

# ASR と塩害を受けた RC 試験体の長期暴露におけるフライアッシュの効果

金沢大学工学部 学生員 李 虎  
 金沢大学自然科学研究科 稲垣 崇秀  
 北陸電力株式会社 正会員 参納 千夏男  
 北陸電力株式会社 橋本 徹

## 1. はじめに

筆者らは、反応性骨材を含有する大型 RC 試験体を海岸部の大気中に暴露し、ASR によるコンクリートの膨張と鋼材の腐食状況を定期的に調べることにより、ASR と塩害によるコンクリートの複合的な劣化作用に対するフライアッシュの抑制効果について検討してきた<sup>1)</sup>。このような使用・環境下でのフライアッシュによる ASR 抑制効果を確認した事例はほとんどなく、RC 試験体による確認事例も少ないのが実状である。本稿では、暴露後 6 年までの長期的なモニタリングの結果を整理して、大型 RC 試験体の ASR による膨張挙動と鉄筋の腐食性状を報告するものである。

## 2. 実験概要

コンクリートの配合および試験概要を表-1 および表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.16 g/m<sup>3</sup>, 比表面積: 3330 cm<sup>2</sup>/g, アルカリ量: 0.68%)を使用した。コンクリートは短期間に ASR による膨張を促進させるため、アルカリ(NaCl)を等価 Na<sub>2</sub>O 量で 10 kg/m<sup>3</sup>(塩化物イオン量: 11.5 kg/m<sup>3</sup>)添加したものと添加しないものとの2種類を作製した。使用した骨材は化学法の結果「無害でない」と判定された富山県常願寺川産の川砂利と川砂である。フライアッシュは北陸地方の火力発電所から産出したものであり、JIS A6201 のⅡ種に相当するものである。フライアッシュの物理的性質および化学成分を表-3 に示す。フライアッシュの置換率は、JIS A5308 の ASR 抑制対策において規定されている 15%(セメントの内割り)とした。RC 試験体の概要を図-1 に示す。鉄筋(SD295A, 鉄筋径は縦筋 D19mm, 横筋 D16mm)のかぶり厚は 20mm に設定した。RC 試験体は、2004 年 9 月に飛来塩分の影響を受ける富山県富山新港の岸壁上に暴露し、コンクリートの膨張量の測定と鋼材の電気化学的測定を定期的に行なった。

表-1 コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	NaCl
20	50	40	175	350	749	1106	11.5

表-2 試験概要

試験体	種類	かぶり	NaCl 添加	使用骨材
No. 1	OPC (セメント単味)	20 (mm)	有	無害
No. 2			無	無害でない
No. 3			無	無害
No. 4			無	無害でない
No. 5	FA (フライアッシュ)	20 (mm)	有	無害
No. 6			無	無害でない
No. 7			無	無害
No. 8			無	無害でない

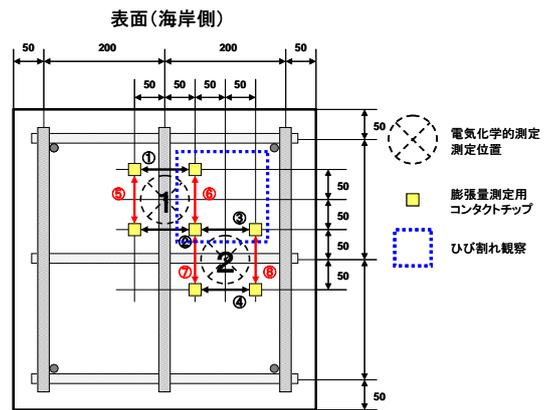


図-1 RC 試験体概要

表-3 フライアッシュの物理的性質および化学成分

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	化学成分 (Wt%)									
		ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
2.33	3550	1.5	59.6	26.5	0.8	4.89	0.61	1.5	0.36	0.24	1.39

## 3. 実験結果および考察

### (1) RC 試験体の膨張挙動

RC 試験体の膨張量測定は、ASR による膨張を測定するため、「無害でない」と判定された骨材を使用した

試験体で実施した。今回は、ASR による膨張挙動を良く捉えていると考えられた鉄筋を挟まない位置③(図-1)の膨張挙動を図-2に示す。NaCl を添加した試験体 No.2(OPC)では、6 年間で膨張率が約 0.9%に達する、顕著な膨張挙動を示した。それに対して、フライアッシュを 15%添加した試験体 No.6(FA)では、膨張率は約 0.2%であり、試験体 No.2(OPC)の 1/4 程度の膨張率に抑制されていた。実環境下においてフライアッシュによる ASR 抑制効果が長期的に確認できた。

(2) ひび割れ発生状況の観察

暴露 3 年後と暴露 6 年後の RC 試験体のひび割れの発生状況を図-3に示す。また、ひび割れ密度の経時変化を図-4に示す。暴露 3 年後の試験体 No.2(OPC)では測定位置に 0.2mm 程度のひび割れが観察された。また、暴露 6 年後にはひび割れが進展して、0.4mm 程度のひび割れが観察された。ひび割れ密度の経時変化からも ASR の進行により暴露開始からひび割れが増加および進展していることが推察できる。試験体 No.6 (FA)においてもひび割れ密度が増加しているが、試験体 No.2 (OPC)と比較すると 1/4 程度である。この結果より、フライアッシュを 15%添加したことにより RC 試験体のひび割れの発生と進展が抑制されたと考えられる。RC 試験体のひび割れ密度と膨張率の関係を図-5に示す。コンクリートの膨張率が大きくなるとともに、ひび割れ密度も増大しており、両者の相関性が高いことが明らかとなった。

(3) 鋼材の電気化学的測定

無害骨材を使用した RC 試験体の自然電位の経時変化を図-6に示す。NaCl 添加のものは、暴露当初から自然電位が卑側にあり、鋼材が不安定な状態(不動態皮膜の破壊)にあった。NaCl 無添加のものは、暴露当初は貴な状態であったが、試験体 No.3(OPC)は、暴露開始から 1 年半後には ASTM C876-91 の判定基準で「90%以上の確率で腐食あり」の範囲である-230mV 以下を示した。一方、試験体 No.7(FA)は、暴露 6 年を経過しても自然電位は、-90mV~-230mV の「不確定」の範囲にありフライアッシュによる塩分浸透抑制効果が確認された。

4. まとめ

大型 RC 試験体の長期暴露試験の結果より、フライアッシュをセメントの 15%置換することにより、ASR の抑制と塩分浸透の抑制による鋼材腐食の抑制効果が確認できた。また、ASR による膨張率とひび割れ密度との間に高い相関性があることが示された。

参考文献

- 1) 平野貴宣, 参納千夏男, 橋本徹, 鳥居和之: 富山県海岸部における反応性骨材含有 RC 試験体の長期暴露性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2008

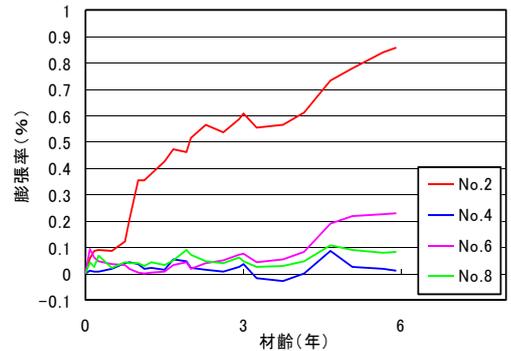


図-2 RC 試験体の膨張挙動

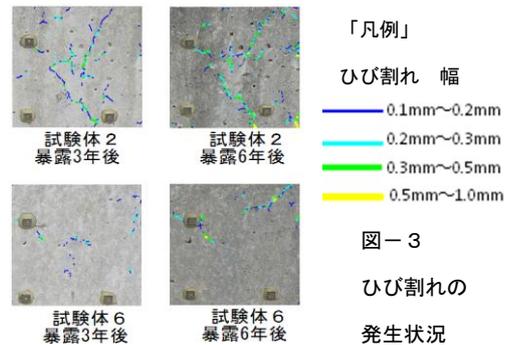


図-3 ひび割れの発生状況

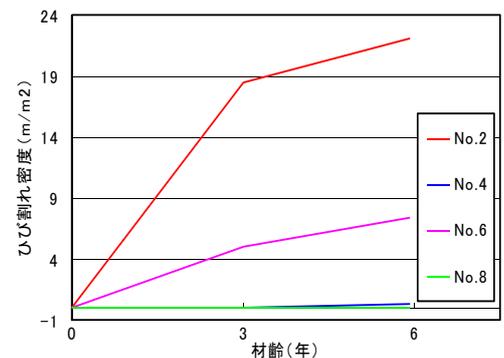


図-4 RC 試験体のひび割れ密度の経時変化

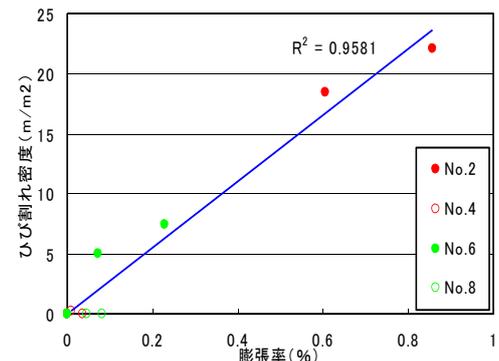


図-5 RC 試験体のひび割れ密度と膨張率

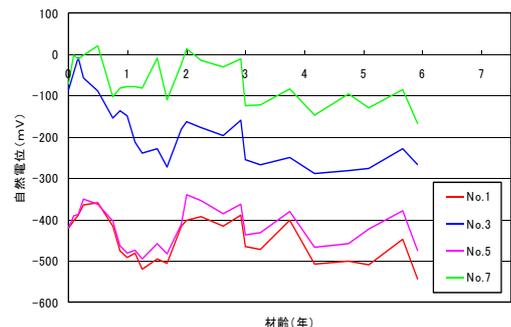


図-6 RC 試験体の自然電位の経時変化