

シリカフュームコンクリートの塩化物イオンの見掛けの拡散係数に関する検討

新潟大学大学院 学生会員 ○川原 真一
新潟大学 正会員 佐伯 竜彦

1. はじめに

コンクリートの品質を向上させる産業副産物のひとつとしてシリカフュームがある。シリカフュームを用いたコンクリートは、ポゾラン反応やマイクロフィラー効果により空隙構造が緻密化され、高強度コンクリートが容易に製造できる。我が国においては、主としてコンクリートの施工性改善と高強度化を目的としてシリカフュームが利用されている。一方で、シリカフュームは耐久性の向上にも効果があるとされているが、詳細な検討は不十分である。

そこで本研究は、シリカフュームを用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性を明らかにするため、浸せき法により塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求めた。また、シリカフュームとフライアッシュを併用した3成分系の配合についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは市販の普通ポルトランドセメントを用いた。シリカフュームはJIS A 6027に規定される品質を満足するElkem Microsilica 940を、フライアッシュはJIS A 6201のⅡ種に分類されるものを用いた。

2.2 コンクリートの配合

水結合材比は35%, 40%, 45%, 50%の4水準とし、シリカフューム置換率は0%, 4%, 8%の3水準とした。また、シリカフュームとフライアッシュを併用した3成分系の配合については、水結合材比を40%とし、シリカフューム置換率は0%, 4%, 8%の3水準、フライアッシュ置換率は0%, 15%, 30%の3水準とした。

各配合とも単位水量を 175kg/m^3 の一定とし、細骨材率については良好なワーカビリティが得られるよう水結合材比ごとに適宜設定した。スランプおよび空気量は、それぞれ $18.0\pm 1.0\text{cm}$ および $4.5\pm 0.5\%$ の値が得られるように、高性能AE減水剤および消泡剤の添加量を適宜調整した。

2.3 実験方法

20℃で28日間水中養生を行ったコンクリート供試体を用いた。JSCE-G572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」に準拠して試験を行い、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求めた。浸せき期間は、2年とした。

3. 実験結果および考察

3.1 シリカフュームコンクリートの塩化物イオン見掛けの拡散係数

図1に、シリカフューム置換率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係を示す。図より、シリカフュームを混和することで塩化物イオンの見掛けの拡散係数が小さくなることが分かる。水結合材比ごとに若干のばらつきはあるものの、シリカフューム無混和の塩化物イオンの見掛けの拡散係数に対して、シリカフューム置換率4%で4割程度、置換率8%で2割程度まで低下した。

図2に、水結合材比と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係を示す。シリカフューム置換率に関わらず、水結合材比が低いほど塩化物イオンの見掛けの拡散係数が小さくなった。また、本研究の範囲では、水結合材比と塩化物イオンの見掛けの拡散係数の対数との関係における傾きは、シリカフューム置換率に関わらず同程度であった。そこで、塩化物イオンの見掛けの拡散係数の対数を以下の式[1]で表すことができると仮定し、重回帰分析により式中の各係数を求めた。

キーワード シリカフューム, 塩化物イオン, 見掛けの拡散係数

連絡先 〒950-2102 新潟市西区五十嵐2の町8050番地 新潟大学大学院自然科学研究科 TEL 025-262-7279

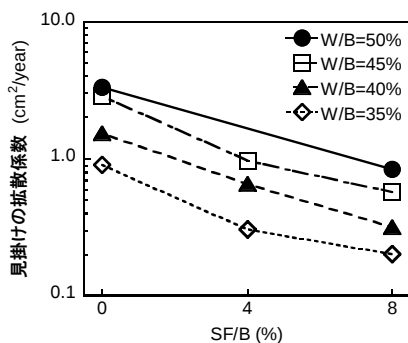


図 1 シリカフューム置換率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係

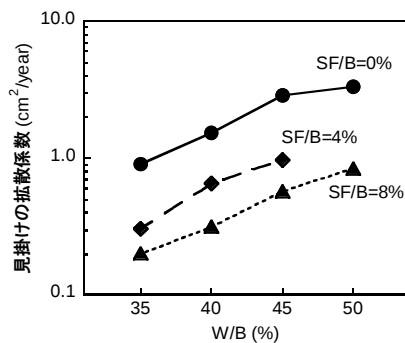


図 2 水結合材比と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係

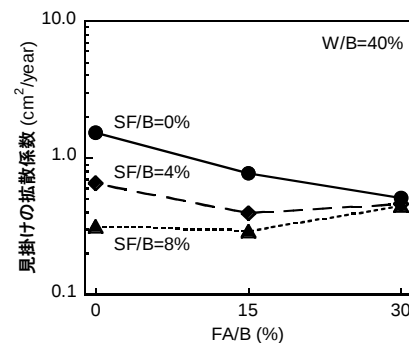


図 3 フライアッシュ置換率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係

$$\log D_a = a(W/B) + b(SF/B) + c \quad [1]$$

ここに、 D_a : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm^2/year)

a, b, c : 重回帰分析により定まる係数

重回帰分析の結果、 $a = 4.0$ 、 $b = -8.0$ 、 $c = -1.5$ となった。このことから、たとえば、水結合材比を 10% 低くすることによって得られる塩分浸透抑制効果を、シリカフューム置換率を 5% 高くすることでも得られることが分かる。

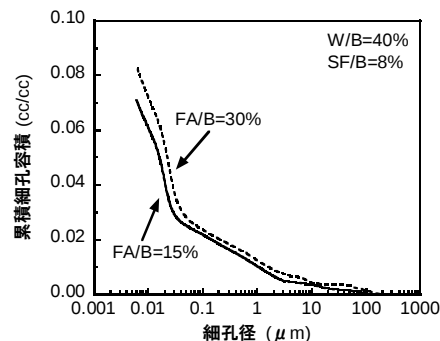


図 4 細孔径分布

3.2 シリカフュームとフライアッシュを併用した 3 成分系のコンクリートの塩化物イオン見掛けの拡散係数

図 3 に、フライアッシュ置換率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係を示す。図より、シリカフューム置換率ごとにフライアッシュ置換率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係が異なることが分かる。シリカフューム無混和の場合、フライアッシュ置換率が高いほど塩化物イオンの見掛けの拡散係数が小さくなった。一方、シリカフューム置換率 4% の場合、フライアッシュ置換率を 0% から 15% へ増加させると塩化物イオンの見掛けの拡散係数は小さくなったが、フライアッシュ置換率を 15% から 30% へ増加させると塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きくなった。また、シリカフューム置換率 8% の場合においても、シリカフューム置換率 4% の場合と同様の傾向が見られた。つまり、シリカフュームとフライアッシュは、共に塩化物イオンの見掛けの拡散係数を低減させる効果を有するが、その置換率には最適値が存在し、それを超えると効果が薄れ、場合によってはむしろ塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きくなる可能性があると考えられる。これは、シリカフュームおよびフライアッシュの置換率が高い場合にはポズラン反応による水酸化カルシウムの消費量が増加し、コンクリート中の水酸化カルシウム量が不足したことで、シリカフューム、フライアッシュの反応が抑制され、空隙量の減少が生じなかったことによるものと考えられる。そこで、フライアッシュ置換率の増加によって塩化物イオンの見掛けの拡散係数の増大が顕著であった、シリカフューム置換率 8% でフライアッシュ置換率 15% および 30% の 2 配合について細孔径分布の測定を行った。図 4 に、細孔径分布を示す。図より、フライアッシュ置換率 30% の方が細孔容積が大きくなっていることが分かる。以上のことから、シリカフューム置換率 4%、8% において、フライアッシュ置換率の増加により塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きくなったのは、空隙量の増加が原因と考えられる。

4. まとめ

本研究は、シリカフュームを用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性を明らかにするため、浸せき法により塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求めた。また、シリカフュームとフライアッシュを併用した 3 成分系の配合についても検討を行った。その結果、以下に示す知見を得た。①シリカフュームを混和することで、塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きく低下した。また、本研究の範囲では、シリカフューム置換率が高いほど塩化物イオンの見掛けの拡散係数が小さくなった。②シリカフュームとフライアッシュを併用した場合、シリカフュームおよびフライアッシュの置換率によっては塩化物イオンの見掛けの拡散係数が大きくなった。