

北陸産分級フライアッシュコンクリートの鉄筋腐食と塩分浸透

金沢工業大学 学生会員 ○中島 朋子
金沢工業大学 正会員 宮里 心一
金沢工業大学大学院 学生会員 黒岩 大地
北陸電力(株) 正会員 参納 千夏男

1. はじめに

フライアッシュ（以下 FA とする）を混和材として利用することで、コンクリートの諸性能が優れる¹⁾。ところで、石川県七尾大田発電所には分級装置が設置され、高品質な FA の副産が可能になった。そのため、北陸地方では地産地消の観点から FA の積極的な利用が推進されており、七尾産分級 FA の混和が実用的な配合のコンクリートの性能に及ぼす影響を検証している。その一環として本研究では、七尾産分級 FA と石川・富山県の代表的な骨材を用いたコンクリートを対象に、鉄筋の腐食状態を確認するとともに、塩分の浸透性を考慮して総合的に評価した。

2. 実験手順

2.1 実験ケースと使用材料

コンクリートの実験ケースと配合を表 1 に、骨材の物性を表 2 に示す。骨材は、石川県の手取川産と富山県の早月川産の 2 水準を設けた。結合材は、普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメント B 種(BB)、N に FA を混和させた(FA)の 3 水準を設けた。なお、FA の置換率は、N に対して 15%の内割り置換とした。分級 FA の品質を表 3 に示す。

2.2 供試体概要

供試体は 100×100×100mm の角柱コンクリートとし、φ10mm の異形棒鋼をかぶり 25mm に埋設した。また、91 日間の水中養生後に、4 側面をエポキシ樹脂により被覆した。その後、温度 40℃で濃度 3.0%の NaCl 水溶液に 48 時間浸漬させ、温度 40℃で相対湿度 70%の気中において 120 時間乾燥させた。これを 1 サイクル（以下 C とする）とし、75C（約 1 年）に亘る促進暴露を行った。

2.3 測定項目

暴露開始後 25、50、75C で、自然電位、分極抵抗およびコンクリート抵抗を測定した。また 75C で、コンクリートの深さ方向における全塩化物イオン濃度分布も、JSCE-G 73 に準拠し測定した。すなわち、

ドリル削孔により試料を採取し、可溶性塩化物イオン濃度を測定後、全塩化物イオン濃度へ換算した²⁾。

3. 実験結果

分極抵抗を図 1 に示す。これによると、FA の分極抵抗は、N および BB と比較して、高いことが確認された。また、自然電位を図 2 に示す。これによると、FA の自然電位は、N および BB と比較して、同等または貴なことが確認された。したがって、七尾産分級 FA の混和により、防食性は優れることが検証された。これは、FA のポゾラン反応の進行に伴って、細孔組織が緻密化し、鉄筋腐食を律速する酸素の供給が抑制されたためと考えられる³⁾。

全塩化物イオン濃度を図 3 に、これを Fick の拡散則で逆解析した見かけの拡散係数を図 4 に示す。図 4 によると、FA の見かけの拡散係数は、N または BB と比較して、小さいことが確認された。したがって、七尾産分級 FA の混和により、遮塩性は優れることが検証された。

表 1 実験ケースと配合

ケース		W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	FA	S	G	Ad	AE
手取川	N	54.7	44.0	156	285	-	802	1036	2.85	-
	BB	53.7	43.4	154	287		789	1044	2.87	
	FA	53.3	45.8	144	230	40	851	1021	2.43	0.0027
早月川	N	54.5	44.8	159	292	-	831	1044	2.92	-
	BB	53.9	44.4	158	293		821	1050	4.40	
	FA	54.5	44.8	157	245	43	828	1044	2.78	

表 2 骨材の物性

骨材産地	物性	密度 (g/cm ³)		粗粒率	
		S	G	S	G
手取川		2.57	2.60	2.60	6.84
早月川		2.65	2.69	2.67	6.90

表 3 分級 FA の品質

密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	活性度指数		フロー値比 (%)
		材齢 28 日	材齢 91 日	
2.43	4780	91	104	106

塩化物イオン濃度を測定後、コンクリートを割裂し、鉄筋の腐食状態を観察した結果を図5に示す。その腐食度⁴⁾の評価、および図2の75Cにおける鉄筋腐食評価⁵⁾と、図4の塩分浸透速度評価を統合して、表4に示す。ここで、図3によると、鉄筋位置における全塩化物イオン量は、すべてのケースで1.2kg/m³を超えていた。しかし、早月川のFAとBBでは、腐食してない。この理由は、図4に示すとおり、早月川のFAやBBの塩分浸透速度は遅いため、発錆限界塩分量に達してからの時間が短かったためと考えられる。また、前述の考察のとおり、FAのポズラン反応やBBの潜在水硬性により、細孔組織が緻密化し、酸素供給量が抑制されたためと考えられる。

4. まとめ

手取川・早月川産骨材と七尾産分級FAを使用した鉄筋コンクリートの防食性および塩分浸透抑制効果は、優れることが確認された。

参考文献

- 1)田端辰伍、宮里心一、橋本徹、渡辺将之：北陸産分級フライアッシュを用いたコンクリートの実用化に向けた検証、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.151-156、2013
- 2)後藤年芳、近藤英彦、野島昭二：硬化コンクリートの全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.785-790、2010
- 3)小早川真、羽原俊祐：フライアッシュのポズラン反応による硬化体の空隙・組織の変化、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.2、pp.97-102、2001
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針、2013
- 5)土木研究所、日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル、技報堂出版、p.216、2003

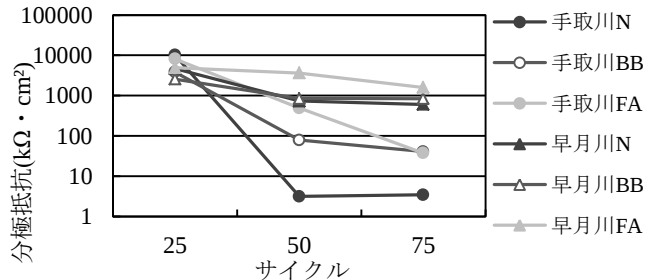


図1 分極抵抗

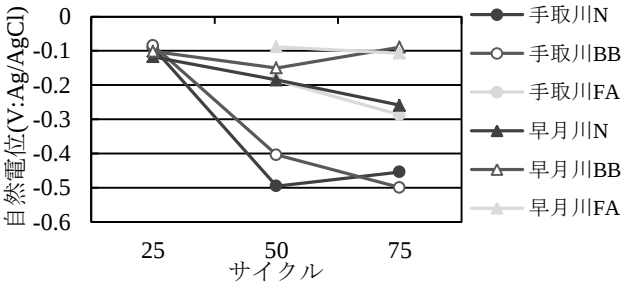


図2 自然電位

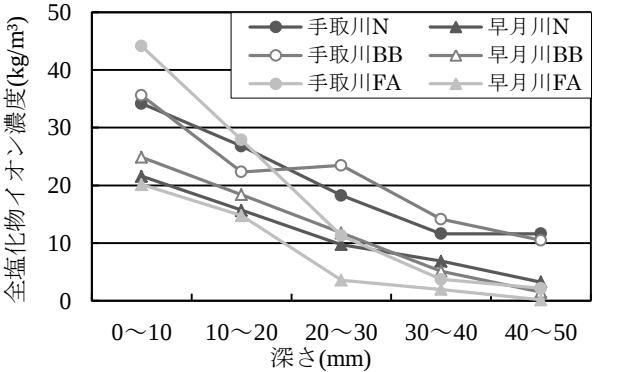


図3 全塩化物イオン濃度

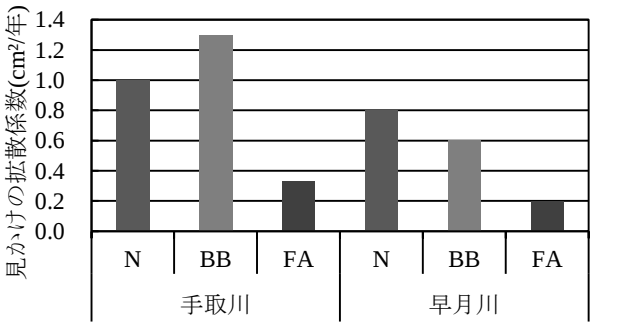


図4 見かけの拡散係数

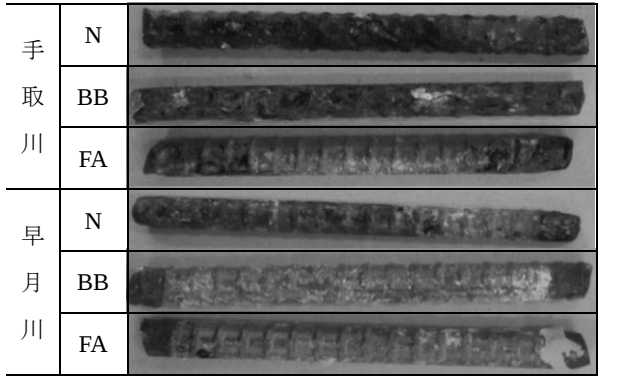


図5 鉄筋の腐食度

表4 総合評価

項目 ケース	腐食評価 (図2)	塩分浸透速度※ (図4)	腐食グレード (図5)
手取川 N	大	速	IV
手取川 BB	大	速	IV
手取川 FA	大	遅	II
早月川 N	大	速	II
早月川 BB	なし	速	I
早月川 FA	なし	遅	I

※：速=0.5cm²/年以上、遅=0.5cm²/年未満