

## フライアッシュを添加したコンクリートの塩分浸透性および養生期間の検討

(株) I H I インフラ建設	正会員	○鈴木 辰幸
(株) I H I インフラ建設		田中 実
日本大学	博士(工学)	正会員 岩城 一郎
(株) N I P P O	博士(工学)	前島 拓

キーワード：フライアッシュ，E P M A，イオンクロマトグラフ，透気試験

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、東日本の太平洋沿岸各地に大きな被害を与えた。現在、被災地の早期復興のリーディングプロジェクトとして三陸沿岸道路などの建設が急速に進んでいる。プレストレストコンクリート上部工においては、東北地方で顕著な劣化(凍結抑制剤散布による塩害、凍害、アルカリシリカ反応(以下、ASR))への対策として、耐久性(塩分浸透抵抗性、耐凍害性、ASR 抵抗性)に優れた材料の選定、構造選定が求められている。高耐久化を本格的に実施した不動沢橋りでは、塩害や ASR の対策として現場打ちコンクリートにフライアッシュを添加したコンクリート(以下、F A コンクリート)を採用した。フライアッシュの効果を確認するため、不動沢橋りでは試験施工を行い養生方法などの検討を行うほか、試験施工を行った試験体で塩分浸せき試験を実施した。また、打設時期による養生期間を検討する試験を実施した。そこで、本稿では、F A コンクリートの塩分浸透性と養生期間に関する検討結果について紹介するものである。

### 2. F A コンクリートの塩分浸せき試験

#### 2.1 塩分浸せき試験用供試体

プレテンション方式の P C 単純 T 桁橋の不動沢橋りでは、現場打ちとなる間詰部に F A コンクリートを採用することから、間詰部自体への塩分の浸透抑制効果のほか、主桁と間詰部の打継目への塩分の浸透状態について検討する必要がある。主桁、間詰部のイメージ図を図-1に示す。そこで、養生方法などを検討するために行った、主桁と間詰部を模した実物大の試験体(9.0m×2.8m, t=160mm)の一部を使用して塩分浸せき試験を実施した。使用したコンクリートの配合を表-1に示す。この試験体では、数種類の養生方法を実施した。そのなかで、本橋で採用された特殊養生部(特殊養生シート使用)と標準養生部(保水養生マット使用)の比較と、浸透性防水剤の有無による塩分浸透性の比較を行うため、塩分浸せき試験用の供試体(1.4m×0.5m)を2供試体ずつ切断した。切断した供試体には P C 鋼棒で本橋と同等の緊張力を導入し、片方の供試体の間詰部には浸透性防水剤を塗布し、天端面に塩水(NaCl3%溶液)を湛水した状態で、恒温養生室(40℃, 60%RH)で6ヶ月間存置した。供試体概要と塩分浸せき試験状況を図-2に示す。

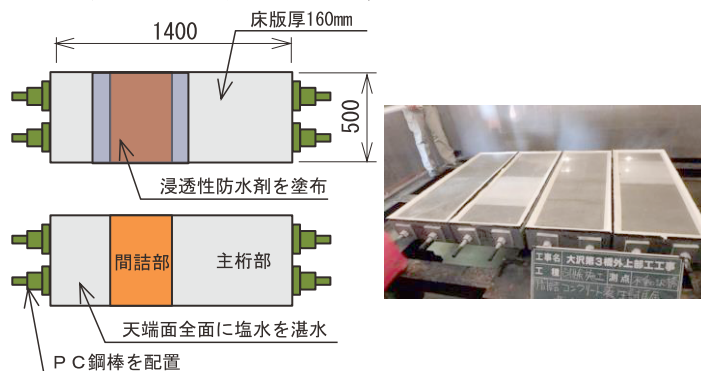
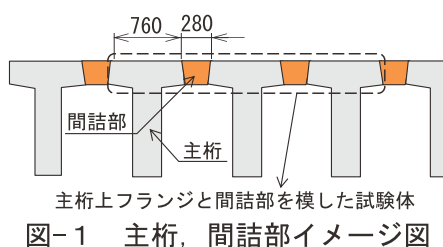


図-2 供試体概要と塩分浸せき試験状況

表-1 コンクリート配合

使用部位	配合種類	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合 材比 (%)	細骨材 率S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		混和材 フライ アッシュ
											AE 減水剤	膨張材	
間詰部	FAコンクリート (普通セメント)	25	12	4.5~6.9 目標6.0%	36.0	37.6	168	372	608	1036	5.88	20	75
主桁部	普通コンクリート (早強セメント)	25	8	4.5	42.0	39.1	168	400	679	1084	5.20	—	—

2.2 塩分浸せき試験結果

(1) EPMA分析

全供試体の主桁部、間詰部、打継部の3箇所ではφ50のコアを削孔し、コア切断面においてEPMA法により塩化物イオン浸透深さを計測した。計測結果を表-2、供試体③のEPMA画像を図-3に示す。普通コンクリートを使用した主桁部では浸透深さが28mm~40mmに対し、FAコンクリートを使用した間詰部では浸透深さが15mm~20mmとなり、約半分の浸透深さであった。また、供試体①と供試体②、供試体③と供試体④の浸透深さを比較した場合、間詰部および主桁部とも、0mm~5mmの差であり、浸透性防水剤の遮塩の効果は大きくはないことがわかった。また、打継部の塩分分析画像において、打継目への塩分の浸透は確認できないことから、打継目のレイタンス処理と横締緊張力により打継目は密着していると考えられる。

(2) イオンクロマトグラフ分析

全供試体の間詰部でφ50のコアを削孔し、天端から3mmずつ切削した粉体試料において、イオンクロマトグラフ法により塩化物イオン濃度を測定した。測定結果を表-3に示す。0~3mmの結果を除いて、すべての層で、浸透性防水剤の使用の有無に関係なく特殊養生部が標準養生部より塩化物イオン濃度が小さくなっており、特殊養生を行った方が塩分浸透抑制効果が高いことを確認した。

(3) 塩化物イオン濃度分布

供試体③のEPMAから算出した間詰部と桁部の塩化物イオン量とイオンクロマトグラフから算出した塩化物イオン量の濃度分布グラフを図-4に示す。間詰部の両試験の結果から、EPMAとイオンクロマトグラフによる計測値はほぼ一致しており、計測結果の妥当性を確認した。また、EPMAの主桁部の塩化物イオン濃度は、天端から30mm程度まで緩やかに減少していくのに対し、間詰部では、天端近傍の塩化物イオン濃度は主桁部と同等であるが、天端から12mm程度に向かい急激に減少している。この理

表-2 塩化物イオン浸透深さ

供試体 No.	養生条件 (浸透性防水材 塗布の有無)	塩化物イオンの浸透深さ (mm)			
		FAコンクリート		普通コンクリート	
		間詰	打継部 間詰	主桁	主桁
①	標準養生部	20	15	28	35
②	標準養生部 +浸透性防水剤塗布	15	15	28	30
③	特殊養生部	18	18	35	40
④	特殊養生部 +浸透性防水剤塗布	15	15	30	35

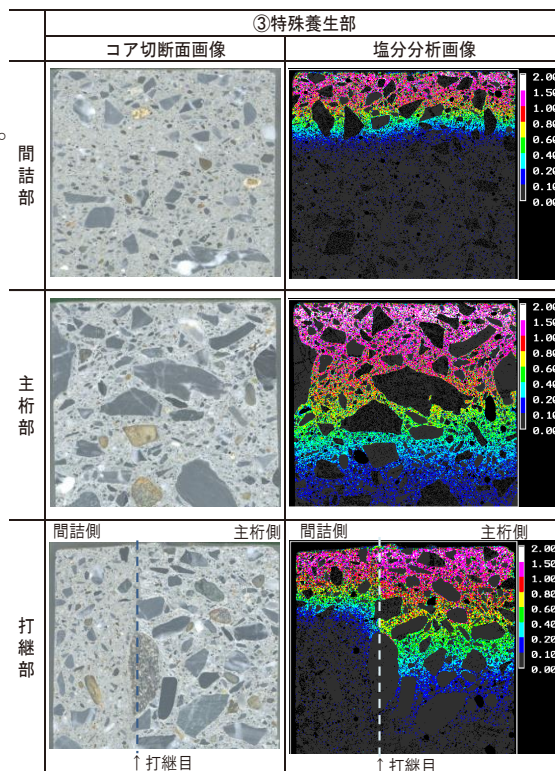


図-3 ③のEPMA画像

表-3 塩化物イオン濃度

天端 からの 距離 (mm)	塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )			
	供試体①		供試体②	
	標準養生部	特殊養生部	標準養生部	特殊養生部
	浸透性防水剤なし		浸透性防水剤あり	
0~3	14.3	20.0	14.2	10.5
3~6	16.2	15.5	11.8	10.6
6~9	12.0	9.5	8.3	7.0
9~12	7.7	5.1	5.1	2.7
12~15	3.6	1.3	2.8	0.8

由として、FAコンクリートの内部組織が緻密化し、コンクリート内に塩分が浸入しにくい状態となっていると考える。

### 3. FAコンクリートの養生期間試験

#### 3.1 試験内容

FAコンクリートの効果を充分发挥するため、外気温や湿潤養生期間の違いによる養生期間の検討として、下記の養生試験を実施した。

##### (1) 室内封かん養生試験

5, 20, 40℃の恒温養生槽内(冬期, 春・秋期, 夏期を想定)で, 7, 28, 91日間封かん養生した各供試体において, 圧縮強度(供試体: φ100×200), 透気係数(供試体: φ200×100)を7, 28, 91, 182日の頻度で測定した。養生槽内の湿度は60%RHとした。養生期間終了後は, 同一温度の養生槽内で材齢182日まで存置した。

##### (2) 現場湿潤養生試験

現場と同様な屋外環境で, 特殊養生により7, 28, 91日間湿潤養生した各供試体において, 圧縮強度(供試体: φ100×200), 透気係数(供試体: 2.4m×1.8m, t=0.16m)を7, 28, 91, 182日の頻度で測定した。試験時期は, 材齢初期における保温養生が不要であり養生中の外気温がもっとも低い時期となるよう, 11月末に打設を行った。計測材齢182日の供試体は, 圧縮強度においては, 各養生終了時に円柱供試体を脱型して透気試験供試体脇に存置し, 透気試験においては, 養生期間が終了した部位の養生材を順次撤去した状態で存置した。

### 3.2 試験結果

#### (1) 室内封かん養生試験

室内封かん養生の試験結果を図-5に示す。圧縮強度については, 養生温度5℃, 封かん期間7日および28日の場合は, 強度発現が不十分であり所定の強度に達しなかったが, 封かん期間91日では, 所定の強度発現を確認した。養生温度20℃および40℃の場合は, すべての封かん期間で所定の強度発現を確認した。一方, 透気係数については, 養生温度5℃, 封かん期間7日および28日の場合は, 強度発現が不十分であったことから, 透気係数が他の養生温度と比較して大きい結果となった。養生温度40℃の場合は, 所定の強度は満足していたが, 養生温度20℃と比較して大きい結果となった。この理由としては, 養生温度が高温であることにより, 封かん養生終了後に乾燥が急速に進んだためと考える。これらのことから, 養生温度20℃での養生がFAコンクリートにとって適した環境であると言える。また, 封かん期間91日の測定値については, すべての養生温度で封かん期間7日および28日と比較して優位となる結果となった。

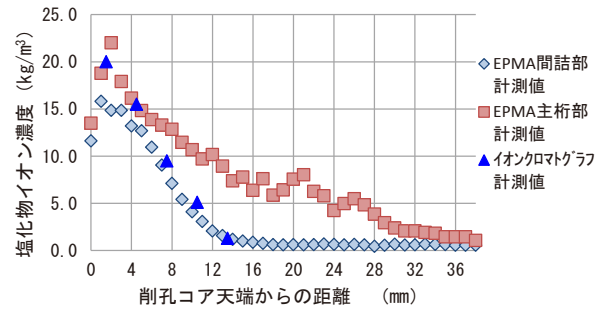


図-4 特殊養生部の塩化物イオン濃度分布

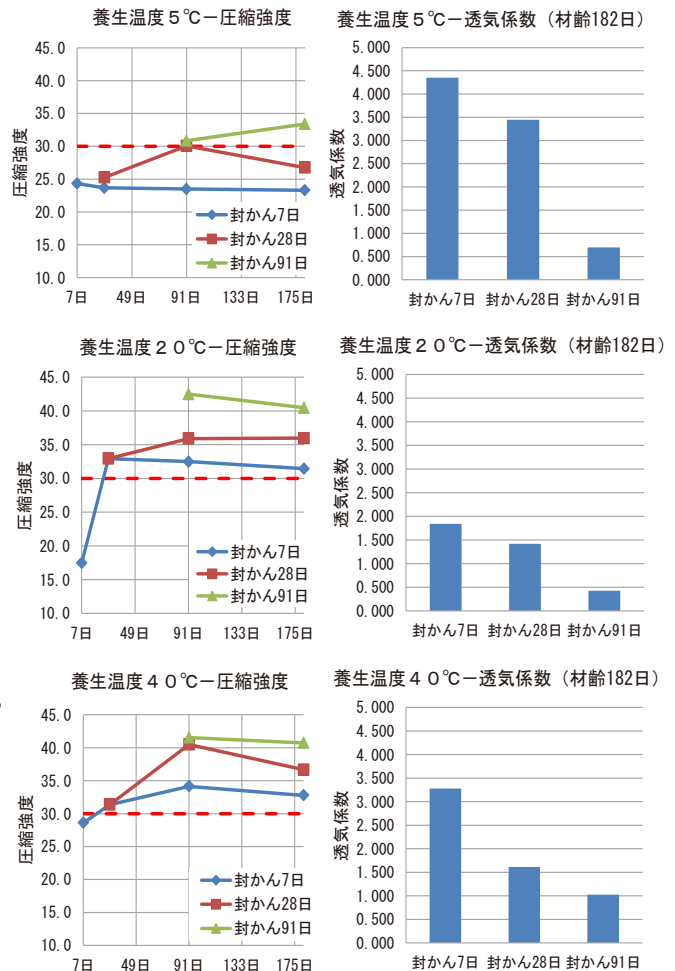


図-5 室内封かん養生試験の圧縮強度, 透気係数

(2) 現場湿潤養生試験

現場湿潤養生の試験結果を図-6に示す。圧縮強度については、91日間湿潤養生した供試体がより優位な結果であるが、ほかの養生期間についてもほぼ同等の強度となった。透気試験については、どの養生日数も同等の計測値となったほか、室内封かん養生試験より透気係数がかなり小さな値となった。この理由としては、養生時期が12月～5月の期間(11月末～12月の外気温の平均：5.6℃)の初期が冬期であり養生時期としては適していなかったが、封かん養生とは異なり、養生水や降雨などによりコンクリートに持続的に水分が供給され、水和反応が促進された結果であると考えられる。

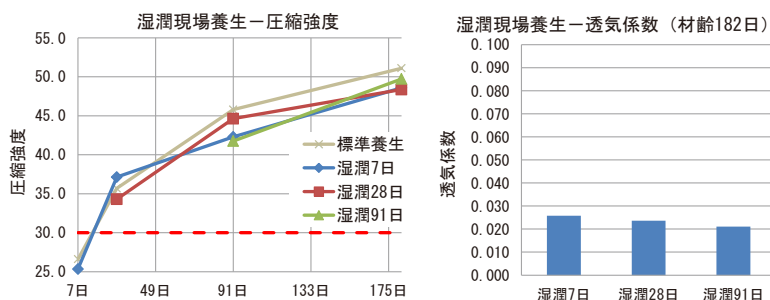


図-6 現場湿潤養生試験の圧縮強度, 透気係数

4. まとめ

本研究をまとめると下記の通りである。

- (1) F Aコンクリートによる塩分浸透抑制効果は、浸透深さにおいて、普通コンクリートと比較して約半分程度に抑制できることを確認し、塩化物イオン濃度分布においても、フライアッシュによりコンクリートが緻密化し、塩分浸透を顕著に抑制していることを確認した。また、イオンクロマトグラフ分析では特殊養生部が優位となることを確認でき、実構造物でより良い養生方法を採用できたと考える。打継目においては、レイタンス処理と横締緊張力による密着効果が確認できた。
- (2) 室内封かん養生試験では、温度にかかわらず養生期間を延長することが有効であることを確認した。また、透気試験結果から、F Aコンクリートの養生時期は外気温が20℃程度となる春・秋期が適していることを確認した。
- (3) 現場湿潤養生試験では、すべての養生期間で所定の強度を満足し、極めて小さな透気係数となることを確認した。これは、養生期間中の散水や養生後の降雨などでF Aコンクリートに持続的に水分が供給されたためと考察される。
- (4) 上記(2), (3)より、F Aコンクリートの養生期間としては、工程の許される範囲で、可能であれば91日間養生することが望ましいと判断される。一方、床版のような部材では雨水による自然の養生効果も期待できることが判明した。このような雨水による養生効果は、長期にわたり雨が降らない場合などのリスクを伴うため推奨はできないが、副次的な効果としては見込めることが明らかになった。

本稿では、F Aコンクリートの塩分浸透抑制効果や、施工時期に応じた養生期間を選定する必要があることを確認できた。また、本工事で使用したコンクリート配合でのみ実施した試験結果であるが、今後の工事においてF Aコンクリートを適用する際の一助となれば幸いである。

最後に、本試験で多大なご協力をいただいた日本大学工学部 子田准教授、日本大学工学部 大学院生の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

1) 高耐久プレテンションT桁橋の施工-東北横断自動車道釜石秋田線「釜石道路」不動沢橋(仮称)-コンクリート工学Vol.54, No.3, pp290-296, 2016.