耐塩害・高耐久性混和材を用いたコンクリートの塩化物浸透抵抗性

宇部興産㈱　正会員　○石田　剛朗
宇部興産㈱　正会員　大和　功一郎
日本興業㈱　正会員　山地　功二
日本興業㈱　非会員　津郷　俊二

１．はじめに

震災後の復旧および津波対策等として，東北から西日本の太平洋沿岸で防潮堤工事が進行しており，これらの構造物には塩害対策が求められている．また，今後はさらに防潮堤以外の海岸近くのコンクリート構造物に対しても塩害対策が求められ，耐塩害技術のニーズは高くなるものと予想される．このような背景のもと，執筆者らは，耐塩害・高耐久性コンクリート用混和材の開発を行った．本報告では，開発した混和材をセメントの一部に置換したコンクリートに関して，塩化物浸透抵抗性の評価を行った．

２．実験概要

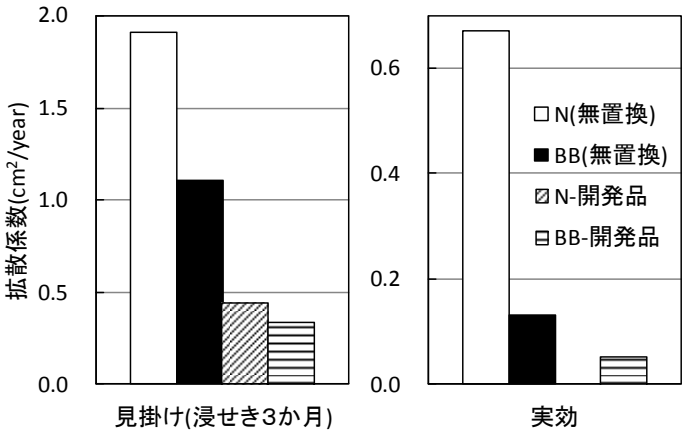
本報告における配合を**表－1**に示す．開発した耐塩害・高耐久性コンクリート用混和材（以下，開発品と称す）は，高い比表面積を持つ無機系微粉末であり，ポゾラン反応性を有する（密度 2.36g/cm^3，BET 比表面積 13.3m^2/g）．

表－1　配合

配合名	W/B (%)	単位量(kg/m^3)							高性能減水剤 (Bx%)	空気量調整剤 (Bx%)
		W	B(結合材)			細骨材		粗骨材		
			N	BB	混和材(開発品)	海砂	砕砂			
N(無置換)	40	168	420	－	－	298	466	1050	0.56	0.009
BB(無置換)	40	168	－	420	－	293	458	1050	0.56	0.009
N-開発品	40	168	380	－	40	294	459	1050	0.70	0.005
BB-開発品	40	168	－	380	40	289	452	1050	0.65	0.005

基準配合は，普通ポルトランドセメント（N）配合と，高炉セメント B 種（BB）配合とした．開発品使用配合では，N，BB 配合をベースに，セメントに対して，開発品を内割で 1m^3 あたり 40kg 置換した．細骨材には海砂と砕砂を体積比 4：6 で混合して使用しており，粗骨材量は全配合で一定とした．また，高性能減水剤および空気量調整剤を用いて，スランプ 9±2cm，空気量 2.0%以下に調整した．養生は蒸気養生とし，前置は 20℃で 4h，昇温速度は 10℃/h，60℃で 3h 保持し，降温速度は 10℃/h とした．蒸気養生終了後，脱枠し，温度 20±2℃，相対湿度 60±5%の環境で所定の材齢まで気中養生を行った．

塩化物浸透抵抗性に対する評価として，塩水浸せき試験（JSCE-G 572-2010「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）」準拠）および電気泳動試験（JSCE-G571-2010「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（案）」準拠），細孔分布測定を実施した．



図－1　見掛けの拡散係数および実効拡散係数

３．塩水浸せきおよび電気泳動試験結果

塩水浸せき期間 3 か月における見掛けの拡散係数および実効拡散係数を**図－1**に示す．ベースとなる結合材（N および BB）ごとに比較すると，開発品使用配合は，無置換配合に比べ，70～80%程度見掛けの拡散係数が

キーワード　耐塩害，高耐久性，混和材，コンクリート，塩化物浸透抵抗性
連絡先　〒755-8633　山口県宇部市小串沖の山１－６　宇部興産㈱ 技術開発研究所　ＴＥＬ0836-22-6157

小さくなる結果となった．開発品使用配合の実効拡散係数に関しては，BB ベースの配合のみ測定を行っており，BB ベースにて比較すると，開発品使用配合では，無置換配合に比べ，60%程度実効拡散係数が小さくなる結果となった．

４．細孔分布の測定結果

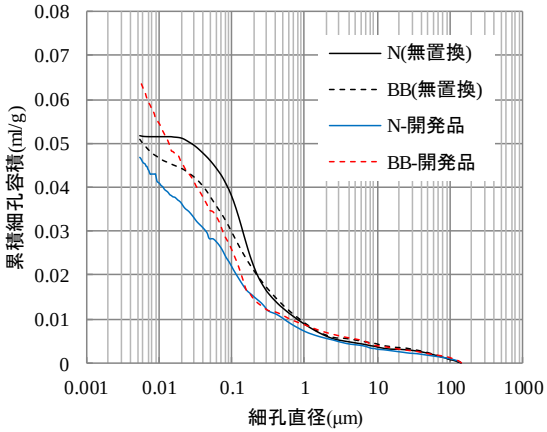
細孔分布は，材齢 56 日で 5mm 角程度に破砕し，アセトン浸漬と D-dry により水和停止させた試料を用いて測定した．累積細孔容積を**図－2** に，径ごとの細孔容積を**図－3** にそれぞれ示す．無置換配合と開発品使用配合を比較すると，総細孔量に関しては明確な傾向が見られないものの，開発品使用配合では，0.01 μm 程度付近の比較的小さな径の細孔量が増加していることがわかる．小径の細孔が増加したことにより，細孔の屈曲度や収斂度が変化すると考えられるが，本報告では，既往の研究 [1)] を参考にし，以下の式を用いて屈曲経路長を計算し，細孔の屈曲度を評価することとした．

$$L_e = \frac{S^2}{4\pi\varepsilon} \qquad (1)$$

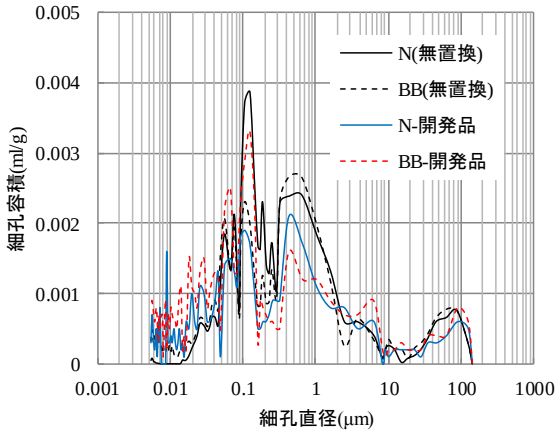
ここで，Le：屈曲経路長(cm/cm³)
S：空隙表面積(cm²/cm³)
ε：空隙量(cm³/cm³)

屈曲経路長は，空隙が 1 本の円筒であると仮定して計算された，単位体積あたりの屈曲経路の長さである．細孔分布の測定結果より，空隙表面積に関しては径ごとに円筒を仮定して算出したものを用い，空隙量に関しては総細孔量を用いた．

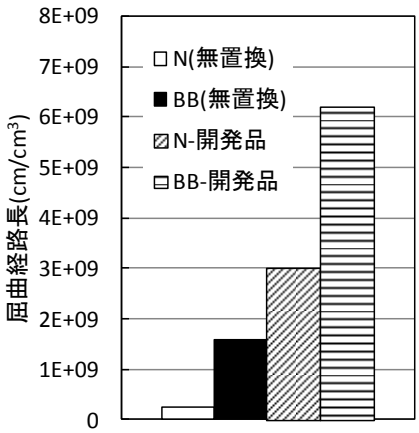
式(1)により計算した屈曲経路長を，**図－4** に示す．開発品使用配合は，無置換配合に比べ，屈曲経路長が大幅に長くなっていることがわかる．細孔の屈曲度が大きければ，硬化体内部での物質移動速度が低下すると考えられ，このことが，開発品使用による硬化体緻密化の一要素であるものと考えられる．



図－2　累積細孔容積



図－3　径ごとの細孔容積



図－4　屈曲経路長

５．まとめ

本報告では，開発した耐塩害・高耐久性コンクリート用混和材をセメントの一部に置換（1m³ あたり 40kg）したコンクリートに関して，塩化物浸透抵抗性の評価を実施した．

拡散係数に関して，開発品使用配合では，無置換配合に比べ，塩水浸せき 3 か月での見掛けの拡散係数が 70～80%程度小さくなり，実効拡散係数が 60%程度小さくなった．

細孔分布に関して，開発品使用配合では，0.01μm 程度付近の比較的小さな径の細孔量が増加した．細孔分布の測定結果に基づき，屈曲経路長を計算した結果，開発品使用配合の屈曲度が大きくなっていると考えられた．屈曲度の増加が，開発品使用による硬化体緻密化の一要素であり，硬化体内部での物質移動速度低下に寄与しているものと考えられる．

参考文献

1) 菊地道生，須田裕哉，佐伯竜彦：酸素および塩化物イオンの実効拡散係数によるセメント系硬化体におけるイオン移動性状の評価，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.346-353，2010