

混和材を配合したシールドセグメントの遮塩効果に関する実験的検討

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○石井 祐太
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 小泉 秀之

1. はじめに

臨海部に構築されるシールドトンネルでは、セグメントに塩害による被害が多く見られ、維持管理上の問題となっている。現在の土木学会や鉄道の設計標準では、混和材を使用したコンクリートの遮塩性について一定程度加味している¹⁾が、実構造物での遮塩性の経時変化については十分に評価されるには至っていない。

本報告では、実構造物に対する遮塩効果の確認を目的とし、実物大シールドセグメントにおける塩分浸漬試験および表層透気試験を行い、遮塩効果を確認するとともに、コンクリート配合、養生条件の違いがセグメント製作時の強度発現に与える影響について検証を行った。

2. 塩水浸漬試験

2.1 試験方法

配合条件や養生条件を変えたシールドセグメントを9体作成した(図-1)。コンクリートの配合条件と養生条件を表-1、表-2に示す。セグメントの寸法は厚さ300mm、幅1,200mm、外径3,351mmである。セグメントは屋外にて18ヶ月間暴露後、4箇所からφ100×300mmのコアを計36本採取し、外径側の150mmをコア試験体とした(図-2、図-3)。浸漬試験体は側面にのみエポキシ樹脂を塗布し、下側半分が塩水に浸かるように浸漬した。塩水の濃度は10%とし室温20°Cの環境下で92日間保管した。

2.2 試験結果

92日間浸漬したコア試験体の塩化物イオン濃度分布を図-4に示す。また、Fickの第二法則に基づく拡散方程式により近似した曲線も含めて表す。同様な配合条件、養生条件後、屋内に設置した試験体を塩水浸漬した結果を図-5に示す。シールドセグメントの鉄筋かぶりは、二次覆工を施さない場合、一般の環境下におい

て25mm以上必要とされている²⁾。セグメントから採取したコア試験体、屋内に設置した試験体ともに、かぶ



図-1 シールドセグメント

コア試験体

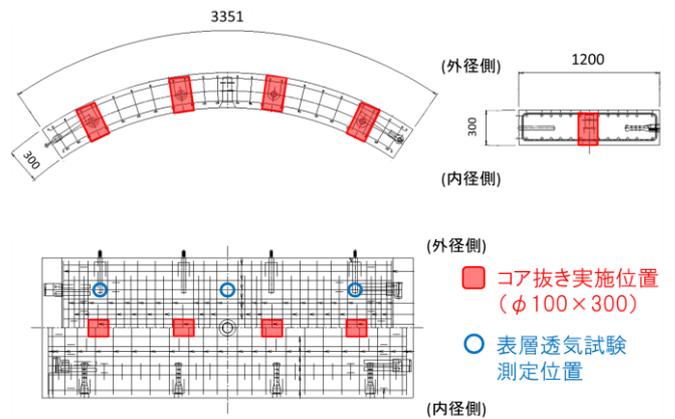


図-2 シールドセグメントの寸法およびコア採取位置と表層透気試験測定位置

表-2 配合条件と養生条件

No.	配合条件	蒸気養生	水中養生	備考
1	高炉スラグ置換率0%(OPC)	50°C-3.5h	3日	18ヶ月の屋外暴露後、セグメントからコア試験体を採取
2	高炉スラグ置換率50% +フライアッシュ置換率10% (B50+FA10)	50°C-3.5h	3日	
3			7日	
4			3日	
5	50°C-6h	50°C-3.5h	7日	
6			3日	
7	フライアッシュ置換率30% (FA30)	50°C-3.5h	7日	
8			3日	
9			7日	
No.	配合条件	水中養生	気中養生	備考
10	高炉スラグ置換率0%(OPC)	15°C-3日	28日	屋内設置試験体を作成
11	高炉スラグ置換率50% +フライアッシュ置換率10%(B50+FA10)	15°C-3日	28日	
12			28日	

表-1 使用したコンクリート配合

配合	W/P (%)	S/a (%)	粉体量 (kg/m ³)	空気量 (%)	表面水 (%)	単位量(kg/m ³)						
						水	セメント	高炉スラグ	膨張材	フライ	粗骨材	減水材
						密度	密度	微粉末 密度	密度	アッシュ 密度	密度	密度
OPC	42.4	40.0	330	2	0.00	140	297	0	33	0	1168	2.64
B50+FA10	34.1	40.0	410	2	0.00	140	123	205	41	41	1109	2.26
FA30	32.4	40.0	432	2	1.39	140	268	0	35	130	1088	2.51

キーワード 高炉スラグ、フライアッシュ、塩水浸漬試験、塩化物イオン濃度、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 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 TEL.03 - 3379 - 4353

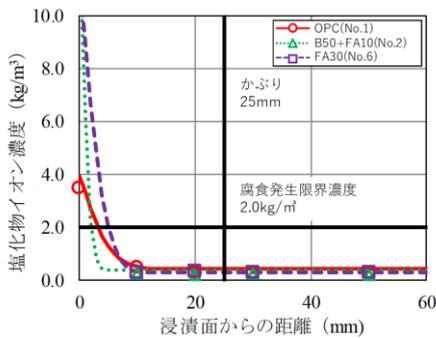


図-4 コア試験体の塩化物イオン濃度

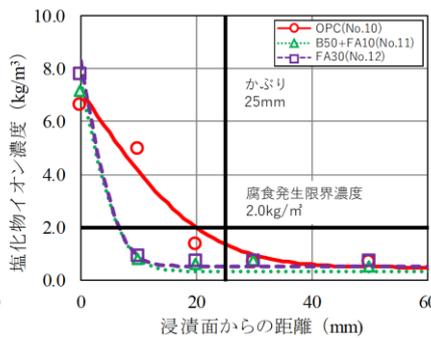


図-5 屋内設置試験体の塩化物イオン濃度

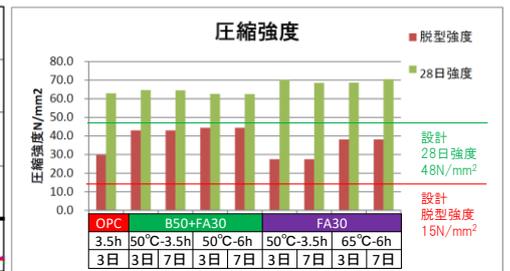


図-6 コンクリート試験体の圧縮強度

表-4 表層透気試験の結果

No.	供試体概要			透気系数 $KT \times 10^{-16} m^2$								
				13ヶ月				18ヶ月				
	配合条件	蒸気養生	水中養生	①	③	④	平均	①	②	③	④	平均
1	OPC	50°C-3.5h	3日	0.0070	0.0064	-	0.0085	<0.001	0.0033	0.0014	-	0.0019
2	B50+FA10	50°C-3.5h	3日	0.1200	0.0058	-	0.0106	<0.001	0.0018	<0.001	-	0.0013
3			7日	0.0110	0.0130	-	0.0147	0.0014	0.0029	<0.001	-	0.0018
4		50°C-6h	3日	<0.001	<0.001	-	0.0037	<0.001	<0.001	0.0012	-	0.0011
5			7日	0.0077	<0.001	-	0.0057	0.0021	0.0038	<0.001	-	0.0023
6	FA30	50°C-3.5h	3日	0.0042	<0.001	-	0.0035	0.0021	0.0018	0.0012	-	0.0017
7			7日	0.0240	0.0150	0.0580	0.0237	0.0018	0.0100	0.0059	0.0220	0.0059
8		65°C-6h	3日	0.0058	<0.001	-	0.0031	<0.001	<0.001	<0.001	-	0.0010
9	7日		0.0077	<0.001	-	0.0059	<0.001	0.0053	<0.001	-	0.0024	

表-3 表層透気試験の評価

透気係数 $KT (\times 10^{-16} m^2)$	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

り 25mm 以深で腐食発生限界濃度 2.0kg/m³を下回る結果となった。また、コア試験体の方が高い遮塩性効果を確認した。これは、セグメントを屋外暴露していることにより水和反応とポゾラン反応が進行したためだと考えられる。

3. 表層透気試験

3.1 試験方法

コンクリートの緻密性を確かめるため、セグメントに対して13ヶ月と18ヶ月間屋外に暴露した時点で表層透気試験を行った。試験方法はダブルチャンバー法を採用した。ダブルチャンバー法はセグメント表面にチャンバーバキュームセルを吸着させ、真空状態からの圧力上昇値と時間を測定する方法である。シールドセグメントの中央、両端から419mmの計3点(図-2)において測定を行った。

3.2 試験結果

透気試験結果を表-4に示す。セグメント9体の透気係数は、13ヶ月暴露後では0.001未満~0.058×10⁻¹⁶ m²であり、18ヶ月暴露後では0.001未満~0.0220×10⁻¹⁶ m²(ともに透気グレード1(優)・2(良))となっており、13ヶ月間屋外に暴露したセグメントの透気係数よりも18ヶ月間屋外に暴露したセグメントの透気性評価が向上したことが分かる。これは、シールドセグメントが屋外に暴露されている間に、雨水により緻密性が進行したためだと考えられる。

4. 圧縮強度

フライアッシュなどの混和材を使用したコンクリートは単位セメント量の減少により、強度発現が遅くな

ることが報告されている³⁾。通常の制作サイクルでの強度発現を確認するため、試験体を用いて、配合、養生条件の違いによる圧縮強度比較を行った(図-6)。全ての試験体で脱型強度、28日強度ともに設計強度を満たしており、通常の施工サイクルでも設計強度が確保できることを確認した。設計強度は、脱型強度においては15N/mm²、28日強度においては48N/mm²とした⁴⁾。

5. まとめ

今回の試験の結果、以下の項目を確認した。

- (1) 92日間の浸漬結果から、実物大シールドセグメントにおいても、混和材を使用したB75、FA30における塩分浸透抑制効果を確認した。
- (2) 表層透気試験結果から、フライアッシュや高炉スラグといった混和材を使用した実物大シールドセグメントにおいて、高い遮塩性を確認した。
- (3) フライアッシュや高炉スラグといった混和材を使用したコンクリートについても、通常の製作サイクルで所要の設計強度が確保できることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】，P.162，2017年
- 2) 土木学会：セグメントの設計【改訂版】，P.187，2010年
- 3) 土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)，P.163，1999年
- 4) 土木学会：トンネル標準示方書【共通編】・同解説/[シールド工法編]・同解説，P.77，2016年