

[35] 耐塩鉄筋のコンクリート劣化防止性能

正会員 ○島田 春夫 (新日本製鉄第1技術研究所)
 木村 輝夫 (新日本製鉄建材開発技術部)
 早稲田 孝 (新日本製鉄条鋼技術部)
 榊原 義明 (新日本製鉄第1技術研究所)

最近海浜地帯に建設された土木建築コンクリート構造物や海砂使用の土木建築コンクリート構造物の中で10～20年の経過で劣化する傾向が認められその対策が急がれている。本研究は鋼自体の成分を調整するだけでこれら塩害によるコンクリート劣化を防止したり、可能なかぎりコンクリート劣化を遅らせることを目的として実施してきたもので以下にその内容を報告する。

2.1 実験概要

上記の成分調整系の耐塩鉄筋は初めての試みのため、公的な第三者機関でその性能を試験する適当な方法がなかった。が東大、建築学科、岸谷孝一教授の指導の下で、建築研究所、住宅都市整備公団を中心に開発されたテスト方法は、埋設鉄筋の錆成長促進と錆生成量の増大によってひき起こされるコンクリートのヒビ割れ発生、成長を直接観察できると同時に、実際の海浜地帯で塩害に10年、20年曝らされた実際のコンクリート構造物の著しい劣化に相当するスポーリング現象を数ヶ月の短時間で再現できることが分かった¹⁾。したがって塩害に曝らされたコンクリートにシュミレートさせた腐食液(NaClを含んだpH12のCa(OH)₂水溶液)中での鉄筋の陽分極特性、20日間の短時間の浸漬試験による錆発生の有無から、コンクリート中で優れた耐塩性を期待できるものを選び、とくにコンクリート中に含まれた塩分とコンクリートの劣化に焦点を置いて上記のコンクリート劣化促進試験に準拠した方法を用いて普通鉄筋と性能比較をおこなった。なお今回本研究用に選んだ耐塩鉄筋は開発研究の過程で鋼の高純度化技術(低Si、低S化)と極低温用コンクリート用鉄筋の需要を背景にして見付けたもので、最近3.5% NiにWを同時添加したものの耐塩性の飛躍的向上が見出されている。これらの有利な特徴は溶接、加工、運搬性能の点から普通鉄筋と同じように取り扱いが極めて簡単なことである。

2.2 供試鉄筋とコンクリート原料

コンクリートブロックに埋設される鉄筋は熱間圧延鉄筋でいずれも黒皮剥離後表面を#600研磨した後アセトン脱脂した。鉄筋の化学組成を表-1に示す。

表-1 埋設鉄筋の化学組成

埋設鉄筋	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	W (%)	Ni (%)	Al (%)
電炉製普通鉄筋	0.14	0.130	0.65	0.017	0.023	0.27		0.08	0.005
	0.13	0.080	0.55	0.023	0.017	0.44			0.004
耐塩鉄筋棒鋼 (SWCR)	0.25	0.008	0.60	0.011	0.001	0.23	0.12		0.023
耐塩鉄筋棒鋼 (SNCR)	0.21	0.050	0.30	0.011	0.001		0.012	3.48	0.022

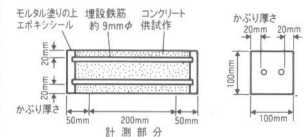


図-1 コンクリート供試体の形状寸法と配筋状況

コンクリート原料の配合と性質、砂中の塩分等は表-2に示すとおりである。又埋設鉄筋のコンクリートブロック中での配筋状況は図-1に示すとおりである。カブリ厚さを2.0cm、水セメント比を0.60としたのはコンクリートの劣化を促進するために稠密度の小さい建築用でしかもカブリ厚さも通常の3.0cmより低目にした。砂中塩分を0.5%に選んだ理由は「海浜地帯に10年間曝らされた土木用コンクリート(RCケタ)のコンクリート内部の塩化物の蓄積量³⁾および「海浜より800m内陸に入った建築用コンクリートの28年経過後のコンクリート内部の塩化物蓄積量⁴⁾を参考にして、埋設鉄筋近傍でこの値の約2倍としたものである。砂中塩分を1.0%に

選んだ理由は海洋に曝露された厳しい条件と錆の生成を著しく促進させコンクリート劣化を早めるためである。砂中塩分（細骨材中の塩分）は人工海水で添加し人工海水中のCl分をNaClとして砂中に換算したものである。

表-2 コンクリートの配合および試験結果

細骨材中の塩分量 (%)	混和剤		W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²) 材令 28 日
	種類	使用量			C	W	S	G			
0.5	ポゾリス	250	60	48	293	176	859	942	19.0	4.5	362
1.0	No. 70	cc/c=100kg							19.0	4.4	388

C：セメント，W：水，S：細骨材，G：粗骨材

備考：塩分量は絶乾細骨材の重量百分率，コンクリートの練り上り温度は20.0～21.0℃

2.3 実施方法ならびに結果

[相対湿度80%で28日間常温養生したコンクリートブロックを写真1の恒温、恒湿槽に挿入し、図-2に示す高温での乾湿くり返しの厳しい曝露条件で埋設鉄筋の錆生成、錆成長を促進させ、鉄の容積の約2.2倍に膨脹する錆の膨脹圧にコンクリートの引張り強さが耐え切れずに生ずるコンクリートのヒビ割れ発生と成長の経時変化を観察した。] その結果を図3と写真2に示す。

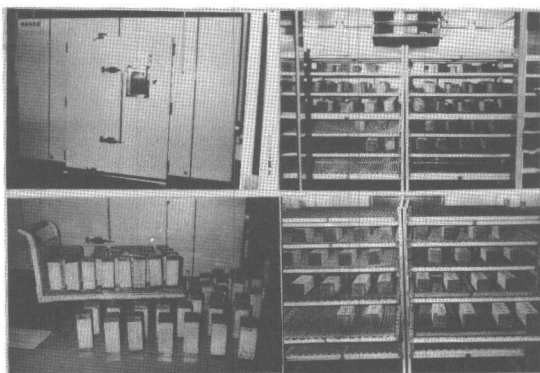


写真1. 恒温恒湿槽とテスト用コンクリートブロック

図3. 写真2から砂中塩分がNaCl換算で0.5%の場合には約1年近く経過してもCu-W系高純度鉄筋を埋設したものはヒビ割れが進展していないのに対して普通電炉鉄筋を埋設したものではすでに著しいスポーリングを起こしているのが認められる。3.5% Ni系高純度鋼鉄筋は砂中塩分1.0%でCu-W系高純度鋼鉄筋より優れているのでこの濃度での同等ない

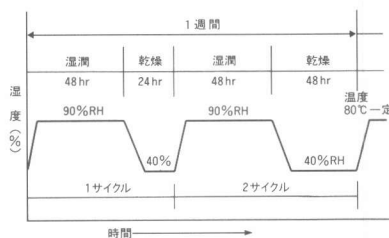


図-2 コンクリート埋設鉄筋の発錆促進条件

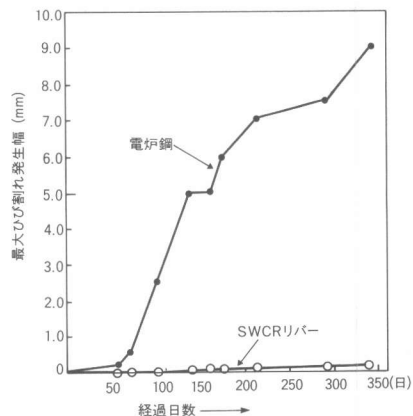


図-3a コンクリートヒビ割れ発生量の比較 (砂中塩分0.5%)

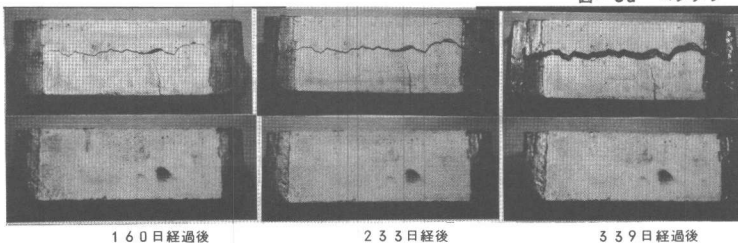


写真2a 砂中塩分0.5%のコンクリートのヒビ割れ発生、成長の経時変化

しそれ以上の耐塩性が予想できる。

又、砂中塩分 1.0 % 場合には 70 日間経過ですでに普通鉄筋を埋設したコンクリートブロックで著しい劣化が認められており、耐塩鉄筋を埋設したものでもコンクリートの劣化が始まっており、高濃度の塩分に曝らされた場合にはコンクリート劣化の停止が難かしいことが分かる。

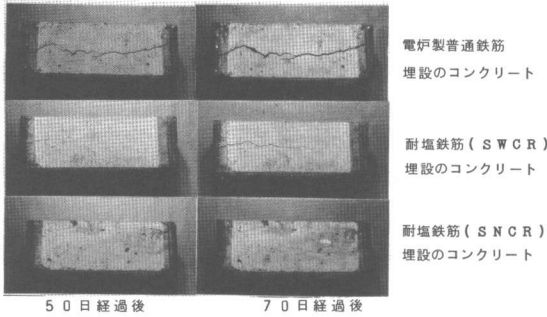


写真 2b 砂中塩分 1.0% のコンクリートのヒビ割れ発生、成長の経時変化

ただ最近、塩害に曝らされたコンクリートにシュミレートさせるために極めて高濃度の塩分の 3.6 % NaCl を含んだ pH12 の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液中での静止電位の経時変化 (液は 3 日毎に更新) (図 - 4) から 3.5 % Ni - 0.1 % W 系高純度鋼が普通鉄筋と比較して著しく貴側にずれ、 -240 mV vs SCE より常時、貴になっているので上記の砂中塩分 1.0 % の高濃度の塩分でもコンクリート劣化防止に有望である。

さて [今回テストした埋設鉄筋はいずれも表面に錆層が生成しており、本試験の埋設鉄筋の腐食減量の経時変化 (図 - 5⁶⁾) から、この錆層の生成量の大小、この錆層の時間経過にともなう成長の大小によってコンクリート劣化が停止したり、遅れたり、促進されることが明瞭に認められた。

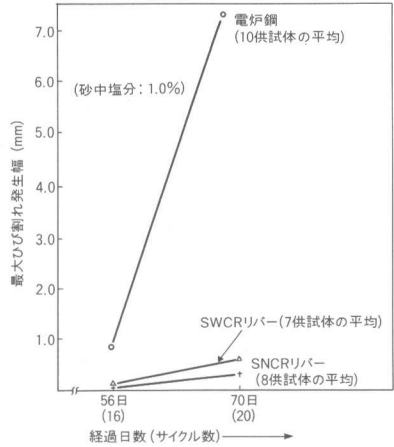


図 - 3b コンクリートヒビ割れ発生比較 (砂中塩分 1.0%)

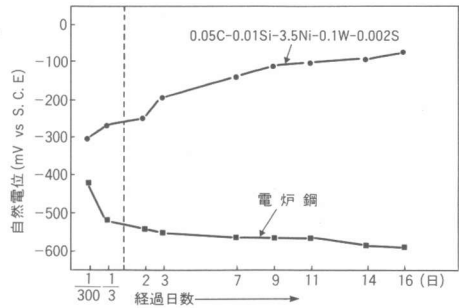


図 - 4 3.6% NaCl + pH12 Ca(OH) 水溶液中の静止電位経時変化

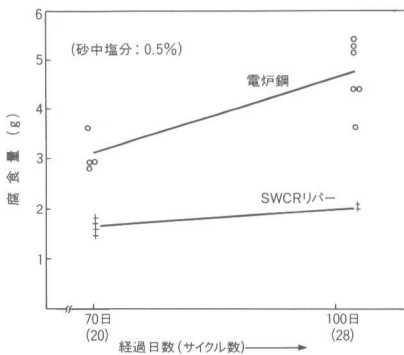


図 - 5a 埋設鉄筋の腐食減量 (砂中塩分 0.5%)

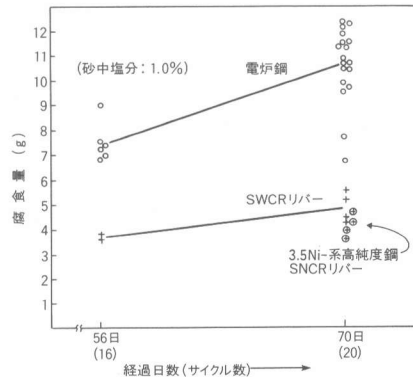


図 - 5b 埋設鉄筋の腐食減量 (砂中塩分 1.0%)

この機構は高純度化による錆生成、錆成長の抑制と高純度鋼への Cu, W 同時添加ないし Ni の添加による錆自体の改質による錆成長抑制効果を説明できる。[その基本原理は図 - 6 に示すとおりである。⁵⁾⁶⁾] この図から Ni, W

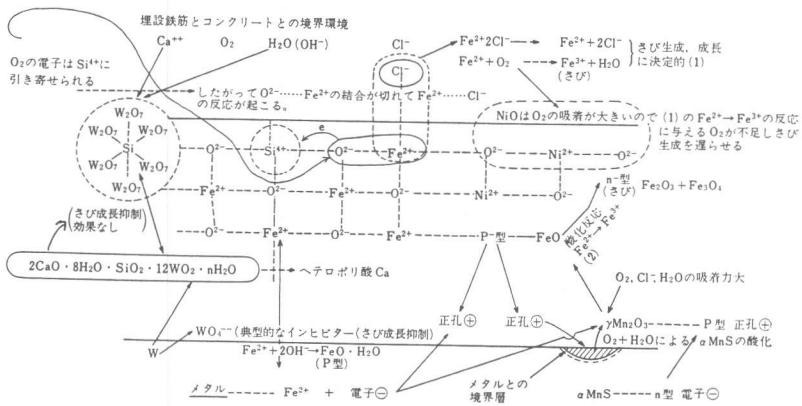


図-6 埋設鉄筋がコンクリートを浸透してきたCl⁻含有O₂飽和のH₂Oと接した場合の錆層形成に与える鋼中Si, S, W, Niの役割

同時添加も効果のあることが容易に推定できる。

- Si 低減効果: Si⁴⁺はO²⁻に属する電子を自分の方に引き寄せるためFe²⁺とO²⁻の結合を弱める。その結果、Fe²⁺はCl⁻と結合し易くなり不動態被膜からFe²⁺が解放され易くなる。Si低減はこの作用を減らす。
- Si 低減効果: 効果のない2CaO · 8H₂O · SiO₂ · 12WO₃ · nH₂Oを減らし、錆抑制効果のあるWO₄²⁻の量を増す。
- S 低減効果: 錆生成起源のMnSの低減(MnSから生じたγMn₂O₃はFeOをFe₂O₃ + Fe₃O₄の錆に変える)
- W添加の効果: 典型的なWO₄²⁻インヒビターの形成と錆層のFe³⁺と置換してFe³⁺ → Fe²⁺の還元反応に与る。
- Ni添加の効果: FeO層中のNiOは酸素を強く吸着する結果Fe²⁺ → Fe³⁺ + H₂Oの反応に与るO₂量を減らす。

3. 結論

コンクリート原料の砂中塩分を変化させて普通鉄筋を埋設させたコンクリートブロックと耐塩鉄筋を埋設させたコンクリートブロックを80°Cの高温で乾湿くり返しの厳しい条件に曝露してコンクリート劣化の経時変化を観察した。その結果以下のことが分かった。

- (1) コンクリート中の埋設鉄筋近傍の砂中塩分が0.5%に達しても耐塩鉄筋の錆成長は普通鉄筋の場合より著しく遅れ、コンクリート劣化を防止できる。
- (2) コンクリート中の埋設鉄筋近傍の砂中塩分が1.0%に達した場合には、耐塩鉄筋を埋設したもののコンクリート劣化は普通鉄筋埋設のものと比較してコンクリート劣化を遅らせることができるが防止はできない。
- (3) 3.5%Ni-W系高純度鋼鉄筋の場合には高塩分濃度でもコンクリート劣化防止に有効な可能性がある。

文 献

- (1) 岸谷孝一, 友沢史紀, 福土 勲, 櫻野紀元: 日本建築学会大会学術講演概要集 No.1113, 昭和58年9月
- (2) 島田春夫: セメント・コンクリート, No.434 Apr P23/31 1983年
- (3) 太田利隆他: 第22回北海道開発局技術研究発表会, 1979年12月
- (4) 川上英男: 日本建築学会大会学術講演概要集No.1110, 昭和58年9月
- (5) 島田春夫: 建築の技術施工, No.229, 1, P155 1985年
- (6) Haruo SHIMADA: paper No.218, Corrosion '86, NACE Annual Meeting, March 1986