

高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの塩化物イオン拡散係数 に関する実験的考察

九州大学大学院 学生会員 高 鳴笛 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 (株)ピーエス三菱 正会員 平安山 良和

1. はじめに

既往の研究により、高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートは、高い塩分浸透抵抗性を有することが知られている。実験により求められた実効拡散係数および見掛けの拡散係数は普通コンクリートと比べ、小さいことが報告されているものの、実効拡散係数から見掛けの拡散係数への変換についての評価はまだ統一されていない。そこで、本研究では高炉スラグ微粉末 4000 または 6000 を混和したコンクリートの強度および拡散係数を求め、普通コンクリートと比較した。また、異なる塩水濃度の塩水浸漬試験を行い、見掛けの拡散係数を求めた。その上で実効拡散係数と見掛けの拡散係数の比較を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び配合

本研究で用いた使用材料を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。高炉スラグ微粉末は高炉スラグ微粉末 4000 または 6000 を使用し、セメントに対し 50%質量置換した。以下では、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートを N, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートを B-4, B-6 と表記する。水結合材比 W/B は 45, 55, 65%とした。また、細骨材には海砂、粗骨材には碎石 2005 を使用し、単位水量および混和剤量は一定とした。コンクリート供試体の示方配合およびスランプ、空気量測定結果を表-2 に示す。養生条件は脱型直後から水中養生とした。

2. 2 試験方法

(1) 圧縮強度試験：材齢 3 日, 7 日, 28 日および 91 日にて JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って圧縮強度の測定を行った。

(2) 電気泳動試験：材齢 28 日から土木学会規準 JSCE-G571 「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法」により、実効拡散係数 D_e を求めた。

(3) 塩水浸漬試験：材齢 28 日から 91 日間, NaCl 濃度それぞれ 10%, 5%および 3%, 温度 20℃の塩水内に浸漬した。その後、土木学会規準 JSCE-G572 「浸漬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」により、見掛けの拡散係数 D_a を求めた。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3360\text{cm}^2/\text{g}$
高炉スラグ微粉末	微粉末4000, 密度 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $4070\text{cm}^2/\text{g}$ 微粉末6000, 密度 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $5990\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	海砂, 表乾密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率1.59%
粗骨材	碎石, 表乾密度 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率0.81%

表-2 示方配合

	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					AE減水剤 ($\times\text{C}\%$)	AE 剤 ($\times\text{C}\%$)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	GGBFS	S	G				
N-45	45	45.5	175	389	-	771	1042	0.25	0.002	8.5	4.3
N-55	55	47.5	175	318	-	832	1038	0.25	0.002	5.5	4.3
N-65	65	47.5	175	269	-	851	1061	0.25	0.002	8.0	4.1
B-4-45	45	45.5	175	194	194	765	1033	0.25	0.002	7.0	4.4
B-4-55	55	46.5	175	159	159	810	1051	0.25	0.002	11.5	5.6
B-4-65	65	47.6	175	135	135	849	1054	0.25	0.002	6.0	3.6
B-6-45	45	45.5	175	194	194	765	1033	0.25	0.002	9.0	3.1
B-6-55	55	46.5	175	159	159	810	1051	0.25	0.002	13.0	2.7
B-6-65	65	47.5	175	135	135	847	1056	0.25	0.002	17.0	3.0

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度試験結果

図-1 に圧縮強度試験結果を示す。初期材齢 3 日および 7 日において、B-4 の圧縮強度は N と比べ小さかったが、28 日以降では上回った。B-6 の場合には、材齢 7 日で N と同等の強度となり、長期強度は B-4 の場合を上回った。

3. 2 電気泳動試験結果

図-2 に実効拡散係数 D_e の算出結果を示す。N-65 の D_e が最も大きくなった。N と比較すると、B-4 と B-6 の実効拡散係数は非常に小さく、値は N の $1/10 \sim 1/8$ の程度となった。

また、 $W/B=55\%$ と 65% の場合には、B-4 と B-6 では大きな差は見られなかったものの、 $W/B=45\%$ の場合では B-6 の実効拡散係数は B-4 よりも小さくなった。

3. 3 塩水浸漬試験結果

図-3 に塩水濃度別の見掛けの拡散係数 D_a の算出結果を示す。図より実効拡散係数と同様に、N と比べ、B-4 と B-6 の見掛けの拡散係数は小さいことが分かる。 $W/B=45\%$ における B-6 の D_a は $0.05(\text{cm}^2/\text{year})$ 未満となり、非常に小さくなった。また、試験に用いる塩水濃度が高い方が、 D_a の値も大きくなることが分かった。

3. 4 見掛けの拡散係数と実効拡散係数の関係に関する考察

土木学会「実効拡散係数を用いた見掛けの拡散係数計算法(案)」では、実効拡散係数から見掛けの拡散係数への換算係数 $k_1 k_2$ が示されている。本研究で得られた実効拡散係数と見掛けの拡散係数の関係を図-4 に示す。

図より、全体的に見掛けの拡散係数は実効拡散係数より大きくなった。また、高炉スラグ微粉末を混和した場合には、 D_a / D_e の比がほぼ同じ値となる結果が得られた。

4. まとめ

- (1) 圧縮強度試験の結果から、同一水結合材比において、高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの長期強度は大きくなった。
- (2) 電気泳動試験と塩水浸漬試験の両者の結果から、高炉スラグ微粉末を混和した場合の拡散係数は普通コンクリートよりも小さかった。特に、高炉スラグ微粉末 6000 を混和した場合には拡散係数は非常に小さくなった。また、塩水濃度が高いほど、見掛けの拡散係数は大きくなった。

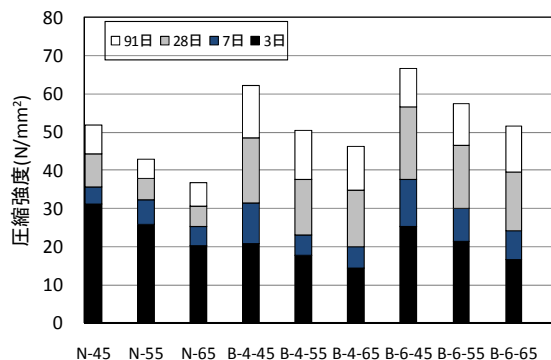


図-1 圧縮強度試験結果

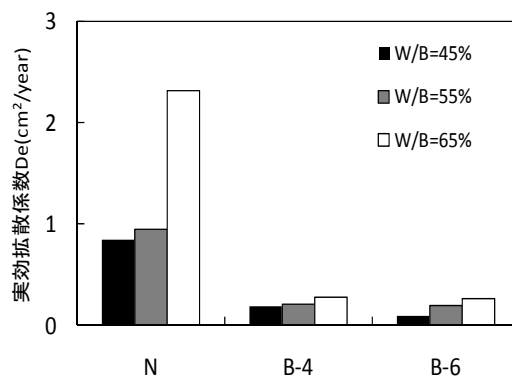


図-2 実効拡散係数

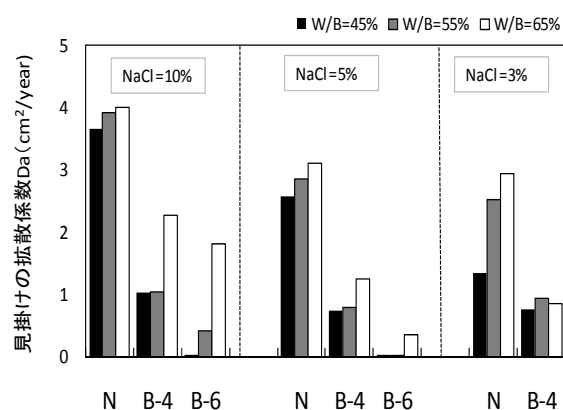


図-3 見掛けの拡散係数

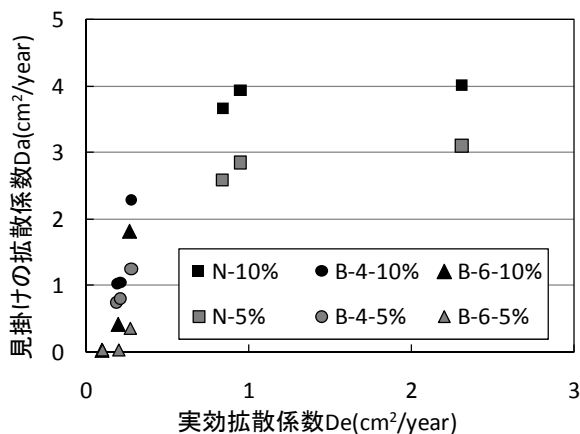


図-4 見掛けの拡散係数と実効拡散係数の関係