

微生物が関与した地下構造物の劣化事例

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

1 まえがき

コンクリートは多くの長所を持った建設材料であり、長期間にわたって耐久性に優れているとされてきた。しかし近年、コンクリート構造物の耐久性の低下が数多く報告され、この事が社会的に大きな関心と呼ぶようになってきた。

本研究では、微生物が関与した地下埋設コンクリート構造物の劣化作用に着目して研究した。劣化の認められる地下構造物について実態調査を行い、構造物内の健全部分、劣化部分のコンクリートの一部、その周辺の土壌、および地下水を採取し、化学分析、示差熱・熱重量分析、X線回折試験等を行い化学的特徴を明らかにした。また構造物内、およびその周辺の環境から微生物を採取して培養し、コンクリートの劣化に影響を及ぼす微生物を大まかに同定した。本報告では、現在までに得られた実験結果の内、実態調査による調査結果と、構造物内のコンクリートに対して行った分析の結果について報告する。

2 実験概要

2-1 実態調査

本研究は、研究対象をある地下埋設コンクリート構造物とした。劣化の認められる部分を目視観察・写真撮影し、劣化状況を記録した。また、目視観察により劣化部分および健全部分と思われるコンクリート表面の一部を、ハンマーなどで砕くなどして採取し、ビニール袋に密封して持ち帰った。さらに、コンクリート表面から微生物を採取し、普通寒天培地に植え付けて持ち帰った。

2-2 試料の分析

採取した試料を鉄製の乳鉢でモルタルと骨材（骨材は分離後塩酸により表面のモルタルを分離した）とに分離して微粉碎し、これらの試料に対して分析を行った。本研究で用いた試験方法を表1に示す。また、コンクリート表面から採取した微生物を20℃の恒温容器内で培養した後、発育してきた菌の内、かびは馬鈴薯ぶどう糖培地に植え付けて25℃で培養し、バクテリアは普通寒天培地に植え付けた後、20℃と37℃の二つの温度で培養した。

表1 本研究で用いた各種実験方法

|                     |
|---------------------|
| フレイム光度法（陽イオンの測定）    |
| 示差熱分析・熱重量分析         |
| 粉末X線回折試験            |
| 可溶性塩分の定量（JCI-SC4）   |
| 硫酸塩含有量試験（JIS R5202） |

3 実験結果

実態調査の結果、劣化はコンクリートの接合部分と、導水部分に集中していることが分かった。劣化状況は、コンクリート表面が茶色に変色しているところや、導水部分が大きくひび割れていたり、白色の析出物が導水部分に堆積しているのが認められた。これらの劣化場所の中には、コンクリートが手で簡単に崩せる程軟化している所もあり、局部的に著しく劣化していることが明らかになった。構造物内の劣化状況を写真1から写真4に示す。また、微生物の採取状況を、写真5に示す。

化学分析の結果、表2に示すようにコンクリート中の硫酸塩含有量、可溶性塩分濃度は健全部分、劣化部分の間に大きな差は見られなかった。また、 $K^+$ 、 $Na^+$ は、健全部分、劣化部分に関係なく低い値が測定され、 $Ca^{2+}$ も健全部分、劣化部分の間に大きな差は見られなかった。また、示差熱・熱重量分析、X線回折試験の結果、 $Ca^{2+}$ のほとんどは、 $CaCO_3$ である事が分かった。

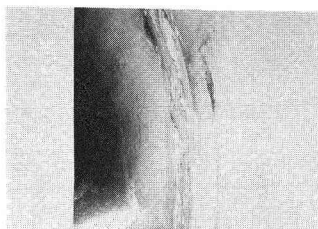


写真1 接合部劣化状況

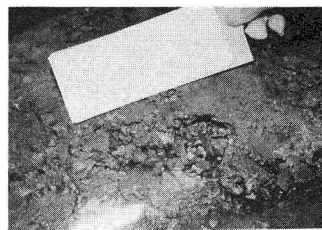


写真2 導水部劣化状況

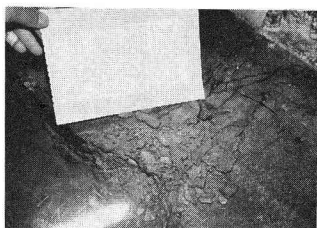


写真3 導水部劣化状況



写真4 導水部劣化状況

表2 コンクリート中の陽イオン、硫酸塩含有量および可溶性塩分濃度の測定結果(%)

| 試料No. | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)                         | 塩分濃度 (%) |
|-------|----------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------------------------|----------|
| 1 GM  | 0.215          | 0.315           | 14.497           | 1.595                                                     | 0.679    |
| 2 GM  | 0.053          | 0.160           | 21.934           | 3.129                                                     | 1.911    |
| 3 GM  | 0.464          | 0.798           | 19.741           | 1.231                                                     | 2.557    |
| 3 BM  | 0.700          | 1.450           | 19.142           | 1.131                                                     | 0.202    |
| 6 GM  | 0.090          | 0.359           | 14.457           | 1.402                                                     | 4.287    |
| 7 GM  | 0.055          | 0.207           | 16.600           | 3.351                                                     | 2.665    |
| 8 GM  | 0.100          | 0.315           | 14.647           | 1.629                                                     | 0.544    |
| 8 BM  | 0.165          | 0.930           | 19.790           | 1.234                                                     | 0.550    |
| 14 GM | 0.680          | 1.465           | 16.995           | 1.320                                                     | 0.660    |
| 15 BM | 0.250          | 0.714           | 11.628           | 0.856                                                     | 0.236    |
| 18 GM | 0.430          | 0.250           | 16.998           | 2.914                                                     | 1.020    |
| 18 BM | 0.106          | 0.480           | 16.293           | 0.960                                                     | 0.358    |
| 20 GM | 0.166          | 0.265           | 15.787           | 1.902                                                     | 3.508    |
| 20 BM | 1.299          | 1.523           | 19.479           | 1.336                                                     | 0.261    |
| 26 GM | 0.031          | 1.164           | 12.139           | 1.302                                                     | 2.578    |
| 26 BM | 0.076          | 0.729           | 14.122           | 11.570                                                    | 1.634    |
| 1 GA  | 0.250          | 0.032           | 0.225            | 硫酸塩含有量はSO <sub>4</sub> 含有量として、<br>可溶性塩分濃度はNaCl換算量として計算した。 |          |
| 3 GA  | 0.056          | 0.275           | 16.637           |                                                           |          |
| 6 GA  | 0.045          | 0.038           | 18.649           |                                                           |          |
| 14 GA | 0.070          | 0.026           | 21.247           |                                                           |          |
| 15 BA | 0.069          | 0.082           | 19.611           |                                                           |          |

GM-健全部モルタル BM-劣化部モルタル  
GA-健全部管材 BA-劣化部管材

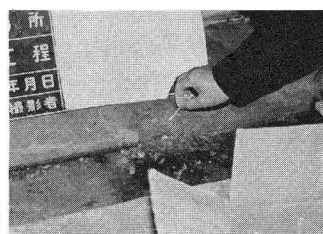


写真5 微生物採取状況

微生物の培養の結果、かびについては主にPenicillium sp.とAspergillus sp.が多く生息していることが分かった。またバクテリアは構造物内の温度とほぼ等しい20℃での発育に適した菌であることが分かった。

#### 4 結論

- 1 構造物内のかびは、大気中にごく一般的に存在するかびであることから、構造物の劣化には関与していないと考えられる。また、構造物内で良く発育できるバクテリアの存在が明らかになったことから、バクテリアが、コンクリートの劣化に関与していると考えられる。これらのバクテリアについては、現在さらに詳しい同定を行っており、この成果については次回報告する予定である。
- 2 劣化の認められる箇所が、コンクリートの接合部、導水部に集中していることから、構造物外部から浸透してくる地下水が劣化に影響を与えていると考えられ、地下水中の養分が最も豊富なこれらの箇所ではバクテリアの活動に伴う構造物周辺の環境の変化により、コンクリートの劣化が顕著に現れていると考えられる。