

正会員 田代忠一，上岡健三，○正会員 飯塚信之（山口大，工）

1. ま え が き

海上もしくは海岸近辺のコンクリート中の鉄筋腐食，さらに近年河川砂の枯渇化に伴いコンクリート用骨材としての海砂の使用による鉄筋の腐食などは，鉄筋コンクリートの構造物の耐久性を，著しく劣化させており，これは重要な問題である。

海砂および海水を用いたコンクリート中の鉄筋の腐食に関しては，従来多くの試験，実験，研究がみられ，防錆についても良質のコンクリートの使用や，かぶり厚さを多くとることや，耐食性鉄筋の使用などの結果に対処されてきた。しかしセメントおよびコンクリートの微細構造的見地から，鉄筋の発錆とその防錆に関する研究は多くない。

本研究は，コンクリートの養生条件やコンクリートへの添加物などが，セメントおよびコンクリートの微細構造にどのような影響を与え，いかに防錆に効果をもたらすかという観点にたって研究をおこなった。

2. 実 験

2・1 概 要

コンクリートの供試体はφ50×100mmを用い，中に鋼管（φ34×80mm）を埋め込んだものを使用した。実験では，養生条件，水・セメント比，添加物の有無，練り水の種類などを変えて製造した供試体を用いて，発錆促進試験を行なった。

この発錆促進試験は，供試体を高温高湿（65℃，RH85%）の条件下に150日間置くことによって鉄筋発錆を促進させた。なおその間，供試体の電位差を測定した。

各供試体は，30日間の湿空養生とその後の発錆促進期間60日，150日について，それぞれ水銀圧入式ポロジメーターとS. E. M.を使用してその微細構造を調べた。

2・2 使 用 材 料

実験に用いた材料は，Table 1 のようである。

また練り水には，蒸留水と海水を使用した。海水は山口県宇部市常盤海岸から採取したものである。その海水のおもな化学成分結果はTable 2 のとおりである。

Table 1. Description of reinforced concretes in test

Cement	Aggregate	Reinforcement	Water
Normal portland cement	Andesite (Asagun Sanyouchio) Coarse aggregate (0.6~5.0mm) Fine aggregate (<0.6mm)	Steel pipe (φ34mm) (S<0.05%) (P<0.05%)	Sea water (Ubeshi Tokiwa) Distilled water

2・3 実 験 条 件

実験に関する諸条件をTable 3 に示した。

また供試体の種類をTable 4 に示した。この中で供試体（D-1，D-2）はCu(OH)₂が2%添加されている。これは新しい防錆効果を考えて用いたものである。供試体は1種類につき3本製作した。

Table 2. Chemical analysis of sea water

Specific gravity (20°C)	pH (20°C)	Chemical composition(mg/l)				
		Cl	Na	Mg	k	Ca
1.030	7.76	18,225	9,720	1,208	352	370

2・4 測定方法

電位差の測定は、供試体を型わくから脱型し、測定可能な状態になったときから、供試体の中央部に定めた3点で測定を行なった。

Fig. 1にあるように、一方の電極にはカロメル電極を用い、もう一方は鉄筋から白金線を出したものに接続した。

測定はシールド・ケース内で行なった。端子間接触時の電位差は、5 mVであった。

30日間の湿空養生後と発錆促進期間60日、150日のそれぞれについて、水銀圧入式ポロシメーターとS.E.M.を使用して微細構造を調べた。

3. 結果および考察

湿空養生30日間における各供試体の電位の推移をFig. 5に示した。Cu(OH)₂を2%添加した供試体(D-1, D-2)を除くすべての供試体は、海水練りの方がほぼ-400 mV~-230 mVの領域にあり、水練りの方はほぼ-210 mV~-10 mVに位置した。これは海水中のイオン、特に塩素イオンによる影響と考えられる。

Cu(OH)₂を2%添加した供試体は、他の供試体の電位の推移と異なり養生16日目から21日目の間では、D-2の方がD-1の方よりも大きな電位差を示している。また水練り供試体の中ではD-2は最も大きな電位差を示している。D-1の方も養生18日目まで200 mV近くの電位の変動があり、電位差は低くなるが、養生30日目には再び100 mVほど電位差が高くなっている。Cu(OH)₂の添加により、コンクリートの硬化するまでの時間が長びき、またCuイオンの影響で電位の推移に他の供試体と大きな違いが生じたと推測される。

水・セメント比の違いによる電位の推移の結果は、A-2, B-2, C-2に特に明確に示されている。水・セメント比が大きい程電位差も大きい。しかし、海水練りのA-1, B-1, C-1の方は、あまり違いがみられず、むしろ水・セメント比の最も低いC-1が、最も大きな電位差を示している。これは水・セメント比が電位におよぼす影響よりも、海水中の各イオンによる影響の方が大きいとおもわれる。また5℃湿空養生した供試体(E-1, E-2)は、他の供試体と比べてそれぞれ低い電位差を示した。

湿空養生30日後の微細構造は、S.E.M.の写真(Fig. 6)と水銀圧入式ポロシメーター(Fig. 2)に示した。A-1, B-1, C-1などはどれもC-S-H系のゲルが主体となっており、B-1などはエトリンジャイト系生成物がみられるように思う。これは海水中の硫酸マグネシウムの影響で生成したものと考えられ、A-2でみられるCa(OH)₂の結晶はないように思われる。Cu(OH)₂が2%添加されているD-1, D-2においても、C-S-H系ゲルが中心でD-2には

Table 3. Experimental condition in tests

Item	Condition
Mixing	Aggregate/Cement = 2.57 Aggregate; Coarse:Fine = 85:15
Curing	Wet curing (20°C) 30days (5°C) 30days Hot wet climates (65°C, RH85%) 30 days
Covering of reinforcement	Vertical direction--- 10mm Radial direction----- 8mm

Table 4. Description of samples in tests

Cord	Water	W/C	Adding agent	Curing
A-1	S.W.	0.6	None	Wet (20°C)
A-2	D.W.	0.6	None	Wet (20°C)
B-1	S.W.	0.8	None	Wet (20°C)
B-2	D.W.	0.8	None	Wet (20°C)
C-1	S.W.	0.4	None	Wet (20°C)
C-2	D.W.	0.4	None	Wet (20°C)
D-1	S.W.	0.6	2%Cu(OH) ₂	Wet (20°C)
D-2	D.W.	0.6	2%Cu(OH) ₂	Wet (20°C)
E-1	S.W.	0.6	None	Wet (5°C)
E-2	D.W.	0.6	None	Wet (5°C)

S.W.---Sea water
D.W.---Distilled water

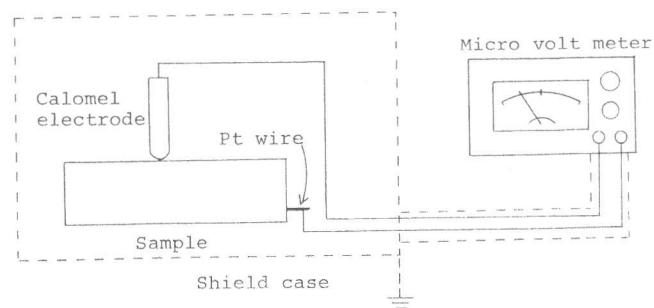


Fig.1 Schematic representation of experimental apparatus

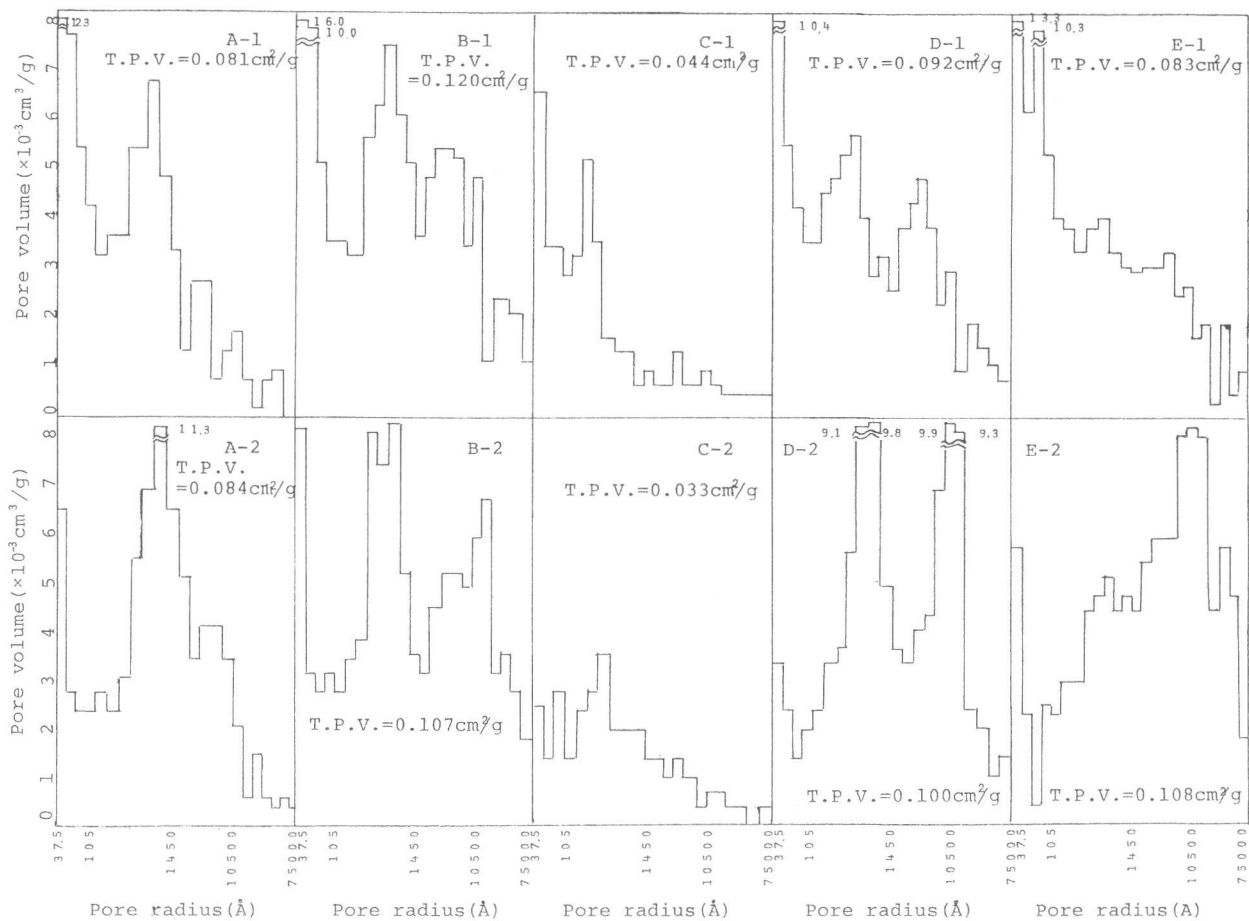


Fig. 2 Pore size distributions of samples after curing

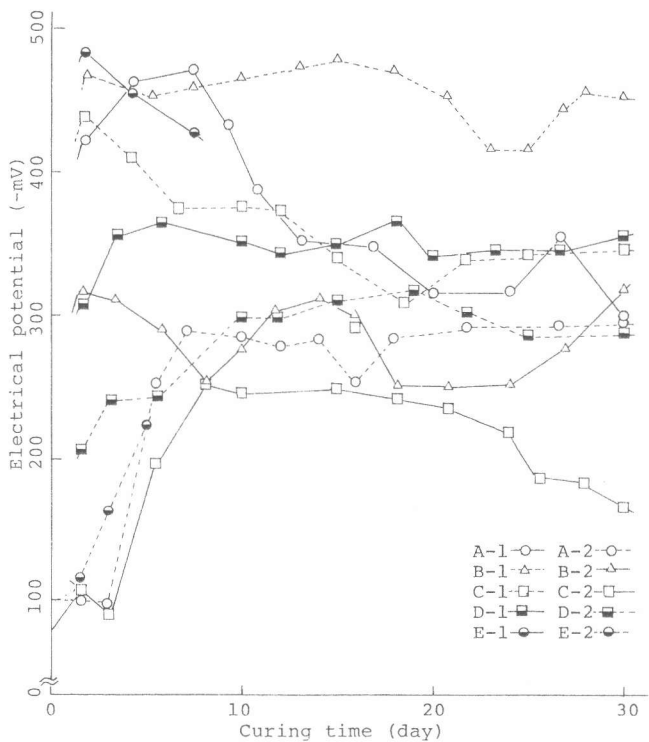
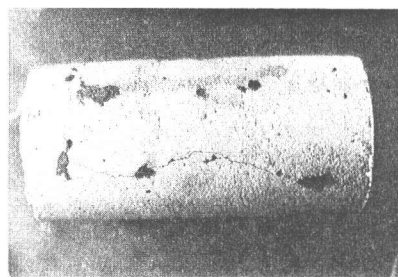
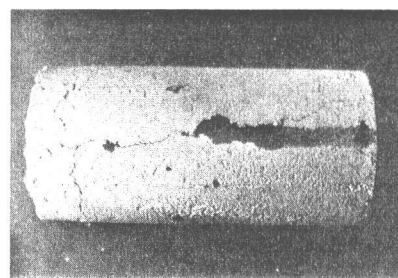


Fig. 3 Change of electrical potential for samples of accelerated curing(65°C,RH85%) after ordinary curing



A-1



B-1

Fig. 4 Photographs of sample A-1 and B-1 after 20 days in hot wet climates (65°C,RH85%)

Ca(OH)₂の結晶もあるように思われる。E-1, E-2も大部分はゲル組織でCa(OH)₂の結晶は未発達なように思われる。

供試体の細孔に関しては、海水練りの方はセメントと海水が反応して水和生成物をつくるためか、海水練りの方が水練りよりも細孔半径が小さい方に移動すると考えられる。全細孔容積は、水・セメント比の大きなB-1, B-2が大きく、E-2も大きかったが、これは水和の進行が遅いためではないかと思われる。

Fig. 3は、発錆促進期間の始め30日間を示している。Fig. 5と比べ、全体的に高い電位差を示している。なかでもB-1は常に高い値を示し、A-1も始めの10日間は高い値を示した。Fig. 4は促進20日目のA-1, B-1の写真であるが、割れ目からさびがふき出しているのが確認できる。割れ目を確認したのはA-1で8日目、B-1で6日目であった。C-2が他と比べ最も低い値を示している。これは水・セメント比が小さく、微細構造が緻密なためだと考えられる。D-1, D-2は、電位差の変動が比較的安定しているように思われる。これはCu(OH)₂の添加が、鉄筋の防錆に有効である可能性が考えられる。

4. ま と め

海水練りと水練りの鉄筋コンクリートを用いて鉄筋の発錆に関して、供試体の電位差測定とその微細構造の研究を行なった。

添加物としてCu(OH)₂を加わえた供試体は、他の無添加の供試体と比べて、特異な電位差の推移を示し、鉄筋の防錆に関してよい効果をもたらすことが、考えられる。

5. 参 考 文 献

- 1) 神山一：コンクリート中の鉄筋のさび，セメント・コンクリート，No. 308，1972.
- 2) N. P. Roberts：The Resistance of Reinforcement to Corrosion, Concrete, Vol. 4, No. 10, 1970.
- 3) Ergin Atimtay and Phil M. Ferguson：Early Chloride Corrosion of Reinforced Concrete - A Test Report, Journal of ACI, Vol. 70, No. 9, 1973.
- 4) 岸谷考一：海水による鉄筋の腐蝕とその対策 コンクリートジャーナル，Vol. 10, No. 8, 1972.

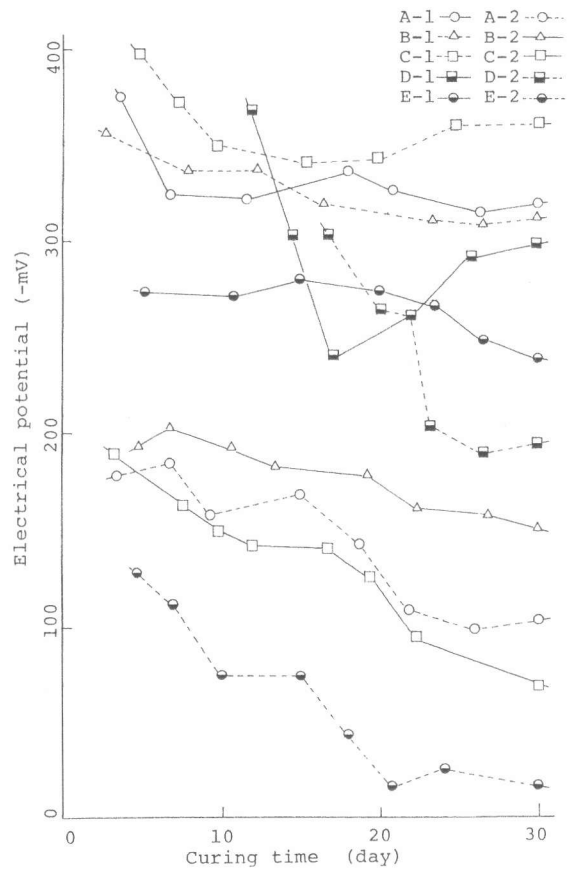


Fig. 5 Change of electrical potential for samples in curing time

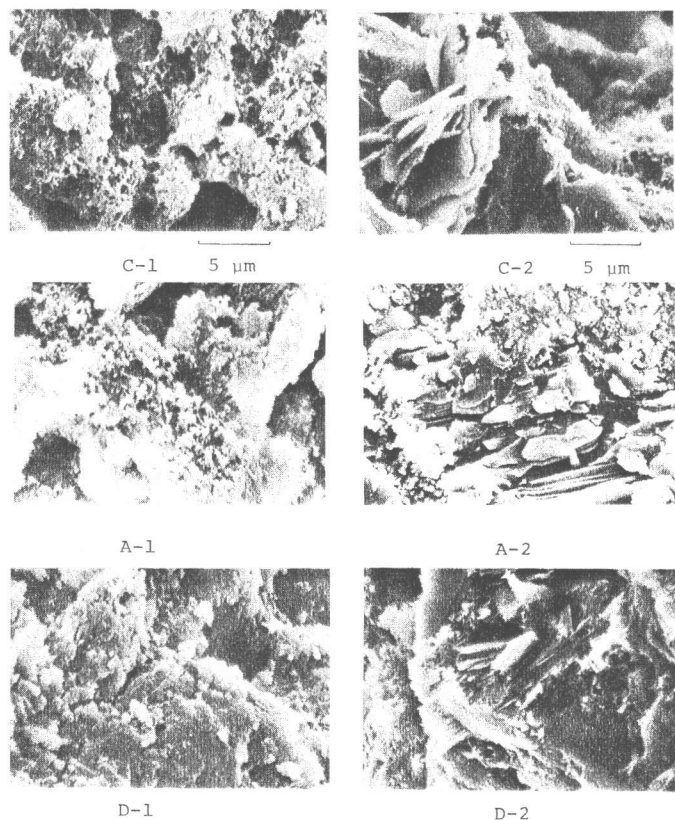


Fig. 6 S.E.M. photographs of samples after curing