凍結防止剤散布下におけるコンクリート床版の塩分浸透対策に関する検討

日本大学　学生会員　○菅野 滉太　日本大学　滝田 慎太郎
日本大学　正会員　子田 康弘　日本大学　正会員　岩城 一郎

1. はじめに

道路橋コンクリート床版の補修・補強は，我が国の道路修繕費用に占める割合が高く[1]，その合理的な維持管理方法の確立が求められている．一方，東北地方のように凍結防止剤（NaCl）が散布される地域では，NaCl の浸透に伴う塩害，凍害，アルカリシリカ反応（ASR）といった材料劣化がコンクリート床版において顕在化している現状にある．このような状況を考慮すると，新設や架替え後のコンクリート床版は，高耐久化することが維持管理の合理化に繋がるものと考えられる．そこで本研究では，凍結防止剤散布下におけるコンクリート床版の塩分浸透対策として，比較的高品質のフライアッシュを PC 床版に用いた場合(以下, シリーズⅠ)と, フライアッシュや高炉スラグ微粉末をプレキャスト PC 床版に用いた場合（以下，シリーズⅡ）を想定し，これらの塩分浸透性について評価することを目的とした．

表-1 実験条件

シリーズ	供試体名	使用セメント 普通	使用セメント 早強	W/B (%)	FA
Ⅰ	OPC	○		29.7	
	FAⅡ	○		29.7	○
	CfFA	○		29.7	○
Ⅱ	HC(SC)		○	35.8	
	HC+FA(SC)		○	30.8	○
	HC+FA(WC)				
	HC+BFS(SC)		○	33.9	

表-2　コンクリートの配合

シリーズ	供試体名	W/C (%)	W/B (%)	s/a	単位量(kg/m³) W	C	S	G	EX	FA	BFS	混和剤 SP	AE
Ⅰ	OPC	30.9	29.7	45%	160	518	727	912	20	-	-	3.77	0.0538
	FAⅡ	37.0	29.7	45%	160	432	713	894	20	86.4	-	3.77	0.0538
	CfFA	37.0	29.7	45%	160	432	711	892	20	86.4	-	3.77	0.0538
Ⅱ	HC(SC)	35.8	35.8	41%	145	405	726	1061	-	-	-	2.321	0.0486
	HC+FA(SC)	38.5	30.8	41%	145	377	691	1009	-	94	-	2.826	0.1712
	HC+FA(WC)												
	HC+BFS(SC)	67.8	33.9	41%	145	214	712	1040	-	-	214	2.012	0.2826

表-3　混和材の物性値

シリーズ	記号	物性
Ⅰ	FAⅡ	密度 2.20g/cm³　二酸化けい素含有量 59.7%　湿分 0.1% 強熱減量 2.1%　比表面積 3650cm²/g　MB吸着量 0.38mg/g
	CfFA	密度 2.15g/cm³　二酸化けい素含有量 73.3%　湿分 0.0% 強熱減量 0.5%　比表面積 4770cm²/g
Ⅱ	BFS	密度 2.90g/cm³
	FA	密度 2.28g/cm³

2. 実験概要

表-1 に，実験条件を示す．まずシリーズⅠは，普通ポルトランドセメント(OPC)を使用し，これに秋田県能代火力発電所産のフライアッシュⅡ種(以下, FAⅡ), および強熱減量を 1.0% 以下にした Carbon-free Fly Ash(以下，CfFA)[2]を混和したシリーズである．次に，シリーズⅡは，早強ポルトランドセメント(HC)を使用し，これに FAⅡと高炉スラグ微粉末(以下，BFS)を混和したものである．また，このシリーズはプレキャスト製品を念頭に蒸気養生を実施（以下，SC）しており，比較のため蒸気養生を行わず，湿潤養生を行った条件（以下，WC）を加えた．**表-2** に，各シリーズの配合条件を示す．また，**表-3** には，各混和材の物性値を示した．塩分浸透試験は，供試体形状として**図-1** に示す φ150mm×H80mm の円柱供試体を使用し，打込み面を試験面として，3%NaCl 水溶液を所定の日数まで湛水させる方法とした．促進環境は，温度 40℃，相対湿度 60%であり，供試体は試験装置内に静置させた．**図-2** に，環境試験装置内における促進試験状況を示す．塩分浸透の日数は，促進試験開始後から 91 日(13 週)と 182 日(26 週)とした．所定の日数が経過した供試体からは，φ50mm のコアを 2 本採取し，試験面より 3mm 間隔で粉末試料を削り出した．塩化物イオン濃度は，イオンクロマトグラフ法により測定[3]を行った．

図-1 円柱供試体

図 - 2 環境試験装置内部

3. 実験結果及び考察

図-3 に，シリーズⅠの塩化物イオン濃度分布を示す．シリーズⅠは，促進期間 91 日の結果であり，促進 182 日は現在も継続中であり次年度に結果が判明する．なお，試験面である 0～3mm 深さは 5.0kg/m^3 以上の高濃度領域より分布が見やすくなるように横軸を調整した．図より，塩化物イオン濃度分布の傾向は，OPC と FA を混入した条件に大別された．深さ 3～6mm 位置の濃度は，OPC が約 1.0kg/m^3 であるのに対して，FAⅡと CfFA は，約 0.45kg/m^3 と 1/2 以下の濃度であり，低水結合材比であり元々塩分が浸透しにくいコンクリートではあるものの，

キーワード　塩分浸透，凍結防止剤，寒冷地域，RC 床版
連絡先　〒963-8642　福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地　日本大学工学部土木工学科　ＴＥＬ024-956-8721

それでも明らかに FA を混和させたコンクリートは塩分浸透抵抗性が高くなる傾向が示された．図-4 に，シリーズⅡの塩化物イオン濃度分布を示す．まず，図-4(a)より，HC 単体は，他の 2 条件よりも塩分が内部まで浸透し，明らかに塩分浸透性が高い傾向を示した．具体的には，促進 91 日では塩分の浸透が 15mm であったのに対し 182 日では 30mm にまで達している．一方，混和材を用いたコンクリートは，深さ 10mm の塩化物イオン濃度に着目すると，182 日で HC が約 7kg/m^3 であるのに対して，HC+BFS で約 3kg/m^3 と明らかに低い傾向を示した．さらに HC+FA では 1.5kg/m^3 程度と極めて低い塩分浸透性を示した．図-4(b)は，蒸気養生の有無による濃度分布を比較したものである．促進 182 日に着目すると，深さ 5mm 付近までは，HC+FA(WC)の方が HC+FA(SC)よりも塩分の侵入が抑制される傾向にあった．これは，蒸気養生によって表層に微細ひび割れが生じ，そこから塩分が浸透したためと推察された．図-4(c)に混和材を使用したコンクリートの深さ 10mm 位置と 20mm 位置の濃度比較を示す．図より，HC 単体に比べれば，BFS や FA を混和したコンクリートは，塩分浸透の抑制効果が認められ，またその効果は BFS を混和した場合よりも FA を混和した場合に顕著に表れることが明らかになった．また，HC+FA で比較すると，WC に比べ SC の方が塩化物イオン濃度は低く抑えられる傾向にあり，本研究の範囲においては蒸気養生を行ったことによる微細ひび割れ等の悪影響は見られない結果となり，FA を混和したプレキャスト床版を構築することで極めて高い遮塩性が得られることが確認された．

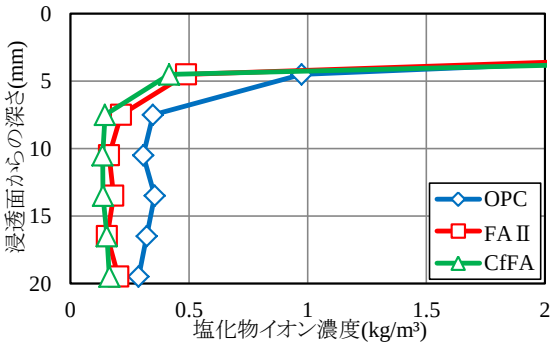
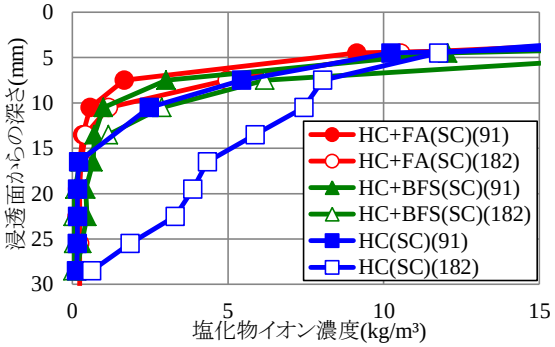
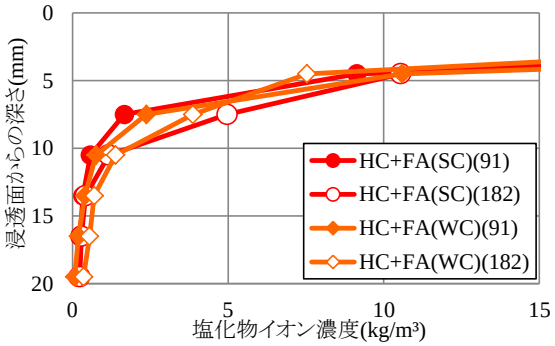


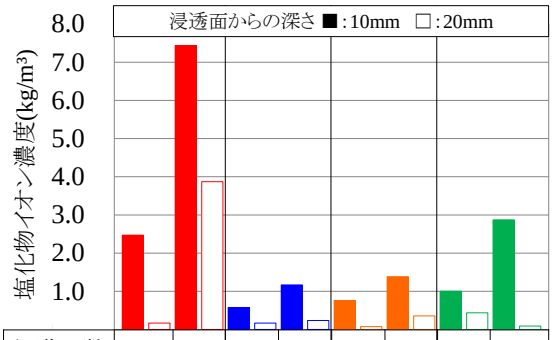
図-3 シリーズⅠの塩化物イオン濃度分布



(a) HC(SC)，HC+FA(SC)，HC+BFS(SC)



(b) HC+FA（蒸気養生の有無）



促進日数(日)	91	182	91	182	91	182	91	182
養生	SC		SC		WC		SC	
ID	HC		HC+FA				HC+BFS	

(c)深さ 10mm 位置と 20mm 位置の比較

図-4 シリーズⅡの塩化物イオン濃度分布

4. まとめ

本研究より，塩分浸透抑制対策として，フライアッシュや高炉スラグ微粉末を混和したことで，セメント単体のコンクリートよりも明らかに塩分の浸透が抑えられ，その傾向はフライアッシュを用いた場合さらに顕著に表れることが示された．また，蒸気養生を行った場合，湿潤養生を行った場合に比べ，表層を除き塩分浸透は抑制される傾向が示された．従って，厳しい塩分環境下においてフライアッシュ等を用いたプレキャスト床版を適用することは，塩分浸透抑制上十分に効果があると判断される．

謝辞：本研究の一部は，株式会社 IHI インフラ建設との共同研究の一環として行われた．ここに記して関係者に謝意を表します．

【参考文献】

1)玉越隆史ほか(2004)：道路橋の寿命推計に関する調査研究，国総研資料 第223号

2)大谷俊浩ほか(2015)：改質フライアッシュコンクリートの実構造物への適用と8年経過後の耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.103-107.

3)土木学会(2013)：コンクリート標準示方書規準編，土木学会規準および関連規準，p.614.