

拡散係数の時間依存性が超高強度コンクリートの塩害照査に及ぼす影響

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 ○面来 洋児
 太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 森 寛晃
 太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 細川 佳史
 (株)富士ピー・エス 技術研究センター 正会員 徳光 卓

1. はじめに

シリカフェームを結合材の一部に置換したセメントを使用する超高強度コンクリートは、圧縮強度特性とともに塩害耐久性に優れるとされるが、遮塩性に関する検討は少なく、十分な知見は得られていない。超高強度コンクリートの場合、数ヶ月程度の塩水浸せき期間では、Cl⁻浸透深さが浅く、試料をスライスして見掛けの拡散係数 D_a を求める従来の方法では、十分な測定数が得られないためである。これに対し、電子プローブ微小部分分析(EPMA)は、浸透深さが充分でない試料でも測定数を多く得ることが可能で、コンクリートの Cl⁻濃度のプロファイルから精度の高い D_a が算出できる²⁾。それでもなお、数ヶ月程度の塩水浸せき試験では、算出された D_a に時間依存性が考慮されておらず、遮塩性の高い超高強度コンクリートではその時間依存性の影響が顕著となる。

本検討では、シリカフェームを用いた超高強度コンクリートにおける Cl⁻の浸透性状を確認するために、2年にわたる塩水浸せき試験を行い、EPMAを用いて見掛けの拡散係数 D_a を算出した。また、時間依存性を考慮した拡散係数 \bar{D} を用いて、鋼材腐食に対する照査を実施した。

2. 塩水浸せき試験

2.1 配合および供試体

コンクリートの配合を表1に示す。結合材の種類は早強セメントのみ(以後、H)、早強セメントと高炉スラグ微粉末(ブレン比表面積：4500cm²/g)を7:3で混合したもの(以後、HBS)、シリカフェームプレミックスセメント(以後、SFPC)の3種類とした。蒸気養生後の圧縮強度が50N/mm²を想定したH50と同強度レベルで高炉スラグを含有したHBS50、圧縮強度100N/mm²を想定したSFPC100の3水準について検討した。供試体はφ10×20cmの円柱供試体とし、打込み後24時間静置した後、85℃で24時間の蒸気養生を行った。

表1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	H	BS	SFPC	S	G1505	G1005
H50	43	162	377	-	-	853	914	-
HBS50	36	170	331	141	-	905	750	-
SFPC100	27	160	-	-	593	848	-	792

2.2 塩水浸せき試験

養生完了後、土木学会規準案 JSCE-G 572-2013 に準じて所定期間浸せきした。浸せき期間は1週、4週、2年

とした。浸せき後、円柱供試体を割裂し、片面をEPMA用試料とした。測定は100μmの分解能で40×40mm程度のコンクリート断面(打設底面)に対して、Ca、Cl、Si、Sの4元素を実施した。深さごとのCl濃度(mass%)に配合上の単位容積質量を乗じてコンクリートの単位容積当たりの質量に換算した。

2.3 見掛けの拡散係数 D_a

EPMAにより得られた浸せき期間2年のCl濃度プロファイルを図1示す。SFPC100について、Cl浸透深さは15mm程度、表面付近のCl濃度は13kg/m³程度であり、H50とHBS50比べClの浸透は浅く、少なかった。すなわち、SFPCを用いた超高強度コンクリートの塩害照査では、設定表面Cl濃度の値をより小さくできる可能性がある。また、Cl浸透深さが15mm程度の超高強度コンクリートでもEPMAにより十分なデータ点数を有するCl濃度プロファイルが測定された。

Cl濃度プロファイルより算出した D_a を表2に示す。ただし、コンクリート内部へのCl⁻の浸透は全て拡散によるものとした。SFPC100の浸せき2年後の D_a は0.16cm²/yとH50の約1/7、HBS50の約1/4であり、W/Bの影響等が考えられる。また、いずれの配合についても、浸せき期間2年で1週に比べ見掛けの拡散係数は1/10程度まで小さくなっている。

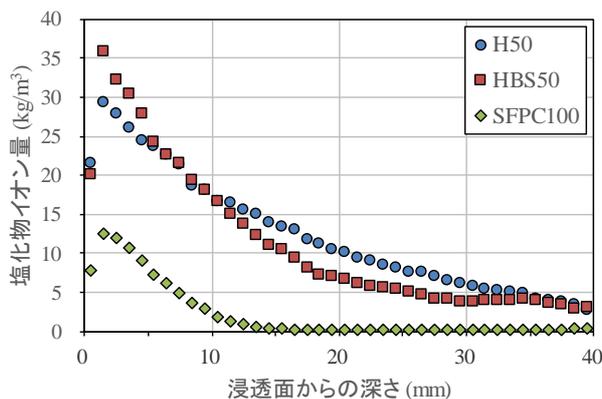


図1 浸せき期間2年の塩化物イオン量分布

表2 浸せき期間ごとの見掛けの拡散係数

配合名	見掛けの拡散係数 D_a (cm ² /y)		
	1週	4週	2年
H50	10.36	2.34	1.09
HBS50	6.39	4.02	0.62
SFPC100	1.41	0.41	0.16

キーワード：EPMA、見掛けの拡散係数、時間依存性、超高強度コンクリート、塩害照査

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL:043-498-3893

3. 解析

3.1 時間依存性を考慮した Cl⁻浸透予測方法

拡散係数の時間依存性をべき関数で表した手法³⁾を用いて Cl⁻浸透予測を実施した。具体的には、2.3 で算出した D_a を式(1)に回帰させることで係数 n を求め、式(2)を用いて Cl⁻浸透予測を行った。

$$D(t) = D_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-n} \tag{式(1)}$$

$$C_{cl} = C_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{T}}\right) \tag{式(2)}$$

ここに、 $T = \int_0^t D(t')dt' = \bar{D} \int_0^t dt' = \bar{D}t$

D_0 : t_0 における D_a , t : 経過時間(年), n : 得られる係数, C_0 : 表面塩化物イオン量, x : かぶり厚(mm)

3.2 結果

表面 Cl⁻濃度 C_0 は飛沫帯を想定して 13.0kg/m^3 とした。照査における鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} は、コンクリート標準示方書に基づきセメント種類と W/B から定め、かぶり厚は 35mm とした。 D_0 および t_0 は 2 年データを使用した。解析結果を図 2~図 4 に示す。図には拡散係数の時間依存性を考慮した場合と浸漬期間 2 年の D_a を用いた結果を示す。照査の結果、時間依存性を考慮した場合の SFPC100 の耐用年数は約 60 年と最も長く、他と比べて高い遮塩性を有することを確認した。これは、シリカフェュームのボールベアリング効果により低 W/B を可能としていることが大きな要因である。また、マイクロファイバー効果により空隙が減少していること等も考えられる⁴⁾。時間依存性を考慮した場合としない場合を比較すると、考慮した場合の Cl⁻浸透速度は緩やかになった。特に塩水浸せき試験で Cl⁻浸透量の少ない SFPC100 では耐用年数が大きく延びる結果となり、遮塩性の高い超高強度コンクリートでは時間依存性の影響が大きいことが分かった。

Cl⁻浸透予測に関する課題として、拡散係数の時間依存性を考慮した適切な浸せき期間の設定方法の整備に加え、超高強度コンクリートを照査する際に使用する表面 Cl⁻濃度、鋼材腐食発生限界濃度の設定についても再検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

本検討では、SFPC を用いた超高強度コンクリートの塩化物イオン浸透特性について検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 塩水浸せき試験において、超高強度コンクリートの見掛けの拡散係数は、普通コンクリートに比べ小さく、浸せき期間とともに減少した。
- (2) 鋼材腐食に対する照査において、超高強度コンクリートの耐用年数は普通コンクリートに比べ長かった。また、拡散係数の時間依存性を考慮することによる、超高強度コンクリートの耐用年数の伸びは普通コンクリートに比べて顕著であった。

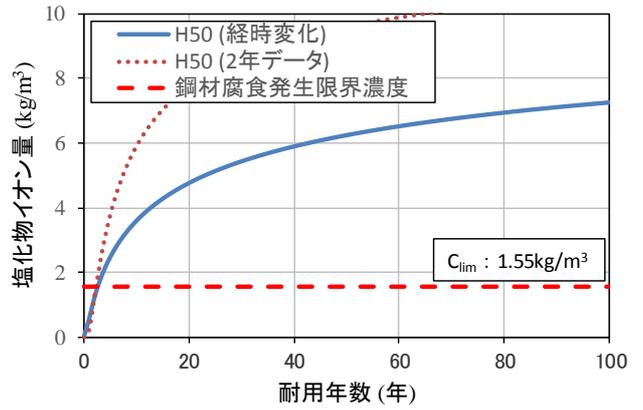


図 2 塩害照査 (H50)

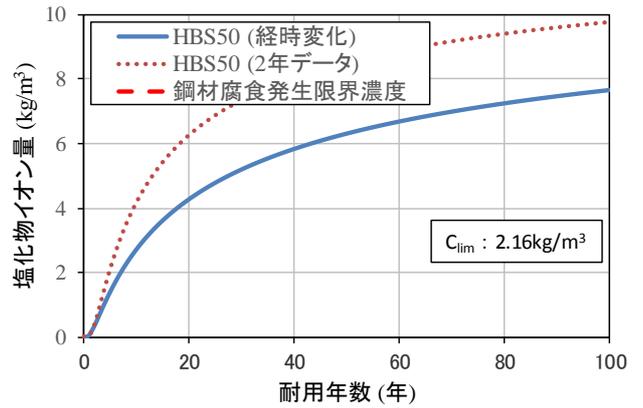


図 3 塩害照査 (HBS50)

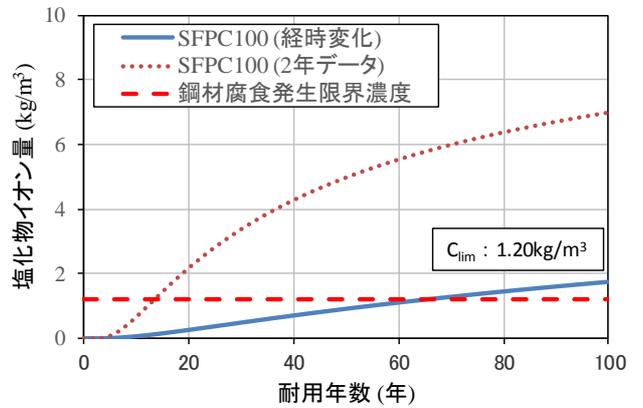


図 4 塩害照査 (SFPC100)

【参考文献】

- 1) 正木守ほか：超高強度コンクリートの遮塩性および収縮特性とその実用化，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，Vol.21st，pp.517-522，2012
- 2) 細川佳史ほか：研削法・EPMA 法により評価した超高強度コンクリートの塩分浸透性状，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 材料施工，Vol.2003，pp.563-564，2003
- 3) 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，土木学会，pp.43-53，2009
- 4) コンクリート混和材料ハンドブック，(社)日本材料学会編，pp.352-369，2004