

論文

[2153] 補修された栈橋の耐久性について

工藤文弘(東京ガス株式会社)

広谷 亮(東京ガス株式会社)

正会員 守分敦郎(東亜建設工業技術研究所)

正会員○安田正樹(東亜建設工業技術研究所)

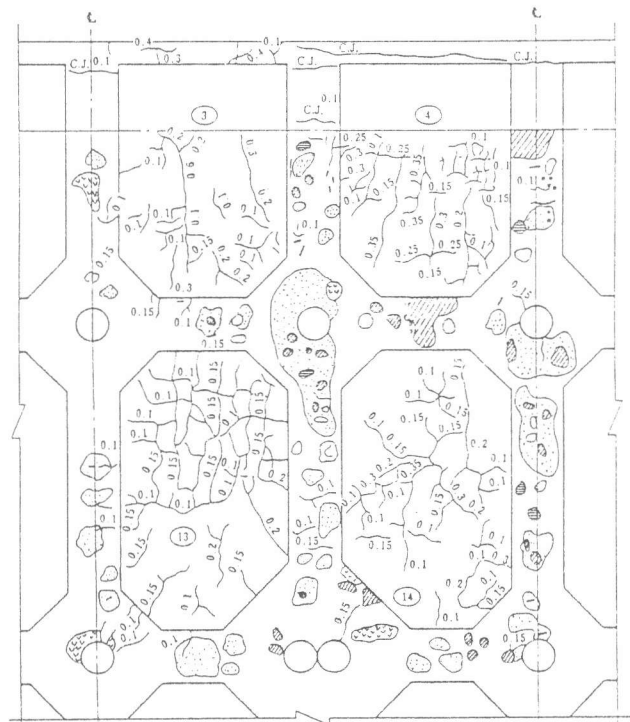
1. はじめに

厳しい塩害環境におかれている港湾構造物は、その耐久性を確保するために補修や維持管理が必要不可欠なものとなってきている。しかし、鉄筋コンクリート構造物においては補修方法や補修効果の考え方について、確立されたものがないのが現状である。筆者らは昭和59年～昭和60年にかけて行なわれた栈橋と車道橋の大規模な補修工事において、力学的な面から補修効果を検討してきた[1][2][3]。本文は、補修後約5年経過したこの栈橋の追跡調査の結果より耐久性の面から補修効果の検討を行ったものである。

2. 劣化の概要と補修方法

2.1 劣化の概要

補修前に栈橋上部工下面に見られた塩害劣化の概要を図-1に示す。梁下面は浮き・剥離や鉄筋の錆汁がみられ、スラブ下面には多数のひびわれが見られた。当時の鉄筋の腐食度は場所によって若干異なっていたが、スラブにおいては平均「Ⅱ」、梁では平均「Ⅲ」程度であった[4]。鉄筋のかぶりはスラブが30mm、梁では90mm程度であった。本構造物のスラブおよび梁は、H.W.L.より上にそれぞれ3.65mおよび2.8mの位置にあり、有義波高で平均0.5m、最大3.0m程度の波浪環境では、海水が直接コンクリート面に触れる状況は少なかったものと判断される。



凡例	豆板	錆	ひび割れ
浮き	点錆	C.J	コンドジョイント
剥落	鉄筋露出	■	ポリセパレータ錆

図-1 劣化状況

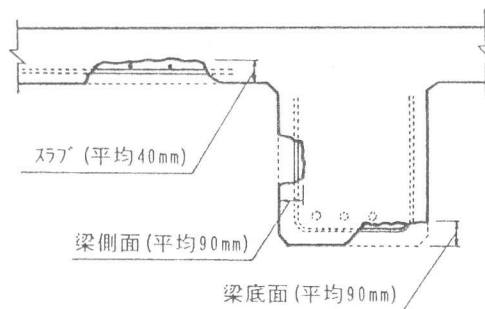


図-2 鉄筋はつり出し状況

2.2 補修方法

昭和59年から60年にかけて行なわれた補修は、図-2に示す様に、浮き・剥離や錆汁などコンクリート表面に劣化が見られる部分について、鉄筋をはつきり出して防錆処理を施した後、ポリマーセメントを用いたプレキャスト工法を主体とした断面修復が行なわれた。さらに、コンクリート表面全体には表-1に示す仕様の塗装が施された。これらの補修方法は基本的には、昭和62年に(財)沿岸開発技術研究センターから出版された劣化防止・補修マニュアル(案)[5]に示された断面修復および表面塗装と同様の方法である。

3. 調査方法

補修後約5年経過した平成2年7月に、塗膜の耐久性と補修効果の確認を目的として表-2に示す調査を行なった。

3.1 塗膜の耐久性を評価する調査

塗膜自体の耐久性を評価するために「外観調査」「塗膜の顕微鏡観察」「付着試験」「ひびわれ追従性試験」「拡散セルによる遮塩性試験」を実施した。ひびわれ追従性は、実構造物より塗装面を傷つけない様にJFを採取し、JF表面を図-3に示す形状に加工した後、

両側から5mm/minの速度で引張り、塗膜破断時のコンクリートのひびわれ幅を計測することにより評価した。これらの調査結果は、事前に行なわれたサソイカーボナーカーキエータによるデュサイクル促進耐候試験結果とあわせて評価を行なった。

3.2 補修効果を確認する調査

補修効果を評価する目的で「コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定」および「鉄筋腐食状況調査」を行なった。コンクリート中の塩化物イオン濃度は、構造物より採取したJFをJCIの方法に従って試料を調整し測定した[6]。また、コンクリート中の鉄筋の腐食状況は、「表面塗装のみ行なったスラブ、梁」や「断面修復箇所付近」を中心に、鉄筋をはつきり出して確認した。

4. 調査結果

4.1 外観調査結果

外観調査の結果では、5年経過した塗膜の表面には大きな変状は見られなかった。しかし、全塗装面積の1%程度に表層のポリウレタン樹脂塗料の黄変(黄色に変色)が見られた。また、一部に塗膜の表層部分に縮みが見られたが、塗膜に求められている「環境遮断機能」を阻害するほどの大きな欠損とはなっていない。また、建研式付着試験機により測定した塗膜の付着強度は「25.0~36.3Kgf/cm²」と高い値を示しており、付着強度の低下は見られなかった。従って、今後「はがれ」や「ふくれ」などの劣化現象が大規模に発生する可能性は少ないものと判断される。

表-1 塗装仕様

工程	材 料	塗膜厚 (μ)
処理	エポキシ樹脂プライマー	-
	エポキシ樹脂パテ	-
中塗	1層 厚膜型ポリウレタン樹脂塗料	500
	2層 厚膜型ポリウレタン樹脂塗料	500
上塗	1層 ポリウレタン樹脂塗料	30
	2層 ポリウレタン樹脂塗料	30

表-2 調査項目

調査項目	調査数
外観調査	1200m ²
電子顕微鏡観察	5箇所
建研式引張接着試験	5箇所
碁盤目試験	5箇所
付着塩分量測定	10箇所
ひびわれ追従性試験	5箇所
遮塩性試験	4箇所
塩化物イオン濃度測定	13箇所
鉄筋腐食状況調査	5箇所

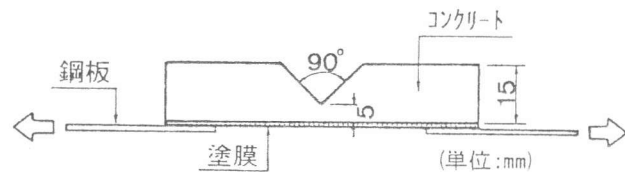


図-3 ひびわれ追従性試験供試体の概要

4.2 塗膜のひびわれ追従性

塗膜のひびわれ追従性試験結果の一例を図-4に示す。試験の結果、塗膜は3.0mm程度のひびわれ幅まで追従できることが確認された。補修前に行なわれた試験の結果では、梁供試体(90×90×500)の曲げひびわれに対して平均2.5mmまでのひびわれ幅に追従できることが確認されている。これらと比較すると、両者の試験方法の違いを考慮に入れても、本構造物の塗膜は、5年経過してもひびわれ追従性に低下は見られないことが理解される。しかし、デュサイクル促進耐候性試験結果によると、この塗膜の伸び率は図-5に示す様に2000時間の促進暴露により当初の218%から111%に低下しており、厳しい暴露条件下ではひびわれ追従性が大幅に低下することが理解される。促進耐候性試験による暴露時間と実構造物での暴露時間を対応させることは難しいが、現状において本構造物の塗膜は促進耐候性試験の初期の段階にあり、十分な耐久性を保有しているものと判断される。塗膜が追従できるひびわれ幅は、活荷重によるひびわれのように比較的短期間で閉じる場合と長期にわたってひびわれ幅が保たれる場合で異なるものと思われる。前者のひびわれについては、ここで行った実験結果(3.0mm程度)が参考となるが、後者については、例えば本構造物において、この塗膜が数箇所の位置で0.7mm程度のひびわれ幅に追従できておらず、このような場合のひびわれ追従性についてはさらに検討が必要と思われる。また、ひびわれ追従性は荷重の繰返し作用によって影響を受ける[7]と考えられるため、開閉を繰返す動的なひびわれについては別途検討が必要であると思われる。

4.3 コンクリート中の塩化物イオン濃度分布

コンクリート中の塩化物イオン濃度分布(コンクリート重量に対する比率)を、図-6および図-7に示す。同図には同様な位置で補修前に行なった計測結果も合わせて示してある。補修前に行なった調査と本調査の計測位置が必ずしも一致していないため厳密な比較はできないが、いずれの図においても表面の塗装によって、表面付近の塩化物イオン濃度が低下する傾向にあるこ

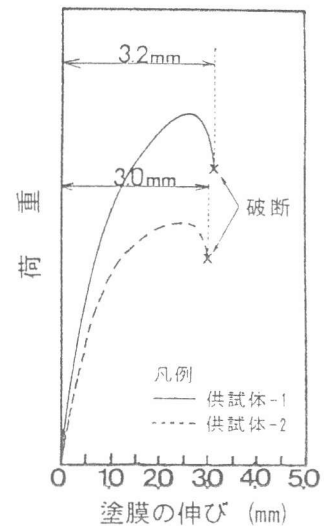


図-4 ひびわれ追従性試験結果

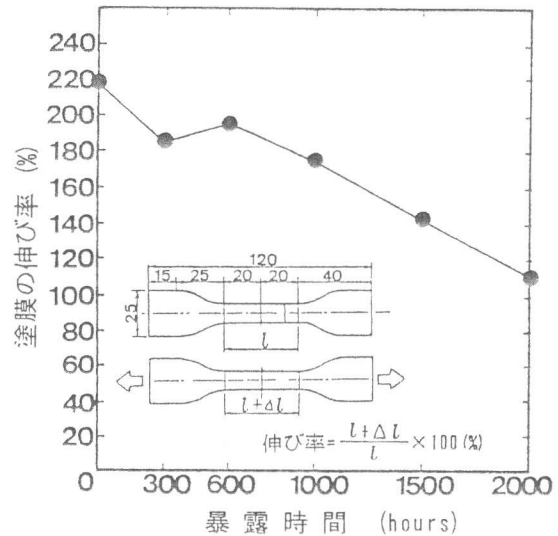


図-5 促進耐候性試験結果

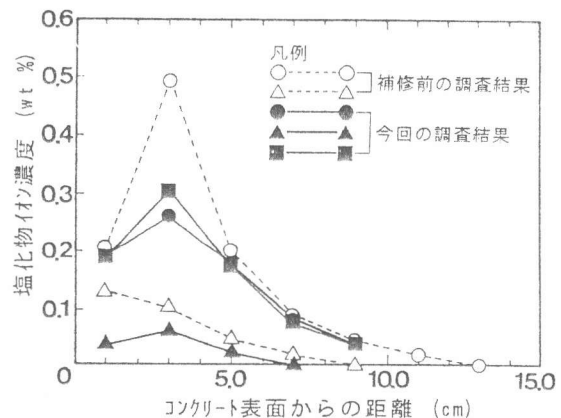


図-6 梁部材の塩化物イオン濃度分布調査結果

とが理解される。この現象を評価するために、コンクリート中の塩化物イオンの濃度分布をFickの拡散方程式を用いて差分法により解析的に推測した。このとき、「補修する前の塩化物イオン濃度分布を初期値」とし、「表面からの塩化物イオンの供給が無く」しかも「見かけの拡散係数は塗装後も塗装前と同一」の条件のもとで算定した。塗装して5年後および20年後の塩化物イオン濃度分布を図-8、図-9に示す。同図には、表面塗装を行わない場合についてもあわせて示してある。これらの計算結果より、以下のことが理解される。

- ① 計算によって得られる塩化物イオンの濃度分布は、今回行なった計測値と同様な傾向を示しており、表面付近に存在する高い濃度の塩化物イオンが深い部分へ拡散する傾向にあることが理解される。
- ② 初期値(実測値)と補修して5年後および20年後の計算値を比較すると、いずれの図においても「5.0~6.0cm付近」より表層に近い部分の塩化物イオン濃度が初期値より低下しており、逆に深い位置では濃度が上昇している。従って、表面塗装により鉄筋のかぶりが小さいスラブに対しては比較的高い補修効果を得られるものと思われる。
- ③ 鉄筋腐食状況調査において、かぶりの小さいスラブでは鉄筋腐食の進行が顕著には見られておらず、上記の傾向をある程度裏付ける事実と思われる。しかし、表面塗装は酸素供給量を抑えるなどの効果もあり、実構造物における塗膜の補修効果については今後さらに検討する必要があるものと思われる。

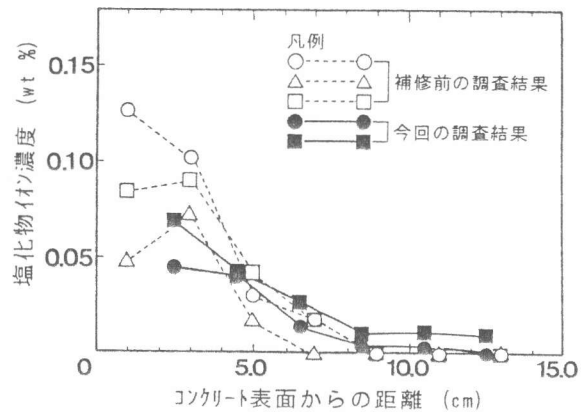


図-7 床版の塩化物イオン濃度分布調査結果

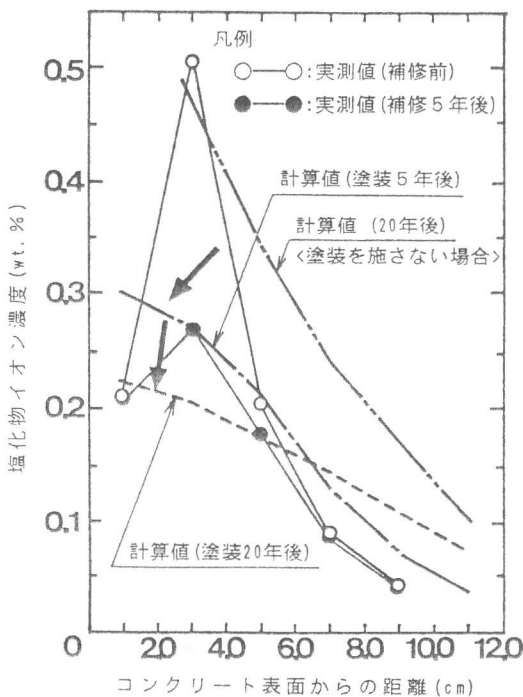


図-8 塩化物イオン濃度分布計算値(梁部材)

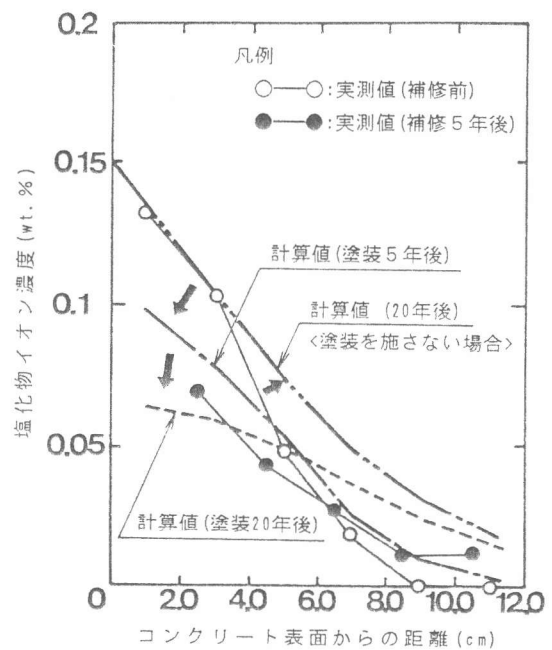


図-9 塩化物イオン濃度分布計算値(床版)

4.4 内部鉄筋の腐食状況

これまでの定期点検で5本の梁(梁総延長の6%)に内部鉄筋の腐食が原因と思われるひびわれが発見されている。本調査では、表-3に示す様に「表面塗装のみ行なったスラブ(No.2, No.5)および梁(No.3)」と「断面修復と表面塗装を行なったスラブ(No.

4)」および「補修後に断面修復付近でひびわれの見られた梁(No.1)」について調査を実施した。同表には、調査した鉄筋に比較的近い位置で計測した塩化物イオン濃度も参考として示してある。この表より次のことが理解される。

① 表面塗装を施したスラブの鉄筋(No.2, No.5)については、補修前(腐食度Ⅱ)と今回(腐食度Ⅱ)で同様であり、顕著な鉄筋の腐食の進行は見られなかった。梁(No.3)についても主筋に関しては同様であったが、かぶりの小さいスターアップ部分で腐食が見られた。これは、補修時点で既にコンクリート中の塩化物イオン濃度が高く、このため塗装を行なっても腐食が進行したものと思われる。

② No.1の梁は調査時点で、既設コンクリート部分の塗装表面にひびわれが見られた。この鉄筋の腐食状況を図-10に示すが、外部からの塩分浸透を受けやすい部分に腐食が集中しており、コンクリート中の塩化物イオン濃度が塗装後の鉄筋腐食に大きな影響を与えることが理解される。

③ No.4は床版の断面修復部を貫通する鉄筋である。断面修復部は防錆処理が施してあるため鉄筋には腐食の進行は全く見られなかったが、それに続く既設コンクリート部分で腐食の進行が確認された。この原因が「補修時点で既に腐食していたが補修しなかった」ためか「断面修復部分と既設コンクリート部分でのマクロセルの形成によるもの」か、現状においては明確な評価は下せない。しかし、この付近の鉄筋の劣化度を補修前後で比較すると(5年間で「Ⅱ～Ⅲ」が「Ⅲ」に上昇)、腐食速度は速くないものと判断される。

4.5 補修効果と維持管理

本調査の結果より、5年経過した塗膜は十分な耐久性を保持していることがわかった。しかし、塗装されたコンクリート中の鉄筋の一部に腐食の進行が見られた。この原因として、「部分補修を行なう過程で潜在的に劣化した部分を補修できなかった」ことや「補修部と未補修部でマクロセルが形成され鉄筋腐食が進行した」ことなどが考えられる。いずれの場合も、なるべく広い範囲を補修することによりその可能性を小さくすることができるものと思われる。しかし、補修時に塩分濃度の高いコンクリートを完全に取除くことは、「下面」で大きな障害になるとともに、構造物の供用に支障をきたしたり、障害物のために施工が困難となるなどの問題があり、結果的に部分補修となる場合が多い。この様な場合は、本構造物において見られた様に、補修後に発生する劣化を完全に抑えることは困難と思われる。

表-3 鉄筋腐食状況調査結果

位置	かぶり厚 (mm)	鉄筋径		腐食度	鉄筋位置 塩化物イオン 量(wt%)**	摘 要
		公称径 (D)	平均径 (mm)*			
No.1	91.1	19	17.5	Ⅲ	0.036	断面修復部付近(梁)
No.2	73.2	16	15.1	Ⅱ	0	(スラブ)
No.3	99.2	19	18.0	Ⅱ	0	(梁):主筋
	47.4	16	14.4	Ⅲ	0.194	(梁):スターアップ
No.4	32.3	16	15.2	Ⅲ	0.025	断面修復部付近(スラブ)
No.5	27.4	16	15.2	Ⅱ	0.045	(スラブ)

* 鉄筋のリブ、筋でない箇所径

** 比較的鉄筋に近い位置で採取したコより得られた値(コンクリート重量比)

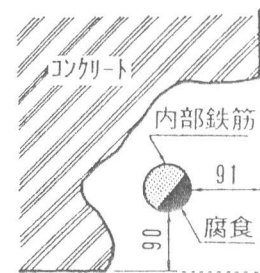


図-10 鉄筋腐食状況

補修後の劣化発生頻度はおおよそ図-11の様に想定される。補修直後の1～2年の第一段階では、「表面塗膜の欠損」、「断面修復部の剥離」や「境界部での鉄筋腐食」など補修時の施工管理に起因した劣化が発生する可能性が高い。しかし、適切な補修を施すことによりその発生頻度はしだいに小さくなるものと思われる。その後第二段階では、未補修部分の鉄筋腐食が徐々に進行し表面にひびわれとして現れてくる。本構造物の場合、全体で約100本の梁の内5年間で5本の梁にこの様な劣化が

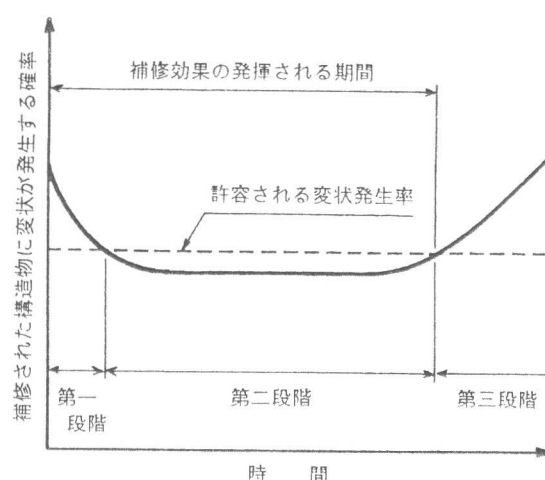


図-11 補修後の劣化発生頻度

見られ、これに対応してきたが、許容される劣化の発生頻度は各構造物の維持管理の条件により異なってくるものと思われる。その後第三段階では、塗膜の耐久性が低下し、劣化発生頻度が維持管理で対応できる範囲を越えることとなる。この時点では、構造物の使用状況に合わせて補修、補強あるいは新設を検討する必要があるものと思われる。

以上より、補修効果は主として「第2段階における劣化発生頻度」と「第3段階になるまでの期間」で評価されるものと思われるが、これらを定量的に評価するためには多くの調査検討が必要と思われる。ここでの検討の結果補修効果を得るためには、「①:劣化後の発生頻度を抑える(=劣化したコンクリートはなるべく多く取除く)」ことが基本となるが、その他に「②:補修後に発生する劣化を早期に発見する(本構造物の場合は、補修工事の中で棧橋の下に歩廊を設置し、以降の維持管理や補修の便を計った)」ことも検討する必要のあることが理解された。従って、補修設計においては補修後の維持管理の難易度も含めた検討が重要と思われる。

5. おわりに

本調査を通じて、補修後の構造物の状況を確認することができた。さらに、補修においてはその後の維持管理が大変重要であることも理解された。ここでは補修後5年経過した棧橋を対象としたが、今後追跡調査を続け機会があれば報告して行きたい。

【参考文献】

- [1] 市川廣・田渕博・浅沼丈夫:東京湾沿岸のあるコンクリート構造物の塩害とその補修、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 8、pp849-852、1986
- [2] 市川廣・田渕博:載荷試験による劣化スラブ補修効果に関する検討、土木学会第41回年次学術講演会、pp177-178、1986
- [3] 市川廣・田渕博・守分敦郎:塩害を受けて補修されたスラブの疲労特性に関する実験的考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 9、No. 2、pp281-286、1987
- [4] 日本コンクリート工学協会:海洋コンクリート構造物の防食対策指針(案)、pp103、1983
- [5] (財)沿岸開発技術研究センター:港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査報告書-劣化防止・補修マニュアル(案)-、1987
- [6] 日本コンクリート工学協会:硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法、コンクリート工学、Vol. 22、No. 12、pp4-9、1984. 12
- [7] 牛島栄・酒井芳文・谷口秀明・関博:コンクリート劣化防止塗膜材のひびわれ追従性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12、No. 1、pp579-584、1990