

アミノ酸を添加したコンクリートの塩害抵抗性に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○谷口 沙耶佳 徳島大学大学院 正会員 上田 隆雄
 日建工学株式会社 正会員 飯干 富広 太平洋セメント株式会社 正会員 江里口 玲

1. はじめに

アミノ酸の一種であるアルギニンを経済コンクリートに添加することで、コンクリート表面上における微細藻類の生長促進効果が確認されている。また、高塩基性を示すアルギニンにより、鉄筋腐食が改善する可能性も報告されている。ただし、厳しい塩害環境での適用を想定した場合、塩化物イオン（以下 Cl^- とする）の浸透・拡散に対する高い抵抗性が必要となる。さらに、アルギニンの有する高い塩基性がポズラン反応の活性化に寄与する可能性もあることから、本研究では、フライアッシュを混和したコンクリートにアルギニンを添加した時の基礎物性と塩害抵抗性を確認することとした。

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6配合の内、配合名の最初にNが付いた3配合は普通セメントを用いたフライアッシュ無混和配合で、FAが付いた2配合は普通セメントを用いたフライアッシュ混和配合、BBが付いた2配合は高炉セメントB種を用いた配合とした。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す。

水セメント比は一定の55%とし、FA配合のコンクリートについては、細骨材体積の20%をフライアッシュで置換した。なお、モルタル配合はコンクリート配合から粗骨材を除いたものとし、初期塩分としてコンクリート体積換算で Cl^- 濃度が 3.0 kg/m^3 となるように NaCl を練混ぜ水に溶解して混入した。

本研究で作製したRC供試体は $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}$ の角柱コンクリートの長軸方向に対して、みがき丸鋼 $\phi 13 \text{ mm}$ （長さ：350 mm）をかぶり25 mmで埋め込んだものとした。鉄筋の一端はエポキシ樹脂で絶縁した上でコンクリートから露出させ、コンクリート内の鉄筋埋込み長は270 mmとした。これらの供試体はコンクリート打設日翌日に脱型し、20°Cの恒温室内で28日間の封緘養生を行った。塩水浸透促進試験を行うRC供試体および円柱コンクリート供試体は、暴露面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。塩水浸透促進試験は、20°C環境で10% NaCl 溶液の浸透と気中乾燥を繰り返し、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。なお、塩水浸漬約500日時点で一部供試体を解体し、コンクリート柱の鉄筋腐食面積率およびコンクリート中の Cl^- 濃度分布を測定した。また、91日間の封緘養生が終了したモルタル円柱供試体を用いて、1200kNを上限とする載荷と除荷を繰り返す高圧抽出法により5 ml以上の細孔溶液抽出をし、細孔溶液中の Cl^- および OH^- 濃度を測定した。

表1 コンクリート配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)								スランプ (cm)	28日圧縮強度 (N/mm^2)
			W	C	S	G	FA	Arg	WRA	AEA		
N0	55	48	170	309	842	942	—	—	2.47	0.003	14.5	42.7
N3			170	309	824	942	—	9.27	0.93	0.002	18	41.9
FA0			170	309	674	939	154	—	2.47	0.185	10	50.9
FA3			170	309	657	939	154	9.27	0.93	0.185	11	46.9
BB0			170	309	838	939	—	—	2.47	0.003	17.5	42.7
BB3			170	309	939	939	—	9.27	0.93	0.002	16	38.9

キーワード：アミノ酸、塩害、フライアッシュ、高炉セメント

連絡先：徳島市南常三島町 2-1 徳島大学理工学部社会基盤デザインコース TEL：088-656-2153

3. モルタル細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比

あらかじめ 3.0kg/m^3 の Cl^- を混入したモルタルから材齢 91 日で抽出した細孔溶液中の Cl^-/OH^- モル比を図 1 に示す。 Cl^-/OH^- モル比はコンクリート中の鉄筋腐食環境を表す指標であり、この値が大きいほど厳しい鉄筋腐食環境であることを表している。図 1 によると、アルギニンを添加した場合には、 OH^- 濃度が上昇し、 Cl^- 濃度が低下するため、 Cl^-/OH^- モル比は小さくなる。今回の結果より、コンクリート中の Cl^- 濃度が同じであっても、鉄筋の腐食状態はアルギニンの添加で緩和されるものと推定される。また、フライアッシュを混和した場合、ポズラン反応の進行に伴ってコンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費され、一般に細孔溶液中の OH^- 濃度が低下するため、 Cl^-/OH^- モル比は大きくなる。本研究でも N0 と比較して FA0 の Cl^-/OH^- モル比は増大しているが、アルギニンを添加した N3 と FA3 は共に N0 の 1/3 程度の小さい値を示している。このような点から、アルギニンはフライアッシュコンクリートの性能改善に有効な添加材であると言える。

4. コンクリート中の Cl^- 濃度分布

塩水浸漬約 500 日後における、コンクリート中の全 Cl^- 濃度分布を図 2 に示す。N 配合と比較して、FA 配合や BB 配合はアルギニン添加の有無に関わらず、 Cl^- の浸透が抑制されている。これは、フライアッシュのポズラン反応、高炉セメントの潜在水硬性によるコンクリートの緻密化が腐食因子の侵入を抑制したことが考えられる。図 2 に示した全 Cl^- 濃度分布から算出される Cl^- の見かけの拡散係数を図 3 に示す。これによると、アルギニンを添加することによって拡散係数が減少している。表 1 よりコンクリートの圧縮強度はアルギニン添加によって若干低下しているが、 Cl^- の拡散浸透に関しては若干抑制している。

5. 塩水の浸漬を受けるコンクリート中の鉄筋腐食の評価

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の経時変化を図 4 に示す。普通セメントを用いた N0 配合は、塩水浸漬促進期間が 400 日程度経過した後に経時的に徐々に電位が低下していることから、鉄筋腐食が進行しているものと推定されるのに対して、アルギニンを添加した N3 は浸漬 500 日以降も電位の低下は見られない。FA 配合および BB 配合の供試体については、塩水浸漬開始直後から卑な自然電位を示しており、その後 FA 配合の電位は貴変したが、BB 配合は卑な電位を保持している。これは、セメント硬化体の緻密化により、鉄筋周辺の酸素が不足したことが一因と考えられる。

約 500 日塩水浸透を行った N 配合コンクリート中の鉄筋腐食状況を写真 1 に示す。なお、FA 配合および BB 配合では鉄筋腐食が見られなかった。N0 配合供試体中の鉄筋には腐食が見られるが、N3 配合ではほとんど腐食は見られない。図 2 に示したように鉄筋位置の Cl^- 濃度が同程度であっても、アルギニン添加による防食効果が確認された。

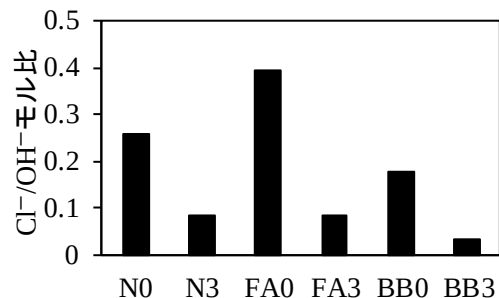


図 1 細孔溶液中 Cl^-/OH^- モル比

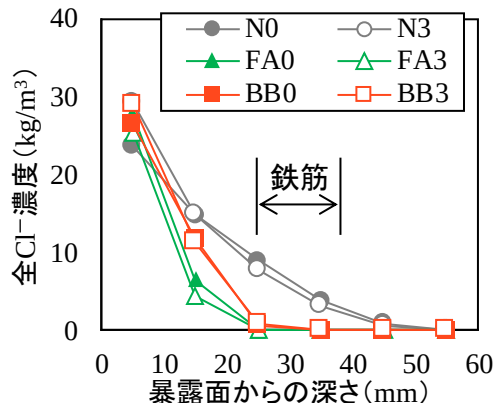


図 2 コンクリート中 Cl^- 濃度分布

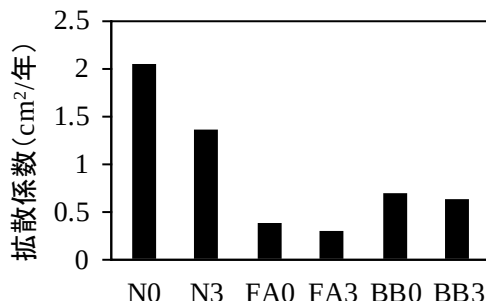


図 3 Cl^- の見かけの拡散係数

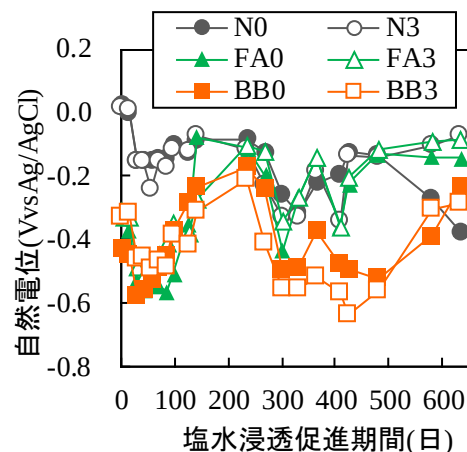


図 4 自然電位の経時変化



写真 1 鉄筋腐食状況