

防食鉄筋の耐久性評価

四国電力(株) 正会員 ○藤枝正夫
 四国電力(株) 正会員 重松俊一
 四国電力(株) 正会員 横田 優
 住友金属工業(株) 正会員 新井哲三

1. まえがき

コンクリート構造物が塩素イオンに起因する内部鉄筋の腐食により、早期に劣化する現象が各地で発生しており、社会問題になっている。こうした被害の防止対策として、海洋コンクリート構造物の防食指針(案)―JCI―等では、種々の方法を提案しているが、それぞれ問題もあり、経済性、耐久性に優れた新技術の開発が待たれている。本研究は、こうした現状から、防食鉄筋により、構造物に要求される耐久性を確保する技術の確立を目指して実施しているものである。なお、塩素イオン環境下における鉄筋の耐久性評価は、裸鉄筋のセメント上澄液浸漬試験および鉄筋コンクリート供試体の海岸暴露試験により行った。本報告では、このうち浸漬試験について述べる。

2. 供試鉄筋

今回の試験に用いた鉄筋を表-1、2に示す。このうち、エポキシ被覆鉄筋と亜鉛メッキ鉄筋は、防食鉄筋としてすでに実用化されているものである。また、成分調整鉄筋は、S、Siの含有量を両方または一方低減させたものに、W、Ni、Cu、Cr、Vを組合わせて添加し、錆の生成、成長を抑制する効果をねらって試作したものである。なお、エポキシ被覆鉄筋は、一部にきず(1.5×2mm)を付与したものを、また、成分調整鉄筋と普通鉄筋は、圧延のまま(圧延スケール付)のものと除錆したものの2種類を供試材とした。

表-1 供試鉄筋一覧表

鉄筋の種類	成分分析値(%)									摘 要
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V	W	
S-1 成分調整鉄筋(LowS)	0.24	0.33	0.65	0.010	0.003	0.01	0.01	—	—	
S-2 " (LowS, 0.1W, 0.2Cu, LowSi)	0.34	0.023	0.65	0.010	0.003	0.23	0.01	—	0.08	
S-3 " (0.2Cu, 0.1Cr, 0.1V)	0.17	0.32	0.65	0.010	0.07	0.23	0.10	0.115	—	
F 普通鉄筋(0.2C系)	0.23	0.19	1.36	0.016	0.014	0.01	—	—	—	
E エポキシ被覆鉄筋(")	0.23	0.19	1.36	0.016	0.014	0.01	—	—	—	膜厚 200±50 μ
Z 亜鉛メッキ鉄筋(")	0.23	0.19	1.36	0.016	0.014	0.01	—	—	—	白付量 400-600 g/m ²

3. 試験概要

供試鉄筋をセメント上澄液中に浸漬し、表面に不動態被膜を形成させた後、塩素イオンを含むセメント上澄液中に浸漬し、不動態被膜を破壊して錆が発生し始める塩素イオン濃度と錆の成長速度を調査した。

4. 試験結果および考察

4.1 不動態被膜の形成

セメント上澄液に浸漬後の鉄筋の自然電位を図-1に示すが、浸漬後電位は貴側に移行し、30日以降は、ほぼ一定の値となっている。これより、不動態被膜の形成は、1ヶ月程度で完了したと考えられる。

4.2 限界発錆塩分濃度

コンクリート中の塩化物含有量には、鋼材の腐食を引き起こさない範囲で許容される限界値(現界発錆塩分濃度)が存在するとされており、Hausmann¹⁾は、塩素イオンを含む飽和硫酸化カルシウム溶液浸漬試験により、その限界値を解明している。彼の試験では、約2週間の浸漬で錆の発生、電位の変化がない場合は、限

表-2 供試鉄筋の機械的性質

記号	降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %
S-1	35	50	2.7
S-2	38	56	2.4
S-3	37	53	2.8
FEZ	38	54	3.0

界に達していないとしていることから、これにならって今回の試験結果を整理すると、表-3に示すように、成分調整鉄筋の限界濃度は、普通鉄筋より1オーダー高くなっている。しかし、その後も浸漬を継続したところ、いずれの成分調整鉄筋も錆が発生した。

4.3 錆の成長速度

塩化ナトリウムを含有するセメント上澄液に3ヶ月浸漬後の腐食減量を図-2に示す。これより、成分調整鉄筋は、スケール付の場合、塩化ナトリウム濃度が0.3%以下では、腐食減量が普通鉄筋の50~70%と優れた耐久性を示した。しかし、プラスチック材については、濃度が高くなると普通鉄筋との差がなくなっている。また、亜鉛メッキ鉄筋は、塩分濃度にかかわらず、腐食減量は普通鉄筋（スケール付）の55~80%となっており、エポキシ鉄筋は、きずを入れた部分に点錆は発生したが、被覆部への進展は認められなかった。

4.4 耐久性の評価

今回の試験に使用した鉄筋の塩素イオン環境下における耐久性は、エポキシ被覆鉄筋>亜鉛メッキ鉄筋>成分調整鉄筋>普通鉄筋の順になっており、いずれの防食鉄筋も普通鉄筋より優れた耐久性を発揮した。特に、エポキシ被覆鉄筋は、施工時のきずを考慮しても極めて耐久性に優れており、干満帯等の厳しい腐食環境下に設置される鉄筋コンクリート構造物に対して、信頼性の高い劣化防止対策を実施するには、本鉄筋が適していると考えられる。また、成分調整鉄筋（スケール付）と亜鉛メッキ鉄筋は、ほぼ同程度の耐久性を発揮しており、このうち、成分調整鉄筋は、普通鉄筋と同様の取扱いが可能であるというメリットを持つことから、海岸部より少し内陸部での劣化防止対策用とか、他の工法と併用しての、より厳しい環境下での劣化防止対策用としての使用が考えられる。

5. あとがき

塩害による鉄筋腐食は、多孔体であるコンクリート中の水溶液（細孔溶液）に含まれる塩素イオンと、溶液および空隙中に存在する酸素によって発生、成長するとされているが、腐食と細孔溶液成分の関係については、未だ解明されていない。また、今回の試験において、圧延スケールが腐食の成長に影響をあたえることが判明した。そこで、今後は、細孔溶液成分を考慮しての裸鉄筋の耐久性評価と、圧延スケールの動きについての検討を行いたい。

〔参考文献〕

1) D.A.Hausmann;Materials Protection,VOL.8,No.10

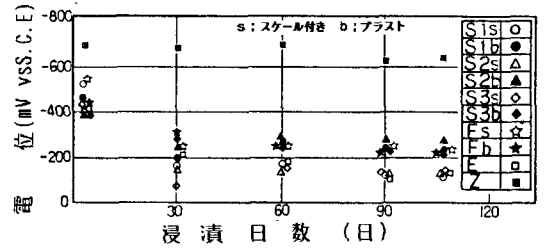


図-1 セメント上澄液浸漬後の電位変化(Cl⁻含まず)

表-3 NaCl 含有セメント上澄液中での発錆状況 (14日浸漬後の状況)

鉄筋の種類	0.003	0.03	0.3 (NaCl%)
	0.0018	0.018	0.18(Cl %)
普通鉄筋		発	錆
成分調整鉄筋		発	錆

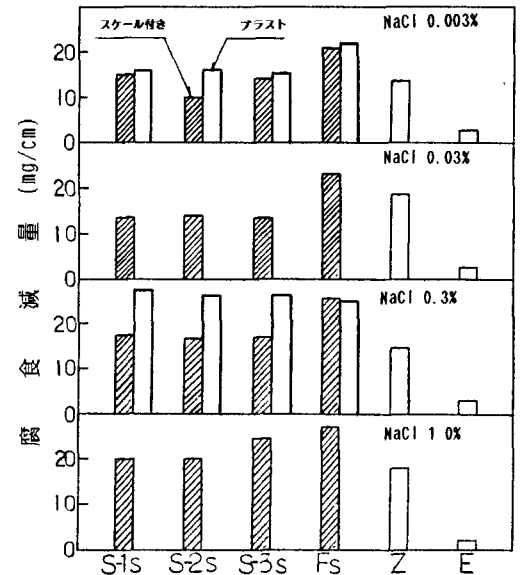


図-2 NaCl 含有セメント上澄液3ヶ月浸漬後の腐食減量