

フライアッシュ原粉を使ったコンクリートの鉄筋腐食に関する評価

(株) エネルギア・エコ・マテリア 正会員 ○高橋 和之 正会員 齊藤 直
中国電力株式会社 正会員 安野 孝生
山口大学 正会員 浜田 純夫

1. はじめに

近年、海洋構造物における鉄筋腐食が大きな問題となっており、その解決策としてフライアッシュ等の水密性の高いコンクリートの活用が期待されている。本稿では、腐食原因となる塩化物を多量に含む海水を練混ぜ水としたフライアッシュコンクリート（NAクリート¹⁾：以下「NA」と普通コンクリート（高炉B種：以下「BB」）を対比することにより、コンクリート内の内在塩化物の腐食影響と、外来起因である酸素供給による腐食影響の両者について、影響評価を海洋暴露試験によって試みたものである。

なお、NAは、既にその硬化組織の緻密性が明らかとなっており、用心鉄筋を含む構造物に活用されているが、本評価によって構造筋を有するRC構造物への適用が期待されるものである。

2. 試験の概要

中央部にD13の鉄筋を配置した15×15×53の曲げ供試体（かぶり：鉄筋中央7.5cm）を飛沫帯に設置し、約3年間経過した時点で揚収して鉄筋の腐食状況を調査した。

試験配合は、NA 2 配合（NA, NS）および比較検証のため普通コンクリート 1 配合（BB）の供試体を作成した。これらの配合は、いずれも設計基準強度 $F_{ck}=21\text{N/mm}^2$ とした。実測の28日強度は、BB=25.0N/mm²、NA=25.1N/mm²である。

配合表を表-1に示す。

なお、スランブは公共工事で一般的に活用されているスランブ値（BB=8cm, NA=15cm）とした。

供試体は、図-1に示すとおり鉄筋のかぶりが一般的な海洋コンクリートで使用する7cmを満足するよう曲げ供試体の中心に鉄筋を配置した。また、供試体の作成は、各配合のコンクリートを2層に別けて流し込み木槌により型枠を軽く打撃して締固めを行った。

3. 免錆確認試験

(1) 割裂強度（引張強度）

鉄筋取り出し時の割裂強度を表-2に示す。

この結果から、長期暴露条件下におけるNAの強度増進がBBと対比して約30%（NS）～36%（NA）程度強くなっており、28日材齢の圧縮強度が同一であることを勘案すると、NAはBBと比較して長期的な強度増進および緻密性の向上による耐久性・水密性の向上がなされているものと推察される。

表-1 暴露試験供試体配合一覧

種類	W/C (%)	W/B (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
			W	C	FA	S	G	スラグ	Ad
BB	65.0	65.0	153	243	—	821	1083	—	2.44
NA	94.3	35.5	238	244	404	—	—	1437	5.0
NS	94.0	43.8	225	232	266	384	—	1226	5.0

※BBのセメントは高炉セメントB種、NA・NSのセメントは普通ポルトランドセメントを使用。

NA・NSの「W」は「海水」の単位量。

BBの混和剤は、AE減水剤を2.43kg、AE剤を0.01kg使用し、NA・NSは減水剤を使用。

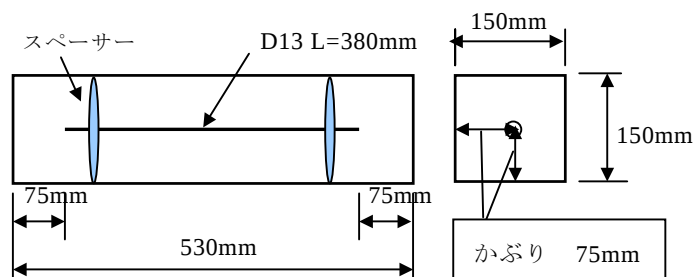


図-1 試験供試体概要図

表-2 供試体の割裂強度

区分	割裂強度	BBに対する比
BB	2.31N/mm ²	100%
NA	3.13N/mm ²	136%
NS	2.98N/mm ²	129%

キーワード：フライアッシュ、金属スラグ、水密性、鉄筋腐食

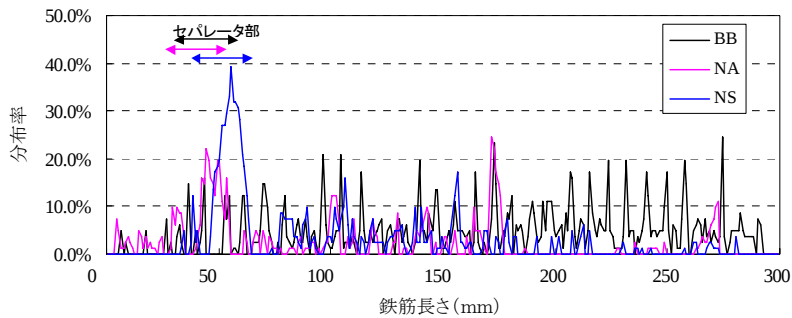
連絡先：(株)エネルギア・エコ・マテリア（〒730-0042 広島市中区国泰寺町1丁目3番32号 TEL:082-523-3510）

(2) 発錆状況

取り出した鉄筋腐食の分布と腐食率を図－3および表－3～4に示す。

BB(4.6%)と比較して、NA(NA2.3%～NS3.1%)の腐食率が低い結果となった。コンクリートの充填不良による空隙があり、内部に自由水（間隙水）が存在していたと見られるセパ部を除くと、NA(1.8%)はBB(4.7%)と比較してその腐食率は約50%となっている。また、ブリーディング水の影響を受ける下面においても、NAはBBと比較して全体面積では発錆の少ない結果となった。

一方で、発錆が広がっている部分については、図－3に示すようにNAはBBと比較して面積的に大きい分布となっている。しかし、面積的に大きい錆の部分にはセパレータ等による充填不良箇所限定されている。



図－3 錆の分布図

表－3 セパレータ部と一般部の発錆率の対比

区分	一般部	セパレータ部	全体
BB	4.7%	3.7%	4.6%
NA	1.8%	9.1%	2.3%
NS	1.8%	14.9%	3.1%

表－4 上面と下面の発錆率の対比

区分	上部	下部	全体
BB	0.2%	9.1%	4.6%
NA	0.2%	4.9%	2.3%
NS	2.3%	3.9%	3.1%

4. 考察と結論

(1) 考察

NAの発錆は、充填不良によるブリーディング水等が集中して酸素が多く存在した場所では錆の面積は大きい傾向となったが、その他の一般部においてはBBと対比して発錆面積では少ない結果となった。充填不良部においても錆の厚さが非常に薄く、錆の浮きが生じた個所や、鉄筋の断面縮小の状況は見られなかった。

図－4¹⁾に示すNAの細孔径分布から考察すると、強度増進の著しいNAは材齢の進行に伴い密実性が向上することが明らかであり、海洋暴露条件下において水密性に優れ、錆の進行は少ないものと考えられる。

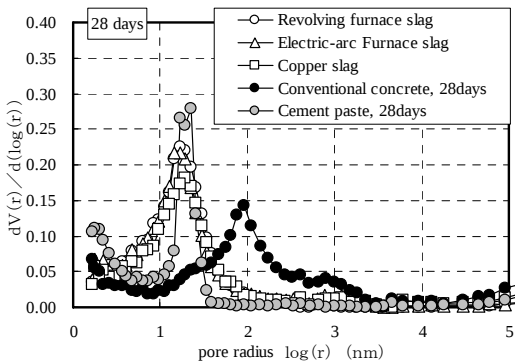
また、既往の研究²⁾によれば、コンクリート中の空隙構造において、管網の複雑さがそのまま細孔径が小さくなると透水係数と空隙率が小さくなることが明らかとなっている。

以上のことから、細孔径の小さいNAの硬化体内に塩分が存在していても、外部から内部への空気提供量が非常に小さくなるため、錆の進行は遅いものと考えられる。暴露試験3年経過後においても、鉄筋の断面縮小等が見られなかったことから、RC構造物への適用も可能と考えられる。

(2) 結論

海水で練り混ぜを行うNAにおいても、BBと比較して発生量も少なく、フライアッシュの長期的な強度増進とそれに伴う緻密性・水密性の増進が期待できるため、結果的に海洋暴露条件下においてBBより発錆の少ないRCコンクリートが構築できるものと考えられる。このことは、緻密な細孔構造を持つフライアッシュが海洋コンクリートの発錆抑止に大きく貢献できることを示唆しており今後の研究に期待するところである。

【参考文献】 1) Saitoh,T.,Hamada,S.,Matuo,E.,Fukudome,K.,”Characteristic of Recycling Concrete using Large Amount of Fly Ash and Mixed with Metal Slag”, *Proceedings of Sixth CANMET/ACI International Conference on Recent Advance of Concrete, Romania, June-2003*, pp.437-450.
2) 魚本研究室（木下勝也，魚本健人），ガラス管モデルによるコンクリートの透水性検討 “Study on Permeability of Concrete Glass Pipe Net-Work”，東京大学生研リーフレット，No.290,1997.12



図－4 28日材齢の細孔径分布