

高炉セメントを使用したコンクリート中の鉄筋の腐食発生確率に関する検討

東亜建設工業(株) 正会員 ○網野 貴彦
 東亜建設工業(株) 正会員 羽瀨 貴士
 東亜建設工業(株) 正会員 上村 恭子
 金沢工業大学大学院 学生会員 花岡 大伸

1. はじめに

既往の研究によれば、鉄筋の腐食発生限界塩化物イオン濃度として $1.2^1)$ 、 $1.88^2)$ 、 $2.5^3)$ kg/m³などが提案されているが、これらの値に対して未だ統一した見解は得られていない。そこで、本稿では、港湾構造物で多く使用される高炉セメントB種を用いた鉄筋コンクリート供試体を作製し、コンクリート中の塩化物イオン濃度、かぶり、鉄筋径、水セメント比、環境温度を変化させて鉄筋の自然電位および腐食速度の測定を行い、種々の条件の違いを考慮した塩化物イオン濃度と鉄筋の腐食発生確率について検討した結果を述べる。

2. 実験概要

本検討では、図-1に示すように、長さ10cmの異形鉄筋を所定のかぶり位置に3本ずつ配置し、鉄筋の両端部に測定用のステンレス端子を取り付けたコンクリート供試体を用いた。また、コンクリートの配合は表-1に示すものとし、コンクリート中の塩化物イオン濃度を練混ぜ水に塩化ナトリウムを添加することにより調整した。

検討ケースを表-2に示す。本検討では、ケース2(W/C=55%, D16, d=5cm)を基準ケースとして、ケース1, 3ではかぶり(d=2, 7cm)、ケース4, 5では鉄筋径(D10, D25)、ケース6では水セメント比(W/C=45%)を変化させた。なお、ケース1~6の供試体は温度20°C、相対湿度80%の環境に曝露し、打設3ヵ月後に自然電位および腐食速度の測定を行った。また、ケース7の供試体では、環境温度の影響を検討するため、温度20°C、相対湿度80%の環境で28日間養生した後、所定の温度、湿度でそれぞれ2週間ずつ曝露してから測定を行った。なお、自然電位は銅硫酸銅電極により測定し、腐食速度は分極抵抗(二重対極センサーによる交流インピーダンス法)の測定値から算出した。

3. 鉄筋の自然電位と腐食速度の関係

かぶり、鉄筋径、環境温度を変化させたときの自然電位と腐食速度の関係を図-2に整理した。これを見ると、鉄筋の自然電位と腐食速度の関係は、かぶり、鉄筋径、環境温度などにより異なる傾向を示すが、いずれのケースも自然電位が-200mV(vs CSE)より貴であると腐食速

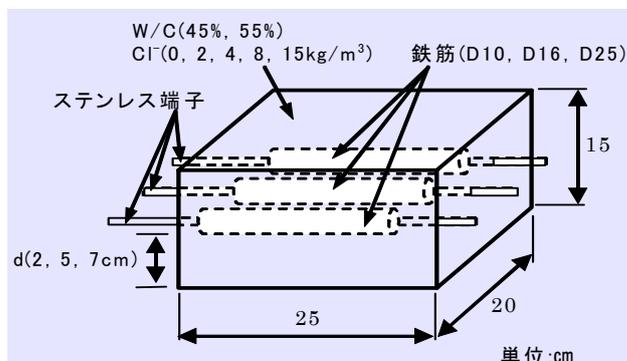


図-1 供試体概要

表-1 コンクリート配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)				
	W	C	S	G	Ad
55	164	294	788	1056	2.94
45	173	406	734	1053	3.53

※ 高炉セメントB種(スラグ混入率40~45%)

※ AE減水剤を使用

表-2 検討ケース

ケース	W/C (%)	径	かぶり (cm)	曝露環境	塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	供試体の数 ^{注)}	鉄筋数
1	55	D16	2	20°C 80%RH	各ケース に対して 0, 2, 4, 8, 15の 5種類	15	45
2	55	D16	5			15	45
3	55	D16	7			15	45
4	55	D10	5			15	45
5	55	D25	5			15	45
6	45	D16	5	10, 20, 30, 40°C の4種類 95%RH	各ケース に対して 2, 4, 8の 3種類	3	9
7	55	D16	5			3	9

注) ケース1~5: 塩化物イオン濃度の5種類×各3体

ケース6~7: 塩化物イオン濃度の3種類×各1体

キーワード 腐食発生限界塩化物イオン濃度, 自然電位, 腐食速度, 高炉セメント, 腐食発生確率

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL045-503-3741

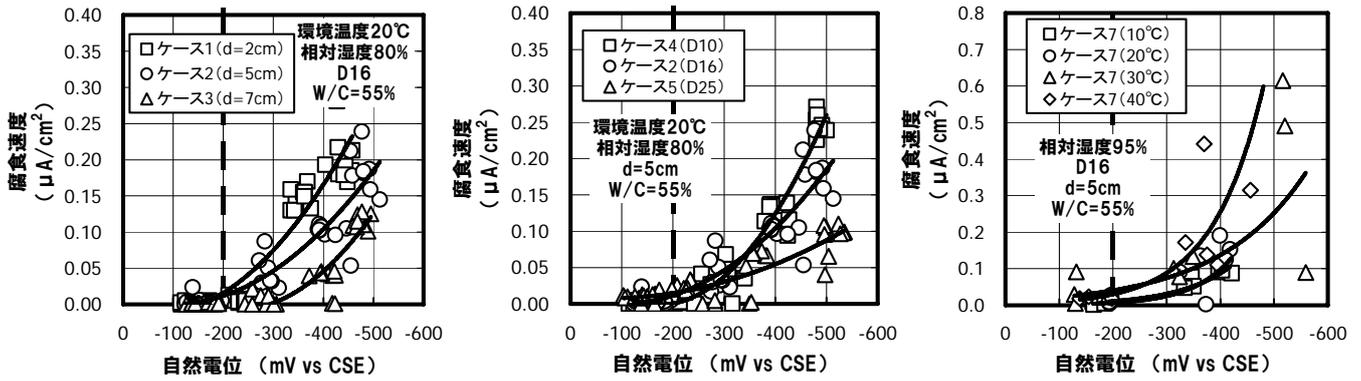


図-2 自然電位と腐食速度の関係

度はほぼ0となっている. このことから, 本検討の範囲では, 腐食が開始される時の自然電位を-200mV (vs CSE) と設定できるものと考えられる.

4. 自然電位の測定結果から推定した腐食発生確率

表-2に示した全ケースについて, 鉄筋の自然電位とコンクリート中の全塩化物イオン濃度の関係を, 図-3に示すように同じグラフ上にプロットし, 各塩化物イオン濃度に対する測定値のばらつきを正規分布としたときの確率密度曲線を計算した. なお, この確率密度曲線は母集団の平均値がt分布, 標準偏差が χ^2 分布に従うとし, 信頼度を50%として推定したものである. この分布を用いて, 自然電位-200mV (vs CSE) を下回る確率を計算した結果が図-4である. この図によれば, セメント従量で0.4%の塩化物イオン濃度(一般的な港湾構造物のW/C=55%, C=300kg/m³に換算すると1.2kg/m³)のときに腐食発生確率が上昇し始め, 腐食発生確率が15%となるのは0.65%(2.0kg/m³), 30%では0.8%(3.0kg/m³), 90%で1.3%(4.0kg/m³)と推定される. このことから, 高炉セメントB種が多く使用される港湾構造物の腐食発生限界塩化物イオン濃度としては, 文献1)にて示される1.2kg/m³は非常に安全側であり, 文献2), 3)で推奨される1.88~2.5kg/m³としても十分安全側の指標になっているものと考えられる. ただし, 今後, 外来・内在など塩分供給経路の違い, 湿度やマクロセルの影響を加えた検討を行い, より信頼性の高いものにする必要がある.

5. まとめ

本検討では, 高炉セメントB種を使用し, かぶり, 鉄筋径, 塩化物イオン濃度, 水セメント比, 環境温度を変化させたときのコンクリート中の鉄筋の自然電位の測定結果から, 鉄筋の腐食発生確率図を提案した.

参考文献

- 1) 土木学会: 2002年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編, p.24, 2002.3
- 2) (財)東京港埠頭公社: 大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル, p.32, 2004.6
- 3) (財)土木研究センター: コンクリートの耐久性向上技術の開発, p.67, 1989.5

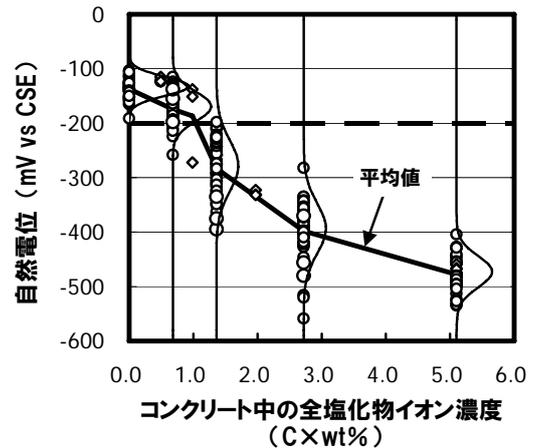


図-3 塩化物イオン濃度と自然電位の関係

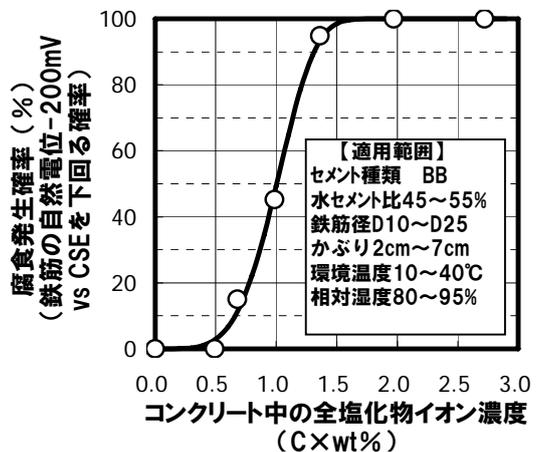


図-4 塩化物イオン濃度と腐食発生確率の関係