

沖縄県の海上橋下部工に適用したフライアッシュコンクリートの暴露5年後の耐久性

前田建設工業（株）
琉球大学
アール・アンド・エー
（公財）沖縄県建設技術センター

正会員 ○前田 啓太
正会員 富山 潤
正会員 風間 洋
比嘉 正也

正会員 笹倉 伸晃

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性向上を目的に、沖縄県の海上橋下部工に適用したフライアッシュコンクリート¹⁾について、同一配合、同一養生条件の試験体を作製し、塩害環境下において長期暴露試験を行っている（写真-1）。暴露約1年の調査結果は既報²⁾の通りだが、暴露約5年の調査を実施し、圧縮強度、中性化深さ、表層透気性および塩分浸透性の結果を得たため、本稿にて報告する。

2. 暴露試験概要

2.1 暴露試験場所

暴露試験は、沖縄県国頭郡国頭村辺土名の暴露試験場で実施した（写真-1）。図-1に4方向捕集型飛来塩分捕集器で採取した飛来塩分量（2020年）を示す。9月～12月のように台風や冬季風浪により飛来塩分量が非常に多くなることがある。

2.2 暴露試験体²⁾

暴露試験体のコンクリート配合を表-1に、使用材料を表-2に示す。配合は、普通ポルトランドセメントのみを使用したNC、フライアッシュを使用したFAC、実施工の温度ひび割れ対策として膨張材を使用したFAC+EXの3種類とした。FACおよびFAC+EXのフライアッシュ（FA1およびFA2）の単位量は90kg/m³とした。コンクリートの養生水準を表-3に示す。養生の水準は、施工時の養生方法と期間を定めることを目的に、シートフィルム養生の有無と期間（材齢7日までと10日まで）とした。

試験体製作（マスブロック状）は、施工現場（沖縄県浦添市）で行い、構造物と同一条件で暴露を行った。その後、参考文献²⁾に示す形状に各試験体を切り出し、暴露面以外をエポキシ樹脂で塗装して暴露試験場に移設した。

2.3 耐久性評価項目および試験方法

暴露約5年の評価試験は、コアによる圧縮強度試験および塩分分析試験、中性化深さ試験、表層透気試験を実施した。圧縮強度試験は各試験体からφ75mmのコアを1本採取し、JIS A 1107に準拠した。塩分分析はJCI-SC5の電位差滴定法に準拠し、サンプリングの範囲は暴露面から0～1、1～2、2～3、3～5、5～7、7～10cmとした。中性化深さの測定はJIS A 1152に準拠した。表層透気試験はトレント法により実施した。

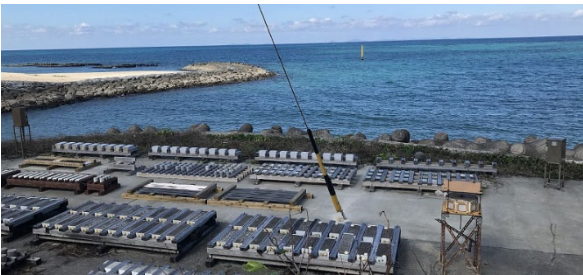


写真-1 暴露試験状況（沖縄県国頭郡国頭村辺土名）

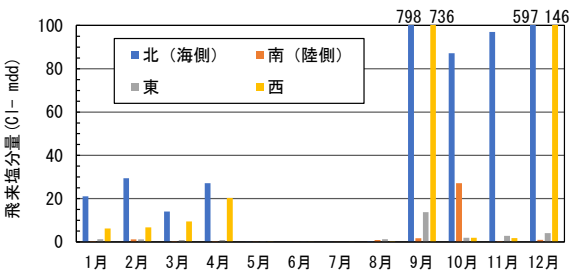


図-1 辺土名暴露場の飛来塩分量（2020年）

表-2 暴露試験体の使用材料

材料	記号	仕様・摘要・備考
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³
細骨材	S1	砕砂、表乾密度：2.65g/cm ³ 、吸水率：0.92%
	S2	海砂、表乾密度：2.58g/cm ³ 、吸水率：2.05%
粗骨材	G1	石灰砕石、表乾密度：2.70 g/cm ³ 、吸水率：0.32%
フライアッシュ	FA	フライアッシュⅡ種、密度2.45g/cm ³
AE減水剤	AD	遅延型Ⅰ種
混和材	EX	JIS A 6202「コンクリート用膨張材」適合品

表-3 暴露試験体の養生水準

水準	養生期間および方法			備考
	打設～2日	3～7日	7～10日	
Case1	銅製型枠			脱枠強度到達(2日)で脱枠
Case2	銅製型枠	シートフィルム		湿潤養生期間標準※1
Case3	銅製型枠		シートフィルム	本工事で適用した養生

※1：2012年制定コンクリート標準示方書[施工編]における湿潤養生期間の標準（混合セメントB種：日平均15℃以上）

表-1 コンクリートの標準配合

種類	作製日	設計基準強度 (N/mm ²)	W/B (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)								
						W	B			FA2	S1	S2	G1	AD
							C	EX	FA1					
NC	2015/6/16	30	48.5	45.9	4.0	172	355	—	—	—	567	243	981	4.62
FAC	2015/6/16	30	49.9	47.5	2.0	167	270	—	65	25	604	259	981	4.02
FAC+-EX	2015/3/24	30	49.9	47.5	2.0	167	250	20	65	25	604	259	981	4.02

キーワード フライアッシュコンクリート、暴露試験、塩分浸透、耐久性、透気試験
連絡先 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東二丁目14番1号 前田建設工業株式会社 TEL092-451-1562

3. 耐久性の調査結果および考察

図-2 に、暴露試験体の圧縮強度を示す。コア供試体 1 本の結果であるため、結果の正確性にやや欠けるが、暴露 1 年とほぼ同等の結果となり、養生期間の差も認められなかった。FAC および FAC+EX の圧縮強度は NC よりも 1.3～1.4 倍程度大きくなり、ポズラン反応の効果が現れていると考えられる。

図-3 に、暴露試験体の中性化深さを示す。NC は暴露 1 年から 5 年で中性化が進行していることが確認できたが、FAC および FAC+EX は顕著な傾向は認められず、暴露 1 年から中性化の進行がやや鈍化する結果となった。また、NC は暴露 5 年においても養生期間が長いほど中性化深さが抑制されている (CASE1>CASE2>CASE3) が、FAC および FAC+EX は初期養生の違いが明確でない。以上の結果から、FAC および FAC+EX の暴露 1 年の中性化は、初期段階の養生の影響を受けたものの、その後長期的にフライアッシュが反応し緻密化したことによって、異なる傾向を示したことが示唆される。しかし、現段階では中性化の進行が小さいため、長期的に調査する必要がある。

図-4 に、暴露試験体の透気係数 kT 値を示す。暴露 1 年、暴露 5 年ともに FAC および FAC+EX が NC よりも小さい傾向が見られ、ポズラン反応により表層部が緻密化したものと考えられる。

図-5 に、各試験体の含有塩分イオン量の分布状況を示す。NC の塩化物イオン量の分布は緩やかな勾配を示し、暴露 5 年で深さ 4cm の塩化物イオン量は $1.7\sim 2.3\text{kg/m}^3$ に達している。一方、FAC および FAC+EX の塩化物イオン量の分布は急勾配を示し、深さ 2.5cm においても塩化物イオン量は 0.015kg/m^3 に留まっている。なお、いずれも中性化深さが 2mm 以下であり、表面の固定塩化物が解離し、内部へ濃縮されるような複合劣化の現象は見られない。

表-4 に、各コンクリートの CASE3 について、表面塩化物イオン濃度 C_0 と塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap} を Fick の拡散方程式から最小二乗法により算出した結果を示す。FAC および FAC+EX の見掛けの拡散係数は、NC の $1/6\sim 1/8$ 程度であり、フライアッシュによる塩分浸透抑制効果が非常に高いことが確認できる。フライアッシュによるポズラン反応によって緻密な層が形成されているものと推察される。

4. まとめ

暴露約 5 年のフライアッシュコンクリートの調査の結果、中性化抵抗性、密実性、塩分浸透抑制効果が認められた。今後は、暴露 10 年の調査を予定しており、引き続き塩害環境下におけるフライアッシュの有効性について評価を継続する予定である。

謝辞：本実験の実施に際しては、辺土名区の自治会長にご協力を得た。ここに感謝の意を表する。

参考文献：

- 1) 角翼ら：沖縄県の海上橋川下部工に適用したフライアッシュコンクリートの温度ひび割れ低減効果，第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2017，VI-578，2017.9
- 2) 笹倉伸晃ら：沖縄県の海上橋川下部工に適用したフライアッシュコンクリートの塩分浸透抵抗性，第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2017，V-419，2017.9

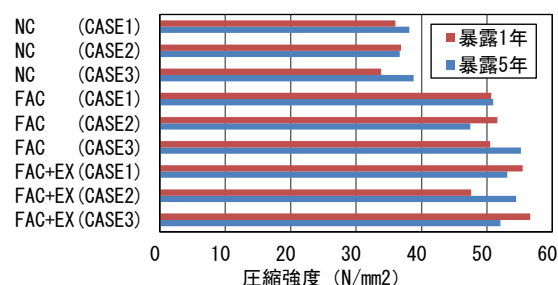


図-2 圧縮強度

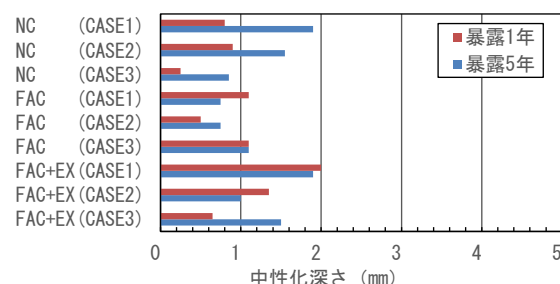


図-3 中性化深さ

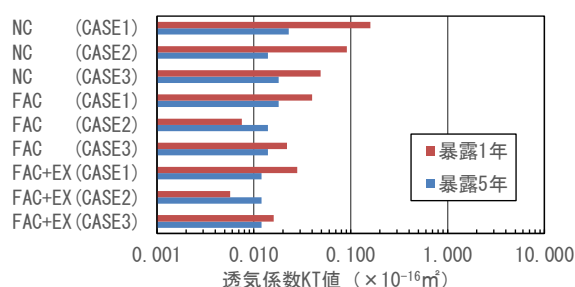


図-4 透気係数 kT 値

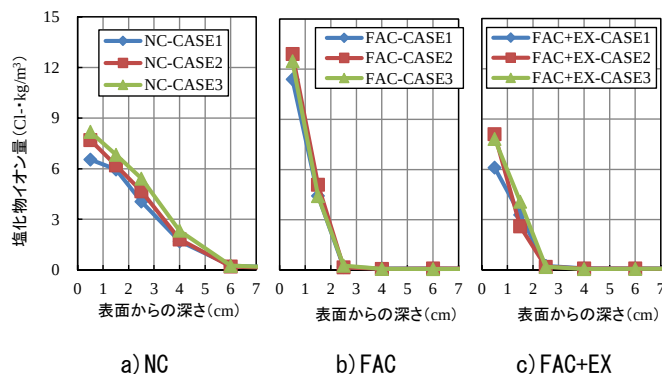


図-5 塩化物イオン量の分布

表-4 表面塩化物イオン濃度および拡散係数

種類	養生条件	表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m^3)	塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap} (cm^2/year)
NC	CASE3	9.71	1.166
FAC	CASE3	18.25	0.140
FAC+EX	CASE3	10.85	0.201