

混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度に関する考察

大成建設（株） 土木技術研究所 正会員 ○堀口 賢一
 大成建設（株） 土木技術研究所 正会員 松元 淳一
 大成建設（株） 土木技術研究所 フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに

塩害環境下における鉄筋コンクリート中の鋼材は、その位置での塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達した時点で腐食が発生すると考えられる。現行のコンクリート標準示方書では、この濃度をセメントの種類や配合によらず、全塩分量で 1.2kg/m^3 としているが、著者らは普通セメントを用いたコンクリートにおいて、配合によって異なることを明らかにしている¹⁾。これは主に、単位セメント量によってコンクリート中に固定化されるフリーデル氏塩などの量が異なることに起因している。一方で、塩化物イオンを含むアルカリ性溶液中における鋼材の腐食は、塩化物イオン濃度と溶液の pH、すなわち水酸化物イオン濃度との比率（以下、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ ）の影響を受けると考えられている。この具体的な比率としては、0.2～10 程度と既往の研究によって開きが大きく、明確に定まってはいるが、いずれにしてもある一定の比率を上回った時点で鋼材に腐食が発生すると考えられている²⁾。ところで、コンクリート中に存在する塩素は、フリーデル氏塩などとしてセメント水和物に取り込まれる固相塩素と細孔壁面に吸着される吸着塩素の和である固定化塩素、および細孔溶液中に溶解している塩化物イオンに区分され、全塩分量はこの総和である³⁾。このようなコンクリート中での塩素の存在形態のうち、鋼材の腐食に直接的に影響を及ぼすのは細孔溶液中に溶解している塩化物イオンである。このようなことから、コンクリート中の鋼材に腐食が発生するときの $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が一定であれば、細孔溶液中の水酸化物イオン濃度が既知であれば、腐食発生時の細孔溶液中の塩化物イオン濃度を求めることができる。さらに、塩化物イオン濃度と固定化塩素の定量的な関係が得られていれば、鋼材腐食発生限界濃度を計算により求めることができる。本稿では、実験で得られた普通セメントを用いたコンクリート中での鋼材腐食発生限界濃度¹⁾に基づき、細孔溶液中の水酸化物イオン濃度⁴⁾や、セメント硬化体内部の水酸化物イオン量と固定化塩素量の定量的な関係³⁾についての既往の実験データを用いて、高炉スラグ微粉末などを混合したセメントを用いたコンクリート中での鋼材腐食発生限界濃度を計算により求める方法と、その算定結果について述べる。

2. 算定方法

ここでは、普通セメントの 40%を高炉スラグ微粉末に置換した場合（以下、BB40）、20%をフライアッシュに置換した場合（以下、F20）、および 10%をシリカフュームに置換した場合（以下、S10）の 3 ケースの混合セメントを対象とする。

図-1 に普通セメントの鋼材腐食発生限界濃度から、混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度を算出するフローを示す。以下、このフローにしたがい混合セメントを用いた場合の鋼材腐食発生限界濃度を推定する。

①普通セメントの鋼材腐食発生限界濃度は、実験から得られた結果を用い、単位結合材量に対する質量百分率に換算する。

②石田らの既往の研究結果で得られている、全塩分量と可溶性の塩化物イオン量との関係³⁾から、上述①のデータを用いて、鋼材腐食発生時の普通セメントの細孔溶液中に溶解している塩化物イオン濃度を算出する。

③鋼材腐食発生時の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ は、普通セメント、混合セメントともに一定と考え、上述②のデータを用いて、

キーワード コンクリート、混合セメント、鋼材腐食発生限界濃度

連絡先 〒245-0051 横浜市区名瀬町 344-1 大成建設（株）土木技術研究所土木構工法研究室 TEL045-814-7228

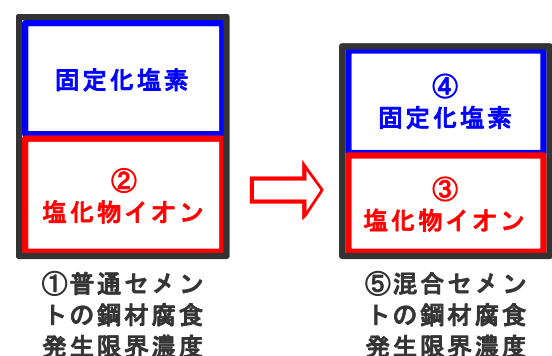


図-1 鋼材腐食発生限界濃度の算出フロー

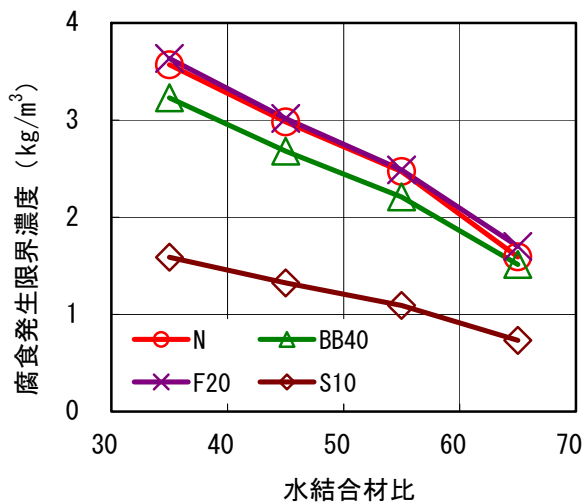


図-2 混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度
(コンクリートの単位体積に対する表示)

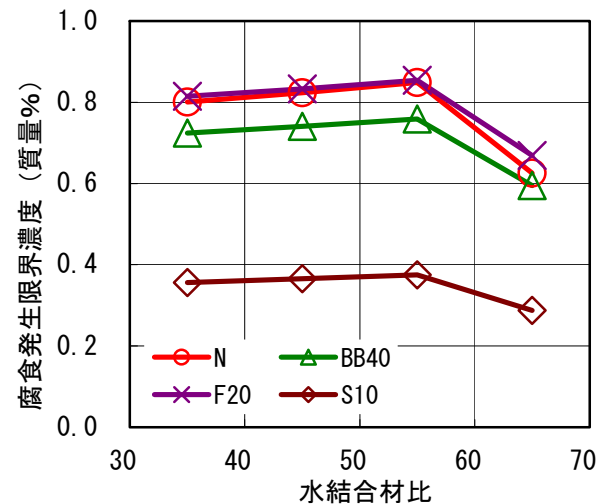


図-3 混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度
(結合材質量に対する表示)

混合セメントでの鋼材腐食発生時の塩化物イオン濃度を算出する。このとき、混合セメント各種の細孔溶液中の水酸化物イオン濃度は、丸屋らの既往の研究結果から得られる⁴⁾。

④石田らの既往の研究結果で得られている、混合セメントの固定化塩素量と可溶性の塩化物イオン量との関係³⁾から、上述③のデータを用いて、鋼材腐食発生時の混合セメントに固定化されている塩素量を産出する。

⑤上述の③および④のデータから、鋼材腐食発生時の混合セメントの固定化塩素濃度と可溶性の塩化物イオン濃度の和を求め、混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度を算出する。

3. 算定結果

図-2、図-3 に混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度の算定結果を示す。それぞれ、コンクリートの単位体積質量に対する割合と、結合材質量に対する割合で表示している。これによるといずれの表示でも、普通セメントの鋼材腐食発生限界濃度に対し、高炉スラグ微粉末を40%置換したBB40では90%程度、フライアッシュを20%置換したF20では同程度となった。一方、シリカフュームを10%置換したS10では45%程度となり、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混合した場合に比べ、鋼材腐食発生限界濃度は低くなる結論が得られた。

4. まとめ

混合セメント中の水酸化物イオン濃度についての研究結果と、混合セメント中での水酸化物イオン量と固定化塩素量の関係についての研究結果を用いて、実験により得られた普通セメントの鋼材腐食発生限界濃度から、混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度を算出した。その結果、普通セメントに対し、フライアッシュでは同程度、高炉スラグ微粉末では90%程度、シリカフュームでは45%程度となり、混合セメントの鋼材腐食発生限界濃度は、普通セメントよりも小さくなる傾向であった。

参考文献

- 1) 堀口賢一，丸屋剛，武若耕司：腐食発生限界塩化物イオン濃度に及ぼすコンクリート配合の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.63，No.1，pp.14-26，2007.1
- 2) コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会（338委員会）委員会報告書，コンクリート技術シリーズ 86，pp.80-81，土木学会，2009.10
- 3) 石田哲也，宮原茂禎，丸屋剛：ポルトランドセメントおよび混和材を使用したモルタルの塩素固定化特性，土木学会論文集E，Vol.63，No.1，pp.14-26，2007.1
- 4) 丸屋剛，松岡康則：液相および固相の分析による結合材の耐久性評価に関する研究，土木学会論文集，No.478/V-21，pp.41-50，1993.11