇所の補修を実施した。

また、平成24年度には、それまで実施された矢板の鉄筋腐食調査の結果を基に鉄筋腐食進行速度を推定した場合、今後10年程度で矢板が耐用限界を下回る箇所が大半であることが確認され、平成25年度から河川工作物関連応急補修事業にて、補修必要区間すべての補修に取りかかった。

以上の経緯を踏まえ、本論文では矢板の調査結果報告と併せて、劣化要因および過程を分析するとともに、既往の補修工の機能評価を行い、今後実施する補修工法の選定について報告する。

2. 矢板の劣化状況

(1) 矢板の整備状況と構造

特殊堤方式により施工された矢板の施工範囲と施工年

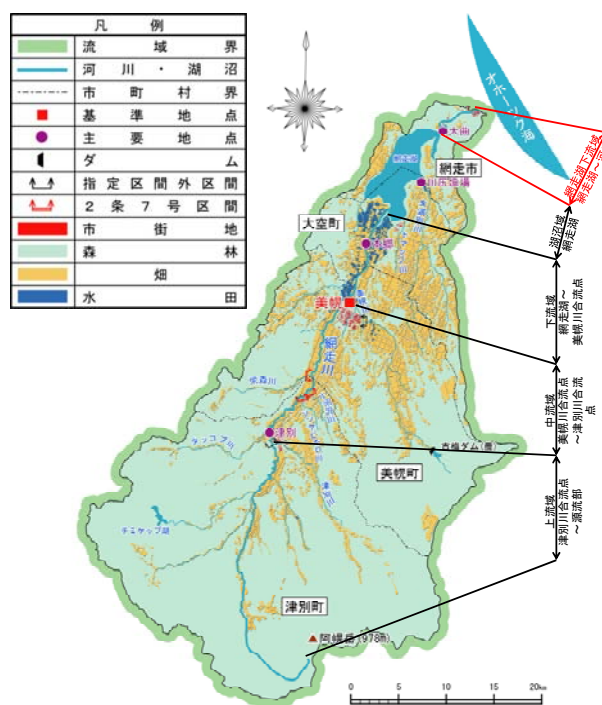


図-1 網走川流域図

次を図-2に示す。矢板は平成53年から平成4年に網走橋から大曲橋の区間に、右岸4010m程度、左岸2000m程度の区間に整備された。矢板を用いた特殊堤は図-3の標準断面図に示すように、控え矢板方式が採用されており、矢板の背後は管理用道路等として利用されている。また、一部の矢板は補修済みで、補修工法は平成20年度補修区間は断面修復+電気防食工法、平成21年～平成22年補修区間は断面修復+炭素繊維シートおよび表面保護工による表面被覆工法が、平成25年以降は断面修復+超高強度繊維補強コンクリート製型枠取付工法が採用された。

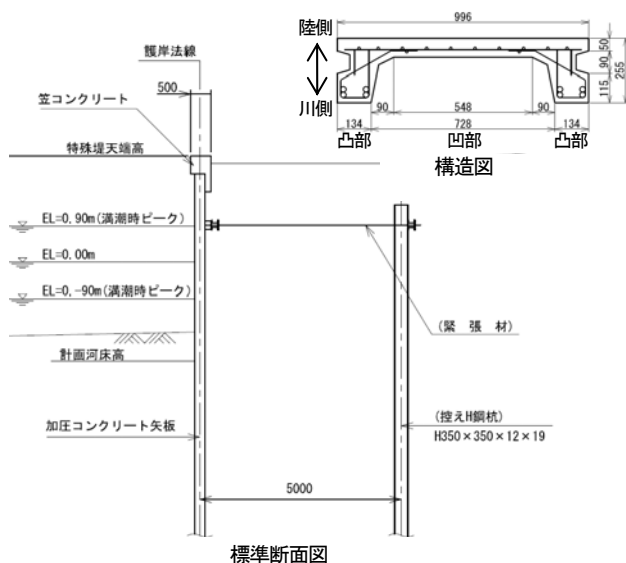
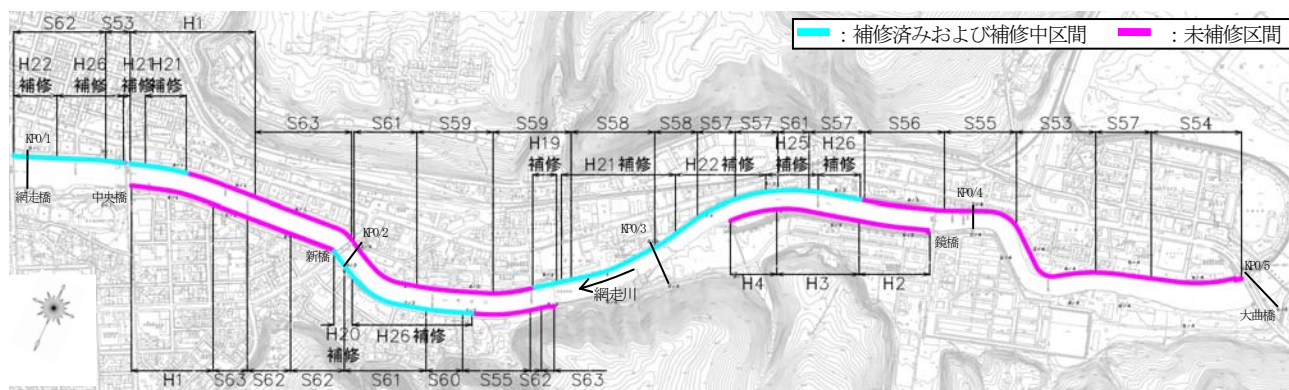


図-3 特殊堤の標準断面および構造図例（網走橋上流右岸）

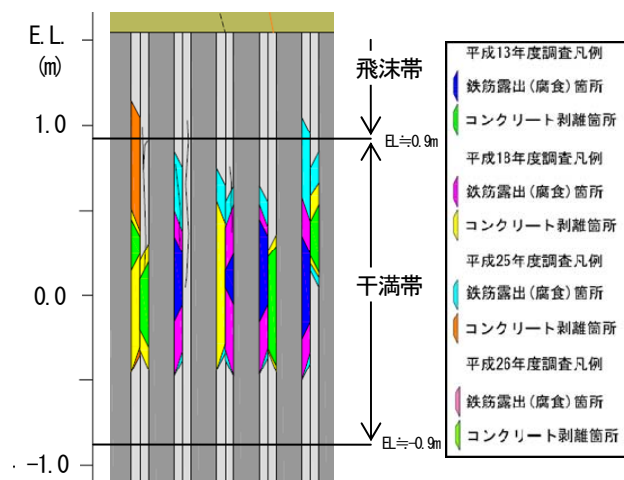
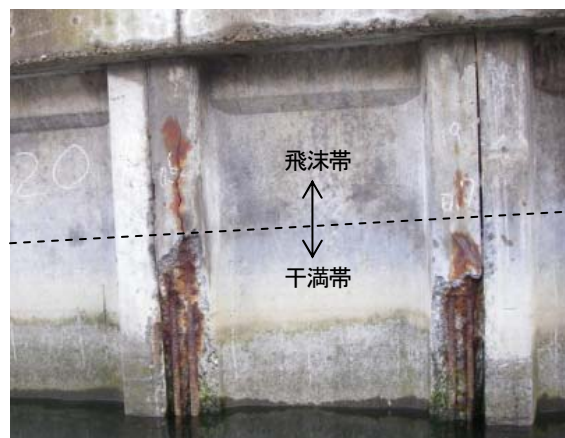
(2) 発生している劣化と現地条件の関係

矢板に生じている主な劣化は写真-1に示すように、コンクリートの剥離・剥落および鉄筋腐食である。これらの劣化状況および要因を明確にするため、平成13年以降、劣化目視調査、鉄筋の腐食状況、塩分含有量調査を継続して実施した。

a) 矢板の劣化目視調査

矢板の劣化進行を確認するために、平成13年、平成18年、平成25年および平成26年に目視による劣化範囲の確認を実施した。劣化は図-4に示すように平成13年時点でE.L.=0.00m付近に生じており、経年的に上下に拡大する傾向が確認され、一部は平成25年時点で劣化上端部が干満帯を超えて飛沫帯に達した。また、露出鉄筋には腐食が生じ、コンクリート剥離の上端部にはスケーリングが確認された。これらの劣化は、写真-1に示すように矢板凸部に集中しており、凹部には生じていないことが確認された。併せて、平成21年~平成22年に補修された矢板においても写真-2に示すように既に矢板凸部に劣化が生じていることが確認された。

矢板設置区間の矢板劣化発生状況を図-5に示す。同図より、一部区間においてコンクリートの剥離、鉄筋露出



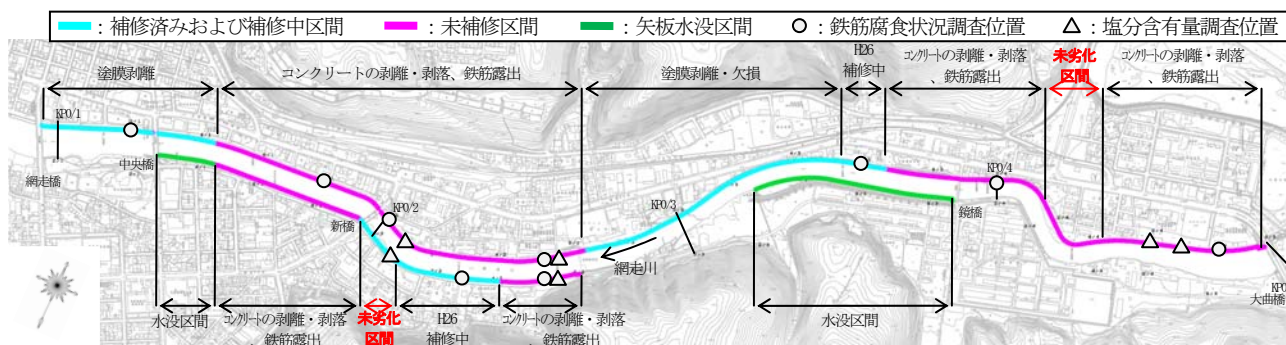


図-5 矢板の劣化状況分布



写真-3 矢板劣化の生じていない範囲の矢板前面状況

が生じていないことが確認された。現地状況を確認したところ、写真-3に示すように護岸前面の砂州高が高い区間であることが確認された。

b) 露出鉄筋の鉄筋腐食状況調査

目視調査により矢板に鉄筋腐食が確認されたことから、露出後の最小鉄筋径をノギスにより計測し、腐食速度を把握した。調査は、平成20年度と平成24年度に9地点で実施した（調査結果は表-1参照）。平成20年度調査では、露出鉄筋が公称鉄筋径に対して平均3mm程度（最大13mm）減少しており、平成24年度調査では、公称鉄筋径に対して平均5mm程度（最大13mm）の減少が確認された。以上の調査結果を基に腐食速度を算出したところ、平均0.4mm/年（最大0.9mm/年）と一般的な腐食速度である0.1mm/年を大きく上回ることが確認された。

c) 塩分含有量調査

矢板の鉄筋腐食が顕著であることから、劣化進行の度合い（早さ）と腐食によるコンクリートの変状の関連性を把握するため、矢板護岸一連区間より6箇所を選定し、比較的健全な凹部で塩分含有量調査を実施した（調査結果は図-6参照）。飛沫帯に比べ、干満帯は塩化物イオン濃度が高い傾向が確認され、水位変動が生じない範囲では劣化が生じにくいことが示唆された。また、鉄筋位置の塩化物イオンが鋼材腐食発生限界塩分量 1.2kg/m^3 を超過する箇所が確認されたため、同箇所では鉄筋腐食状況調査を実施した。調査の結果、発錆限界を大きく超過する箇所の鉄筋においても局所的に僅かな錆が生じている程度で、健全な状態であった。しかしながら、干満帯の鉄筋位置における塩化物イオン濃度は増加傾向にあり、今後凸部と同様の腐食が生じる可能性があると考えられる。

表-1 鉄筋腐食状況調査結果と腐食速度

測定点(KP)	1.2R	1.6R	2.0R	2.3L	2.5L	2.5R	3.6R	4.0R	4.8R
施工年次	S53	H1	S61	S60	S55	S59	S57	S55	S54
公称鉄筋径	D22	D22	D19	D19	D19	D19	D22	D22	D19
鉄筋径 H20年(mm)	19.0	20.7	15.5	14.1	14.1	15.0	19.1	19.9	18.0
鉄筋径 H24年(mm)	15.5	20.3	15.5	12.8	13.1	15.0	17.4	16.7	15.0
腐食速度 (mm/年)	0.9	0.1	0.0	0.3	0.3	0.0	0.4	0.8	0.8

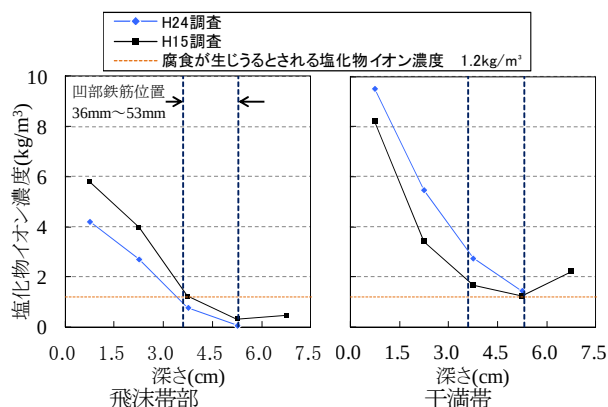


図-6 塩分含有量調査結果例 (KP2.1 右岸)

3. 劣化要因分析

(1) 劣化要因の推定

平成24年度までの調査より、矢板に生じている劣化はコンクリートの剥離と鉄筋の腐食に限定される。塩分含有量調査より、コンクリートの含有塩分量が鋼材腐食発生限界塩分量を超過していることから、劣化要因として塩害が挙げられる。しかしながら、港湾施設では一般に飛沫帯、干満より低深度の干満帯、海中部で腐食進行が大きいとされることに対し、当該区間の矢板は干満帯に劣化が顕在化し、飛沫帯と水中部での劣化は小さいことから、塩害以外の変状要因があると考えられる。この要因は、劣化箇所の端部にスケーリング等の凍害を要因とする劣化が確認されたこと、「凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）」¹⁾によると当該地点の凍害危険度はやや大きいに分類されることから、干満による水

位変動で乾湿の繰り返しに伴う凍結融解による影響（凍害）が考えられた。従って、矢板に生じた劣化は塩害と凍害による複合劣化であることが推察された。ただし、前述図-4より、矢板前面の砂州高が高い地点においては、コンクリートの剥離・剥落が生じていないこと、凹部では劣化が生じていないこと、また、補修済み矢板でも再劣化が生じていることから、塩害と凍害は劣化の進行に寄与したものの、劣化発生の要因ではないと考えられた。

(2) 塩害・凍害が顕在化した要因

矢板の劣化目視調査より、矢板前面の砂州高が高い地点および凹部で劣化が生じていないことから、特定の外力により、塩害と凍害を助長する劣化が生じたと推察した。この外力として、冬期間に河川結氷が生じ、河口付近で順逆流が生じる網走湖下流域の特性を踏まえ、冬期間に発生する氷塊の矢板への接触に着目した。

(3) 冬期モニタリング調査

矢板の氷塊の接触状況を確認するため、平成25年12月から平成26年3月の期間を対象に、矢板前面を静止カメラを用いて冬期モニタリング調査を実施した。

a) 河川状況

定点観察により得られた画像より、図-7に示す観測期間中、河川結氷は延べ30日程度、氷塊の移動は延べ60日

程度確認された。また、潮汐の影響は網走川KP7.2地点に設置されている大曲水位観測所まで達しており、本対象区間は観測期間中潮汐による水位変動が確認された。

b) 氷塊と矢板の接触状況

画像分析により、氷塊と矢板の接触状況は写真-4に示すように、2通りに分類される。まず、氷塊が移動する際は、河川の流れにより矢板に上下流より衝突する。この場合、比較的小規模な氷塊は凸部、凹部に接触するものの、接触した際、衝突力が大きいと考えられる大きな氷塊は凸部のみに接触することが確認された。また、河川結氷が生じた場合は、氷塊が潮位により上下しながら矢板に接触する場合は、凹部と凸部に同様な接触が生じていた。

c) 氷塊接触による矢板の損傷

今回の定点観察では、氷塊による矢板の損傷は確認されなかったものの、写真-5に確認されるように、観測期間前までに矢板表面に付着した植物（こけ）が観測期間中に徐々に剥脱し、3月30日時点では凸部の前面はほぼ剥脱したことが確認された。ただし、凹部は植生が残っており、矢板表面の植物の剥脱状況より凸部は凹部に比べ氷塊接触による影響を顕著に受ける状況であると確認され、矢板表面に摩耗や微細なひび割れといった初期段階の劣化が生じたと考えられる。

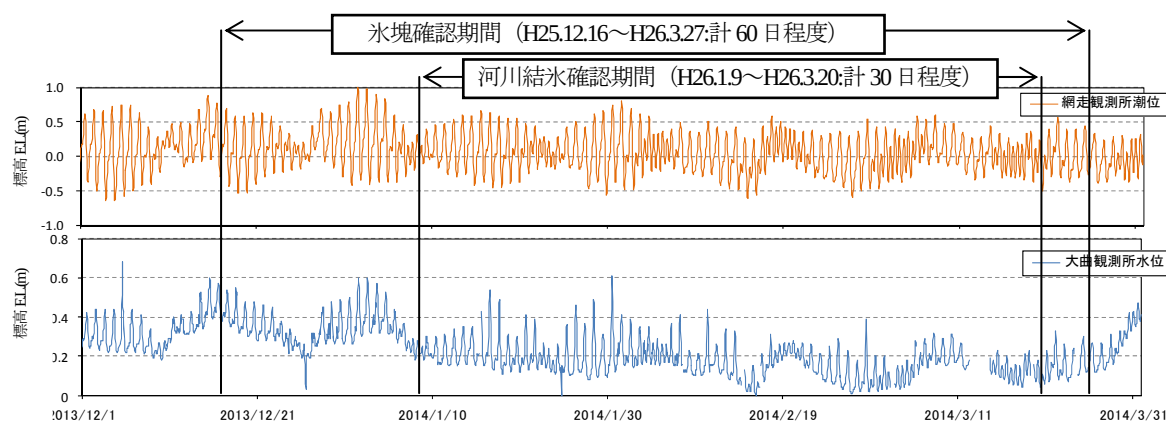
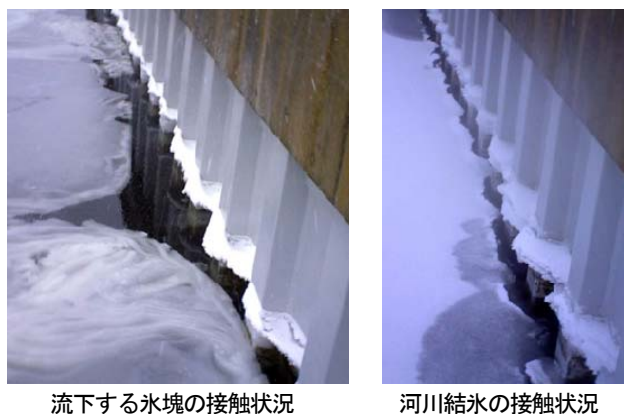


図-7 観測期間中の近傍観測所の観測水位および潮位変動と氷塊と河川結氷の確認期間（上：網走検潮所、下：大曲観測所）



流下する氷塊の接触状況

河川結氷の接触状況

写真-4 矢板表面の植生の剥脱状況



写真-5 矢板表面の植生の剥脱状況

(4) 矢板劣化過程のまとめ

冬期モニタリング調査の結果から、劣化発生要因は河川結氷による氷塊の接触による物理的な影響を起因とするコンクリート表面の摩耗や微細なひび割れの劣化であることが推察される。この劣化を踏まえ凍害、塩害によるスケーリングの進行、ひび割れの拡大、鉄筋の腐食、コンクリートの剥落等が助長する現象に至ったものと推測された。

4. 矢板補修工法

(1) 既往補修工とその経過

前述の劣化目視調査により、平成21年から平成22年に実施された断面修復+炭素繊維シートおよび表面保護工による表面被覆工法は、平成24年時点で表面保護工の表面損傷や剥離が確認された。これは、補修工法が選定されたときに、氷塊による耐衝撃性を加味していなかったためであり、矢板補修工には氷塊の衝突が想定される範囲は衝突に対する対策が必要である。また、断面修復+電気防食工法区間は矢板前面の砂州高が高く、氷塊接触の影響が小さいと考えられたため、評価していない。

(2) 矢板補修工に求められる機能

既往補修工の事後評価を踏まえ、矢板の補修に際し、求められる機能としては以下が挙げられる。本検討では、矢板の部位別に必要となる機能を明確にして、それぞれの補修および対策工の選定を実施した。

表-2 矢板の部位毎の劣化状況と補修工に求められる機能

部位	劣化状況	補修工に求められる機能
凸部	断面欠損+鉄筋腐食	断面修復+脱塩
凹部	コンクリート内部の塩分含有量が腐食発生限界を超過	脱塩

表-3 矢板の範囲毎の劣化要因と補修工に求められる機能

部位	劣化要因	補修工に求められる機能
飛沫帯	塩害・凍害	遮塩・凍害防止
干満帯	塩害・凍害 氷塊による摩耗	遮塩・凍害防止 漂流物対策

(3) 補修工および対策工の選定

目的の部位別の補修工法の比較検討を実施した。

a) 凸部の補修工

コンクリートの剥離、鉄筋腐食が著しい凸部の補修は、鉄筋腐食の進行が進んでいることから、鉄筋まではつた断面修復+塩分吸着SSI工法(NETIS登録番号：KK-100009-V)を平成22年以前の補修に採用した。しかし、近年、SSI工法を改良したN-SSI工法(NETIS登録番号：KK-100009-V)が技術開発され、施工性にも優れることから、今後の補修にはN-SSI工法を採用した(表-2参照)。

b) 凹部の補修工

干満部については、調査結果より鉄筋腐食は進行して

いないが、塩分含有量が1~5kg/m³と高く、今後の鉄筋腐食進行が懸念される。現状のまま、矢板の表面保護工を施工すると、万一、鉄筋が腐食したときの補修作業が困難となることから、当該区間矢板の凹部干満部については、鉄筋腐食を抑制する塩害補修が必要となる。

補修工法としては、矢板凹部は部材厚が75mmと薄く、部材厚の半分程度まではつる必要が生じることから、①はつり作業を必要としない工法、また、後述する遮塩および氷塊接触の対策工を行うことから、②氷塊対策工の支障とならない工法の2点を満足する必要がある、両者を満足し、経済性に優れる気化性鉄筋部食欲製材散布を選定した(表-3参照)。

c) 氷塊接触が生じない飛沫帯部の対策工

遮塩を目的とした表面被覆工としては大きく分類すると「塗装」と「含浸材」に区分される。「塗装」につい

表-2 凸部の補修工法比較表

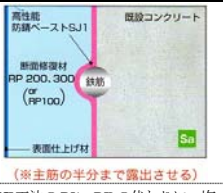
分 類	NSSI工法	SSI工法
構 成	断面修復材 ＜塩分吸着材「マセルトセカ」＞	遮塩モルタルRP200 ＜塩分吸着材「マセルトセカ」＞
	防錆材 高性能防錆ペーストS J 1 ＜塩分吸着材「マセルトセカ」＞	防錆ペーストR J 1・R J 2 ＜塩分吸着材「マセルトセカ」＞
	プライマー	
使 用	断面修復材	1750kg/m ²
	防錆材	1750kg/m ²
	プライマー	3,100kg/m ²
工法の概要		
	(※主筋の半分まで露出させる) SSI工法のRJ1・RJ2の代わりに、塩分吸着剤を含有する高性能防錆ペースト(SJ1)を使用する。	防錆ペーストRJ1・RJ2を鉄筋周りに施工する。
経済性	1.00	1.12
評 価	○	△
	「高性能防錆ペーストS J 1」によって、従来SSI工法で用いていた防錆モルタルが不要となり、一般的な断面修復工と比較しても経済性が同等あるいは優位になった。	防錆ペーストを2層にして鉄筋周りに施工するため、施工性に劣る。経済性においてもN-SSI工法に劣る。

表-3 凹部の補修工法比較表

工 法	気化性鉄筋腐食抑制材散布	犠牲陽極材工法	電気化学的脱塩工法
防錆理論	内在するアミン分子が気化性防錆効果となり鉄筋まで到達後、鉄筋に直接付着する事で、錆電流の速度を抑制し腐食を遅らせる効果を期待する工法である。	薄型形状の亜鉛性の犠牲陽極材を鉄筋に取り付け、鉄筋と亜鉛とのイオン化傾向の違いを利用して、防食電流を鉄筋に供給し、鉄筋の腐食を抑制する工法。	コンクリート中の鉄筋に大きな直流電流を流し、塩化物イオンを除去し、鉄筋の腐食を抑制する。同時に表面被覆を行い、今後の塩化物イオンの浸入を防ぐ方法。
特徴	■長所 ・早期に性能を発揮する。(7~10日程度) ・無色透明の1材の液体であり環境にやさしい無溶剤タイプである。(食塩程度の毒性の為、基本無害) ■短所 ・腐食抑制材の為、鉄筋の錆を無くなる事はない	■長所 ・大掛かりな設備が不要 ・犠牲陽極材の有効半径が50cm程度であるため、両凹部に取り付けることで凹部に対しても効果を発揮する。(凹部のはつりが不要) ■短所 ・犠牲陽極材の寿命としては10~15年程度である	■長所 ・コンクリートのはつり取りが少ないため構造物を傷めない ・施工後の通電は不要 ■短所 ・通電電流量が大きいため、鋼材の水素脆性などに対する注意が必要である ・脱塩のための施工期間が長い(約2ヶ月)
経済性	初期費用：1.00 ○	初期費用：0.65 △	初期費用：1.82 △
評 価	腐食抑制成分であるアミン成分の浸透深さは10cm程度であり、凹部の鉄筋位置まで浸透可能である。また経済性に最も優れている。	犠牲陽極の寿命が10年程度であり、その後のメンテナンスが必要となるが、矢板表面に高強度パネルを設置するため、メンテナンスは困難となる。	非常に高価となる工法であるため、全区間に適用すると不経済となる。

ては一般的な塗装に加えて矢板表面を対策工実施後にも確認できる「透明性」、矢板の多少の劣化に追従する「ひび割れ追従性」、「透湿性」を考慮した工法の比較とした。経済性に優れ、内部水分を滞水させないこと、コンクリート素地の状況を経年的に判断できることから『高分子系浸透性防水材』(NETIS登録技術CB-030003-V)を採用した(表4参照)。

d) 氷塊接触が生じる干満帯の対策工

劣化発現の主要因である氷塊接触が生じる干満帯については、保護工を設けることでコンクリート矢板の延命化に繋がると考えられることから、遮塩と氷塊等からの保護を目的とした表面被覆工が必要であるため、経済性、強度、施工性に優れた超高強度繊維補強コンクリート製型枠取付工法を採用した(表5参照)。

表4 氷塊接触が生じない飛沫帯部の遮塩対策工

大分類	表面処理工			
小分類	高分子系浸透性防水材	透明特殊コーティング	シラン系含浸材塗布	無機質系高弾性モルタル保護塗膜
工法の概要	透湿性塗膜による外的劣化抑制と撥水・コンクリート表面浸透改質成分による吸水防止効果をもつ高機能ハイブリッド型浸透性防水材	防水性・遮塩性・中性化抑止性及び透湿性を有する透明特殊コーティングで、コンクリートに塩化物イオン等の侵入を防ぐコンクリート保護塗膜	撥水効果のある含浸材を塗布することで遮塩性・中性化抑止性を期待する	防水性・遮塩性・中性化抑止性及び透湿性を有する無機質系高弾性被覆材で、コンクリートに塩化物イオン等の侵入を防ぐコンクリート保護塗膜
	・ひび割れ追従性及び付着性に優れる ・塗料の仕上がりが半透明であり、施工後にコンクリート素地の目視が可能。	・ひび割れ追従性、付着性に優れる ・塗料の仕上がり半透明であり、施工後にコンクリート素地の目視が可能。	・塩害対策、中性化対策で実績が多い ・ひび割れの表面がゴミ、埃等で汚れが生じている箇所等には、所定の効果が得られない。	・ひび割れ追従性及び付着性に優れる ・主成分が無機質系材料であり、紫外線劣化等が少なく耐久性に優れる。
対応年数	10～15年程度	10～15年程度	10年程度	10～15年程度
経済性	1.00	3.42	1.14	2.85
評価	○	×	△	×
	優れた塩害抑制性能を有し、コンクリート素地の目視が可能であり、最も経済性に優れる。	優れた塩害抑制性能を有し、モルタル素地の確認が可能であるが、経済性に最も劣る。	撥水性の材料であり、外的因子の遮断に優れた効果を発揮するが、断面修復材への塗布は効果なし。	優れた塩害抑制性能を有するがコンクリート素地の目視は不可能で、経済性も劣る。

5. まとめ

これまでの調査結果を基にした分析により、冬期間の氷塊が矢板劣化発生の主要因であると推定されたことから、矢板の補修には超高強度繊維補強コンクリート製型枠取付工法を採用した。補修工概要は図8に示す通りである。しかしながら、氷塊の矢板への衝突力は把握されておらず、外力の大きさによっては補修工の規模が縮減できることも想定される。今後は、矢板に作用する外力に対応した工法を選定するため、氷塊の衝突力を定量的に把握する現地計測を予定している。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)、平成23年10月。

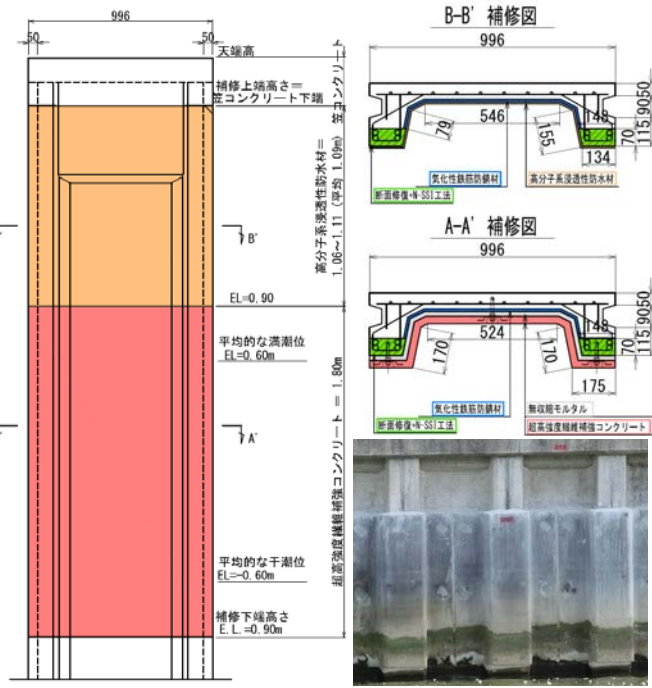


図8 補修工概要図および設置状況写真

表5 氷塊接触する干満帯の遮塩および氷塊接触対策工

工法	表面被覆工+ゴム緩衝剤	鋼矢板全面改築	コンクリート保護層設置	超高強度繊維補強コンクリート製型枠取付工法(全面部)
対策箇所	全面改築	全面改築	PC矢板全体	PC矢板全体
工法概要	既設PC矢板全面の空隙に間詰(クッション)材として、発泡ポリエチレンを設置し、この前面に鉄板入りのゴム緩衝材を樹脂アンカーにて取り付けて当該部を保護する。	既設PC矢板を取り壊し、鋼矢板(控え杭式)を新たに設置する。 鋼矢板には塩害対策として、FRP被覆を行う。	既設矢板全面に高強度コンクリート打設による、保護層を設置する。	遮塩パネル(繊維補強コンクリート型枠)をアンカーで固定・保護する。パネルの背面に付着層を設け、矢板とパネルの間は無収縮モルタルを充填し、一体性を図る。
概略図				
耐用年数	40年程度	FRP被覆 10年程度	25年程度	50年程度
経済性	1.01	3.06	1.19	1.00
評価	耐衝撃性 ◎：擦れるが壊れにくい	◎：同左	◎：同左	◎：左
	耐衝撃性 ○：弾性に富み衝撃に強い	○：硬度があり衝撃に耐える	○：同左	◎：左案より硬度があり衝撃に耐える
	景観 △：着色可能(着色時と耐候性減)	○：着色可能	◎：コンクリート色	◎：コンクリートと同等
	経済性 ◎：最安工法と同程度	△：最も高価となる	○：超高強度繊維補強Coより割高	◎：最も安価
	施工性 ◎：樹脂アンカー取付けで施工性に優れる	○：施工規模は大規模となる	○：チッピング等に時間を要する	○：無収縮モルタル充填のため、工期を要する
維持	◎：供用期間中に更新が生じる	×：定期的に更新が必要となる	△：供用期間中に更新が生じる	◎：今後の供用期間中に更新は必要ない
総合評価	○	×	△	◎