

V-272 コンクリート中の塩分による鉄筋の発錆に関する試験

—海砂コンクリートの12年曝露試験結果—

日本道路公団

正員 豊福 俊泰

古賀 文俊

ハ洋コンクリートコンサルタント(株) 正員 中村 修吾

1. まえがき

周知のように海砂に含まれる塩化物は、コンクリート中の鋼材の発錆を促進させ、鉄筋コンクリートの耐久性に大きな影響を与える。このため、日本道路公団試験所においては、昭和45年度から海砂の品質調査、海砂の含有塩分による鉄筋の発錆に関する屋外曝露試験と高温多湿下における促進試験²⁾、実橋における発錆調査³⁾などを行ってきた。本報告は、これらのうち昭和48年から12年間にわたる長期曝露試験結果を取りまとめたものである(材令3年までは既報参照⁴⁾)。

2. 試験内容

供試体は、図-1に示す曲げ強度試験用型わくに直径16mmの丸鋼、異形棒鋼を各々3段に配置し、コンクリートを打設した。細骨材は海砂を使用し、海水により細骨材中の塩分量(絶乾重量に対するNaCl換算重量比)の調整を行った。コンクリートの配合および試験要因は、表-1、2に示す通りである。

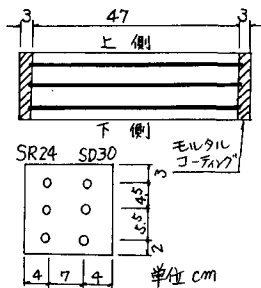


図-1 供試体

表-2 試験要因

番号 (No.)	単位セメント量 (kg)	防錆剤の有無	目標塩分量 (%)
1	240	無	0
2			0.01
3			0.03
4			0.05
5			0.075
6		A	0.1
7			
8			
9			
10		B	0.3
11			
12			
13			
14		A	0.5
15			
16	400	無	0.03
17			0.05
18			0.075
19			0.1
20			0.3
21			0.5

屋外曝露箇所は試験所（東京都町田市）屋上とし、材令1年、3年、5年、8年、12年に供試体を割裂した。発錆量の評価は、発錆面積率（鉄筋全表面積に対する発錆面積率）、鉄筋の重量減少率、孔食深さなどにより行った。

表-1 コンクリート配合

粗骨材 の最大粒径 (mm)	スランパ 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/m³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ポリス ノール No.5L	
25	12.5±1	4.5±0.5	66.7	39.0	160	240	720	1171	0.60	
	4.5±1	3.5±0.5	37.3	35.0	149	400	625	1205	1.00	

3. 試験結果

塩分量と鉄筋の発錆面積率との関係を示したものが図-2である。発錆面積率（丸鋼と異形棒鋼の平均値で示す。）は、塩分量0%~0.1%までは明確な塩分量の影響はなく、0.1%を超えると急激に増加している。鉄筋の発錆は、その発錆量の約70%近くが鉄筋の下側面に発生しており、ブリージング木の影響が大きいと考えられる。また、鉄筋位置による発錆面積率の差もあり、下段に比べ上段の方が多くなっている。

発錆面積率の経年変化は、図-3に示すとおりである。塩分量0.1%では発錆面積率は、非常に少ないが、材令12年目に% = 66.7%の場合やや増加傾向が見

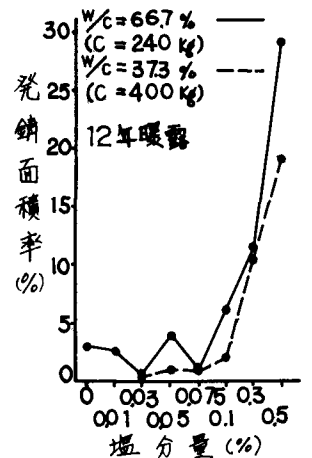


図-2 塩分量と発錆面積率

られる。また、塩分量0.3%と0.5%では発錆面積率は、経年と共に増加しており、12年経過後も増加する傾向が続いている。発錆に及ぼす水セメント比の影響は、 $W/C=66.7\%$ ($C=240\text{kg}$) より $W/C=37.3\%$ ($C=400\text{kg}$) の富配合の方が発錆量が少ない傾向があるが、水セメント比の低減(セメント量の増加)による防錆対策は、0.3%や0.5%程度の高塩分量になると困難である。鉄筋の発錆には中性化の影響が大きく、 $W/C=37.3\%$ では、中性化深さは平均1mm以下(0~2.7mm)であるが、 $W/C=66.7\%$ では平均4.5mm(0~20.2mm)であり、一部の供試体は中性化の影響を受けているものと考えられる。

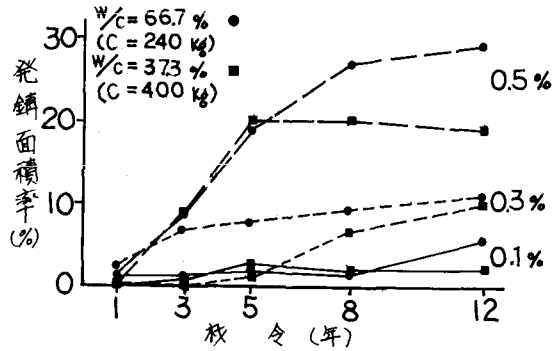


図-3 発錆面積率の経年変化

鉄筋の防錆対策として防錆材をコンクリートに混和した場合の発錆面積率を示したものが図-4である。防錆材は、材令5年程度までは0.1%~0.5%の高塩分量でも効果があり鉄筋の発錆面積率を2~3%に抑制している。しかし、材令8年になると0.5%の塩分量で発錆面積が増加し、材令12年では0.3%の塩分量でも発錆が進行している。

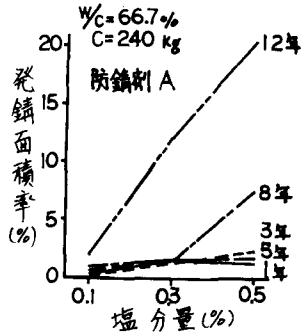


図-4 防錆剤の効果

一方表-3は、本曝露試験と材令がほぼ同じ13年間供用の実橋を取り壊して発錆状況を調査した結果³⁾をまとめたものである。PC橋とRC橋で水セメント比の差はあるが、平均塩分量が0.16%(CL総量720%)の場合は、孔食等の断面欠損を起すような発錆が多く生じているのに対し、平均塩分量が0.046%(同190%)の場合には重大な損傷を起す発錆は非常に少なく、曝露試験と同様な結果が得られている。しかしながら、コンクリート中では塩分の分布にかなり大きなばらつきが見られ、これによる発錆量の差が認められた。

4. あとがき
12年間の長期曝露試験結果と実橋の発錆量調査結果から塩分量0.05%~0.1%が発錆の許容限界値であることが判明した。

また、実構造物においては塩分量分布の変動が生じるため、0.1%程度の塩分量の場合、部分的には発錆の危険性があることが示されており、これに留意することが肝要である。

(参考文献)

- 1) 中村・海砂の品質、コンクリート・ジャーナル、VOL.12、NO.10、1974
- 2) 中村・金子：塩分を含むコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究、コンクリート工学、VOL.13、NO.1、1975
- 3) 中村・石谷：海砂を用いたRC橋及びPC橋の鉄筋発錆調査、鉄筋コンクリートにおける塩化物の影響に関するシンポジウム、1975.3、日本コンクリート会議
- 4) 豊福・細田：含有塩分による鉄筋の発錆に関する試験、土木学会第33回年次講演会概要集、1978

表-3 実橋の発錆調査結果(昭和35年建設、昭和49年解体)

橋名	鉄筋位置	発錆鋼筋数	平均がが(%)	鉄筋発錆の程度(%)						コンクリート中のNaCl分析結果
				0	20	40	60	80	100	
水無橋 RC橋 σ _{ck} =240kg/cm ²	上フランジ筋(上面)	36	7.2	A	B	C	D	E		$\bar{x}=21$ $\bar{y}=0.16\%$ $\text{max}=0.23\%$ $\text{min}=0.12\%$ (細骨材重量比)
	スタースラップ(側面)	24	4.0	B		C		D	E	
	下フランジ筋(下面)	60	4.5	B	C		D	E		
芝尾橋 PC橋 σ _{ck} =400kg/cm ²	上フランジ筋(上面)	36	3.5	A		B		C		$\bar{x}=18$ $\bar{y}=0.046\%$ $\text{max}=0.06\%$ $\text{min}=0.04\%$ (細骨材重量比)
	スタースラップ(側面)	48	3.0			A		B		
	下フランジ筋(下面)	36	4.0	B		G		D		

A=黒皮が残っている。 B=赤錆が一部に見られる。 C=赤錆が大部分に見られる。

D=錆が盛っている。 E=孔食等の断面欠損が見られる。