

琉球大学 正員 具志幸昌

○ 加仁屋晴謙

伊良波繁雄

## 1. はじめに

本実験は、最高含塩量を海砂中の塩分集中部分に対応する値にとり、塩分量水準間の差も小さくとって、既報の高含塩量部分を含んでいた実験ではっきりしなかった、塩分量の微妙な差による発錆量の差や防錆剤を添加した場合を含めての発錆限界塩分量等を解明するためと、 $Cu/CuS\&$ 半電池で鉄筋の自然電位測定による発錆個所探知方法の確立のため第1歩として計画実施したものである。

## 2. 使用材料・実験計画および方法

セメントは市販の普通ポルトランドセメントを、粗骨材は比重2.66、吸水率1.08%、粗粒率2.86の台端産で、川砂に大理石の碎砂を混入したものを、粗骨材は比重2.70、吸水率0.33%、最大寸法20 mmの密実堅硬な石灰岩碎石を使用した。混加剤は防錆剤（市販品2種）以外は使用していない。鉄筋は19 mm丸鋼を用いて使用した。

実験は表-1に示す因子と水準を組合せ実験計画法によってL16直交表で主効果と一部交互作用がとり出せるように実施した。供試体（12×20×30 cm）および製作方法等は既報と同じであるが、各実験番号で10個ずつ製作した供試体のうち4個には、20 cmの鉄筋2本と22 cmのもの1本を埋め込んだ。22 cmの鉄筋には、腐食電位を測定するため端部にビニール被覆した径1.5 mm長さ30 cmの鉄電線を巻きつけてハンダ付けし、この部分の電線とコンクリートとが直接接觸しないようにエボキシ系接着剤

表-1 因子と水準表

因子	水準	1	2	3	4
塩分量 A (%)	0.033	0.067	0.100	0.133	
防錆剤量 D	標準量	2倍量			
水セメント比 C (%)	5.5	7.0			
防錆剤の種類 O	0 <sub>1</sub>	0 <sub>2</sub>			

\* 配合時のコンクリート重量に対する

を塗覆した。電線はコンクリート打ち込み時上面に出してある。半電池は手製で、径2.5 cmの厚肉ガラス管の上下端にコルクで栓をし、中に幅1.5 cm厚さ2 mm長さ10 cmの純銅板を電極として挿入し、銅電極の上部は銅線を接続し、上部のコルク栓を通して外部に出してある。ガラス管内には飽和硫酸銅溶液を満たしてある。電位差は10 mVまで測定できるY社製の携帯用直流電位差計で測定した。供試体はすべて屋外に自然放置した。また発錆面積の測定等は従来の実験と同じである。

## 3. 実験結果および考察

実験のわりつけと材令9ヶ月までの発錆面積の測定結果を表-2に示す。以下、発錆試験と半電池電位測定試験の9ヶ月までに判明した事項について述べる。表-2の下4段は実験計画法以外に実施した実験である。

表-2 わりつけおよび測定結果

No	要因	発錆面積 ( $\times 10^{-2} \text{cm}^2$ )			
		A	D	C	O
1	1 1 1 1	0	0	0	0
2	1 1 2 2	0	0	0	0
3	1 2 1 2	0	0	0	0
4	1 2 2 1	0	0	0	0
5	2 1 1 1	0	0	0	0
6	2 1 2 2	0	0	0	0
7	2 2 1 2	0	0	0	0
8	2 2 2 1	0	0	0	0
9	3 1 1 1	12	24	15	34
10	3 1 2 2	0	0	3	8
11	3 2 1 2	0	0	0	0
12	3 2 2 1	0	9	10	0
13	4 1 1 1	13	37	21	0
14	4 1 2 2	45	66	15	0
15	4 2 1 2	28	24	7	6
16	4 2 2 1	0	0	0	0
17	5 1 1 1	25	14	0	0
18	5 1 2 2	34	39	25	18
19	5 2 1 2	0	0	0	0
20	5 2 2 1	0	0	0	0

### 3.1 発錆試験

1) 発錆に対する塩分量の影響は従来の実験同様他の因子にくらべるがに大きい。しかし、その寄与率は、塩分量の絶対値そのものが小さく、水準間の差も小さいこと、試料間のばらつきが大きいこと等によって、従来の実験にくらべ小さくなっている。

2) 防錆剤を加えた場合、 $A_1, A_2$ 水準では、9ヶ月時点まで全然発錆はみられず、この程度の塩分量なら防錆剤の効果は十分とめられるようである。

3)  $A_1$ 水準の場合、防錆剤無添加でも、9ヶ月時点まで18本中1本だけにぐくわざか発錆していただけである。この1本はなんらかの欠陥で発錆したのか、あるいは今後他の鉄筋も発錆が進行していくのが、 $A_1$ 水準は土木学会や建築学会の海砂中の塩分量規定の上限値(0.10%)であるので、今後の推移に注目したい。

4)  $A_3$ 水準では3ヶ月から一部に発錆がみられ、9ヶ月では、一般に発錆量は小さいが過半の鉄筋が発錆している。その中でNo.9供試体は急増し、これが全体の発錆量を増大させたかたちになつている。

5)  $A_4$ 水準では、3ヶ月時点からNo.16以外はずべて発錆し、6ヶ月時点までは発錆面積の合計は $A_3$ 水準よりはるかに大きかつたが、9ヶ月時点では逆転した。これは前述のNo.9の急増によるものだが、これが一般的傾向なのか、單なる供試体の問題なのか1年時点で試料数を増して検討したい。ただし、 $A_3$ と $A_4$ 間には、むしろ検定で有意の差はない。

6)  $A_3, A_4$ 水準にもなると市販防錆剤で発錆そのものを防止することはできないといえよう。これは従来の実験でも同じ結果であった。

7) 防錆剤を加えたときの塩分しきい値は $A_2$ 水準と $A_3$ 水準の間にあらうように思われる。

8) 防錆剤添加量の効果は6ヶ月時点までは小さかつたが、9ヶ月時点では有意の差があり、各群含む $D_2$ 水準が効果があり、 $A_3, A_4$ に対して発錆はあるが少量で、今のところ増大のきさしほない。

9) 防錆剤種類および水セメント比は、その主効果と他の因子の交互作用と交絡していいためか、3ヶ月時点以来有意の差は現われていない。

1) Spelman, D.L & Stratfull, R.F; Highway Research Record, No.328, PP.38~49, 1970. 2) Van Daele, J.R; ACI, Dec. 1975, PP.697~704. 3) O'Connor, E.J; ASTM STP629, PR.116~123, 1977 等

### 3.2 半電池電位測定試験

これは米国カルフォルニア州道路局が開発し、コンクリート底版の鉄筋の発錆個所探知に広く利用されている方法である。測定電位の正式の表現は面倒であるので、ここでは、絶対値が増加したとき単に電位が高くなるとかといった表現を使うことにする。以下本実験に適用して判った2, 3の事項を列挙する。

1) 測定される電位は測定個所および時間の経過につれて変化する。コンクリートの含水状態によても変化し、一般に湿っている場合が高い。供試体の乾燥が進行するような状態のもとで測定すると短時間の間でも測定のたびに電位はかなり違う。また表面が乾燥した状態で測定すると不安定である。したがって、本実験では表面を十分浸らせて状態で実施した。

2) 供試体製作直後の電位は供試体の如何にいかからず高く、低いもので0.3ボルト程度、高いものは0.4ボルトを越えていた。これはコンクリート中に十分水分が存在し、電流をよく通すためと、コンクリートのアルカリ分に接触した鉄筋表面に酸化保護膜を形成する過程にあるためと推察している。この期間は鉄筋埋め込み後、2週間から4週間位であった。以後電位は低下した。

3) 0.3ボルトを越えなくとも発錆していたが、発錆している供試体と同一実験番号の供試体は、材令10週以後で、すべて0.20ボルト以上の電位を必ず記録しており、0.20ボルト以上である期間が長かった。

4) 電位測定供試体に埋め込んだ鉄筋のうち、2本は金属的に連絡されていないが、6ヶ月以後色々試行した結果、この方法は必ずしも、すべての鉄筋が金属的に連絡されていても適用できると判断されたので、9ヶ月時点で、この供試体から金属的に連絡されていない鉄筋1本ずつを取り出した。その結果この供試体から取り出した鉄筋を発錆していたのは2例であるが、発錆個所と電位の極大点とは一致していた。しかし、電位は必ずしも高くなく両者共約0.25ボルトであった。

#### 4. おわりに

本研究は九工大渡辺明教授を代表者とする昭和53年度科学研究費総合研究(A)「RCおよびPC構造物における海砂使用上の問題点解明に関する統合研究」の分担研究として行われたことを付記する。