

環境温度がコンクリートの微生物劣化に及ぼす影響

広島大学工学部 正会員 河合研至 広島大学工学部 森永 力
 広島大学大学院 学生員 河野克哉 広島大学大学院 学生員 ○渡辺 実

1. はじめに

これまでの研究では、好気性微生物の代謝産物がコンクリート劣化に及ぼす影響ならびにコンクリート劣化を引き起こす要因に関する検討を主としていたため、劣化シミュレーション実験においては、微生物の生育最適温度に環境温度を設定していた¹⁾²⁾。従って、代謝産物は最も多い状態での実験結果であると考えられる。しかし、実環境においては温度変化が伴い、シミュレートを行ったほどの代謝産物が放出されないことが予想される。そこで本研究では、劣化シミュレーション時の環境温度を変化させることによって微生物の活動を抑制し、代謝産物の代謝量を変化させ、好気性微生物によって引き起こされるコンクリート劣化における代謝量の影響を明らかとすることを目的とした。

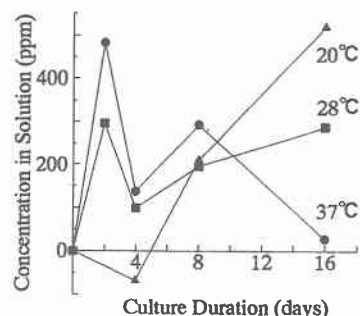
2. 実験方法

使用した微生物は、*Bacillus subtilis* (枯草菌) (以下、*B. subtilis*) である。*B. subtilis* は土壌中ならびに大気中に普遍的に存在する好気性細菌である。*B. subtilis* の培養には普通液体培地 (蒸留水 1 l 中に、グルコース 10g、ペプトン 10g、肉エキス 10g) を用いた。供試体は W/C=40% のセメントペーストとし、材齢 28 日まで水中養生を行った後、4×4×4 cm に整形して実験に供した。実験の手順は、まず培養器内に普通液体培地 300ml を入れ、セメントペースト供試体を浸漬した後、オートクレーブ滅菌 (120℃、1.5 気圧、20 分間) を行い、あらかじめ作成しておいた増殖曲線より求めた対数増殖期に当たる細菌を接種して、環境温度 37℃、28℃及び 20℃において実験を開始した。なお、ブランクとして、培養液中に菌を接種せず供試体のみを浸漬したもの (ブランク A)、及び培養液中に菌を接種し供試体を浸漬しないもの (ブランク B) をそれぞれの環境温度にて用意した。そして、培養液については、Ca²⁺濃度をフレイム光度法、有機酸濃度をガスクロマトグラフで分析し、供試体については、表層部を示差熱・熱重量分析による Ca(OH)₂ 量及び CaCO₃ 量の定量を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 培養液の組成変化

各環境温度における培養液中の Ca²⁺濃度の経時変化を図 1 に示す。ただし、ここに示した値は、ブランク A の値を差し引いている。環境温度 37℃ならびに 28℃においては、培養初期に供試体からの急激な Ca²⁺の溶出が認められる。また、両者ともに培養開始 2 日目から 4 日目にかけて一度濃度の低下が見られるが、これは溶出した Ca²⁺が CaCO₃ として沈殿したためと思われる。初期の溶出量は、環境温度 37℃における培養の方が 28℃における培養よりも劣化が激しくなっているが、その後の溶出量に関して考えると、両者の劣化程度には顕著な差は認められないように思われる。なお、環境温度 20℃における培養では、培養開始 16 日目の Ca²⁺濃度は、環境温度 37℃における培養開始 2 日目の Ca²⁺濃度に匹敵する値であり、環境温度の相違により微生物の活動が緩やかとなり、代謝産物によるセメントペーストの劣化が遅れて現れたものと思われる。以上のことから、環境温度 20℃における培養開始 16 日目の顕著な溶出を勘案したとき、環境温度の相違によりセメントペーストの劣化に大きな差は認められないと考えられる。

図1 培養液中のCa²⁺濃度の経時変化

各環境温度における培養液中の有機酸濃度の経時変化を図 2 に示す。ただし、ここに示した値は、ブランク A の値を差し引いている。環境温度 37℃ならびに 28℃においては、培養初期から高濃度の n-酪酸が排出さ

れており、また、環境温度 20℃では、培養開始 8 日目以降に *n*-酪酸の排出量が急激に増加している。これらの傾向は、 Ca^{2+} 濃度の変化と一致しており、セメントペースト供試体からのカルシウムイオンの溶出に有機酸が関与していることが分かる。また、*B. subtilis* の生育最適温度である 37℃から遠ざかるほど有機酸の生成量は、減少しており、培養温度を変化させることで、生成する有機酸量も変化させることが出来た。

3.2 供試体の組成変化

環境温度 37℃で浸漬したセメントペースト供試体表層部の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量ならびに CaCO_3 量の経時変化を図 3 に示す。ただし、ここで CaCO_3 量は等価な $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量に換算した値であり、全カルシウム量は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量ならびに CaCO_3 量の和を示している。ここでは環境温度 37℃の場合のみを示しているが、いずれの環境温度においても、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の減少ならびに CaCO_3 量の増加が認められた。このことから、好気性細菌の呼吸作用によって排出される炭酸イオンにより、セメントペースト供試体表層部の炭酸化が進行していることが確認されたが、いずれの環境温度においても全カルシウム量が増加していることから、細菌の呼吸作用によって排出された炭酸イオンは C-S-H 等のセメント水和物をも炭酸化させていると思われる。

3.3 微生物劣化に及ぼす代謝量の影響

以上のことから、環境温度により微生物活動の活発さが変化し、代謝される有機酸量が異なることがわかった。有機酸量の相違による劣化の程度を比較したとき、溶出した Ca^{2+} 量ならびに浸漬した供試体表層部のカルシウム量の変化から、有機酸量が異なっても供試体の劣化の程度に大きな変化は見られなかった。すなわち、ある程度以上の濃度を有する有機酸が存在すれば、その濃度の高低に関係なくほぼ同程度の劣化が生じることになる。これは、本実験で検出されたような低級の有機酸では解離度が低く、従って劣化に直接関与するイオンの形として培養液中に存在する量はわずかであり、その他の大部分が分子状態で存在していることによるものと思われる。なお、有機酸量が多いことは、イオンの状態の有機酸が消費されたときにそれを補って解離する分子状態の有機酸が多いことになり、長期にわたる劣化を考えたときに劣化の持続が長いと考えられる。また、供試体表層部の示差熱・熱重量分析の結果を考え合わせると、有機酸の存在だけでなく、細菌の呼吸作用によって排出された炭酸イオンの存在も、コンクリートにおける微生物劣化の重要な要因であると言える。

4. 結論

- 1) 環境温度により微生物活動の活発さが変化し、それに伴い微生物より代謝される有機酸量が異なる。
- 2) ある程度以上の濃度を有する有機酸が存在するとき、有機酸量の高低によってコンクリートの劣化の程度に変化はほとんどない。
- 3) イオン状に解離した有機酸がコンクリートの劣化に直接関与し、分子状態で存在する大半の有機酸は、イオン状の有機酸が不足した際の補充の役割を果たしている。
- 4) 好気性微生物によって引き起こされるコンクリートの劣化は、微生物の代謝ならびに呼吸作用によって排出される有機酸ならびに炭酸イオンの両者が存在することによって進行している。

〔参考文献〕 1) 河合・寺西・森永・田澤：好気性細菌によって引き起こされるコンクリートの劣化，土木学会論文集，No. 478/V-21，pp. 125-131，1993 2) 田澤・森永・河合：好気性微生物の代謝する弱酸によるコンクリート劣化，セメント・コンクリート論文集，No. 48，pp. 642-647，1994

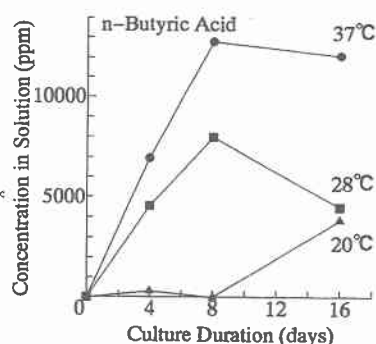


図2 培養液中の有機酸濃度の経時変化

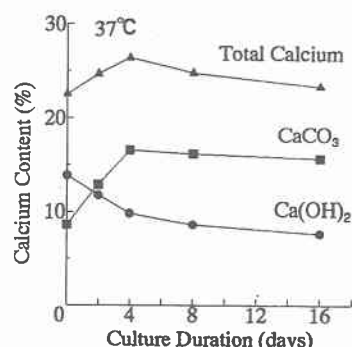


図3 供試体表層部のカルシウム量