

アルカリ量が鉄筋腐食に及ぼす影響に関する基礎的研究

(株) 四国総合研究所 正会員○横田 優, 正会員 松場新吾
四国電力(株) 正会員 立川貴重, 米澤和宏

1. はじめに

塩害による鉄筋腐食が起きるときの塩化物イオン濃度については、我が国においては一般にコンクリート 1 m^3 当り $1.2\sim 2.5\text{ kg}$ 程度、海外ではセメント量に対して 0.4% 程度と言われている。本研究は、アルカリ骨材反応と塩害の複合劣化を起こしているコンクリート構造物についてはアルカリ含有量が多いことから、塩害単独よりも腐食しにくいのではないかという疑問からスタートしたものである。今回は、反応性骨材は使用せずにアルカリ量のみを調整した鉄筋モルタル供試体を作製し、内部鉄筋の自然電位や分極抵抗値から鉄筋の腐食性を評価した結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 実験因子および水準：実験因子は、添加する塩化物の種類と量およびアルカリ量とし、図-1 に示す 45 ケースについて検討した。添加する塩化物は NaCl と CaCl_2 の 2 種類である。セメントに含まれる塩化物量 (Cl^-) およびアルカリ量 (R_2O) はそれぞれ 0.013% 、 0.54% であった。不足するアルカリ量は NaOH と KOH を半分ずつ添加して調整した。

(2) 供試体：それぞれのケースについて、 $\phi 5\text{ cm}$ 、高さ 10 cm の円柱モルタル中央に、両端を塗装した異形棒鋼 D10 (SD295、未塗装部の試験長さ 5 cm) を埋め込んだ鉄筋モルタル供試体を 12 体作製した。水セメント比は 0.55 、単位セメント量は 425 kg/m^3 、セメントは普通ポルトランドセメント、砂はセメント強さ試験用標準砂、水は水道水を用いた。添加するアルカリと塩化物は特級試薬を用いた。

(3) 養生条件：モルタルを打設した翌日に脱型し、温度 20°C 、 $\text{RH}95\%$ の恒温恒湿槽内に保管した。また、同時に作製した圧縮強度用モルタルは、同気中湿潤養生と標準養生 (20°C 水中養生) の 2 種類とした。

(4) 測定項目および方法：材齢 28 日において、一軸圧縮強度等のコンクリート物性試験 (各ケース 3 体) を行うとともに、 20°C の恒温室内で、自然電位および分極抵抗等の電気化学的測定 (各ケース 12 体) を実施した。なお、自然電位は銀塩化銀照合電極による測定を行い、結果は 25°C での銅硫酸銅照合電極 (CSE) 基準に換算した。分極抵抗 R_p は 10 Hz と 20 mHz の 2 つの周波数の交流インピーダンス値から求めた見かけの分極抵抗 R_p' (Ω) に鉄筋の全表面積 15 cm^2 を掛けて求めた。結果はいずれも平均値で整理した。

3. 実験結果および考察

(1) 圧縮強度：標準養生に比べて気中で湿潤養生したモルタルの一軸圧縮強度は小さいが、強度発現傾向は同じなので、気中養生したモルタルの 28 日材齢での強度を図-3 に示す。アルカリを添加すると圧縮強度は低下するが、塩化物添加量が多くなると圧縮強度は回復する傾向が認められる。アルカリ添加量が同一の場

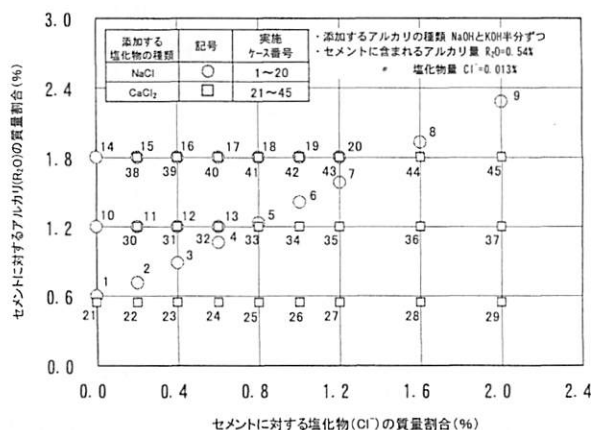


図-1 実験ケース一覧図

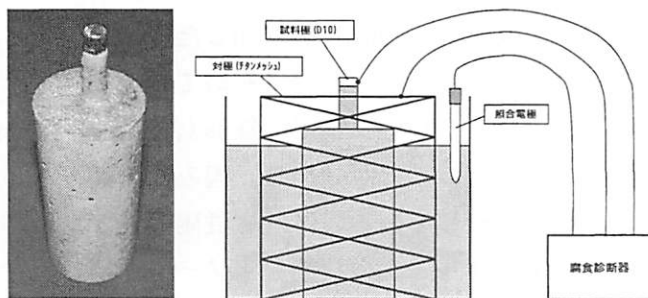


図-2 鉄筋モルタル供試体の自然電位・分極抵抗測定状況

合、CaCl₂を添加した方がNaClよりも強度は大きい。

(2) 自然電位：図-4 に、添加した塩化物の種類およびアルカリ量をパラメータに、塩化物添加量と自然電位との関係を示す。自然電位は、測定時点での鉄筋の腐食の可能性を評価する指標である。ASTM C876 の判定基準¹⁾に、「自然電位が-200mVと-350mVとの間ならば腐食している場合としていない場合があり、-350mV よりも低ければ 90%以上の確率で腐食あり」とあるように、一般に電位が低いほど腐食の可能性は高いと診断される。図より、NaCl と CaCl₂ いずれを添加した場合も、添加量が少ない時の自然電位はほぼ一定の値をとっているが、塩化物量の増加に伴い、電位が急激に低下していることが分かる。したがって、本実験では、電位が急激に低下し始める時の塩化物量を腐食発生限界塩化物量とした。

(3) 分極抵抗：図-5 に、添加した塩化物の種類およびアルカリ量をパラメータに、塩化物添加量と分極抵抗との関係を示す。分極抵抗は腐食電流密度 (腐食速度に相当) と反比例の関係にある指標で、分極抵抗の逆数は測定時点での鉄筋の腐食速度の程度を表している。図より、NaCl と CaCl₂ のいずれを添加した場合も、塩化物量の増加に伴い、分極抵抗が低下しており腐食速度が増加していることが分かる。CEB の腐食速度の判定基準²⁾によると、腐食電流密度 (腐食速度に相当) I_{corr} が $0.2\mu A/cm^2$ 未満ならば No corrosion とある。 $I_{corr} = K (1/R_p)$ の関係から、定数 $K=26mV$ と仮定し、 $I_{corr}=0.2\mu A/cm^2$ を代入して分極抵抗 R_p を求めると $130k\Omega cm^2$ となる。よって、 R_p が $130k\Omega cm^2$ の時の塩化物量を腐食発生限界塩化物量とした。

(4) 腐食発生限界塩化物量イオン濃度

上記の自然電位および分極抵抗値から求めた腐食発生限界塩化物量を表-1 に示す。添加塩化物の種類により若干異なるが、一般に言われているセメント量の 0.4%や単位体積当たり $1.2\sim 2.5kg/m^3$ と比較して同等またはそれ以上の値が得られた。また、アルカリ量の増加に伴い、限界塩化物量が大きくなることを予想したが、反対に小さくなった。

4. まとめ

反応性骨材を使用せずアルカリ量のみを調整したモルタルの圧縮強度および同モルタルに埋設した鉄筋の腐食発生限界塩化物量は、いずれもアルカリ量の増加に伴い小さくなった。

参考文献

- 1) ASTM: C876-91 (Reapproved 1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- 2) CEB Bulletin No. 243: Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures affected by Reinforcement Corrosion, 1998

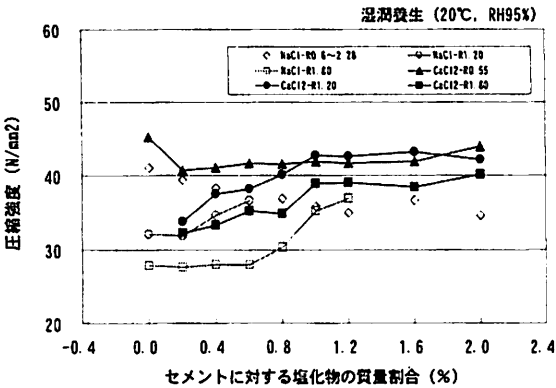


図-3 材齢 28 日における圧縮強度

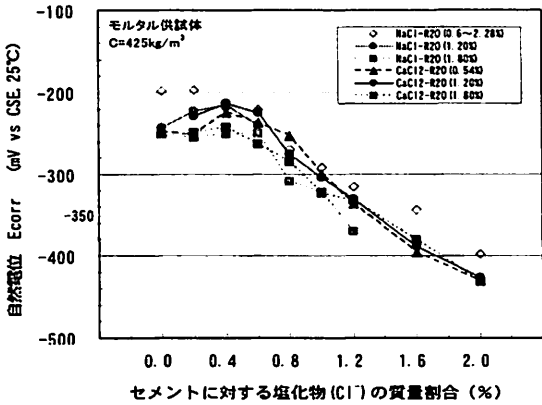


図-4 自然電位 (材齢 28 日)

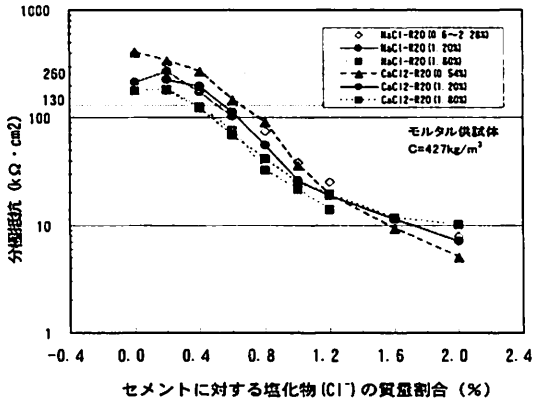


図-5 分極抵抗 (材齢 28 日)

表-1 腐食発生限界塩化物量

総アルカリ量 R ₂ O (%)	自然電位				分極抵抗			
	Cl- (%)		Cl- (kg/m ³)		Cl- (%)		Cl- (kg/m ³)	
	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂
0.6 (0.54)	0.7	0.7	3.0	3.0	0.6	0.65	2.6	2.8
1.2	0.65	0.6	2.8	2.6	0.5	0.55	2.1	2.3
1.8	0.65	0.5	2.8	2.1	0.4	0.40	1.7	1.7

*) 単位：Cl- (%)セメントに対する質量パーセント，単位セメント量：427kg/m³