

自己治癒カプセルを用いたモルタルの乾燥収縮ひび割れ抵抗性

愛媛大学大学院 非会員 坂井大河

愛媛大学大学院 正会員 河合慶有 愛媛大学大学院 正会員 氏家勲

1. はじめに

一般に、コンクリートは本質的にひび割れを発生しやすい準脆性材料である。コンクリート構造物に生じるひび割れは、腐食因子の侵入を容易にし、塩害や中性化などを促進させる原因となる。従来、鉄筋腐食が局所的に生じ劣化・損傷した部位には断面修復工法が行われているが、はつり取った部位以外に残存する塩化物イオンなどの腐食因子や補修材と母材の電気抵抗率の相違により再度鉄筋腐食が生じる再劣化の事例が報告されている¹⁾。近年、微生物や酵素の代謝を利用してひび割れ補修を行うバイオ補修材の研究が進められている。既往の研究²⁾では好気性微生物を混入したモルタル供試体を対象として、カソード反応の抑制による鉄筋腐食の抑制効果が報告されている。本研究では、微生物及び栄養源をカプセル化しコンクリート中に埋設する方法に着目し実験的、解析的検討を行った。微生物及び栄養源をカプセル化しコンクリート中に埋設することで、ひび割れた際にカプセル内の微生物の代謝活性が生じ、ひび割れを閉塞できる可能性に注目している。このような背景の下、本研究ではカプセルを埋設したモルタルを対象として断面修復材としての基本的性能について検討を行った。特に、細骨材の一部をカプセルに置換したモルタルを対象として、強度発現などの力学特性及び乾燥収縮特性の把握、さらに乾燥収縮ひび割れ抵抗性を評価することを目的とした。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び配合

表1にモルタルの配合を示す。セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には砕砂（表乾密度 2.61g/cm^3 、吸水率 1.06% 、粗粒率 2.88 ）を使用した。水セメント比を 50% とし、細骨材の一部をカプセルに置換したモルタルを作製した。なお、置換率は 0.0% 、 0.5% 、 1.0% 、 1.5% 及び 2.0% とした（以下CA-0.0、CA-0.5、CA-1.0、CA-1.5、CA-2.0と称す）。自己治癒カプセルはアルギン酸ナトリウムと酢酸カルシウムのイオン架橋反応によって作製し、微生物と栄養源をカプセル中に封入した。また本研究では微生物として納豆菌を用いた。納豆菌は、塩化アンモニウムやリン酸水素二カリウムを主成分とする培地を用いて培養したものを使用した。なお、事前にエアレーションを止めた後の培養液中の溶存酸素濃度を測定することにより、菌の代謝活性を確認している。AE減水剤には、リグニンスルホン酸を主成分とするものを用いた。

表1 配合表

配合	W/C(%)	s/a(%)	単用量(kg/m ³)				C×%
			W	C	S	カプセル	
CA-0.0	50	48	316	632	1264	0.00	1.5
CA-0.5	50	48	316	632	1258	1.64	
CA-1.0	50	48	316	632	1251	3.27	
CA-1.5	50	48	316	632	1245	4.91	
CA-2.0	50	48	316	632	1239	6.54	

(2) 試験方法

本研究では、圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度、及び曲げ強度を円柱供試体（ $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ）を用いて測定した。また、JIS A 1129-3に準拠してダイヤルゲージ法により乾燥収縮ひび割れを測定した。乾燥収縮ひび割れ抵抗性試験では、既往の研究³⁾を参考にして図1に示すような拘束供

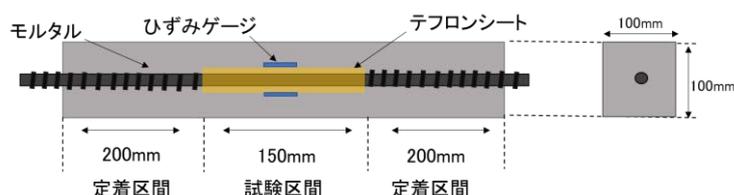


図1 供試体概要

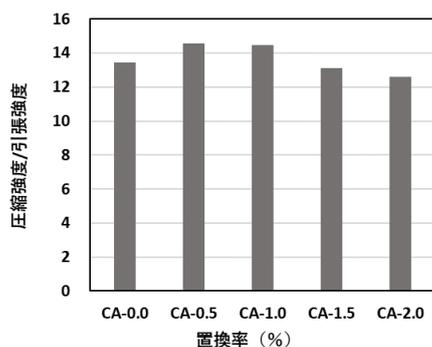


図2 脆度係数

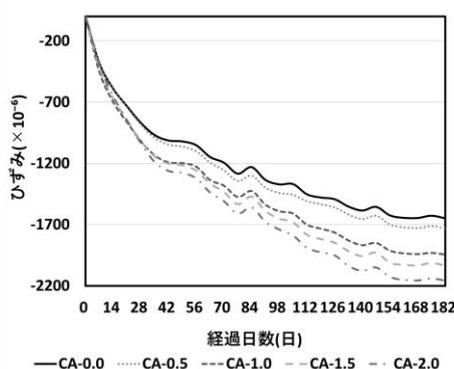


図3 乾燥収縮ひずみ

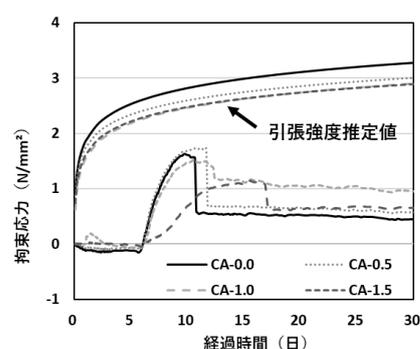


図4 拘束応力の経時変化

試体 (550mm) を用いた。埋設鉄筋は M33 のネジ節鉄筋とし、中央部に貼り付けたひずみゲージにより鉄筋ひずみを測定し、断面の釣り合いを考慮してコンクリート断面に作用した拘束応力を算定した。なお、試験区間 (150mm) は厚さ 1mm のテフロンシートを巻くことで付着を除去している。供試体は各ケースで一体ずつ作製し、打設後 1 日で脱型した後、材齢 7 日まで湿布養生とした。なお、試験は温度 20°C、相対湿度 60% の室内環境で実施した。

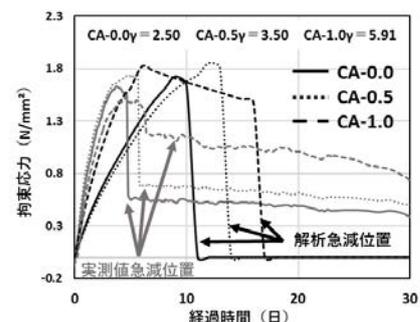


図5 解析結果

3. 実験結果および考察

各強度試験の結果、圧縮強度、静弾性係数、引張強度及び曲げ強度は CA-0.0 を基準とすると、CA-0.5、CA-1.0 では 5%~10% 程度低下する結果となり、CA-1.5、CA-2.0 では約 20% の低下がみられ、CA-1.5 を境に強度低下が顕著にみられた。しかし、図 2 に示すように脆度係数を比較すると傾向が見られなかったため、強度は低下するが脆性的ではないことが確認された。図 3 より、カプセル置換率を大きくすると乾燥収縮ひずみが大きくなっていることが確認できる。これはカプセルに保持された水分が徐々に逸散されたためと推察される。次に、図 4 に乾燥収縮ひび割れ抵抗性試験の結果を示す。図より、カプセル置換率を大きくすると拘束応力の急減が遅くなることを確認できる。そこで本研究では、カプセル置換率を大きくすると拘束応力の急減が遅れていることに着目し解析的検討を行った。解析的検討では、既往の研究⁴⁾で提案されている応力解析モデルを採用し、引張強度、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮ひずみを入力パラメータとして供試体中央、平均、表面の拘束応力の応力履歴を解析した。また、引張強度に達した後のひずみエネルギーの変動を考慮するため拘束応力が引張強度に達した地点を ϵ_0 とし、その γ 倍を最終ひずみとしてひび割れ進展時の応力履歴を解析した。図 5 に示す解析結果から実測値を完全に再現できていないものの、 γ を大きくすることで拘束応力の急減が遅れていることがわかる。すなわち、カプセル置換率を大きくするとひずみエネルギーが大きくなるような応力履歴を示していると推察される。以上のことから、自己治癒カプセルを埋設したモルタルは、乾燥収縮ひび割れの進展に対する抵抗性が向上する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 渡部正, 松林裕二, 星野富夫, 岸利治, 部分断面修復工法で補修した鉄筋コンクリート部材の鉄筋腐食性状に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.69, No.3, pp. 281-294, 2013
- 2) K. Kawaai, T. Nishida, A. Saito, I. Ujike, and S. Fujioka, Corrosion resistance of steel bars in mortar mixtures mixed with organic matter, microbial or other, Cement and Concrete Research, Vol.124, 105822, 2019
- 3) 委員会報告 混和材料から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善委員会, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.23-34, 2010
- 4) 石川雅美, 河合慶有, ひび割れ抵抗性試験に対する計算モデルの提案, セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.45-50, 2016