

防菌剤によるコンクリート防蝕工法の現状と課題



石井義章※, 前田照信

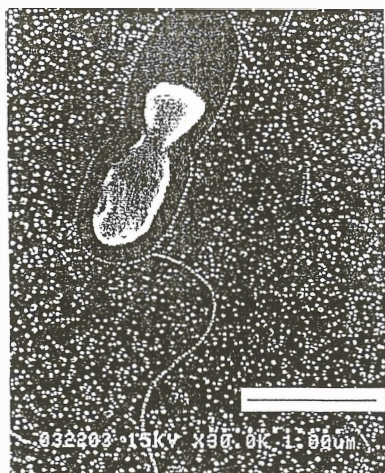
1. まえがき

最近, 下水構造物のコンクリートが短期間に石コウ(硫酸カルシウム)化する事例が続出し, 社会問題となっている。原因は, イオウ酸化細菌が生成する硫酸とコンクリート中のカルシウムが反応したためであることが知られている。イオウ酸化細菌は硫化水素, イオウあるいはチオ硫酸等のイオウ化合物を硫酸に変える細菌である。下水に含まれるイオウ化合物は微生物の働きにより硫化水素となる。硫化水素は卵が腐った臭いを持ち, 下水の臭気の主因を成している。イオウ酸化細菌には多くの種類が知られているが, 下水環境で活発に活動しているのはチ

オバチルス チオオキシダンスと呼ばれている細菌である。チオバチルス チオオキシダンスは長さ $1\ \mu\text{m}$ 強の鞭毛を持つ桿菌で(写真-1), pH 1~5, 温度20~40℃で生育する。栄養源は還元型無機イオウ化合物であり, 生体に必要な炭素は炭酸あるいは炭酸ガスから取り込む。我々は, このイオウ酸化細菌の生育を阻害する防菌剤を開発, 実用化したので以下に説明する。

2. 劣化の始まり

打設直後のコンクリートはpH12~13程度の強アルカリ性であり, その後, 表面から空気中の炭酸ガスと反応してpH 9 程度となって行く。pH 9 ではチ



Bar = $1\ \mu\text{m}$

写真-1 チオバチルス チオオキシダンスNB1-3株の電子顕微鏡写真

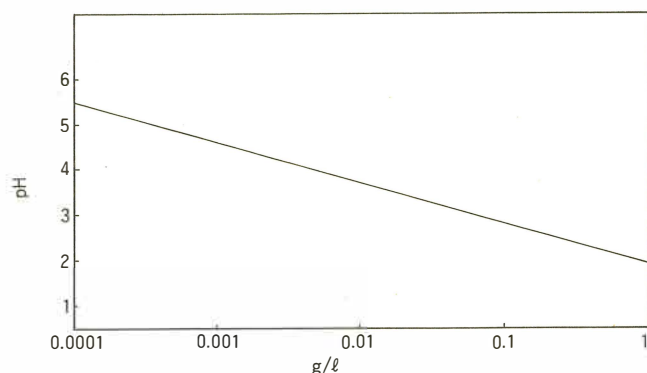


図-1 硫酸の添加量とpHの関係

オバチルス チオオキシダンスは活動不能で何らかの作用で活動可能なpH 5 になって初めて劣化が始まるはずである。図-1 に硫酸濃度とpH の関係の実測値を示したが、pH 5 にするためにはわずかな硫酸で良いことが解る。イオウ酸化細菌の中にはpH 9 でも活動可能なチオバチルス パーササス（生育pH 6～9）等もあり、これが生成した硫酸や下水から発生する硫化水素等によってpH 5 以下の環境が作られると考えられる。さすがに、打設直後の高アルカリ時にはpH 5 の環境は作られにくいらしく、イオウ酸化細菌による劣化は早くても数年後に始まることが多い。しかし、劣化が始まると進行は比較的速いことが多く、担当者を悩ませている。

3. 防菌剤

下水構造物の劣化調査時に、ステンレスの劣化がコンクリートに比べて軽微であることから、ステン

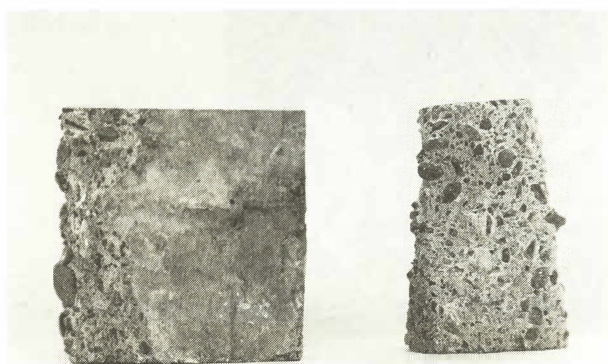


写真-2 左：防菌剤添加，右：防菌剤なし

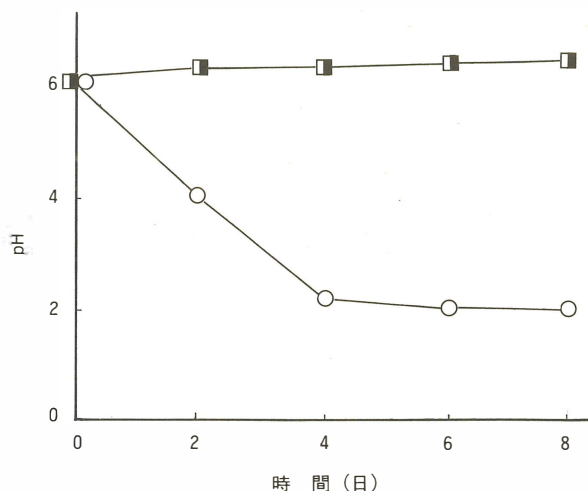


図-2 チオバチルス チオオキシダンス NB1-3株の増殖に及ぼす金属ニッケルの影響

レスを構成する材料をモルタルに混入した供試体の曝露試験から防菌剤の開発は始まった。約80ppmの硫化水素濃度の下水処理場汚泥槽気中部に5.5年曝露した供試体を写真-2 に示した。金属ニッケル系防菌剤を使用した供試体であるが、効果が非常に顕著である。

現在は金属ニッケルと第三成分によって防菌効果を得ている。チオバチルス チオオキシダンス (NB1-3株) に0.1%の金属ニッケルを加えたものと無処理のものを培地で培養した時のpH変化を図-2 に示す。金属ニッケルが菌の生育を阻害していることが解る。研究の結果、金属ニッケルはpH 7 では完全な生育阻害効果が認められるが、pH 3 ではやや不完全であることが判明した（もっとも、一般のコンクリートはpH 4 以上で供用されることを前提としており、pH 4 以下の環境になることは無いはずであるが）。そこで、種々の化合物をスクリーニングし、pH2.5でも有効な第三成分を見出した。図-3 に0.01g/l の第三成分を添加したときの菌の増殖を測定した結果を示す。5種類のチオバチルス チオオキシダンスの実験結果では強い阻害効果が確認された。

現在の防菌剤はセメントに対して、金属ニッケル0.075%、第三成分0.075%、防菌剤の添加を識別す

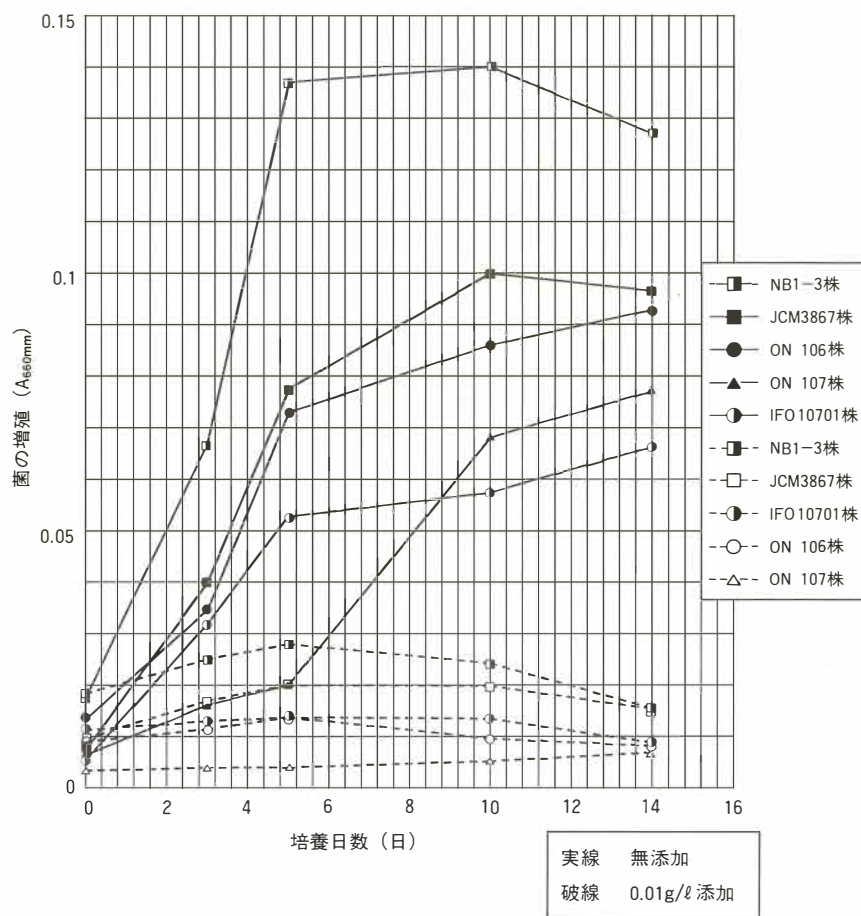


図-3 pH2.5での第三成分の効果(硫黄無機塩培地)

るための若干の蛍光染料と増量剤で構成され、全体でセメント量の1%添加となるように製造している。

4. 防菌剤の添加

防菌剤はビクリート製品協会に属する二次製品

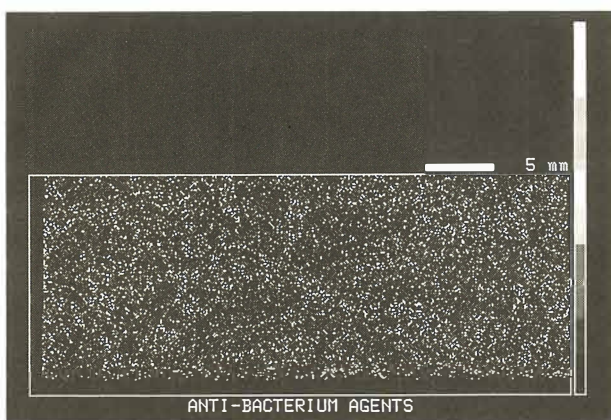


写真-3 防菌剤の分布状況(X線マイクロアナライザーによる分布)

メーカーにビック剤として供給し、二次製品に加工され流通するものと、混和剤メーカーが生コン添加用防菌剤あるいはプレミックスモルタルの形で流通させるものがある。

防菌剤は混練時に充分分散するよう増量剤で薄めた形で添加される。二次製品の多くは遠心成形されるが、防菌剤は遠心成型時にも分離しないように充分に微粉碎されている。遠心成型時の防菌剤の分布状況を写真-3に示すが、均一な分散が確認される。

5. 防菌剤添加の確認

最終製品の段階で防菌剤の添加の有無を確認するには高価な分析機器に頼る必要がある。そこで、1996年8月より出荷する防菌剤には特注の蛍光染料を混入することにより確認を容易にした。混入した蛍光染料は、紫外線を照射すると独特の蛍光を発する。

表－１ 菌の生育に及ぼす影響（NB培地，１日後測定）

添加剤（１％）	大腸菌	黄色ブドウ球菌
金属ニッケル	◎	◎
第三成分	◎	実験中
銀－ゼオライト系抗菌剤	×	×

◎ 対象と比較して，成育の阻害は認められない

× 対象と比較して，菌数が 10^3 以上低い

６．防菌剤の作用機構

防菌剤はイオウ酸化細菌の酵素と結合して酵素の働きを阻害していることが最近の研究の結果，明らかとなった。すなわち，菌の生育を阻害してはいるが菌を殺してはいないのである。表－１に他の細菌に対する効果を示した。他の抗菌剤と違って他の菌にまったく影響を与えないことが明らかである。

７．防菌剤の使える場所

防菌剤はイオウ酸化細菌の生育を阻害して耐蝕効果を得ており，それ自身耐蝕性はない。従って腐食性の化合物と接触する部分では耐蝕効果は期待できない。消化槽の脱離液や腐蝕性の化学薬品には効果がない。また，下水処理場の曝気槽は有機化合物を水と炭酸に分解するが，炭酸はコンクリートのカルシウムを重炭酸カルシウムの形で溶脱する。このような劣化に対しても防菌剤は無効である。防菌剤は一般の下水管渠やマンホールには非常に効果的な薬剤である。

８．防菌剤の特徴

従来の塗装やライニングでは防蝕が表面のみであるので傷に弱く，継ぎ手部の処理が困難であった。また，塗装はコンクリートと熱膨張係数や弾性係数が大きく異なるため，長期間の使用で剥離が起こる等多くの問題点があった。防菌剤を使用したコンクリートはムクであるため，キズや継ぎ手部の処理の問題はなく，また，剥離の発生もない。また，イオ

ウ酸化細菌による劣化は，生成した硫酸が流出しない気中部で起こることから防菌剤の溶出も無いと考えられる。さらに，イオウ酸化細菌の活動が阻害されると硫化水素環境となり，ニッケルや第三成分は不溶性の硫化物となることから，防菌剤は半永久的に製品の中に留まると考えている。また，阻害の機構が細菌の酵素に直接作用するため，耐性菌の出現は非常に困難と推定している。従って，効果は半永久的で構造物本来の寿命によって決定されると考えている。

９．コスト

防菌剤を二次製品に使用した場合15～20％アップ，生コンに使用した場合15,000円／ m^3 となり，33cmの壁圧で5,000円／ m^2 のコスト高となる。二次製品でライニング等による防食を施した場合100％アップ，また，現場打ちコンクリートの重防蝕では18,000円／ m^2 であることから防菌剤による防蝕はかなり経済的であると言える。

10. 今後の課題

防菌剤を上市してから４年，ビツクリート製品協会に参加する二次製品メーカーは24社となり，製品販売量も３万tを越えた。また，現場打ちの防菌剤もアンカー付きシート用プレミックスモルタルとして約5,000 m^3 分の販売実績を挙げた。多くの特徴を持つ防菌剤は，今後，下水防蝕の主流をなすと考えている。

今後の課題としては，防菌剤の作用機構を解明し，より効果的な使用方法の研究を進めたい。また，上市してから４年を経過し実績も認められてきており，作用機構もある程度解明されてきたことから，公の規格に入るよう努力したい。