

下水道施設の維持管理の 軽減や耐久性を向上

ビックリート製品協会

1. ビックリート（防菌コンクリート） の開発の経緯

下水道施設のコンクリート構造物は、中性化、塩害、アルカリ骨材反応等による耐久性の低下のみならず、下水処理施設に特有なオゾン、塩素等を用いる反応槽でのコンクリート劣化を受ける。近年、密閉されたタンク等の気相部に生じる硫酸塩還元細菌と硫黄酸化細菌が関与した硫酸によるコンクリート腐食、構造物の劣化等が問題となっている。

この硫酸によるコンクリート腐食は、生物反応、化学反応、物理作用が複合した現象で、気温、下水中の硫酸イオン濃度や施設の構造等の地域特性に大きく影響を受け、硫化水素ガス濃度、湿度、基質の供給等の腐食環境により、劣化速度が大幅に変化する。従来、対策として、溶存硫化水素の酸化・固定化のための薬品添加、硫化水素ガスの希釈・除去のための換気・脱臭、耐食性材料による防食等が対症療法的に採用されてきた。防食工法として一般的によく用いられるライニング工法は、硫黄酸化細菌が生成する硫酸に対する防食被覆層の形成工法であるが、コンクリートとの付着など施工上の問題があり、また耐用年数が比較的短

いという問題もあった。

ビックリートは、硫黄酸化細菌の活動を阻害してコンクリート表面での硫酸生成を抑制する防菌剤をコンクリートに均一に混練させたもので、ライニング工法のような施工上の問題点を解消する、全く新しい発想によるコンクリートの防食工法として開発したものである。

2. 防菌のメカニズム

下水道施設のコンクリート構造物の腐食には、嫌気的な汚水あるいは汚泥中で硫酸塩を還元し硫化物を生成する「硫酸塩還元細菌」と、気相中の好気的なコンクリート表面で硫化水素を酸化し硫酸を生成する「硫黄酸化細菌」の2種類の細菌群が関与している。

家庭や事業所からの汚水は管渠に排出され、下水中には硫酸イオンが数10mg/l含まれている¹⁾。下水中あるいは管渠内底のスライム層等に存在する「硫酸塩還元細菌」は、下水中の溶存酸素量がなくなると硫酸イオンを硫化水素に還元する。硫化水素は、液相から気相へ拡散し、コンクリート表面で硫黄酸化細菌により酸化されて、あるいは、化学的に酸化されて、元素硫黄、亜硫酸等を経て最終的に硫酸まで変化する。コ

コンクリートの微生物による腐食経路の概念図を図-1に示す。コンクリート腐食に関わる硫黄酸化細菌群の経年(月)的な活動状況のモデルを図-2に示す。

この硫黄酸化細菌は、劣悪な環境にも耐えるタフで原始的な細菌である。硫黄酸化細菌の活動場所は下水

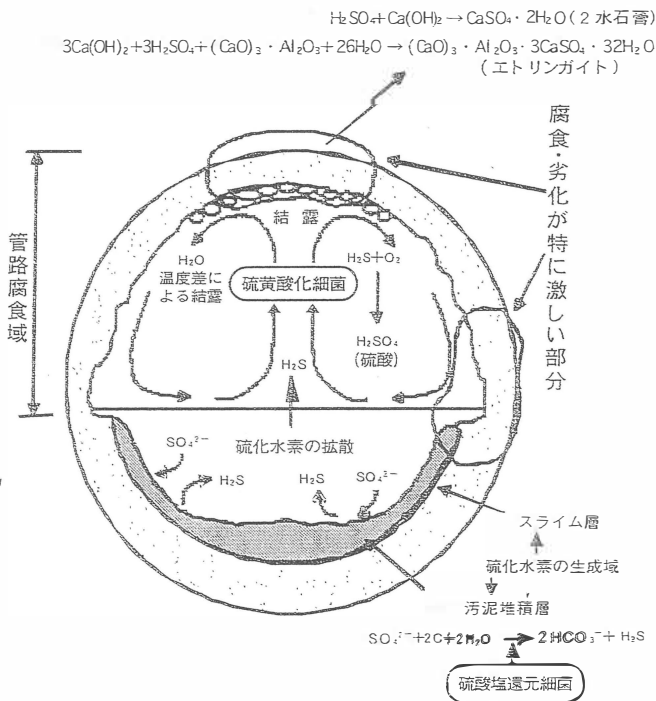


図-1 コンクリート腐食概念図

中だけでなく、旧鉱山の緩んだ地盤中で活動し重金属を含む弱酸性の水を出す鉱毒を起すことでも知られている。硫化カドミウムを硫酸カドミウムとして溶出させたイタイイタイ病の原因となった菌である。工業的には銅や銀を含む硫化鉱に硫黄酸化細菌を含む水溶液を振りかけ、硫酸塩として溶出させるバクテリオリーチングに应用されている。また、条件を整えてやると水銀を気化することもできる。従って、重金属に対する耐性もかなり強い菌である。

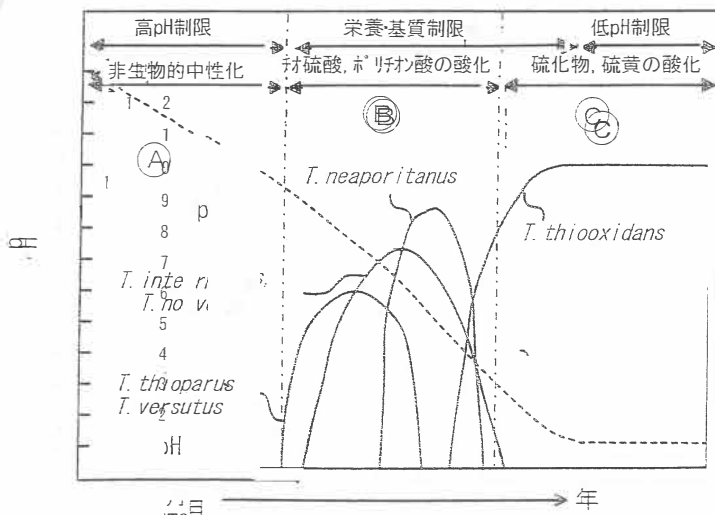
施工直後のコンクリート表面は、 $pH=12\sim13$ の強アルカリであり、 $pH > 10$ のとき、すべての硫黄酸化細菌は生育できない(図-2の領域A)。供用後の下水道施設のコンクリートは、通常の大気中よりも高い濃度の二酸化炭素雰囲気に曝露されているため、

炭素によりコンクリートの中性化(炭酸化)が進行すると、表面の pH は $8\sim9$ の弱アルカリになる。また、硫化水素の化学的酸化、あるいは、硫黄酸化細菌による生物学的酸化により生成した硫黄や汚泥等がコンクリート表面に付着すると、表面の pH は中性領域になる。この pH 領域では、*T. versutus*, *T. novellus*などに代表される硫黄酸化細菌が、下水中で硫酸塩還元細菌により生産され気相中に放散した硫化水素を硫酸

に変化させる(図-2の領域B)。

硫酸はコンクリート中のセメント成分と反応し、エトリンガイトという膨張性の鉱物を生じる。 pH が6以下に低下すると、 $pH=1$ まで活動できる*T. thiooxidans*が増殖し、生成された硫酸により、エトリンガイトは二水石膏に変化する(図-2の領域C)。二水石膏は、脆弱物質であるため、容易に剥離し、コンクリートの腐食がさらに進行する。コンクリートの

腐食経路は図-3に示す²⁾。硫酸劣化による腐食概念図を図-3に示す²⁾。防菌剤はニッケルとタンゲステンの混合物からなり、ニッケルは中性領域で、タンゲステンは酸性で硫黄酸化細菌の酵素に働き、硫酸の生成を阻害することが確認されている³⁾。不思議なことにそれぞれ溶解性がない領域で阻害効果があり、硫酸に対する溶解度のあ



硫化水素に曝露されるコンクリートにおける硫黄酸化細菌(Thiobacillus属)の生態変遷モデル

図-2A) コンクリート腐食に関わる硫黄酸化細菌

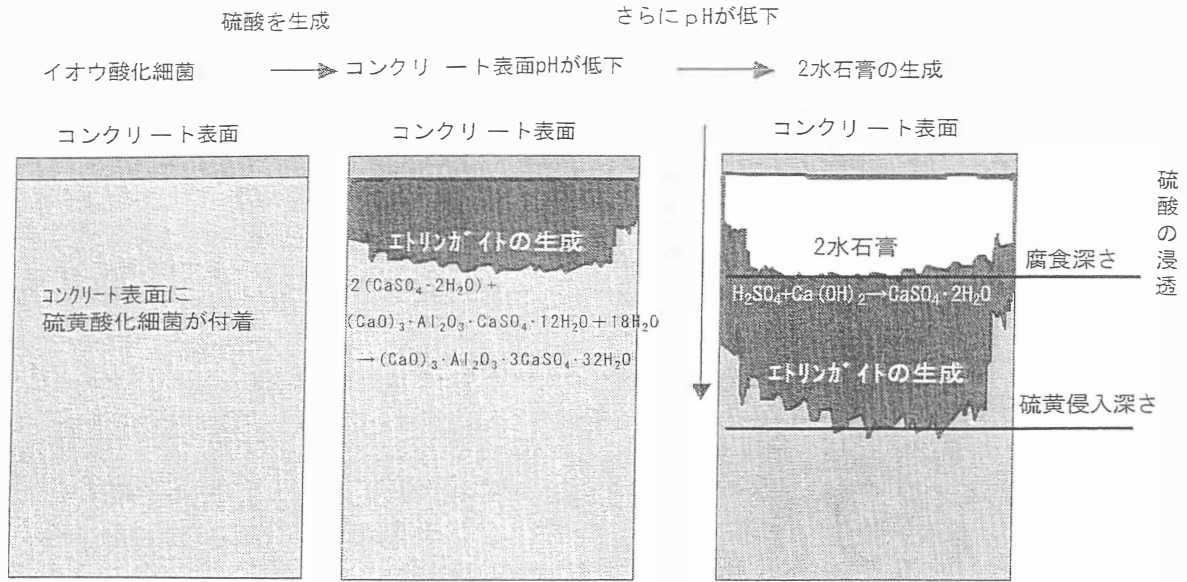


図-3硫酸による劣化腐食概念図

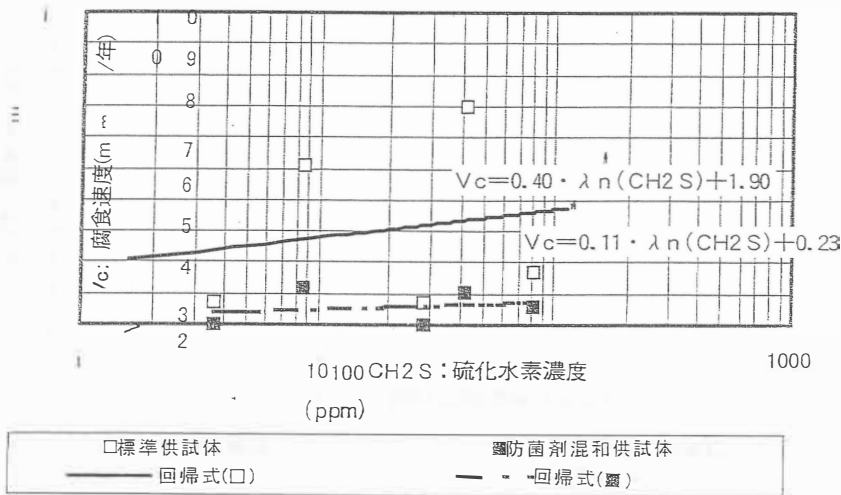


図-4劣化深さと硫化水素濃度の関係

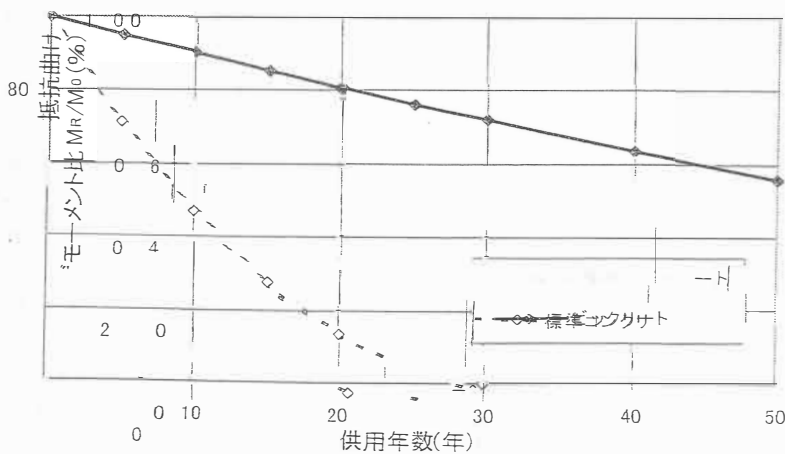


図-5 硫化水素濃度 5ppm におけるヒューム管の使用年数と曲げモーメントの関係

る領域では効果が少ないことが確認されている。この現象は銅や銀でも同様である。すなわち、ニッケルや銀、銅は中性領域では阻害効果があるが、強酸性領域では阻害効果を示さない。一方、ルカリ可溶かつ硫酸塩性で溶解性のないタングステンは酸性領域で卓越した阻害効果を示す。このため、硫黄酸化細菌が活動可能なすべての pH で阻害効果を得るためにはタングステンとの併用が必要となる。

防菌剤を添加したコンクリートの劣

化深さと硫化水素濃度の関係を図 4 に示す。図 5 に硫化水素濃度 5ppm におけるヒューム管の供用年数と曲げモーメント

の関係を示す。硫化水素濃度 5ppm 以下では防菌剤の使用によって 50 年以上の耐久性が確保できることが分かる。曝露試験の結果から硫化水素濃度 5ppm 以下では 50 年以上の耐久性が、それ以上では劣化速度が 1/4 になることが確認されている⁶⁾。

3. 最近の使用実績

ビックリートを開発してからおよそ8年が経過し、

平成11年に下水道新技術推進機構の評価取得を契機に益々実績が伸びている。平成12年9月末段階で施工件数1,800件製品トン数としては6万なごも符は、防菌コンクリートの技術の向上にも努め

る。また、防菌剤はコンクリートに単独で使用されるほか、塗装やシートライニングの下地としても使用される。この理由は、塗装などの防護層を透過した硫化水素からの硫酸生成を防ぐことにあり、近年この需要も伸びてきている。

ビックリートの最大の特長はコンクリート自体に防菌特性を付与することである。塗装やライニングは傷や加工面の処理が問題となる。しかし、ビックリートの傷や加工の影響は全く受けない。この特性は施工時に傷を受けやすい推進管等には最適の防食工法となる。このような技術力と実績が高く評価され、本年度国土

技術研究センターが主催する第3回国土技術開発賞において入賞という栄誉をいただいている。

4. ビックリート製品協会の活動

ビックリート製品協会では、下水道施設の維持管理の軽減や耐久性の向上等に有効な防菌コンクリート

の普及を目指し、専門紙(誌)への論文投稿やユーザーへのPR活動を進めると同時に、協会内にて定期的な勉強会を開催し協会員の知識の向上を図っている。また、ビックリート敷設後の経年的な変化を確認するため必要に応じ追跡調査などを実施し、供試体曝露試験

を行っている。今後さらに防菌剤を改良し、下水道施設の防食に寄与していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 三品文雄, 中澤貴生, 半田俊光, 森忠洋: 下水管生物腐食の原因と対策(2)―生活廃水中の硫酸イオンの由来に関する調査研究―, 下水道協会誌論文集 pp.130~136, Vol. 27, No. 316, (1989)
- 2) 日本下水道事業団, 日本ヒューム管(株), (株)間組: コンクリートの補修, 防食工法に関する技術開発共同研究報告書, 日本下水道事業団技術開発部, 1998
- 3) Robert L. Islander, Joseph S. Devinny, Florian Mansfeld, Adam Postyn, and Hong Shin: Microbial Ecology of Crown Corrosion in Sewers, Journal of Environmental Engineering, pp.751, Vol.117, No.6 (1991)
- 4) 石井義章, 前田照信: 防菌コンクリートによる下水道施設の防食工法の現状, 防水ジャーナル, 2000年11月号
- 5) 前田照信: コンクリート腐食に対する防菌剤の開発に関する研究, 博士論文, 1999.8
- 6) 日本ヒューム管(株), (株)間組: 下水道技術・技術審査証明報告書「ビックリート(防菌コンクリート)」, 1999.3