

腐食対策

講座

第19回

抗菌剤の経済効果と そのメカニズム

ライフサイクル サポート研究会

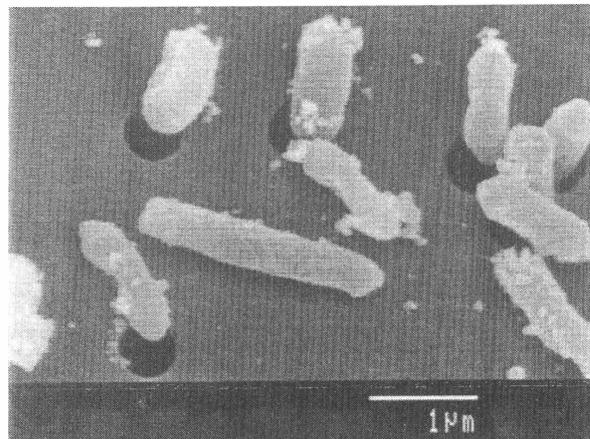
1

まえがき

下水道構造物の劣化とは、コンクリート中のカルシウムと細菌が作り出した硫酸が反応して石膏となる現象で、昨今、大きな問題となっている。

硫酸を人間の手で作る場合、イオウを酸化し二酸化イオウとした後、さらに酸化し、三酸化イオウにして水に溶かす必要がある。この酸化の条件は非常に厳しく、500℃の温度と特殊な触媒化での反応が必要だと高校で習った記憶のある方も多いと思う。化学的には複雑な反応条件であるが、微生物はこれをいとも簡単に行ってしまう。このようなイオウ酸化能力を、生育条件の異なる多くの細菌が持っており、総称して“イオウ酸化細菌”と呼ばれている。

代表的なイオウ酸化細菌の状況を写真-1に示す。そこには、人類が炭素の酸化還元サイクルに組み込まれているのと同じように、イオウの酸化還元サイクルが存在する。イオウ酸化細菌は、工業的には銅や銀のバクテリオリーチングに使われている^{1, 2)}。すなわち、銅や銀の硫化鉱に菌を含む水溶液を散布し、硫酸銅や硫酸銀の水溶液として回収している。またイタイイタイ病は、イオウ酸化細菌の働きによって、硫化カドミウムを含む廃棄岩から硫酸カドミウムを溶出させたことから発生したものである。これらのことから、イオウ酸化細菌は重金属に対しても耐性をもつことが予

写真-1 *T.ferrooxidans* AP19-3の電子顕微鏡写真

想される。

著者らは、コンクリートの硫酸劣化を防止する方法の一つとしてイオウ酸化細菌の活動を止めることが有効であると考え、種々の研究を行い、実際にそのことが確認できたため、本報告で紹介する。

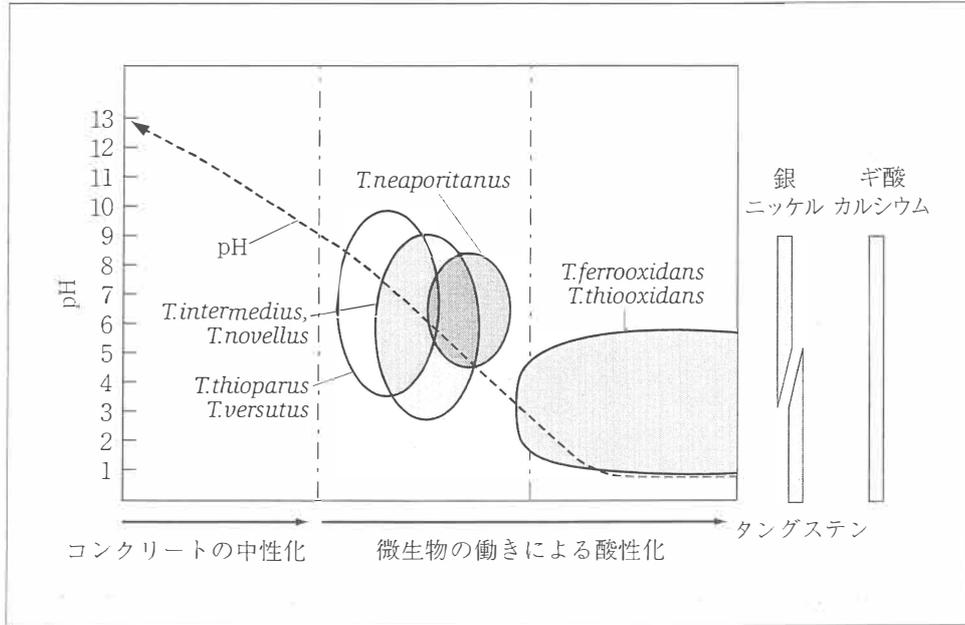
2

イオウ酸化細菌と生育阻害剤

2.1 細菌がもたらす腐食の構造

図-1に、現在知られている代表的なイオウ酸化細菌³⁾とその生育pHおよび各pH領域で効果のあるニッケル、タンゲステン、ギ酸カルシウムの生育阻害域を示す。

図一 時間経過による構造物pHの低下と各イオウ酸化細菌の消長と銀、ニッケル、ギ酸カルシウムの生育阻害 pH域



図一からわかるように、*T. versutus*や*T. thioparus*はpH10以下で活動可能であり、ほとんど石膏化が認められないコンクリートから単離される⁴⁾。実際、コンクリートを打設すると、その直後にはpH12~13の高アルカリを示し、イオウ酸化細菌の活動は困難となる。しかしながら、その後、コンクリートは大気中の炭酸ガスや水中の炭酸と反応（いわゆる炭酸化、中性化）し、pHは9になる⁵⁾。中性化すると、アルカリ領域で活動可能なイオウ酸化細菌が作る硫酸や下水に含まれる有機物が有機酸発酵し、酢酸、酪酸、プロピオン酸を生成⁶⁾、気中部のコンクリート表面に付着濃縮し、腐食部は急速に酸性となる。その結果、*T. thiooxidans*や*T. ferrooxidans*が活動し、腐食が進行していくものと考えられる。

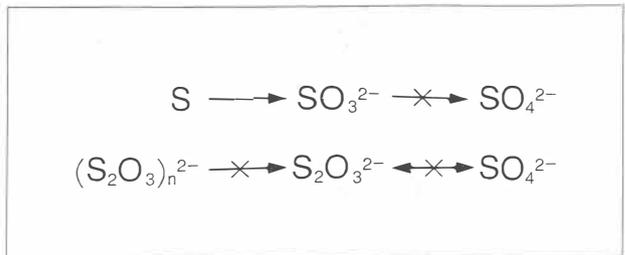
2.2 阻害のメカニズム

イオウ酸化細菌は、外部を二重の膜で覆われていて、この二重の膜の間にイオウやイオウ化合物を酸化する複数の酵素を持っている。これがイオウ酸化細菌の大きな特徴で、この膜の間でイオウの酸化を行って、また生成した硫酸を細胞外に排

泄させる機構になっている。このため、細胞内部に硫酸は侵入しないので、菌は生存し続けるのである⁷⁾。

ニッケル、銀、タンゲステン等の金属はイオウ酸化細菌の酵素に作用し、酵素の働きを停止すると考えられている^{8)、9)}。すなわち、イオウを酸化して亜硫酸を作る酵素、亜硫酸を酸化して硫酸を作る酵素、あるいはチオ硫酸を硫酸にする酵素と結合して、硫酸の生成を阻害するのである（図二）。興味深いことに、これらの金属は硫酸に対して溶解度のあるpH値では阻害効果が無く、ほとんど溶解度のないpH値になると効果を発揮する。したがって、ニッケル、銀はアルカリから中性領域で、タンゲステンが酸性領域で卓越した生

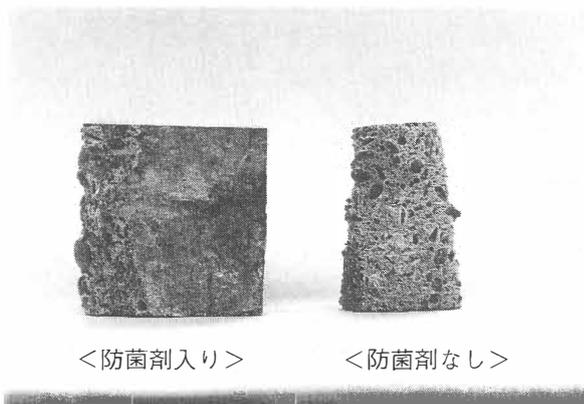
図二 金属によって阻害される反応



育阻害効果を示す⁹⁾。このため、すべてのpHで活動を阻害させるためには、タンゲステンと他の金属とを組み合わせる必要がある。

なお、ギ酸カルシウムをはじめとする有機系阻害剤や殺菌剤は、pHに関係なく効果が認められている^{10, 11)}。ギ酸の阻害機構については明らかにされていないが、分子量が低いため細胞膜を透過して二重の細胞膜の内部に侵入し、菌の生育を直接阻害すると推定している。いずれにしても、有機系化合物は生分解性があり、耐久性に一抹の不安が残るので、今後の曝露試験を見守る必要がある。

写真一 2 硫化水素濃度約80ppmの汚泥槽気中部に5.5年間曝露したモルタル供試体



ろう。

写真一 2 に、防菌剤の曝露試験結果を示す。

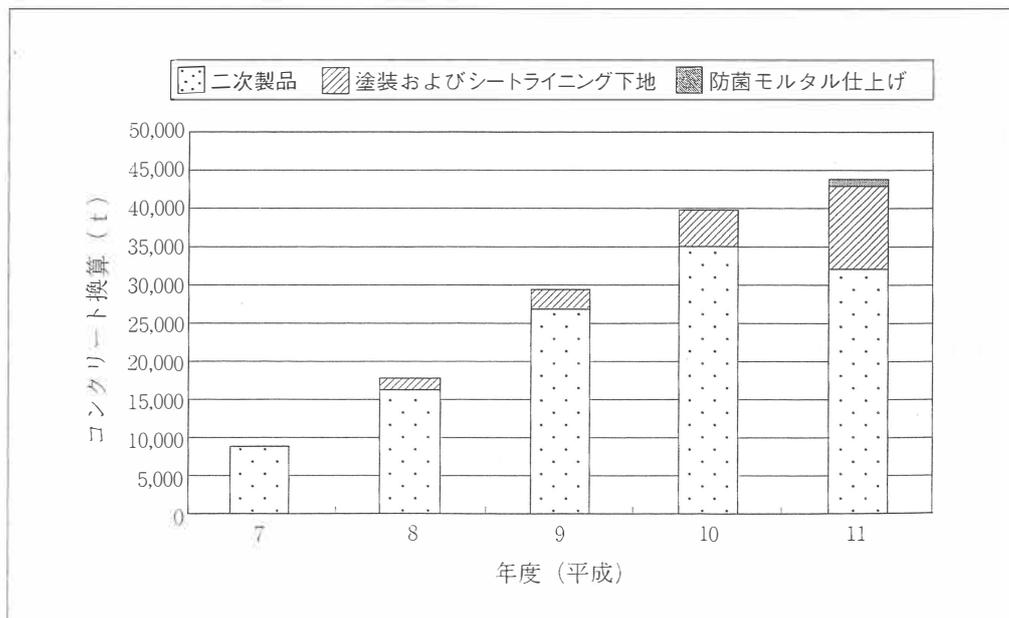
3 生育阻害剤の効果

3.1 用途の拡がり

現在、市販されているイオウ酸化細菌生育阻害剤のなかで、2年以上の実曝露試験結果が報告されている¹⁰⁾ ニッケル-タンゲステン系の防菌剤について、以下に効果と使い方を述べる。

防菌剤は、粉末あるいは分散された水溶液として供給され、コンクリートに分散して使用されている。粉末タイプはプレミックス用に、水溶液タイプは現場でのアジテータートラックへの添加に便利である。二次製品用には、プラントによって両者を使い分けている。水溶液タイプは粒径を極端に小さくしているため、使用したコンクリートに淡い青緑色が付き、防菌剤の添加確認が容易に行える。粉末タイプの二次製品用の防菌剤には、添加の確認が容易にできるようにケイ光剤が添加されており、専用の検知器で添加の確認が可能である。

図一 3 防菌コンクリートの使用量推移



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ている。この理由は、高分子材を透過した硫化水素からの硫酸生成を防ぐことにある。その効果が認められ、近年、塗装やシートライニングの下地として使用され始めた。図-3は防菌剤の目的別の出荷量と年度の関係を示したもので、その採用事例が増えていることがわかる。

3.2 経済性について

防菌剤の最大の特徴は、コンクリート自体に防菌特性を賦与することである。塗装やライニングは傷や加工面の処理が問題となるが、防菌剤を使用したコンクリートでは傷や加工の影響は受けない。この特性は、施工時に傷を受けやすい推進管には非常に有効で、優れた防食工法となる。

防菌剤を使用した二次製品では、製品価格が10～15%程度の増加となるが、ランニングコストで考慮すると、その効果は大きい。生コンクリートに添加した場合は、1万5,000/㎡程度のコスト高となる。例えば、33cmの厚さのコンクリート製の壁を作った場合、片面の使用で5,000円/㎡、両面を使用した場合2,500円/㎡となるが、他の防食工法に比べると、かなり低いイニシャルコストに抑えることができる。

4 あとがき

防菌剤を開発してから7年が経過し、イオウ酸

化細菌の挙動もかなり明らかになってきた²⁾。それにもなつて、イオウ酸化細菌に対する防菌剤の作用機構の研究も進み、年々採用量が増加している。

今後、さらに防菌剤が改良され、下水施設の防食へ寄与することを期待したい。

【(株)間組 技術・環境本部環境修復事業部部長・
前田 照信】

<参考文献>

- 1) 千田ただし：微生物資源工学、コロナ社、pp.55～59、(1996)
- 2) 井上千弘ら：資源・素材、pp.15～18 (1995)
- 3) 前田照信：博士論文「コンクリート腐食に対する防菌剤の開発に関する研究」、p.148、(1999.8)
- 4) 3) のpp.39～49
- 5) 前田照信ら：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「中性化」、技報堂出版、p.1 (1986)
- 6) 須藤隆一：廃水処理の生物学、産業用水調査会、pp.116、(1977)
- 7) 杉尾 剛：建築/保全、1 (105)、pp.31～36、(1997)
- 8) 杉尾 剛ら：Agric. Biol. Chem.、45 (9)、pp.2037～51、(1981)
- 9) 2) のpp.7～38
- 10) 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「ビツクリート(防菌コンクリート)」、p.21、(1999年3月)
- 11) 山中健生ら：日本大学理工学研究所報 第89号、pp.485～493、(2000)