

東京湾大井埠頭棧橋塩害調査

川 田 秀 夫*
町 田 武**
峯 村 伸 夫***

1. ま え が き

大井埠頭は外貨専用のコンテナ埠頭である。コンテナ船が横づけされると自重 700 t のコンテナクレーンが棧橋上を移動し、能率よくコンテナ貨物をさばく。荷役作業のスピード化により輸送システムに一大革命をもたらした海上コンテナ輸送は、高度にシステム化されたコンテナ埠頭があってはじめて可能である。それだけに埠頭の諸施設の維持管理業務は重要である。棧橋本体については、その構造物としての耐久性が原因で、局部的にでも欠陥が生じ、埠頭としての機能がマヒする事態が万一発生した場合、その影響は計り知れないものがある。それを防止するための維持管理業務は特に重視されてきた。

今回調査対象とした第4バースは、昭和 45 年に建造されたもので、すでに 14 年を経ている。その間に、海洋構造、特にコンクリート構造物の劣化についての研究がすすみ、鉄筋コンクリートの塩分による劣化機構も次第に明らかになってきた。当該棧橋は経年による劣化、老朽化について十分な対策が求められる時期に達していると考えられたので、調査を行った。

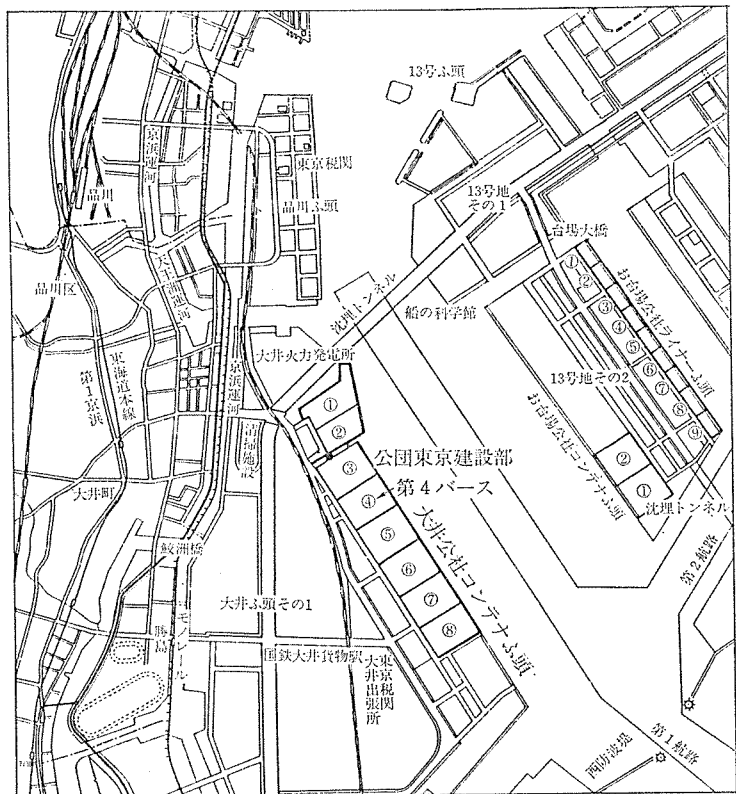


図-1 大井埠頭第4バース

2. 棧橋概要

大井埠頭第4バースは、図-1 に示す外貨コンテナ埠頭のうち斜線で印された、長さ 300 m、幅 70 m の部分である。前棧橋、中棧橋、後棧橋よりなっており、鋼管杭使用の直杭式横棧橋で、上部工については、前棧橋、後棧橋は RC 構造で中棧橋はコンクリート巻きたての鉄骨構造である。それぞれ独立した構造となっている(図-2)。調査箇所は、となりあった鋼管杭4本で囲まれた部分を1ブロックと称し、前棧橋、中棧橋、後棧橋よりそれぞれ2ブロックを選定した(図-3)。

3. 調査項目

海洋環境下の鉄筋コンクリート構造物は常に海水の影響を受けている。コンクリートを表面に付着した海塩粒子が、コンクリートの空隙を伝わり内部に浸入し鉄筋を

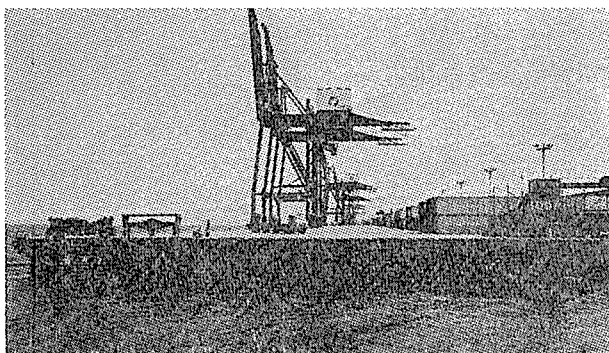


写真-1 東京港大井埠頭

* (財) 東京港埠頭公社技術部施設第一課
** ピー・エス・コンクリート(株) 本社工事部工務課長代理
*** ピー・エス・コンクリート(株) 東京支店工事部大井作業所長

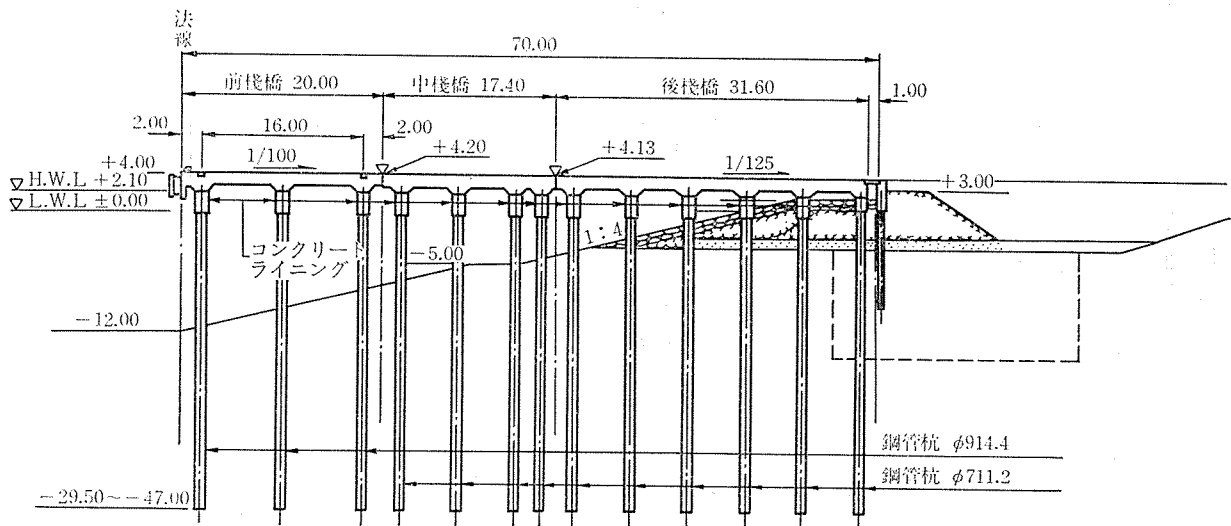


図-2 第4バース標準断面

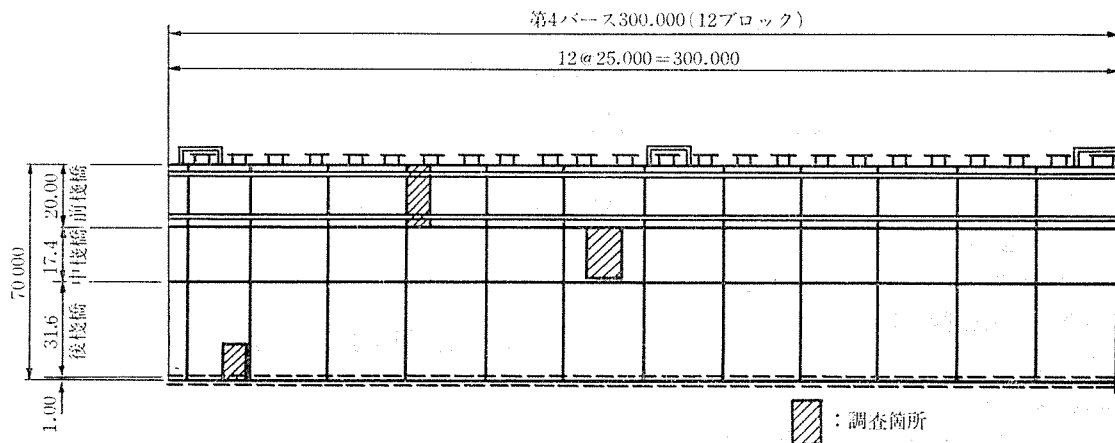


図-3 第4バース平面図

腐食させる。腐食が進行するにつれ鉄筋は、その断面積を減少させるがさびは膨張する。その膨張圧は、鉄筋に沿ったひびわれ、コンクリートのはく離、はく落をもたらす。これがいわゆる「塩害」である。

塩害がさらに進行すると、その構造物は構造基盤が失われ極めて危険な状態に至る。

最近の報告によれば、海洋環境下における鉄筋コンクリート構造物の耐久性は、コンクリート自体の劣化によって決まるのではなく、この鉄筋の腐食によって支配されることが明らかとなっている。

当核棧橋がどの程度塩害による損傷を受けているか、以下の項目をもって調査した。

- a) 外観調査およびタタキ調査
- b) 付着塩分量の測定
- c) 含有塩分量の測定
- d) 中性化の測定
- e) 圧縮強度の測定

- f) 自然電位分布の測定
- g) はつり調査

4. 外観調査およびタタキ調査

(1) 目的

コンクリート表面の外観を調査することにより、損傷の分布および程度を知り、今後の調査計画をたてる。

(2) 方法

構造物の展開図を作成する。はく離箇所やひびわれ等の観察結果を展開図に記入記録する。また表面をハンマーで軽打することにより、コンクリートの脆弱部を把握する。調査内容を以下に示す。

- a) コンクリートのはく離、はく落
- b) ひびわれ：位置と形状、最大ひびわれ幅、ひびわれ位置でのさび汁の有無
- c) 露出鉄筋の腐食状況
- d) さび汁：位置と形状

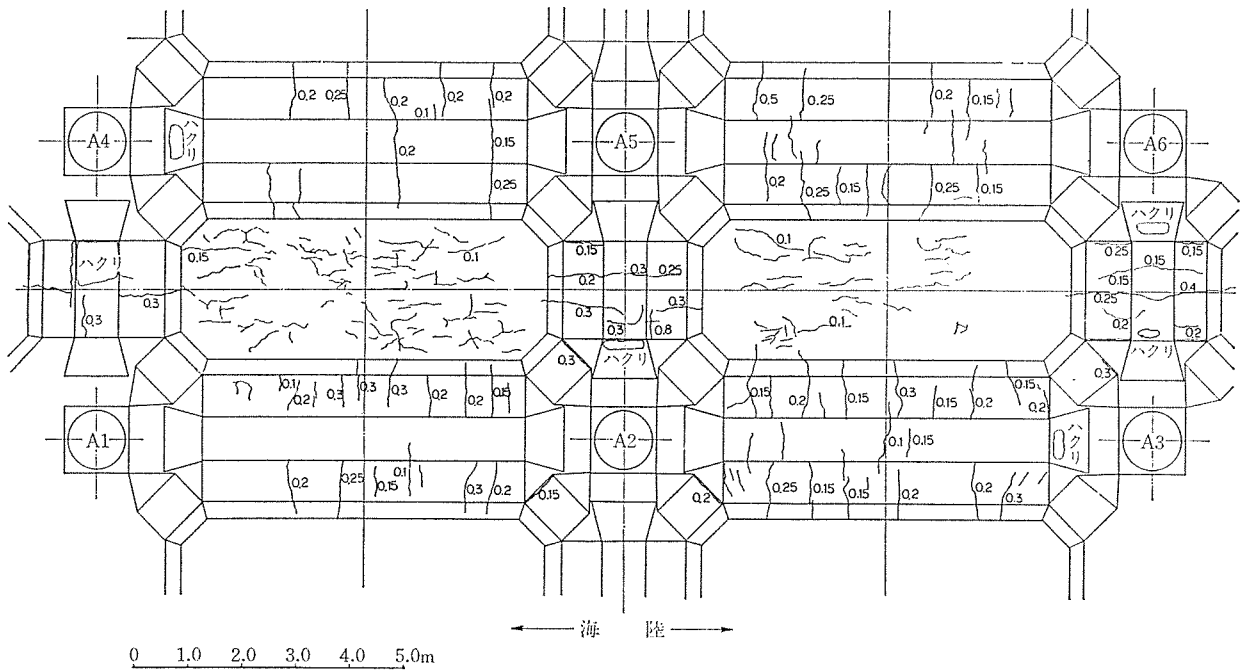


図-4 前栈橋損傷図

- e) エフロレンス：位置，大きさ，水もれの有無
- f) その他：豆板，ジャンカ，鉄筋屑の位置，コンクリート表面の変状，しぶきを受けてたえず濡れている位置等を記録する。

(3) 調査結果

前栈橋の調査結果を図-4に示す。

(4) ま と め

梁全体に約 50 cm ピッチにひびわれが認められた。ひびわれ幅は，0.15~0.2 mm がほとんどであるが，0.3 mm あるいは 0.4 mm のものも数本認められた。梁の両側面にひびわれがあっても底面で発見できないものがあったが，これは，付着物で見えなくなったと思われる。栈橋の最前面にある A1~A4 梁は海からの影響を最も受けているとみられる。今回は恣意的に調査箇所を選定したのであるが，A1~A4 梁の底面で大きくはく離はく落していた。床版にはほぼ全般にわたり長手方向にひびわれが発生しており，ひびわれ幅は 0.1 mm 以下のものがほとんどであって，鋼管杭と梁の付け根のハンチの部分は海面に近く，砕波の影響で湿乾をくり返すためか，はく離，ひびわれ，さび汁等の損傷が目立った。

これは中栈橋，後栈橋についても同様の傾向であった。コンクリートの施工は入念に行われたようで，ハンマーによるタタキ調査では，新たなはく離箇所や空洞箇所を発見できなかった。床版上部からのひびわれを伝わる漏水もなかった。

5. 付着塩分量の測定

(1) 目 的

コンクリート表面に付着している塩分量を測定することにより，塩分付着分布の特徴を明らかにして，損傷との相関関係を把握する。

(2) 方 法

1. 測定位置のコンクリート表面に，50 cm×50 cm の区画をテープで区画分けする。
2. 蒸留水 250 ml をビーカーに用意し，それをガーゼに含ませ表面の付着物を丹念にふき取る。三回くり返しその水をビーカーに集める。
3. 検知管（北川式）をビーカーにさし入れ塩分量を測定する（図-5）。

(3) 測定結果

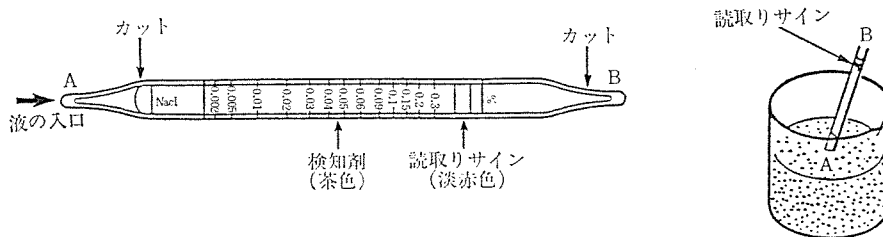
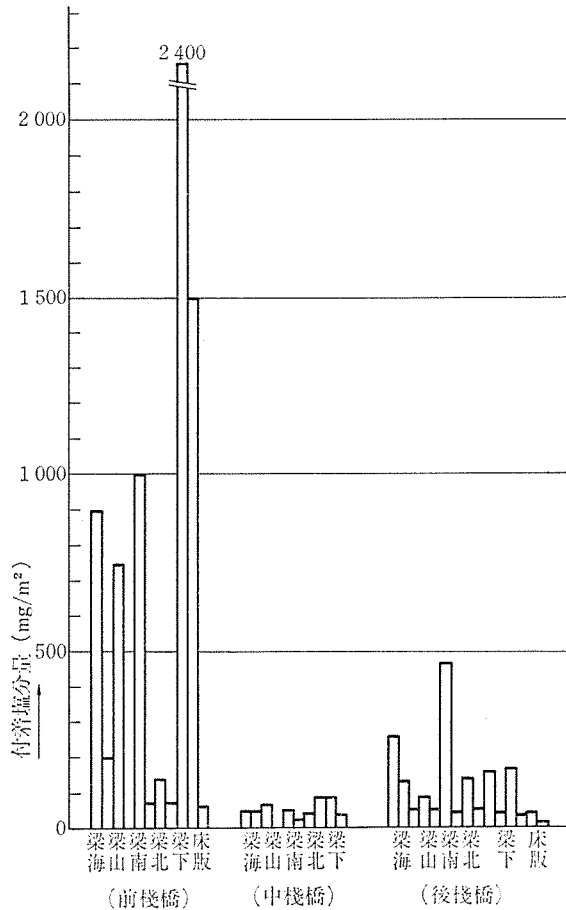


図-5 検知管（北川式）



図—6 付着塩分量の分布

測定結果を 図—6 に示す。

(4) ま と め

全体的傾向として、波しぶきや潮風の影響を最も受けると思われた前棧橋が一番付着量が多く、次に波うちぎわに位置し、砕波の影響がある後棧橋が多く、中間にある中棧橋が一番量が少なかった。また部分的には前棧橋の梁底面が群を抜いて多量の塩分が付着していた。しかし中および後棧橋では梁底面に特に多く付着している傾向は見られなかった。床版部は海面から遠いためか梁の部分より付着量は少なかった。

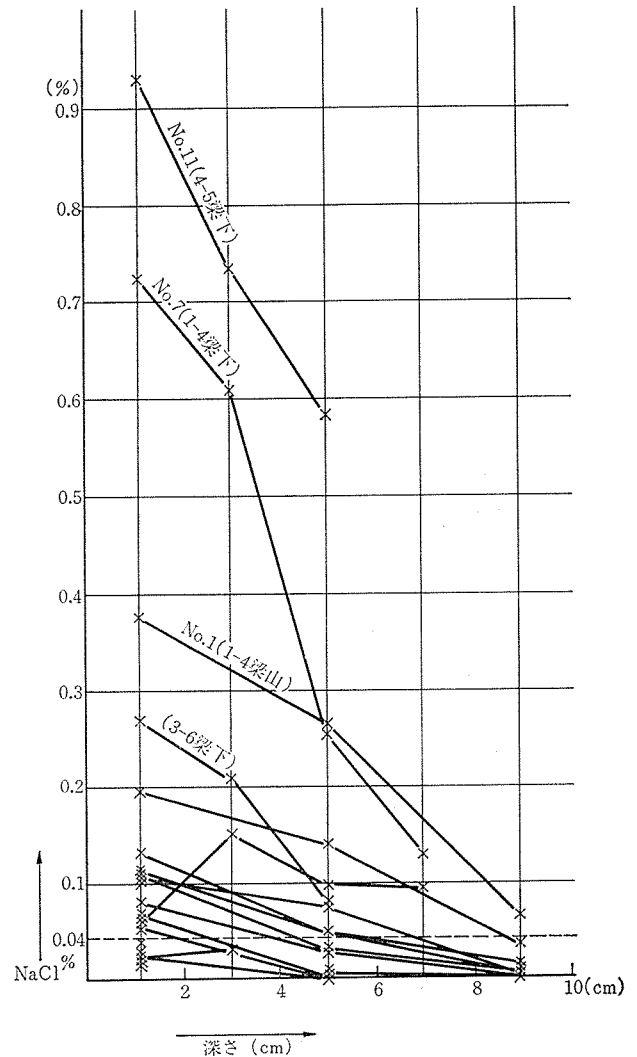
6. 含有塩分量の測定

(1) 目 的

所定の梁、床版よりコアを採取し、含有塩分量を測定することにより、付着塩分量、鋼材腐食との相関関係を明らかにし、後の補修工法選定の資料とする。

(2) 方 法

1. コアボーリングマシンを用いて、φ50×100のコアを採取する。
2. コアを20mmピッチに輪切りにし、それぞれ粒径が0.15mm以下になるまで微粉碎する。
3. この粉末を塩素イオン選択性電極を用いた電位差



図—7 含有塩分量の測定

滴定法により塩分量を測定する。

4. 塩化物濃度は、塩分(NaCl)重量に換算され、コンクリートに対する重量濃度百分率(%)として表わす。

(3) 測定結果

測定結果を 図—7 に示す。

(4) ま と め

コンクリート内部には空気泡(0.05~2mm)、ゲル空隙(15~30Å)、キャピラリー空隙(10~20μ)などのほかにブリージングなどによる空隙も存在し、コンクリート中での空隙は、10~15%に達している。塩分、水、酸素等の腐食性物質の浸透を容易にしている。測定結果を見ると、やはり、前棧橋の梁下面の部分群を抜いて塩分量が多いのが分かる。他の部分、前棧橋の梁の側面や床版、中棧橋、後棧橋はすべて0.2%以下であった。土木学会では、海砂に許容される塩分量は鉄筋の腐食を考慮して、砂の絶乾重量に対して0.1%を限度としている。これを換算すれば、コンクリート重量に対しおよそ

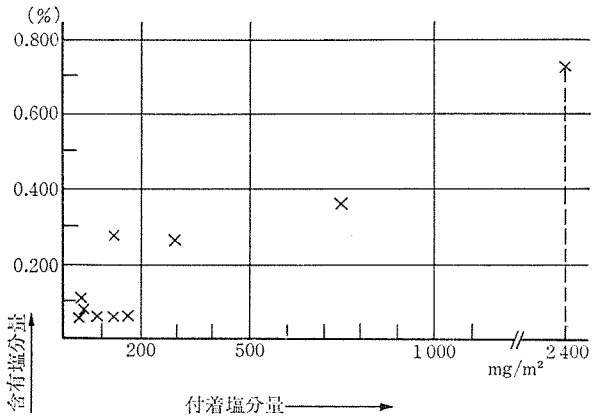


図-8 付着塩分量と含有塩分量の関係

0.04% 程度となる。鉄筋位置での塩分量がこの 0.04% を超える場合は発錆の可能性ありと見るべきであろう。また、コンクリート表面より内部ほど塩分量が少ないのは、塩分は外部からの浸透によるものであることを証明していることになり、塩分量の少ない箇所でも、年を経れば当然増加することは明らかである。

次に付着塩分量と含有塩分量の測定結果からその関係を図-8 に示す。コンクリート橋の調査報告では、両者の相関関係が必ずしも明示できないようであるが、この図からは付着塩分が多ければ含有塩分が多いといえる。

7. 中性化の測定

(1) 目的

中性化深さを測定することにより、鋼材の腐食との相関関係を把握し、あわせて構造物の余寿命推定の資料とする。

(2) 方法

1. 測定箇所のコンクリートコアを採取する。
2. フェノールフタレインのエチルアルコール 1% 溶液を噴霧する。
3. 赤紫色呈色域と非呈色域に分かれるので、非呈色

表-1 中性化深さ

採取場所		中性化深さ (mm)
前 棧 橋	1-2 梁 南	6.7
	4-5 梁 下	4.8
	4-5 梁 下	7.1
	5-6 梁 北	7.2
中 棧 橋	4-5 梁 北	7.0
	2-3 梁 南	17.0
	3-6 梁 東	8.7
	5-6 梁 北	6.2
後 棧 橋	4-5 梁 北	2.5
	1-2 梁 南	1.7
	2-5 梁 西	6.4
	2-3 梁 南	5.6
平均		6.7 mm

域 (pH 10 以下) を中性化域とし、その深さを測定する。

(3) 測定結果

測定結果を表-1 に示す。

(4) ま と め

硬化したコンクリートはセメントの水和生成物である水酸化カルシウムにより強いアルカリ性を示すが、空気中の炭酸ガス作用により、コンクリート表面から中性化する。中性化の速度は水セメント比、骨材等の影響を受けるほか、構造物の環境条件などにより大きく変化する。この中性化が鉄筋まで達すると鉄筋を保護していた酸化被膜 (不動態被膜) が破壊され腐食が生じる。海岸にある棧橋、護岸、水門などのコンクリート構造物の中性化深さは、20 年で 5 mm 程度であったという報告がある。今回の測定による値も平均 6.7 mm と小さく、棧橋の耐久性を大きく脅かす要素にはならないと思われる。

8. 圧縮強度の測定

(1) 目的

シュミットハンマーによりコンクリートの圧縮強度 (=コンクリート表面硬度) を測定することにより、コンクリート表層の劣化度合を、また、採取したコアによる圧縮強度を測定することにより、コンクリート強度の長期変化および耐久性の確認をする。

(2) 方法

シュミットハンマー、およびコア (φ100) を採取し、アムスラー試験機により測定。

(3) 測定結果

測定結果を表-2 に示す。

(4) ま と め

一般には高強度のコンクリートほど密実性が高く、塩分、水分、および酸素の浸透からの保護能力が高いといわれている。測定値をみると、設計強度 300 kg/cm² に対し、シュミットハンマーによる結果が 390 kg/cm²、コアによる結果が 353 kg/cm² の平均値が得られた。健

表-2 圧縮強度測定結果

コア採取位置		コアによる圧縮強度 (kg/cm ²)	シュミットハンマーによる圧縮強度 (kg/cm ²)
前 棧 橋	4-5 梁 北	294	360
	5-6 梁 北	335	390
中 棧 橋	4-5 梁 北	413	385
	5-6 梁 北	395	410
後 棧 橋	2-5 梁 東	344	370
	5-6 梁 東	339	430
平均		353	390 kg/cm ²

全なコンクリートと考えられる。

9. 自然電位分布の測定

(1) 目的

自然電位分布の測定をすることにより、鋼材の腐食位置および腐食傾向を推定する。

(2) 方法

- 鉄筋探知器で、測定する鉄筋の位置を確認しマークする。
- コンクリートを1箇所はつり、鉄筋を露出させる。
- 電位差計からの電線端末(+)を鉄筋に接続する。端末(-)は、参照電極として飽和硫酸銅電極に接続する(図-9)。

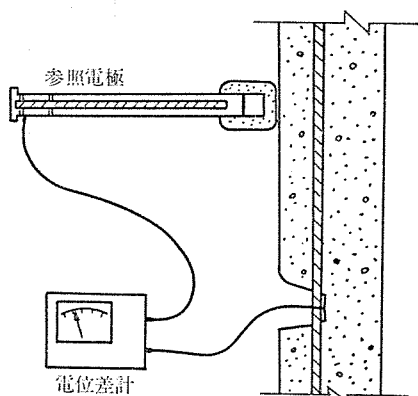


図-9 自然電位測定

- 測定にはコンクリートの含水量が大きな影響を与える。そのため測定点を予め濡らしておき、測定側のふらつきを防止する。

(3) 測定結果

測定結果を 図-10~図-15 に示す。

(4) ま と め

コンクリート中における鋼材の腐食は、通常電気化学反応によって生じており、鋼材は腐食状態に対応した電位分布を示す。本方法は、この鋼材の電位をコンクリート表面において測定する方法で、かぶりコンクリートをはつり取らずに鉄筋の腐食状態を調査する有力な手法である。ASTMによれば、電位 E が測定されたその箇所での鉄筋の腐食状態は次のような状態にある(表-3)。

表-3 自然電位 ASTM 規準

$-200 \text{ mV} < E$	90% 以上の確率で腐食が生じていない。
$-350 \text{ mV} < E < -200 \text{ mV}$	不 確 定
$E < -350 \text{ mV}$	90% 以上の確率で腐食が生じている。

測定結果からは次の傾向がみられた。

○前棧橋 A1~A4: 海側面と山側面とを比較すると、海側面の方が「卑」であり腐食傾向にある。両面とも下縁に近づくほど「卑」になるが、海側面では上、下縁の差は小さかった。また底面のほとんどの箇所が -250 mV のため腐食がかなり進行していると判断された。

○前棧橋 A4~A5 梁: 梁底面の電位は測面より「卑」であり、また杭柱に近いほど「卑」であり腐食傾向が大となっていた。これは杭柱にあたる砕波の影響と思われる。また梁測面の電位は、一部を除きほとんどが -100 mV 以上なので鉄筋は健全であると推定された。

10. はつり調査

(1) 目的

鉄筋位置で、コンクリートをはつり、かぶり厚や鉄筋の腐食状態を直接目視で観察し、含有塩分量や自然電位測定の結果との相関関係を探る。

(2) 方法

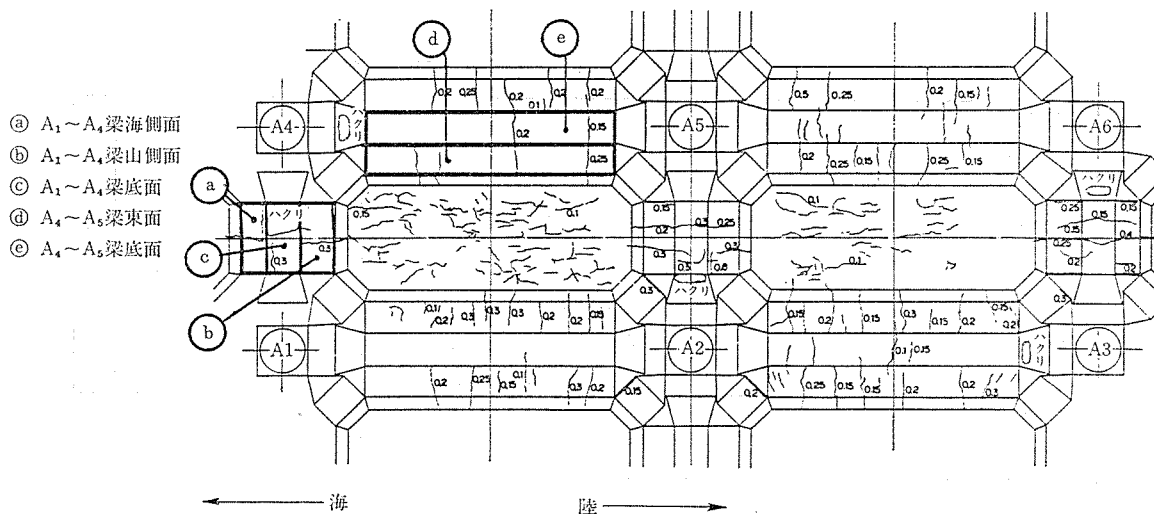


図-10 前棧橋 自然電位測定箇所

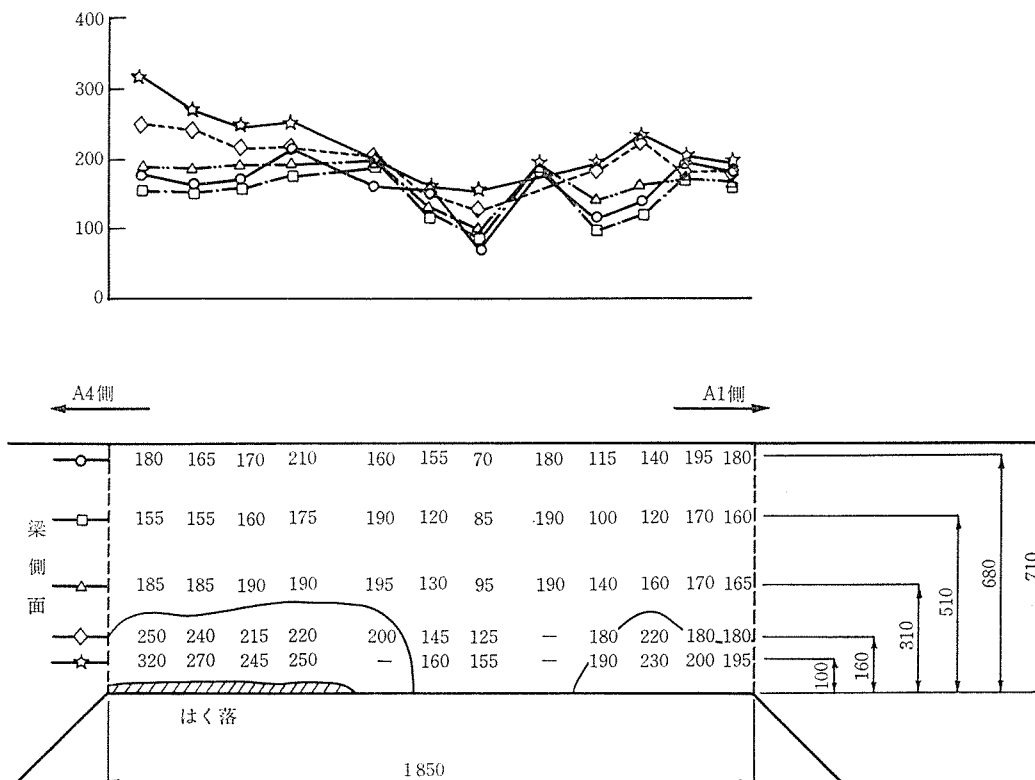


図-11 (a) A1-A4 梁海側面

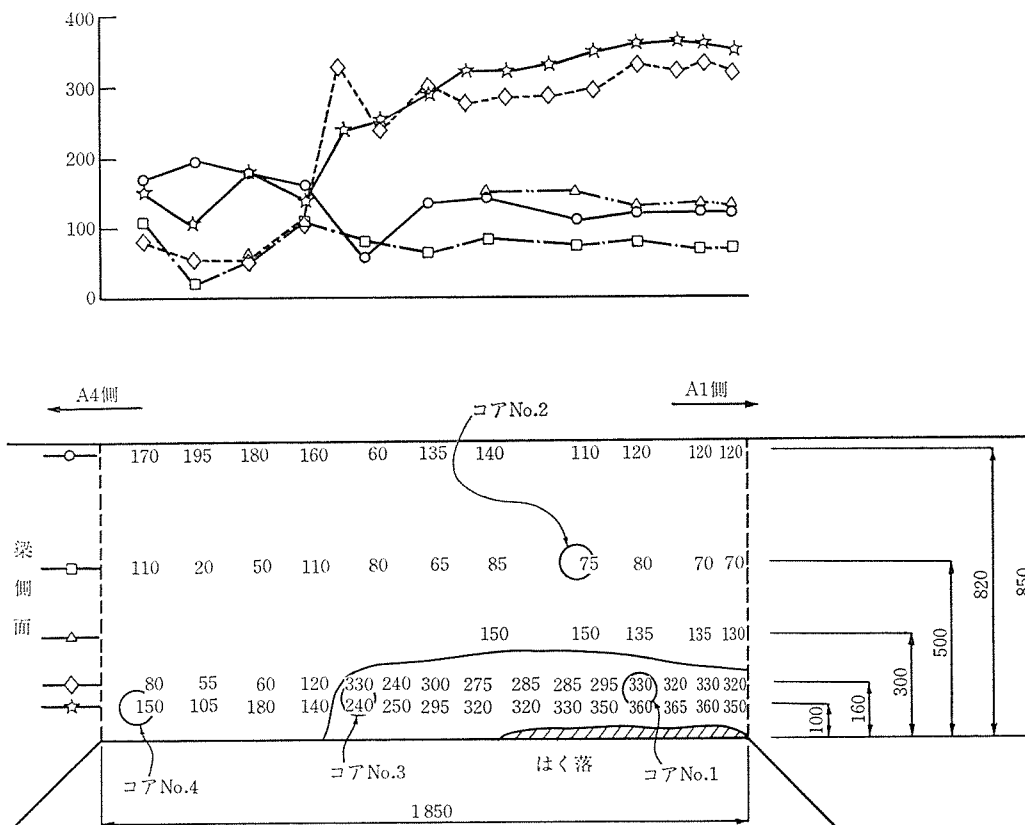


図-12 (b) A1-A4 梁山側面

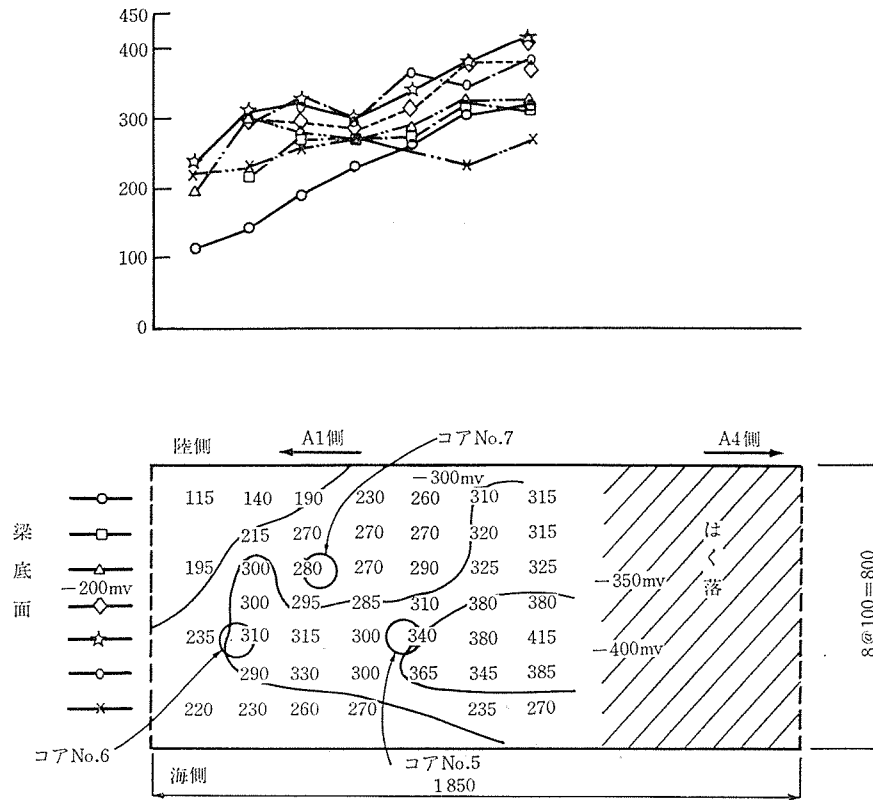


図-13 (c) A1-A4 梁底面

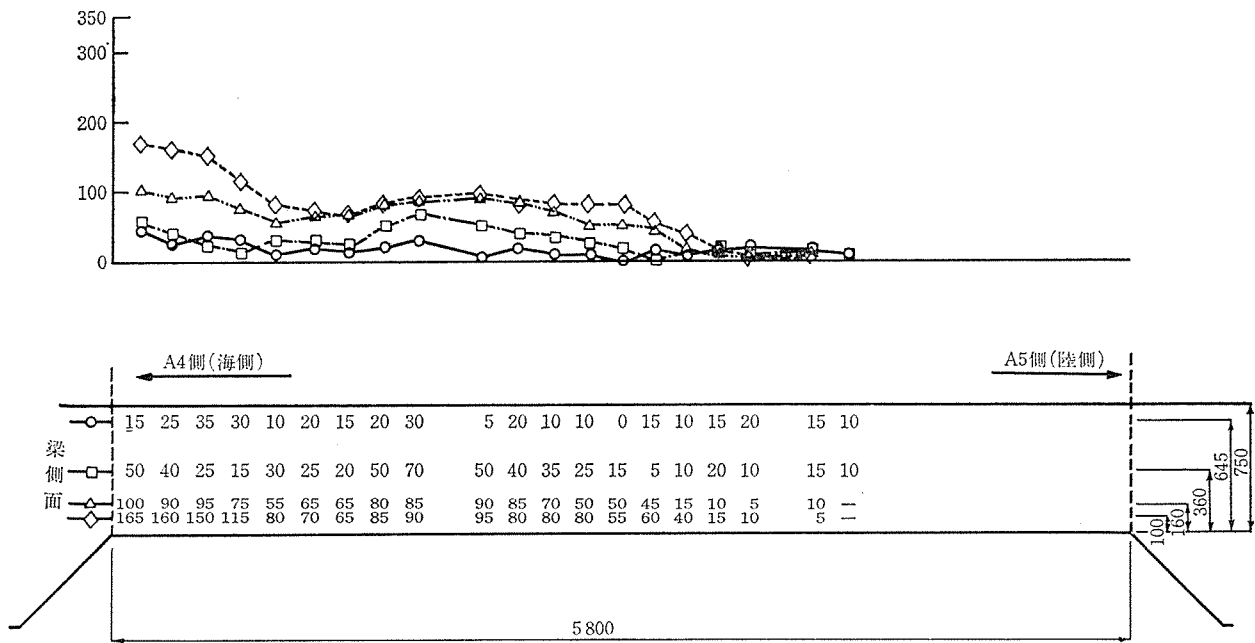


図-14 (d) A4-A5 梁東面

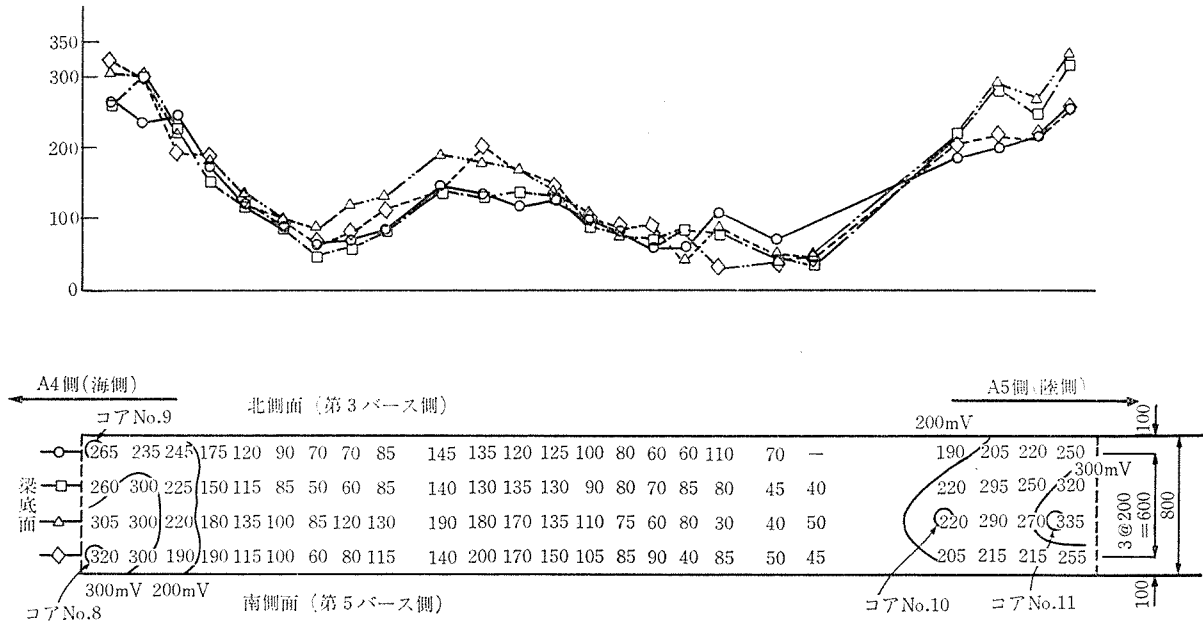


図-15 (e) A4-A5 梁 底 面

表-4 はつり調査結果

コア No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
かぶり(mm)	110	73	85	67	55	58	88	85	34	68	60	22
腐 食 度	C	B	B	B	D	D	B	B	D	C	D	A

腐食度 A : 腐食なし, B : 表面的な腐食, C : 孔食はみられるが断面欠損は小さい, D : さび汁が流れ出し, 断面欠損が大きい

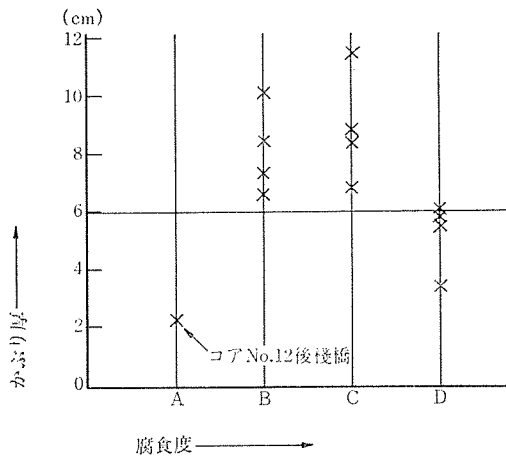


図-16 かぶり厚と鉄筋の腐食の関係

含有塩分量の測定や、自然電位測定の結果をもとに、はつり位置を決める。内部の鉄筋表面を自然のままに観察するため、コア抜きの方法でコンクリートをはつり、かぶり厚と鉄筋の腐食の度合いを目視観察する。

(3) 測定結果

測定結果を 表-4, 図-16 に示す。

(4) ま と め

調査結果を見ると、かぶり厚 6 cm を境に腐食度に明確な差が出ているのが分かる。6 cm 以上はすべて腐食

コアNo.	腐食状態	含有塩分量
No.1	D	0.585
No.7	B	0.130
No.11	C	0.066

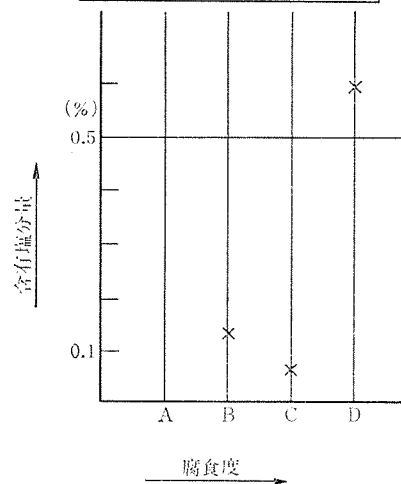


図-17 含有塩分量と鉄筋腐食の関係

度が B と C, 以下はすべて D であった。しかし、これらの測定箇所は自然電位測定結果の確認を兼ねて決めたため、無作為に選んだ場合と異なり、測定結果が前棧橋全体の傾向と判断するのは早計であろう。

次に含有塩分量と鉄筋腐食の関係を 図-17 に、自然

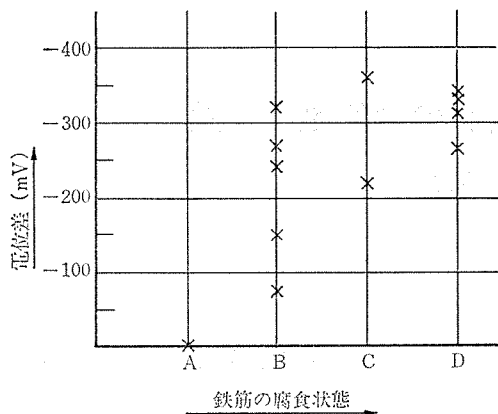


図-18 自然電位差と鉄筋腐食の関係

電位と鉄筋腐食の関係を 図-18 に示す。

11. ひびわれと含有塩分量

塩分はコンクリートの空隙を伝わり内部に浸透すると、前に述べたが、ひびわれがあるとなお一層浸透作用が促進されるのも事実である。そのことを今回採取した No. 11 コアで明らかにする。

No. 11 コアは中央に 0.15 mm 幅のひびわれが有り、かぶり厚(コア厚さ)は 60 mm, 目視した鉄筋の腐食度は D で、さび汁が流れ出している状態であった(図-19)。

コア No. 11 を 図-20 のように 6 ブロックに切断し、ひびわれ部のコンクリート (b-1~2) と他の部分 (a-1~3) との含有塩分量を測定した。

ひびわれのない部分では、コンクリート表面から内部へ行くほど塩分量は減少しているが、ひびわれ部ではコンクリート表面から鉄筋位置まで、ほぼ一様に塩分量が 0.8%~0.9% あった。ひびわれに沿って塩分の浸透があったことが分かる。

12. あとがき

維持管理業務の目的は究極的には、50 年とも 60 年ともいわれる構造物の寿命をいかに全うさせるかである。あるいはいかに延命させるかである。鉄筋コンクリートの構造物としての基盤は鉄筋が錆びないことと前述したが、言いかえれば、一般的には栈橋の寿命は鉄筋の腐食によって決まると言って過言ではないであろう。

調査結果の要点をあげてみると、① 前栈橋、中栈橋、後栈橋のうち前栈橋に最も進行した劣化損傷が認められた。それも海側に近いほど劣化が進行していた。特に海面により近い梁底面部の内部鉄筋の腐食や、鋼管杭との取合いハンチ部のはく離、はく落等が目立った。② 鉄筋コンクリート構造の栈橋にはひびわれは不可避のようである。そのひびわれを通して塩分、水分、酸素等の腐

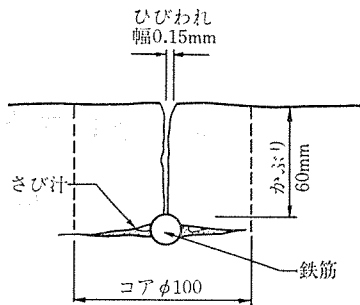
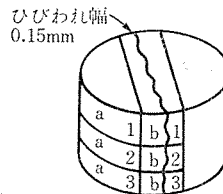


図-19 ひびわれ模式図



試料 No.	塩分量(%)	試料 No.	塩分量(%)
a-1	0.929	b-1	0.838
a-2	0.734	b-2	0.919
a-3	0.585	b-3	0.830

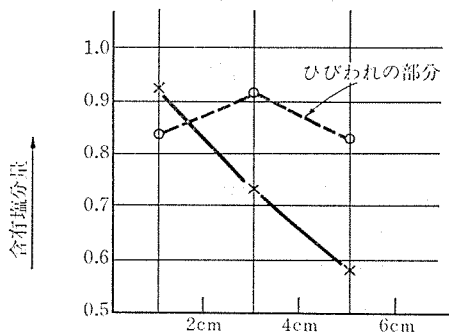


図-20

食性因子をコンクリート内部に活発に供給しているのは間違いない。さらに今回は調査しなかったが、同様にひびわれに沿ってコンクリートの中性化が急速に内部まで進行し、鉄筋の腐食を促しているとも推測できる。

今回の調査は維持管理業務の一環として行ったもので、いいかえれば「どの程度の補修が必要か」その手がかりを得るためのものであった。いわゆる「塩害」の研究のための調査ではない。それでも筆者らの浅学のため、まとまりに欠ける面が多々あるのは御容赦願いたい。今後同様な調査をされる場合の一助となれば幸いである。

この調査をもとに、栈橋の補修工事を 60 年度から開始する予定であるが、それはまた次の機会に報告したい。

最後に、本調査の実施にあたり御指導いただいた三菱鉱業セメント株式会社中央研究所に深く感謝する。

【昭和 60 年 9 月 26 日受付】