

中性化したコンクリートの細孔径分布と塩分浸透性

大林組技術研究所 正会員 竹田 宣典
大林組技術研究所 フェロー 十河 茂幸

1. 目的

コンクリート構造物は複合的な劣化要因を受ける場合が多い。海洋環境下においては、中性化と塩化物イオンの浸透が同時に進行し、複合的な劣化作用を受ける場合があり、コンクリート構造物の劣化予測を行う場合、これらの複合的な劣化を考慮しなければならない。複合劣化に関しては、これまでに、塩化物イオンを含むコンクリートでは、中性化に進行に伴い、中性化フロント付近の塩化物イオン濃度が高くなることが報告されているが[1]、逆に中性化したコンクリート中への塩化物イオンの浸透についての報告は少ない。このように、複数の劣化機構の相互作用については十分に明らかにされているとは言い難い。そこで、中性化と塩害の複合劣化を対象として、中性化が進行したコンクリート中への塩化物イオンの浸透性について、促進試験方法を用いて検討を行った。

2. 実験概要

実環境では、中性化と塩分浸透は同時に作用するが、本研究では、劣化作用の与え方を単純化するために、中性化を促進的に進行させた後、塩化物イオンを浸透させた。試験の順序を図-1に示す。促進試験の条件を表-1に示す。材齢28日より2ヵ月、4ヵ月間の中性化促進試験を行い、中性化の進行程度に差をつけたコンクリートについて、10ヵ月間（300サイクル）の海水噴霧・乾燥繰り返し試験（以下、海水噴霧試験と記述）を行った。なお、比較用として、中性化促進を行っていないコンクリートについても海水噴霧試験を行った。

中性化促進試験終了後に中性化深さ、圧縮強度および細孔径分布を測定し、海水噴霧試験終了後にコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。中性化深さは、供試体の割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、変色しない部分の深さを測定した。細孔径分布は、水銀圧入式ポロシメータにより、表面から深さ10mmまでの部分における半径1.8~150,000nmの細孔を測定した。塩化物イオンの測定は、表面から深さ20mm毎に採取した試料についてJCI-SC4（電位差滴定法）により、全塩化物イオン量を測定した。

供試体は、側面と底面をエポキシ樹脂によりコーティングした直径150mm、長さ150mmの円柱供試体を用いた。コンクリートの配合と性質を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は陸砂（表乾密度：2.60g/cm³、吸水率：2.07%）、粗骨材は碎石（表乾密度：2.66g/cm³、吸水率：0.86%）、混和剤はリグニンスルホン酸系AE減水剤を用いた。

キーワード 中性化、塩害、複合劣化、塩化物イオン浸透、細孔径分布

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所 TEL:0424-95-0937

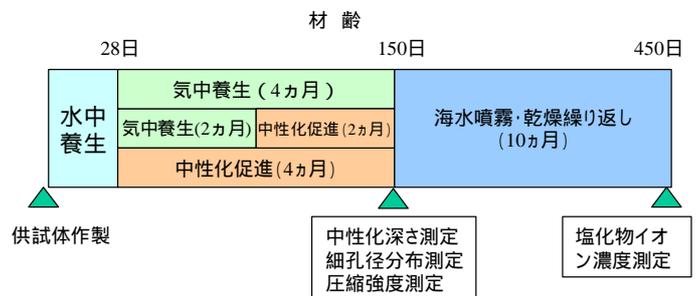


図-1 試験の順序

表-1 促進試験条件

試験方法	試験条件
中性化促進試験	温度 30 ± 2 , 相対湿度 $50 \pm 3\%$ CO_2 濃度 $5 \pm 0.5\%$
海水噴霧・乾燥繰り返し試験 (海水噴霧試験)	海水噴霧(塩素イオン濃度:1.8%人工海水,噴霧量:200ml/m ² /hr,温度:30)12時間,高温乾燥(温度:40 ,相対湿度:60%)12時間を1サイクル/1日

表-2 コンクリートの配合と性質

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単用量 (kg / m ³)					コンクリートの性質		
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²) 材齢28日
15	40	45.0	170	415	751	940	1.04	11.0	6.1	42.1
	50	47.0		322	817	943	0.83	15.0	6.4	36.1
	60	59.0		277	874	931	0.69	15.0	4.9	28.8

3. 実験結果および考察

(1) 中性化したコンクリートの性質 中性化促進後の中性化深さを図 - 2 に示す。W/C が 40%,50%,60% のコンクリートの中性化深さは、促進 2 カ月後でそれぞれ 7mm,11mm,15mm、促進 4 カ月後でそれぞれ 10mm,17mm,23mm であった。中性化促進を行っていない場合の材齢 5 カ月の圧縮強度は、W/C が 40%,50%,60% の場合、それぞれ 55N/mm²,47N/mm²,41N/mm² であったが、促進 2 カ月後で 3~4N/mm² 程度増加し、促進 4 カ月後で 7~10N/mm² 程度増加した。

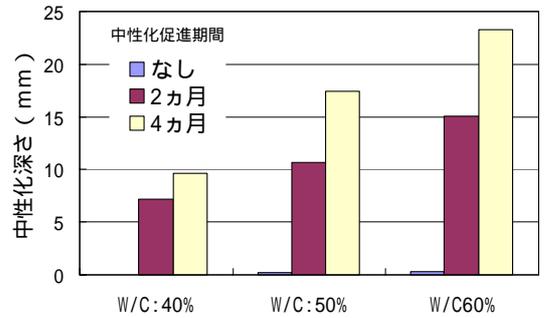


図 - 2 中性化深さ

(2) 中性化による細孔径の変化と塩分浸透

海水浸漬試験終了後の塩化物イオンの浸透量分布を図 - 3 に示す。W/C に関わらず、中性化したコンクリートの表層部の塩化物イオン量は、中性化が進行していない場合に比べて少なくなるが、W/C が 50% 以上の場合は、中性化が進行しているコンクリートほど、深さ 20~40mm 付近の塩化物イオン量は多くなる傾向が認められた。この傾向は W/C が大きいほど顕著であり、60% の場合では、中性化フロント（深さ 23mm）付近の塩化物イオン量は表層部よりも多くなった。

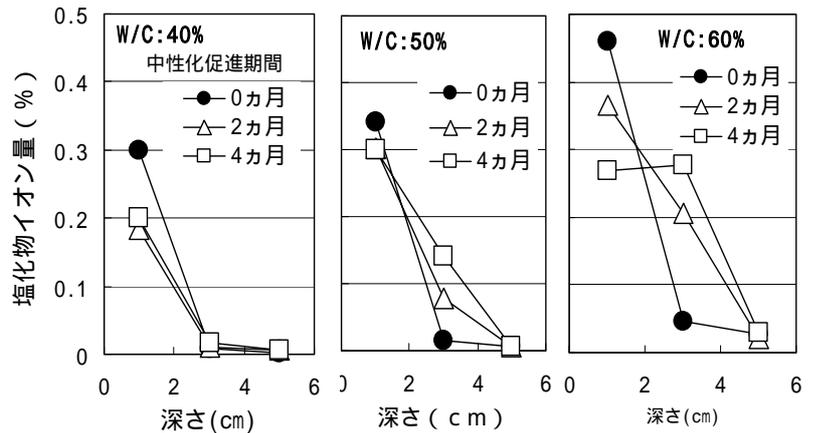


図 - 3 塩化物イオン量の分布

中性化促進試験後の細孔径分布を図 - 4 に示す。いずれの配合も、中性化の進行に伴い、表層部（深さ 0~10mm）の縦細孔容積は減少することが認められた。中性化の進行により、コンクリートの組織が緻密化するために、表層部の塩化物イオン量は少なくなっていると推察される。また、中性化の進行に伴い、半径 150nm 以上の大きな細孔が減少し、半径 50nm 以下の小さな細孔が増加している。促進 4 カ月後における深さ 50mm 位置の細孔径分布は、中性化していないコンクリートの表層部の細孔径分布に近い。これらより、表面の中性化部から内部の未中性化部にかけて細孔径分布は、深さ方向に連続的に変化していると考えられる。表層部が中性化したコンクリートに塩化物イオンが浸透する場合、深さによる細孔径分布の差異が影響して、表層部から中性化フロントの方向へ塩化物イオンの移動が起こるのではないかと推察される。

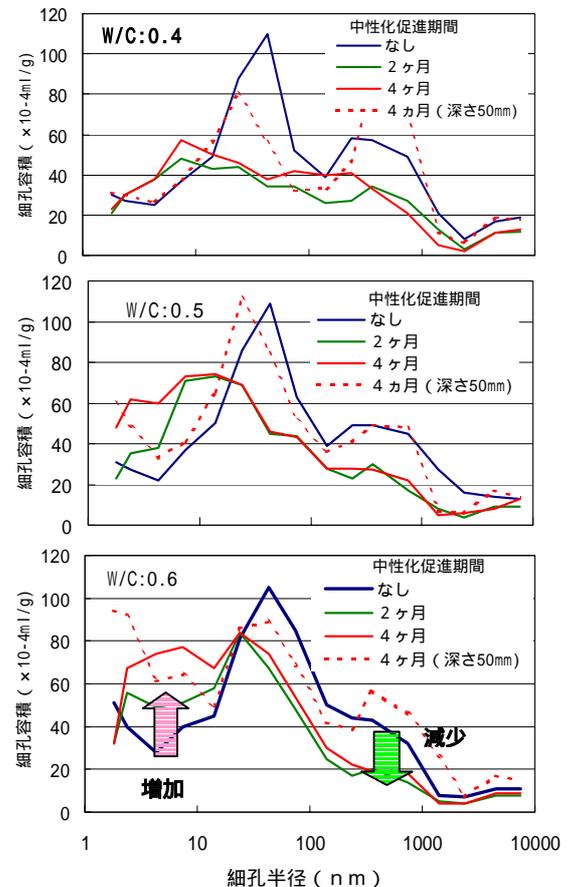


図 - 4 細孔径分布（深さ 0~10mm）

4. まとめ

中性化が進行した W/C が高いコンクリートでは、中性化していない場合と比べて塩化物イオンの浸透性状が異なることが確認された。この理由は明確にできなかったが、中性化に伴う細孔径の変化が影響している可能性も考えられる。

参考文献

[1] 小林一輔, 白木亮, 河合研至: 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物, 硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮, コンクリート工学論文集 第 1 巻第 2 号, pp.69-82, 1990