

V-153 コンクリートの塩害/中性化の複合化に関する検討

近畿大学 正員 川東龍夫

(株)大広 正員 渡辺康彦

京都大学 正員 井上 晋 正員 宮川豊章 正員 藤井 学

1. はじめに コンクリート構造物の早期劣化機構の代表例には塩害、中性化、酸性腐食などがあり、これら単独機構としてはほぼ明らかになりつつある。しかし、複合機構としては不明な点が多い。本研究は、塩害/中性化の複合化に関する実験的検討を行ったものである。特に、劣化過程において生じる塩化物イオンの浸透と移動および化学反応を定性・定量分析し、劣化メカニズムについて検討した。

2. 実験概要 暴露実験の供試体は12x12x118cmの角柱としセメントを高炉セメント、水セメント比を0.60および0.40の2種類とした。中性化促進試験の供試体は10×10×15cmの角柱とし、打設時にセメントが固定化するとされている重量(セメント重量の約0.4%)¹⁾のClをNaClで練り混ぜ水に混入した。セメントは、普通、高炉B種の2種類とし、水セメント比として0.60を設定した。促進中性化(20±0.1℃、RH60±1%、CO₂濃度10%)は7日間行なった。暴露実験供試体および中性化促進試験供試体は、中性化測定(フェノールフタレイン法)、電位差滴定法(JCI-SC4に準じた方法)による塩化物イオン分析、EPMAによる面分析(加速電圧15KV、吸収電流2.0×10⁻⁷μA、ビーム径200μm一定)および粉末X線回折試験(ターゲットCu、印加電圧40KV、印加電流80mA、スリット系1°-1°-0.30mm)を適宜行なった。

3. 結果および考察 5年間暴露した供試体の全塩分量および水溶性塩分量を図1に示す。瀬戸内海暴露供試体のうち水セメント比が0.40の深さ0-10mmの試料に多くの塩化物イオンが含まれており、深さ10-20mmでは急減している。W/Cが0.60の試料と比較すると、低水セメント比による塩化物イオンの浸透に対する抑制効果は明かである。

一方、日本海の試料では瀬戸内海に見られるような深さ方向に対する塩化物イオンの減少が顕著ではない。これは海洋環境の相違により塩化物イオンの表面から内部への浸透・拡散が異なったために生じたと思われる。コンクリート構造物にとって日本海の家象条件は瀬戸内海に比べて厳しいと考えられる。全塩分量と水溶性塩分量の差は、瀬戸内海の0.40および日本海の0.40に認められ、フリーデル氏塩として固定化される値(セメント重量の約0.4%)に近いものもあるが、瀬戸内海の0.60の試料にはほとんど差がなかった。瀬戸内海の供試体の中性化深さは水セメント比0.60で約5mm以上、0.40で約2mm

以下となっている。したがって、水セメント比0.60における塩分の挙動は、物理的浸透の他に中性化により遊離した塩化物イオンが内部あるいは外部へ移動したものと考えられる。促進中性化を行なった供試体の全塩分量を図2に示す。打設下面からの深さ0~5mmの中性化部において塩化物イオン量が減少している。10mm位置にプロットした値は、試料としては深さ5~15mmのものを

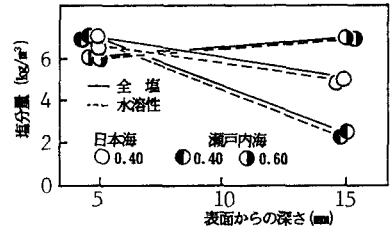


図1 暴露供試体の塩分量

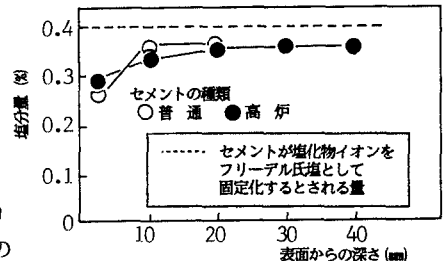


図2 促進中性化試料のセメント重量に対する全塩分量

は2.5mmにプロットした値と同様であるとすれば、表面から遠い部分では、図に示された値よりもはるかに大きな値を本来は示すものと考えられ、塩化物イオンは中性化部から非中性化部へ移動していると考えられる。この移動現象は、セメントの種類の違いによる塩分の固定化形態も含めてより詳細な検討が必要である。

表1 促進中性化供試体の中性化深さ (mm)

セメントの種類	打設下面	打設右面	打設左面	打設上面	平均値	比
普通	4.7	6.1	7.4	6.3	6.1	1.0
高炉	4.4	8.0	5.4	8.0	6.5	1.1

促進中性化供試体の中性化深さを表1に示す。

セメントの種類による中性化深さに顕著な差異は認められなかった。

打設下面の中性化深さが他の面に比べて小さいのは、下層が密実であるためにCO₂の浸透量が少なくなったことによるものと考えられる。打設上面が下面に比べて中性化深さが大きいものの、他の面との比較において材料分離による影響は顕著には認められなかった。中性化速度は、高炉セメントが普通セメントより若干大きいようである。

EPMAによる面分析結果を写真1、2に示す。

暴露供試体のC1は、深さ0-10mmまではほぼ一様に分布しているが10-20mmになると低い分布となっており、電位差滴定による塩化物イオン分析結果とよく一致している(写真1AB)。

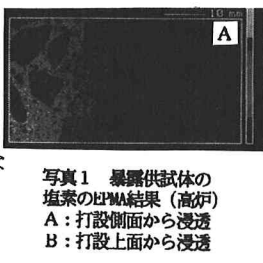


写真1 暴露供試体の塩素のEPMA結果(高炉)
A: 打設側面から浸透
B: 打設上面から浸透

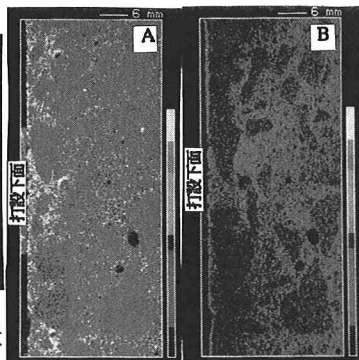


写真2 促進中性化供試体のEPMA結果(普通セメント)
A: 炭素 B: 塩素

促進中性化した供試体の炭素は表面より0~5mm付近に多く存在し、その他の部分では偏在しているようである(写真2A)。この表面付近に多量に存在する

炭素は中性化によって炭酸カルシウムとして固定されている炭素と思われ、前述の中性化測定結果に一致する。塩素濃度は深さ0~5mmの中性化部付近では低く、中性化部と非中性化部の境界面が最も高くなり、非中性化部は若干低くなるが中性化部に比較して高い(写真2B)。これは、塩化物イオンが中性化部から非中性化部へ移動し、そのため中性化部と非中性化部の境界面に集中したことを示すもので、電位差滴定の結果に一致している。また、図3はEPMAによる各領域におけるC1のX線強度の平均値と電位差滴定による塩化物イオン量の相関性を示したものである。

表2は、高炉セメントコンクリート供試体の促進中性化およびモニター試料の水酸化カルシウムとフリーデル氏塩のピーク強度を示したものである。採取深さ0~5mmの促進中性化試料はモニター試料に比べて水酸化カルシウムが明らかに減少している。これは前述の中性化深さ測定結果に一致している。フリーデル氏塩のピークは、促進中性化試料の深さ5-15mm、15-25mmおよびモニター試料の深さ0-10mm、10-20mmに認められるものの、促進中性化試料の0-5mmでは明かなフリーデル氏塩のピークが認められず、塩化物イオンがコンクリート中に固定されていないものと考えられる。

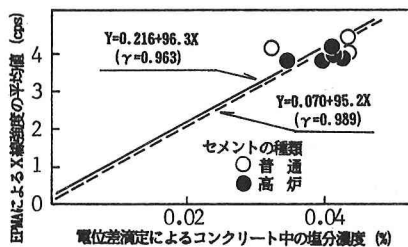


図3 塩分濃度とEPMA X線強度平均値との関係

表2 粉末X線回折試験結果 (回折強度: cps)

追跡物質	促進中性化供試体			モニター供試体	
	1	2	3	1	2
水酸化カルシウム	390	1620	1701	1788	1583
フリーデル氏塩	0	403	496	494	445

参考文献 1) W.Richartz: Die

Binding von Chlorid bei der Zement erhärtung, Zement-Kalk-Gips, Heft 10, 447-456 (1969)