

1. まえがき 前報¹⁾で、セメントの種類、スランブ、水セメント比、防錆剤の有無、鉄筋の種類、かばりを実験要因として製作した鉄筋コンクリート供試体を、枚令28日まで海水中に浸漬した状態で定電流陽分極試験を行ない、鉄筋の腐食抑制作用の指標として陽分極電位が $+500\text{ mV}\cdot\text{SCE}$ に達する時の陽極電流密度をデータとして解析した結果、混合セメントがよく、またスランブと水セメント比の小さい密実なコンクリートの方が鉄筋の腐食抑制作用が高いことを電気化学的に確認できたと報告した。しかし、この実験では、枚令28日まで海水中に浸漬した状態で試験したので、鉄筋の近傍にはまだ海水塩分がほとんど浸透していないこともあって、防錆剤やかばりの効果が有意とならず、また亜鉛めっき鉄筋の防食効果を数量的に把握することができなかった。それに、 $+500\text{ mV}\cdot\text{SCE}$ という陽分極電位で判定するのは分極が大き過ぎるという問題も有していた。

今回は、あらかじめ塩分を混入した同様な供試体を作製し、枚令28日まで海水中に浸漬した状態で定電流陽および陰分極試験を行ない、鉄筋の腐食抑制作用の指標も若干改善した方法でデータをとって解析したものである。

2. 実験の要因とその水準 実験の要因と水準を表1に示した。 E_2 は塩分を0.1%程度含有する海砂を使用した場合、 E_3 はかなりの塩分を含有する海砂を使用してさらに海水塩分が浸透した場合を想定したものである。実験数は $A \times B \times C \times D$ の24とし、これにE, F, Gの各水準をできるだけ直交するように割付けた。鉄筋コンクリート供試体は各実験で4個ずつ作製し、それぞれ2個ずつ定電流陽分極試験と定電流陰分極試験に用いた。

3. 実験に用いた材料 (1)セメント： A_3 は中熱ポルトランドセメントにフライアッシュを内割り重量で15%混合したものである。(2)骨材：細骨材は富士川産の川砂で粗粒率は2.79、粗骨材はJIS A5005に規定する砕石2005で粗粒率は6.59である。(3)減水剤：ポゾリスNo.8を $C \times 0.25\%$ 使用した。(4)防錆剤：防錆剤を混和する場合は、NR-1900を1㎡あたり3ℓ使用した。(5)NaCl: NaClを添加する場合は、試験1組のものをを用いた。(6)鉄筋：JIS G3112に規定するSD30のD10で、黒皮のままのものと亜鉛めっきしたものを用いた。(7)養生と分極試験に用いた海水：神奈川県大磯海岸で採取した天然海水を用いた。

4. 実験の方法 (1)供試体の作製：あらかじめかばりに匹敵する長さだけ工ボキシ被覆した鉄筋を、図1のように型枠に取付け、コンクリートを2層に棒形振動機で締固めた。枚令2日で脱型し、供試体の上下面を工ボキシ被覆し、枚令4日で $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の海水中に浸漬した。(2)電気化学的実験：図2の装置を用い、供試体を海水に浸漬した状態で定電流陽分極試験と定電流陰分極試験を行なった。電流密度は $0.02\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度からスタートし、1分ごとに約2倍の電流密度に切換えて行き、分極電位の測定は電流密度の切換直前に行なった。

5. 実験結果の解析と考察 (1)塩化物含有量：分極試験の終わった供試体の塩化物含有量(NaCl換算)をホルバルト法で測定した結果を図3に示した。 E_3 はNaCl添加量とほぼ同量の塩化物が検出されたが、 E_1 と E_2 は海水塩分の浸透により増加してほぼ同

表1 実験要因とその水準

要因	水準	水準 1	水準 2	水準 3
A セメントの種類	A ₁	普通ポルト	A ₂ B 種高炉	A ₃ B 種中熱フライアッシュ
B スランブ	B ₁	5 cm	B ₂ 15 cm	
C 水セメント比	C ₁	45 %	C ₂ 65 %	
D 防錆剤の有無	D ₁	無	D ₂ 有	
E NaCl の添加量	E ₁	0	E ₂ 1 kg/m ³	E ₃ 10 kg/m ³
F 鉄筋の種類	F ₁	黒皮	F ₂ 亜鉛めっき	
G 鉄筋のかぶり	G ₁	4.5 cm	G ₂ 7.0 cm	

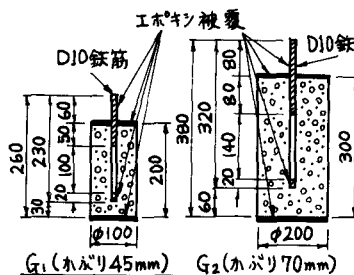


図1 供試体の形状

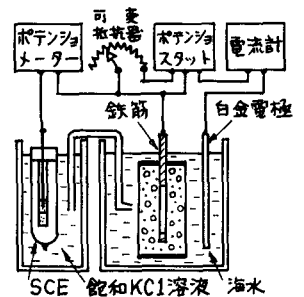


図2 電気化学的実験装置

じとなった。(2)分極曲線：定電流陽および陰分極曲線の一例を図4に示した。(3)鉄筋の自然電極電位：自然電極電位は、A₁の平均が-861mV・SCE、A₂が-808、A₃が-847、またF₁の平均が-618、図3 NaClの添加量と含有量F₂が-1059mVで有意となったが、他の要因は有意とならなかった。この場合も、混合セメント、特にB種高炉セメントが良好である。

(4)腐食抑制作用の数量的な把握：図4で、陽・陰分極曲線共にきれいなTafelの線が現れていないが、分極曲線を詳細に検討した結果、自然電極電位より100~400mV程度分極した辺りに、陽・陰分極共に直線部分がわずかながら存在することを見出した。そして、この直線部分を延長して自然電極電位の線と交わる点を一種の腐食電流密度と考えて、それぞれI_{ac}およびI_{cc}として、腐食抑制作用を表わす指標とした。I_{ac}とI_{cc}は、その値が小さい方が鉄筋の腐食抑制作用が高いことを示すものである。

定電流陽および陰分極試験はそれぞれ供試体2個ずつで実施しているので、I_{ac}とI_{cc}のそれぞれ2個のデータの平均値の間の相関関係を示したのが図5である。I_{cc}の方が平均値がやや小さいが、相関係数は $r=0.939$ でかなりよい相関を示しており、相関係数の検定を行なうと $F_0=(n-2)r^2/(1-r^2)=163.6^{****}$ となっており、有意性は非常に高い。したがって、I_{ac}とI_{cc}はほぼ同じ値と考えてよく、腐食抑制作用の程度を表わす指標として妥当性を有するものと考えられる。

I_{ac}とI_{cc}の分散分析表を表2、表3に示した。両者共に類似の傾向を示しているが、A、E、F、Gの4要因が有意となった。要因AとGの効果を示したのが図6で、この場合もB種高炉セメントがよく、かばりを大きくすると腐食抑制作用が高くなることを示している。要因EとFの効果を示したのが図7で、図3と同様な傾向となり、塩化物含有量が増えるとう腐食抑制作用が低下するが、いずれの場合も亜鉛めっき鉄筋の方が防食性が高いことを示している。

要因Dの効果が有意とならなかったが、要因Eとの関連において図示したのが図8である。防錆剤は塩化物含有量が少ない場合には効果があるが、塩化物含有量が多くなると効果がなくなること示しているものと考えられる。

前報で有意となったBとCの要因は、今回もデータはスランプと水セメント比の小さい方が腐食抑制作用の高い傾向を示しているが、有意となるには至らなかった。これは、NaClの添加といった効果の大きい実験要因を組み込んだこと、実験数が少ないこと、

などが影響しているものと考えられる。

1)青戸 章：海水浸漬したコンクリート中の鉄筋の腐食に関する電気化学的実験、土木学会論文報告集、No.258, 1976.12, pp.95~98

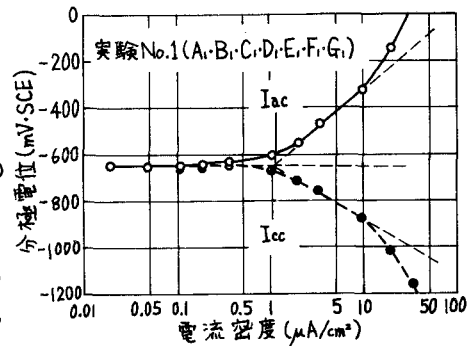
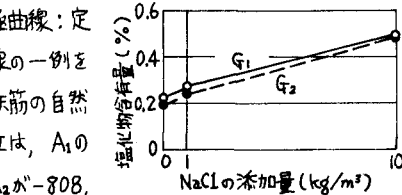


図4 定電流分極曲線の一例

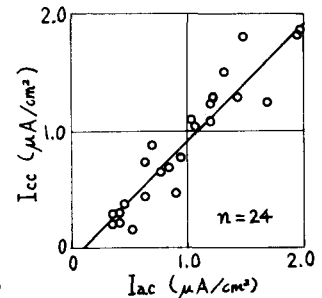


図5 I_{ac}とI_{cc}の相関

表2 I_{ac}の分散分析表

要因	df	ss	ms	F
A	2	1.149	0.575	6.19****
B	1	0.035	0.035	0.37
C	1	0.075	0.075	0.80
D	1	0.010	0.010	0.11
E	2	5.365	2.682	28.88****
F	1	0.544	0.544	5.86**
G	1	0.768	0.768	8.26***
誤差	38	3.530	0.093	-
計	47	11.475	-	-

*は5%, **は2.5%, ***は1%, ****は0.5%で有意

表3 I_{cc}の分散分析表

要因	df	ss	ms	F
A	2	0.657	0.328	4.21**
B	1	0.000	0.000	0.00
C	1	0.060	0.060	0.77
D	1	0.221	0.221	2.84
E	2	6.312	3.156	40.50****
F	1	1.421	1.421	18.24****
G	1	2.009	2.009	25.78****
誤差	38	2.962	0.078	-
計	47	13.643	-	-

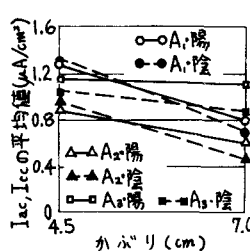


図6 要因AとGの関係

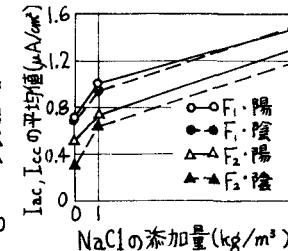


図7 要因EとFの関係

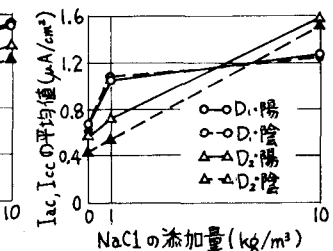


図8 要因DとEの関係