

アミノ酸を添加したコンクリートの防食性能と環境調和性能に関する検討

徳島大学 学生会員 ○李漢強 徳島大学 正会員 上田隆雄
太平洋セメント 正会員 江里口玲 日建工学 正会員 飯干富広

1. はじめに

アミノ酸の一種であるアルギニン混入したコンクリートは、海洋環境においてコンクリート表面への藻類の付着が促進され、魚類等の生物生息環境改善への寄与が期待されるとともに、アミノ酸が高い塩基性を示すことからコンクリート中の鉄筋防食効果が報告されている。本研究では、従来の消波ブロックなどの無筋コンクリートとして利用されてきたアルギニン混入コンクリートを、ケーソン式護岸などの鉄筋コンクリート（以下 RC とする）構造物にも適用することを想定して研究を行った。また、フライアッシュや PVA 繊維とともにアルギニンを添加したコンクリートについて、ひび割れ治癒性能および塩害抵抗性を、海洋暴露試験も含めて検討した。

2. 実験概要

本実験で用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。ここに示した 5 配合の内、配合名の最初に N が付いた 2 配合はフライアッシュ無混和の普通コンクリート配合で、FA が付いた 3 配合はフライアッシュ混和コンクリート配合とした。また、末尾の「0」はアルギニン無添加、「3」はセメント質量の 3% の粉末アルギニンを細骨材代替として添加したことを示し、さらに P の付いた配合は、1.5 vol. % の PVA 繊維を添加した。

本研究で作製した RC 供試体は 100×100×350 mm の角柱コンクリートの長軸方向に対して、丸鋼φ13 mm（長さ：350 mm）をかぶり 30 mm で埋め込んだものとした。また、φ100×200 mm の円柱コンクリート供試体を別途作製し、コンクリートの圧縮強度測定および塩水浸漬試験後の Cl⁻ 浸透深さ測定に用いることとした。

塩水浸漬試験および海洋暴露試験を行う RC 供試体および円柱コンクリート供試体は、養生終了後に暴露面とした型枠側面 1 面を除いて他の面についてはエポキシ樹脂を塗布した。また、海洋暴露試験用の RC 供試体の半数については、28 日間の封緘養生終了後に、約 0.2 mm 幅の曲げひび割れを導入し、塩水浸透促進試験用供試体にはひび割れは導入していない。

28 日間の封緘養生終了後の供試体を用いた室内実験として実施した塩水浸透促進試験は、20℃環境で気中乾燥（60%R.H.）4 日間、10%NaCl 溶液への浸漬 10 日間で 1 サイクルとし、各サイクル終了時に電気化学的鉄筋腐食指標として供試体中鉄筋の自然電位、分極抵抗とコンクリート抵抗を測定した。海洋暴露用の RC 供試体は、28 日間の養生終了後に電気化学的鉄筋腐食指標やひび割れ幅の初期値測定を実施し、プラスチックのメッシュコンテナに 6 体程度の供試体を入れた状態で海洋暴露に供した。暴露場所は徳島県徳島市沖洲人工海浜とし、2020 年 9 月中旬から暴露を開始した。干満の状況は季節等で変動するが、暴露開始時には干潮時には供試体が完全に露出し、満潮時にはコンクリート部分が完全に水没することを確認した。

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/C(%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)									スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	FA	Arg	PVA	WRA*	AEA**		
N0	55	48	170	309	842	942	—	—	—	2.16	0.003	20.5	6.4
N3	55	48	170	309	824	942	—	9.27	—	0.93	0.0015	19.0	3.8
FA0	55	48	170	309	674	939	154	—	—	1.85	0.232	3.5	3.0
FA3	55	48	170	309	657	939	154	9.27	—	0.93	0.232	2.5	2.9
FA3P	55	48	170	309	651	897	154	9.27	19.5	4.63***	0.232	0	2.8

*WRA：AE減水剤，**AEA：AE剤，***FA3PでSP剤を使用

3. 塩水浸漬と乾燥の繰り返し試験

塩水浸透促進試験に供した RC 角柱供試体に関して、試験期間中の鉄筋自然電位、分極抵抗、およびコンクリート抵抗の経時変化を図-1 に示す。N0 は、自然電位およびコンクリート抵抗が促進 2 ヶ月後に低下し、N3 は貴な自然電位および高いコンクリート抵抗を維持している。既往の検討により、アルギニンを追加した場合には、コンクリート細孔溶液中の OH^- 濃度が上昇していることが確認されており、コンクリート中鉄筋の防錆効果を促進するとの報告もあることから、このような鉄筋不動態の変化が電気化学的指標値の差に反映されているものと推定される。FA0 と FA3 は、N 配合と比較して高い分極抵抗とコンクリート抵抗を維持している。これはポゾラン反応の進行によって緻密な細孔構造が形成されていることから、塩水からの Cl^- の浸透は顕著に抑制されているものと推定される。FA3 配合に PVA 繊維を添加した FA3P については、元々流動性の低い FA 配合にさらに繊維による水分拘束効果が加わって流動性が大きく低下し、締固めが不十分となり、やや大きな空隙が形成された。このため、鉄筋の自然電位は塩水浸漬開始初期から大きく卑変した。

4. 海洋暴露試験

暴露 2 カ月の時点で、ひび割れを導入していない供試体の電気化学的鉄筋腐食指標に関しては、図-1 に示した室内試験の塩水浸透促進試験結果と同様の傾向を示している。ひび割れを導入した供試体に関しては、すべての配合で、暴露開始後に鉄筋自然電位が大きく卑変している。これは、ひび割れから海水が浸入することで、海水由来の Cl^- が短期間で鉄筋近傍まで浸透したためと考えられる。また、海洋暴露試験を 2 カ月実施した後の RC 供試体の外観状況は、一部の供試体で、黄緑色の変色が見られる。海洋暴露を行ったひび割れ導入供試体は、アルギニンの添加によって、ひび割れを導入していない供試体よりも強く黄緑色に変色する傾向を示した。このような供試体の変色が微細藻類等の着生によるものかどうかは現時点では不明であるが、コンクリートに添加したアルギニンが、この変色に影響しており、ひび割れを導入することで、コンクリート内部からのアルギニンの溶出が促された結果として、変色が強く表れたものと推定される。

ひび割れの変化について、暴露 2 カ月の時点で導入したひび割れの閉塞状況を目視とマイクロスコープにより観察したが、暴露期間が短いために、大部分の供試体ではひび割れの状況に変化は認められなかった。ただし、アルギニンと PVA 繊維を添加したフライアッシュ混和コンクリート配合の FA3P だけは、図-2 に示すように、明確にひび割れが閉塞しつつある部分が観察された。また、FA3P の表面に形成された比較的大きな空隙部分では、図-3 に示すように、PVA 繊維の露出部分を中心に、新たな固化体が付着・形成されている様子も観察された。



(a)暴露開始時

(b)暴露 2 か月後

図-2 コンクリートのひび割れ閉塞状況 (FA3P)

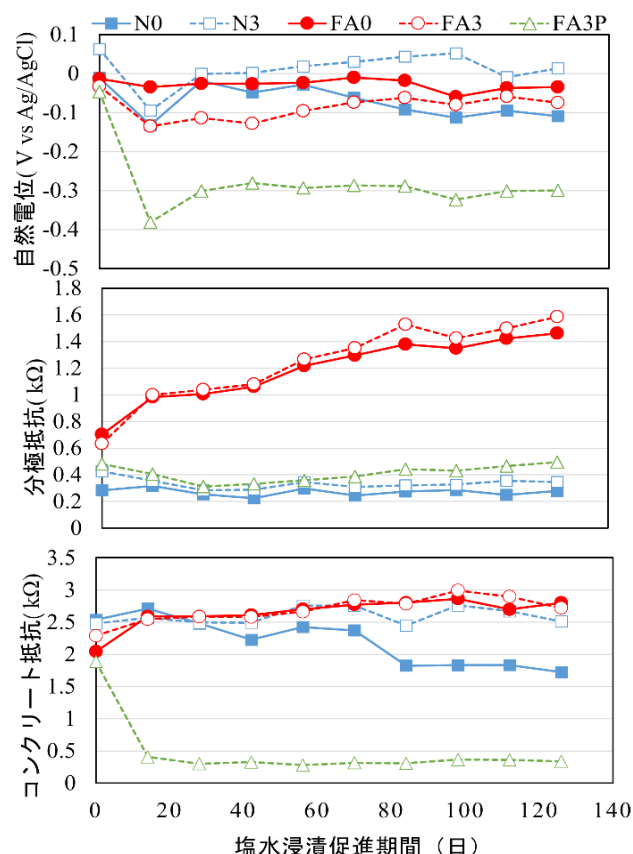
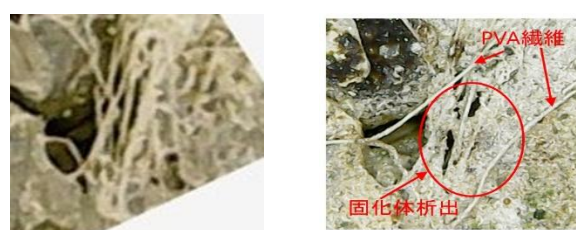


図-1 塩水浸透促進試験期間中における電気化学的鉄筋腐食指標の経時変化



(a)暴露開始時

(b)暴露 2 か月後

図-3 コンクリート空隙部分の繊維周辺の状況