

遮塩性に優れたシールドセグメントの開発

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○内田 雅人
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 倉岡 希樹

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 大野 直也
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 築嶋 大輔

1. はじめに

臨海部に建設されたシールドトンネルではセグメント内部への塩化物イオンの浸入に伴う鉄筋腐食が確認されている。また、鉄筋腐食に伴う剥離剥落等の損傷も発生しており、維持管理上の課題となっている。セグメントの塩害対策は鉄筋かぶりの増加、防食鉄筋の使用などが一般的であるが、工事費の増加が見込まれる。本研究ではフライアッシュ（以下、FA）や高炉スラグ微粉末（以下、BFS）などの混和材を混入し、遮塩性（塩化物イオンの侵入抵抗性）が高いセグメントを開発することとした。試験はφ100×200mmの円柱供試体による遮塩性確認試験と実物大セグメントによる品質確認試験の2段階に分けて実施した。

2. 遮塩性確認試験

2.1 試験方法

配合や養生条件が異なるφ100×200mmの円柱供試体を製作し、塩水浸漬試験により遮塩性を確認した。配合は塩害が発生したセグメントと同じ設計基準強度48N/mm²を想定し、表-1とした。OPCの他に、FAおよびBFSを内割りでセメントと置換したものを4種類製作した。全ての配合に乾燥収縮に伴うひび割れを防ぐため、粉体量の10%（FAのみ8%）の膨張材を混入した。養生条件は50℃または65℃の蒸気養生6時間（表-3参照）、15℃の水中養生3日間、20℃、60%RHの気中養生28日間を基本とし、水中養生期間を7日間に延長したものと気中養生期間を3ヶ月または6ヶ月に延長したものを製作した。試験体は気中養生終了後に側面のみエポキシ樹脂を塗布し、試験体の下半分が浸かるよう縦置きで20℃、濃度10%の塩水に浸漬した。塩水浸漬試験以外に圧縮強度試験と膨張量試験を実施した。

2.2 試験結果

1年間塩水に浸漬した試験体から試料を採取し、蛍光X線分析装置で内部の塩分イオン濃度を測定した。図-1は、各配合の基本養生（蒸気養生：6時間、水中3日間、気中28日間）で製作した試験体の塩化物イオ

ン濃度分布であり、横軸が浸漬面からの距離、縦軸が塩化物イオン濃度を示している。OPCでは塩化物イオンが30mmまで浸入したが、B75では浸漬面から10mmの位置でも塩化物イオン濃度が増加していない。また、他の3配合については、浸漬面から10mm～20mmの位置まで塩化物イオン濃度が増加していた。混和材を入れた配合はOPCに比べて遮塩性が向上する傾向が確認された。図-2に水中養生と気中養生期間が遮塩性に与える影響を示す。OPCで水中養生を3日から7日に延長した際に、遮塩性が向上したが、混和材を入れた配合は、水中養生または気中養生の期間を延長しても遮塩性に有意な差はなかった。塩水浸漬試験以外の試験では、気中養生終了後の圧縮強度試験では全ての試験体で圧縮強度が48.0N/mm²以上であることを確認した。膨張量試験では、全ての配合でほぼ収縮側のひずみが発生しておらず、膨張材の効果が確認された。

表-1 遮塩性確認試験体の配合

配合名	W/P	粉体量 [kg/m ³]	単位量 [kg/m ³]							
	[%]		水	セメント	BFS	FA	膨張材	細骨材	粗骨材	減水剤
OPC	42.2	330	140	297.0	0	0	33.0	799	1168	2.6
B50	38.5	364	140	145.6	182	0	36.4	782	1142	2.1
B75	33.0	424	140	63.6	318	0	42.4	757	1106	2.1
B50+FA10	34.1	410	140	123.0	205	41	41.0	759	1109	2.3
FA30	32.4	432	140	267.8	0	129.6	34.6	745	1088	2.5

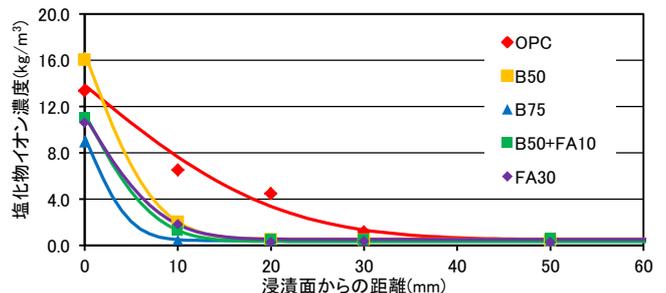


図-1 塩水浸漬試験結果（1年浸漬後）

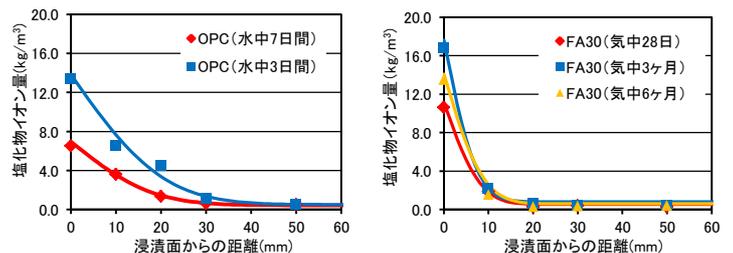


図-2 養生期間が遮塩性に与える影響

キーワード シールドセグメント, 塩化物イオン, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 塩水浸漬試験, 表層透気試験
連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 TEL. 03-6276-1251

3. セグメント品質試験

3. 1 試験方法

OPC, B50+FA10 および FA30 の 3 配合で実物大のセグメント試験体を製作し, 表層透気試験により混和材を入れた試験体が OPC 試験体と同程度の表層品質となるかを確認した. 蒸気養生は遮塩性確認試験で使用した case2 と case3 に加え, 50°Cで養生時間を 3.5h に短縮した case1 を追加した. 水中養生は 3日と 7日の 2種類とした. 水中養生を終了したセグメントは屋外に暴露し, 暴露後 1ヶ月, 3ヶ月および 6ヶ月経過した時点で, 表層透気試験を実施した. 表層透気試験は 1回につき 1体あたり 3箇所を測定した. 測定箇所にはマークをつけて常に同じ位置で測定した. なお, 表層透気試験は表面水分率の影響を受けるため, 試験結果が有効とされる 5.5%以下¹⁾ で実施した. 評価方法は既往の研究²⁾ で提案されたものを使用し, 3箇所の平均値で評価した. 評価方法を表-2 に示す. 表層透気試験の他に寸法計測とひび割れ調査を表層透気試験と同じ時期に実施した.

3. 2 試験結果

表層透気試験の結果を表-3 に示す. OPC 試験体は 1ヶ月, 3ヶ月, 6ヶ月の 3回とも透気性グレード 2 の評価となった. 混和材を入れた配合で製作した試験体も No.7 を除き, グレード 1 または 2 の評価となった. No.7 の試験体は毎回同じ 1 箇所で大きい透気係数が計測されたため, 評価はグレード 3 となったが, 他の 2 箇所はグレード 2 となっていた. 透気係数が大きい箇所では表面にひび割れ等の損傷はなく, 原因は特定できないが, 同じ配合で水中養生期間のみが短い No.6 の試験体は全ての計測箇所でグレード 2 となっており, 原因は配合ではなく表面の不陸など製作に起因したものであると考えられる. そのため, 混和材を入れた試験体と OPC の試験体で品質に有意な差はないと考えられる. 養生条件による品質の違いは, 蒸気養生および水中養生ともに全ての配合で確認されなかった. 6ヶ月時点では経年に伴う品質の変化も全ての配合で確認されなかった. 表層透気試験以外の調査では, 寸法調査では全ての配合で脱型時から暴露後 1ヶ月の間に, セグメント幅が数ミリ減少したが, 1ヶ月以降は有意な変化は確認されなかった. 暴露後 6ヶ月時点のひび割れ発生状況を図-4 に示す. ひび割れ調査では暴露後 3ヶ月の調査で, No.2 および No.3 以外の試験体で隅角部に微細なひび割れが確認された. 暴露後 6ヶ月の調査では全て

表-2 表層透気試験の評価方法

透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100
透気性グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

表-3 表層透気試験の結果

No.	配合 置換率	養生条件		平均透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)		
		蒸気養生	水中養生	経年		
		区分	日数	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月
1	OPC	<case1>	3日	0.071	0.034	0.012
2	B50+FA10	① 前養生 20°C, 2時間 ② 温度勾配 20°C/h ③ 養生 50°C, 3.5時間	7日	0.020	0.031	0.016
3			7日	0.009	0.022	0.011
4		<case2>	3日	0.013	0.023	0.009
5	FA30	① 前養生 20°C, 4時間 ② 温度勾配 15°C/h ③ 養生 50°C, 6時間	7日	0.037	0.053	0.035
6		<case1>	3日	0.044	0.065	0.040
7			7日	0.110	0.125	0.133
8	FA30	<case3>	3日	0.031	0.035	0.008
9		① 前養生 20°C, 4時間 ② 温度勾配 15°C/h ③ 養生 65°C, 6時間	7日	0.029	0.046	0.023

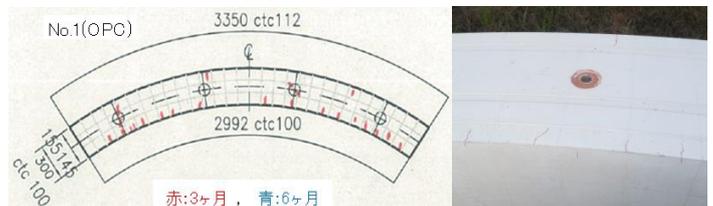


図-4 No. 1 試験体のひび割れ状況 (暴露後 6ヶ月)

の試験体で隅角部に微細なひび割れが確認された. ひび割れが確認された時期は試験体により異なるが, ひび割れの発生位置や発生数に有意な差はなかった.

4. まとめ

- (1) 混和材を入れた配合は OPC よりも遮塩性が優れていた. B75 が最も優れており, その他の 3 配合 (B50, B50+FA10, FA30) は同程度であった.
- (2) 混和材を入れた配合では水中または気中養生期間の延長に伴う遮塩性の向上は確認されなかった.
- (3) 混和材を入れた配合の表層品質はグレード 2 の OPC と同程度であると考えられる.
- (4) 混和材を用いた配合では養生条件による表層品質の違いは確認されなかった.

参考文献

- 1) 日本非破壊検査協会: 平成 28 年度特別セミナー鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門「表層透気試験を現場で活用するためのワークショップ」講演会資料, pp21-37, 2016.10
- 2) 土木学会: 構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(JSCE335 委員会)第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ No.97, p30, 2012.7