

塩化物イオン濃度と自然電位による鉄筋腐食状態の評価に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○伊藤拓也
 名古屋高速道路公社 正会員 鷺見高典
 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 梅原秀哲

1. はじめに

コンクリート構造物は、海水、凍結防止剤等による塩害に脅かされている。この時、自然電位あるいは塩化物イオン濃度の値だけでは鉄筋の腐食を評価することは難しい。そこで、塩化物イオン含有量および鉄筋の自然電位に着目し、これらと鉄筋の腐食面積率の関係から鉄筋の腐食状態の評価について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 実験用供試体

供試体には、表-1 に示すW/C、かぶり、塩化ナトリウム混入量のそれぞれに対して3タイプ選定し、これを組合せた27通りのものを作製した。寸法は図-1 に示す角柱に、D16 の異型鉄筋を配筋した。測定する上面からのみ塩化物イオン、水等が侵入するように、上面以外と鉄筋の突出部は塗装により被覆した。塩害の環境を模擬するために材齢28～138 日までは 20%濃度の塩水と水道水をそれぞれ週 1 回 0.1 l/m^2 、週 2 回 4.1 l/m^2 散布し、材齢 139～384 日までは水道水を、材齢 385～495 日までは再び塩水と水を、材齢 496～693 日までは再び水のみを散布した。

(2) 自然電位、塩化物イオンおよび腐食面積率の測定方法

塩化物イオン濃度は JCI-SC4 に準拠して深さ 0～2cm, 2～4cm, 4～6cm から材齢 385 日に試料を採取し、それぞれ深さ 1cm, 3cm, 5cm における塩化物イオン濃度として取り扱い、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に示される Fick の第 2 法則から材齢 385 日と 693 日のかぶり位置における塩化物イオン濃度を求めた。自然電位は JSCE-E601-2000 に準拠し、銅－硫酸銅電極を使用して図-1 に示した3点で測定し、温度補正後の最小値を測定値とした。本文中の単位「mV」は「mV vs. CSE, 25℃」を表す。鉄筋の腐食面積率は材齢 385 日と 693 日に鉄筋を取り出し、JCI-SC1 を準用して測定した。

表-1 供試体の諸元

分類	諸元
W/C (%)	45, 55, 65
かぶり (cm)	2, 4, 7
塩化ナトリウム混入量 (kg/m^3)	0, 1.2, 2.5

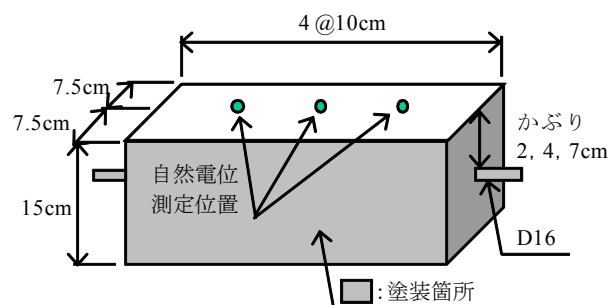


図-1 供試体の寸法と測定位置

3. 実験結果と考察

材齢 385 日および 693 日の自然電位、鉄筋の腐食面積率、かぶりの深さにおける塩化物イオン濃度の予測値のそれぞれの関係を図-2～図-4 に示す。図-2 では塩化物イオン濃度が 5 kg/m^3 程度まで、ほとんど腐食が確認されていない。塩化物イオン濃度が $1.2 \sim 2.4 \text{ kg/m}^3$ 程度に達すると鉄筋に腐食が生じる確率が高くなるが、実験期間は材齢 693 日までで鉄筋が塩化物イオンに曝されている時間が短いため腐食の進行が少ないものと思われる。しかしながら、塩化物イオン濃度が $5 \sim 6 \text{ kg/m}^3$ を超えると自然電位も低下し、曝される時間が短くても腐食が疑われる。これは塩化物イオン濃度が高いと鉄筋の腐食が発生しやすい¹⁾とされている傾向と一致している。そこで、図-2 では塩化物イオン濃度 5 kg/m^3 程度で腐食面積率 5%を超え始め、 6 kg/m^3 以上で腐食面積率の増加傾向が鮮明になることから、この範囲を回帰分析により近似すると式(1)が得られる。しかしながら、図-2 には塩化物イオン濃度が 5 kg/m^3 を超えても腐食が確認されていない場合があり、塩化物イオン濃度のみでは鉄筋の腐食を判断することに限界があるものと思われる。

次に、図-3 より自然電位が -400 mV より卑で鉄筋の腐食が見えはじめ、腐食面積率は 5%を超えると -450 mV より

キーワード 塩化物イオン濃度、自然電位、腐食面積率、塩害、非破壊検査、鉄筋腐食

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL052-732-2111

卑となる．これまでも自然電位と腐食面積率の間には一定の傾向が報告されており²⁾，-400mVより卑側の範囲を回帰分析により近似すると図-3に示す式(2)が得られる．したがって，腐食面積率が5%以上の範囲では，自然電位から腐食面積率の把握が可能であると思われる．

最後に，図-4では，塩化物イオン濃度が上がるにつれ，自然電位は卑に向かう傾向が示されている．塩化物イオンが電子を移動させる働きをし，塩化物イオン濃度が高いと電位は卑へと移行するといった文献1)に一致する．ここで，図-3の関係から自然電位が-400mV以下の範囲に着目し，鉄筋に腐食が確認されている場合の塩化物イオン濃度 5kg/m^3 以上の範囲を回帰分析により近似すると式(3)が得られる．

$$A_c = 0.004 e^{1.1C_{\text{den}}} \quad (R^2=0.411) \quad \cdots \text{式(1)}, \quad A_v = 0.0001 e^{-0.02V_{\text{po}}} \quad (R^2=0.836) \quad \cdots \text{式(2)},$$

$$V_c = -44.4C_{\text{den}} - 215.2 \quad (R^2=0.461) \quad \cdots \text{式(3)}$$

ここに， A_c ：塩化物イオン濃度から予測される鉄筋の腐食面積率(%)， C_{den} ：塩化物イオン濃度の予測値(kg/m^3)， A_v ：自然電位から予測される鉄筋の腐食面積率(%)， V_{po} ：自然電位(mV)， V_c ：塩化物イオン濃度から予測される自然電位(mV)， R^2 ：決定係数

したがって，本実験結果からは，塩化物イオン濃度が 5kg/m^3 以上で鉄筋の腐食が生じる可能性が高くなり，この時，自然電位が-450mVより卑であると腐食面積率は5%以上となる傾向が示された．本研究から，鉄筋の腐食は塩化物イオン濃度のみで評価するよりも自然電位と合わせて評価することにより，信頼度が向上させられるものと思われる．また，塩化物イオン濃度と腐食面積率の関係では，文献2)で塩化物イオン濃度が高いと鉄筋の腐食が生じやすいと報告されていることから，劣化因子の影響を受ける時間について考慮する必要があると思われる．更に，材齢，W/C，コンクリート比抵抗の値等を加えて鉄筋の腐食に対して多角的に評価することによって，より評価に対する信頼度は増すものと思われる．

4. まとめ

本実験結果から，塩化物イオン濃度が 5kg/m^3 以上で鉄筋に腐食が生じていると予想され，この時，自然電位が-450mVより卑であると鉄筋表面の5%以上が腐食していることが明らかとなった．

参考文献

- 1) 網野貴彦，羽瀧貴士，守分敦郎：種々の条件を変化させたコンクリート中の鉄筋の腐食速度及び腐食発生限界塩化物イオン濃度に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.30，No.1，pp.1113-1118，2008．
- 2) 片山真，鷺見高典，梅原秀哲：コンクリートの諸要因および含有塩分量が鉄筋腐食に与える影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.30，No.1，pp.1083-1088，2008．

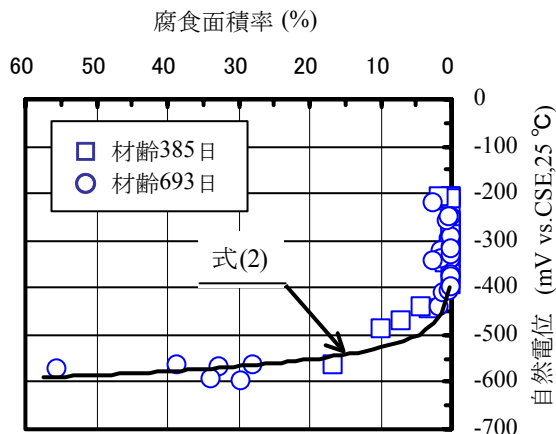


図-3 自然電位と腐食面積率の関係

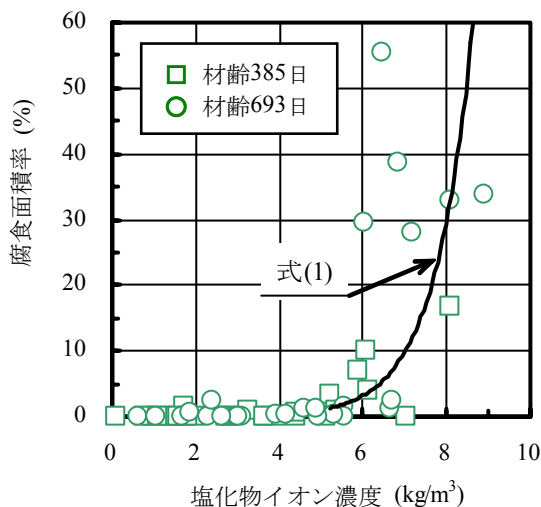


図-2 塩化物イオン濃度と腐食面積率の関係

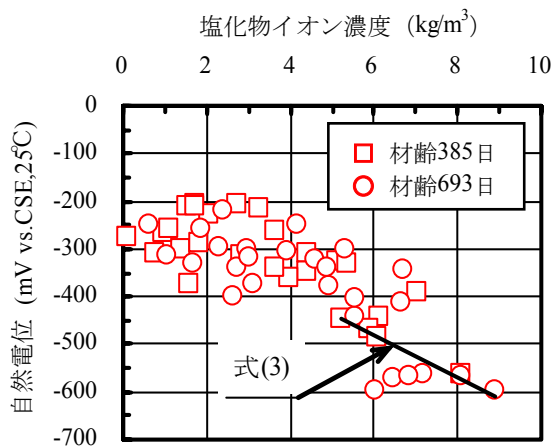


図-4 塩化物イオン濃度と自然電位の関係