納豆菌の微生物代謝を利用した断面修復材の基礎的研究

愛媛大学大学院　非会員　阿部光一郎
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．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[1)]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．そこで，断面修復材に微生物を混入した自己治癒補修材を適用することで，補修部のカソード反応を抑制し鉄筋腐食による再劣化を防止することができると考えられる．このような背景の下，本研究では好気性微生物を練り混ぜ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，練り混ぜ水の一部に納豆菌の培養液を 0%，25%及び 50%の置換率で混入した自己治癒モルタル（以下，0%，25%及び 50%と称す）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に配合を示す．本研究では水セメント比 50%で練り混ぜ水の一部を納豆菌の培養液で 0%，25%及び 50%で置換した．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．セメントには普通ポルトランドセメントを用いた．

(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（ϕ100×200mm）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ずみを測定した．乾燥収縮ひび割れ抵抗性試験では，既往の研究[2)]を参考にして**図１**に示すような拘束供試体（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．

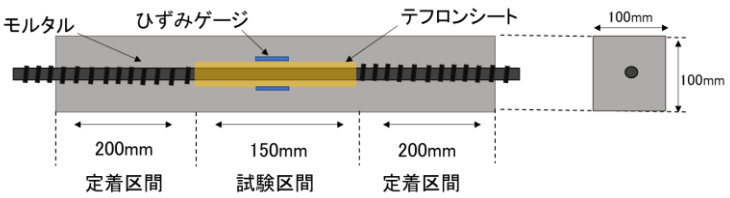

図１　供試体概要

表１　配合表

配合	納豆菌置換率(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m³)					C×%
				W	C	S	G	納豆菌	AE減水剤
自己治癒モルタル	0	50	48	316	632	1264	0	0	0.9
	25	50	48	158	632	1264	0	158	
	50	50	48	0	632	1264	0	316	

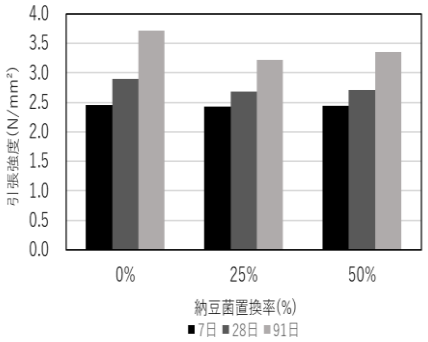

図 2　引張強度

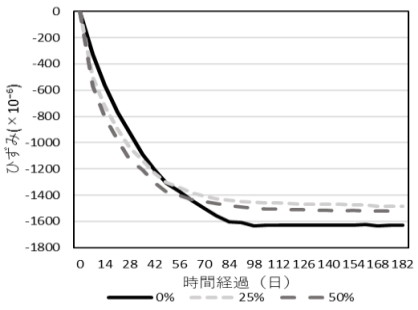

図 3　乾燥収縮ひずみ

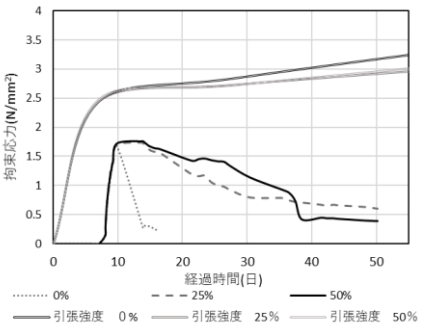

図 4　拘束応力

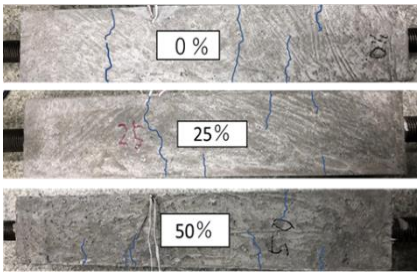

図 5　ひび割れの様子

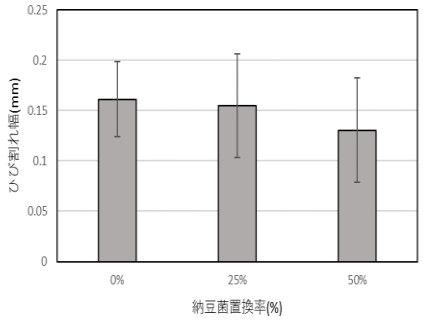

図 6　ひび割れ幅の平均値及び標準偏差

３．実験結果および考察

各強度試験の結果，圧縮強度（48.6～52.3N/mm²），静弾性係数（19.6～20.3kN/mm²）及び曲げ強度（8.6～9.4N/mm²）となり，0%，25%及び 50%の強度はそれぞれ同程度であった．また，**図 2** に示すように引張強度は特に材齢 91 日において 0%のものに比べ 25 及び 50%はそれぞれ約 10%の強度低下が確認された．圧縮強度及び曲げ強度では枯草菌の混入による強度低下は確認されなかったため，微生物の混入がセメント水和や細孔構造の形成に及ぼす影響を小さいと考えられる．一方，割裂引張強度においては好気呼吸により発生する炭酸ガスによる膨張圧が作用し微細なひび割れが生じた可能性が考えられるが，強度低下の原因は明らかになっていない．

図 3 より，経過日数約 56 日までの範囲では，0%に比べ 25 及び 50%の乾燥収縮ひずみが大きくなっていることがわかる．その後，0%に比べ 25 及び 50%の乾燥収縮ひずみの収束は早く材齢 182 日に測定された乾燥収縮ひずみはそれぞれ 0%（1628×10^{-6}），25%（1486×10^{-6}）及び 50%（1520×10^{-6}）であり，0%に比べ 25，50%の乾燥収縮ひずみの最終値は低減されていることが確認された．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，0%の拘束応力は約 10 日で急激な減少がみられ貫通ひび割れが生じたが，25 及び 50%では拘束応力は徐々に減少し，貫通ひび割れは生じていないことが確認された．試験後のひび割れの発生状況を**図 5** に示す．次に，**図 6** に各配合の拘束供試体に生じたひび割れ幅をひび割れごとに 3 点測定した結果の平均値及び標準偏差を示す．**図 5** よりひび割れ本数は各配合で同程度（5～6 本）であったことから，0%に比べ，25%及び 50%のひび割れ幅が小さいことがわかる．以上のことから，自己治癒モルタルは代謝生成物の影響によって，乾燥収縮ひび割れの進展に対する抵抗性が高まり健全な状態の断面が残存することで，ひび割れ幅が小さくなる可能性が示唆される．

参考文献

1) K. Kawaai, I. Ujike, S. Fujioka, T. Nishida and A. Saito, CATHODIC POLARIZATION PROPERTIES OF STEEL BARS IN CONCRETE MIXED WITH AEROBIC MICROORGANISM, Final Conference of RILEM TC 253-MCI, pp. 259-266, 2018
2) 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