

V-276 内陸で9年間屋外暴露された海砂使用コンクリート中の鉄筋発錆について

九州産業大学 正会員○山崎竹博
同 正会員 宮川邦彦
九州工業大学 正会員 渡辺 明

1. まえがき

R C構造物中の鉄筋は、一般に、水酸化カルシウムのアルカリ環境下にあるため、腐食に対して耐久である。しかし、近年の海産骨材の使用などによる塩素イオンの存在下では、アルカリ環境であっても鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され、鉄筋の腐食を招く例が多く報告されている。鉄筋の発錆は表面の不動態皮膜の破壊が必要条件ではあるが、この外、溶存酸素の供給や水分の存在などが必要となる。

本研究では、これらの要因と関連する施工条件に海砂の塩分量、鉄筋のかぶり、ひびわれ幅を選び、長期間屋外放置したR Cはりの性質および鉄筋発錆状況を追跡調査している。

2. 実験概要

1) 供試体： 暴露供試体はD13mm鉄筋を用いた15×15×120cmのR Cはりであり、図-1に示すようにかぶりを15、35、55mmの3種類とした。コンクリートには普通ポルトランドセメントを使用し、W/C=61%，s/a=48.5%，単位セメント量328kg/m³の配合とした。この時、細骨材の塩分量は乾燥質量の0、0.1、0.3、0.5%となるように、川砂に混練水として所定量の海水を混合して調節した。また、供試体は暴露前に曲げ試験を行い、最大ひびわれ幅が0.2mmとなるまで載荷した後、図-2のように最大0.2mm幅となるように鋼棒で拘束した。

2) 試験項目： 暴露供試体の発錆状況を1、3、6、9年で調査した。測定項目は、ひびわれ幅、コンクリートの強度、弾性係数、中性化深さ、pH、可溶性塩分量、および鉄筋の発錆面積、腐食鉄筋の引張強度などである。

3. 実験結果および考察

1) 塩分量とコンクリートの強度： コンクリートの圧縮強度の経年変化を表-1に示した。値は直径10cmの円柱供試体3本の平均であり、定量的比較は難しいが、塩分量0と0.1%とはほぼ同強度となり、0.3%程度で初期および長期強度ともに最大となる結果を得た。弾性係数についても同様の結果となった。

2) 中性化深さの進行： 供試体両端部から5cmと中央断面を割裂してフェノールフタレンを散布し中性化深さを測定した。一例を図-3に示す。打設後9年間の中性化は、風雨を受ける供試体の放置上面および常に乾燥して炭酸化する放置下面で最も著しく、また、図-4のように塩分量の増加につれてやや進行が早くなるようである。供試体両側面ではCa(OH)₂が上部から移動し中性化は小さいものと考えられる。このように、本実験では

鉄筋位置まで中性化は進んでなく、また、鉄筋周囲でのコンクリートのpHはほぼ13であった。

3) 可溶性塩分量の変化： 打設時に海砂の乾燥質量に対して混入した塩分の9年後の値を測定した。

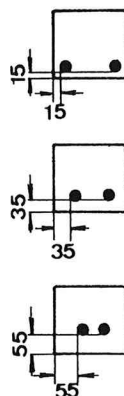


図-1 配筋とかぶり

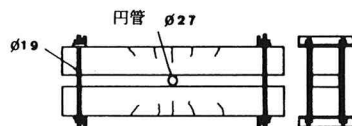


図-2 ひびわれの拘束状態
表面ひびわれ幅0.2mm

表-1 コンクリートの圧縮強度

記号	圧縮強度 (単位 Kg/cm ²)					
	σ _{7日}	σ _{28日}	σ _{1年}	σ _{3年}	σ _{6年}	σ _{9年}
K-00	196	293	370	371	376	331
K-01	173	268	360	373	331	346
K-03	254	323	410	440	402	401
K-05	197	255	401	400	370	389

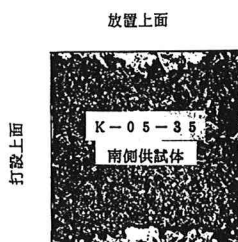


図-3 中性化状況

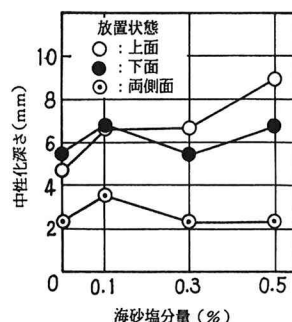


図-4 塩分量と中性化

その結果を同じく海砂の乾燥質量に対する割合で図-5、図-6に示した。供試体中の塩分は図-5のように、はり全体に渡りモルタル分の多い打設面上部で多くなっている。これらの値を各供試体ごとに平均して目標塩分量との関係を図-6に示した。その結果、打設後9年間で

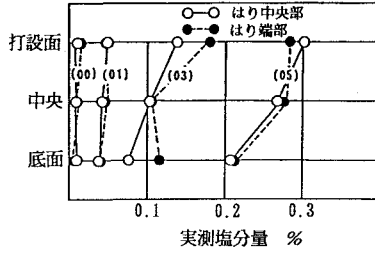


図-5 塩分の断面内分布

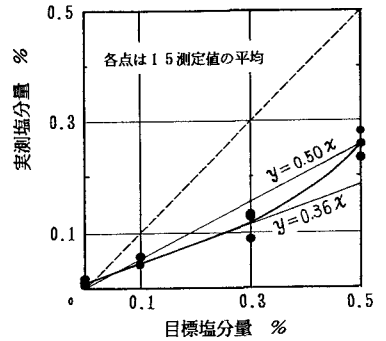


図-6 目標塩分と実測塩分

混入塩分は固定化され、可溶性塩分量は初期の量の36%～50%になっていることが分かった。その経年変化は図-7に示すように、打設後1年以内に急速に進行し、以後ほぼ一定状態であった。しかし、9年目の今回ではさらに塩分量の減少傾向が見られた。

4) 鉄筋の発錆面積： はり解体後、異形鉄筋に透明なテープを貼り発錆部分を描写した後、その拡大コピーを切り抜いて1万分の1gまで質量測定した。その値と基準面積の質量との比較から発錆面積を算定し、鉄筋全表面積に対する比率を求めた。

図-8は、塩分量には無関係に、各かぶり厚さごとに発錆面積率の経年変化を示したもので、かぶり厚さ15mmでは明らかにかぶり不足による発錆面積率の増大が認められる。また、暴露期間6年目から9年目に発錆面積率が増加している原因は図-9に示す塩分量が強く影響していると考えられる。すなわち、かぶりには無関係に各目標塩分量ごとに発錆面積率の経年変化を見ると、図-9のように塩分量0.5%で発錆面積率の急増が生じており、これが各かぶりごとの平均値に算入されているためである。また、海砂塩分量の鉄筋発錆への影響については、図-9から塩分量0.3%以内では特に著しい発錆の心配は無いようである。ちなみに、海砂乾燥質量に対する塩分量0.3%をコンクリート中の塩素イオン質量に換算すれば1.4 kg/m³となり、現行の示方書の塩分規定0.6 kg/m³の安全性を確認することができる。

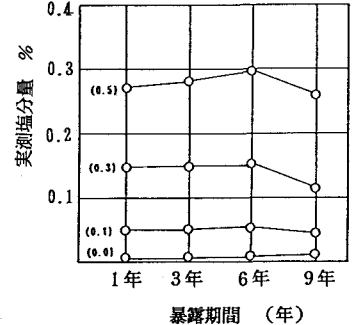


図-7 可溶性塩分の変化

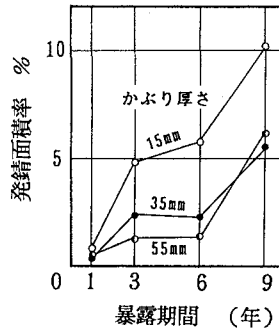


図-8 かぶり厚さ別の発錆面積率

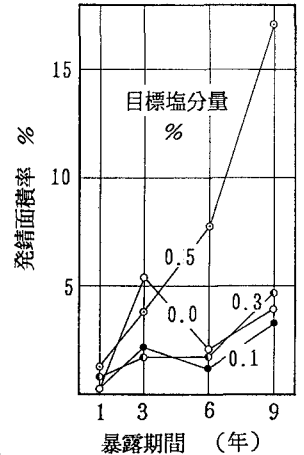


図-9 塩分量別の発錆面積率経年変化

5) ひびわれ幅と鉄筋の発錆： 暴露供試体は最大表面曲げひびわれ幅0.2mmを拘束状態で維持していたが、錆は鉄筋全体に分布し、特にひびわれ箇所と発錆位置との関係は認められなかった。また、当初の予想に反して、鉄筋の折曲部には加工時の傷に起因すると考えられる数例の発錆を除けば全く錆は見られなかった。

発錆面積率は塩分量0.5%、かぶり15mmの例で最も大きく19.7%にもなったが、その錆は鉄筋表面に薄く分布し、鉄筋の降伏点や引張強度、伸び率などには全く変化は見られなかった。

4. まとめ

本実験では海砂使用に関する総合研究の一環として低強度のコンクリートを対象にしたが、現在までのところ、施工が十分であれば海砂の塩分量を0.3%以内に管理することで著しい鉄筋の発錆は防止できるとの結果を得た。しかし、中性化深さの進行に伴い今後の継続研究が必要と考えられる。