初期高温履歴を与えたコンクリートの物質移動抵抗性に関する実験的検討

長崎大学大学院　正会員　佐々木謙二　長崎大学大学院　学生会員　柏尾　和麻
長崎大学大学院　正会員　原田　哲夫　（株）ヤマウ　片山　強

1. はじめに

コンクリートの各種性能は，材料や配合のみならず，施工の良し悪し，養生条件、暴露条件の影響を大きく受ける。その点を考慮すると，現場打ちのコンクリートよりも工場で製造されるプレキャストコンクリート（PCa）製品の方が品質が安定しており，施工の面においても工期短縮や省力化が可能である。それにもかかわらず，PCa 製品の利用は拡大されていない。現在の社会状況（構造物の長期利用のための高耐久・高品質化，環境負荷抑制，副産資源の活用，熟練労働者の不足）を考慮すると，今後，PCa 製品が社会状況を改善する方法として利用される機会は多いと考えられる。

本研究では， PCa 製品の高品質化，高炉スラグ微粉末などの副産資源の有効利用が広がりつつある現状を踏まえ，塩化物イオン浸透抵抗性に及ぼす結合材種類，水結合材比，養生条件などの諸要因の影響について実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

実験に用いた結合材は，普通ポルトランドセメント[N]，N と高炉スラグ微粉末 6000（JIS A 6206）の混合系(65%：35%)[NB]の 2 種類とした。細骨材は海砂，粗骨材は砕石を用いた。混和剤として，PCa 製品を想定した Non-AE コンクリートでは高性能減水剤を，現場打ちコンクリートを想定した AE コンクリートでは AE 減水剤を用いた。

表-1 に示方配合を示す。PCa 製品を想定した Non-AE コンクリートでは水結合材比 35%，40%，45%，目標空気量 2.0%とした．現場打ちコンクリートを想定した AE コンクリートでは水結合材比 55%，目標空気量 4.5%とした。いずれにおいても単位水量は 165kg/m^3 一定とし，目標スランプ 8cm となるよう適宜混和剤の添加量を調整した。

2.2 養生条件

表-2 に養生条件を示す。【A-D】は標準的な蒸気養生を，【E-D】を最高温度を 40℃とした蒸気養生を，【I-D】は保温養生を想定したものである。

2.3 塩水浸漬試験

材齢 28 日においてφ100×200mm の円柱供試体中心部よりφ100×100mm の試験体を採取し，打ち込み面以外をエポキシ樹脂でコーティングした後，3%NaCl 溶液に浸漬させた。所定の期間経過後，塩水から取り出し試験体を割裂し，割裂面に 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して塩分浸透深さを測定した。その後，浸透面から深さ方向に試料を採取し，全塩化物イオン量を測定した。その結果を Fick の拡散方程式の解で回帰して，表面塩化物イオン量と見掛けの拡散係数を算出した。

表-1　示方配合

	記号	結合材	水結合材比	細骨材率	単位量（kg/m^3）					
		種類	W/(C+SCM)	s/a	水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
					W	C	SCM	S	G	AD
シリーズⅠ（PCa）	N35	N	35%	37%	165	471	—	633	1178	1.41
	N40		40%			413	—	648	1189	0.83
	N45		45%			367	—	664	1237	0.37
	NB3535	NB	35%			306	165	628	1170	1.41
	NB4035		40%			268	145	644	1182	0.83
	NB4535		45%			238	128	661	1231	0.37
シリーズⅡ（現場打ち）	N55	N	55%	40%	165	300	—	711	1171	3.00
	NB5535	NB				195	105	709	1167	3.00

表-2　養生条件

養生条件記号	養生方法	前置時間(h)	昇温速度(℃/h)	最高温度(℃)	最高温度保持時間(h)	降温速度(℃/h)	後養生方法（材齢 1 日以降）
【A-D】	蒸気養生	3	20	65	4	4.5	気中養生（20℃，R.H.60%）
【E-D】				40			
【I-D】	保温養生(24h)						気中養生（20℃，R.H.60%）

3. 実験結果および考察

図-1 に塩水浸漬期間 12 ヶ月における全塩化物イオン濃度分布に及ぼす水結合材比の影響を示す。いずれの結合材種類においても全塩化物イオン濃度分布に及ぼす水結合材比の影響が顕著にみられる。また，同一水結合材比において結合材種類が全塩化物イオン濃度分布に及ぼす影響を見ると，蒸気養生をした場合においても高炉スラグ微粉末を用いることによって塩化物イオン浸透抵抗性が高くなることが確認される。

図-2 に水結合材比と見掛けの拡散係数の関係を示す。塩水浸漬期間 3 ヶ月では水結合材比によって見掛けの拡散係数はさほど変わらないが，塩水浸漬期間が 1 年位なると，いずれの結合材においても水結合材比が小さいほど見掛けの拡散係数も小さくなっていることが確認できる。

図-3 に全塩化物イオン濃度分布に及ぼす初期高温履歴の影響を示す。初期高温履歴によって全塩化物イオン濃度分布に違いはあるものの，初期高温履歴に関わらず塩化物イオンの内部到達位置には大きな違いがないことがわかる。全塩化物イオン濃度分布に大きな違いが生じているのは表面塩化物イオン濃度が初期高温履歴によって大きく異なっているためである。同一の材料，配合，後養生方法，塩水浸漬条件であり，異なっているのは初期高温履歴のみであるので，初期高温履歴の影響により表面塩化物イオン濃度に影響を及ぼす塩化物イオン固定能や空隙構造が異なっているためと考えられる。

図-4 に全塩化物イオン濃度分布に及ぼす膨張材の影響を示す。図より，N においては，全塩化物イオン濃度分布に及ぼす膨張材の影響はほとんど見られないが，NB の場合には膨張材の添加により塩化物イオンの浸透が少なくなっていることが分かり，特に，表面塩化物イオン濃度が著しく小さくなっていることが確認された。

4. まとめ

本研究により，以下のことが明らかとなった。

1) 初期高温履歴を与えた場合においても高炉スラグ微粉末を用いることや水結合材比を小さくすることにより塩化物イオン浸透抵抗性が大きくなることが確認された。
2) 見掛けの拡散係数に及ぼす水結合材比の影響は，塩水浸漬期間 1 年になると顕著にみられ，蒸気養生したコンクリートの水結合材比と見掛けの拡散係数の関係を明らかにした。
3) 同一の材料，配合，後養生方法であっても，初期高温履歴の与え方によって，全塩化物イオン濃度分布が大きく異なることが確認された。
4) 高炉スラブ微粉末を用いた場合には，膨張材の添加により塩化物イオンの浸透が少なくなり，特に表面塩化物イオン濃度が著しく小さくなることが確認された。

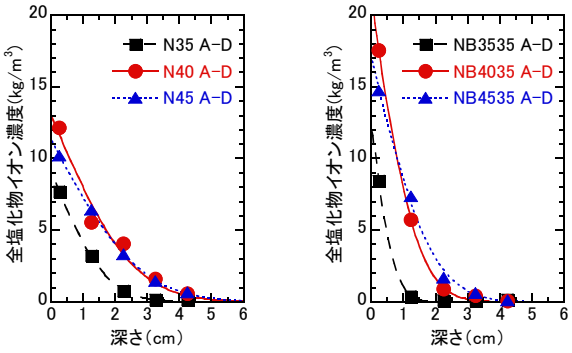

図-1 全 Cl^-濃度分布に及ぼす水結合材比の影響
（塩水浸漬 12 ヶ月）

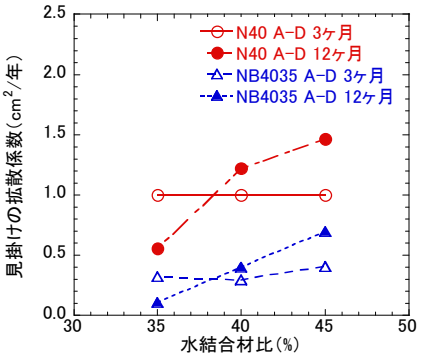

図-2 水結合材比と見掛けの拡散係数の関係

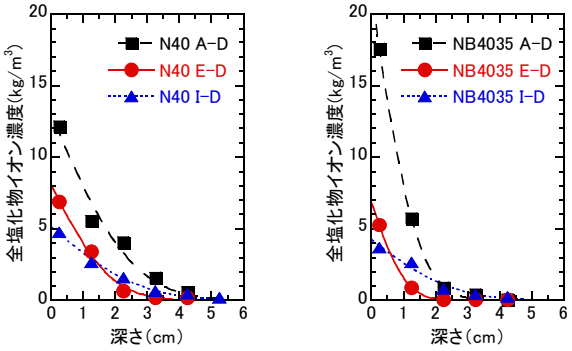

図-3 全 Cl^-濃度分布に及ぼす初期高温履歴の影響

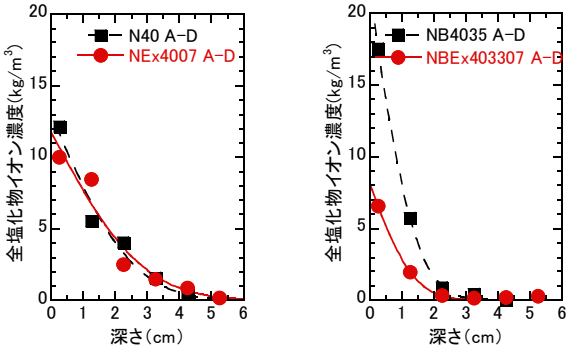

図-4 膨張材添加の影響