

港 灣 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 631 Dec. 1988

各種補修を施したコンクリート梁の
促進海水養生試験

大	即	信	明
浜	田	秀	則
原	茂	雅	光

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	3
1. まえがき	3
2. 断面修復材により補修を行った梁の促進試験	3
2.1 実験の目的	3
2.2 実験の概要	3
2.3 実験の結果および考察	8
2.4 電気化学的測定結果の検証	14
3. 鉄筋の防錆材，断面修復材，コンクリートの表面処理材の組み合わせにより補修を行った 梁の促進試験	15
3.1 実験の目的	15
3.2 実験の概要	19
3.3 実験の結果および考察	23
3.4 電気化学的測定結果の検証	29
4. 結論	34
5. あとがき	35
参考文献	35

An Accelerated Test of Concrete Beams Repaired by Corrosion Prevention Methods

Nobuaki OTSUKI *
Hidenori HAMADA **
Masamitsu HARAMO **

Synopsis

Recently, the salt-induced damages of reinforced concrete (RC) superstructures of wharves have been found in many ports. The salt-induced damage is caused by corrosion of the steel bars, and sometimes cover concrete is stripped off.

Series of tests were begun to evaluate repairing methods for these damaged RC structures. As a part of these tests, this accelerated test was carried out. The main purposes of this test are as follows;

1. To clarify the critical points of repairing.
2. To evaluate the effectiveness of repairing on corrosion prevention.

In this paper, the results of this accelerated test are presented.

Key Words: RC Superstructures of Wharves, Accelerated Test, Salt Induced Attack, Repair

* Chief of Materials Laboratory, Structures Division

** Materials Laboratory, Structures Division

各種補修を施したコンクリート梁の促進海水養生試験

大 即 信 明 *
浜 田 秀 則 **
原 茂 雅 光 **

要 旨

近年、塩害による栈橋上部工の劣化が各地で相当数報告されてきている。塩害とは、床版、梁部材中の鉄筋が発錆しそれに伴いかぶりコンクリートにひびわれが生じ、剝離、剝落にいたることである。本研究はこのような劣化に対する補修工法を検討するために行ったものであり、各種補修材料、工法のうちの数種について、補修に際しての問題点、補修材の防錆効果を検討するために行った。本文は、各種の補修を施した、比較的小型の梁供試体の促進海水養生試験結果をまとめたものである。

キーワード：栈橋コンクリート上部工、促進海水養生試験、塩害、補修

1. まえがき

近年、塩害による栈橋コンクリート上部工の劣化が各地で相当数報告されてきている。港湾局、港湾建設局においても、その事態を重視し、全国規模でその実態調査を取り行った。結果は本研究室において取りまとめ、港研資料として報告している¹⁾²⁾。

栈橋上部工の劣化とは、具体的には床版もしくは梁部材中の鉄筋が発錆し、それに伴い、かぶりコンクリートにひびわれが生じ、さらには剝離、剝落に至ることである。その結果、鉄筋の発錆がさらに進み、栈橋の耐荷力の低下へとつながっていく。

本実験はこのような劣化が生じている栈橋施設の補修工法を検討するために取り行ったものである。ここでいう補修とは剝離もしくは剝落したコンクリート断面の修復をさしてあり、さらに鉄筋への防錆塗料の塗布、補修を行ったコンクリート表面の表面処理を含んでいる。

最近、多数の補修材料、補修工法がメーカー等から提案されてきているが、その材料の優劣、または、補修工法の効果ははっきり把握できていないのが現状である。

本実験では、比較的小型の供試体を用い、各種の補修を施した梁の促進海水養生試験を行った結果をもとに、現在、提案もしくは実施工が行われている各種材料、工法の数種について、補修に関する問題点、補修材の防食

効果等の検討を行った。

2. 断面修復材により補修を行った梁の促進試験

2.1 実験の目的

本実験においては各種断面修復材について、1. 埋設鉄筋の防食性、2. 梁としての力学的性質、3. 材料としての耐海水性、を検討することを主目的としている。1については、促進養生期間中もしくは促進養生後に埋設鉄筋の電気化学的性質の測定および腐食状況の観察を行った。

2については、促進養生前に梁の曲げ載荷試験を行った。また3については、各種断面修復材の管理供試体を梁と同じように促進養生に供し、その圧縮強度および弾性係数の経時変化を調べた。

2.2 実験の概要

(1) 供試体の形状

試験を行った供試体は、図-1にその概要を示すような、小型梁供試体である。図中、斜線を施した部分が補修部分である。すなわち鉄筋下部の幅15cm、高さ7.5cm、長さ30cmが欠けた梁をあらかじめ作成し、母材コンクリートが硬化した後に、その部分を種々の異なる材料を用いて充填（補修）した。断面修復材（補修材）として使用した材料を表-1に示す。なお、表中“一体構造供試体”とあるのは、断面欠損の全くない健全な梁供

* 構造部材料研究室長

** 構造部材料研究室

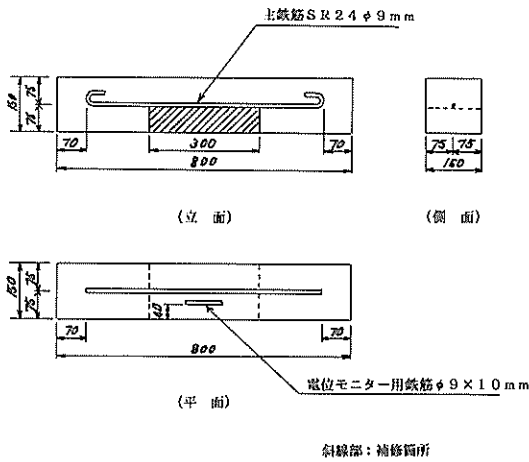


図-1 供試体形状

試体であり、“無補修供試体”とは断面欠損を有し、かつ補修を全く行っていない供試体のことである。供試体総数は9(ケース)×3=27体である。

表-1 断面修復材

断面修復材	記号
普通ポルトランドセメントコンクリート	RAN
早強ポルトランドセメントコンクリート	RAH
高炉B種セメントコンクリート	RAB
レジンコンクリート(エポキシ樹脂系)	ARB
ポリエチレン繊維補強コンクリート	ARC
プレパックドコンクリート(普通ポルト)	ARD
ジェットセメントコンクリート	RE

一体構造供試体	RM
無補修供試体	ARN

(2) 使用材料

母材コンクリートの製作に使用したセメントは、普通ポルトランドセメント(比重3.16)である。粗骨材は比重2.67、粗粒率6.78の砕石であり、細骨材は比重2.63、粗粒率2.95の砕砂である。

補修材として使用したセメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16)、早強ポルトランドセメント(比重3.13)、高炉B種セメント(比重3.04)である。また、骨材は母材コンクリートと同様のものを使用した。表-

2に母材コンクリートおよび各種補修材の配合を示す。また、主鉄筋および電位モニター用鉄筋としては、普通丸鋼(SR24)を使用した。

(3) ひびわれの導入および促進(海水養生)試験

前節で述べたような供試体を用いて促進試験を行った。促進試験を行う前に、各供試体に曲げ載荷によりひびわれを導入した。載荷方法は図-2に示すとおりである。ひびわれ発生までの梁の断面剛性も併せて求めた。なお、各ケース3体中2体は、ひびわれが発生した時点で除荷し、残りの1体については、破壊まで載荷を行ってその後除荷した。このようにあらかじめひびわれを導入した梁供試体27体、およびそれらの管理供試体を促進試験に供した。促進試験方法としては、乾湿繰返し法を採用した。これは、1サイクルを7日(1週間)とするものであり、その温度履歴を図-3に示す³⁾。本試験においては、上記のような乾湿繰返し法を20サイクル行った。

(4) 試験項目および方法

本試験において取り行った試験項目を表-3に一括して示す。なお、載荷前のはり供試体の曲げ載荷に関する断面剛性EIの算定は表中に記載していない。各々の試験方法の概略を以下に示す。

a) 自然電極電位

自然電極電位の測定方法の概要を図-4および図-5に示す。電位モニター用鉄筋の自然電極電位は、促進養生期中経時的に測定した。図-5は、主鉄筋の自然電極電位の測定を行うための梁供試体の加工手順を示したものである。主鉄筋の自然電極電位の測定は、促進養生を20サイクル行った後、図-5に示すように加工を行った供試体を用いて図-4に示す要領で行った。

b) 動電位分極曲線⁴⁾

動電位分極曲線の測定装置の概要を図-6に示す。対極としてステンレス鋼板、参照電極として銀-塩化銀電極を使用した三電極方式により測定を行った。なお、測定は、鉄筋の電位を自然電極電位から+1.0Vまで掃引速度40mV/minで変化させ、その間の電位と電流の関係をX-Yレコーダーで記録した。なお、本試験は促進養生を20サイクル行った後、主鉄筋について行った。

c) 定電位ステップ法⁵⁾

測定位置は動電位分極曲線と全く同様である。測定は、鉄筋に-1.0Vの電圧を加え、流れる電流の経時変化をX-Yレコーダーで記録した。本試験も動電位分極曲線の場合と同様に、20サイクルの促進養生の後に主鉄筋について行った。

d) 埋設鉄筋の腐食状況観察

表-2 コンクリートの配合

1. 母材コンクリート

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメン ト C	粗 骨 材		細骨材 S	混 和 剤	
							G5	G6		減水剤	A E 剤
20	8±2.5	4±1	55	50	167	304	372	556	916	6.08	1.22

2. 補修コンクリート

(a)・普通コンクリート

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメン ト C	粗 骨 材		細骨材 S	混 和 剤	
							G5	G6		減水剤	A E 剤
20	8±2.5	4±1	55	50	167	304	372	556	916	6.08	1.22

・早強コンクリート

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメン ト C	粗 骨 材		細骨材 S	混 和 剤	
							G5	G6		減水剤	A E 剤
20	8±2.5	4±1	55	50	167	304	371	555	915	6.08	1.22

・高炉B種コンクリート

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメン ト C	粗 骨 材		細骨材 S	混 和 剤	
							G5	G6		減水剤	A E 剤
20	8±2.5	4±1	55	50	167	304	370	553	911	6.08	1.22

(b)・レジンコンクリート

樹脂：砂：粗骨材 1：3：5

(c)・繊維補強コンクリート

スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)							
				水 W	セメン ト C	粗 骨 材		細骨材 S	補強繊維 ビニロン	混 和 剤	
						G5	G6			減水剤	A E 剤
8±2.5	4±1	55	56	185	336	309	462	968	13	6.78	1.34

(d)・プレパックドコンクリート

W/C+F (%)	F/C+F (%)	S/C+F (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	フライア ッシュF	細骨材 S	減水剤	アル粉	粗骨材 G5
55	20	100	174	253	63	316	5.06	0.019	1602

(e)・ジェットコンクリート

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
				水 W	セメント C	粗 骨 材		細骨材 S	ジェット セッター	減水剤
						G5	G6			
20	8±2.5	50	50	167	334	366	546	900	1.67	6.68

斜線部：補修箇所

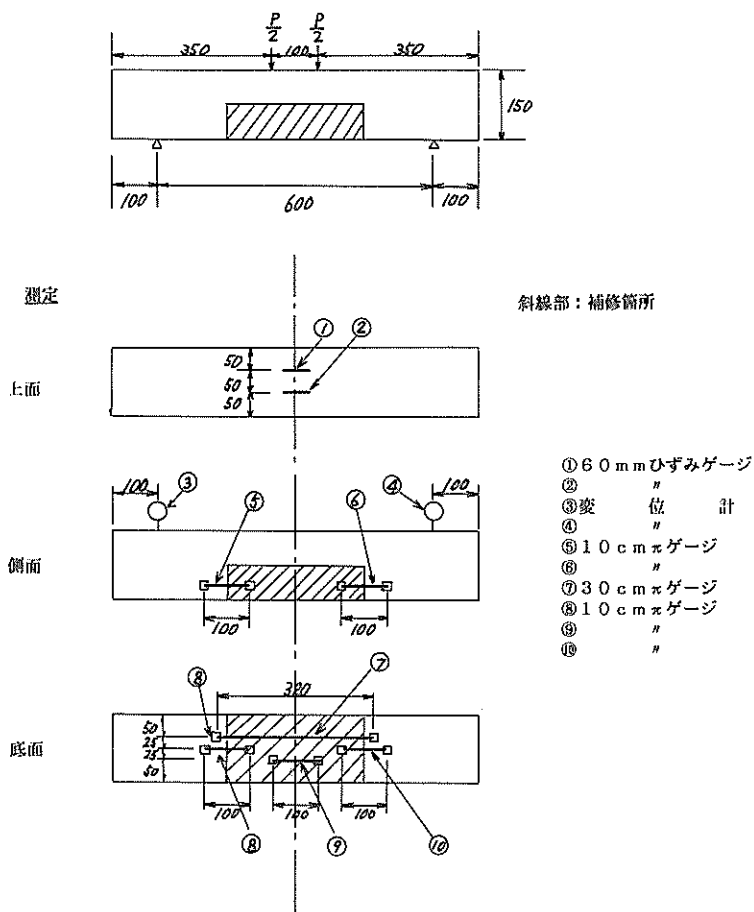


図-2 曲げ載荷方法概要

表-3 試験項目一覧

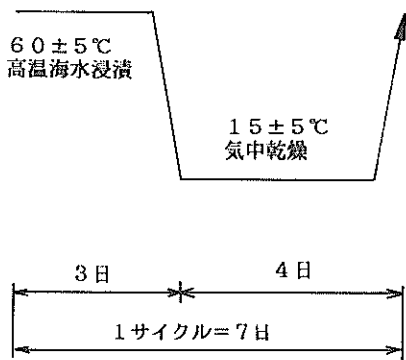


図-3 乾湿繰り返し法の温度履歴

	使用供試体	試験項目
埋設鉄筋の 防食性に関 して	梁供試体	1. 自然電極電位（モニター筋 により経時的に） 2. 自然電極電位 3. 電動位分極曲線 4. 定電位ステップ法 5. 埋設鉄筋の腐食状況観察 6. 埋設鉄筋の引張強度試験 7. コンクリート中の塩分含有 量試験（2～7は促進養生 後、主鉄筋により）
補修材料の 耐海水性に 関して	管理供試体	1. 圧縮強度 2. 弾性係数 3. 動弾性係数（3は促進養生 中経時的に）

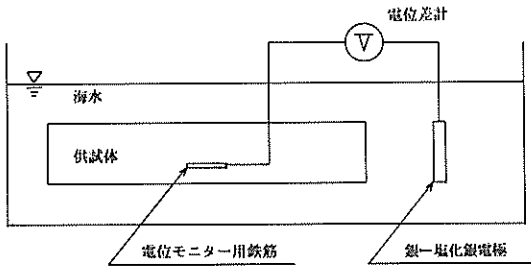


図-4 自然電極電位の測定法

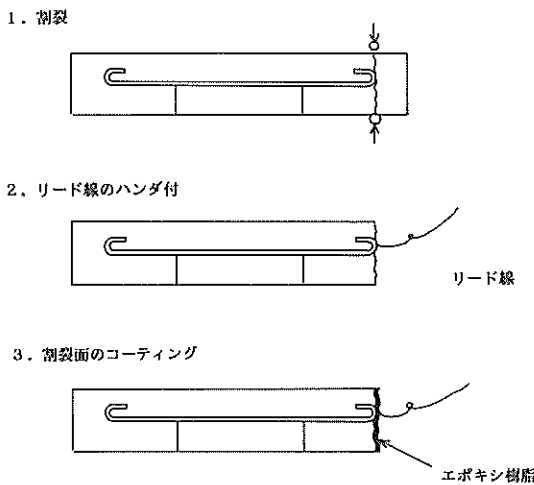


図-5 電気化学的計測を行う供試体の加工方法

電気化学的測定を行った供試体を削岩機等により破碎し、中の主鉄筋およびモニター用鉄筋を取り出し、発錆状況の観察を行った。まず初めに写真撮影を行い、次いで発錆状況観察図を作成した。この発錆状況観察図よりプランメーター等を用いて発錆面積の測定を行った。

c) 埋設鉄筋の引張強度試験

発錆状況観察を終えた鉄筋により、JIS Z 2241 に従い引張強度試験を行った。なお、試験の際は、腐食の最も激しい箇所で破断が生じるようにセッティングを行った。

f) コンクリート中の塩化物含有量

塩化物含有量試験としては、可溶性塩化物含有量の定量を行った。試験に供した試料は、供試体破碎の際に図-7に示すように、ほぼ供試体中央部の鉄筋直上に位置する母材コンクリートより取り出した。これらの試料を粉砕機を用いて149 μ mのふるいを全通するように微粉砕した。このうち、約2g使用し、水溶液中にて24時間塩素イオンを抽出した後塩素イオン濃度を測定した。

g) 圧縮強度試験

$\phi 15 \times 30$ cmの円柱管理供試体を用いてJIS A 1108 に従い圧縮強度試験を行った。なお、試験は促進養生前と養生後に行い、その変化についても検討した。

h) 弾性係数試験 (静弾性係数試験)

圧縮強度試験と同様に $\phi 15 \times 30$ cmの円柱管理供試体を使用した。試験は促進養生前および促進養生後に行った。ASTM C 469-65 に従い、コンプレッションメーターを使用して測定を行った。圧縮強度と同様に養生前と養生後の変化についても検討を行った。

i) 動弾性係数試験

$\phi 15 \times 30$ cm円柱管理供試体を使用し、促進養生期間

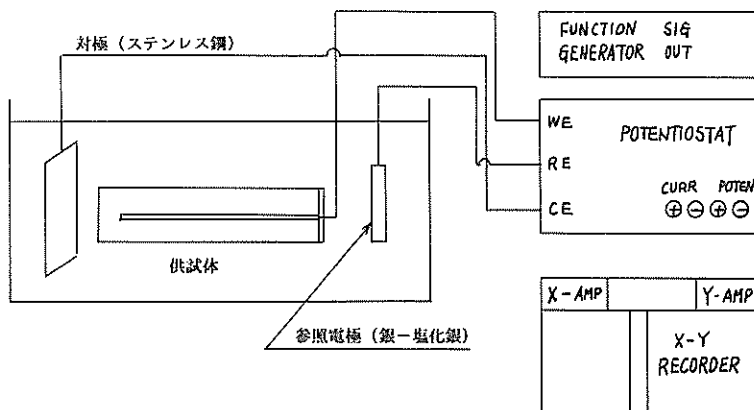


図-6 動電位分極曲線および定電位ステップ法の測定方法

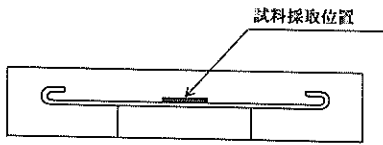


図-7 塩化物含有量試験用試料の採取位置

中、経時的にデータを採取した。測定は、JIS A 1127 に従い、たて共振法により行った。

2.3 実験の結果および考察

(1) 促進養生前の曲げ載荷試験

a) ひびわれ発生状況

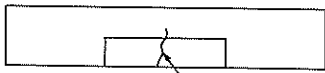
載荷に伴って発生したひびわれには2とおりのものがあった。図-8に示すように補修境界部にひびわれ(むしろ剥離)が生じる場合とスパン中央部にひびわれが生じる場合であった。大部分の供試体は、前者(パターン1)であったが、一部の供試体に後者(パターン2)のものが見られた。表-4にその一覧を示す。

b) ひびわれ発生荷重および破壊荷重

ひびわれ発生荷重の一覧を表-5に示す。プレパックド(ARD)が他に比べて低くなっており、母材コンクリートとの付着に劣ることがわかる。また、レジン(ARB)が他に比べて極立って大きな値である。これより母材コンクリートとの付着が優れていることがわかる。また同じく表-5に破壊荷重も併せて示す。今回は、鉄筋比(As/bd)が0.57%と小さかったためひびわれ発生直後に破壊が生じた。このため、ひびわれ発生荷重=破壊荷重であった。また、梁の長さの都合上、スパンが十分確保できなかったこともあって、破壊型式は純粋な曲げ破壊よりもむしろ、せん断破壊に近いものであった。この点からいえば、供試体形状に若干不適切な面があったことは否めない。以上、ひびわれ発生荷重のデータにより各種補修材の比較、検討を行うとプレバック



パターン1. 補修境界部(矢印)にひびわれ発生



パターン2. スパン中央部(矢印)にひびわれ発生

図-8 曲げ載荷に伴うひびわれの発生パターン

表-4 ひびわれ発生パターン

		1	2	3
普通ボルト	RAN	1	1	1
早強ボルト	RAH	2	2	1
高炉B種	RAB	1	1	1
レジン	ARB	1	1	1
ポリエチレン繊維補強	ARC	1	1	1
プレパックド	ARD	1	1	1
ジェット	RE	1	1	1

表中の数字 1:パターン1
2:パターン2

表-5 ひびわれ発生荷重および破壊荷重 (tf)

		ひびわれ発生荷重			破壊荷重
		1	2	3	1
普通ボルト	RAN	-	2.32	2.10	2.92
早強ボルト	RAH	2.02	2.72	3.02	2.02
高炉B種	RAB	1.72	2.10	2.00	2.10
レジン	ARB	5.20	4.90	4.90	5.20
ポリエチレン繊維補強	ARC	2.00	2.80	2.32	2.02
プレパックド	ARD	1.57	1.42	1.60	2.20
ジェット	RE	3.10	3.27	3.27	3.15
一体構造	RM	2.30	2.50	2.61	2.30

ド(ARD)が若干劣り、レジン(ARB)は比較的優れているといえる。

c) ひびわれ幅

表-6に、ひびわれ発生時および除荷時のひびわれ幅の測定結果を示す。レジン(ARB)は、ひびわれ発生荷重が他のものに比べて大きかったこともあり、ひびわれ幅も他に比べて大きく、除荷時ですら1mmの残留ひびわれ幅があった。その他のものは、ジェットセメントが残留ひびわれ幅が0.5mmと若干大きめであったが、いずれも0.3mm以下であった。

なお、破壊まで載荷を行った後に除荷した供試体(No.1)の残留ひびわれ幅はいずれも1~2mmと極めて大きいものであった。

d) 断面曲げ剛性

一体構造の梁では、断面曲げ剛性は、スパン中央でのたわみもしくはひずみのデータを用いて次式により比較的簡単に求まる。

$$EI = \rho M \dots\dots\dots(1)$$

表-6 ひびわれ幅 (mm)

		ひびわれ発生時			除荷時	
		1	2	3	2	3
普通ポルト	RAN	0.4	0.2	0.6	0.2	0.1
早強ポルト	RAH	0.4	0.9	0.2	0.3	0.2
高炉B種	RAB	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1
レジン	ARB	1.9	1.3	3.1	1.1	0.9
ポリエチレン繊維補強	ARC	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2
プレバックド	ARD	0.2	0.2	0.1	0.1	-
ジェット	RE	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5
一体構造	RM	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4

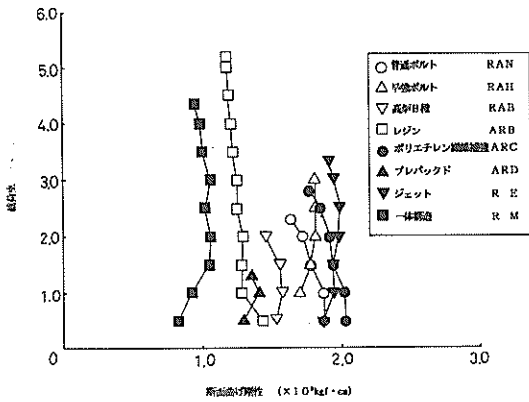


図-9 補修梁の断面曲げ剛性 (EI)

ここに、E：コンクリートのヤング係数
 I：梁の断面2次モーメント
 ρ ：曲率半径
 M：曲げモーメント

しかし、今回の補修梁のように、異なる性質を持つ物質が結合したような梁では、若干その計算が複雑になる。そこで本試験においては、以下に示すような簡略化した方法を用いて、補修梁の断面曲げ剛性EIの計算を行った。

1. 補修全区間における平均的数値を算出するものとする。
2. 計算に使用する曲げモーメントMは、補修区間における曲げモーメントの平均値を積分計算により求めたものを使用する。
3. 計算に使用するはり上縁の縮み量は、曲げモーメントの平均/最大をひずみゲージの縮み量に乗ずることにより求める。

4. はり下縁の伸び量は30cmゲージより求める。
5. 以上、1～4により求めたデータを(1)式に代入する。

以上のような手順で求めた断面剛性の計算結果を図-9に示す。図では、ひびわれ発生までの計算結果をプロットしている。ひびわれ発生荷量の最も大きかったレジン (ARB) は、断面剛性は最も低い。しかし、一体構造よりも高い値を示している。その他についてみると、プレバックド (ARD) が若干低めの値であり、ジェット (RE) およびポリエチレン繊維補強 (ARC) が最も断面剛性は大きくなっている。いずれの場合も補修を行うことにより、断面剛性は元の水準まで回復されていると言えよう。

(2) 自然電極電位 (モニター筋による測定結果)

図-10～17に、促進養生期間中モニター筋により測定を行った自然電極電位の経時変化を示す。自然電極電位の測定は熱力学的平衡論に基づくものであり、鉄筋がコンクリート中において化学的に安定状態にあるのか否かを示すものである。一般には、自然電極電位が「卑」である程その鉄筋が腐食している確率は大きいと判断される。図-10～17を見ると、いずれの場合も、養生開始初期に若干低下する傾向が見られる。また、レジン (ARB) に-500mV (v. s. Ag-AgCl) より低い電位となっているものもあるが、他のものは総じて-100～-400mVの範囲である。いずれも各週ごとに若干の変動を繰返しているものの、大きく低下する傾向は見られない。これは、後述するが、モニター鉄筋にはほとんど発錆が認められなかったため、電位も大きくは変化しなかったものと思われる。

(3) 自然電極電位 (主鉄筋による測定結果)

表-7に、促進試験終了後の自然電極電位の測定結果の一覧を示す。表中のNo. 1, No. 2は供試体番号を示しており、No. 1は促進養生前に破壊まで載荷を行ったものであり、No. 2に比べて、ひびわれ幅が大である。一方、No. 2はひびわれ発生後すぐに除荷したものであり、No. 1よりもひびわれ幅は小さい。No. 1とNo. 2で電位そのものに明確な差異は認められない。全体の平均では、若干No. 2の方が「卑」の電位を示したが、その差は小さい。補修材別に比較してみると、一体構造 (RM) が-400mVと最も「卑」であり、早強ポルトが-228mVと最も「貴」であった。その他は両者の中間にあり、ほぼ-300mV前後であった。

(4) 動電位分極曲線

動電位分極曲線より、不動態のグレイドの判定を行った。判定はグレイド0から5までの6段階に分けて行

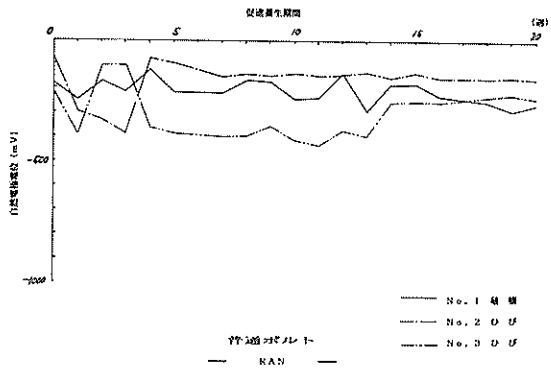


図-10 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (RAN)

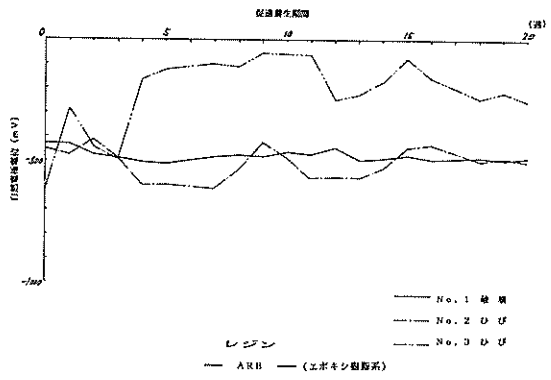


図-13 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ARB)

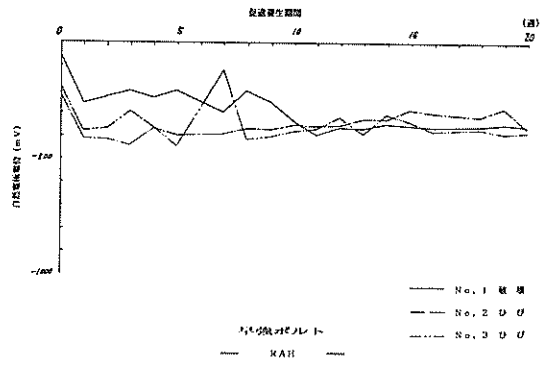


図-11 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (RAH)

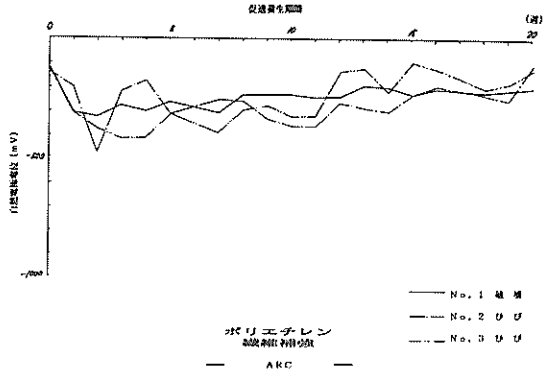


図-14 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ARC)

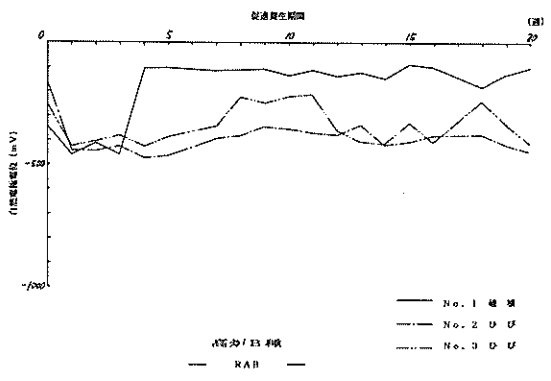


図-12 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (RAB)

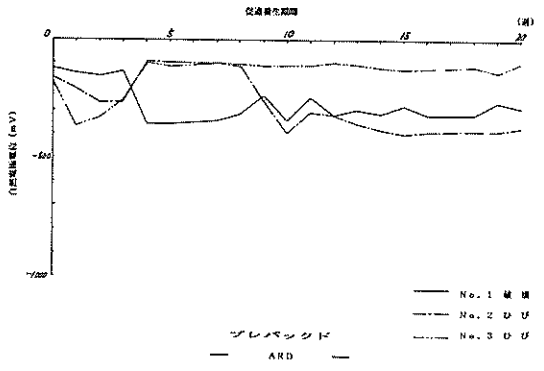


図-15 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ARD)

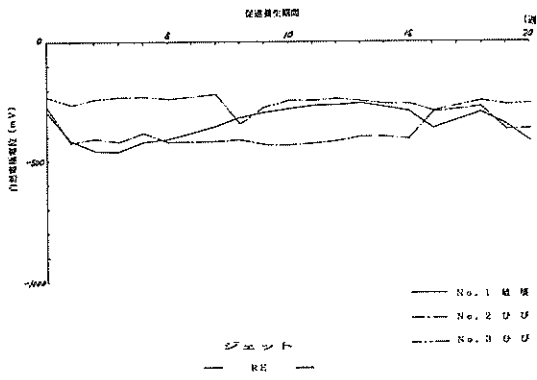


図-16 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (RE)

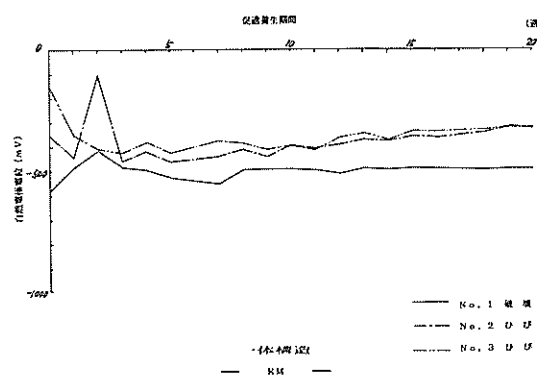


図-17 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (RM)

表-7 主鉄筋の自然電極電位 (mV v.s Ag-AgCl)

		No.1	No.2	Ave.
普通ボルト	RAN	-256	-302	-279
早強ボルト	RAH	-211	-245	-228
高炉B種	RAB	-267	-312	-290
レジン	ARB	-260	-437	-349
ポリエチレン繊維補強ARC		-348	-359	-354
プレパックド	ARD	-203	-248	-226
ジェット	RE	-268	-284	-276
一体構造	RM	-446	-354	-400
	Ave.	-282	-318	

表-8 不動態のグレイドの判定基準

グレイド 0	電流密度が一度でも $100\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えるもの
グレイド 1	電流密度が $10\sim 100\mu\text{A}/\text{cm}^2$ にあるもの
グレイド 2	電流密度が一度でも $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超え、かつグレイド 1 または 3 に含まれないもの
グレイド 3	電流密度が $1\sim 10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ にあるもの
グレイド 4	電流密度が一度でも $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超え、かつグレイド 1, 2 および 3 に含まれないもの
グレイド 5	電流密度が、 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えないもの

鉄筋の自然電極電位を E_n として、電位が $E_n + 0.2\text{V} < E < E_n + 0.6\text{V}$ の範囲で上記の判断を行う。

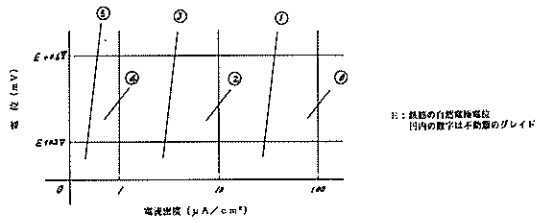


図-18 不動態のグレイド判定の概念

表-9 不動態のグレイド

		No.1	No.2	Ave.
普通ボルト	RAN	1	3	2
早強ボルト	RAH	2	3	3
高炉B種	RAB	1	-	(1)
レジン	ARB	2	3	2.5
ポリエチレン繊維補強ARC		2	3	2.5
プレパックド	ARD	1	3	2
ジェット	RE	-	3	(3)
一体構造	RM	2	3	2.5
	Ave.	1.7	3	

い、その判定基準は図-18および表-8に示すとおりである⁶⁾。グレイド5で不動態の状態が最も良く、グレイド0で最も悪いと判断される。表-9に不動態のグレイドの判定結果を示す。前項でも述べたが、表中No.1, No.2は供試体番号を示しており、No.1の方がNo.2よりもひびわれ幅が大である。No.1とNo.2を比較すると、明確にその差異が認められる。No.1は平均が1.7であるのに対し、No.2では平均が3である。自然電極電位ではNo.1とNo.2にその差は認められなかったが、不動態

のグレードに関しては明らかにNo.1すなわちひびわれ幅が大きい方が不動態の状態は良くないという結果となった。しかし、各種補修材間でその差異は認められなかった。

(5) 定電位ステップ法

定電位ステップ法の測定結果の一例を図-19に示す。この図よりわかるとおり、測定開始後、流れる電流は徐々に減少し、次第に一定値に近づいていく。十分定常状態になった所でその電流値を読みとり測定値とした。一般に、この電流の大小は、鉄筋への酸素の供給に左右されると考えられており、電流値が大きい程、酸素の供給も多いと判断される。表-10に測定結果を示す。No.1とNo.2を比較すると、No.1すなわちひびわれ幅の大きい方が電流値は大きく、酸素の供給が大であることがわかる。各種補修材間で比較してみると、早強ボルト(RAH)、高炉B種(RAB)、ジェット(RE)が若干小さな値(15 μ A/cm²付近)であり、その他はこれらに比べて大きめの値(20 μ A/cm²付近)となった。

(6) 埋設鉄筋の腐食状況観察

主鉄筋については、いずれもひびわれ箇所と発錆箇所が一致していた。表-11に発錆面積率の一覧を示す。No.1とNo.2,3を比較するとさほど差はなくほぼ同程度の値である。しかし、(7)で後述するが、鉄筋の断面減少率はNo.1の方がNo.2,3より大きくなっており、発錆量が同程度というわけではない。なお、無補修の供試体は、鉄筋が露出した箇所は全て発錆しており、その発錆

表-10 定電位ステップ法の測定結果 (μ A/cm²)

		No.1	No.2	Ave.
普通ボルト	RAN	26.2	16.1	21.2
早強ボルト	RAH	18.3	12.7	15.5
高炉B種	RAB	16.1	12.0	14.1
レジン	ARB	22.1	17.6	19.9
ポリエチレン繊維補強ARC		24.7	13.8	19.3
プレパックド	ARD	22.4	18.0	20.2
ジェット	RE	17.2	15.0	16.1
一体構造	RM	20.9	10.8	15.9
Ave.		21.0	14.5	

表-11 主鉄筋の発錆面積率 (%)

		1	2	3	Ave.
普通ボルト	RAN	30.4	20.1	14.0	21.5
早強ボルト	RAH	20.9	12.7	15.6	16.4
高炉B種	RAB	17.8	9.2	23.7	16.9
レジン	ARB	8.1	11.8	12.4	10.8
ポリエチレン繊維補強ARC		5.8	24.1	10.7	13.5
プレパックド	ARD	11.0	10.6	12.8	11.5
ジェット	RE	7.5	15.4	10.0	11.0
一体構造	RM	14.8	14.7	13.0	14.2
Ave.		14.5	14.4		

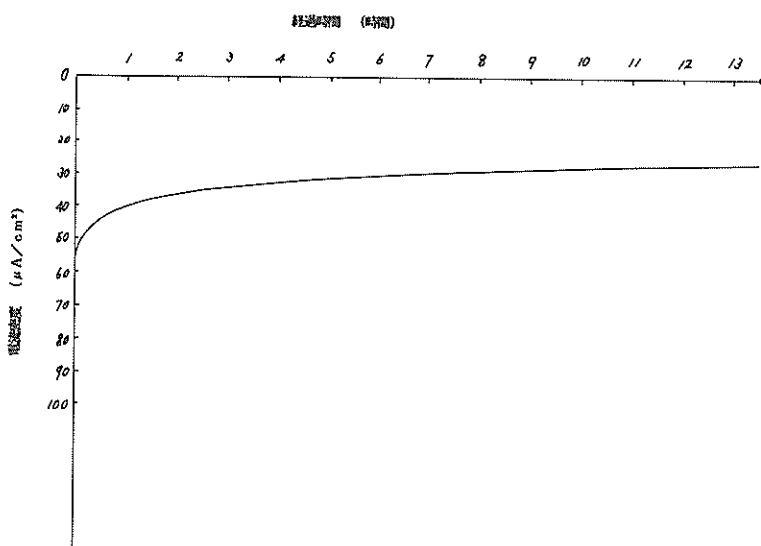


図-19 定電位ステップ法の測定結果の一例

面積率は40数%の値であった。

(7) 埋設鉄筋の引張強度試験

鉄筋の引張試験の結果を表-12に示す。No.1とNo.2, 3を比べると明らかにNo.1の方が引張強度は低い値となっている。これは、No.2, 3に比べてNo.1の方が断面減少が明らかに大きかったためであり、ひびわれ幅が大きいと、集中的な腐食による断面減少が大きくなるという結果を示している。無補修供試体の場合、露出し

表-12 主鉄筋の引張試験結果 (%)

		1	2	3	Ave.
普通ボルト	RAN	83.7	95.0	95.0	91.2
早強ボルト	RAH	75.2	94.3	86.7	85.4
高炉B種	RAB	67.0	97.5	88.7	84.4
レジン	ARB	64.5	88.7	90.4	81.2
ポリエチレン繊維補強	ARC	58.5	97.9	93.3	83.2
プレパックド	ARD	74.8	95.7	100.0	90.2
ジェット	RE	37.2	85.8	80.9	68.0
一体構造	RM	—	94.3	91.5	92.9
	Ave.	65.8	92.2		
無補修		75.2	77.7	74.8	75.9

健全な鉄筋の引張強度を100としている

た面の鉄筋は全面にわたって発錆していたものの、断面減少はさほど進行していなかったため、残存引張強度は平均で75.9%あった。ところがNo.1では、その値以下となっているケースがRAH, RAB, ARB, ARC, ARD, REと6ケースもあり、補修はしたものの、ひびわれ幅が大きかったために、無補修よりも引張強度は低いという結果になった。なお、促進養生前に、全く錆のない鉄筋で試験した際の引張強度は2820kgf/cm²であり、これを100%としている。

表-13 塩化物含有量 (kg/m³)

		1	2	3	Ave.
普通ボルト	RAN	5.20	1.37	—	3.29
早強ボルト	RAH	6.57	0.82	0.55	2.65
高炉B種	RAB	4.11	1.37	5.75	3.74
レジン	ARB	3.43	5.89	5.61	4.98
ポリエチレン繊維補強	ARC	9.45	2.19	0.82	4.15
プレパックド	ARD	3.69	2.19	0.82	2.23
ジェット	RE	3.56	0.96	2.74	2.42
一体構造	RM	6.16	4.52	2.46	4.38
	Ave.	5.27	2.54		

(Cl⁻v.s コンクリート)

表-14 圧縮強度 (kgf/cm²)

		材令28日	促進養生開始時	促進養生後
母材コンクリート (普通ボルト)		<u>454,432,459</u> 448	<u>238,397,402</u> 346	<u>357,385,474,535,505</u> 451
補 修 材	RAN	<u>368,392,386</u> 382	321	<u>465,469</u> 467
	RAH	<u>432,468,468</u> 456	442	<u>537,561</u> 549
	RAB	<u>406,410,417</u> 411	313	<u>513,510</u> 512
	ARB	<u>458,492,510</u> 485	505	<u>542,488</u> 516
	ARC	<u>426,438,429</u> 431	454	<u>520,473</u> 497
	ARD	<u>322,311,306</u> 313	241	<u>325,312</u> 319
	RE	<u>531,481,518</u> 521	391	<u>555,754</u> 655

(8) コンクリート中の塩化物含有量

表-13に塩化物含有量試験結果を示す。No.1とNo.2, 3を比べると明らかにNo.1の方が塩化物含有量は多くなっており、ひびわれ幅の影響が認められる。各補修材間で若干ばらつきがあるがこれは材料による影響よりもむしろ、ひびわれ幅等の影響によるものと考えられる。

(9) 圧縮強度

表-14に材令28日、促進養生開始時(ほぼ材令2ヶ月)

表-15 弾性係数 ($\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)

		促進養生開始時	促進養生後
母材コンクリート (普通ポルト)		2.04, 2.88, 2.96 2.62	2.92, 2.60 2.76
補 修 材	普通ポルト (RAN)	3.02	3.18
	早強ポルト (RAH)	2.96	3.74
	高炉B種 (RAB)	3.22	4.04
	レジン (ARB)	1.50	1.36
	ポリエチレン繊維補強 (ARC)	2.88	3.46
	プレパッド (ARD)	2.16	3.26
	ジェット (RE)	3.32	3.40

月)および促進養生後(20サイクル終了後)における母材コンクリート(普通ポルトランドセメントコンクリート)および各種補修材の圧縮強度試験結果を示す。各材料により程度の差はあるものの、20サイクルの促進養生を経て圧縮強度は上昇する傾向にある。しかし、樹脂系材料のレジンコンクリートには、その傾向は認められない。

(10) 弾性係数(静弾性係数)

表-15に、促進養生開始時(ほぼ材令2ヶ月)および促進養生後(20サイクル終了後)における、母材コンクリートおよび各種補修材の静弾性係数試験結果を示す。レジンコンクリートを除いてその他すべての場合で、20サイクルの促進養生を経て、弾性係数は上昇する傾向にある。ただし、レジンコンクリートの場合も、材料の品質が低下したのではなく、測定の際のばらつきにより若干低下したと思われる。

(11) 動弾性係数

表-16に、促進養生期間中、経時的に測定を行った動弾性係数の試験結果を促進養生前を100(%)とした相対動弾性係数で示している。すべての場合で低下の傾向は見られずむしろ若干上昇気味である。圧縮強度および弾性係数の試験結果とも考え合わせると、促進養生を受けても母材コンクリートおよび各種補修材に顕著な品質の低下はないと判断される。

2.4 電気化学的測定結果の検証

2.3でも述べてきたとおり、本実験においては、コンクリート中の埋設鉄筋の状況を推察するために、数種の

表-16 動弾性係数 (%)

		促進養生開始時	1週	2週	3週	8週	14週	20週
母材コンクリート(普通ポルト)		100 ($3.63 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	95.6	98.3	98.5	99.1	99.7	100.4
補 修 材	普通ポルト (RAN)	100 ($3.77 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	94.2	98.7	101.9	102.9	104.5	106.1
	早強ポルト (RAH)	100 ($4.03 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	98.5	91.5	94.5	104.5	103.0	105.2
	高炉B種 (RAB)	100 ($4.14 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	92.8	102.9	98.7	105.1	103.3	105.2
	レジン (ARB)	100 ($0.26 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	113.8	(296.5)	(309.7)	142.7	149.2	150.0
	ポリエチレン繊維補強 (ARC)	100 ($3.73 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	99.5	101.4	103.8	106.2	103.5	103.5
	プレパッド (ARD)	100 ($3.61 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	99.7	103.6	103.6	104.6	105.8	105.1
	ジェット (RE)	100 ($4.96 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$)	72.8	76.3	74.6	89.3	89.1	90.9

手法を用い、鉄筋の電気化学的性質の測定を行った。本項においては、これらの測定結果と実際の腐食状況との関連性について若干の検討を行う。著者らは過去の文献(7,8)においても、鉄筋の電気化学的試験結果と実際の腐食状況との関連性について検討し、いくつかの見解を示しているが、明確な結論は得られていない。また、データ蓄積の段階とも言える。

本文において検討を行った項目を表-17に一括して示す。表よりわかるとおり、発錆状況を表わす指標としては、発錆面積率、断面減少率およびそれらの積を考えた。また電気化学的計測結果としては、自然電極電位、不動態のグレイド、定電位ステップ法における電流密度、および不動態のグレイドと電流密度の総合評価とした。図-20~31に各々の関係をプロットしたものを示す。各グラフごとに相関係数を求めた。

ここで不動態のグレイドと電流密度の総合評価の手法について説明する。通常、鉄筋の不動態が完全な状態にあるか、もしくは鉄筋への酸素の供給が全くないかのいずれか一方の条件が満足されれば、鉄筋の発錆は理論上零となる。したがって、不動態のグレイドと電流密度の総合評価の手法は「積」の形式とすることにした。不動態のグレイドというのは、動電位分極曲線より得られたデータをランク分けしたものであるため、それと統一する意味で定電位ステップ法において得られた電流密度についても、表-18に示すようにランク分けを行った。これらの評価値の積を総合評価値とした。また鉄筋の断面減少率についてであるが、今回は鉄筋の引張強度の低下率を断面減少率と考えた。

これによると、自然電極電位と発錆面積率等の腐食に関する項目との相関性は一般によくない。また、発錆面積率と電気化学的測定結果との相関性もよくない。とこ

ろが、電気化学的測定結果として不動態のグレイドと電流密度の総合評価をとり、鉄筋腐食の程度を表わす指標として発錆面積率と断面減少(欠損)率の積を考え、両者の関係を見ると比較的良い相関性が認められる。さらに、電気化学的計測結果の比較を行うならば、不動態のグレイドの判定が最も有効である。これについては著者が文献(7)においても既に述べている。このように、動電位分極曲線より得られる不動態のグレイドと定電位ステップ法より得られる電流密度を総合的に評価すれば、内部鉄筋の腐食状況のある程度正確に把握できるであろう。総合評価の手法については、さらにデータの蓄積を行い、検討を進めたいと考えている。

表-18 定電位ステップ法における電流密度の評価

電流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	評 価
0~5	1
5~10	2
10~15	3
15~20	4
20~25	5
25~	6

3. 鉄筋の防錆剤、断面修復材、コンクリートの表面処理材の組み合わせにより補修を行った梁の促進試験

3.1 実験の目的

2章においては、様々な種類の断面修復材について、

1. 梁としての力学的性質、
 2. 内部鉄筋の防食性、
 3. 材料としての耐海水性、
- の3点から検討を行った。本章では補修方法の範囲をさらに広げ、断面修復材に加

表-17 電気化学的測定結果の検証項目

1. 発錆面積率	v.s	自然電極電位
2. "	v.s	不動態のグレイド
3. "	v.s	定電位ステップ法における電流密度
4. "	v.s	不動態のグレイドと電流密度の総合評価
5. 断面減少率	v.s	自然電極電位
6. "	v.s	不動態のグレイド
7. "	v.s	定電位ステップ法における電流密度
8. "	v.s	不動態のグレイドと電流密度の総合評価
9. 発錆面積率×断面減少率	v.s	自然電極電位
10. "	v.s	不動態のグレイド
11. "	v.s	定電位ステップ法における電流密度
12. "	v.s	不動態のグレイドと電流密度の総合評価

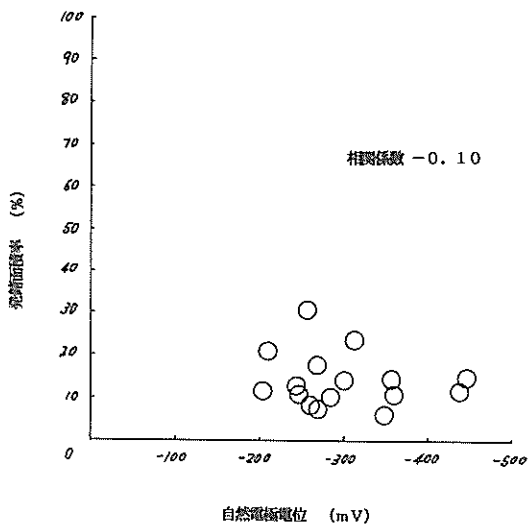


図-20 発錆面積率と自然電極電位の関係

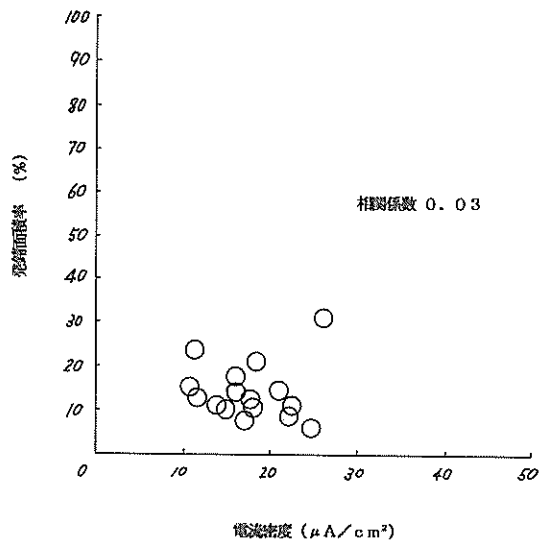


図-22 発錆面積率と定電位電流密度の関係

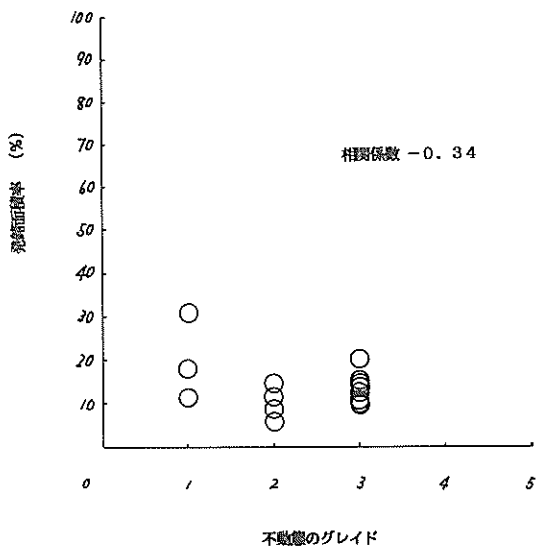


図-21 発錆面積率と不動態のグレイドの関係

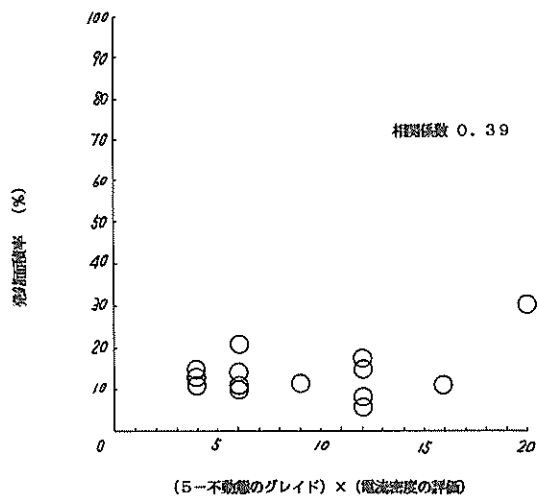


図-23 発錆面積率と不動態のグレイドと定電位電流密度の関係

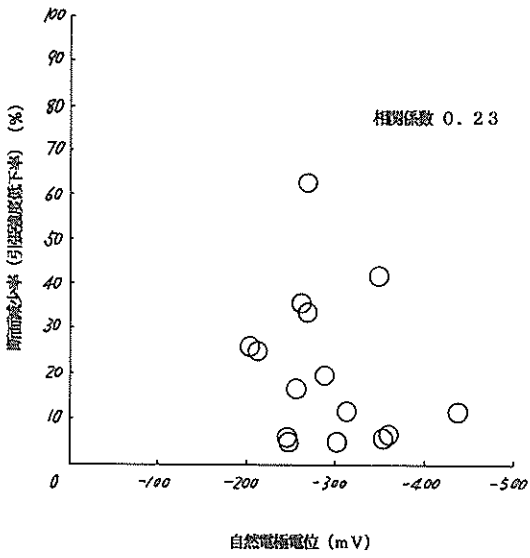


図-24 断面減少率と自然電極電位の関係

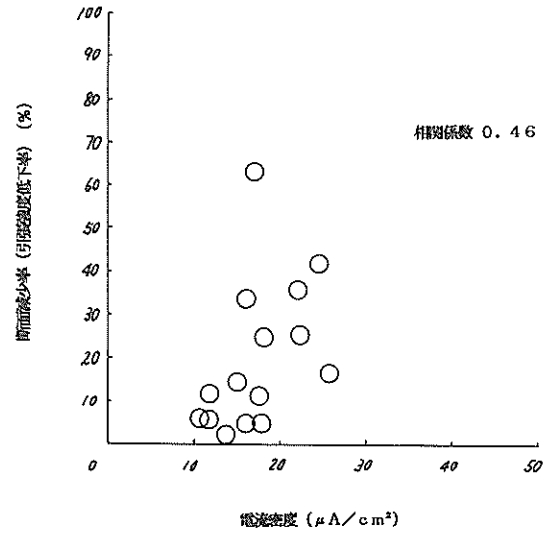


図-26 断面減少率の定電位電流密度の関係

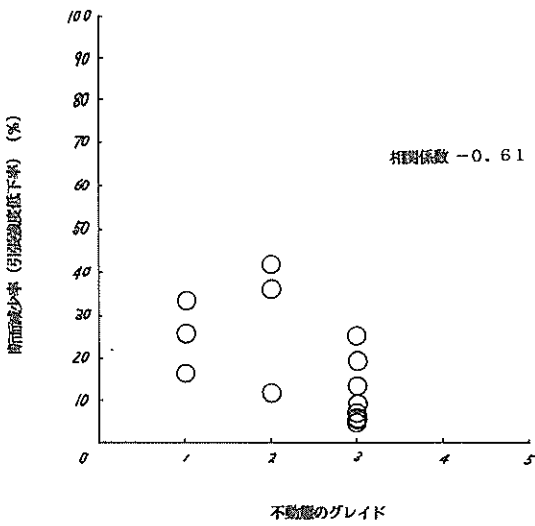


図-25 断面減少率と不動態のグレイドの関係

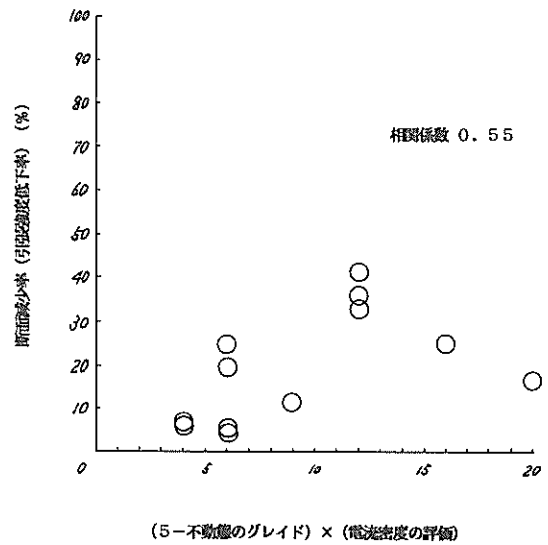


図-27 断面減少率と不動態のグレイドと定電位電流密度の総合評価の関係

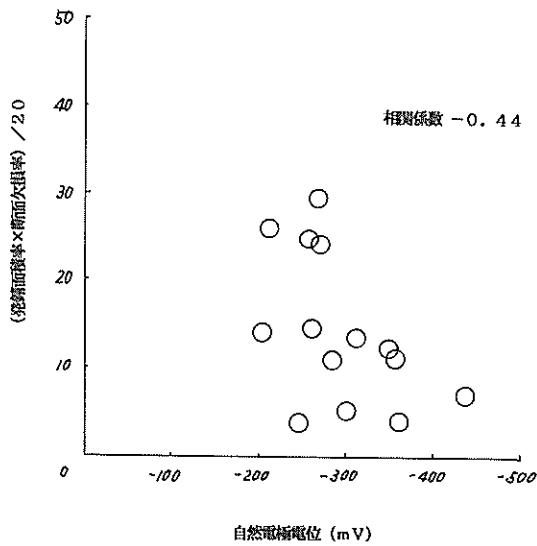


図-28 発錆面積率×断面減少率と自然電極電位の関係

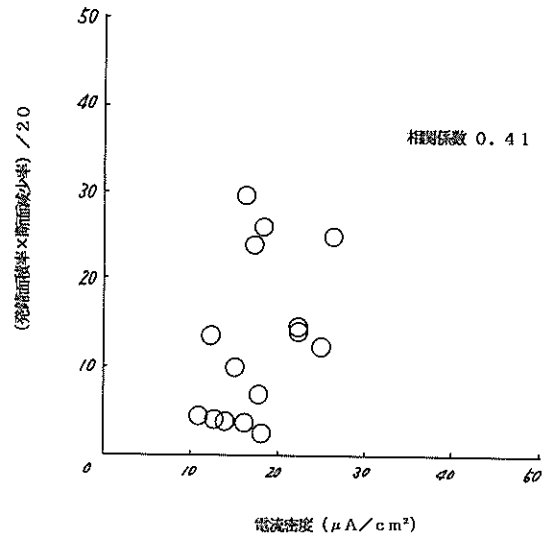


図-30 発錆面積率×断面減少率と定電位電流密度の関係

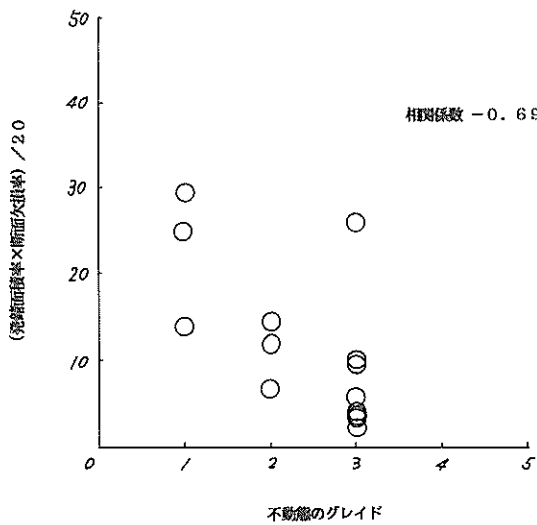


図-29 発錆面積率×断面減少率と不動態のグレイドの関係

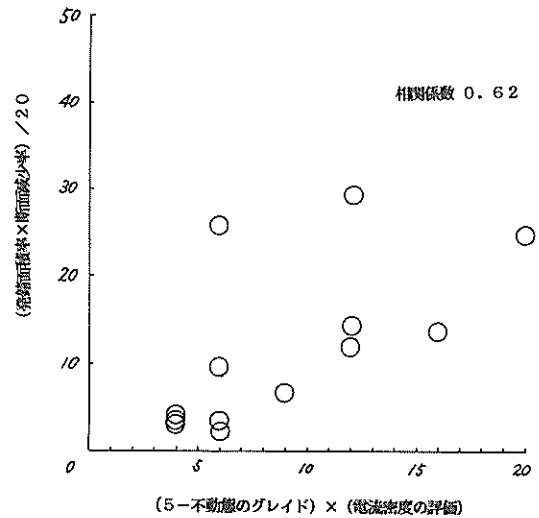


図-31 発錆面積率×断面減少率と不動態のグレイドと定電位電流密度の総合評価の関係

えて鉄筋の防錆材、コンクリートの表面処理材も検討の対象に加えた。本実験においては、これら3種のうちどれが埋設鉄筋の防食に効果があるのか、また、これら3種のどのような組み合わせで補修を行うのが最もよいのかを検討することを主目的としている。その他に、母材コンクリートにあらかじめ塩化物がある場合はどうかといった項目も検討の対象に加えた。本実験においては、ひびわれの導入は行わず、ひびわれのない供試体で試験を行った。なお、ひびわれを導入した供試体については、現在実験を継続中である。

3.2 実験の概要

(1) 実験の計画および解析法

本実験は、 2^{15} 直交計画にのっとりて計画立案を行った⁹⁾。本実験の計画表を表-19に示す。鉄筋処理、断面修復、表面被覆の主要3項目に加えて、かぶり、母材コンクリート中の塩分の有無、鉄筋の形状、水セメント比を検討項目として加えた。直交計画の場合は、ケース1

から16までであるが本実験においてはケース0（無補修および一体構造）およびケース17~19も加えた。この表中に「0」「1」「2」の数字で示されている各要因の水準は表-20に示すとおりである。

上記計画表のケース1~16については実験計画法でいうところの直交計画 ($L_{16} (2^{15})$ 型) に準じており、これについては分散分析を行い、各要因の効果を検討するものである。分散分析の原理、計算方法等の詳しい説明は参考文献(9)等の書物を参照していただくが、ここでは分析の簡単な説明を以下に示す。

今回の直交計画 ($L_{16} (2^{15})$ 型) においては次式のような構造模型を考えている。

$$y_{ijklmn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{i+j} + \tau_k + (\alpha\tau)_{i+k} + (\beta\tau)_{j+k} + (\alpha\beta\tau)_{i+j+k} + \delta_l + \epsilon_m + \theta_n + \kappa_o + e_{ijklmn}$$

$$\beta\tau)_{i+j+k} + \delta_l + \epsilon_m + \theta_n + \kappa_o + e_{ijklmn}$$

$$i, j, k, l, m, n, o = 0, 1$$

$$i + j, i + k, j + k = 0, 1 \pmod{2}$$

$$i + j + k = 0, 1 \pmod{3}$$

$$\alpha_0 + \alpha_1 = 0, \beta_0 + \beta_1 = 0, \tau_0 + \tau_1 = 0, \delta_0 + \delta_1 = 0$$

表-19 2^{15} 型直交計画表

ケース	鉄筋処理	断面修復	表面被覆	かぶり	塩分量	鉄筋形状	水セメント比
0	0	-	-	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	0	1	0	1	1	1
4	0	0	1	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0	1	1
6	0	1	0	0	1	0	0
7	0	1	1	1	1	0	0
8	0	1	1	0	0	1	1
9	1	0	0	1	1	0	1
10	1	0	0	0	0	1	0
11	1	0	1	1	0	1	0
12	1	0	1	0	1	0	1
13	1	1	0	0	1	1	0
14	1	1	0	1	0	0	1
15	1	1	1	0	0	0	1
16	1	1	1	1	1	1	0
17	2	0	0	0	0	0	1
18	0	2	0	0	0	0	1
19	0	0	2	0	0	0	1

$$\epsilon_0 + \epsilon_1 = 0, \theta_0 + \theta_1 = 0, \kappa_0 + \kappa_1 = 0$$

$$(\alpha\beta)_0 + (\alpha\beta)_1 = 0, (\alpha\gamma)_0 + (\alpha\gamma)_1 = 0, (\beta\gamma)_0 + (\beta\gamma)_1 = 0$$

$$(\alpha\beta\gamma)_0 + (\alpha\beta\gamma)_1 = 0$$

mod.2とは、 $i + j = 0$ もしくは $i + j = 2$ のとき $i + j = 0$ とし、 $i + j = 1$ のとき $i + j = 1$ とする。

mod.3とは、 $i + j + k = 0$ もしくは $i + j + k = 2$ のとき $i + j + k = 0$ とし、 $i + j + k = 1$ もしくは $i + j + k = 3$ のとき $i + j + k = 1$ とする。

ここに、

μ : 実験全体の平均値

α_i : 鉄筋処理 (要因A) の効果

β_i : 断面修復材 (要因B) の効果

$(\alpha\beta)_{ij}$: 要因Aと要因Bの交互作用の効果

γ_k : 表面被覆 (要因C) の効果

$(\alpha\gamma)_{ik}$: 要因Aと要因Cの交互作用の効果

$(\beta\gamma)_{jk}$: 要因Bと要因Cの交互作用の効果

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: 要因Aと要因Bと要因Cの交互作用の効果

δ_i : かぶり (要因D) の効果

ϵ_m : 母材コンクリート中の塩分 (要因E) の効果

θ_n : 鉄筋形状 (要因F) の効果

κ_o : 水セメント比 (要因G) の効果

e_{ijkhno} : 測定誤差

得られた実験データの構造を上記のように考え、各要因の効果の平方和を測定誤差の平方和で除した値を各要

因の影響度合を表わすF値とし、このF値より各要因の効果の判定を行う。各要因の自由度を ϕ_r (この場合は1)、誤差の自由度を ϕ_e (この場合は4) とすれば、このF値は自由度 (ϕ_r, ϕ_e) のF分布に従うとされている。F分布の形は、自由度 (ϕ_1, ϕ_2) によって変わるが、一般的に、Fの値がそれ以上となる確率が α である値F (ϕ_1, ϕ_2, α) はF分布の100 α %点と呼ばれている。実験データより得られたF値がF分布の100 α %点より大きければ対象としている実験要因は「有意水準100 α %で有意である」といった判断がなされる。通常は $\alpha \leq 0.05$ のときに「有意である」、 $\alpha \leq 0.01$ のときに「高度に有意である」という判断がなされている。ただし、これは一種の目安であり絶対的な判断基準ではない。本資料においても一応の目安として $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$ の場合のF値を考えるが、各要因の効果を判断する際には、必ずしもそれらにとられることなく、フレキシブルに考察を行うこととする。

(2) 供試体の形状および製作

本実験で使用した供試体の形状、寸法は2章において説明した供試体とほぼ同様である。ただし、一部にかぶり厚が3cmの供試体があり、さらにコンクリートの表面に被覆を施したものもある。また、本実験では電位モニター用鉄筋が5本埋設されている。図-32, 33に供試体の概要を示す。なお、製作方法は2章において述べた方法と同様である。

(3) 使用材料

母材コンクリートの製作に使用したセメントは、普通

表-20 実験の要因およびその水準

要 因	水 準		
鉄 筋 処 理	0. 無処理	1. 処理 (アルキッド樹脂)	2. 処理 (エポキシ樹脂)
断 面 修 復	0. 無収縮セメントモルタル	1. ゴムラテックス(SBR)セメントモルタル	2. エポキシ樹脂モルタル
表 面 被 覆	0. 無処理	1. 処理 (クロロブレンゴム)	2. アクリル系ポリマーセメントモルタル
か ぶ り 量	0. 小 (3cm)	1. 大 (7cm)	
塩 分 量	0. 無 (水道水練り)	1. 有 (海水練り)*	
鉄 筋 形 状	0. 丸鋼	1. 異形棒鋼	
水セメント比	0. 小 (45%)	1. 大 (55%)	

*NaCl 3.3%水溶液を海水の代用とした

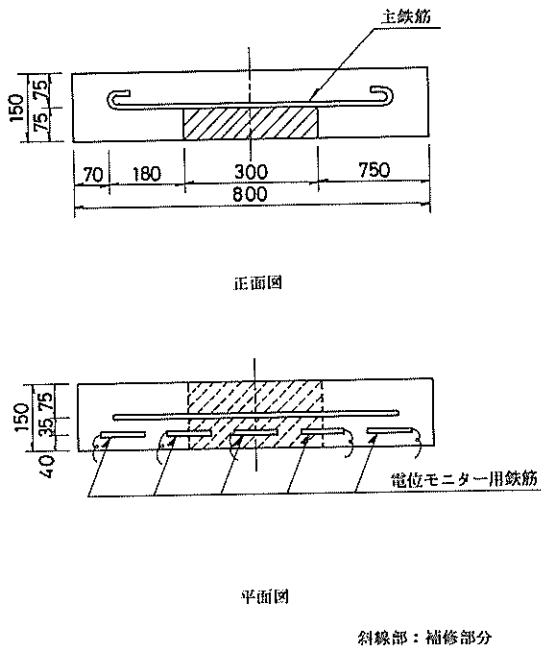


図-32 供試体形状

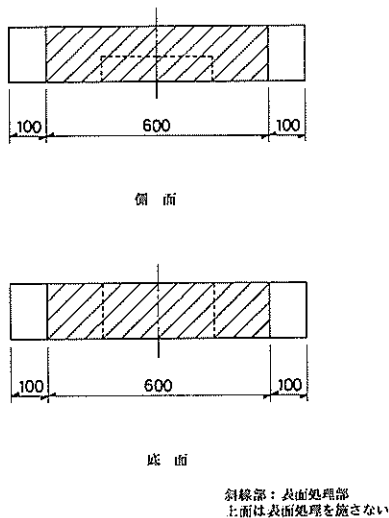


図-33 表面処理の概要

ポルトランドセメント（比重3.16）である。粗骨材は比重2.67、粗粒率6.58の砕石であり、細骨材は、比重2.57、粗粒率2.98の砕砂である。コンクリートの配合を表-21に示す。また、コンクリートの品質試験結果を表-22に示す。主鉄筋として使用した異形棒鋼はSD35であり、普通丸鋼はSR24である。

断面修復材としては、無収縮セメントモルタル、ゴムラテックス（SBR）セメントモルタル、および、エポキシ樹脂モルタルの3種類を使用した。表-23にこれら3種の材料の材令28日における圧縮強度ならびにメーカーおよび製品名を示す。また、鉄筋処理材としては、アルキッド樹脂（製品名：トリック900、日本パーカーライジング社製）およびエポキシ樹脂（シーカトップアルマテック108、日本シーカ社製）の2種類を使用した。塗布は、鉄筋表面のケレンを行った後、ハケを使用した一層塗りである。また、コンクリートの表面被覆材としては、クロブレングム（オーソレNR、日新工業社製）、AQ弾性モルタル（国土道路社製）を使用した。なお、塗布方法は両被覆材とも下地処理を行った後、メーカーの指示に従い、3層処理とした。

(4) 促進試験方法

促進海水養生は、2章で述べた方法と全く同様の乾湿繰り返し法を採用した。本実験においても、この乾湿繰り返しを20サイクル行った。

(5) 試験項目および方法

本実験において取り行った試験を表-24に一括して示す。各々の試験方法について以下に説明する。

a) 自然電極電位

自然電極電位に供する供試体の加工方法ならびに測定方法は2章で述べた方法と全く同様である。

b) 動電位分極曲線

動電位分極曲線の測定は、2章で述べた方法と全く同様である。本実験では、コンクリートに表面被覆を施している供試体があり、その場合、その塗膜の抵抗が測定結果に影響を及ぼすことが予想された。したがって、あらかじめ抵抗の補正を行った測定結果と補正を行わなかった測定結果より抵抗値の算定を行った。その結果、鉄筋と参照電極の間の抵抗は約160Ωであった。この結果はエレクトロメーターによる測定結果とも一致した。なお、表面被覆のない供試体の場合の抵抗は約40Ωであった。

c) 定電位ステップ法

定電位ステップ法の測定は2章で述べた方法と全く同様である。

d) 埋設鉄筋の腐食状況観察

表-21 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
		W	C	G		S	A E
				G5	G6		
45	48	167	371	375	561	833	1.48
55	50	170	309	369	552	889	1.24

A E : A E 剤 (ポゾリス No. 202)

G 5 : 粗骨材 (13~20mm)

G 6 : 粗骨材 (5~13mm)

表-22 コンクリートの品質試験結果

		スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 σ_{28} (kgf/cm ²)
水道水練り	W/C=45	7.2	3.2	13	<u>405, 415, 405</u> 408
	W/C=55	6.3	3.5	17	<u>311, 304, 306</u> 307
海水練り	W/C=45	8.4	3.7	13	<u>352, 356, 367</u> 358
	W/C=55	6.4	3.3	13	<u>318, 317, 320</u> 318

海水は、3.3%の食塩水で代用した。

表-23 断面修復材の種類およびその圧縮強度

	製 品 名	圧縮強度 (σ_{28}) (kgf/cm ²)
無収縮モルタル	テトラガード (日本セメント社製)	<u>550, 545, 531</u> 542
ゴムラテックス (SBR) セメントモルタル	セルタル (セル建材社製)	<u>371, 369, 369</u> 370
エポキシ樹脂モルタル	シーデュア41 (日本シーカ社製)	<u>769, 800, 796</u> 788

表-24 試験項目一覧

試験項目
1. 電位モニター用鉄筋による自然電極電位の測定 (促進養生中経時的)
2. 主鉄筋の自然電極電位の測定
3. 主鉄筋による動電位分極曲線の測定
4. 主鉄筋による定電位ステップ法の測定
5. 埋設鉄筋の腐食状況観察
6. 電位モニター用鉄筋間のマクロセル電流の測定
7. コンクリート中の塩分含有量の測定 (2~7は20サイクルの促進養生後)

2章で述べた方法と全く同様である。

e) 電位モニター用鉄筋間のマクロセル電流の測定
本試験は、母材コンクリートに塩分が含まれている場合とそうでない場合について、供試体端部に埋設されたモニター用鉄筋と中央部もしくは境界部に埋設されたモニター用鉄筋の間の電流の向き、大きさを計測し、両者の腐食傾向の違いを把握しようとするものである。図-34に測定方法を示す。

f) コンクリート中の塩化物含有量の測定
2章で述べた方法と全く同様である。

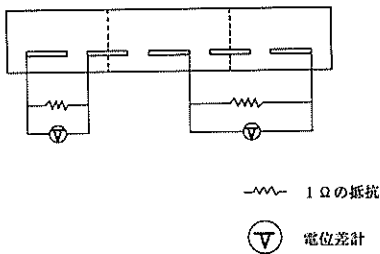


図-34 マクロセル電流の測定法

3.3 実験の結果および考察

a) 自然電極電位 (電位モニター用鉄筋)

促進養生期間中、経時的に測定を行った。なお、本測定は、1サイクル期間内に2度行うこととした。すなわち、1.「乾」から「湿」へ移行する時であり温度は低温の状態、2.「湿」の状態すなわち温度は高温の状態である。図-35に測定時を示す。ところが温度20°Cと60°Cとでは電極の電位が若干異なってくるのでその補正が必要である。本実験においては図-36¹⁰⁾をもとに高温時に測定した電位を29.6V卑の方向に補正した。なお、図中に示されているNHEとは、標準水素電極

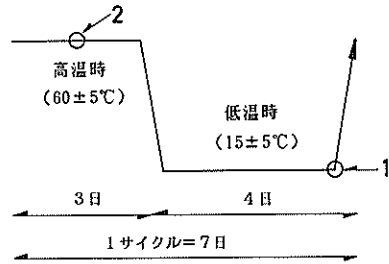


図-35 自然電極電位の測定時

(Normal Hydrogen Electrode) のことである。また、図中の直線は、丸印により示されている7個の実測値より最小2乗法により求めたものである。

図-37~57に電位モニター用鉄筋の自然電極電位の経時変化を示す。これによると、いずれのケースにおいて

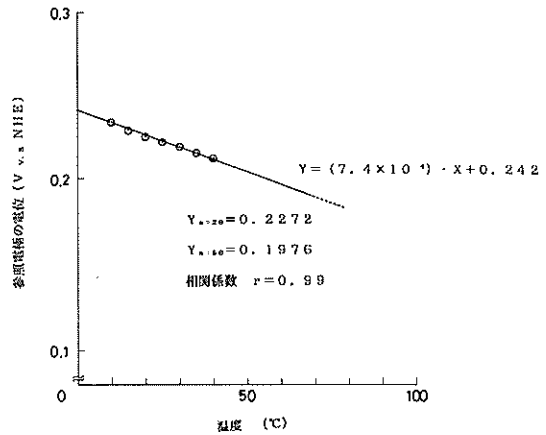


図-36 銀-塩化銀電極の電位の温度補正

も温度が高い方が鉄筋の電位は「卑」となっている。しかしながら、促進養生の進行に伴う大きな変化は認められない。

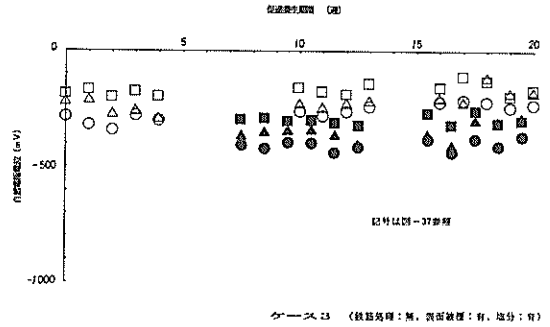
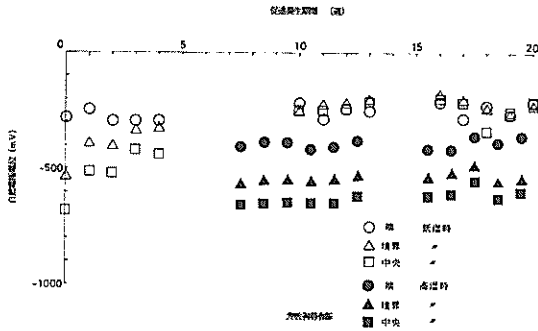


図-37 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（無補修）

図-41 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース3）

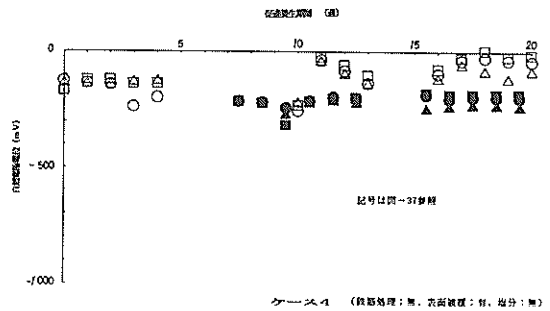
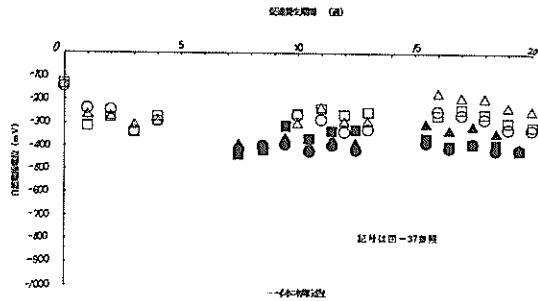


図-38 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（一体構造）

図-42 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース4）

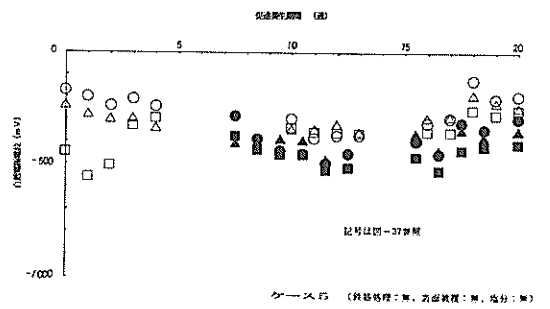
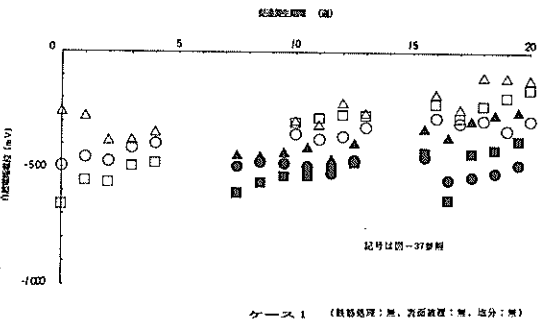


図-39 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース1）

図-43 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース5）

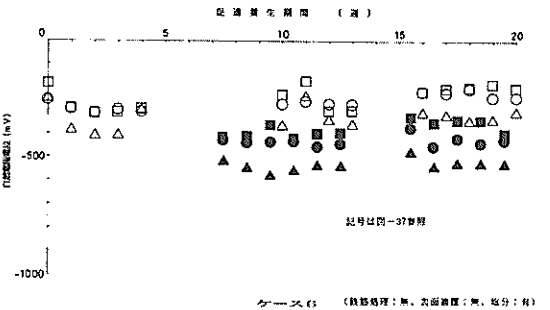
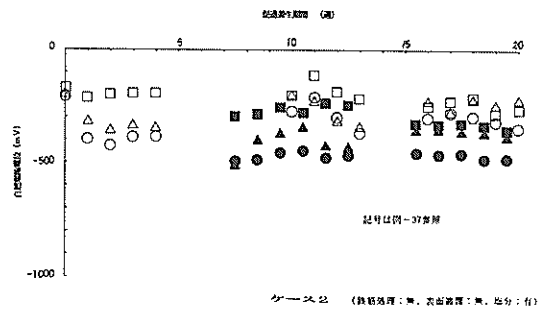


図-40 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース2）

図-44 電位モニター用鉄筋の自然電極電位（ケース6）

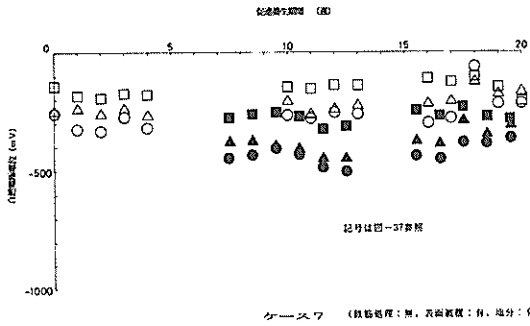


図-45 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース7)

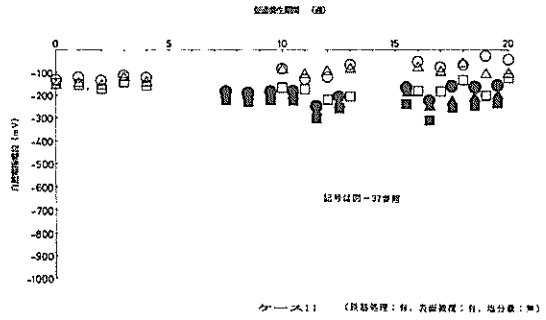


図-49 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース11)

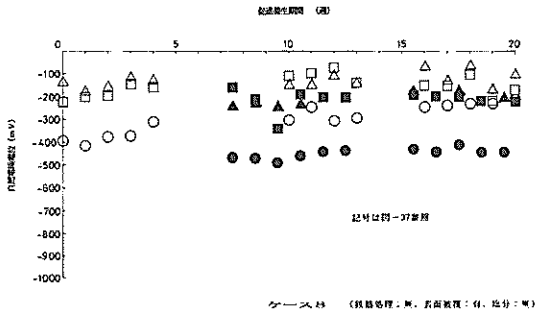


図-46 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース8)

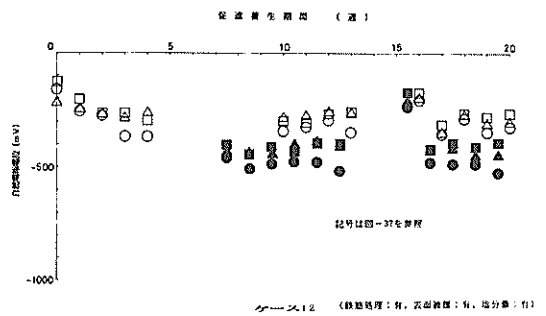


図-50 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース12)

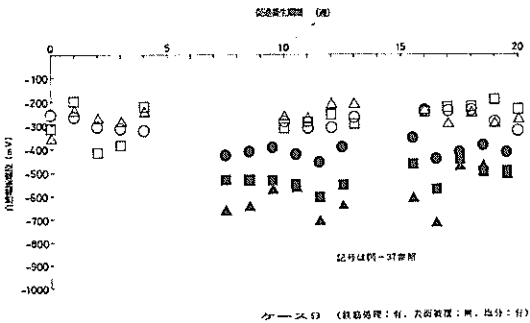


図-47 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース9)

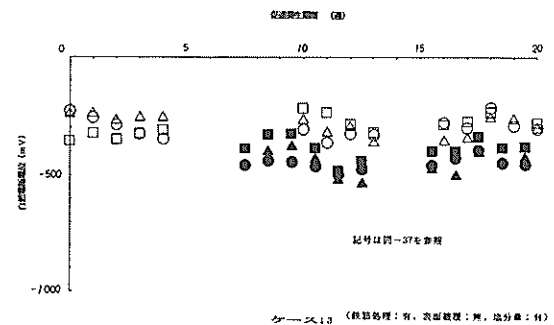


図-51 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース13)

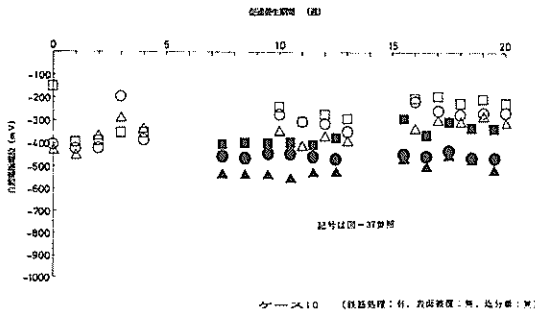


図-48 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース10)

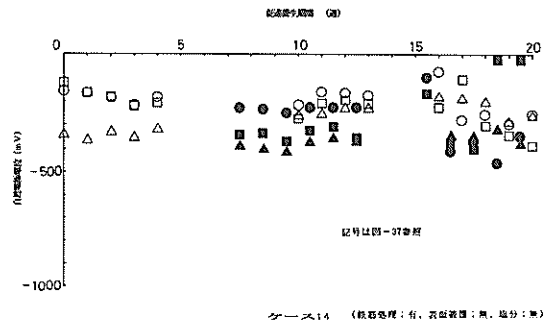


図-52 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース14)

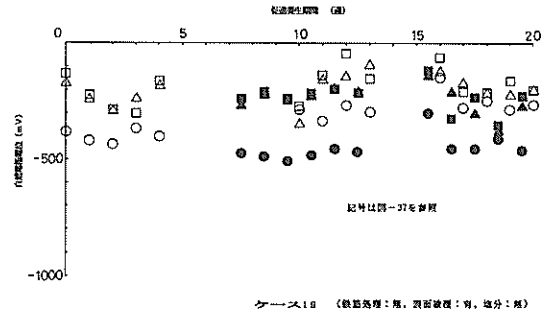
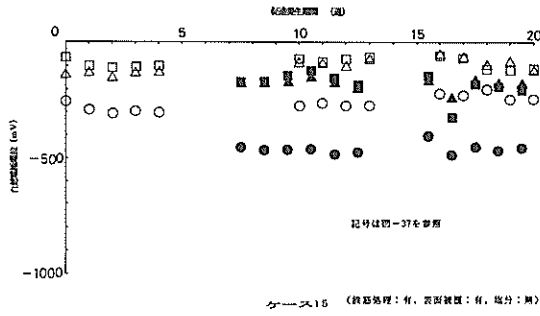


図-53 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース15)

図-57 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース19)

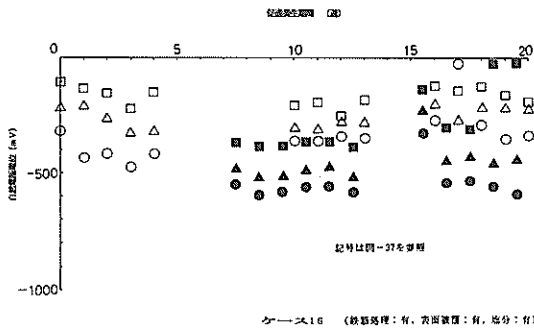


図-54 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース16)

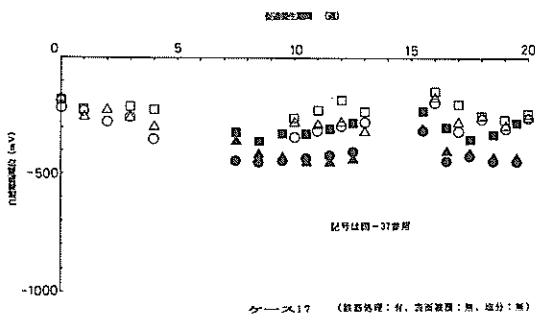


図-55 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース17)

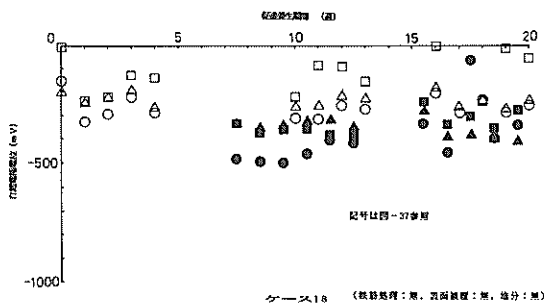


図-56 電位モニター用鉄筋の自然電極電位 (ケース18)

表-25 電気化学的測定結果一覧

ケース	不動態の グレード	定電位ステップ法($\mu A/cm^2$)			自然電極電位 (mV)
		1時間	5時間	10時間	
一 体	3	11.15	10.59	10.51	-205
無補修	0	119.41	75.62	54.53	-658
1	3	12.56	11.99	-	-155
2	2	19.13	18.78	18.52	-211
3	2	12.27	12.13	9.58	-216
4	3	8.52	-	7.87	-351
5	3	8.56	7.87	7.75	-448
6	2	18.32	17.12	16.73	-280
7	2	12.24	12.11	11.85	-264
8	5	5.56	5.27	5.11	+40
9	2	14.74	12.67	10.91	-314
10	3	15.03	14.36	-	-259
11	5	6.89	6.80	6.77	-25
12	3	10.67	10.28	10.26	-302
13	3	15.51	15.13	15.13	-292
14	5	-	-	-	-820
15	5	6.49	6.33	6.35	-337
16	2	16.29	15.89	16.00	-230
17	3	8.32	8.19	8.24	-251
18	3	11.15	10.59	10.75	-329
19	3	-	-	3.92	-380

表-26 電気化学的測定結果により行った分散分析結果 (F値)

	不動態の グレイド	定電位ス テップ法 における 電流密度	自然電 極電位
鉄筋処理 (要因A)	6.00	0.00	1.45
断面修復 (要因B)	2.67	0.08	1.92
A×B	0.00	1.31	1.74
表面被覆 (要因C)	2.67	10.25	3.60
A×C	0.00	0.18	0.72
B×C	0.67	0.75	3.03
A×B×C	6.00	0.03	0.50
かぶり	0.26	1.28	2.89
母材コンクリート中 の塩分の有無	32.67	14.40	0.18
鉄筋形状	0.00	0.21	4.20
水セメント比	2.67	2.85	1.70

$F(1, 4, 0.05)=7.71$

$F(1, 4, 0.01)=21.2$

b) 自然電極電位 (主鉄筋)

表-25に測定結果を示す。また、表-26にこの自然電極電位により取り行った分散分析の結果 (F値) を示す。これによると、鉄筋形状の影響が若干認められる ($F=4.20$)。すなわち、異形棒鋼の方が電位は「貴」であり、普通丸鋼の方が電位は「卑」となっている。また、コンクリートの表面被覆の効果も若干認められ ($F=3.60$)、表面処理を施している方が電位は「卑」となっている。その他、かぶりの影響がわずかにあるようであるが、その他の要因については影響は認められない。

c) 動電位分極曲線

得られた動電位分極曲線より、2章で述べた方法と同様の方法により、不動態のグレイドの判定を行った。前述したとおり、コンクリートに表面被覆がある場合には参照電極と鉄筋の間には約160Ω抵抗がある。この値はさほど測定結果に影響を与えない範囲であるが、この抵抗により不動態のグレイドの判定が一段階ずれる場合には、その補正を行った。得られた結果を表-25に示す。

また、表-26にこれらの不動態のグレイドにより取り行った分散分析の結果 (F値) を示す。これによると母材コンクリート中の塩分量の効果が極めて大きいことがわかる ($F=32.67$)。すなわち、母材コンクリートに塩

分がある場合は不動態の状態が良くない。また、鉄筋処理の効果も認められる ($F=6.00$)。すなわち、鉄筋処理を施した方が不動態の状態は良いと言える。

d) 定電位ステップ法

表-25に測定結果を示す。表中の1時間、5時間、10時間というのは、測定開始後の経過時間である。2章で述べたとおり、本測定により求めた電流値というのは、鉄筋への酸素の供給に左右され、電流値が大きい程、酸素の供給も多いと判断される。表-26に分散分析の結果 (F値) を示す。これによると、母材コンクリート中の塩化物含有量が最も大きな効果 ($F=14.40$) を有しており、母材コンクリート中に塩分が存在する方が電流値は大きくなっている。また、表面被覆 ($F=10.25$) も比較的大きな効果を有しており、表面被覆を施している方が電流値は小さくなっている。

e) 埋設鉄筋の腐食状況観察

埋設鉄筋の腐食状況は大別して2とおりのものがあった。1つは、母材コンクリート中に塩分が含まれている場合に生じた発錆状況であり、図-58に示すように鉄筋の端部 (フック部) が発錆しているものである。もう1つは、フック部にはほとんど錆がなく、中央部すなわち補修部が発錆しているものである。ただし、この場合は点錆等の微小な錆が多数生じているという場合が多かった。表-27に主鉄筋の発錆面積率を示す。当然のことながら無補修の場合が発錆面積は最も大きく、37.31%であった。これは露出部分が全体にわたって発錆していたためである。補修梁についてはケース2の21.33%が最大であり、最も成績の良いものではケース8の0.03%というものもある。その他のものはこの両者の中間にあった。これより何等かの補修を行えば、無補修の場合に比べると、発錆は抑制されるということが言える。表-28



発錆パターン1: 鉄筋のフック部が発錆



発錆パターン2: 鉄筋の中央部 (補修部) が発錆
ただし、この場合微小な錆が多かった

図-58 主鉄筋の腐食状況

表-27 主鉄筋の発錆面積率

ケース	発錆面積率 (%)		
	フック部	補修部	全体
一体構造	2.74	0.51	3.77
無補修	0.14	35.09	37.31
1	0.59	2.26	3.31
2	15.33	1.55	21.33
3	9.27	0.02	9.54
4	2.73	0.10	2.80
5	0.43	0.21	0.64
6	6.34	0.67	11.81
7	8.74	0.54	10.60
8	0	0	0.03
9	1.39	0.51	4.86
10	0	3.82	8.23
11	3.91	0	3.91
12	16.18	0	18.71
13	10.16	0	10.36
14	3.26	0.92	4.83
15	0.62	0	0.61
16	13.33	0.06	15.07
17	1.27	1.52	6.92
18	0.40	0.38	0.65
19	2.01	0.01	2.02

本表における発錆面積率は、いずれも鉄筋の全表面積を分母としている

にこれらの発錆面積率に関して行った分散分析の結果 (F 値) を示す。これによると、補修部については、それぞれの発錆面積率は非常に小さいものの、断面修復ならびに表面被覆にその効果が認められる。一方、フック部の発錆面積に関しても、また全体の発錆面積に関しても、母材コンクリート中の塩分が極めて大きな効果を有している。主要三要因 (鉄筋処理、断面修復、表面被覆) をはじめ、その他の要因についてはその効果は認められない。前にも述べたように鉄筋の電気化学的性質に関しては、主要三要因をはじめ、いくつかの要因にその効果が認められたが、必ずしもその効果が鉄筋の発錆状況には反映されていないことになる。逆に言えば、母材コンクリート中の塩分量の効果が極めて大きく、それら

表-28 主鉄筋の発錆面積率により行った分散分析結果 (F 値)

	フック部	補修部	全体
鉄筋処理 (要因A)	0.13	0.00	0.07
断面修復 (要因B)	0.19	2.28	0.59
A × B	1.52	0.05	0.14
表面被覆 (要因C)	1.35	5.65	0.03
A × C	2.03	0.09	0.98
B × C	0.68	3.09	0.00
A × B × C	2.63	0.00	0.64
かぶり	0.17	3.46	0.38
母材コンクリート中の塩分の有無	21.75	1.04	10.19
鉄筋形状	0.72	0.03	0.22
水セメント比	0.00	1.20	0.05

$$F(1, 4, 0.05)=7.71$$

$$F(1, 4, 0.01)=21.1$$

の効果を打ち消しているとも考えることができる。

表-29に電位モニター用鉄筋の発錆面積を示す。表中「端」「境界」「中央」とあるのは、鉄筋の埋設位置を示しており、「端」「境界」については、2本の平均値を記入してある。表中のデータの欠けているところは、設計どおりに鉄筋の配置が行われておらず、かぶりがほとんど確保されていなかったため、データから除外したものである。また、これらの発錆面積率のデータを用い分散分析を行った結果 (F 値) を表-30に示す。これを見ると、主要3要因の効果はほとんど見られない。また、その他の要因の影響も認められない。主鉄筋の発錆に関しては、極めて大きな効果を有していた母材コンクリート中の塩分量が電位モニター用鉄筋の発錆にはさほど効果を有していない。

主鉄筋およびモニター用鉄筋の腐食傾向を比較するため、主鉄筋のフック部と中央部の発錆面積率ならびに電位モニター用鉄筋の端、境界、中央の発錆面積率を同一グラフにプロットしたものを図-59に示す。ただし、この場合の分母は鉄筋全表面積ではなく、フック部および中央部の表面積をおのおの分母としている。これによると母材コンクリート中に塩分がない場合は、主鉄筋と電位モニター用鉄筋で、発錆面積率にさほど顕著な差は生じていない。ところが、母材コンクリート中に塩分がある場合は主鉄筋の端部の発錆面積率が大きくなる分、主

表-29 電位モニター用鉄筋の発錆面積

ケース	発錆面積 (cm ²)		
	中央部	境界部	端部
一体構造	3.68	2.44	1.88
無補修	20.08	5.43	1.43
1	1.04	0.96	5.36
2	4.67	4.08	2.57
3	0.14	1.59	4.13
4	1.59	0.78	0.27
5	1.07	0.80	1.63
6	3.32	2.02	-
7	1.16	1.67	2.49
8	0.47	0.60	3.62
9	3.04	0.63	1.80
10	6.56	5.14	2.19
11	0.70	0.38	0.24
12	4.93	2.89	3.77
13	4.80	1.90	1.49
14	1.46	1.53	0.08
15	0.06	0.29	-
16	3.30	4.39	5.30
17	0.28	1.52	2.22
18	0.42	5.24	3.80
19	0.17	0.50	0

鉄筋の発錆面積率の方が大きくなっている。すなわち、主鉄筋の場合は母材コンクリート中の塩分の影響を大きく受け、それに伴い発錆面積率も大きくなっているが、電位モニター用鉄筋ではその影響はさほど大きなものではない。

f) 電位モニター用鉄筋のマクロセル電流

図-60および図-61に水道水練りの場合および海水練り(母材コンクリート中に塩分を含む)の場合の、測定結果を示す。海水練りの場合、記号(○)について見ると、中央から端へ電流が流れているが、記号(■)についてみると、その逆であり、必ずしも端部がアノードとなっていない。ところが水道水練りの場合、記号(○)についても(■)についても中央から端へ電流が流れており、端部がアノードとなっている。電流値の絶対値

表-30 電位モニター用鉄筋の発錆面積に関して行った分散分析結果 (F値)

	中央部	境界部	端部
鉄筋処理(要因A)	0.60	0.30	1.53
断面修復(要因B)	0.01	0.15	0.58
A×B	0.27	0.03	0.21
表面被覆(要因C)	0.49	0.28	2.18
A×C	1.35	0.05	0.00
B×C	3.05	0.48	0.06
A×B×C	0.01	0.04	0.00
かぶり	4.47	0.73	1.70
母材コンクリート中の塩分の有無	1.48	1.05	1.82
鉄筋形状	0.13	1.92	0.31
水セメント比	0.00	0.33	0.52

$F(1, 4, 0.05)=7.71$

$F(1, 4, 0.01)=21.2$

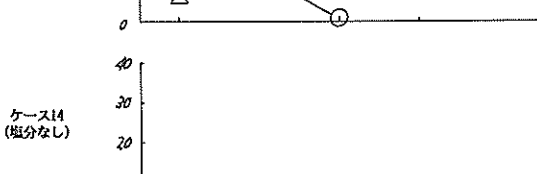
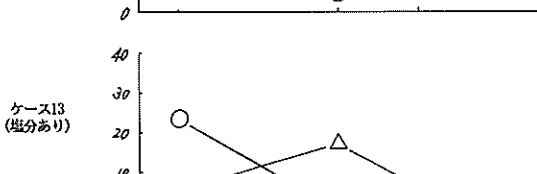
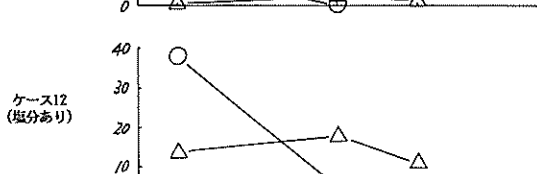
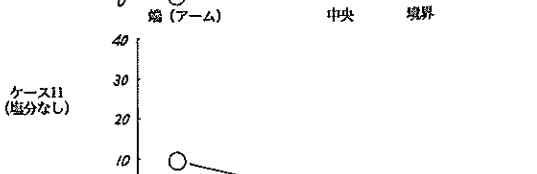
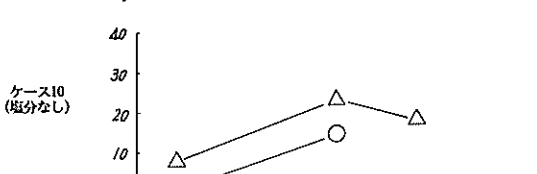
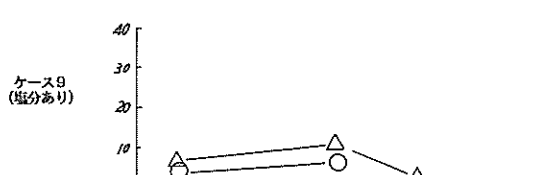
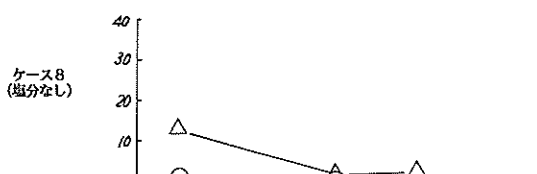
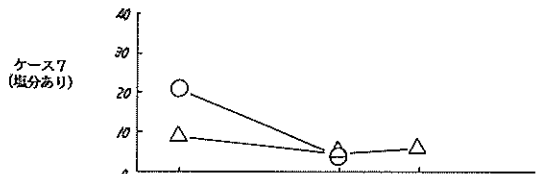
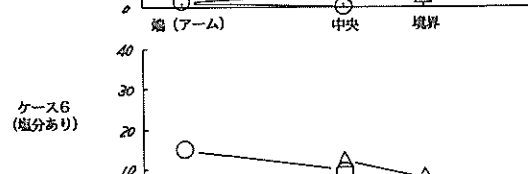
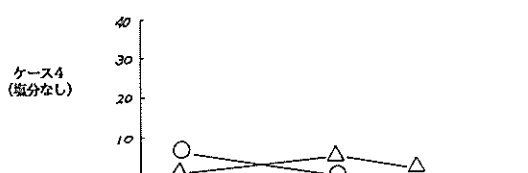
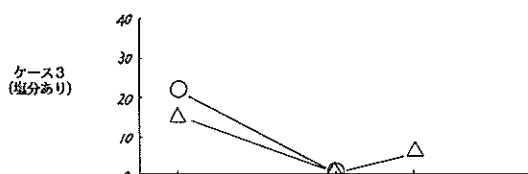
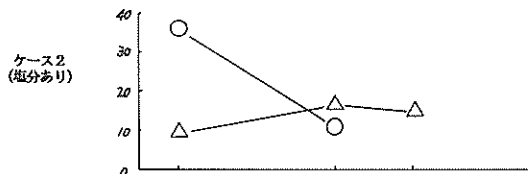
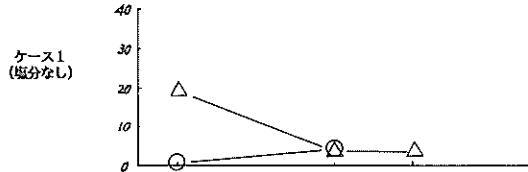
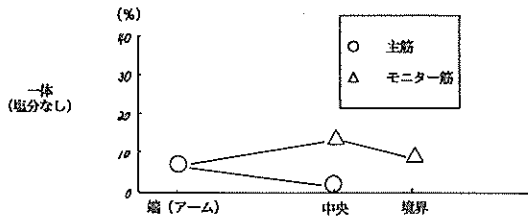
は、水道水練りに比べて海水練りの方が大きくなった。しかし、海水練りの場合、必ずしも端部がアノードとはなっていない。一方、水道水練りの場合は、端部がアノードとなった。この点は、測定前の予想とは若干異なる結果であった。これは、電位モニター筋がそれぞれ独立していることや、測定が促進養生を20サイクル行った後で行われたことによるものと考えられる。

g) コンクリート中の塩化物含有量

表-31に可溶性塩化物含有量の測定結果を示す。また、これにより分散分析を行った結果を表-32に示す。これによると、鉄筋処理と断面修復の交互作用、鉄筋処理と表面被覆の交互作用の効果が極めて大きくでている。また、当然のことながら、母材コンクリート中の塩分の有無の効果も大きい。

3.4 電気化学的測定結果の検証

2章において、電気化学的測定結果についての若干の検証を行った。本項においても同様に電気化学的測定結果の検証を行う。表-33に検討項目を示す。前章とは異なり断面減少率を検討項目に加えていない。これは、今回の鉄筋の腐食が総じて表面的なものであり、顕著な断面欠損を生じている鉄筋が皆無であったため、鉄筋の腐食程度を表わす指標としては発錆面積率で十分であると考えられたためである。不動態のグレイドと電流密度の総合評価手法は、2章で述べた方法と同様である。図-62~66におおのの関係プロットしたものを示す。



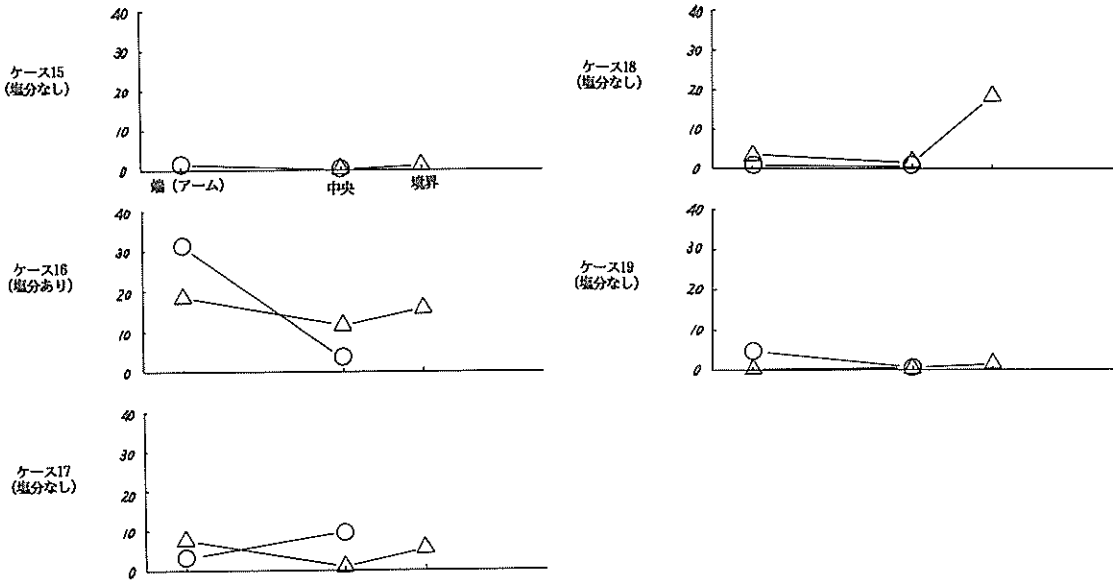


図-59 主鉄筋と電位モニター用鉄筋の発錆状況の比較

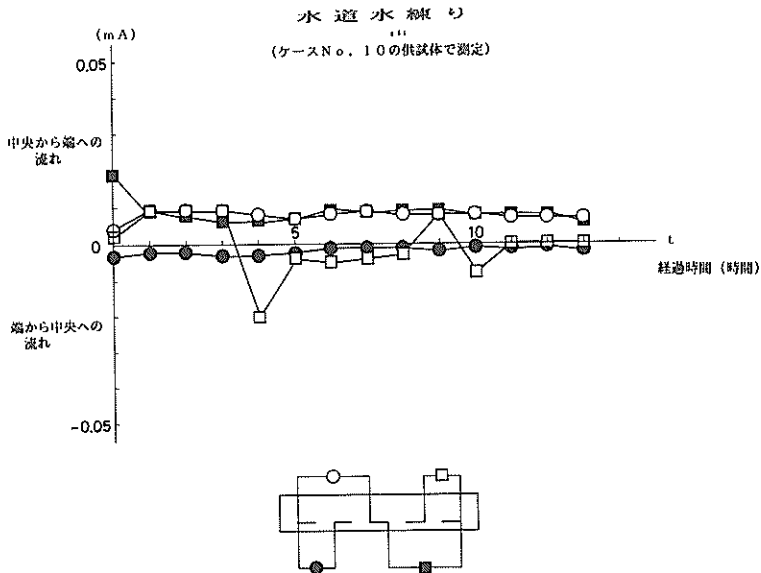


図-60 マクロセル電流の測定結果 (水道水練りの場合)

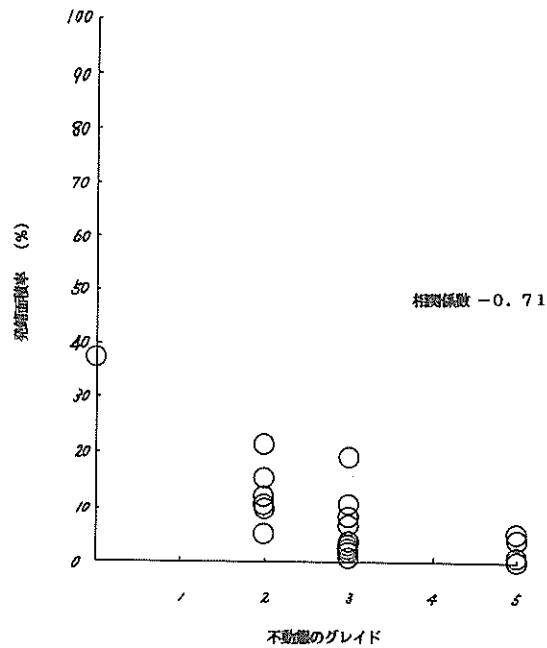
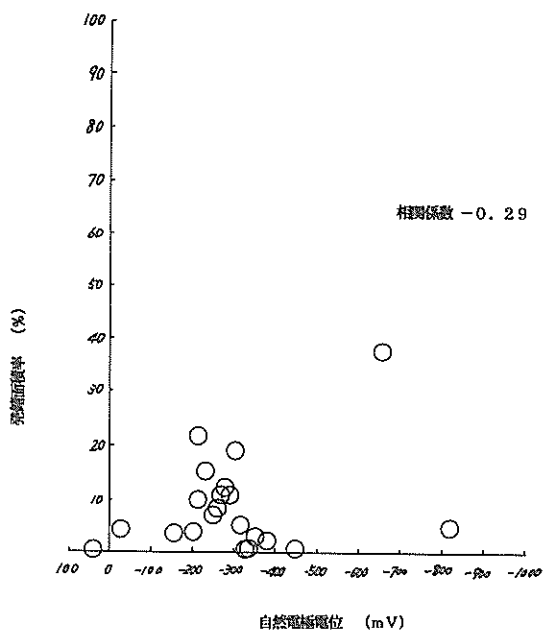
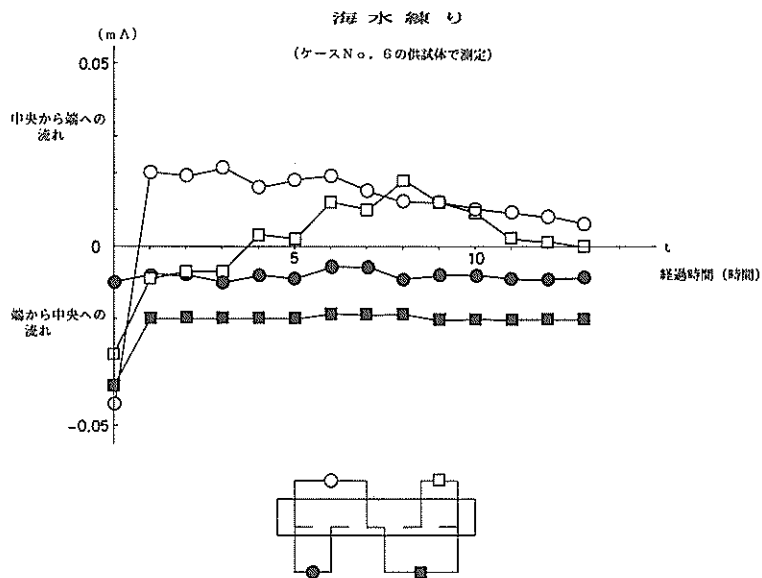


図-62 発錆面積率と自然電極電位の関係

図-63 発錆面積率と不動態のグライドの関係

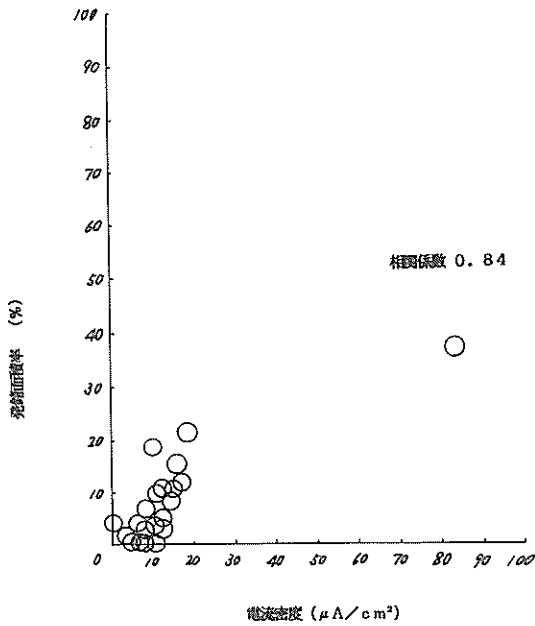


図-64 発錆面積率と定電位電流密度の関係

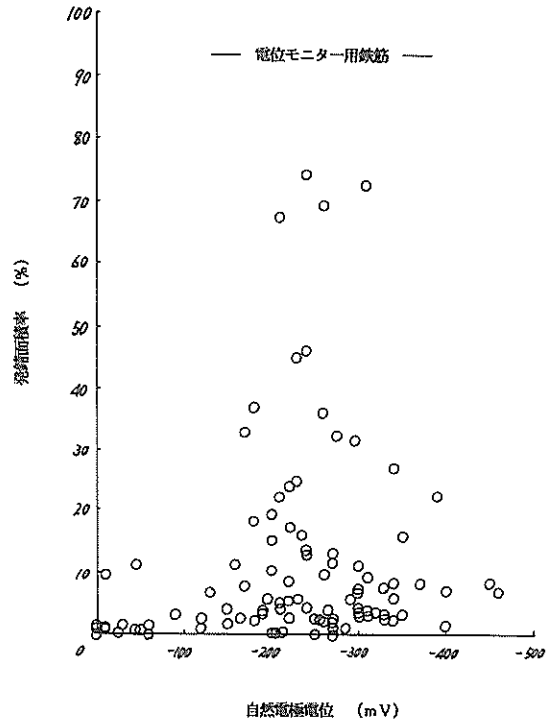


図-66 発錆面積率と自然電極電位の関係
(電位モニター用鉄筋)

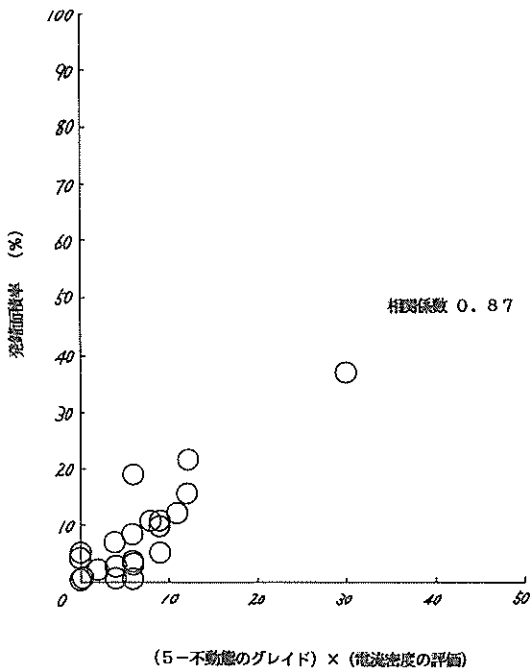


図-65 発錆面積率と不動態のグレイドと定電位電流密度の関係

自然電極電位については、主鉄筋の場合も電位モニター用鉄筋の場合も $-200 \sim -300\text{mV}$ に多くのデータが集中している。著者の過去の研究¹¹⁾、もしくは他の研究者の研究¹²⁾によると、鉄筋に顕著な腐食が認められる場合は多くの鉄筋の電位は -550mV より「卑」であるとの報告がなされている。しかし、今回は $-200 \sim -300\text{mV}$ であっても発錆がかなり進んでいるのもあった。これは、2章の結果を見ても同様である。やはり電位の絶対値のみで鉄筋の腐食性状を推定するには無理があるようである。一方、不動態のグレイドもしくは電流密度については、発錆面積率との間に比較的良好な相関性が認められた。また、不動態のグレイドおよび電流密度の総合評価値と発錆面積率に関してもかなり高い相関性が認められた。著者は文献(1)において、ひびわれがある場合はひびわれがない場合に比較して、電気化学的測定結果の信頼性が低下する旨の報告を行っている。本実験の2章ではひびわれがあり、本章ではひびわれがない。したがって、2章に比べて本章の方が高い相関性が得られたとも考えられる。いずれにせよ、不動態のグレイド、および定電位ステップ法より得られる電流密度は、埋設鉄筋

表-31 塩化物含有量
(kg/m³)

ケース	可溶性塩化物含有量
一体構造	1.23
1	2.05
2	1.23
3	2.36
4	4.38
5	3.42
6	-
7	3.33
8	3.29
9	4.11
10	3.75
11	1.94
12	1.64
13	1.94
14	3.15
15	1.64
16	1.11
17	2.60
18	4.38
19	1.23
Ave.	2.71

(Cl⁻ v.s コンクリート)

表-32 塩化物含有量により行った分散分析結果
(F値)

鉄筋処理 (要因A)	10.42
断面修復 (要因B)	0.83
A × B	35.11
表面被覆 (要因C)	6.00
A × C	102.46
B × C	0.80
A × B × C	20.95
かぶり	2.27
母材コンクリート中の塩分の有無	25.14
鉄筋形状	13.57
水セメント比	0.07

F(1, 4, 0.05)=7.71

F(1, 4, 0.01)=21.2

表-33 電気化学的測定結果の検証項目

(主鉄筋に関して)	
1. 発錆面積率	v.s 自然電極電位
2. "	v.s 不動態のグレイド
3. "	v.s 定電位ステップ法における電流密度
4. "	v.s 不動態のグレイドと電流密度の総合評価
(電位モニター用鉄筋に関して)	
1. 発錆面積率	v.s 自然電極電位

の腐食状況の推定に極めて有効であり、それらを総合的に評価することにより、さらによりデータを得ることが可能であるものと思われる。

4. 結論

一連の実験により得られた結論を以下にまとめる。

1. 断面修復材のみの補修を行った場合で、修復後にひびわれが生じるか、もしくは母材コンクリートと補修材に剝離が生じた場合は、断面補修材の種類に拘らず内部鉄筋には集中的な腐食が生じた。またその場合、ひびわれ幅が大きい程、腐食による断面欠損は大きかった。一方、補修後にひびわれあるいは剝離が生じない場合は、断面修復材の種類によらず、埋設鉄筋の腐食は極めて軽微なものであった。

2. 母材コンクリートに塩分が含まれており、母材コンクリートと補修部を鉄筋が貫いている場合は、母材コンクリート部をアノード、補修部をカソードとするマクロセル腐食が生じた。
3. 今回の実験結果によると、補修材の種類もしくは補修工法の種類の違いによる影響よりも、補修後のひびわれの有無、幅もしくは母材コンクリート中の塩分の有無といった要因の影響の方が大きかった。
4. 補修後にひびわれが発生しない場合は、鉄筋の防錆およびコンクリートの表面被覆はさほど補修(防錆)効果を示さなかった。
5. 補修後のひびわれ、剝離防止という観点に立てば、プレバックドコンクリートの使用はあまり好ましくない。一方、レジンコンクリートを使用した場

合は極めてひびわれは発生しにくい。また、鉄筋塗
装材のアルキッド樹脂とエポキシ樹脂を比較した場
合、エポキシ樹脂の方が付着性はよかった。

6. 補修後の梁の断面剛性は、いずれの材料を使用し
た場合でも元の水準まで回復された。
7. 今回使用した断面修復材については、海水による
材料自身の劣化は認められなかった。
8. 今回取り行った電気化学的測定方法に関して、自然
電極電位はさほど良い情報とは成り得なかったが、
不動態のグレイドならびに定電位ステップ法の
総合評価は鉄筋の腐食状況と比較的よく一致してい
た。

5. あとがき

棧橋上部工の塩害は、参考文献(1)、(2)においてもま
とめているが、全国規模で広がっており、これらの施設の
維持・補修は、今後の重要課題となることは間違いな
い。構造物の耐用年数、あるいは費用効果(コストミニ
мум)等を総合的に加味した維持の概念を確立すること
に加えて、適切な補修工法を確立することも急務である
と考えている。このような状況を踏まえ、本実験は開始
した。これに続く試験も現在継続中であり、今後、港研
報告もしくは港研資料として取りまとめる予定である。

本研究と類似の研究例はほとんどなく、わずかにある
研究結果¹³⁾を見ても本研究の結果とは相容れない面も
あり、さらに研究を進めることは必要であると考えら
れる。

また、アメリカ合衆国のFHWA(連邦道路管理局)
からは、合衆国における融氷塩によるコンクリート橋の
塩害に関して、「塩分量の如何にかかわらず、塩で汚染
された鉄筋コンクリート橋床版の腐食を止めることが確
認された唯一の補修方法は電気防食である」との見解も
出されており、単なるパッチング(断面修復)は、長
期的視点に立てばその効果は疑問であるとの声も少なく
ない。今後は、電気防食の分野も研究対象とすることが
必要であろう。

最後に、本研究の実施ならびに資料作成にいたるま
で、労をわずらわせた材料研究室の田中寛君に感謝の意
を表します。

(1988年9月22日受付)

参考文献

- 1) 大即信明・原茂雅光・浜田秀則：棧橋上部工劣化
実態概略調査報告，港湾技研資料，No.617，June
1988
- 2) 大即信明・原茂雅光・浜田秀則：棧橋上部工劣化
実態詳細調査報告，港湾技研資料，No.627，Sept
1988
- 3) 宮川豊明・片脇清：コンクリート中鋼材の塩化物
腐食調査および試験方法，コンクリート工学，
Vol.19，No.3，March 1981
- 4) 大即信明：コンクリート中の鉄筋に及ぼす塩素の
影響に関する研究，港湾技術研究所報告 第24巻第
3号，1985，9
- 5) 藤島昭・相澤益男・井上徹：電気化学的測定法
(上) 技報堂出版
- 6) 前出4)
- 7) 前出4)
- 8) 大即信明・浜田秀則・原茂雅光：鉄筋およびプレ
ストレストコンクリートパイルの耐海水性(材令10
年結果報告)，港湾技研資料，No.605，March 1988
- 9) 朝尾正・安藤貞一・楠正・中村恒夫：最新実験計
画法，日科技連
- 10) 前出5)
- 11) 前出4)
- 12) 小林一輔・辻恒平・星野富夫：海洋飛沫帯に3年
間暴露した鉄筋コンクリート梁の性状(V)―自然
電位測定による鉄筋腐食のモニタリング―，生産研
究，40巻，7号，1988.7
- 13) 牛島栄・鳥取誠一：断面修復を施した塗装RC梁の
塩水噴霧試験による防食効果に関する研究，コン
クリート工学年次講演会論文報告集，10-2，1988

港 湾 技 研 資 料 No. 631

1 9 8 8 ・ 1 2

編集兼發行人 運輸省港湾技術研究所

發 行 所 運輸省港湾技術研究所
 橫須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 奧村印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.