

【技術ノート】

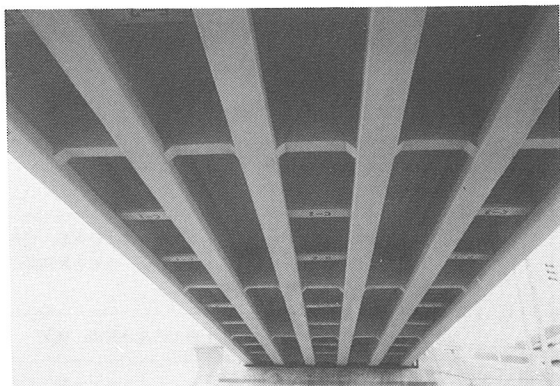
塩害PC橋補修の現況

Repair of PC Bridges Injured due to Salt Pollution

和 泉 吉 隆 *
Yoshitaka IZUMI
小 西 哲 司 **
Tetsusi KONISHI



施 工 前



完 成 時

1. まえがき

近年、コンクリート構造物の耐用年数に疑問が持たれ、再検討されつつある。元来土木構造物、特にコンクリート橋上部工の耐用年数は、増大する交通量を処理しきれなくなる等の機能的な面の能力低下、あるいは維持管理費が不要である期間内、つまり経済性により決まる傾向が強かった。ところが最近、これが物理的な要因により決まるものが増えてきたのである。物理的寿命、つまりそれまでメンテナンス不要と言われてきたコンクリート橋が予想以上に劣化していることが確認されたのである。

さて、コンクリート橋の物理的な劣化機構には

- ① 鋼材の腐食膨張によるもの
- ② コンクリートの化学的性質によるもの

に大別され、①の代表としてはコンクリート材料として使われた海砂、あるいは北海道から北陸地方までの日本

海沿岸、沖縄全島における飛来海塩粒子による一連の鋼材発錆現象、つまり塩害によるもの、②としては主に西日本で採取されるある種の粗骨材のコンクリート中での化学変化による体積膨張が引き起こすコンクリートのひびわれやポップアウト現象、つまりアルカリ骨材反応によるものがある。

先に述べたようにこれらの現象はここ2～3年の間にクローズアップされたもので、現在各方面各機関で損傷実態を把握するための全国調査が継続実施されている。

さらに技術的対策手法等も研究され、日々進歩が続けているが、しかし過去において建設された橋梁においては、これらの対策が講じられている筈もなく上記の要因をもつものでは条件によっては今後これらの現象が生ずる可能性がある。

一方昭和57年度のコンクリート橋梁の維持補修費は建設省のみで1900億円となっており全道路予算中約2割を占め、この割合は増加の一途である。これに対し公共予算のゼロシーリングは今後も続くことが予想される。つまり今後は新橋がどのようにすればこれらの被害を受けなくて済むかという問題よりも既存橋の維持に力が注がれると考えられる。

従って弊社としても今後のニーズに対応するためにこれらの技術開発を進めていたが、このたび塩害損傷橋の補修物件を受注し、先頃これを無事完了することができたのでここに報告する。

2. 工事概要

工 事 名：名立大橋外一件補修工事
施 主：建設省北陸地方建設局高田工事々務所
工事箇所：新潟県西頸城郡名立町字新井町
工 期：昭和57年8月～58年3月
工事内容：塩害防蝕工事 他

3. 工事報告

3-1 施工手順

図-1に本橋における塩害防蝕工実施フローチャートを示す。

3-2 調査

過去の塩害によるコンクリート橋損傷の報告によればその損傷状況はいづれも鋼材の発錆膨張がひきおこすコンクリートの鋼材に沿ったひび割れあるいは鋼材の破断である。発錆原因は最近の考えでは図-2のように、本来アルカリ雰囲気下で形成している鋼材の不動態皮膜が浸透してきた塩素イオンにより破壊されるためとされており、この考えがほぼ定着している。

しかしその損傷程度およびメカニズムは各橋梁の環境状況および施工時の状況（誤差の程度、水密性、混和材料、締め固めの良否等）、その他多くの条件により各々微妙に異なる。従って補修設計、施工に当ってはこれらを十分に調査把握したうえでその橋梁に適した補修方針を決定することが肝要である。そこで施工に先立ち、実橋の詳細な調査が行われた。

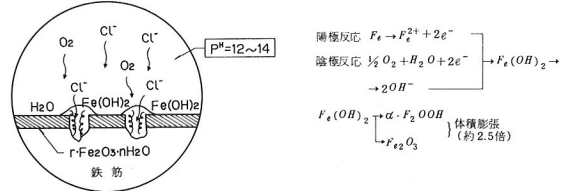


図-2 鋼材腐食のメカニズム

表-1 調査、測定項目

調査項目	測定項目	記録その他
橋梁概要	橋梁名、設計条件 径間および幅員構成 桁本数、沓の種類等	設計計算書等
環境状況	汀線からの距離 架設場所	
	飛来塩分量	現橋への塩分採取用パネルの 取り付け
	気象・海象記録	気象台、年鑑
	交通量	
施工状況	桁製作場所 コンクリートの品質 養生方法、施工時期	施工計画書等
施工前 (外観調査)	橋	橋体の外観、剝離 剝落、錆汁、ひびわれ、豆板 スパーサー等異物の有無程度
	体	表面付着塩分量 コンクリート強度の推定
	沓	沓の劣化形状 スケッチ等
	下部工	橋体と同様 橋体と同様
	鋼材の 腐食状況	スケール等の実測数値、程度、 位置、色等を展開図に記入
内部分析 調査	コンクリートの配合、塩分量 中性化深さ等	コア採取による内部 分析

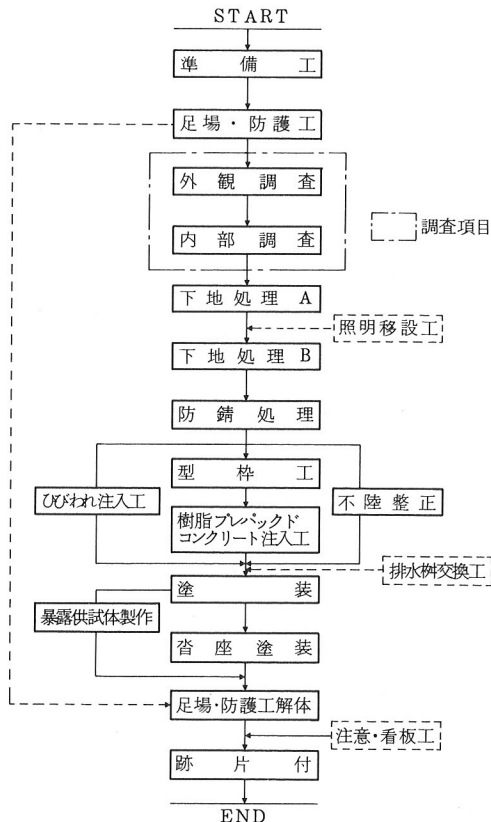


図-1 塩害防蝕工実施フロー

3-2-1 調査項目および調査要領

調査項目および調査要領は表-1の通りである。

3-2-2 調査結果

1) 橋梁概要

橋種・型式：ポストテンションPC単純T桁道路橋
 橋長・巾員：70m（支間 3@22.7m）・7.7m
 架 橋：昭和37年3月

2) 環境状況

架橋位置の概要を図-3、図-4に示す。

本橋架橋位置は海にやや突出した半島状の地形である
 うえ、汀線に50mと接近しており、厳寒期には表-2

に示すように西から湿気を含んだ季節風とこれに伴う飛沫を直接受ける厳しい環境にある。

表-2 風向頻度および平均風速

		北	北東	東	南東	南	南西	西	北西
夏 期 6月～8月	回 数	53	56	71	27	215	43	100	51
	平均風速	0.62	0.72	0.72	2.09	1.16	2.18	3.89	1.34
冬 期 12月～2月	回 数	22	3	28	29	142	128	193	48
	平均風速	2.21	1.71	1.43	0.28	1.78	4.72	5.78	5.63
全 年	回 数	150	139	211	111	801	308	565	186
	平均風速	1.01	0.91	0.92	0.79	1.55	3.68	4.69	2.97

観測期間 昭和39年～45年

青海消防署

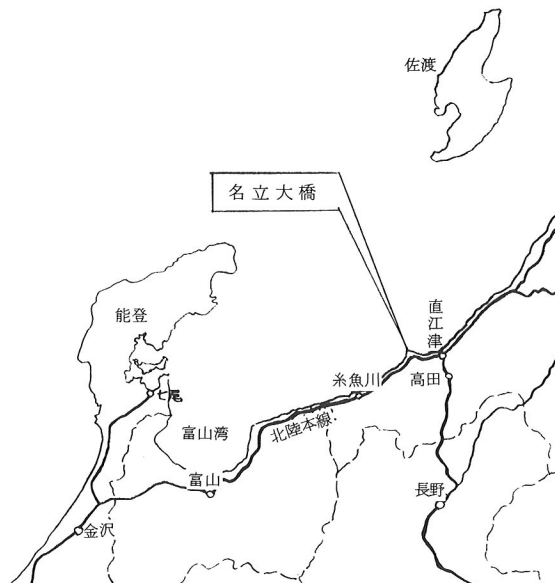


図-3 架橋位置

3) 施工前の状況 (図-5)

(1) ひび割れ発生状況

ひび割れは下フランジを中心に橋軸方向に発生しており、最大幅は0.5～1.0mm程度であった。

(2) 剝離・剝落

剝落は下フランジコーナー部それもスターラップの位置する部分に多く見られ、剝落面には茶褐色に発錆した鉄筋が確認された。(写真-1)

テストハンマーにより打診したところ、表面に錆汁が生じている箇所は剝離していることが確認された。

(3) 錆汁の状況

茶褐色の錆汁が下フランジ随所にみられ、特にひびわれ、豆板部分は濃い。

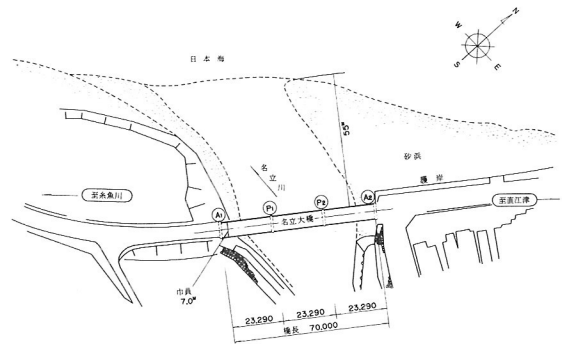


図-4 架橋位置概要



写真-1

(4) コンクリート強度の推定

シュミットハンマーによる強度推定によれば、主桁は $470\text{kg}/\text{cm}^2$ ($\sigma_{ck}=400\text{kg}/\text{cm}^2$), 場所打部 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ ($\sigma_{ck}=300\text{kg}/\text{cm}^2$) といずれも問題はなく、コンクリートそのものは健全であると思われる。

4) はつり施工後の鋼材の状況 (図-6)

(1) 腐食状況

鉄筋は発錆による断面減少で完全に無くなっている箇所もみられ、断面測定の前平均値は $\phi 6.2\text{mm}$ ($\phi 13$)であった。PC鋼材は最下段4本のうち平均1本が断面減少を起こしており、これら鋼材の表面は虫喰状態で、深さ0.3～1.0mm程度の孔が掘山みられ、これにくり込むように錆が生じていた。

錆は赤褐色～黒色の混合色を呈した粉体であり、やや湿気を帯びていた。

(2) 被り

鋼材の実被りはスターラップの両側面で15.0~55.0 mm程度(平均27.1 mm)であった。(当時サイドスペーサーはまだ使用されていなかった。)下面側は純被りではほぼ30.0 mmが確保されていた。

ひびわれ(mm)	スベーパー層筋等異物	遊離石灰	鉄筋かぶり鉄筋等破断
剥離	鉄筋	錆汁	鉄筋等破断
剥落	PC鋼材	補修跡	折り架所

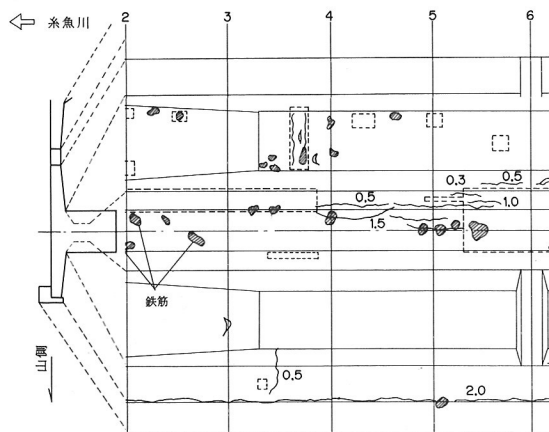


図-5 外観調査展開図より抜粋

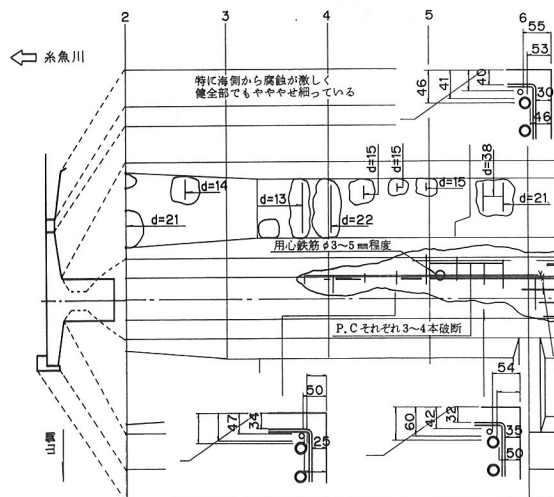


図-6 鋼材腐食状況調査展開図より抜粋

5) コア採取による内部分析調査

コア採取により、各種の内部調査分析が行われた。

可溶性および全塩分量の調査結果を図-7, 8に示す。

桁内部より表面に近い方が、また山側より海側の方が塩分の供給量(付着量)が多く、さらに表面に近づくにつれ明らかに塩分量の増加がみられる。これは塩分が表

面から供給されていることを示していると考えられる。

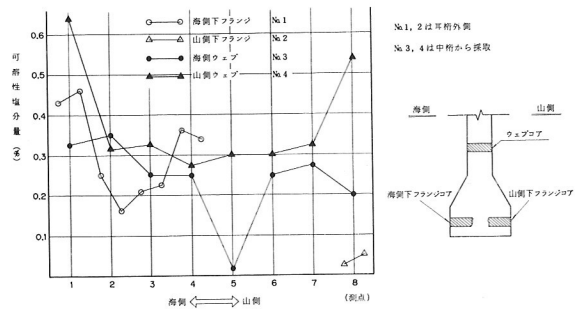


図-7 可溶性塩分量調査

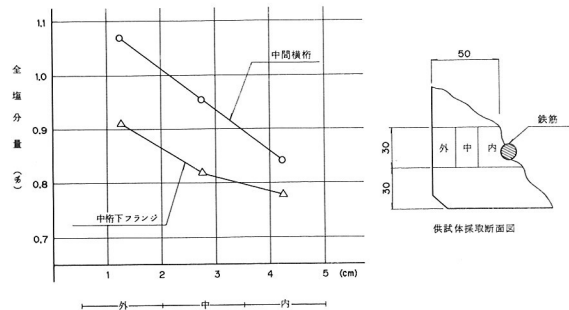


図-8 全塩分量調査

3-3 補修設計

塩害損傷橋の補修対策を講ずるうえで多くの問題がある。

- ① コンクリート内部へ浸透した塩分の処置および鋼材への影響をどの程度評価するか。
- ② 破断もしくは孔食等のあるPC鋼材の断面欠損による応力的な問題の評価。
- ③ 各桁、径間毎に異なる損傷程度の不均一。

これらに対し、本橋では損傷状況調査結果をもとに、②③を考慮したコンクリート、鋼材の応力状態を格子解析等により予想し、供用上の安全を確認した上で、次の事を基本として補修の方法が検討された。

- ㉑ これ以上の塩分や水分の浸透を防止し損傷の進行速度を純化または最小限に止める補修方法とする。
- ㉒ 桁の断面確保および剥離、ひびわれに対処するための補修方法とする。

以上の点から本橋においては、㉑に対して橋梁全面に塗装を行って対処することとし、㉒については不陸整正と断面の整正を樹脂コンクリート等で行い、設計時の断面は確保する。と決定された。

3-4 施工報告

以下、図-1に示した手順に沿って施工報告を行う。

1) 下地処理A……はつり工

コンクリートのひびわれ発生部分、錆汁の染み出している部分、応力的に機能のなくなっている剝離部分を取り除き、鋼材およびコンクリート面に付着している汚物等の除去を行った。

はつりは機械または手はつりにより行い、施工前にPC鋼材位置を図面により確認し、マーキング後、これらを痛めないように施工を行った。

2) 下地処理B……サンドブラスト工

サンドブラストを用いてコンクリート表面のレイトンス層および脆弱層を除去し骨材面を露出させた。

さらに露出した発錆鋼材、沓のケレン、およびコンクリート表面の付着塩分の除去にも用いた。

3) 防錆処理

サンドブラストにより下地処理を行った鉄筋、PC鋼材に防錆処理材(変性エポキシ樹脂ワニス)を塗布した。

4) 不陸整正工

コンクリート面に不陸部分があれば、珪砂混入エポキシ樹脂パテ材にてこれを整正した。

図-9に示すようにウェブ、上下床版下面是樹脂プレパックドコンクリート乾燥骨材の投入および型枠の設置が困難であるうえ、損傷も比較的軽いので不陸整正による断面修復とした。

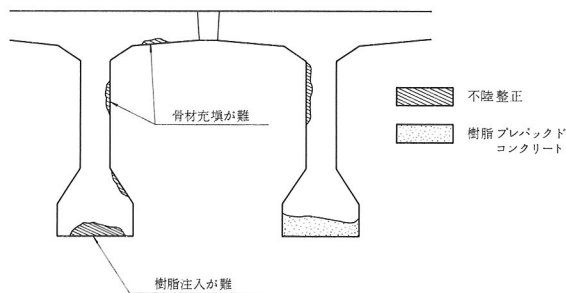


図-9 不陸整正と樹脂プレパックドコンクリートの施工区分

5) 樹脂プレパックドコンクリート工

下フランジの角欠けが大きい場合は樹脂プレパックドコンクリートにより断面修復を行った。樹脂プレパックドコンクリートはあらかじめ設置した型枠内に乾燥骨材を充填し、結合材としてエポキシ樹脂を注入するもので

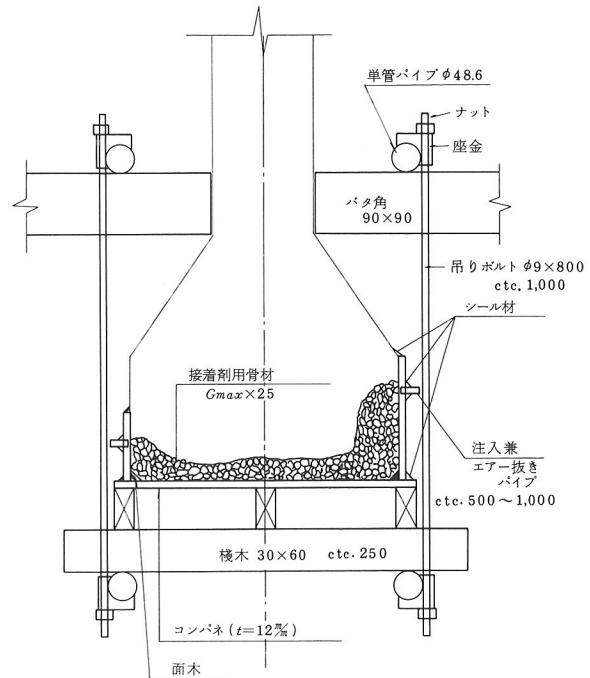


図-10 型枠取付要領

ある。

(1) 型枠工

型枠の取付けは図-10の要領で行った。

エポキシ樹脂は強力な付着力を有するので、脱型は無理にこれを行うと、本体および型枠に損傷を与えやすくなる。従って型枠面には設置前に剝離剤を十分に塗布し、さらに脱型は慎重に行った。

(2) 注入工

底型枠セット後、骨材を投入し、側枠をセットする。注入材が漏れないよう目地にシーリングを行い、注入ポンプにて樹脂グラウトを注入した。グラウトの混合攪拌は反応熱により急激に硬化を起こさないように1回の標準注入時間および1箇所の注入量を確認して、行った。

養生は夏期の外気温が高い期間は1日、冬期は反応が遅いため2日間とした。

6) 断面検測・数量計算

塩害損傷橋は過去の施工例から判断して設計数量と実数量とに多少の差があるのが常である。従って、はつり工終了後、設計変更数量を確認するために断面検測と数量計算を行った。その結果を表-3に示す。

表-3 塩害防食工事数量

種 別	単位	設計数量	変更数量	増 減
下地処理 A	m ²	1.5	2.3	(+) 0.8
" B	m ²	1470	1520	(+) 50
防 錆 処 理	m ²	3.0	69.0	(+) 66
不 陸 整 正	m ²	1.1	34.0	(+) 32.9
クラック注入	m	2.1	6.6	(+) 4.5
樹脂プレキャスト コンクリート	m ³	1.5	1.8	(+) 0.3
型 枠 工	m ²	60.0	73.0	(+) 13
塗 装 工	m ²	1470	1520	(+) 50

7) 塗装工

現在コンクリートの塩害防止被膜剤として市販されている材料はすべてその効果を実施検証中である。従って本橋でも塗装材料の試験を兼ねて、現在有効とされている4種類を使用した(表-4)。

表-4 塗 装 材 料 一 覧

ガラスフレークエポキシ系塗料					ガラスフレークビニルエステル系塗料				
No.	塗 装 仕 様	使用量 (kg/m ²)	工 程	塗 装 方 法	No.	塗 装 仕 様	使用量 (kg/m ²)	工 程	塗 装 方 法
1	エポキシプライマー	0.15	プライマー	ハケ	1	エポキシプライマー	0.15	プライマー	ハケ
2	エポキシパテ	0.40	パテ	へら、こて等	2	ガラスフレーク系 ビニルエステル系 樹脂パテ	0.40	パテ	スポンジロー へら、こて
3	ガラスフレークエポキシ中塗	0.90	下 塗	"	3	ガラスフレーク系 ビニルエステル系 樹脂中塗	1.00	下 塗	"
4	" 中塗	0.90	中 塗	"	4	" 中塗	1.00	中 塗	"
5	ウレタン上塗	0.15	上 塗	ハケ	5	ウレタン上塗	0.15	上 塗	ハケ
6	"	0.15	"	"	6	"	0.15	"	"

エポキシ樹脂系ガラスローゼンダ塩害塗料					数値系ポリブテン系無鉛鉛系塗料				
No.	塗 装 仕 様	使用量 (kg/m ²)	工 程	塗 装 方 法	No.	塗 装 仕 様	使用量 (kg/m ²)	工 程	塗 装 方 法
1	エポキシプライマー	0.15	プライマー	ハケ	1	エポキシプライマー	0.15	プライマー	ハケ
2	エポキシパテ	0.40	パテ	金べら、こて等	2	エポキシパテ	0.40	パテ	金べら、ゴムべら
3	F.R.P. 1 層	2.00	下 塗	ゴムべら、こて等	3	ポリブテン系中塗	0.80	下 塗	"
4	" 2 層	1.00	中 塗	"	4	" 中塗	0.70	中 塗	"
5	ウレタン上塗	0.15	上 塗	ハケ	5	ウレタン上塗	0.15	上 塗	ハケ
6	"	0.15	"	"	6	"	0.15	"	"

4. 施工管理および工事所感

1) 調査および施工記録

桁展開図は断面修復後も損傷位置と程度を確認することができるため、追跡調査に役立つと共に、施工段階毎に数量測定に使用することも出来、非常に有効である。

本橋では1/30展開図を使用した。

2) 下地処理B(サンドブラスト工)

サンドブラスト工はコンクリート橋に使用した前例がなく、その効果については未知であったが、今回の施工で以下の結果が得られた。

- ① 施工前は判らなかった微細なひびわれの発見ができた。
- ② コンクリートの膠弱部の除去はもちろん、コンクリート表面の付着塩分除去に効果が大きい。

③ 鋼材の錆が細部まで完全に除去できた。また合せて鋼材の腐食状況、損傷度も知ることができた。

これらの利点とは反対に、廃砂処理、第3者に対する防塵防護工等の問題が残された。

3) 塗装工および膜厚管理

コンクリート用塗装材料は現在時点では施工性に多くの問題があり、鋼橋等に比して著しく劣ると思われ、今後の改善に期待がもたれる。

膜厚管理は塗装施工で最も重要な管理項目である。鋼橋では一般に硬化後、磁気膜厚測定機器により行うがコンクリートにはこれが使用できないため塗料はロスを含めて使用量を使いきることを目標とし、施工後空缶検査を行った。なおガラスフレーク混入あるいはF.R.P.のように固体を塗膜中に含むもの以外についてはウェットシックスネズゲージを使うことにより、塗膜厚の目安を知る事も可能であるが、本橋の場合ウェット膜厚と乾燥膜の関係が示されていなかったため使用はしなかった。

5. おわりに

塩害損傷橋の補修は多種多様の要因を含んでおり、その示様は統一出来るものではなく十分な調査分析の上で決定されるべきものであると思われる。名立大橋においても各主桁毎の損傷程度の差異を筆頭に、一連の施工フローで行えない要因が無数にあり、今回の施工の効果を確認するにはそれぞれの施工段階、塗装材料の性質、方法ひとつひとつの施工記録をもとに今後の追跡調査によるきめ細かな観察が必要である。

今回は飛沫塩害の補修報告であるが冒頭にも述べたように今後増大が予想される補修工事に早く対応をすることが我々にも要求されるようになる筈である。従ってアルカリ骨材、塩化カルシウム等の問題を含めて、これら構造物の維持管理および補修補強施工の方法等調査研究を積極的に継続してゆくことが是非必要であると思う。

参考文献

- 1) 小林一輔：鋼材腐食によるコンクリート構造物の劣化とその対策，土木施工，Vol.25，No.7，1984。
- 2) 井上勝他：さびの科学，三省堂，1982。
- 3) 船越・樋口・富田：名立大橋の塩害と補修について，第15回日本道路会議特定課題論文集，1983。