

硬化体粉末から得られるアルカリイオン量および塩化物イオン量に着目した 腐食状況把握に関する実験的検討

東京理科大学 正会員 ○江口 康平 東京理科大学 正会員 加藤 佳孝
東京理科大学 学生会員 金子 泰明 東京理科大学 学生会員 長塚 真美

1. 目的

鉄筋コンクリートは主要な建設材料として多くの構造物に使用されているが、何らかの要因で内部鋼材が腐食すると、ひび割れが生じて構造物の性能が低下する。ここで、コンクリート中の鋼材は、塩化物イオンの浸透やアルカリ性の低下によって不動態皮膜が破壊されて腐食速度が増大することが知られているが、塩化物イオンに関しては数多くの研究成果がある一方で、アルカリイオン量に着目した実験的な検討は少ない。そこで本研究では、著者らが提案している硬化体粉末からアルカリイオン量を推定する方法を利用して、塩化物イオン量とアルカリイオン量に着目し、簡易に鋼材腐食の有無を推定する方法を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験には、表-1に示す配合のモルタル供試体を使用した。セメント種類は普通セメントのみを使用した OPC 供試体と、普通セメントの 45%を高炉スラグ微粉末で置換した BB 供試体の 2 種類とした。また、W/B は鋼材腐食を生じやすくするために 60%とした。供試体形状は図-1に示すように、5×5×5cm の立方体とし、かぶり 1cm 位置に $\phi 10\text{mm}$ の磨き丸鋼を埋設した。供試体作製後、標準水中養生を 7 日間施した後、試験面以外にエポキシ樹脂を塗布した。

表-1 供試体配合

W/B (%)	C/B	GGBS/B	S/B	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	GGBS	S
60	1	0	2.5	321	535	0	1338
	0.55	0.45		319	292	239	1329

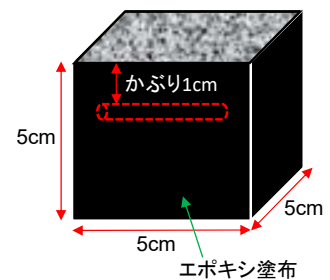


図-1 実験供試体

2.2 塩水乾湿繰返し試験

供試体は試験準備終了後、24 時間水道水にて飽水させた後、塩水乾湿繰返し試験を実施した。試験サイクルは水温 20℃、濃度 10%の NaCl 溶液に 3 日間浸せきした後、温度 20℃、湿度 60%で乾燥 4 日を 1 サイクルとした。所定のサイクル終了後供試体を取り出し、各種測定を行った。

2.3 試験項目および試験方法

- (1) 鋼材腐食状況：内部鋼材の腐食状況は、供試体を割裂後、目視にて腐食の有無を確認した。
- (2) 可溶性塩化物イオン量：割裂した供試体から鋼材を取り出した後、鋼材位置から試験片を採取する。その後、JCI-SC4 を参考に、可溶性塩化物イオン量を測定した。
- (3) アルカリイオン量：著者らは、硬化体粉末を利用してアルカリイオン量を推定する方法を提案している¹⁾。具体的には、硬化体から採取した粉末を、蒸留水 29.700g に対して 0.300g 混合した後、溶液 pH をデジタル pH メーターで測定した。

本検討では、測定された pH をアルカリイオン量に換算して、可溶性塩化物イオン量（以下、 $[\text{Cl}^-]$ ）とアルカリイオン量（以下、 $[\text{OH}^-]$ ）の比に着目して腐食発生推定方法を検討する。

3. 実験結果および考察

図-2 には、所定のサイクル終了後に測定した $[\text{Cl}^-]$ と $[\text{OH}^-]$ の関係をセメント種類ごとに取り纏めて示す。また、凡例の違いは腐食の有無を表している。まず、OPC 供試体に着目すると、 $[\text{Cl}^-]$ が 0.100mol/L 以上では腐食が生じている供試体が多く確認されている。一方で、 $[\text{OH}^-]$ に注目すると、供試体ごとで約 0.010～0.022mol/L 程度

キーワード：アルカリイオン、塩化物イオン、鉄筋腐食、 $[\text{Cl}^-]$ / $[\text{OH}^-]$

連絡先：〒270-0022 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL 04-7124-1501(4054)

の範囲でばらつきが生じている。この原因については、供試体作製時・粉末試料採取時に生じたものか、あるいは測定精度の影響か、今後、詳細に検討する必要がある。

次に、BB 供試体では、OPC に比べて緻密であることから、鉄筋位置への塩化物イオン浸透量が少なく、腐食している供試体は少ないが、 $[\text{Cl}^-]$ が 0.100mol/L 以下でも、比較的 $[\text{OH}^-]$ が少ない供試体で腐食が確認された。

また、図中には $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が一定の値を上回ると腐食が発生するとする既往の研究(例えば2)を参考に、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 一定の直線を破線で示す。腐食した結果が少なく明確なことは言えないが、今回の検討では、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ を $\text{OPC}=6.0$ 、 $\text{BB}=4.5$ と設定することで腐食の有無を概ね判定できている。多くの既往の研究では、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]=\text{一定値}$ として腐食発生条件に用いているが、それらは、 $[\text{OH}^-]$ の影響を考慮していない検討が殆どである。しかし、中性化等で $[\text{OH}^-]$ が減少すると、塩化物イオンが無くとも腐食が生じることが知られており、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ によって鋼材腐食が一意に判定できるかについては、今後、より詳細に検討する必要がある。

$[\text{OH}^-]$ の影響に関しては、追加で検討する必要があるが、既往の研究と同様に処理し、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ と腐食発生確率の関係図-3に示す。なお、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ は $0\sim 1.0$ の様に所定の範囲で表し、図中の「サンプル数」とは所定の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ となった供試体の個数を表している。また、腐食発生確率とは、各 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ のサンプル数に対する腐食が確認された供試体を百分率で表したものである。まず、OPC 供試体に着目すると、サンプル数が十分ではなく、明確なことは言えないが、傾向として、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が大きくなる程、腐食発生確率が高くなっている。また、BB 供試体についても同様の傾向を示している。セメント種類にもよるが、概ね $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が 4.0 ないし 5.0 を上回ると腐食が生じる可能性が高まる。

以上のことから、本方法で簡易に $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ を算出し、腐食を推定することができる事が示唆されたが、 $[\text{Cl}^-]$ と $[\text{OH}^-]$ の腐食に与える影響が常に一定の比率であるかは、今後より詳細に検討する必要がある。

謝辞：本研究は平成 28 年度土木学会吉田研究奨励賞の研究計画に基づいた研究であり、助成に感謝します。

参考文献：

- 1)江口康平, 加藤佳孝, 金子泰明：ドリル削孔粉末を利用したセメント硬化体内部の pH 推定方法に関する検討, コンクリート構造物の補修・補強、アップグレード論文報告集, 第 16 巻, pp.257-262, 2016.10.
- 2)石田健太, 武若耕司, 山口明伸, 前田聡：鉄筋腐食発生限界塩化物イオン量の定量評価に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, No.29, Vol.1, pp.1065-1070, 2007.

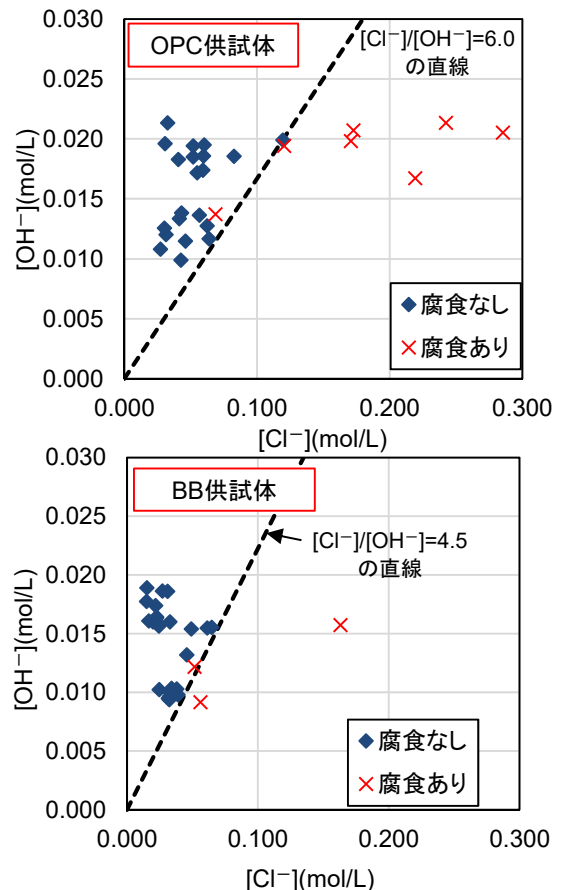


図-2 可溶性塩化物イオンとアルカリイオン量の関係
(上：OPC, 下：BB)

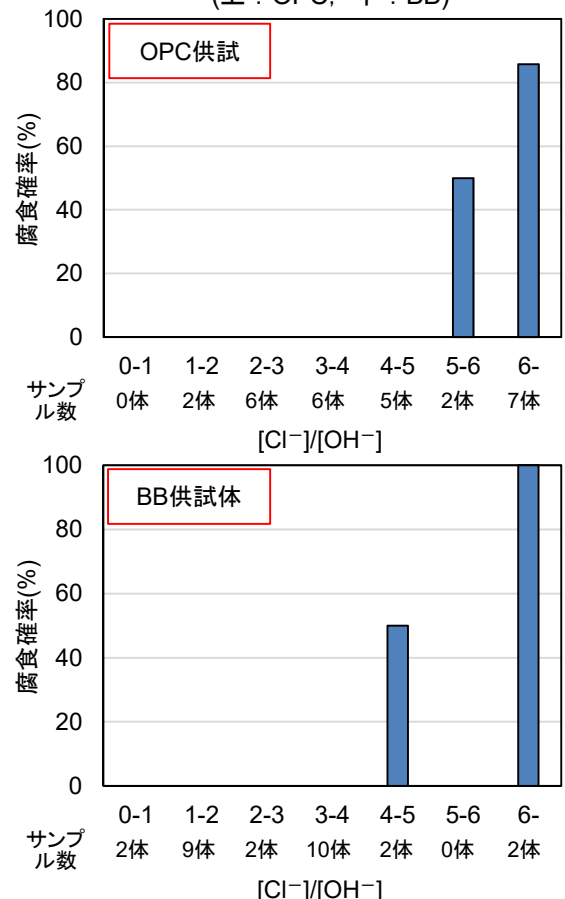


図-3 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ と腐食発生確率
(上：OPC, 下：BB)