

フライアッシュ混和コンクリートの耐塩性能評価のための塩水浸漬試験結果について

四国総合研究所 正会員 ○横田 優
 四国総合研究所 正会員 石井光裕
 四国電力 正会員 武知隆男

1. はじめに

フライアッシュ(以下、「FA」という)混和コンクリートの塩害に対する抵抗性を確認するために、FAを混和した鉄筋コンクリート試験体の塩水浸漬試験を行い、コンクリート中への塩化物イオン(以下、「Cl⁻」という)の拡散浸透速度(拡散係数)ならびに腐食発生限界塩化物イオン濃度等について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 コンクリート配合 本実験で用いた FA 混和コンクリートの配合は、FA II 種灰をセメントの一部代替使用(20%内割混和)、細骨材補充材として細骨材の一部代替使用(20%外割混和)ならびに両者を併用使用(20%内割混和と 20%外割混和の併用)した全 3 配合と、比較用としての FA 無混和プレーンコンクリートの計 4 配合である。いずれの配合も水結合材比(W/B)、単位水量(W)および細骨材率(S/a)は一定で、それぞれ 0.55、175 kg/m³および 45%である。なお、プレーンコンクリートの単位セメント量は 318 kg/m³であり、結合材(B)の量は、セメント(C)と内割使用した FA の合計である。

2.2 鉄筋コンクリート供試体 供試体は 10×10×30cm の直方体で、鉄筋 D13(全長 35cm、試験長 20cm、表面積 80cm²)を 1 本、かぶり 2cm の位置に埋設している。コンクリートはかぶり面を下側にして打設した。翌日脱型し、材齢 28 日まで封かん養生した後、かぶり面(測定面)と反対側の面の 2 面を除く 4 側面にエポキシ樹脂塗装を施し、塩水浸漬試験に供した。なお、試験体数は各配合とも 2 体ずつ用意した。

2.3 塩水浸漬試験 図 1 に示すように、かぶり面から Cl⁻を含む水が滲入するように、かぶり面を下側にして濃度 10%の NaCl 水溶液に 1cm 浸漬させた状態で供試体を設置した。

2.4 測定項目

(1) 自然電位 銀/塩化銀照合電極とデータロガーを用いて、内部鉄筋の自然電位を 10 分刻みで自動計測した(図 1)。

(2) コンクリート抵抗 Cl⁻の拡散係数に影響すると考えられているコンクリートの電気抵抗¹⁾を調べるために、携帯型鉄筋腐食診断器 CM-V を用いて、かぶりコンクリートの見掛けの抵抗(kΩ)を測定した。

(3) 塩化物イオン(Cl⁻)濃度分布 Cl⁻の浸透状況を調べるために、外割混和試験体を除き、自然電位低下後にコンクリート中に含まれる深さ方向(表面から 2.5cm までは 5mm 刻み、2.5cm から 4.5cm までは 1cm 刻みで 7 深度)の Cl⁻量(全塩化物量)を、JIS A 1154-2003 に準拠して求めた。

2.5 検討項目

(1) 鉄筋の腐食開始時期 連続計測した自然電位が劇的に低下した時を、外部から侵入してくる Cl⁻によって内部鉄筋が腐食を開始した時期と判定した。

(2) Cl⁻の見掛けの拡散係数 鉄筋腐食開始前後の Cl⁻の拡散係数については、深さ方向の濃度分布と浸漬日数から、拡散方程式の解である次式(1)に対して最小二乗法による近似計算を行い、Cl⁻の見掛けの拡散係数 D_{ap} と表面 Cl⁻濃度 C₀ を求めた。

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \quad (1)$$

ここに、C(x,t)：深さ x (cm)、時間 t (年)における Cl⁻濃度(kg/m³)、C₀：表面における Cl⁻濃度(kg/m³)、D_{ap}：Cl⁻の見掛けの拡散係数(cm²/年)、erf：誤差関数、γ_{cl}：予測の精度に関する安全係数。1.0 を用いた。

キーワード フライアッシュ、拡散係数、腐食発生限界塩化物イオン濃度、電気抵抗、鉄筋腐食

連絡先 〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8 榊四国総合研究所土木技術部 TEL087-844-9215

表 1 FA 混和コンクリートの強度発現特性(標準養生)

配合区分(記号)		圧縮強度 (N/mm ²)					
		7 日	28 日	56 日	91 日	182 日	365 日
プレー	P	34.3	46.5	49.6	52.8	54.1	55.6
内 割	I	23.3	35.1	42.3	46.3	52.4	54.5
外 割	O	35.3	49.9	58.9	61.6	70.4	72.2
内外併	I/O	22.7	38.1	44.4	49.6	58.3	64.6

W/B=55%、W=175kg/m³、

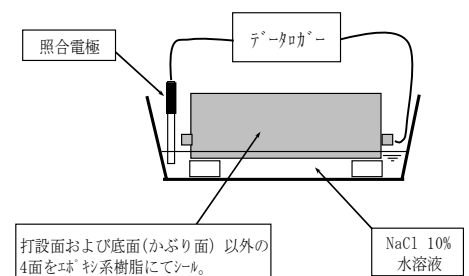


図 1 塩水浸漬試験の概要

(3) 腐食発生限界 Cl^- 濃度 前記(2)で求めた D_{ap} および C_0 の値を用いて、自然電位が急激に低下した時期の鉄筋かぶり位置での Cl^- 濃度を計算し、腐食発生限界 Cl^- 濃度とした。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 Cl^- の浸透状況

図2に深さ方向の Cl^- 濃度分布を示す。試験体により浸漬日数が異なるが、FA 混和コンクリート中への Cl^- 浸透量はプレーンコンクリートと比べて非常に少ないことがわかる。

3.2 FA の混和がコンクリートの遮塩性能に及ぼす影響

表2に、 Cl^- 濃度分布を測定した試験体の腐食開始までの浸漬日数、 Cl^- の見掛けの拡散係数および腐食発生限界塩化物イオン濃度等をそれぞれ示す。図3に、 $(C+FA)/C$ を指標として整理した FA 混和量と見掛けの拡散係数との関係を示す。

FA を混和したコンクリートは、いずれも腐食開始が遅く、見掛けの拡散係数が小さいことがわかる。特に、 $(C+FA)/C = 1.49$ の単位セメント量に対して約 50% の FA を外割混和したコンクリートの電気抵抗が最も大きく、 Cl^- の見掛けの拡散係数が最小となることが確かめられた。

また、プレーン試験体の腐食については、腐食ひび割れがないのに、かぶりコンクリートの部分に錆汁の流出が見られることから、 Cl^- の移動は拡散によるものではないと判断された。したがって、本試験では、FA 混和コンクリートの腐食発生限界塩化物イオン濃度について、プレーンコンクリートとの比較はできなかったが、児島らの研究²⁾と同様に、示方書に記載されてい

る値 1.2 kg/m^3 よりも大きいことが確かめられた。

4. まとめ

FA をセメント量に対して 0, 25, 49, 85% 混和したコンクリート試験体について、材齢 28 日まで封かん養生した後、塩水浸漬試験を行った。その結果、

電気抵抗が最も大きい 49% 混和したコンクリートの見掛けの拡散係数が最小となっているのが確かめられた。また、25% および 85% 混和したコンクリートの腐食発生限界塩化物イオン濃度は、示方書に記載されている値 1.2 kg/m^3 よりも大きく、それぞれ 3.1 および 3.4 kg/m^3 であった。

【参考文献】

- 1) 榎原彩野, 皆川浩, 久田真: モルタルの電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数との関係に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.789-794, 2008
- 2) 児島多恵, 上田隆雄, 進藤義勝, 七澤章: フライアッシュの混和が鉄筋発錆限界塩分濃度に与える影響, 平成 22 年度土木学会四国支部第 16 回技術研究発表会講演概要集 V-10, pp.287-288, 2010.5.15

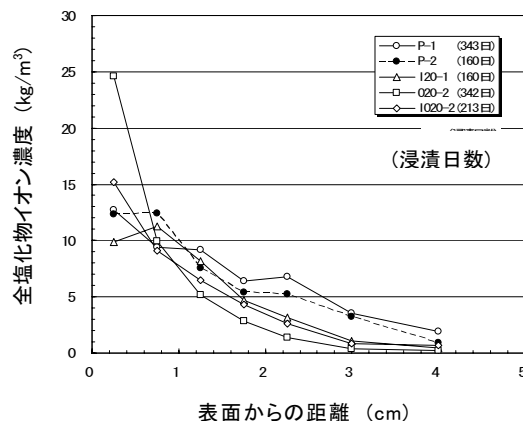


図2 Cl^- の浸透状況

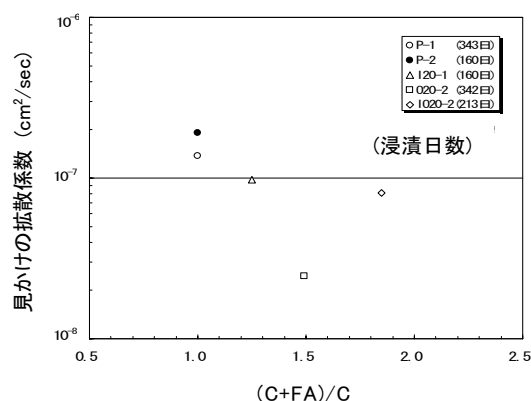


図3 FA の混和量が拡散係数に及ぼす影響

表2 塩水浸漬試験結果

コンクリート配合 (試験体区分: 記号)	プレーン		内割混和 (I20-1)	外割混和 (O20-2)	内・外割併用 (IO20-2)
	(P-1)	(P-2)			
FA 混和量指標: $(C+FA)/C$	1	1	1.25	1.49	1.85
腐食開始までの浸漬日数(日)	1	37	132	腐食なし	210
解体までの浸漬日数(日)	343	160	160	342	213
解体時のコンクリート抵抗($k\Omega$)	0.274	0.276	0.618	2.31	0.739
塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap}	(cm^2/sec)	1.38×10^{-7}	1.92×10^{-7}	9.74×10^{-8}	2.46×10^{-8}
	($\text{cm}^2/\text{年}$)	4.35	6.05	3.07	0.776
表面塩化物イオン濃度 C_0	(wt%)	0.596	0.650	0.794	0.835
	(kg/m^3)	13.1	14.3	17.5	18.4
腐食発生限界塩化物イオン濃度 C_{cr}	(wt%)	-	(0.046)	0.143	-
	(kg/m^3)	-	(1.01)	3.14	-

・単位体積質量 $2,200 \text{ kg/m}^3$ と仮定, ・かぶり 2cm, D13,
・C: 単位セメント量, FA: 単位フライアッシュ混和量