

微生物の代謝がコンクリートの劣化に及ぼす影響

広島大学 正会員 田澤 栄一
 広島大学 森永 力
 広島大学 正会員○河合 研至
 広島大学 正会員 堂園 昭人

1 まえがき

広島市内の太田川デルタ地帯に位置する地下埋設コンクリート構造物において、激しいコンクリート劣化を生じていることが明らかとなった。周辺土壌及び地下水ならびに劣化した部分のコンクリートの分析結果から、土壌には海水が侵入しており有機物に富むこと、また多量の硫化水素を含有し、コンクリートの劣化部分はその大半が炭酸カルシウムとなっていることを確認した^{1), 2)}。これらのことから、土壌中には硫化水素を生成する微生物が生息しており、微生物の硫酸塩還元・イオウ酸化作用ならびに呼吸作用がコンクリートに劣化を及ぼしているのではないかと考えられた。そこで本研究では、劣化を生じたコンクリート構造物周辺土壌ならびに地下水より分離した微生物を用いてモルタルの劣化シミュレーション実験を行ない、微生物がコンクリートの劣化に及ぼす影響について検討した。

2 実験概要

実験で用いた微生物は、土壌中から分離した硫化水素生成菌2株 (No. 1, No. 2) ならびに地下水から分離したイオウ酸化菌1株である。これらの微生物を普通液体培地 (肉エキス10g, ペプトン10g, グルコース10g, 蒸留水1000ml) に接種し、その中にモルタル供試体を浸漬して、経時的に培地内の菌体増殖量, pH, Ca^{2+} 濃度, SO_4^{2-} 濃度および溶存硫化水素量を測定し、実験終了後にモルタル供試体表面部分の組成分析を行なった。なお、微生物の接種方法ならびに培養方法は図-1に示すように行ない、実験開始時にNo. 1またはNo. 2の硫化水素生成菌のみを接種する培養を単独培養、培養開始後9日目にイオウ酸化菌を接種する培養を混合培養と呼ぶことにする。また、モルタル供試体は配合をW:C:S=0.5:1:1とし、4×4×16cmの型枠に打設し材令1日で脱型後28日まで20℃の水中で養生した後、4×4×2cmに整形したものを用いている。

3 実験結果及び考察

培地内の Ca^{2+} 濃度の経時変化を図-2に示す。単独培養ならびに混合培養のいずれにおいても、培地内の Ca^{2+} 濃度は培養日数が経つにつれて増加した。ここでコントロールとは、培地に微生物を摂取せずにモルタルを浸漬しただけの試料を指す。また、モルタルを浸漬していない培地においては Ca^{2+} がほとんど検出されず微生物からは Ca^{2+} を排出していないことから、これらの Ca^{2+} は微生物の作用によりモルタルから溶出したものと思われる。なお、培養の最終時に Ca^{2+} 濃度が低下している試料が見られるが、これらは微生物の増殖に伴って栄養源が不足し、微生物がカルシウムを栄養源として摂取したものと考えられる。

図-3に示したのは、分光光度計 (波長:660nm) を

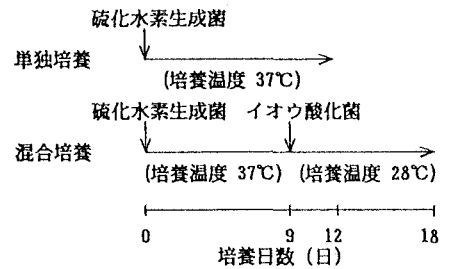
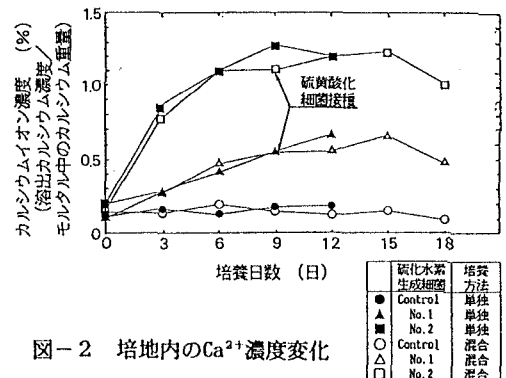


図-1 培養方法

図-2 培地内の Ca^{2+} 濃度変化

用いて培地の吸光度を測定することにより菌体増殖量を定量化した結果である。培養初期においては微生物の増殖が認められるが、培養開始後9日から12日にかけて増殖が停滞し、さらに混合培養においてはイオウ酸化菌の接種後に再び増殖が認められるが、培養の最終時になると増殖が緩やかとなっている。すなわち、培養期間の後半においては、微生物が十分に増殖するだけの栄養源が培地内に存在していなかったことを示していると考えられる。これらの傾向は培地内の Ca^{2+} 濃度の経時変化と符合しており、培養の最終時における Ca^{2+} 濃度の低下が微生物によるカルシウムの摂取を裏付けるものと思われる。

なお、培地内の SO_4^{2-} 濃度については培養開始後も大きな変化が見られず、また培養試験終了後に行なったモルタル表面部分の粉末X線回折試験においても、エトリンガイトまたは二水石膏等の硫酸塩が検出されなかった。また、培地内の溶存硫化水素量の測定結果からは、パラツキは見られるものの溶存硫化水素量の増加が認められた。これらのことから、本実験で使用したイオウ酸化菌では、硫化水素を還元し SO_4^{2-} を生成する速度が、硫化水素生成菌が SO_4^{2-} を還元し硫化水素を生成する速度を下回り、培地中の SO_4^{2-} 濃度を高めるまでに至らず、そのために硫酸塩も検出されなかったものと思われる。

単独培養ならびに混合培養を行なったモルタル供試体の表面部分のTG-DTA結果をそれぞれ図-4ならびに図-5に示す。微生物を接種した供試体においては $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が減少し CaCO_3 量が増加している。このことは微生物を接種した培地内では CO_3^{2-} あるいは HCO_3^- 濃度が微生物を接種していない培地に比べて高くなっていることを意味しており、微生物の呼吸作用によって排出される二酸化炭素が CO_3^{2-} あるいは HCO_3^- の供給源となり、モルタルを炭酸化したものと考えられる。

4 まとめ

従来取り上げられているコンクリートの微生物腐食は、偏性嫌気性菌である硫酸塩還元菌およびイオウ酸化菌が主として問題とされているが、本実験により好気的条件下で分離・培養を行なった硫化水素生成菌およびイオウ酸化菌においてもコンクリートの劣化が生じることが明らかとなった。これらの微生物の代謝産物ならびに呼吸作用によって排出される二酸化炭素がコンクリートに腐食を生じさせる一因となることを確認した。

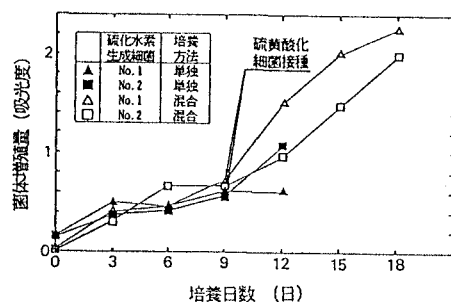


図-3 培地内の菌体増殖量

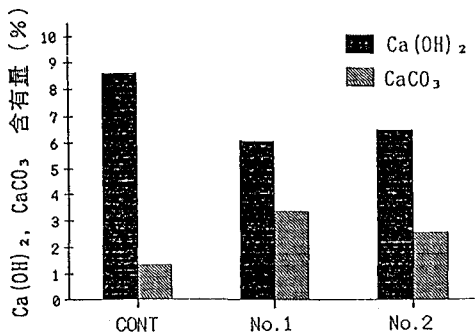


図-4 モルタル表面部分のTG-DTA結果 (単独培養)

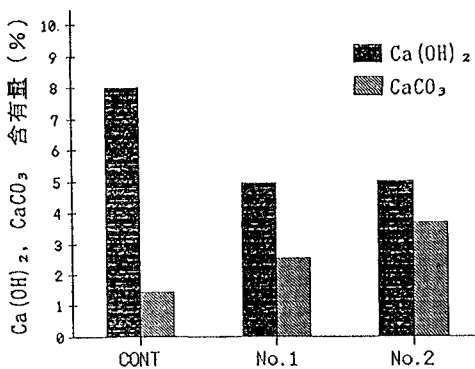


図-5 モルタル表面部分のTG-DTA結果 (混合培養)

【参考文献】1) 河合・森永・堂園・田澤:微生物が関与した地下構造物の劣化事例,平成3年度土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp. 552-553, 1991年。2) 河合・森永・寺西・田澤:地中コンクリート構造物を劣化させた生物化学的環境条件,平成3年度土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp. 554-555, 1991年。