

フライアッシュ品質と置換方法の違いによるコンクリートの耐久性評価

東北電力(株)研究開発センター 正会員 成田 健
 (株)太平洋コンサルタント 正会員 赤塚 久修
 東北電力(株)土木建築部 和田 宙司

1. はじめに

フライアッシュ(以下、FA という)を用いたコンクリートは、ポゾラン反応に伴う組織の緻密化により耐久性が向上するが、通常の促進試験は前養生期間が短くポゾラン反応が十分に進行せず、FA コンクリートの耐久性が適切に評価されない。本研究は、耐久性を重視する分野でのフライアッシュ利用を図るため、通常の促進試験と前養生期間を6ヶ月とした促進試験を行い、耐久性を評価するものである。現在、6ヶ月供試体の養生中であるが、通常の促進試験にてFA コンクリートがその他コンクリートと同程度の耐硫酸塩性を示したことから、中性化特性および遮塩性も含めて結果を報告する。

2. 実験概要

使用材料を表1に、FAの品質を表2に示す。FAにはJIS 種品1種類と、それよりブレン比表面積が小さいFA原粉2種類を用いた。また、比較用の混和材として高炉スラグ微粉末を用いた。

コンクリートの配合および圧縮強度を表3に示す。コンクリートの配合は、水結合材比55%とし、セメント代替(内割)としてFA1を15%と30%、FA2を15%置換した配合、細骨材代替(外割)としてFA3を15%置換した配合、比較用のFA無混入の普通コンクリート、高炉スラグ微粉末をセメントに対して40%置換(高炉セメントB種相当)したコンクリートの6配合である。配合条件は、スランプ12cm、空気量4.5%、温度20とした。コンクリートの試験項目および方法を表4に示す。コンクリート試験は、促進中性化、塩化物イオンの浸透性および耐硫酸塩を実施した。

3. 実験結果

(1) 中性化特性

促進中性化試験結果を図1に、中性化速度係数を図2に示す。FAコンクリートの中性化速度係数は、セメ

表1 使用材料

使用材料	記号	備考
水	W	水道水
セメント	N	普通ポゾラントセメント、密度3.15g/cm ³
フライアッシュ	FA1	A発電所産(JIS A 6201 種規格品)、密度2.25g/cm ³
	FA2	A発電所産原粉(比表面積3000cm ² /g程度品)、密度2.11g/cm ³
	FA3	A発電所産原粉(比表面積2500cm ² /g程度品)、密度2.12g/cm ³
高炉スラグ微粉末	B	JIS A 6206 高炉スラグ微粉末4000、密度2.92g/cm ³
細骨材	S	山砂、静岡県菊川市河東産、表乾密度2.61g/cm ³
粗骨材	G	硬質砂岩砕石2005、茨城県桜川市富谷産、表乾密度2.65g/cm ³
AE減水剤	ad1	AE減水剤標準型 種、リグニル硫酸化合物およびポリカルボキシ酸系
AE剤	ad2	AE剤 種、7-トリポリカルボキシ酸系陰イオン界面活性剤

表2 FAの品質

試験項目	フライアッシュ		
	FA1	FA2	FA3
密度 (g/cm ³)	2.25	2.11	2.12
ブレン比表面積 (cm ² /g)	3840	2960	2660
70-値比 (%)	102	-	-
活性度 28日 (%)	85	-	-
指数 91日 (%)	97	-	-
強熱減量 (%)	1.3	1.3	1.1

表3 コンクリートの配合、圧縮強度試験結果

配合番号	混和材置換率		水結合材比 (mass%)	単用量(kg/m ³)									圧縮強度(N/mm ²)			
	内割 (P×mass%)	外割 (S×vol.%)		混和剤添加量 (P×mass%)									標準水中			
				W	N	FA1	FA2	FA3	B	S	G	ad1	ad2	28日	91日	
N	-	-	55	165	300	0	0	0	0	0	834	994	0.25	0.002	44.4	50.3
FA1-内15%	15	-	55	161	249	44	0	0	0	0	836	994	0.25	0.005	39.6	50.2
FA1-内30%	30	-	55	157	199	86	0	0	0	0	839	994	0.25	0.010	27.5	38.3
FA2-内15%	15	-	55	158	244	0	43	0	0	0	846	994	0.25	0.004	38.7	45.3
FA3-外15%	-	15	55	176	320	0	0	96	0	0	671	994	0.25	0.013	45.8	56.2
BB	40	-	55	162	177	0	0	0	118	839	994	0.25	0.003	39.0	56.0	

表4 コンクリートの試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
促進中性化	JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠
塩化物イオンの浸透性	試験は、10×10×40cmの角柱体(1側面を浸透面、その他の面を樹脂被覆)を10%塩化ナトリウム水溶液に13週間浸漬した。浸漬後の全塩化物イオンの測定は、JSCC-G574に準拠しEPMAによる面分析(測定元素Cl、S、Ca、Si)を行った。なお、全塩化物イオンの濃度分布は、骨材部分を考慮せずに、セメント-ス部分を対象とするために、10 CaO 50mass%、10 SiO ₂ 40mass%の条件に当てはまる領域を対象に算定した。そして、全塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、JSCC-G572に準拠して算定した。また、供試体の浸漬前の養生は、JSCC-G572に準拠し材齢28日より浸漬を開始した。
耐硫酸塩	試験は、10×10×40cmの角柱体を10%硫酸ナトリウム水溶液に浸漬し、JIS A 1129-2により長さ変化を測定、併せて質量変化も把握した。なお、浸漬前の供試体養生は、材齢7日まで温度20 水中、材齢21日まで温度20 封緘、材齢26日まで温度20 、湿度60%で気中、材齢28日まで温度20 で水中養生し浸漬を開始した。

ント代替の場合には、FA 置換率の増加に伴い大きくなり、普通コンクリートと比較して 1.5~2.2 倍程度大きい。また、高炉セメント B 種相当のコンクリートと比較して、置換率 15%では若干大きく、30%では 1.7 倍程度大きかった。一方、細骨材代替の場合には、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートより 2 割程度小さく、普通コンクリートと同程度の中性化速度となった。

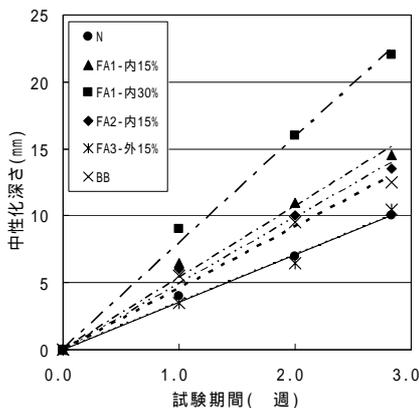


図 1 促進中性化試験結果

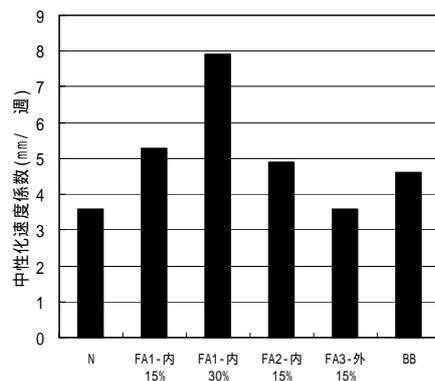


図 2 中性化速度係数

(2) 遮塩性

塩化ナトリウム水溶液に浸漬後の深度と全塩化物イオンの関係を図 3 に示す。フィックの第 2 法則に基づいて求めた全塩化物イオンの見掛けの拡散係数を図 4 に示す。FA コンクリートの見掛けの拡散係数は、普通コンクリートと比較して、セメント代替の場合は FA 置換率 30%以下で FA 置換率が相違しても大差なく、FA2 を用いた配合で若干大きくなった。また、高炉セメント B 種を想定したコンクリートと比較すると、FA 置換率 30%以下では 2.7~3.2 倍程度となった。一方、細骨材代替の場合には、普通コンクリートよりも遮塩性に優れ、高炉セメント B 種を想定したコンクリートに近い遮塩性を示した。

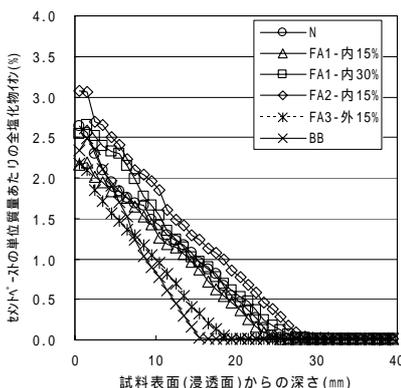


図 3 塩化物イオンの浸透性

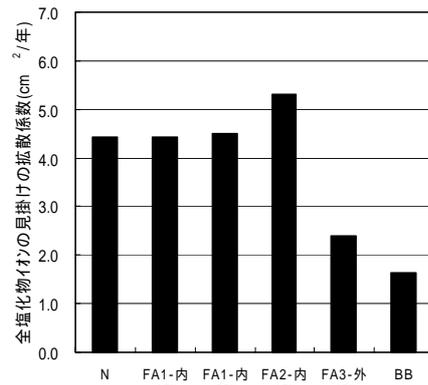


図 4 見掛けの拡散係数

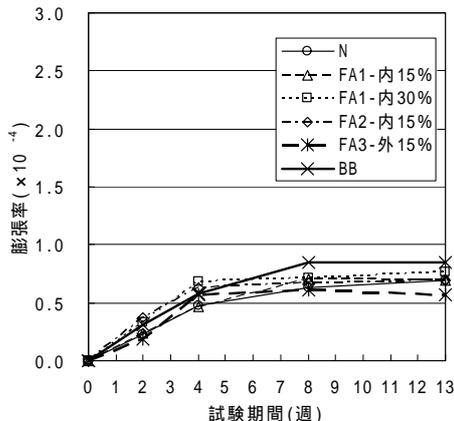


図 5 耐硫酸塩試験(長さ変化)

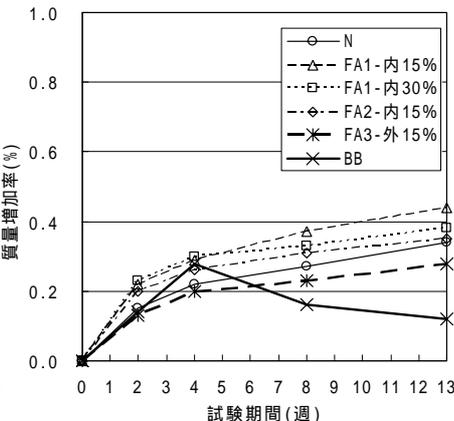


図 6 耐硫酸塩試験(質量変化)

(3) 耐硫酸塩性

硫酸ナトリウム水溶液に浸漬したコンクリートの膨張率および質量増加率を図 5 および図 6 に示す。コンクリートの膨張率は、いずれの配合も 1.0×10^{-4} 以下と大差なかった。FA コンクリートは、いずれも試験期間 13 週の範囲では、普通コンクリートと同様に表面にひび割れやスケーリング等の顕著な変状が認められなかったが、高炉セメント B 種を想定したコンクリートは、試験期間 4 週以降で、表面にスケーリングが発生し質量が減少した。耐硫酸塩性については、促進試験終了後に EPMA により評価する予定である。

4. おわりに

通常の促進試験の結果、FA コンクリートはいずれも他のコンクリートと大差ない耐硫酸塩性を示した。また、FA を細骨材代替に用いた場合は、高炉セメント B 種相当のコンクリートに近い遮塩性と普通コンクリートと同等の中性化速度が得られた。ポゾラン反応の進行に伴う耐久性の向上を考慮すれば、海洋コンクリート等、耐久性を重視する分野での利用拡大が十分に期待される。今後は 6 ヶ月供試体を用いた試験を行い、耐久性を評価する予定である。