

シリカフュームを用いたコンクリートの腐食発生限界濃度の実験的検討

(株)ピーエス三菱 正会員 ○鈴木 雅博
太平洋セメント(株) 正会員 森 寛晃
新潟大学 正会員 佐伯 竜彦
東京工業大学 名誉会員 長瀬 重義

1. はじめに

コンクリート中の鋼材腐食が開始される条件は、鋼材に接する細孔溶液の塩化物イオン濃度と水酸化物イオン濃度の比 $[Cl^-]/[OH^-]$ に支配される。2017 年度制定のコンクリート標準示方書[設計編：標準]では、実務的な観点から $[Cl^-]$ のみで鋼材腐食を照査することになっており、その閾値が腐食発生限界濃度(以下、 C_{lim})である。各種ポルトランドセメントおよび混合セメントの C_{lim} は水結合材比に応じて設定されるが、シリカフュームを用いたコンクリートは水結合材比によらず一律 $1.20kg/m^3$ である。これらは普通ポルトランドセメントで得られた C_{lim} から、混合セメント細孔溶液中の水酸化物イオン濃度 $[OH^-]$ を測定して、腐食発生時の $[Cl^-]/[OH^-]$ はセメント種類によらず同じと仮定して算出したものであり、各種セメントを用いたコンクリートでの鋼材腐食実験に基づくものではない。本研究ではシリカフュームを4%~8%混和したコンクリートの C_{lim} を実験的に把握することを目的とした。

2. 実験概要

2. 1 使用材料とコンクリート配合

使用材料を表-1に、コンクリート配合を表-2にそれぞれ示す。シリカフューム混和コンクリートの配合は水結合材比(以下、 W/B)45%としてシリカフューム(以下、SF)を4%あるいは8%混和した45N-SF4と45N-SF8、 W/B 55%でSFを4%混和した55N-SF4、比較としてSFを使用しない45Nの計4水準とした。

2. 2 試験方法

腐食発生限界濃度試験は文献^{1), 2)}を参考に実施した。供試体寸法は $100\times100\times400mm$ とし、コンクリート内部にD19をかぶり20mmで1本配置した。供試体数は同一の水準で3本とした。また、供試体中央に鉄筋に沿うよう鉛照合電極を配置した。塩水(10%塩化ナトリウム溶液)浸透面とその反対面を除く4面をエポキシ樹脂で被覆して、材齢28日から塩水浸透を開始した。

試験状況を図-1に示す。鉄筋の腐食を鉛照合電極近傍に発生させるため、塩水の供給範囲は幅100mm×長さ50mmの領域とした。自然電位はデータロガーでモニタリングを行い、自然電位が急激に低下した時点で、供試体を解体して、鉄筋の腐食状況を確認した。塩化物イオン浸透状況の確認は3体のうち1体を用いてEPMAによる面分析で行い、塩化物イオンの見掛けの拡散係数(以下、 D_c)を算出した。

表-1 使用材料

使用材料	適用
セメント C	普通ポルトランドセメント 密度 $3.16g/cm^3$
シリカフューム SF	密度 $2.20g/cm^3$ 比表面積 $20.1m^2/g$
細骨材 S	石灰石砕砂 表乾密度 $2.66g/cm^3$
粗骨材 G	砕石 表乾密度 $2.87g/cm^3$

表-2 コンクリート配合

配合名	W/(C+SF) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
			W	C	SF	S	G
45N	45	47	175	389	-	824	989
45N-SF4	45	47	175	373	15.6	822	986
45N-SF8	45	47	175	358	31.1	819	982
55N-SF4	55	47	175	305	12.7	847	1031

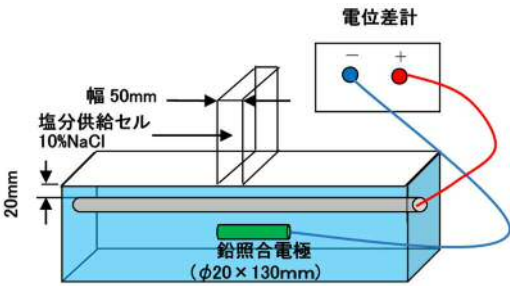


図-1 腐食発生限界濃度試験状況

キーワード シリカフューム, 腐食発生限界濃度, 水結合材比

連絡先 〒250-0875 神奈川県小田原市南鴨宮 2-1-67 (株)ピーエス三菱 技術研究所 TEL 0465-46-2780

3. 試験結果および考察

図-2に、EPMAを行った供試体の自然電位の経時変化を示す。なお、自然電位は飽和硫酸銅電極基準に換算して表示した。W/B45%の各水準を比べると、SFの混和量が増えると自然電位低下が遅れる傾向があり、45N-SF8では経過日数1200日でも自然電位は低下していない。また、SFを4%混和した場合、W/B55%の水準は45%よりも自然電位低下は早くなった。同一水準3本の供試体で自然電位が低下する時間範囲は45Nで268～327日、45N-SF4で1027～1574日、55N-SF4で411～963日となり、SFを混和すると自然電位低下時間のばらつきは大きくなる傾向であった。

図-3に、鉄筋と骨材を除去したセメントペースト部を抽出して塩化物イオン濃度を算出し³⁾、コンクリートに換算した値を示す。この分布から式(1)により表面における塩化物イオン濃度(C_0)と D_c を算出した。

$$C(x,t) = C_o \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right) + C_i \quad (1)$$

ここに、 $C(x,t)$ は時間 t 年の表面からの距離 x cmの塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 C_i は初期塩化物イオン濃度(kg/m^3)

表-3に、式(1)より算出した D_c 、 C_0 および C_i を示す。既往の検討⁴⁾では、SFを4%混和することで D_c がSF無混和のコンクリート $3\text{cm}^2/\text{y}$ に対して $1\text{cm}^2/\text{y}$ と3割程度となり、本試験においてもSFを4%混和することでSF無混和に対して同程度の割合となった。

図-4に、W/Bと式(1)を用いて算出した C_{lim} の関係を示す。なお、各供試体の C_{lim} は、表-3の D_c を用い、それぞれの自然電位低下時間から算出した。参考までに、文献²⁾のSF無混和の C_{lim} を示すが、今回得られたSF無混和のコンクリートの C_{lim} と概ね合致した。SFを混和したコンクリートの C_{lim} はおよそ $3 \sim 6\text{kg}/\text{m}^3$ の範囲でばらつくものの、示方書に示される $1.20\text{kg}/\text{m}^3$ よりも高いことが分かった。また、SFを混和したコンクリートの C_{lim} は3体の平均値で見るとW/Bによる差異は無かった。

4. まとめ

(1)SFをCの4%で混和したコンクリートの腐食発生限界濃度の平均値は示方書に示される $1.20\text{kg}/\text{m}^3$ よりは高い。

(2)SFを混和したコンクリートの腐食発生限界濃度は本試験の範囲内ではW/Bによる差異が認められなかった。

謝辞

本研究は日本シリカフューム技術研究会で実施した試験を取り纏めたものである。本研究にご協力頂いた関係各位に謝意を表します。

参考文献

1)コンクリートライブラリー138号：2012年度制定コンクリート標準示方書改訂資料基本原則編・設計編・施工編，2013，2)堀口賢一他：腐食発錆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.29，No.1，pp.1377-1382,2007，3)森大介他：コンクリート中の塩化物イオン濃度プロファイル測定へのEPMAの適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.867-872，2004，4)川原真一他：シリカフュームコンクリートの塩分浸透抵抗性および鋼材腐食に関する基礎的研究，セメント・コンクリート論文集，No.65，pp.360-367，2012

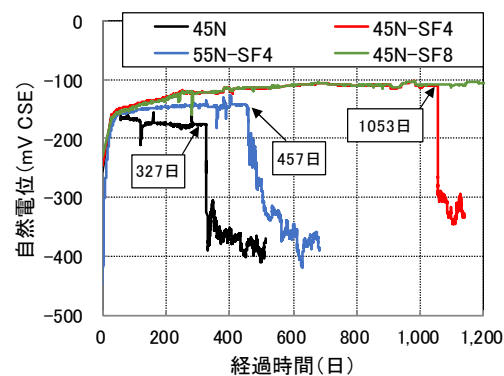


図-2 各供試体の自然電位経時変化

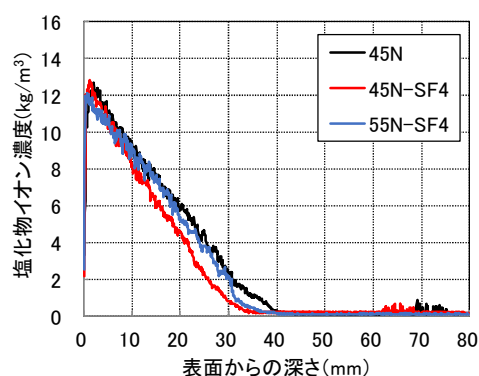


図-3 各供試体の塩化物イオン濃度分布

表-3 各供試体の見掛けの拡散係数

配合名	D_c (cm^2/y)	C_0 (kg/m^3)	C_i (kg/m^3)
45N	1.73	13.9	0.127
45N-SF4	0.522	13.6	0.199
55N-SF4	1.23	13.1	0.116

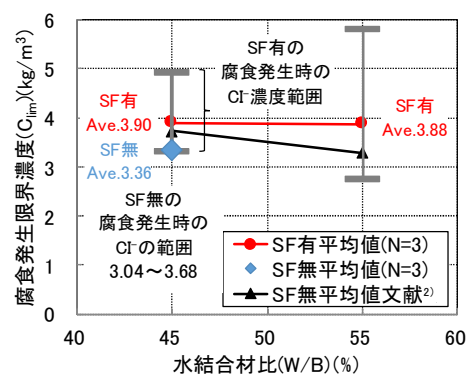


図-4 W/Bと腐食発生限界濃度の関係