

消石灰とアミノ酸を反応刺激剤とするセメントを用いない固化体の基礎物性に関する検討

徳島大学院 学生会員 ○中村遥人 徳島大学院 正会員 上田隆雄

1. はじめに

地球温暖化の防止を目的として、温室効果ガスの排出削減が大きな課題となっており、日本においても、2050年にカーボンニュートラルを実現することを目標として掲げている。コンクリートの分野では製造時に多量の二酸化炭素を排出するセメントを使用しない固化体の研究が進められている。その代表的な材料として、ジオポリマーが挙げられる。危険性が比較的高い高アルカリ性溶液を反応刺激剤として用い、高温養生が必要になる場合があるなど、施工時の課題点がある。そこで本研究では、現場での扱いが容易な消石灰とアルギニンをアルカリ刺激剤とし、封緘養生により作製したモルタルの基礎物性に関する検討を行う。

2. 実験概要

本実験で用いたモルタルの配合を表-1に示す。なお配合名は、普通モルタルをN、セメントを用いず、消石灰を刺激剤とした固化体をHとする。さらに、消石灰の50%をCaCO₃で置換した場合はHC、75%をCaCO₃で置換した場合はHC2とする。また、アルギニンをH配合の粉体質量の3%混入した場合はAを付し、練混ぜ水として人工海水(SW)を用いた場合はSを付している。粉体の質量比は消石灰で火山灰のポゾラン反応を促したと考えられるローマンコンクリートの推定配合を参考に決定した。また、人工海水(Cl濃度:2%)を用いた配合も、海水の使用がローマンコンクリートの強度発現に寄与した可能性が指摘されていることと、鉄筋腐食への抵抗性検討の観点から検討に加えた。この場合のモルタル中Cl⁻濃度は6.68 kg/m³となった。

表-1 モルタルの配合

配合名	W/P (%)	S/P	単体量(kg/m ³)								
			C	W	S	BFS	FA	SF	Ca(OH) ₂	CaCO ₃	Arg
N	55	3	468	257	1404	0	0	0	0	0	0
H	43	2	0	251	1166	194	97	97	194	0	0
HA	43	2	0	249	1156	187	94	94	187	0	17
HC	43	2	0	253	1176	196	98	98	98	98	0
HCA	43	2	0	251	1166	189	94	94	94	94	17
HC2	43	2	0	254	1182	197	98	98	49	148	0
HC2A	43	2	0	252	1171	189	95	95	47	142	17

二酸化炭素を固定化した石灰石微粉末を結合材に使用し、本研究で作成した供試体は、φ5の鉄筋腐食かぶり20mmで埋め込んだ40x40x160mmの鉄筋角柱、40x40x160mmのモルタル角柱、およびφ50x100mmの円柱モルタルである。鉄筋角柱の暴露面以外の面はエポキシ樹脂で塗布した。水道水練り配合の鉄筋モルタル供試体は、塩水浸漬試験を実施し、室温20°C、10%NaCl溶液への浸漬4日間、室温20°C、60%R.H.の気中乾燥3日間で1サイクルとした。1サイクル毎に自然電位、分極抵抗、およびモルタル液抵抗を測定した。海水練り配合の鉄筋モルタル供試体は、乾湿繰り返し試験において、40°C、95%R.H.の湿潤状態で4日間、室温20°C R.H.60%の乾燥状態の3日間とし、同様に1サイクルごとに電気化学的モニタリングを行った。海水練り円柱モルタルにおいては材齢28日、および120日に圧縮強度試験及び細孔溶液抽出を行った。

3. 強度

各種モルタルの材齢 28 日および 120 日における強度試験結果と強度増加率を図-1 に示す。強度増加率は下式により求めた。

$$\text{強度増加率} = (f_{120} - f_{28}) / f_{28} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに、 f_{28} ：材齢 28 日強度、 f_{120} ：材齢 120 日強度

図-1 によると、N に対して、セメントを用いない各種配合モルタルは 28 日強度が低いものの、いずれの配合でも 30 N/mm² を上回る強度を示している。また、HA および HCA においてアルギニン添加により強度増進を示していることから、消石灰に加えて塩基性の高いアルギニンを添加することで、各種結合材の長期的反応を促進したものと考えられる。著者らの既往の検討では、アルギニンを添加することでコンクリートの圧縮強度は 3~10% 程度低下する傾向を示しており、今回の HC2 配合では消石灰の不足の場合アルギニンの添加によって結合材の反応が低下するものと推察される。

4. 電気化学的鉄筋腐食指標

鉄筋腐食促進試験期間中におけるモルタル中の鉄筋自然電位を図-2 に示す。セメントを用いない H, HA, HC, HCA 配合の供試体についても、やや不安定な電位の動きを示しているものの、N 配合と同様の電位で推移しており、腐食の進行はほとんど無いものと推定される。一方、HC2 および HC2A 配合については、開始直後から -0.3 V を下回る卑な自然電位を示しており、ASTM 判定基準の腐食領域 ($E < -0.24$ V vs Ag/AgCl) に入っている。これらの配合については、消石灰の混和量が少ないために十分に緻密な硬化体が形成されておらず、塩水が浸漬し、腐食が進行しているものと考えられる。

鉄筋腐食促進試験期間中におけるモルタル中のモルタル液抵抗を図-3 に示す。モルタル液抵抗はかぶりモルタルの電気抵抗であり、腐食電流の流れやすさを表している。N 配合と比較して、セメントを用いない各種配合は大きな液抵抗を示している。特に HC, HC2 の液抵抗が大きく、経時的な増大も見られることから、各種結合材の反応が進行することで、緻密な細孔構造が形成されたものと考えられる。この傾向はアルギニンを添加した配合で特に顕著に見られる。

5. モルタル細孔溶液中の各種イオン濃度

海水練りを行ったモルタルから材齢 28 日、120 日で抽出した細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ モル比を図-4 に示す。消石灰に対する石灰石微粉末の置換割合が大きいほど、大きな Cl⁻/OH⁻ モル比を示しており、より厳しい腐食環境を示している。これに対してアルギニンを添加した場合には、OH⁻ 濃度が上昇するため、Cl⁻/OH⁻ モル比は小さくなり、鉄筋腐食環境が緩和されている。この OH⁻ 濃度上昇は、アルギニンの有する高い塩基性に起因するものと考えられる。今回の結果より、モルタル中の 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。

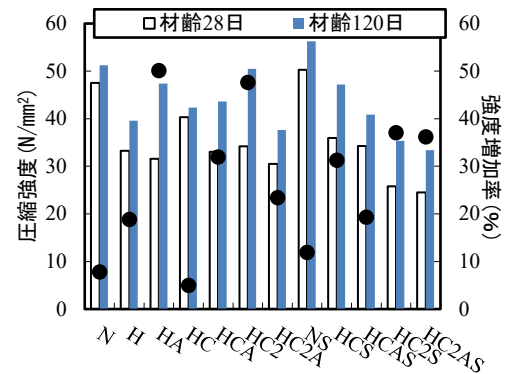


図-1 圧縮強度

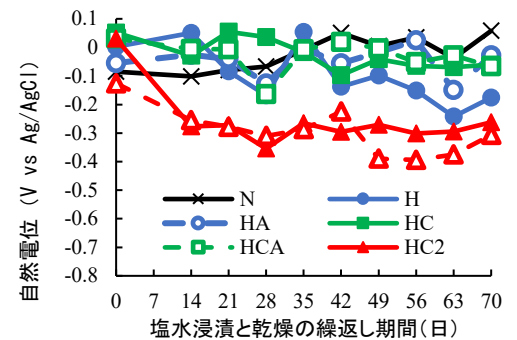


図-2 自然電位の経時変化

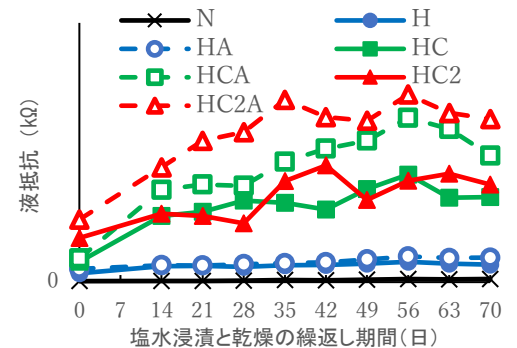


図-3 モルタル液抵抗の経時変化

