

製鋼スラグ・フライアッシュを用いたコンクリートの耐海水性

東急建設(株)技術研究所* 正会員 早川健司 伊藤正憲

1. はじめに

近年、石炭火力発電所や製鉄所から発生するフライアッシュやスラグを利用した FS コンクリートの開発が進められている¹⁾。FS コンクリートは、細骨材にフライアッシュおよび製鋼スラグ、粗骨材に高炉スラグ粗骨材を使用したコンクリートであり、石炭火力発電所や製鉄所が立地する沿岸域で使用することはコスト低減等の観点から有効である。そこで、本検討では、海洋環境下の構造物へ有効利用していくことを目的に、FS コンクリートの実海洋環境での暴露試験を実施し、長期耐久性についての検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

表 1 に FS コンクリートの使用材料を示す。細骨材として使用する製鋼スラグは膨張性を有するため、コンクリート用骨材としては利用されていなかった材料である。しかし、使用前に蒸気エージング処理を施し、膨張を促進させた製鋼スラグは、フライアッシュを適切な割合で混合することで膨張を抑制できることが、促進試験等により確認されている¹⁾。本実験では、蒸気エージングを行い水浸膨張率が 0.2% 程度の製鋼スラグを使用し、実環境下での長期暴露試験を実施することにした。

表 2 にコンクリートの配合を示す。製鋼スラグの膨張を抑制するフライアッシュは、製鋼スラグに対する容積比で 0.3, 0.4, 0.5 の 3 水準とした。配合はスランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を満たすように W, s'/a 等を調整して定めた。比較用の普通コンクリートは単位セメント量がほぼ同等である N1, および W/C55% の N2 の 2 種類を用いた。

2.2 試験項目および試験方法

供試体は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の無筋供試体と図 1 に示すような位置に鉄筋を埋設した 2 種類とした。供試体は材齢 28 日まで標準水中養生を行い、その後、室内での海水浸漬、干満帯および飛沫帯に暴露した。ここで干満帯および飛沫帯とはこれらをシミュレートした屋外暴露施設である。

試験は材齢 0.5, 1, 2, 3 年の各材齢で実施し、試験項目は圧縮強度、ヤング係数、塩分分析、鉄筋の腐食面積率とした。なお、塩分分析は供試体の中央部を内部方向に 1cm 毎にカットして試料を採取し、JCI-SC4 に準拠して、全塩化物イオンを測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

図 2 に各養生・暴露条件における材齢と圧縮強度の関係を示す。暴露開始時

表 1 FS コンクリートの使用材料

種類	記号	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	入手先	備考
普通ポルトランドセメント	C	3.16		宇部三菱セメント	
フライアッシュ	FA	2.2		中部電力碧南火力発電所	非 JIS 品(原粉)
製鋼スラグ細骨材	SS	2.54	8.74	新日本製鐵名古屋製鐵所	水浸膨張率 0.2%
高炉スラグ粗骨材	GS	2.49	7.07		

表 2 コンクリートの配合

種類	記号	W/C (%)	s'/a ^注 (%)	単位量(kg/m ³)					AE 減水剤
				W	C	FA	SS	GS	
FS コンクリート	FS1	66.0	50.0	165	250	180	693	885	0.50
	FS2	69.2		173		221	636	875	
	FS3	72.4		181		255	587	865	

注) s'/a = (FA+SS) / GS

種類	記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE 減水剤
				W	C	S	G	
普通 コンクリート	N1	67.5	49.3	167	248	910	954	1.00
	N2	55.0	42.6	158	288	786	1094	

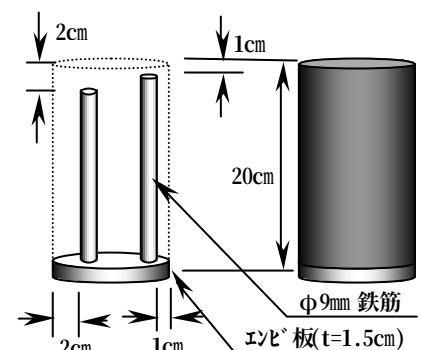


図 1 鉄筋腐食試験供試体

キーワード：製鋼スラグ、フライアッシュ、高炉スラグ粗骨材、耐海水性、塩化物イオン

〒229-1124 神奈川県相模原市田奈字曾根下 3062-1 TEL：0427-63-9507 FAX：0427-63-9503

である材齢28日のFS,N1の圧縮強度は、ほぼ同等であるが、暴露後FSコンクリートはどの暴露条件においても強度増加している。これに対し、比較検討に用いたN1,N2の海水浸漬および飛沫帯では、材齢0.5年以降で強度低下が認められた。このようにFSコンクリートの強度が長期にわたって増加したのは、製鋼スラグの膨張抑制効果を期待して混入したフライアッシュのポゾラン反応によるものと考えられるが、海水の作用を受ける環境下においても強度増加することが確認された。なお、フライアッシュ、製鋼スラグの比率を変化させたFS1,FS2,FS3の強度増加に明確な差異は認められなかった。

海水浸漬の供試体表面には、炭酸カルシウムと思われる白色物質の生成層が顕著に観察された。これは、海水浸漬条件が水酸化カルシウムの溶出や、海水中の硫酸塩の作用が実際の海水中よりも厳しかったためと考えられ、海水浸漬のN1,N2の強度低下、FS2の強度増加程度も他の条件より小さくなったものと考えられる。

3.2 塩化物イオンの浸透と鉄筋腐食

図3にコンクリート表面からの距離と全塩化物イオン濃度の関係を示す。海水浸漬および飛沫帯とも、FSコンクリート表面-1cmの全塩化物イオン濃度は1.3%程度であり、普通コンクリート（1.0%以下）より大きくなった。このように、表面濃度がFSコンクリートで大きくなったのは、フライアッシュ混入の影響によるものと考えられる。表面から1-2cmより内部のFSコンクリートの全塩化物イオン濃度は普通コンクリートより小さくなり、また飛沫帯の測定結果から求めた見かけの拡散係数は、FS2で 4.4×10^{-8} に対し、N1,N2で 6.9×10^{-7} となった。このように、FSコンクリートはフライアッシュの混入効果によりコンクリート組織が緻密化し、遮塩性に優れたコンクリートであることが示された。

図4に鉄筋かぶり位置と腐食面積率の関係を示す。海水浸漬、干満帯の腐食面積率はN1よりFS2のほうが小さかった。飛沫帯のかぶり2cmでは、FS2,N1に差異がなかったが、かぶり1cmのFS2はN1より大きくなった。この結果は塩分の測定結果と対応しており、腐食開始材齢が早かったこと、鉄筋腐食によるひび割れ発生時期が早かったことに起因していると考えられる。以上の結果、通常の構造物のかぶり位置におけるFSコンクリートの鉄筋防食性は、普通コンクリートと比較して同等以上であるものと考えられる。

4. まとめ

本検討では、産業副産物を有効利用したFSコンクリートの長期耐久性を評価することを目的に海洋環境下への暴露試験を実施した。この結果、FSコンクリートの耐海水性、内部鉄筋の防食性は通常のコンクリートと比較して同等以上であることが確認できた。

なお、本研究は、中部地区でFSコンクリートを新しい建設材料として利用することを目的に設立された「FSコンクリート研究会」において実施した実験の一部をとりまとめたものである。

[参考文献]

- 1) FSコンクリートの利用手引書、(株)沿岸環境開発資源利用センター、1998.11

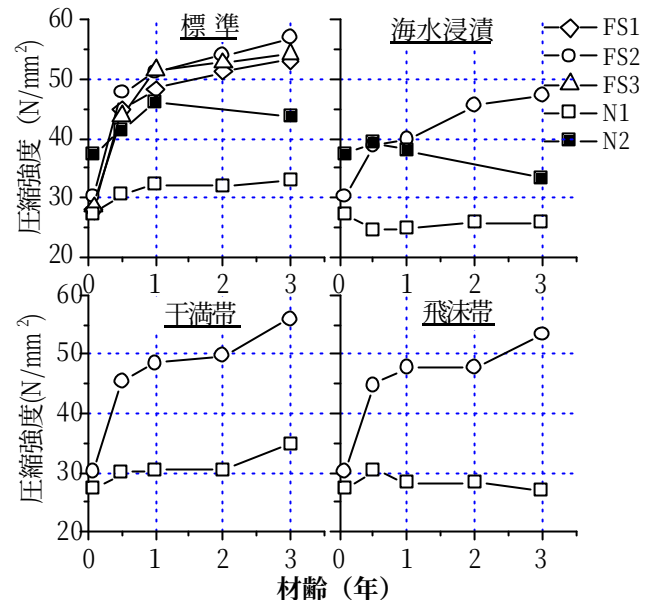


図2 暴露条件別の材齢と圧縮強度の関係

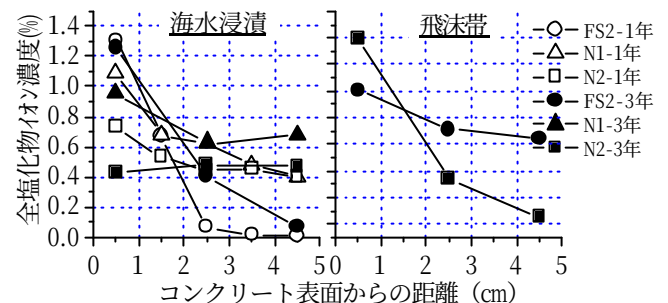


図3 全塩化物イオン濃度の測定結果

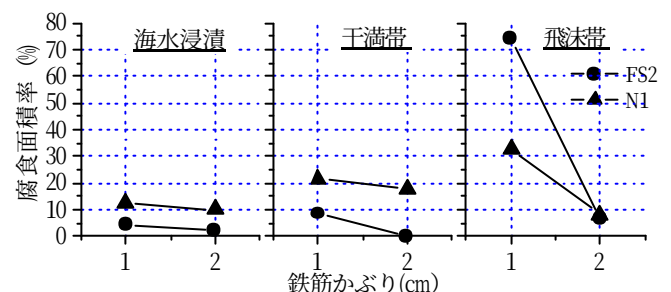


図4 鉄筋の腐食面積率