

V-15 コンクリート中の鉄筋の発錆実験（実験Ⅱ）

琉球大学 正員 具志幸昌 正員 ○加仁屋晴謹
正員 伊良波繁雄

1. はじめに

筆者らは沖縄県下の主要路線の鉄筋コンクリート（以下RCという）橋および主要教地区のRC造校舎についての被害調査を実施し、その結果沖縄県下のRC構造物はいたる所で鉄筋の腐食によって重大な損傷をこうむっていること、その主因はコンクリート中に含まれている塩分であり、その他、コンクリートの低品質や施工不備、亜熱帯・海洋性気候による高温多湿の風土環境および海水の直接・間接の影響等であることを明らかにしてきた。¹⁾²⁾

このような実態把握に引き続き、鉄筋の腐食の面からの耐久性向上を目的とする一連の実験的研究^{3)~6)}を継続中であるが、今回は含塩量、市販防錆剤の種類およびその添加量、加熱条件を因子とし、鉄筋の発錆に関してこれら諸要因がいかに影響をおよぼすかを実験計画法によって実施した材令2ヶ月までの実験結果を報告する。

2. 使用材料・実験方法

セメント、細骨材および粗骨材は前報^{3)~4)}と同一であるので詳細は省略する。セメントの28日圧縮強度は37.1 N/cm^2 である。細骨材は雨ざらしにした海砂であるが、含塩量は0.024~0.040%の範囲にあり、平均0.030%であった。防錆剤はすべて市販品であり、そのうちの1種は前報で使用したものである。

混練水は水道水で、含塩量は粗塩によって調整した。また防錆剤以外の混和剤は使用しなかった。

実験は表-1に示す因子および水準によって $L_7(3^3)$ 直交表にわりつけて、主効果の

表-1 因子と水準

因子	水準	1	2	3
含塩量(%) [*] Q		0.05	0.20	0.80
防錆剤種類 R		0 ₁	0 ₂	0 ₃
防錆剤添加量 P	1/2標準量	標準量	2倍標準量	
暴露条件	R	非加熱	加熱	非加熱

^{*} コンクリート含塩量に對して。

みを対象に実施した。防錆剤添加量はメーカー指示の海砂に対する使用量を標準量とし、その半分量、標準量、2倍量を使用した。コンクリートの配合は水セメント比65%の一定で、かぶりも2cmの一定である。供試体の寸法や鉄筋の埋込み本数や方法等はすべて前報と同じである。暴露条件で加熱は、日曜、休日を除いて、供試体を毎日足温乾燥器中に入れて50℃で1時間熱し、自然冷却後、2時間水道水中に浸漬して取り出すという過程をくり返した。非加熱は屋外に自然放置したものである。

3. 実験結果および考察

発錆面積の測定結果を実験のわりつけとともに表-2に示す。表-2および表-3からわかるように、また前報（実験Ⅰ）^{3)~5)}と同様、鉄筋の発錆に関しては塩分がいかに圧倒的な影響力があるかを示している。分散分析の結果塩分量だけに高度の有意差があり、他の因子の影響は小さい。発錆面積の全体的傾向としては、材令とともに漸増し、2ヶ月時点の平均発錆面積率は17.3%で3ヶ月時点の約2.4倍である。また2ヶ月時点の最大発錆率は、勾論塩分量 Q_3 （以下表-1に示した記号を使う）水準の供試体で61.8%に達している。以下各因子の影響について述べる。

塩分の発錆に対する影響は3ヶ月時点から圧倒的に

表-2 わりつけと各材令における発錆面積 ($\times 10^{-1} \text{cm}^2$)

実験番号	わりつけ	3ヶ月	6ヶ月	1ヶ月	2ヶ月			
					1	2	3	計
	OPQR	計	計	計				
1	1111	63	151	124	27	30	7	64
2	1222	316	431	495	221	196	83	500
3	1331	635	668	1538	464	571	738	1773
4	2121	365	317	393	287	262	119	668
5	2231	402	672	739	198	398	321	917
6	2312	19	72	37	26	31	50	107
7	3132	434	525	769	505	424	386	1315
8	3211	19	49	16	6	5	3	14
9	3321	109	126	111	66	46	119	231
	合計	2362	3011	4222	1800	1963	1826	5589

表-3 各因子の水準別発錆面積の推移

水準	3ヶ月	6ヶ月	1年	2年
O ₁	1014	1250	2156	2337
O ₂	786	1061	1168	1692
O ₃	562	700	896	1560
P ₁	862	993	1285	2047
P ₂	763	1152	1250	1431
P ₃	737	866	1685	2111
Q ₁	101	272	176	185
Q ₂	790	874	998	1399
Q ₃	1471	1865	3046	4055
R ₁	1593 (794)	1983 (992)	2919 (1460)	3667 (1834)
R ₂	769	1028	1301	1922

強く、分散分析でも常に1%台の危険率で有意性を保っており、寄与率も60%～75%を占めている。

発錆量は塩分量によって支配され、それを多少防錆剤添加量が修正するといった程度である。防錆剤添加量の主効果は分散分析では小さいが、効果がないということではなく、本実験のように塩分量が多い場合を含むときは表-4からも分かるように塩分量によってその効果が変わってくるためである。

Q₁水準は海砂換算では0.17%であるが、P₁ではやや発錆が多く添加量は不足気みである。P₂では2年目にいたるまで3ヶ月時点とほとんど差はなく抑制効果がみられる。P₃では材令とともに徐々に増加の傾向にあるが、これは後述するようにP₃の影響ではなく加熱の影響である。同時に製作した非加熱供試体の場合はP₂とほとんど差はない。

Q₂水準ではP₃が最も効果があり、次いでP₂、P₁の順である。またこのP₂Q₂は加熱供試体で、前述のように非加熱供試体の場合はP₂の発錆量はP₁のそれの60%位で両者にながりの差がある。結局Q₂水準の場合は添加量は多いほど効果がある。ただし発錆量を少なくする

表-4 PQ2元表(2年)

P\Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃
P ₁	64	668	1315
P ₂	14	500	917
P ₃	107	231	1773

ことはできるがP₃でも不足で、発錆自体はかなりあり、発錆面積率は2年目で最高10%、平均6.5%程度に達しており今後も増大する傾向にある。

Q₃水準ではP₃はかえって発錆を刺激し逆効果となっている。これはO₁であり、実験Iでも同様の傾向にある。非加熱供試体の場合P₂とP₁とは大差はない。表-4における差はP₁が加熱供試体であるためと考えられる。Q₃水準のような高塩分量の場合は、もはや防錆剤で発錆をおさえることはできないようである。

次に加熱Rの影響は分散分析では3ヶ月以来1番小さいが、前述のように、同一供試体についての加熱供試体と非加熱供試体の発錆面積の比較をしたのが表-5である。R₂は常にR₁より大きく、あきらかに加熱・

表-5 加熱・非加熱供試体の発錆量比較(2年)

実験番号	R	発錆面積 合計	平均
2	R ₁	398	130
	R ₂	500	167
6	R ₁	23	8
	R ₂	107	36
7	R ₁	1126	375
	R ₂	1315	438

乾燥のくりがえしによる発錆促進効果がみとめられる。

防錆剤種類の効果は発錆面積ではO₃が最もよく、次いでO₂、O₁の順になっているが、O₃の発錆量は2年目で急増し、統計的な差はない。

4. おわりに

当然ながら鉄筋の発錆に関しては塩分量が支配的因子である。また防錆剤の効果は塩分量によって変化するるので、塩分量の多少によって、添加量を増減する必要がある。海砂使用にあたっては塩分分布状況を調べ十分管理し、また塩分が多いときは防錆剤を使用することによってかえって発錆を促進する場合もあるので、塩分を除去する措置を講ずべきである。

本実験の2年目までの結果からは、市販防錆剤3種の防錆性能は、全く差がないということではないが、使用にあたっては特に区別する必要はないようである。

1. 琉球大学理工学部紀要工学篇第7号(1974年3月)、第8号、第12号、第13号、第14号(1977年9月)
2. 具志幸昌：沖縄県における鉄筋コンクリート構造物の耐久性、セメントコンクリート、NO.363、1977年5月
3. 具志他2：コンクリート中の鉄筋の発錆実験(その1)、建築学会中・九支部研報第4号・1、S.53年2月
4. 同上 (その2)、土木学会第33回年講概要集第5部、S.53年9月
5. 同上 (その3)、土木学会西部支部研報、S.54年2月
6. 同上 (その4)、土木学会西部支部研報、S.54年2月