

鉄筋腐食に関する調査研究

保全施設部 保全技術課 富田 穰
阪神高速道路管理技術センター 前原 博
保全施設部 保全技術課 幸左 賢二

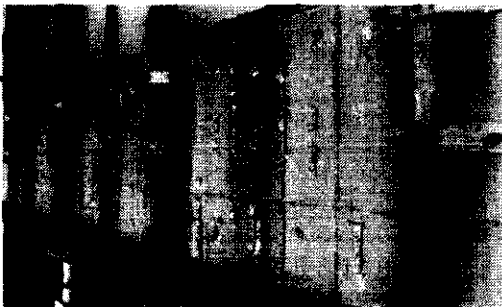
要 約

最近、コンクリート中の鉄筋腐食の問題がにわかにクローズアップされてきた。コンクリート高欄の主筋にそった肌落ち、水切部の欠落などは鉄筋腐食とその膨張によってもたらされた損傷の代表的な例であると云える。本論文では非破壊に鉄筋腐食を測定する方法すなわちコンクリート中に埋設されている鉄筋の腐食を外からあたたかも聴診器をあてるがごとく診断しようとする方法として自然電位法と分極抵抗法について紹介するとともに、これらの手法を点検実務へ応用すべく実橋で継続調査を行っている。すでに腐食されている箇所については、断面修復、コンクリート表面塗装により補修工事を実施して、その補修効果を非破壊的に継続測定するとともに、コンクリート表面塗装の最適仕様を決定するための短期及び長期暴露供試体を作成し継続測定している。鉄筋腐食の非破壊点検手法並びに補修工法については研究の端緒にいたばかりであり、ここでは基礎資料の提供にとどまっているが、今後、その評価が明らかになっていく。

1. まえがき

阪神高速道路公団が現在管理しているコンクリ

ート構造物のうちで著しい鉄筋腐食が見受けられるのは高欄や水切部である。これは一般に施工上かぶりの確保が難しい上に、雨や車両の排気ガスを直接受けるなど使用環境が苛酷であるためと考



写真一

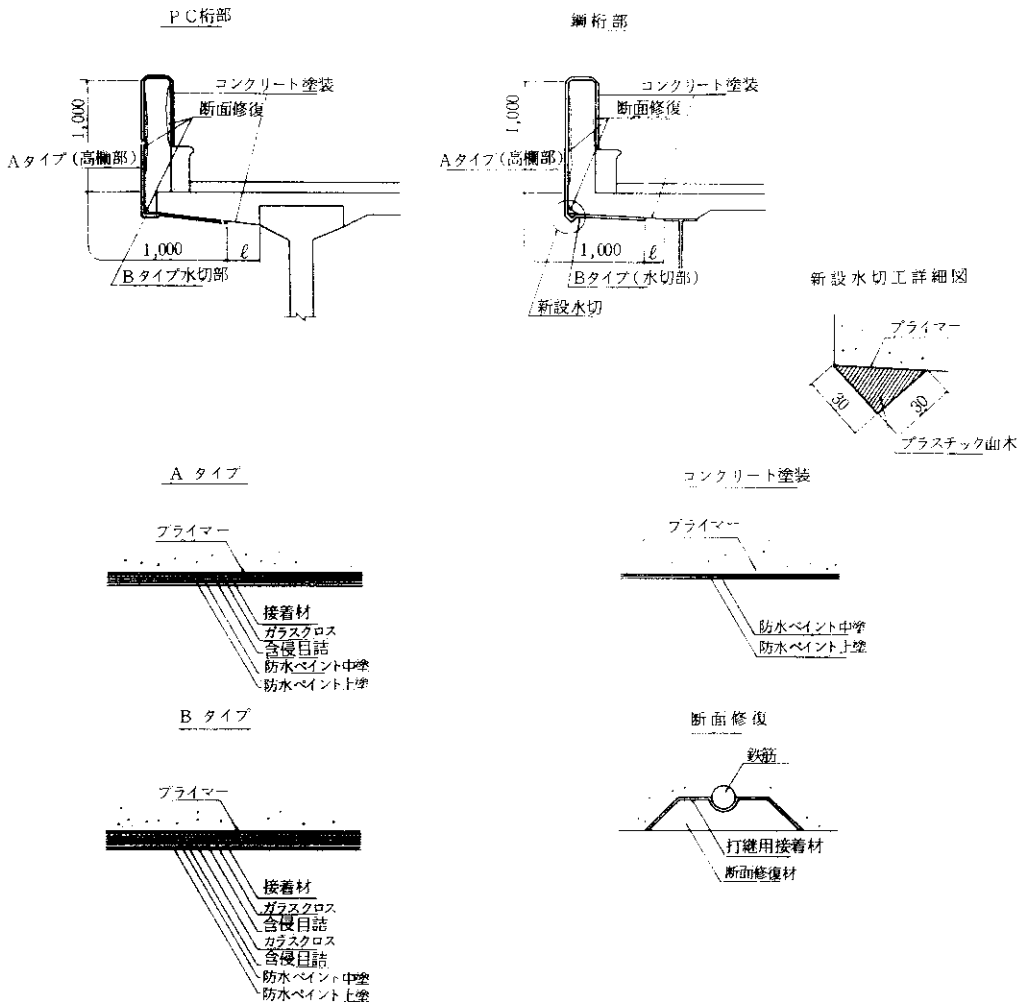


写真二

えられる。高欄、水切部の鉄筋腐食によって生じるコンクリート片の剥落は、高架道路の場合、第三者傷害事故につながることにかなりかねない(写真一、二)。

これらの事故発生防止のためには、臨時点検等により高欄水切部に接近し損傷状況を確認するとともに、落下の恐れのある箇所については、コンクリート片のたたき落とし作業により対応してきた。しかしながら、コンクリート片をたたき落とすだけでは十分な落下防止対策とならず、むしろ露出させた鉄筋が新たに腐食することにより周辺のコンクリート片の剥落につながる可能性もあり、

点検後、数ヶ月の間に新たなコンクリート片の落下を生じた事例もある。また、昭和58年6月には、国鉄高架水切部よりコンクリート片が落下し第三者事故が発生している。コンクリート片落下防止のためには、コンクリート片が剥離しても落下しない補修対策が必要であり、現在ガラスクロス工法(図一)によるコンクリート片落下防止および防錆工事を実施している。これらの高欄補修は59年度末には両側延長113kmに達しており、61年度末までには補修工事を完了する予定である。また、鉄筋腐食はコンクリート片の剥落を生じるだけでなく、構造物の耐久性そのものを減少させる



図一 高欄部、水切部補修標準図

主要因にもなる。しかしながら、我が国においては実構造物における鉄筋腐食の実態、防錆対策等に関する調査や研究は現在までほとんど行われていなかった。このような状況をもとに、公団においては図一 2 に示すような鉄筋腐食度の検討、鉄筋腐食調査方法の検討、補修方法の検討等を57年度より実施している。本文は実橋における鉄筋腐食実態調査結果、鉄筋腐食の非破壊調査方法である自然電位法による現場測定結果、現行補修法の効果確認試験結果および高欄補修効果判定のために開始した供試体における暴露実験の途中経過等を報告するものである。これまでの調査結果によれば、高欄部の鉄筋かぶりには相当ばらつきがあるが、かぶり厚さが2 cm未満の部分では損傷が生

じやすいこと、コンクリートの中性化深さは材令20年で平均10mmとそれほど大きな中性化速度ではないが場所によるばらつきが大きいこと、高欄コンクリート中の塩分量は大部分がNaCl換算でコンクリート乾燥重量の0.1%以下であり、塩害の発生している飛沫帯における値よりは小さいこと、自然電位は全般的にはASTMの規格値に比較すると小さな値であり腐食進行度は小さいこと、また自然電位はコンクリート中の水分量および温度の影響をうけること等が判明している。

2. 実橋における鉄筋腐食度の実態調査

2-1 非破壊鉄筋腐食調査方法

2-1-1 自然電位測定法

自然電位測定法は、コンクリート中の鋼材がその腐食状態に対応した電位分布を示すことを前提としており、かぶりコンクリートをはつり取らずに鋼材の腐食状態を推定する非破壊試験法である。

ASTMによれば、電位(V: CSE)が測定された個所における腐食状態は次のような状態であるとされている。1)

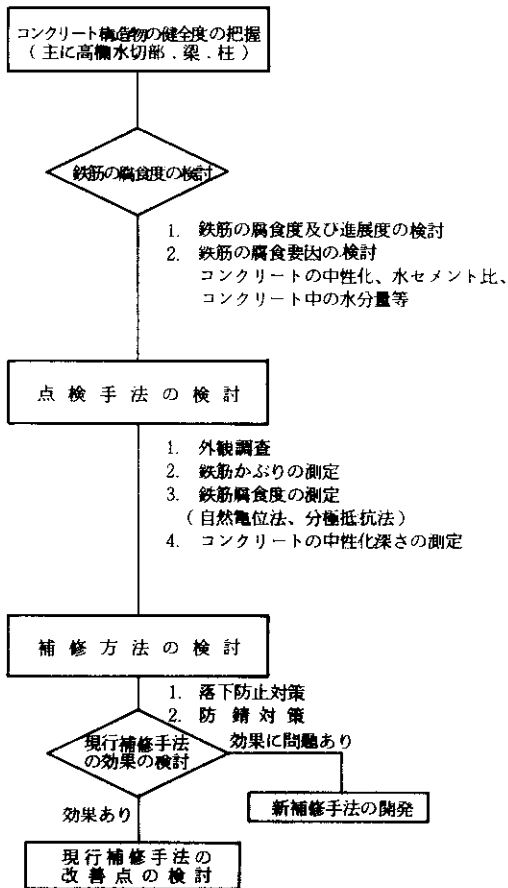
$-0.20 < E$ 90%以上の確率で腐食が生じていない。

$-0.35 \leq E \leq -0.20$ 不確定

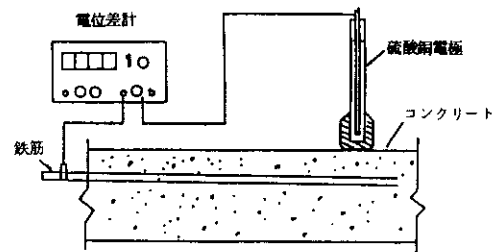
$E < -0.35$ 90%以上の確率で腐食が生じている。

注：電位は照合電極として飽和硫酸銅電極を用いた場合で単位はボルト(V)である。

自然電位の測定は図一 3 に示すように電位差計の一端をコンクリート中の鋼材に、他端を照合電極



図一 2 鉄筋腐食度調査のフロー



図一 3 電位測定の基本回路

に接続して行う。電位差計としては内部抵抗の大きい(10¹³Ω以上)エレクトロメーターを使用するのが望ましい。また、鋼材と導線との接続は大型のワニ口クリップ、ハンダ等で行い、鋼材間が電氣的に短絡していることを確認しておく必要がある。照合電極とコンクリート表面とは、水溶液を含ませたスポンジ、ろ紙、ウェス等を介して測定点に接触させるようにする。測定点の間隔は対象構造物の形状、環境条件、腐食性状によって変化させなければならないが、一般的には5～50cm間隔とする。しかし隣り合う測定点間の電位差が50 mV以上となるときは測定間隔を小さくする必要がある。測定値の読み取りは5～10 mV単位で十分である。測定結果の表示は、構造物表面の等電位線図、測定範囲毎の累積度数分布等を用いて対象部材における電位分布が把握できるようにする。²⁾

2-1-2 分極抵抗法

腐食速度や腐食機構を推定するために、外部電源と補助電極とを用いて試料片に外部から分極を与え、外部回路を流れる電流を測定して試料片全体の外部分極曲線を求めることが行われる。腐食が生じている電極の等価回路は図-4のように表わされる。分極抵抗法とはある条件下において腐食電極では印加された電位と電流密度間には近似的直線関係が得られることから、(1)式を用いて測定された分極抵抗R_pから腐食速度I_{corr}を求めるものである。

$$I_{corr} = K \cdot \frac{1}{R_p} \quad \dots\dots\dots(1)式$$

腐食速度を検討するためには(1)式のK値(アノードおよびカソード分極曲線のターフェル勾配の関数)を、鉄筋の重量減のデータと分極抵抗値とを別途に求めて検量線を作って求める必要がある。

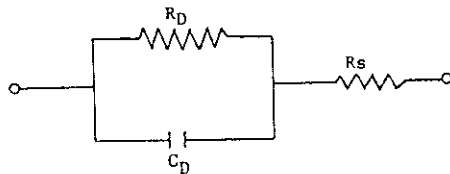


図-4 腐食している電極の等価回路

実験的に鉄筋の腐食減量を求める作業は容易ではないので、実際の現場測定においては電極電位の経時変化と分極抵抗の変化とから、腐食速度を推定することになると考えられる。また、構造物内の鋼材を分極させるためには多量の電流が必要とともに、与える電流の分布を得ることが不可能に近い分極の制御が困難となる。このため使用する鋼材と同材質の小鋼材をモリタリングしようとする箇所にあらかじめ埋設しておき、この鋼材から構造物中の腐食傾向を推定する方法が最も現実的である。測定法の原理的な違いから、自然電位法は腐食しようとする傾向の高さを表わし、分極抵抗法は腐食している状態の程度を表わすものといわれている。

2-2 実橋における鉄筋腐食調査

実橋における鉄筋腐食の実態を調査するために、高欄11径間、橋脚10基を調査対象として抽出し、外観、中性化深さ、自然電位分布、塩分量等を調査した。調査対象高欄および橋脚は、調査用仮設備を必要とせず、損傷程度が外観上高いと思われるものを抽出した。また、調査対象高欄部では、外面、内面、張出し部下面から1径間あたり10ヶ所(1ヶ所あたり2m×1m=2m²)を選定し調査区間とした。橋脚について、1橋脚あたり2ヶ所(1ヶ所あたり2m×2m=4m²)を選定し、調査区間とした。高欄、橋脚部に関する調査項目及び測定点数は表-1、表-2に示すとおりである。³⁾

2-3 実橋における鉄筋腐食実態調査結果

2-3-1 鉄筋のかぶり厚さ及び中性化深さ

図-5、図-6は高欄部における鉄筋探査機によるかぶり厚さ測定結果と鉄筋はつり出し時の中性化深さ測定結果とを、空港線、堺線、湾岸線の各路線別に集計したものである。かぶり厚さについては平均3cm程度確保されているが、同一径間についてもかぶり厚さが極端に厚い箇所や、うすい箇所が存在することがわかる。また中性化深さの中央値は、空港線、湾岸線では0.4cm、0.7cm

表一 高欄部調査項目および測定点数

調査項目	調査内容	測定点数
外観調査	コンクリート表面状況の調査	10ヶ所(1m×2m×10=20㎡)
鉄筋かぶり厚	鉄筋探査器を使用する	10本×2点×10ヶ所=200データ
コンクリートの品質	超音波伝播速度測定	10点×10ヶ所=100データ
	シュミットハンマー試験	20点×10ヶ所=200データ
自然電位測定	硫酸銅電極を使用する	10点×4列×10ヶ所=400データ
中性化深さ測定	フェノールフタレイン使用	10データ
コア採取	全塩素量の分析	1ヶ所

なお、空港線、堺線、湾岸線の3路線から各々1本ずつφ10cm×20cm程度のコアを採取し、コンクリートの配合推定を行った。

表二 橋脚部調査項目および測定点数

調査項目	調査内容	測定点数
外観調査	コンクリート表面状況の調査	2ヶ所(2m×2m×2=8㎡)
鉄筋かぶり厚	鉄筋探査器を使用する	10本×2点×2ヶ所=40データ
コンクリートの品質	超音波伝播速度測定	10点×2ヶ所=20データ
	シュミットハンマー試験	20点×2ヶ所=40データ
自然電位測定	硫酸銅電極を使用する	10点×10列×2ヶ所=200データ
中性化深さ測定	フェノールフタレイン使用	2データ
コア採取	全塩素量の分析	2ヶ所

なお、環状線、湾岸線、東大阪線の3路線から各々1本ずつの代表例を選び、これらについては配合推定を行った。

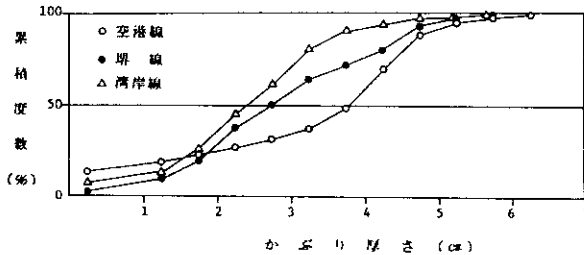


図-5 かぶり厚さの累積度数分布

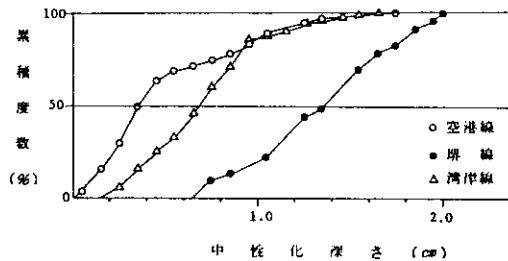


図-6 中性化深さの累積度数分布

であるのに対し、堺線では1.4cmと差異が見られる。また同一径間においてもばらつきがあり局所的には2.0cmに達しているところもある。図-7は外観上の損傷度ランクとかぶり厚さを累積度

数分布に表わしたものである。鉄筋が露出するような損傷ランクA、Bではかぶりの中央値が2cm前後になるのに対し、外観上健全と判定されるランクCでは中央値が3cmである。また、かぶり厚

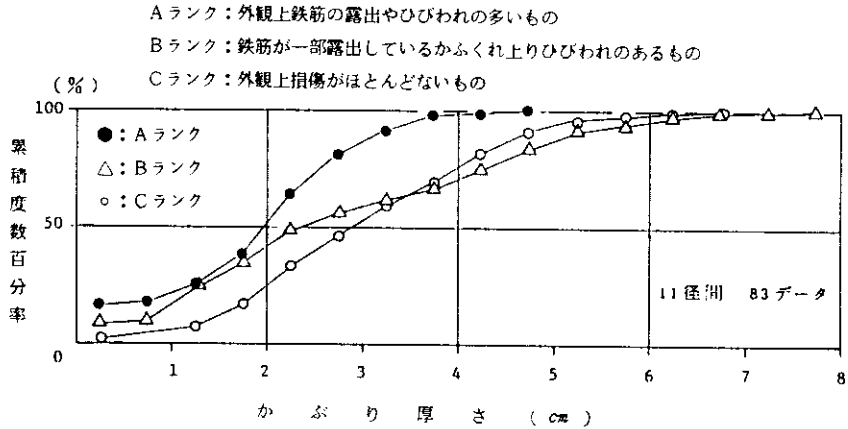


図-7 外観上損傷状態とかぶり厚さとの関係

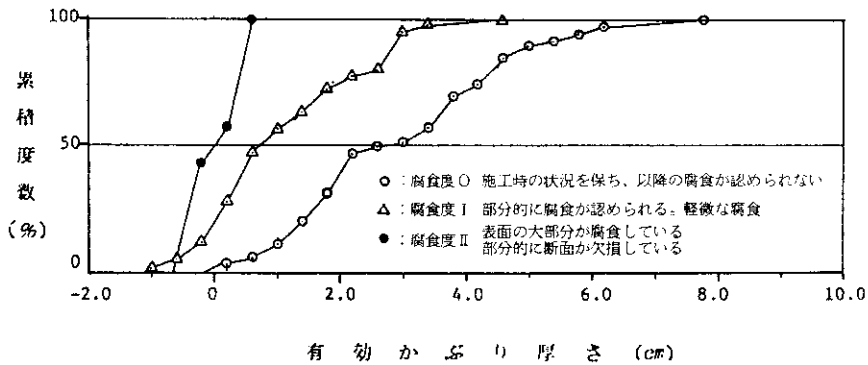


図-8 鉄筋腐食度と有効かぶり厚さとの関係

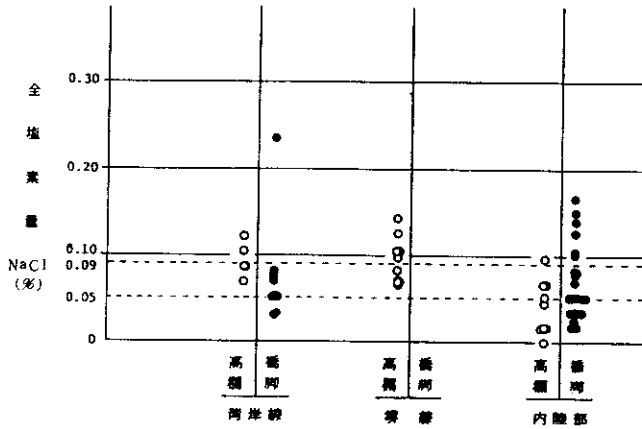
さが4 cm以上ある箇所においては鉄筋腐食がほとんど生じていないことがわかる。このことから、少なくとも鉄筋かぶりを4 cm以上としておけば、高欄中の鉄筋腐食は生じ難いといえる。図-8はかぶり厚さから中性化深さを差し引いた値を有効かぶり厚さとしたときの、鉄筋腐食状況との関係を表わしたものである。鉄筋腐食度IIでは有効かぶり厚さが0 cm程度であるのに対して、腐食度0では有効かぶり厚さの中央値は2.5 cm程度であることがわかる。以上の図-5、6、7、8より鉄筋のかぶり厚さが4 cm以上あれば、良好な品質のコンクリートの材令30年での中性化深さが平均1.5 cm (1.5 + 2.5 = 4 cm)と言われていることから、局部的に中性化深さが大きくなっても鉄筋腐食はほとんど生じないものと考えられる。

2-3-2 塩素量分析結果

構造物から採取したコアによる全塩素分析結果を図-9に示す。図-9は採取したコア中の全塩素分析結果を、コンクリート乾燥重量に対する比率 (NaCl換算) で表わしたものである。分析試料は高欄では表面から3~5 cmの深さ、橋脚では8~10 cmの深さの位置から採取したものである。特異なものを除けばコンクリート中の全塩素量は0.02~0.12%の範囲内にあり、高欄部については若干内陸部が小さいものの路線による差違はあまり大きくないと考えられる。

2-3-3 自然電位分布

図-10は57年度の環状線、西大阪線、堺線の5径間を対象とした調査結果の代表例を表わしたも



注) 0.09%は砂に0.2%の付着量分の他に0.16%の塩化カルシウムが含まれているとした時の全塩量である

図-9 全塩素分析結果の分布

市販のある種水剤における塩化カルシウム量(%)
(砂の乾重量に対する重量百分率)

項	H	普通型減水剤		早強型減水剤	
		CaCl ₂ ・2H ₂ Oとして	NaClとして	CaCl ₂ ・2H ₂ Oとして	NaClとして
I	海砂損傷が激しくなつてから以降	0.06	0.05	0.18	0.14
II	海砂損傷が激しくなる以前	0.2	0.16	0.5	0.4
III	海砂中の塩分に対する学会の限界値(NaCl)	土木学会RC示方書0.1%, 日本建築学会建築工事仕図書0.04%			

小林一輔
コンクリート構造物と鋼材の腐食 防食
コンクリート工学 vol.19 No.3 1981
付着量(%) $\frac{600 \times 0.2}{2,000} = 0.062$
塩化カルシウム(%) $\frac{600 \times 0.16}{2,300} = 0.042$

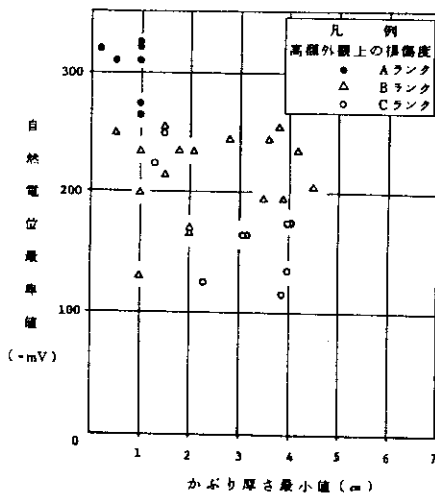


図-10 自然電位最卑値とかぶり厚さ最小値との関係

のである。4) 同図は高欄中の鉛直方向鉄筋の直上において測定された自然電位の最卑値(-mV)と、その鉄筋かぶりの最少値(cm)との関係を高欄の外観上の損傷度の違いによって表示したものである。測定対象によって差違はあるものの、外観上損傷度の高い個所ではかぶり厚が小さく、自然電位も卑であることがわかる。表-3は今回測定された自然電位の分布状況を示すが、ASTMに示されているような-300~-350mVのような

表-3 自然電位、外観状況調査結果

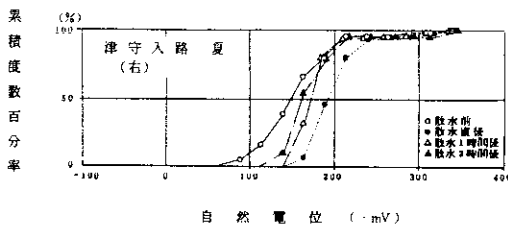
路線名	調査場所	竣工年月	自然電位(mV)		外観状況
			Max~Min	平均値	
空港線	S-375 (上)	昭和56年10月	-168~-8	-77	C
"	S-375 (下)	"	-101~+65	-75	C
"	空港入S-17	43年7月	-260~+47	-48	B
"	"	"	-230~+46	-59	C
"	空港入S-18	"	-160~+33	-36	A
"	"	"	-90~+35	-17	B
"	"	"	-122~+62	-37	C
堺線	汐見橋入S-7	44年12月	-182~+71	-120	A
"	"	"	-264~+7	-28	B
"	津守入S-5	45年2月	-223~+45	-39	A
"	"	"	-98~-10	-50	B
"	"	"	-183~+35	-35	C
湾岸線	南港北入S-8(右)	49年5月	-205~+44	+2	A
"	"	"	-65~+46	-8	B
"	"	"	-173~+154	+13	C
"	南港北入S-8(左)	"	-173~+160	+7	C
"	南港北出S-4	"	-113~+94	-8	C
"	南港北出S-5	"	-248~+118	-10	C
"	大阪港出S-13	48年6月	-180~+123	-55	C

卑な値ではなく-50~-100mVという比較的貴な値が多かった。これは測定対象に鉄筋腐食の著しい個所が少なかったことにもよるが、鉄筋が一部露出しているような所でも必ずしも-300mV前後の値が測定されなかったことから、腐食進行状況が非常に穏やかな環境であることが推定される。次に、自然電位に大きな影響をおよぼすと考えられる温度、コンクリート中の水分等の影響を調べるために、下記の4径間の高欄を対象として、夏

季（9月上旬）、秋季（11月中旬）、冬季（2月初旬）の年3回自然電位を測定し温度、コンクリート中の水分等が自然電位にどのような影響を与えるかを調査した。

- (1) 空港線 空港入S-18（右・外側）
- (2) 堺線 汐見入S-7（右・外側）
- (3) 堺線 津守入S-5（左右・外側）
- (4) 湾岸線 南港北入S-8（左・内側）

測定は前日に降雨のなかった日に行い、まず乾燥状態での測定と高欄をウェスで覆った上に1時間散水養生した湿潤状態での測定とを行った。さらに散水終了後1時間、2時間経過した時点でも測定を行った。測定項目は25cm間隔直交座標上の自然電位測定、コンクリート温度、コンクリート中の水分量であった。測定結果の代表例として津守入路でのデータを取り上げ、図-11に夏季における25cm間隔の直交座標において測定した自然電位の散水養生による変化の累積度数分布を表わしたが、1時間の散水で自然電位が卑な範囲へと移動するものの、コンクリートの乾燥に伴って自然電位が散水前の貴な範囲へと変化していくことがわかる。図-12は、散水前の乾燥状態と散水直後の湿潤状態に関するコンクリート温度、高周波モルタル水分計の読みと自然電位との関係を表わしたものである。これによっても自然電位が、温度と水分量とに影響されていることがわかる。しかし



S 59.9.13 測定

	気温(℃)	コンクリート温度(℃)	水分計の読み値
①散水前	26.9	26.4	1.9
②散水直後	25.5	23.5	4.0
③散水1時間後	24.7	23.1	3.6
④散水2時間後	23.7	21.9	3.5

図-11 測定条件による自然電位累積度数分布の変化〔鉄筋上〕

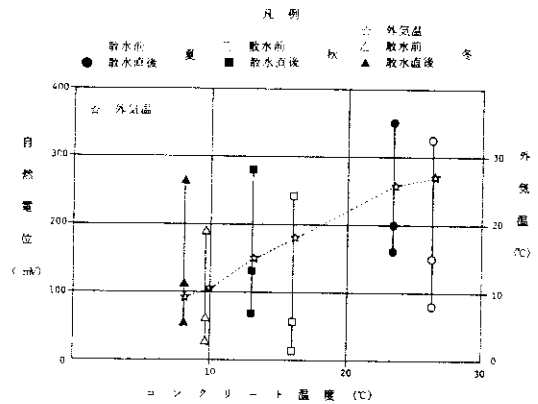


図-12 散水による自然電位とコンクリート温度の変化〔津守入路右〕〔鉄筋上〕

ながら、温度、水分が自然電位にあたる影響は、標準値（秋季の値）に比べて2～3割程度であることから、腐食進行状況を把握する目安としては、自然電位値によって判定できるものと考えられる。また現在までの自然電位測定値をASTM規格値と比較すると、夏期高湿時をのぞいては全体的に小さな値となっており、腐食環境は穏やかであると考えられる。

3. 現行補修法の効果確認試験

3-1 調査概要

高欄水切部補修工事は、昭和55年度から現行補修法に近い方法で実施している。今回、施工後約3年における水切補修済部の現況調査を行うため路下から目視にて変状が最も大きい箇所を選択し、補修状態の把握、補修効果の確認を行うため次のような調査を実施した。⁶⁾

- 調査場所 (1)環状線 環S-151（55年度施工）
- (2)堺線 堺S-368（55年度施工）
- (3)神戸線 神S-644,656（55年度施工）

○調査項目

- (1) 外観の変状調査（状態、色調）
- (2) タキ点検による浮きの調査

- (3) FRP層（ガラスクロス使用の樹脂塗装による補修部）の接着強度試験－建研式単軸引張試験
- (4) FRP層剥し後のコンクリート表面水量の測定－高周波モルタル水分計（ケットCH-2）
- (5) 鉄筋の腐食調査及びコンクリートの中酸化深さ測定－フェノールフタレイン溶液）
- (6) FRP層現場採取による引張強度試験－JIS A 6911に準拠
- (7) FRP層現場採取による透水性試験－JIS A 6910に準拠
- (8) FRP層標準供試体による引張強度試験－JIS A 6911に準拠

補修方法は、現場毎に変化があり、試行又は改良の跡が見られた。特に水切部処理に差異がありその補修工法は図-13のとおりであった。

3-2 調査結果および考察

3-2-1 色調の変化

今回調査した全箇所共変色が起っていた。変色は床版張出部下面で当初の灰白色（H-1004）から薄茶色（L-220）または茶白色（L-440）となっており、樹脂だまりや樹脂だけが点在している部分は茶褐色（L-254）になっていた。（記号は日本塗料工業会の塗料用標準色見本帳の記号による。）高欄外面はチョーキング現象により白色化（L-1002, 1003）していたが当初の色調と類似している。床版下面の茶色の変色は水洗いにより付着物

が落ちて高欄部の色調に近くなった。このことから、床版下面の樹脂の変色は大気汚染物質（煤煙、排ガス等）の付着であると思われる。高欄部の変色は雨水による顔料の色あせと、日光による紫外線劣化によるものとみられる。

3-2-2 浮きの面積

表-4にたたき点検による浮きの調査結果を示す。浮きは高欄外面では少なく、床版下面に多くみられた。床版下面は施工性が上向きで悪いうえに水切の切欠部が埋戻し処理されていないものは、この部分が筋状に浮いて空洞を生じていた。堺S-368は水切部の埋戻しはされていたもののガラスクロスの貼付施工が悪く、部分的には19%程度の浮きがあった。なお、神S-656では床版部に幅0.1～0.3mm（補修部）、高欄部に幅0.2～0.4mm（未補修部）のひびわれがあり、ひびわれに沿って幅2～4cmの浮きが生じていた。

3-2-3 接着強度

図-14に引張試験の結果と破壊面の状況を示す。グラフは各測点3個の平均値をプロットしたものである。末補修部の引張（接着）強度は14～25kg/cm²でコンクリート表面の脆弱層が破壊したのに対し、補修部は20～74kg/cm²で破壊面の状況により値が変化している。これはプライマー処理により既設コンクリートに十分含浸された部分とそうでない部分とで差が生じたものとみられる。通常の処理では30～40kg/cm²の強度にはなるものとみられ、丁寧なプライマーの含浸施工により

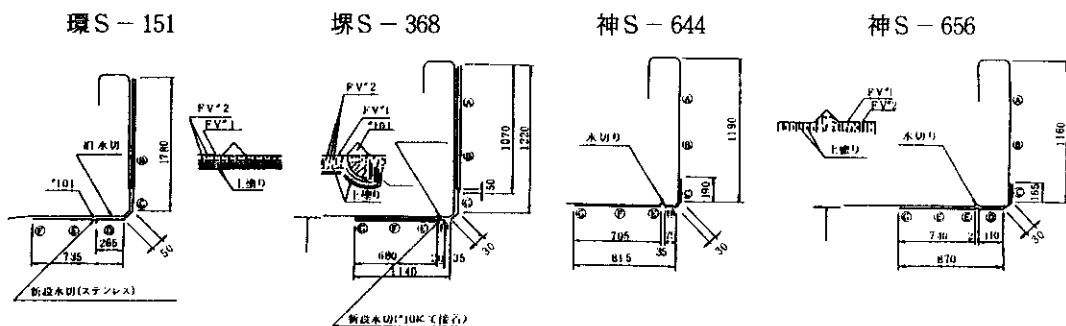


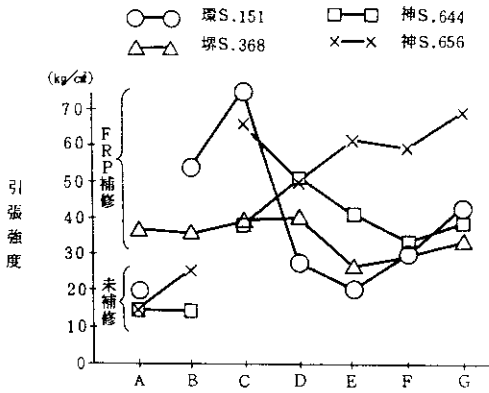
図-13 試験段階の補修工法

表一 4 タタキ点検浮き面積

点検箇所	点検面積(m ²)	浮き面積(m ²)	比率(%)	備考	
環S 151	高欄	1.1840	0.0096	3.68	施工時からの浮きと思われる。
	床版	1.1618	0.0768		
堺S 368	高欄	1.1520	0.0480	11.46	施工時からの浮きと思われる。
	床版	1.1376	0.2144		
神S 644	高欄	0.2368	0	4.32	施工時からの浮きと思われる。
	床版	1.2432	0.0600		
神S 656	高欄	0.8310	0	3.17	ひびわれ部は、補修後の継年的な浮き、 その他は施工時からの浮きと思われる
	床版	1.2600	0.0472		

注1. ハンチ部は、床版側に入れた。

注2. 面積の算出は、40mm×40mmの分割により行った。



図一 14 引張強度と破壊面

コンクリート表層部の再生効果が期待され、環S-151の一部をのぞいてその効果は十分あるとみられる。

3-2-4 FRP層の引張試験

現場からFRP層を剥し取り、幅1.25cm、長さ21cmの短冊型の供試体を作成し、引張試験を行った。また比較のため補修工法を同様にしたFRP供試体を作成し試験した。その結果を表一5に示す。現場床版から採取の供試体は2層の箇所のものであるが、室内作成の供試体強度に比べ、 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ の強度になっている。これは経年劣化によるものの他、供試体の切り出しおよび付着コンクリート片の撤去のむずかしさなどから、チャック部の補強ができなかったことなど試験上の問題も含ん

表一 5 FRP層引張試験結果

(kg/cm²)

現場採取供試体	点検箇所	高欄	床版
	環S 151	85.2	51.1
堺S 368	50.0	51.1	
神S 644	45.4	72.3	
神S 656	41.9	69.2	
室内作成供試体	ガラスクロス	1層	2層
	引張強度	47.5	132.2

でいる。残存強度として40kg/cm²程度のものが保たれていれば、コンクリートの含浸処理部の引張強度とも似かよっており、コンクリート片の落下防止に役立っているとみられる。

4. 暴露供試体による鉄筋腐食調査

4-1 暴露供試体実験の調査方法

現行の高欄補修方法の効果を短期間で判定することを目的とした供試体と、新たな補修方法を加えて長期間で補修効果を判定していくことを目的とした供試体を作成し、59年度より港大橋築港側主塔下で暴露実験を開始した。⁵⁾ 図一15に供試体寸法図を示す。

短期暴露試験供試体は粗悪なコンクリートの品質を想定して水セメント比60%、砂の絶乾重量に対し0.3%のNaClを人工海水として添加した配合とし、長期暴露試験供試体は高欄用標準配合R

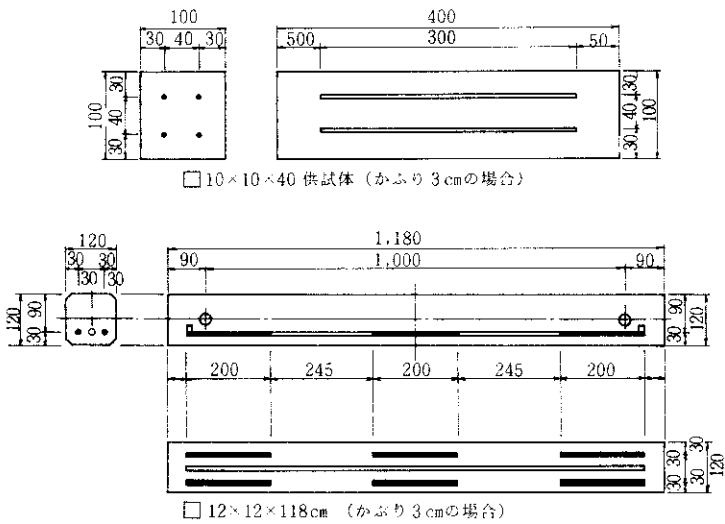


図-15 供試体一般図

N 272 B相当とし、練り混ぜ水として水道水だけのものと砂の絶乾重量に対し0.3%のNaClとなる人工海水を混ぜたものを用いた。

養生は暴露開始または補修塗布まで湿布養生とした。供試体作成要因としては、配合の他にかぶり3種類(1、2、3cm)と補修種別とをあげた。

なお、補修方法は短期用では現行の高欄補修3タイプと無補修を、長期用では将来用いられると思われる4タイプと無補修とをそれぞれ想定している。表-6に暴露試験供試体の番号および作成要因を示す。

表-6 暴露試験供試体一覧表

1: 短期暴露試験供試体(□110×10×40cm)

	かぶり(cm)			補修方法				作製本数
	1	2	3	A タイプ	B タイプ	C タイプ	無補修	
N 1-(1~3)	○						○	3
N 2-(1~3)		○					○	3
N 3-(1~3)			○				○	3
A 1-(1~3)	○			○				3
A 2-(1~3)		○			○			3
A 3-(1~3)			○			○		3
B 1-(1~3)	○				○			3
B 2-(1~3)		○				○		3
B 3-(1~3)			○				○	3
C 1-(1~3)	○					○		3
C 2-(1~3)		○					○	3
C 3-(1~3)			○				○	3

12: 長期暴露試験供試体(□12×12×118cm)

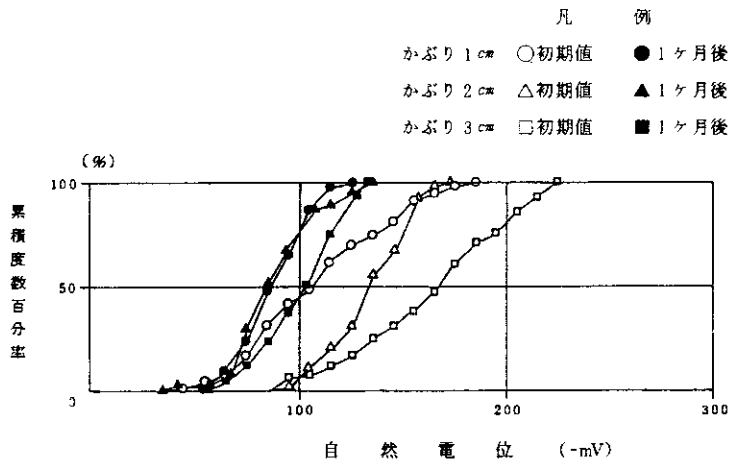
	NaCl 混入 率	かぶり(cm)				補修方法				作製本数		
		1	2	3	4	A	B	C	D		無	
La-1-(1~10)	0.3	○				2	2	2	2	2	2	10
La-2-(1~10)	0.3		○			2	2	2	2	2	2	10
La-3-(1~10)	0.3			○		2	2	2	2	2	2	10
Lo-1-(1~10)	0		○			2	2	2	2	2	2	10
Lo-2-(1~10)	0			○		2	2	2	2	2	2	10
Lo-3-(1~10)	0				○	2	2	2	2	2	2	10

A: ガラスクロス 1層仕上げ
B: ガラスクロス 2層仕上げ
C: コンクリート塗装

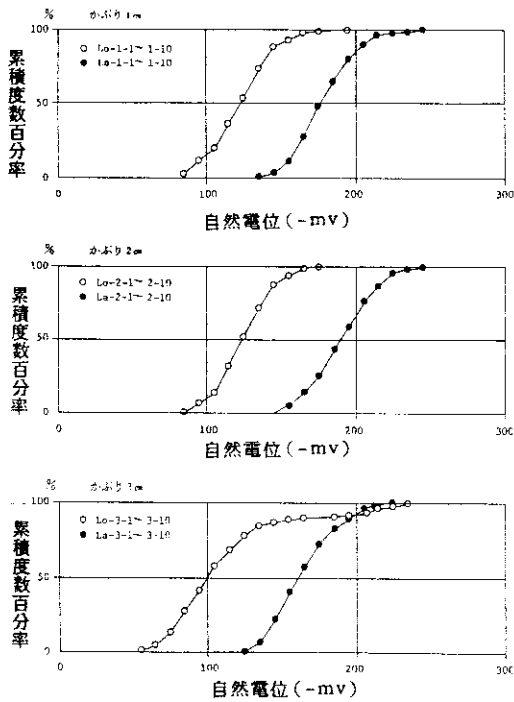
4-2 暴露試験供試体での調査結果

暴露試験地に設置直後の各供試体における自然電位分布と分極抵抗測定値とを図-16~図-19に示す。図-16、17は短期および長期暴露試験供試体の鉄筋直上に相当する測線において5cm間隔で測定した自然電位をかぶりの種類別によって集計し、累積度数百分率によって表わしたものである。短期用は無補修の供試体9体を対象としたもので、いずれも海水を混合したものである。長期用の海水混入供試体(Laシリーズ)での自然電位は-130~-250mV、混入していない供試体(Loシリーズ)では-50~-240mVと全体に海水混入の方が電位が卑となっている。かぶ

りによる自然電位分布の差は現時点では明瞭ではない。図-18、図-19は短期、長期暴露試験供試体において測定された分極抵抗値を供試体のかぶりの種類別に集計したもので、海水混入供試

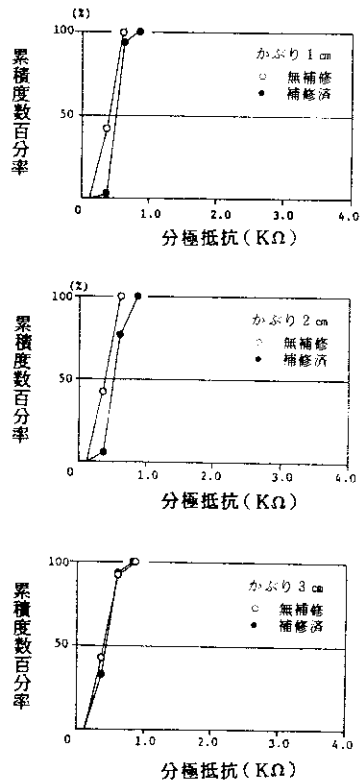


図一 16 短期用供試体における自然電位分布の変化



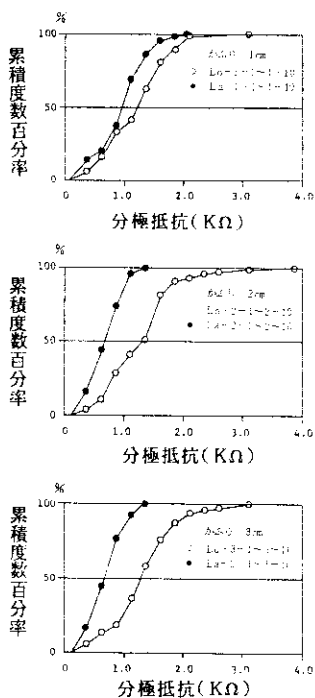
図一 17 長期暴露試験用供試体における自然電位測定値の分布

体の方が分極抵抗が小さいという傾向を示しているが、かぶりによる差は自然電位分布同様明確でない。これらの供試体については、設置後1年未満であり明確な傾向は不明であるが、今後毎年



図一 18 短期暴露試験用供試体における分極抵抗測定値の分布

追跡調査を実施することにより、かぶり厚、塩素の腐食にあたる影響および現行補修方法の効果



図一 19 長期暴露試験用供試体における分極抵抗測定値の分布

が明確になるものと考えられる。

5. おわりに

本報告は過去3年間の鉄筋腐食に関する調査研究を中間的にまとめたものであり、今後の追跡調査にその結果を待つものもあるが、現在まで明確になった点をまとめると次のようになる。

- (1) 高欄におけるかぶりと中性化深さ、鉄筋腐食状況等の関係を集計すると、阪神高速道路のコンクリート構造物においては、かぶりが3 cm以上ある場合には鉄筋腐食が生じる可能性は低いと考えられる。また中性化深さを考慮した有効かぶり厚さが2.5 cm以上あれば鉄筋腐食はほとんど生じないと考えられる。このためには、施工時のばらつき、安全性も考慮して4 cm程度の標準かぶりを確保する必要があると考えられる。鉄筋腐食防止としては、(イ)かぶり厚を厚くする、(ロ)エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する、(ハ)コンクリート塗装を建設時に実施する、(ニ)G R C高欄

等を使用する、(ホ)密実性の高いコンクリートを使用する、等があり、今後これらについて検討する必要がある。

- (2) 現行補修方法の効果確認調査においては、施工後3年と経過年数は長くはないが、FRP層は一応十分な接着強度と引張強度を保持しており、コンクリート片の落下防止に効果がある。
- (3) コンクリート中の鉄筋腐食調査としての非破壊試験法については、自然電位法、分極抵抗法とも現場測定への適用例が少なく、測定方法だけでなく評価基準についてもさらに多くの資料収集を行う必要がある。しかし現時点ではコンクリート表面が非常に乾燥し電気的な絶縁状態に近づいている場合、あるいはコンクリート表面に絶縁材料が被覆されているような状態を除けば、自然電位法は部材の大きさ、かぶりの厚さに関らず、非破壊的に鉄筋腐食状態を検討する方法として有効であると考えられる。港大橋築港側主塔下の暴露実験は、自然電位、分極抵抗値測定により、今後補修工法の選定に当たっての貴重なデータを提供できるものと期待される。最後に、本実験にあたって御指導いただいたコンクリート構造物の健全度に関する調査研究委員会(委員長・岡田清京大教授)の委員の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ASTM C-876-77: HALF CELL POTENTIALS OF REINFORCING STEEL IN CONCRETE
- 2) 宮川、葛目: 自然電位測定による鉄筋腐食調査、非破壊検査 1985.10
- 3) 阪神高速道路公団: コンクリート中性化追跡点検業務 1984.3
- 4) 阪神高速道路公団: コンクリート中の鉄筋腐食実態調査業務 1983.1
- 5) 阪神高速道路公団: 鉄筋腐食調査点検業務 1985.3
- 6) 阪神高速道路公団: 高欄水切部追跡点検業務 1984.3