

増毛港プレジャーボートスポットに おける技術報告 —既設鋼管杭を活用したジャケット工法について—

留萌開発建設部 留萌港湾事務所 ○山口 圭太
鈴木 一行
前田 宗文

増毛港プレジャーボートスポット（以下PBS）栈橋は全道で初めて公共事業で整備が行われたPBSであり、平成6年度から供用が開始されている。しかし航跡波の影響による利用船舶と基礎コンクリートの接触や凍結融解作用によりコンクリートの劣化が著しく、わずか11年で改良が必要となった。

改良工法については、利用者が減少する秋季から冬季となり施工期間も短期間となることから「ジャケット工法」を選定した。本報文はPBS改良にあたって劣化したコンクリートの品質に対する考察と改良工法の検討について報告するものである。

キーワード：栈橋、凍結融解、ジャケット

1. はじめに

増毛港は北海道北西部に位置する地方港湾である。増毛港プレジャーボートスポット（以下PBS）は、全道で初めて直轄整備された公共マリーナである。平成6年の供用開始以降、例年約80隻のプレジャーボートが利用している。しかし、完成後約11年で枕梁コンクリートに著しい劣化が確認された。このような状況を受け、改良するにあたりその対応案について検討を行った。本報告は、劣化状況と改良工法の検討について報告する。

2. 劣化状況

PBSの構造を図-1に示す。鋼管杭上部にRC枕梁を打設し、鋼製桁を架設した栈橋構造である。写真-1～3はその劣化状況を示したものである。劣化状況は写真に示す様に3つの劣化状況に分類できる。1つ

目としては、深さ数mm程度のスケーリングである。写真-1のようにコンクリート表面のみが薄片状に剥離している状況がわかる。2つ目は、鉄筋かぶり厚内に収まる程度の欠損であり、写真-2の様に深さ数cmにおよぶ表面剥離や欠損が見られる。3つ目としては、写真-3のようにかぶり厚以上の表面剥離や欠損により鉄筋の露出がみられる状態である。このような劣化の要因としては凍結融解作用によるものと考えられるが本件の場合わずか10年程度で劣化が発生、進行しており、劣化速度が他の施設と比べ速いことが特徴である。この原因としては、船舶の入出港時の航跡波により係船しているボートが繰り返し枕梁コンクリートに接触することや枕梁の位置が干満帯であること、構造物としては小型であるため、温度変化を受けやすいこと、当時の新材料であった水中コンクリートを用いた小規模構造物であったため施工管理が難しかったことなどが考えられる。

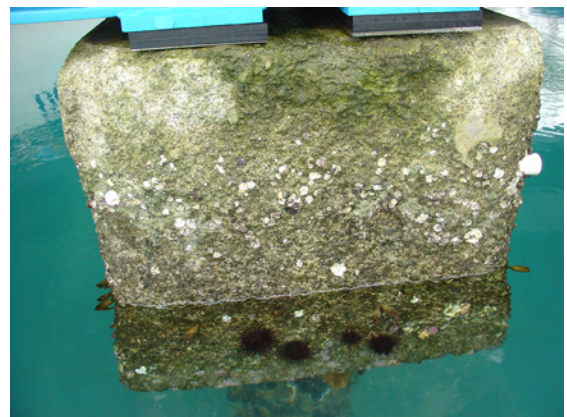
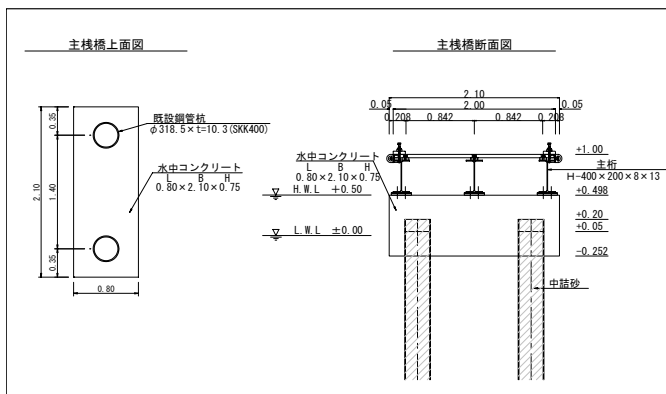


図-1

写真-1 劣化度II



写真-2 劣化度III



写真-3 劣化度IV

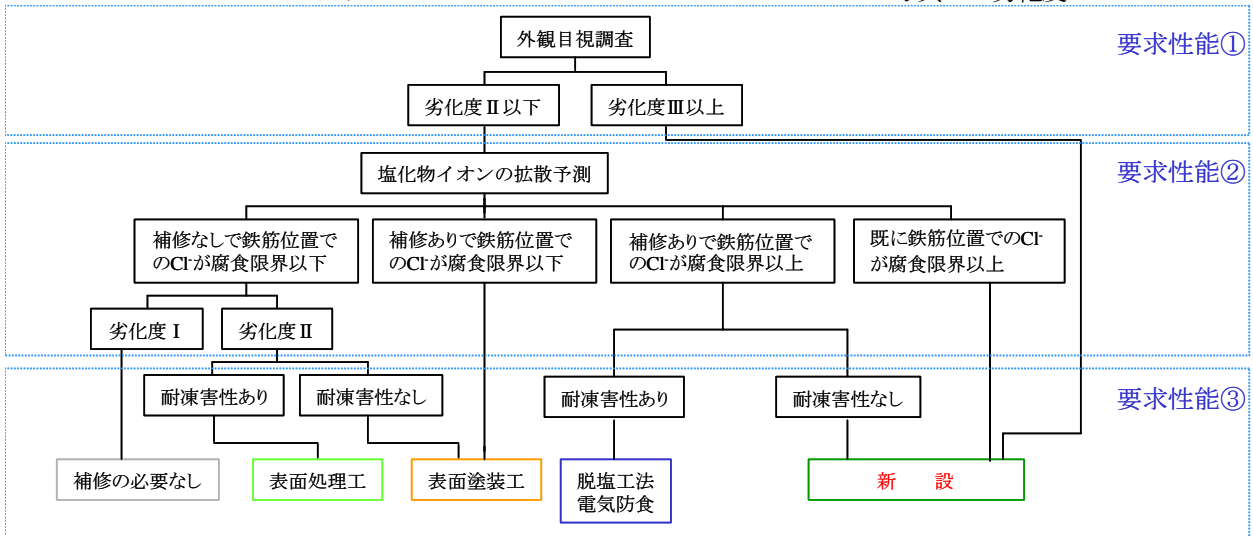


図-2 工法選定フロー

表-1

劣化度	外観状況	劣化状況
I	健全部	・スケーリングなし
II	表層スケーリング	・深さ数mm程度のスケーリング
III	コンクリート欠損 (鉄筋腐食なし)	・深さ数cmに及ぶスケーリング ・かぶり厚内にとどまる欠損
IV	コンクリート欠損 (鉄筋腐食あり)	・かぶり厚以上のスケーリング ・鉄筋の露出 ・鉄筋の腐食

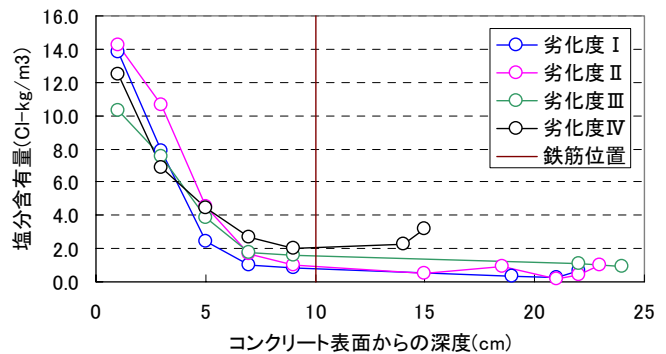


図-3

3. 補修・改良工法の選定

(1) 要求性能の設定

改良工法の選定にあたっては、劣化状況を劣化度 I ~ IVまで分類し、各劣化度毎に検討を行った。劣化度の分類については表-1に示す。改良後耐用年数50年の構造体への要求性能としては劣化要因を踏まえ次のことを考慮した。

- ① 鉄筋の発錆及び腐食が生じないこと。
- ② コンクリートに侵入、進行する塩化物イオン濃度が鉄筋腐食限界値以下であること
- ③ 耐凍害性が高いこと。

これらの要求性能を満たすため、図-2に示す工法選定フローに基づき工法の決定を行うこととした。

(2) 耐塩害性能

耐用年数期間の塩化物イオンの拡散予測を行うため、コア採取を行い深度毎の全塩化物イオン濃度を測定した。図-3に各劣化度毎の塩化物イオン濃度を示した。劣化度 I 及び II では、鉄筋位置での塩化物イオン濃度は 1.0kg/m^3 程度となった。一方で劣化度 III 及び IV では 2.0kg/m^3 程度という測定結果となった。

測定結果を受け、式-1に示すFickの第2法則に基づいた拡散方程式の解を用いて回帰分析を行い、拡散係数 (D) 及び表面塩化物イオン濃度 (C_0) を算出する。Error

Function部の計算は式-2により、 D 及び C_0 は最小2乗法により、各深度における実測値との誤差が最も小さくなるよう算出した。

$$C(x,t) = C_i + (C_0 - C_i) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \quad (1)$$

ここで

$C(x,t)$: 深さ x (cm)、経過年 t (秒)における全塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

D : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm^2/s)

C_i : 初期含有全塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

erf : 誤差関数

$$\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \quad (2)$$

なお、当該構造物は塩化物総量の規制後であるため回帰分析に用いるコンクリート中に含まれる初期含有塩分量は最大値となる $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

グラフを作成するにあたり、各劣化度毎の設計値を設定し劣化度毎で評価を行う。一例として、劣化度 I をあげる。表-2 に式-1 より算出した拡散係数 (D_0) 及び表面塩分量 (C_0) を示す。各劣化度毎の設計値については、それぞればらつきを考慮するべく、推定された分布の 90% を包括する値とした。図-4 に拡散係数及び表面塩分量の推定された分布を示す。この分布のうち 90% 包括値を設計値とし、劣化度 I の場合設計拡散係数 (D_D) 及び表面塩分量 (C_{0D}) の設計値は、 $D_D = 2.57 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 、 $C_{0D} = 33.36 \text{kg}/\text{m}^3$ となる。表-3 にそれぞれにおける設計値を示す。図-5 はコンクリート表面からの深度と塩化物イオン濃度の関係を示したものである。劣化度が大きいほど鉄筋位置での塩分含有量も増加する傾向にある。

鉄筋の腐食限界は、既往の文献によれば $1.2 \sim 2.5\text{kg}/\text{m}^3$ の範囲では鉄筋は腐食しておらず、急激な腐食進行は $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ を超過してからとされている。また、鉄筋の腐食は周辺環境により左右される。たとえば寒冷地では、温暖な地域に比べ鉄筋の腐食は緩慢になる。また当該枕梁の様に干満帯にある場合はコンクリートへの水分供給が十分な場合、細孔が水で満たされ、鋼材の腐食に必要な酸素供給が希薄となる。以上から当該施設においては鉄筋の腐食限界は $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ を超える

表-2

劣化度	資料番号	拡散係数 D_0 ($10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	表面塩分量 C_0 (kg/m^3)	グループ平均	
				D_0	C_0
I	1	0.880	10.75	1.57	22.260
	2	0.842	28.50		
	3	1.618	31.42		
	4	1.780	24.60		
	5	2.730	16.03		

表-3

劣化度	拡散係数 D_0 ($10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	表面塩分量 C_{0D} (kg/m^3)
I	2.570	33.36
II	4.150	25.10
III	6.770	19.65
IV	8.130	24.96

ものと考えられる。かつサンプル数が十分ではないため安全側を考慮し腐食限界を $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ と設定する。

算出された拡散係数、表面塩分量の設計値及び腐食限界値を用いてレベル別に 50 年後における塩分拡散を予測する。予測は、無補修の場合、補修して表面被覆を行い塩化物イオンの侵入を遮断した場合と 2 種類行った。結果を図-6 に示す。どの劣化度においても無補修及び補修とともに鉄筋位置における塩化物イオン濃度は $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ を大きく超過する結果となった。

(3) 耐凍害性能

耐凍害性を検討するために気泡間隔係数を算出した。劣化度 I 及び II において気泡間隔係数が $920 \sim 1386 \mu\text{m}$ となり、劣化度 III 及び IV では $282 \sim 284 \mu\text{m}$ となった。一般的に、気泡間隔が $250 \mu\text{m}$ 程度では耐凍害性に優れており、 $450 \mu\text{m}$ より大きいと耐凍害性が著しく低下する。このことから塩害に対しては比較的健全である劣化度 I 及び II では耐凍害性に乏しいコンクリートと言わざるを得ない。劣化度 III 及び IV では一般的な気泡間隔係数と比べ耐凍害性に優れていると判断される。

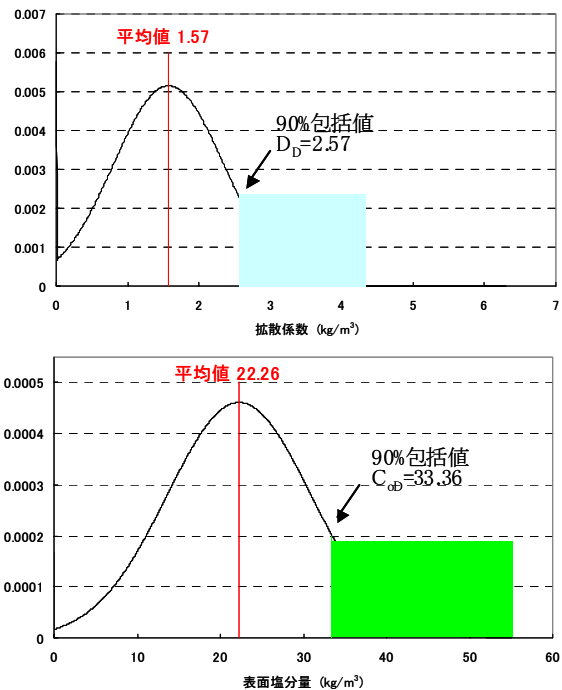


図-4 拡散係数及び表面塩分量の設計値

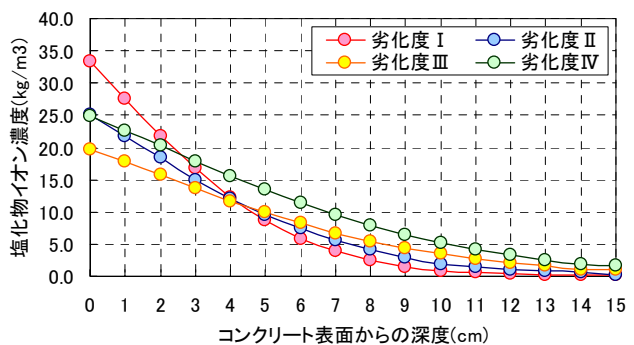
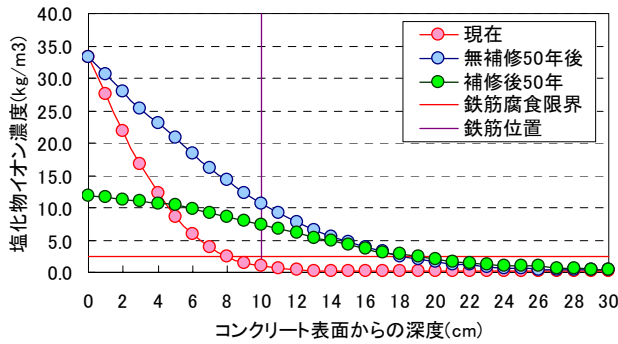
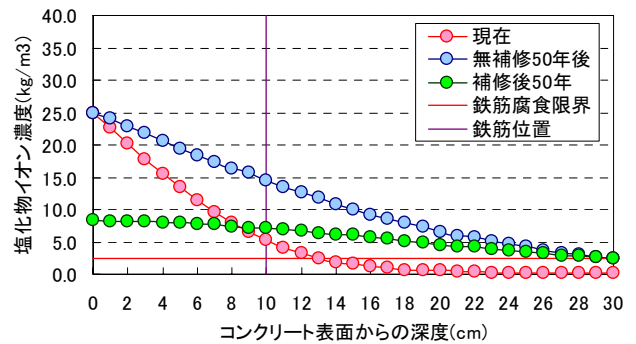


図-5 各レベル毎の塩化物イオン濃度の推定値



1) 劣化度 I



2) 劣化度IV

図-6 50年後塩分拡散予測値

工種	①場所打ち式(鋼製締切函体によるドライ施工)	②RCプレキャスト式	③鋼製式
概略図			
施工方法	鋼製締切函体製作(工場)・現地搬入 鋼製締切函体進水・設置(海上作業) 既設上部工撤去(ドライ施工) 新設上部工建設(ドライ施工) 鋼製締切函体撤去(転用の場合は移設)	RCプレキャスト製作(陸上ヤード) 水中足場設置 既設上部工撤去(一部水中作業) RCプレキャスト運搬・据付(海上作業) グラウト 水中足場撤去	さや管方式鋼製枕梁製作(工場製作) 水中足場設置 既設上部工撤去(ワイヤーソー切断) さや管方式鋼製枕梁運搬・据付(海上作業) グラウト注入 水中足場撤去
施工性等	・鋼製締切函体による仮締切によりドライな施工空間となる。 ・締切内での上部工取り壊し作業となるので、環境への影響が無い。 ・撤去、新設が全てドライ施工できるので、品質は十分満足できる。 ・鋼製締切函体は浮遊させることができるので、大きな施工機械が不要である。 ・鋼製締切函体の設置・撤去により、他家に比べて日数がかかる。	・プレキャスト製品を使用するため、品質は十分満足できる。 ・プレキャスト製品を据付けるので、①案に比べて短期間で作業できる。 ・水中足場が必要になる。 ・上部工撤去により、海底へコンクリートが落ちる可能性がある。 ・細かなものは回収が困難である。 ・プレキャスト製品の据付けには大きなクレーン付き台船が必要になる。 ・グラウトは水中作業となり、品質管理が重要である。	・プレキャスト製品を使用するため、品質は十分満足できる。 ・プレキャスト製品を据付けるので短期間で作業できる。 ・水中足場が必要になる。 ・既設枕梁の撤去はワイヤーソー切断+プレーカーによる破砕となる。 ・上部工撤去により海底へコンクリートが落ちる可能性がある。 ・細かなものは回収が困難である。 ・プレキャスト製品の据付けにはクレーン付台船が必要になる。 ・グラウトは水中作業となり、品質管理が重要である。
耐塩害・凍害性	△	△	○
概算工事費	707,000円/基	837,000円/基	1,595,000円/基

図-7 工法比較

(4) 工法の選定結果

図-2「工法選定フロー」に基づき劣化度 I 及び II については、耐凍害性が著しく低下しており『全撤去+全新設』となる。また劣化度 III 及び IV についても損傷が激しいだけではなく耐塩害性に乏しいことから『全撤去+全新設』とする。

4. 改良工法の選定

本施設の施工にあたり、現地条件として以下を考慮した。

- ① 施工は利用者調整を最低限とするため二つある栈橋うち1箇所ずつ行うものとし2カ年で行う。
- ② 現地施工可能期間は、利用者が少なくなる11月～3月の5ヶ月間とする。
- ③ 工事対象期間は、施工対象には船舶は係船しない。また、改良における留意事項としては以下を考慮した。
 - ① 劣化の原因となった塩害・凍害を受けない構造と

- ② 干潮帯であることから、施工管理を適切に行える工法であること。
 - ③ 冬季の急速施工が可能であること。
 - ④ 狭隘な潤内で施工が可能なこと。
- 改良工法については、①場所打ち式、②RCプレキャスト式および③鋼製式が考えられる。これらの比較を図-7に示す。①場所打ち式は、鋼製の函体にて締切を行いドライな環境で施工を行うこととする。②RCプレキャストは、陸上にて、RCプレキャストを製作し、既設鋼管との接続はグラウトにて行う。③鋼製式は工場にて鋼製枕梁を製作し、グラウトに既設鋼管と連結を行う。この3工法について、施工性及び経済性について検討を行った。まず施工性についてだが、①場所打ち式の場合、締切によりドライな施工が可能となりコンクリートの品質は向上が図られる。続いて②RCプレキャストは、プレキャスト製品を使用するため品質は確保できると考え



写真-4 中詰コンクリート打設



写真-5 枕梁仮置状況



写真-6 完成状況



写真-7 防舷材設置状況

られるが、既設鋼管との連結がグラウトであり、また施工箇所が水中となるため、品質管理が重要となる。③鋼製式は、プレキャスト製品を使用するため品質は十分に確保できるが、グラウト作業が水中となるため品質管理が重要となる。また経済性については、①が最も安価であり、次いで②が安価となる。しかしながら、施工対象が小断面の割に表面積が大きく外気温の影響を受けやすく、凍結融解作用による劣化が懸念されるため、改良工法については凍害の発生がなく、耐塩害及び腐食に対しても塗覆装により対処が可能な③鋼製式とした。

航跡波による利用船舶と基礎コンクリートの接触については、これまで横付けした防舷材を鋼製の架台を用いて縦付けとすることで対応した。

5. 施工報告

(1) 事前準備

PBSの利用シーズンは主に4月～10月であり現地施工にあたっては利用が少なくなる11月～3月までの2カ年で二つある栈橋を交互に施工を行うことで、港湾管理者、施設使用者等と協議を行った。

施工方法としては、仮設栈橋等を設置し陸上で新規構造を製作する陸上施工と、海上クレーンによる海上施工が考えられるが、安価となる海上クレーンによる施工とした。しかしながら栈橋のある船溜は狭隘なため、施工範囲を複数のブロックに分割し、施工しながら作業船を

逃がしていく方法とした。

(2) 撤去工

栈橋の改良に先立ち、既設栈橋の撤去を行った。上部鋼製桁や付属物については流用を前提としており、海上クレーンにより撤去を行った。その後、今回の改良箇所である既設枕梁を海上クレーンで吊りながら所定の高さで切断、撤去を行った。切断にあたっては、水中酸素アーク切断としていたが、①既設鋼管杭には、エポキシ系樹脂系の重防食が施されており、アーク切断に必要な金属面露出が困難であること、②アーク切断では密閉空洞化された環境下では、内部にガスが溜まり、爆発の危険性があることなどからダイヤモンドワイヤーソー工法により切断を行うこととした。

(3) 鋼製枕梁製作

今回設置した鋼製枕梁は、鋼管および鋼板により製作するが、品質管理の面から工場製作とし、重防食まで行い現場に搬入することとした。現場で搬入した枕梁のうち主栈橋に用いる枕梁は、設計荷重の関係から中詰コンクリートを施工する必要があるため、写真-4に示すように現場に逆置きし所定の高さまで打設を行った。

(4) 鋼製枕梁据付工

鋼製枕梁の据付は海上クレーンにより行い、その後グラウト注入により既設鋼管杭と連結させた。枕梁の内部にはストッパーが付いており、まず、写真-5に示したように枕梁を既設鋼管杭にチェーンブロック等で仮設置

し、グラウトが漏れいしないよう鋼製の底枠を設置し、既設上部鋼製桁を仮設置し、その後グラウトにより連結させた。グラウトは既設鋼管杭との連結を目的としているため「核点式ストラットマニュアル」を参考し配合を決定した。

上部鋼製桁の設置にあたっては、枕梁の据付及びグラウト注入後に上部鋼製桁を設置すると、アンカーボルトを孔に通すことが困難になるため、グラウト注入前に上部鋼製桁を設置することとした。

(5) 完成

写真-6が完成形であり、防舷材については、先述したとおり縦付けする必要があり写真-7のように設置している。

6. 結論

結論を以下にまとめる。

- ① 増毛港PBSの枕梁の劣化要因は、航跡波によること、干満帯であったこと、表面積が大きく外気温の影響

を受けやすい環境にあったことと推察される。

- ② 改良するにあたり鉄筋の腐食を考慮した結果、現状の構造物では耐用年数を満足できないことが判明した。
- ③ 改良工法は、耐凍害性に優れている鋼製式とし、また施工期間が短いため「ジャケット様式」とした。最後に現在施工が完了しているB栈橋において劣化は見られておらず、工法選定は正しかったと思われるが、航跡波の影響による船体動揺は改善された訳ではないので、新たな劣化が生じないか今後も経過観察を続けていくこととしたい。

参考文献

- 1) 松島学、松井邦人、関博、堤知明：Fickの拡散方程式の係数の同定 土木学会論文集No.520/V-28、269-272、1995.8
- 2) 土木学会：コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向2002.9
- 3) (独)土木研究所、日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル