

防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋の防錆効果に及ぼすセメント種類の影響

長岡技術科学大学
独立行政法人 港湾空港技術研究所
国土交通省 九州地方整備局

学生員 ○川島 徹
正会員 山路 徹・濱田秀則
正会員 渡邊和重・山本 悟・木村道夫

1. はじめに

近年、海水による塩害を受けるコンクリート構造物に対して、コンクリート練混ぜ時に防錆剤を大量添加する場合がある。この際、塩分浸透性の低い高炉セメントを同時に使用することで、塩害を抑制する効果は高まるものと考えられる。しかしながら、防錆剤を用いたコンクリートに関する既往の研究のほとんどが普通ポルトランドセメントについてのものである。そこで、本研究では普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントの2種類のセメントを用いてコンクリートを作成し、コンクリート中の鉄筋の防錆効果に及ぼすセメント種類の影響について検討を行った。

2. 試験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント（以下N）と高炉セメントB種（以下B）の2種類を使用し、細骨材には静岡県上内田産山砂（表乾密度：2.58 g/cm³ 粗粒率：2.76）、粗骨材には茨城県岩瀬産砕石（表乾密度：2.65 g/cm³ 粗粒率：6.32）を使用した。防錆材として主成分が亜硝酸カルシウムのものを用い、鉄筋は異型鉄筋D10(黒皮付き)を使用した。配合は水セメント比 W/C が55%であり、スランプが8±2cm, 空気量が4±1.5%とした。防錆剤量は0, 10, 20L/m³の3種類であり、腐食を発生させるために練り混ぜ水に添加した塩化物イオン（Cl⁻）量は0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.1, 4.1kg/m³の7種類とした。

(2) 試験体および暴露条件

10*10*10cmのコンクリート試験体のかぶり2cmおよび4cmの位置に鉄筋を埋め込んだ（図-1参照）。また、試験体の5面はシリコンで被覆し、物質の浸透面は1面のみとした。暴露条件は気温20℃, 湿度80～90%である。試験体名およびその配合一覧を表-1に示す。なお、試験体名中の「1.2」は添加したCl⁻量を表している。

(3)測定項目

コンクリートの圧縮強度は、暴露前（材齢43～45日）にJIS A 1108により測定した。そして、試験体を10週暴露後、一部の試験体を割裂し、鉄筋周囲のコンクリート中の全・可溶性塩化物イオン量（Cl⁻量）、可溶性亜硝酸イオン量（NO₂⁻量）および鉄筋の腐食面積率を測定した。なお、Cl⁻量はJCI-SC4に準拠して測定し、NO₂⁻量はコンクリートを粉状に粉碎したものを水に溶かした後、イオンクロマトグラフィーにより測定した。

キーワード 防錆剤, 高炉セメント, 鉄筋腐食, NO₂⁻/Cl⁻

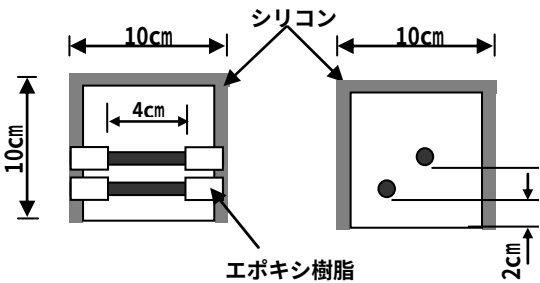


図-1 試験体

表-1 試験体一覧

セメントの種類	名前	防錆剤量 (L/m ³)	添加Cl ⁻ 量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
普通ポルトランドセメント (N)	N0-0	0	0.0	46.1
	N0-1.2		1.2	---
	N0-2.0		2.0	---
	N0-3.1		3.1	42.5
	N10-1.2	10	1.2	---
	N10-1.5		1.5	40.4
	N10-2.0		2.0	---
	N10-3.1		3.1	---
高炉セメントB種 (B)	B0-0	0	0.0	38.1
	B0-1.2		1.2	---
	B0-2.0		2.0	---
	B0-3.1		3.1	44.7
	B10-1.2	10	1.2	---
	B10-1.5		1.5	39.9
	B10-2.0		2.0	---
	B10-3.1		3.1	---
	B20-2.0	20	2.0	---
	B20-2.5		2.5	---
	B20-3.1		3.1	45.8
	B20-4.1		4.1	---

3. 結果および考察

(1) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を表-1に示す。セメントがNの場合は、Cl⁻の混入により強度が10～20%程度低下した。一方、セメントがBの場合は、防錆剤およびCl⁻の混入による圧縮強度の低下は認められなかった。

(2) 全・可溶性Cl⁻量と可溶性NO₂⁻量

表-2に可溶性Cl⁻量と全Cl⁻量の比を示す。この比はNの方が小さく、すなわちNの方がBに比べてセメント中に固定化されたCl⁻量がやや多くなる傾向にあった。これは文献1)と同様の傾向であった。

図-2に防錆剤添加量と実測NO₂⁻量の関係を示す。防錆剤添加量が10L/m³の場合で比較すると、実測NO₂⁻量はNの方がBより少なくなっている。これは、NO₂⁻はCl⁻と同様にセメント中に固定化されると考えられており、Bの方がNに比べて固定される量が少なかったためと考えられる。このことは、防錆剤添加量と同じ場合、セメントにBを用いた方が、より防錆効果が発揮されることを示している。

(3) モル比(NO₂⁻/Cl⁻)と腐食面積率の関係

図-3にNO₂⁻/Cl⁻と腐食面積率の関係を示す。N10の場合、NO₂⁻/Cl⁻が0.92以下において明確な腐食が見られた。一方、Bの場合は、B20の場合、NO₂⁻/Cl⁻が0.84で腐食が見られたが、B10の場合はNO₂⁻/Cl⁻が0.74でも腐食が見られなかった。文献2)等において、防錆剤による防錆効果はNO₂⁻/Cl⁻に依存し、また、Cl⁻量の影響を受けると言われている。今回の結果においても、全Cl⁻量が3.5kg/m³程度の場合(B20-4.1)は0.8程度で腐食が発生したが、2.6kg/m³程度の場合(B10-3.1)は0.7程度でも腐食が発生しなかった。すなわち、Cl⁻量の違いにより腐食の発生するNO₂⁻/Cl⁻は異なっているようである。

4. 結論

1) コンクリート中に固定される亜硝酸イオン量はセメントの種類により異なり、高炉セメントの方が普通ポルトランドセメントに比べて少ない。すなわち、防錆剤添加量と同じ場合、高炉セメントの方が防錆効果は大きいと言える。

2) 防錆剤を用いたコンクリートにおいて、鉄筋の防錆効果はNO₂⁻/Cl⁻に依存し、高炉セメントの場合も普通ポルトランドセメントの場合と同様に塩化物イオン量の影響を受ける。すなわち、塩化物イオン量が多いほどNO₂⁻/Cl⁻は大きくなる傾向にある。

なお、本研究は継続中であり、今後さらに検討を行う予定である。

参考文献

1) T.U.Mohammed, et.al.: Chloride Diffusion, Microstructure and Mineralogy of Concrete after 15 Years of Exposure in Tidal Environment, ACI Materials Journal, Vol.99, No.3, pp.256-263, 2002

2) 友沢史紀他：防錆剤大量添加による環境塩害の抑制に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集A，pp.291-292，1987

表-2 可溶性/全Cl⁻量とNO₂⁻/Cl⁻

	全Cl ⁻ 量	可溶性/ 全Cl ⁻ 量	NO ₂ ⁻ /Cl ⁻
N0-3.1	3.19	0.81	0.00
N10-1.2	1.27	0.60	1.25
N10-1.5	1.47	0.56	1.32
N10-2.0	2.09	0.56	0.92
N10-3.1	2.33	0.70	0.58
(N平均)	-	0.65	-
B0-3.1	2.76	0.87	0.00
B10-2.0	2.31	0.57	1.21
B10-3.1	2.63	0.71	0.74
B20-3.1	2.98	0.68	1.04
B20-4.1	3.50	0.78	0.84
(B平均)	-	0.72	-

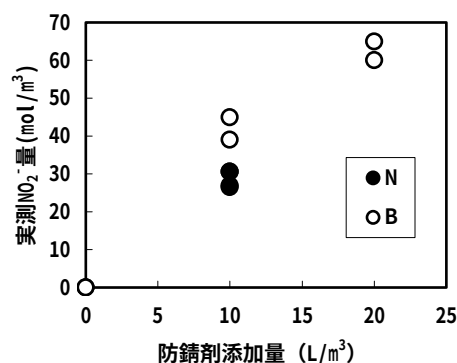


図-2 防錆剤添加量と実測NO₂⁻量の関係

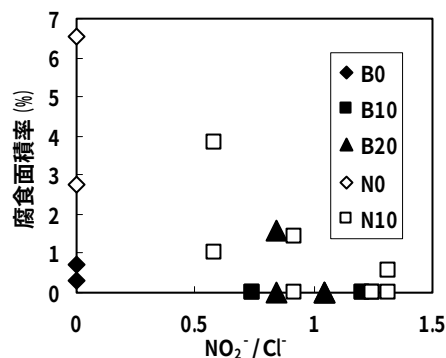


図-3 モル比NO₂⁻/Cl⁻と腐食面積率