

- 35) 高城信彦：防錆管理, No.10, 8 (1987).
- 36) 高城信彦, 金保勉, 清見博英：本四技報, 18(69), 45 (1994).
- 37) 前掲 36), 44.
- 38) 前掲 35), 10.
- 39) 香川祐次, 中村俊一, 樺山好幸：橋梁と基礎, No.2, 40 (1991).
- 40) 吉田修, 成田和由：溶接学会誌, 60(8), 656 (1991).
- 41) ダム・堰施設技術基準委員会編：“ダム・堰施設技術基準（案）（防食マニュアル）”, ダム・堰施設技術協会, p.714 (1999).
- 42) 前掲 41), p.719.

4.2 コンクリート構造物

4.2.1 対象とする構造物の範囲

ここでは、主として港湾コンクリート構造物を対象とする。これは、道路、鉄道橋、道路橋、トンネル、建築、ライフラインは他で述べられるので、これらを除くと、港湾、海洋、海岸、河川構造物などとなるが、わが国で、腐食防食上問題となるのは、主として港湾構造物であるためである。

また、対象となるのは、コンクリート中の鉄筋の腐食であり、主たる腐食因子は塩化物イオンである。コンクリート分野では、塩害と称するものである。

4.2.2 コンクリート港湾構造物の塩害の実態

a. 全般的な塩害の実態

港湾の主なコンクリート製施設は防波堤と係船岸であるが、防波堤については問題となるような劣化の報告がないのに対し、係船岸については相当数の報告がある。

係船岸の主要な構造形式には、重力式、矢板式、栈橋式の3種類がある。

1988年度の全国約500の係船岸を対象とした運輸省の調査¹⁾においては、栈橋式以外のものではひび割れの発生しているものもあるが、錆汁（鉄筋腐食による）が観察されるものはほとんどない。これに対して、表4.14に示すように、栈橋式（総数95施設）では40%程度の施設になんらかの錆汁が認められた。また、錆汁が認められた部材は、桁と床版という水平部材であった。

以上から、わが国のコンクリート港湾構造物で鉄筋腐食が問題とされるのは、主として栈橋の桁および床版であることがわかる。

部材名	劣化状況 無劣化施設	劣化施設			
		鉄筋の腐食		コンクリート自体の劣化	外力による損傷
		塩害	明らかに かぶり不足		
桁	22	27	8	41	31
床版	45	6	16	32	4

注) 施設数は全体で 95 施設である。

劣化施設については、その原因が複数個ある場合には各々に計上されており、累計は 95 にならない。

表4.14

栈橋の部材別劣化状況（単位：施設数）

b. 栈橋の桁および床版の鉄筋腐食による劣化の実態

鉄筋コンクリート部材の塩害による劣化の進行は一般には、“塩分の浸透→蓄積→不動態の破壊→鉄筋の腐食→ひび割れの発生→目に見えるほどの腐食の進展→かぶりコンクリートの剥落→部材としての機能の損失”という過程をたどる。また、他の原因（荷重、乾燥収縮など）によりコンクリートにひび割れが生じた場合には、この部分より塩分が迅速に侵入するため不動態の破壊も早い時期に生じるため劣化の進展も早期に生じることになる。

塩害による劣化事例を，図4.11，図4.12および図4.13に示す．

また，この劣化の発生しやすい箇所は，図4.14に示す斜線部のように，波の作用を受けやすい部位である．



図4.11

塩害により鉄筋が膨張し2～3cm幅のひび割れを生じた栈橋鉄筋コンクリート桁



図4.12

塩害により鉄筋が膨張しかぶりコンクリートが剥落した栈橋鉄筋コンクリート桁

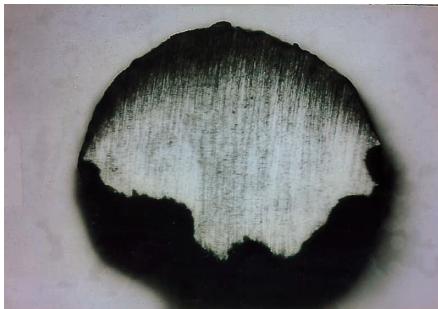


図4.13

塩害による腐食で断面積が40％程度減少した鉄筋

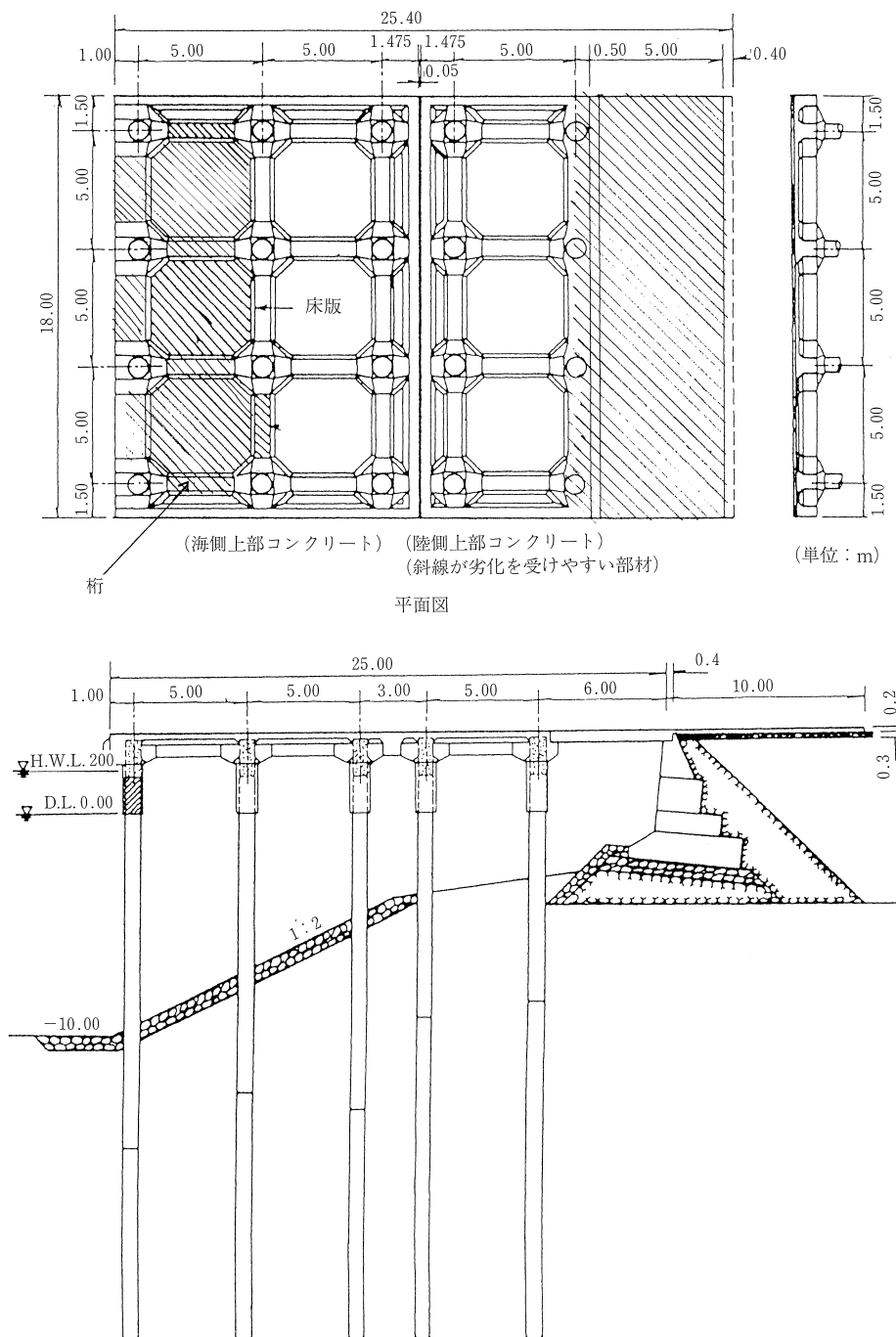


図4.14
調査対象橋の一例

c. 橋の桁および床版の鉄筋腐食による劣化の要因

劣化の要因は、大きく分けて、①部材を取り巻く環境、②コンクリートの品質、③施工の程度、などである。鉄筋の品質については、特別なものを除いて問題とされていないが、再検討の余地がある。以下、筆者の文献²⁾より結果を引用する。

① 部材を取り巻く環境：気温が低く、降水量の大きな環境でひび割れが出やすいこと、強風の出現頻度が高いほど部材表面につく塩分量は多いこと、などが明らかとなっている。しかし、これはわが国の結果であって、熱帯地域では温度が高いため腐食速度が速くなるなどの理由によって、上記の結論とは相容れない。

また、当然のことではあるが、建設年数の古いものの劣化が顕著である。

② コンクリートの品質：水セメント比の高いものが劣化しやすいことが明らかである。しかしながら1900から1960年に建設されたコンクリートでは、古いものほど水セメント比が低い傾向にあるため、みかけ上、水セメント比の影響が相殺されている。

③ 施工の程度：これが実際には最大の要因であると思われるが、定量化が困難である。しかしながら、施工の難しい床版下面のかぶりの実測値が設計値より小さいことなどが知られている。

4.2.3 コンクリート港湾構造物の防食の実態

コンクリート港湾構造物の防食は、一般的には主管官庁である運輸省の基準³⁾ によっている。近年では、これに加えて新しい試みも行われている。

a. 一般的な方法

この方法は、環境条件の厳しさに応じ、防食に必要なかぶり、許容のひび割れ幅およびコンクリートの品質を選定するものである。

表4.15に示すように、海水に直接接するような厳しい環境ではかぶりを大きくとっている。また、表4.16に示すように、許容ひび割れ幅も小さくしてある。コンクリートの品質については、水セメント比はおおむね55%以下としている。さらに、セメントとして、塩化物浸透抵抗性の高いコンクリートが期待できる高炉セメントの使用が推奨されており、実際にその使用率は上昇している。

(a) 海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、および厳しい潮風を受ける部分	7 cm
(b) 上記以外の部分	5 cm

表4.15

鉄筋のかぶりの標準値

(単位：cm)

(a) 海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、および厳しい潮風を受ける部分	0.0035 c
(b) 上記以外の部分	0.004 c

表4.16

許容ひび割れ幅

注) c：かぶり

b. やや特別な方法

特に厳しい環境、腐食を発生させたくない場合などに用いられる方法である。これには、下記に示すものがある。

① 鋼材表面を防食性材料によって被覆する方法：これには、非金属材料による鋼材の被覆（エポキシ樹脂塗装鉄筋等）や金属材料による鉄筋の被覆（亜鉛めっき鉄筋等）がある。

② コンクリート層で腐食性成分の侵入を防ぐ方法：これには、コンクリートの表面被覆（塗装等）やコンクリート層自体を有害物が通過しにくくする方法（樹脂コンクリート等）がある。

③ 電気化学的な方法：電気防食等がある。

④ 腐食しない補強材を使用する方法：RRPロッド等がある。

c. 電気化学的な方法（電気防食を除く）

特に、近年、盛んに研究がなされ、一部実用化されている電気防食以外の電気化学的方法について述べる⁴⁾。

(i) 脱塩工法

脱塩工法は、新設時または供用期間中にコンクリート内部に取り込まれた Cl^- を電氣的に強制的に移動させ、コンクリート外部へ除去することにより塩害を受けている鉄筋コンクリート構造物の機能回復を図るものである。脱塩工法の原理を図4.15に示す⁵⁾。電解質溶液としては水酸化カルシウムあるいは

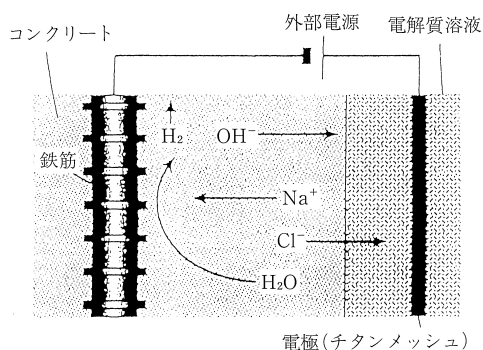


図4.15

脱塩工法の原理

ホウ酸リチウムをベースとした溶液を用い、これをパネルに満たして（あるいはセルロースファイバーに含浸させて）、チタンメッシュなどをアノードとし、鉄筋をカソードとして、電流を印加する方法がとられることが多い。また、電流密度として 1A/m^2 、通電期間2か月程度となることが多い。

わが国においての施工例は数十である。また、これはノルウェーで発明された工法である。

(ii) 電着工法

電着工法は、ひび割れを生じたコンクリート港湾構造物などを対象として、海中に通電することにより海水中の Mg^{2+} あるいは Ca^{2+} などの陽イオンをひび割れ部分またはコンクリート表面に泳動させ、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ あるいは CaCO_3 などの安定した物質を析出させることにより、コンクリート構造物のひび割れの閉塞またはコンクリート表面の物質透過性の低減を図るものである。

わが国では、試験施工段階である。また、筆者の知る限り、これはわが国独自のものである。

文 献

- 1) 大即信明, 原茂雅光, 浜田秀則: “栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告”, 港湾技研資料 No.617, 運輸省港湾技術研究所, p.29 (1988)。
- 2) 大即信明, 原茂雅光, 浜田秀則: “栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告”, 港湾技研資料 No.627, 運輸省港湾技術研究所, p.22 (1988)。
- 3) 運輸省港湾局監修: “港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版 (上巻)”, 日本港湾協会, pp.254-261 (1989)。
- 4) 大即信明, 久田真, 宇田川秀行, 横田優: 電気化学的手法によるコンクリート構造物のリハビリテーション〈後編・実施例と今後の課題〉: セメント・コンクリート, No.602, pp.20-27 (1997)。
- 5) 芦田公伸他: 電気化学的処理による鉄筋コンクリート構造物からの塩分除去, コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集, pp.7-14 (1994)。

4.3 ライフライン

4.3.1 道路

トンネルを含めた道路構造物で、腐食対策が必要な施設としてはガードレール、フェンス、標識柱、照明柱、遮音壁、点検路などが対象となる。メンテナンスを行ううえで費用・労力ともに多くを要するものは鋼道路橋である。

以下、鋼道路橋を中心に腐食の実態と対策について述べる。

a. 鋼道路橋の腐食要因と実態

鋼道路橋の防食を考えるうえで検討しなければならない要因として、橋梁構造上の要因、架設環境上の要因、塗料および施工に関する要因、そして維持管理上の要因が考えられる。

(i) 橋梁構造上の要因

ほとんどの鋼道路橋は上路式である。上面が床版に覆われている（閉床）ために通気が悪く、飛来塩分や塵あい等の堆積によって塗膜劣化が生じやすくなっている。

プレートガータ橋の塗膜劣化程度、すなわち塗り替え時期に達する年数を部材別に見ると（図4.16）、ウェブ（垂直部材）に比べて下フランジ（水平部材）の劣化が速いことが確認されている。この理由として、水平部材の下面は上面に比べて結露の影響を受けやすいことが挙げられる。

鋼橋を構成する部材の多さは、多くの鋼材角部をもつことになる。鋼材角部では目標塗膜厚が確保しにくく、平面部分の20～40%程度しか膜厚が確保できない¹⁾。