

# ビックリート技術マニュアル

平成 16 年 4 月

ビックリート製品協会



## 1. はじめに

下水道施設に使用されるコンクリート構造物は、イオウ酸化細菌が生成した硫酸によって腐食し、劣化する。この場合の腐食深さは10年間で数cmにも及ぶため、各地で道路陥没事故等の発生が報告されており、大きな社会問題にまで発展している事例も少なくない。

ビックリート（防菌コンクリート）とは、硫化水素を硫酸に変えるイオウ酸化細菌の活動を阻害する防菌剤（主成分：ニッケル、酸化タンクスチレン）を混和したコンクリートである。この防菌剤をコンクリート内に均一に混和することによって、下水道施設に適用されるコンクリート構造物のイオウ酸化細菌による硫酸劣化を抑制することができるため、防食工法として知られているライニング工法（イオウ酸化細菌が生成する硫酸に対する防食被覆層を形成する防食工法）のように、コンクリートとの付着性などで施工面での制約を受けることはない。

このように、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黄生成を抑制すると共に、ライニング工法における課題の解消が可能な『下水道施設用の防菌コンクリート』である<sup>1)~6)</sup>。

本資料は、ビックリートの普及促進を図ると共に、当該技術の妥当性を解説することを目的に作成した『ビックリート技術マニュアル』である。

## 2. 防菌のメカニズム

### 2-1 硫化水素と硫酸の生成

下水道施設に適用されるコンクリート構造物の腐食には、「硫酸塩還元細菌」と「硫黄酸化細菌」が関与している<sup>7)~9)</sup>。これらは、汚水や汚泥中で硫酸塩を還元して硫化水素を生成する作用や、硫化水素を酸化して硫酸を生成する作用がある。微生物によるコンクリートの腐食経路を図-1の概念図に示す<sup>10)~15)</sup>。

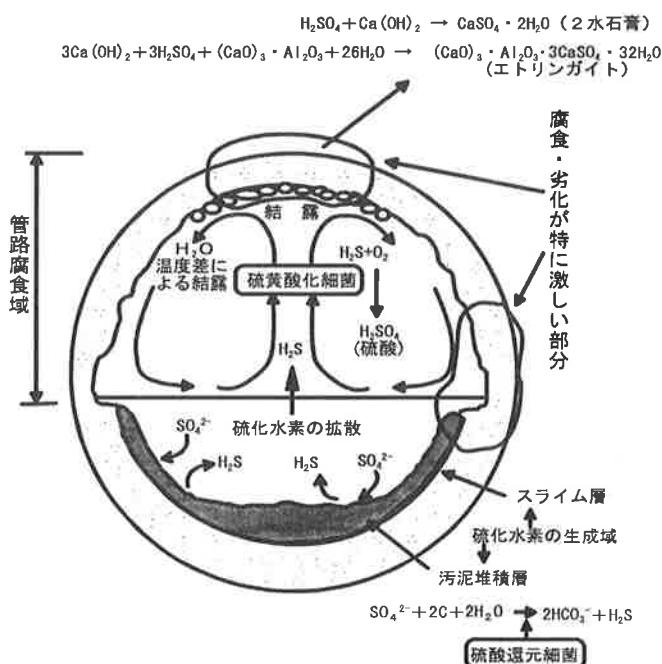


図-1 コンクリート腐食概念図

## 2-2 硫黄酸化細菌群の活動状況

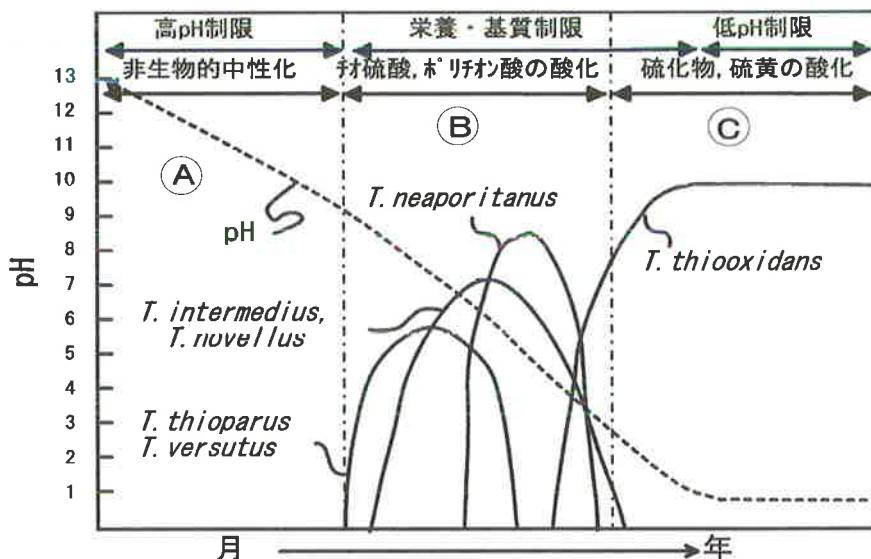
コンクリートの腐食に関する『硫黄酸化細菌群の経年（月）的な活動状況のモデル』を図-2に示す<sup>10)~15)</sup>。

施工直後のコンクリート表面におけるpHは12~13の強アルカリであり、pHが10以上の場合には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におけるコンクリートは、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、二酸化炭素によってコンクリートの中性化（炭酸化）が進行すると、コンクリート表面のpHは8~9の弱アルカリになる。また、硫化水素の化学的酸化や硫黄酸化細菌による生物学的酸化によって生成された硫黄や汚泥等がコンクリートの表面に付着すると、コンクリート表面のpHは中性領域になる。この領域では、*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って生成され、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)）。

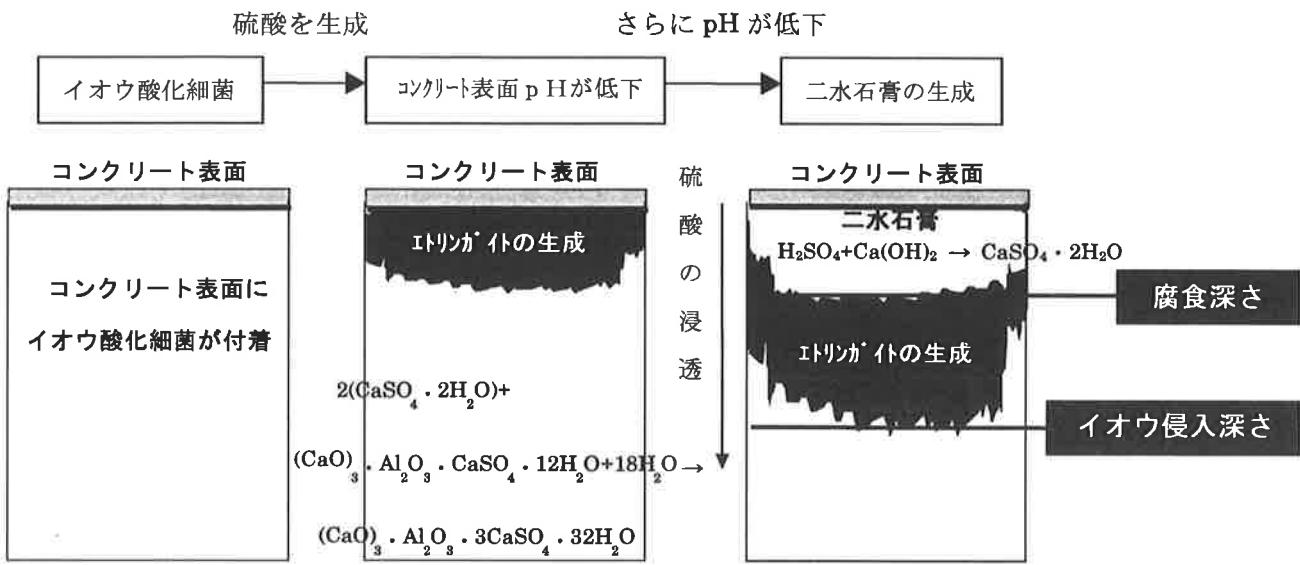
硫酸は、コンクリート中のセメント成分と反応してエトリンガイトという膨張性の鉱物を生じさせる。pHが6以下に低下すると、pHが1まで活動できる*T. thiooxidans*が増殖し、生成された硫酸によってエトリンガイトは二水石膏に変化する（図-2の領域(C)）。

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。このようなコンクリートの硫酸劣化による腐食概念図を図-3に示す<sup>10)~15)</sup>。



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-2 コンクリート腐食に関わる硫黄酸化細菌



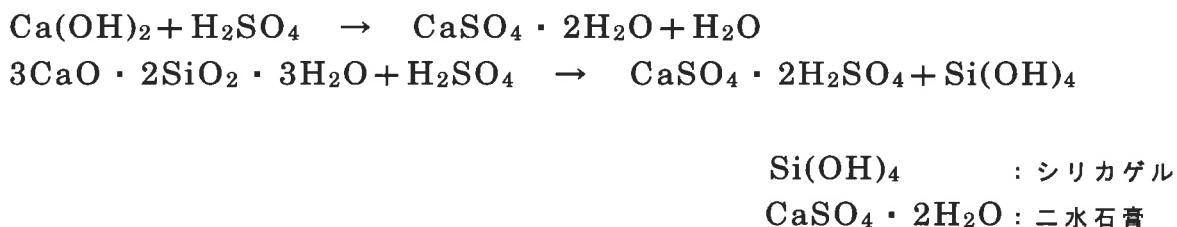
図一3 硫酸による劣化腐食概念図

## 2-3 コンクリートの腐食

下水管内で生成される硫化水素は、蛋白質や含硫アミノ酸の分解によっても僅かに生成されるが、その殆どは硫酸塩還元細菌によるものである。硫化水素は下水中に拡散してやがて飽和状態になり、下水が乱流になれば硫化水素は容易に気相中に移行して管壁上の水に溶解し、そこで硫黄酸化細菌によって硫酸まで酸化される。

硫酸はセメント中の成分と反応し、二水石膏とシリカゲルを生成する。このシリカゲルは水に溶け易く、pH1~2で二水石膏はパテ状になり、下水の飛沫などの僅かな衝撃でも容易に剥離し、下水管の壁面が露出して腐食は更に加速される。

参考までに、腐食が著しい場合には6cm厚のコンクリートが6年間で3cm厚まで腐食して、鉄筋や骨材が露出した事例も報告されている。



注) コンクリート中の成分は Ca(OH)<sub>2</sub> (水酸化カルシウム) が 20% で、  
 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (ケイ酸カルシウム) が 70% である。

## 2-4 従来の防食工法

下水道施設に適用されるコンクリート構造物の防食工法は、ライニング工法に代表されるように、コンクリート表面の樹脂コーティング処理や樹脂シートの貼付けなどの工法が、従来から行われてきた。これらの防食工法には、ポリエステル樹脂系やエポキシ樹脂系およびウレタン樹脂系の『樹脂』が多く用いられており、コンクリートとの接着性を十分に確保するために、樹脂の塗布厚さを厚くしたり、特殊なプライマーを使用することで対応していた。このように、従来の防食工法は全て樹脂等によってコンクリート表面にバリヤ層を形成するものであり（図-4参照）、耐用年数が比較的短いことが課題とされていた。

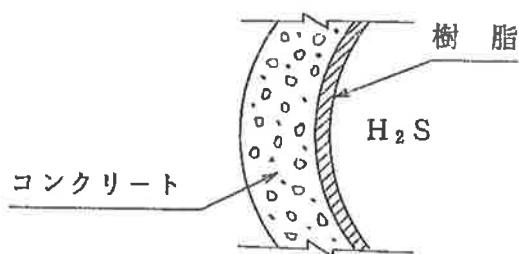


図-4 従来の防食方法

## 2-5 従来工法に対するビックリートの優位性

従来の防食工法に対するビックリートの優位性として考えられる事項は、以下のとおりである。

- ①製造時における防菌剤の取扱いは混和剤と同様であり、防菌剤をコンクリートに均一に混合できる。
- ②コンクリート自体が防菌性能を有するため、施工面などでの制約を受けることはない。
- ③コンクリート表面の傷や処理加工などの影響を受けたため、優れた防菌効果が安定して得られる。

### 3. 防菌コンクリート

#### 3-1 技術の概要

ビックリートとは、『硫化水素を硫酸に変える硫黄酸化細菌の活動』を阻害する防菌剤（主成分：ニッケル、酸化タングステン）を混和したコンクリートである。この防菌剤をコンクリートに適正に混和することで、下水道施設に使用するコンクリートの硫黄酸化細菌による硫酸劣化を抑制することができる。

#### 3-2 適用範囲

ビックリートの適用範囲は、表一1に示すとおりである。

表一1 ビックリートの適用範囲

区分	適用
適用環境条件	平均硫化水素濃度 50ppm 以下
適用製品	<p>①コンクリート二次製品 (鉄筋コンクリート管・マンホール・ボックスカルバート)</p> <p>②レディーミクストコンクリート</p> <p>③補修用モルタル(下地モルタルを含む)</p> <p>④グラウト等</p>

なお、表一1に示した適用製品の仕様は、以下のとおりである。

##### ①コンクリート二次製品

- ・遠心力鉄筋コンクリート管は **JIS A 5372** 「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」の規格を満足している製品であること。
- ・マンホールは **JIS A 5372** 「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」または(社)日本下水道協会Ⅱ類認定器材等の規格を満足している製品であること。
- ・ボックスカルバート等は **JIS** 認定工場において所定の品質で製造されていること。

##### ②レディーミクストコンクリート

- ・レディーミクストコンクリートは **JIS A 5308** 「レディーミクストコンクリート」の規格を満足し、使用箇所に適した配合になっているもの。

##### ③モルタル

- ・補修用モルタルは、躯体コンクリートとの接着性など、「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食技術指針・同マニュアル」<sup>11)</sup>の品質規格を満足する製品であるもの。

##### ④グラウト

- ・グラウトは、流動性など「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食技術指針・同マニュアル」<sup>11)</sup>の品質規格を満足する製品であるもの。

### 3-3 防菌剤

ビックリートの製造時に用いる防菌剤（写真一1）は、ニッケルと酸化タングステンの混合物からなる。

ニッケルは中性領域で、酸化タング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は既往の研究によって確認されている<sup>16), 17)</sup>。ただし、ニッケルは強酸性領域では阻害効果を示さず、アルカリ可溶かつ硫酸塩性で溶解性のない酸化タングステンは酸性領域で優れた阻害効果を示す特性を有することから、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酸化タングステンとの併用が必要になる。

防菌剤の混和量は、コンクリート中のセメントの重量に対する値で示している。これは、コンクリート中の骨材は耐硫酸塩性を有しており、防食対象をセメントとしているためである。適正混和量は、上記微生物学的試験より得られた最小発育阻害濃度から安全率を加味し、ニッケル、酸化タングステン化合物合わせてセメント重量に対し0.15%としている。

防菌剤は粉体であるため、セメントに対し0.15%の混和率ではコンクリート中に均一に分散させることは困難である。そこで、製造時の取り扱いを容易にするためにセメント質材料にて希釈し、セメント重量に対する混和率が1%（コンクリート二次製品では4kg/m<sup>3</sup>）になるように調整している。この希釈した防菌剤を「ビック剤」（写真一2）という商品名で称している。（以降、ビック剤と称する）

なお、ビック剤には粉体タイプと液体タイプとが用意されている。



写真一1 防菌剤



写真一2 ビック剤

### 3-4 製造方法

ビックリートの製造方法は以下に示すとおりであり、普通コンクリートと同様な方法で製造することができる。

- ①ビック剤をセメント重量に対して1%（コンクリート二次製品では4kg/m<sup>3</sup>）混和することで製造可能である。
- ②ビック剤は、通常の混和剤として示方配合に記載できる。
- ③ビック剤は、コンクリート混練り時に水を加える前にミキサーへ投入し、空練りを行って、良く分散させる。
- ④材料の混練り量にもよるが、ビック剤の混練り時間は概ね1分間で良い。

⑤現場で混和する場合には空練りを十分に行って、ビック剤を均一に分散させる。

参考までに、A-2規格<sup>18)</sup>に準拠し、ビック剤を混入した遠心力鉄筋コンクリート管の示方配合例を表-2に示す。

表-2 防菌剤を混入した遠心力鉄筋コンクリート管の示方配合例

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (ビック剤)
20	8±2	2±1	30	43	120	400	767	1016	4

### 3-5 環境への適合性

ビックリートに用いる骨材は、所定の品質が確認され、JIS規格を満足するものであれば、一般的な再生骨材やヒューム管碎石などのリサイクル骨材を用いても防菌効果に影響は生じない。また、後述する(4-4 環境への影響に示す)ように、ビックリートの溶出による環境への悪影響は殆ど認められないことから、再生骨材やリサイクル骨材などをビックリートに用いた場合でも、環境負荷は生じないものと考えられる。このことから、ビックリートは周辺環境への適合性を十分に備えた製品であるといえる。

## 4. ビックリートの品質特性

### 4-1 曝露試験の概要

#### 4-1-1 評価項目

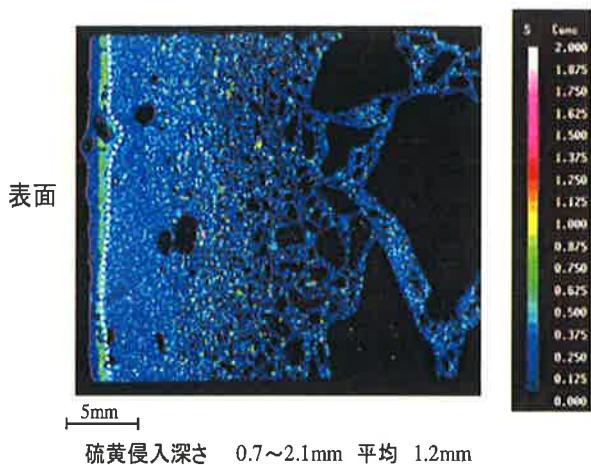
ビックリートの曝露実験は、全国18箇所の現場<sup>19)</sup>を対象に実施したものであり、様々な曝露環境条件下における硫化水素濃度や温度などを網羅できるものである。この曝露実験は、日本下水道事業団との共同研究で実施した下水処理場における各腐食環境を対象とした2年間の『供試体曝露実験<sup>11)</sup>』と、管路施設の一般的な腐食環境において、硫化水素の発生が顕著なビルピットや圧送管突出口および伏越し人孔などから選定した供用管路を対象とした『現場曝露実験』に大別できる。このうち、現場曝露実験は供用管路から採取したコア供試体の測定データを用いて評価したものである。各々の曝露実験現場における曝露環境条件は、表-3に示すとおりである。

曝露実験における具体的な評価項目は、腐食深さ(mm)、腐食速度(mm/年)、硫黄侵入深さ(mm)、硫黄侵入速度(mm/年)、カルシウムの分布状況とした。このうち、腐食深さは日本下水道事業団の方法<sup>20)</sup>に準拠して供試体をノギスで測定したものであり、ビックリートについては、外観上並びに測定結果からも腐食が全く生じていなかったものが確認されている。

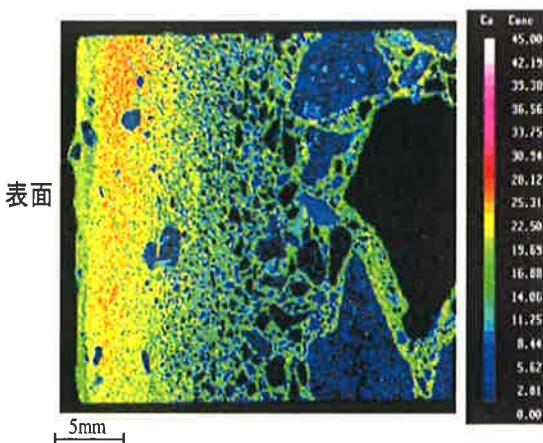
なお、写真一3と写真一4に示した硫黄侵入深さとカルシウムの分布状況は、供試体への硫黄の侵入を元素分析（EPMA分析）によって測定したものである。

表—3 曝露実験現場と曝露環境条件

曝露実験現場の分類	気相部 硫化水素濃度 (ppm)	気相部 温度 (°C)	気相部 湿度 (%)	供試体設置箇所および曝露環境条件
A	15~214	22~31	86~95	高温多湿、高い硫化水素濃度、密閉、激しい下水の乱れ (分配槽気相部)
B	4~80	25~31	91~96	温泉水流入、高温多湿、密閉、激しい下水の乱れ (最初沈殿池流出部側溝気中部)
C	6~60	18~27	71~83	汚泥処理系統、換気施設あり (汚泥貯留槽開口部から吊下げ)
D	105~360	25~35	94~98	高濃度硫化水素を溶存、高温多湿 (消化槽脱離液ピット開口部から吊下げ)
E	2~21	16~28	75~90	工場排水流入(約30%)、 激しい下水の乱れ(着水井開口部から吊下げ)
F	1~14	16~28	81~93	低い硫化水素濃度、 ヒューム管曝露装置内(前曝氣槽から取水)
G	0~0.5	11.0	—	自然流下管路
H	7~87	20.0		圧送管吐出し先人孔
I-1	0~378	—	—	ビルピット吐出し先人孔
I-2	0~378	—	—	ビルピット吐出し先人孔
J	0~0.5	18.4	—	自然流下管路
K	0~9	10.1	—	ビルピット吐出し先人孔
L	0~31	11.5	—	ビルピット吐出し先人孔
M-1	0.2~10.1	23.5	—	伏越し上流入孔
M-2	0~4.9	22.4	—	伏越し下流管路
M-3	3.7~8.0	22.3	—	伏越し下流入孔
M-4	1.2~8.4	20.9	—	伏越し下流管路
N	15~581	31.5	—	下水処理場分配槽気相部



写真一3 EPMA分析による  
硫黄侵入深さの例



写真一4 EPMA分析による  
カルシウムの分布状況の例

#### 4-1-2 曝露実験結果

曝露実験結果は表一4に示すとおりである。その結果、普通コンクリートよりもビックリートの方が、『腐食深さ』と『腐食速度』および『硫黄侵入深さ』と『硫黄侵入速度』のいずれの場合においても小さい傾向にあることが認められた。

この中で、現場Bと現場Eはいずれも下水処理場であり、コンクリートの腐食の発生が著しい場所である。この理由は、現場Bは温泉地域にあるため、下水は硫黄成分を多く含んでおり、尚且つ、温度が高いことによるもので、現場Eは工業地域で、乱れの激しい工業廃水が流入する悪条件下にあるためである。この現場に曝露した普通コンクリートの腐食は他よりも大きいものであった。

また、例えば、K地区とL地区は旧管路に普通コンクリート管が使用されていたが、硫化水素による腐食が確認されたため、新たに防菌コンクリート管で敷設替えを行った現場である。双方の平均硫化水素濃度は1.0ppmで、その発生原因是ビルピットによるものであった。防菌コンクリート管では供用4年が経過した時点における腐食の発生は無く、硫黄侵入深さも極めて僅かなものであった。これと同様に、その他の曝露実験現場（供用管路）においても普通コンクリートでは腐食の発生が認められたが、防菌コンクリートの全てに腐食の発生は認められなかった。

表—4 曝露実験結果

曝露実験現場の分類	曝露環境		ビックリート					普通コンクリート				
	平均硫化水素濃度(ppm)	平均温度(°C)	供用年数(年)	腐食深さ(mm)	腐食速度(mm/年)	硫黄侵入深さ(mm)	硫黄侵入速度(mm/年)	供用年数(年)	腐食深さ(mm)	腐食速度(mm/年)	硫黄侵入深さ(mm)	硫黄侵入速度(mm/年)
A	81.0	27.0	2.0	1.2	0.60	2.0	1.00	2.0	3.4	1.70	10.2	5.10
B	42.0	28.0	2.0	2.1	1.05	4.5	2.25	2.0	14.0	7.00	15.8	7.90
C	28.0	24.0	2.0	0	0	1.7	0.85	2.0	1.5	0.75	7.5	3.80
D	170.0	27.0	0.5	3.3	—	—	—	0.5	4.8	—	—	—
E	8.6	21.0	2.0	2.3	1.15	4.7	2.35	2.0	10.2	5.10	15.0	7.50
F	3.6	23.0	2.0	0	0	0	0	2.0	1.5	0.75	3.0	1.50
G	0.3	11.0	2.0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
H	14.0	20.0	3.0	0	0	1.2	0.40	—	—	—	—	—
I-1	8.0	—	5.0	0	0	1.1	0.22	—	—	—	—	—
I-2	8.0	—	2.5	0	0	1.0	0.40	2.5	0	0	6.0	2.40
J	0.2	18.4	6.0	0	0	0.6	0.10	6.0	0	0	3.9	0.65
K	1.0	10.1	4.0	0	0	1.0	0.25	4.0	0	0	5.5	1.40
L	1.0	11.5	4.0	0	0	2.0	0.50	4.0	3.0	0.75	8.0	2.00
M-1	3.1	23.5	—	—	—	—	—	4.0	1.5	0.38	17.6	4.40
M-2	1.3	22.4	—	—	—	—	—	4.0	0.5	0.13	2.4	0.60
M-3	5.1	22.3	—	—	—	—	—	4.0	1.0	0.25	8.3	2.08
M-4	3.2	20.9	4.0	0	0	0.5	0.13	—	—	—	—	—
N	122.0	31.5	1.8	0.4	0.22	2.3	1.28	6.0	4.0	0.66	18.9	3.15

## 4-1-3 腐食速度と硫黄侵入速度

平均硫化水素濃度と腐食速度の関係を図—5に、平均硫化水素濃度と硫黄侵入速度の関係を図—6に示した。

図中に示した腐食速度と硫黄侵入速度の回帰式（式1～式4）を用いると、平均硫化水素濃度 10ppm の環境条件下におけるビックリートの腐食速度は 0.26mm／年、硫黄侵入速度は 0.83mm／年と推定される。また、これと同じ環境条件下における普通コンクリートの腐食速度は 1.59mm／年、硫黄侵入速度は 3.69mm／年と推定される。

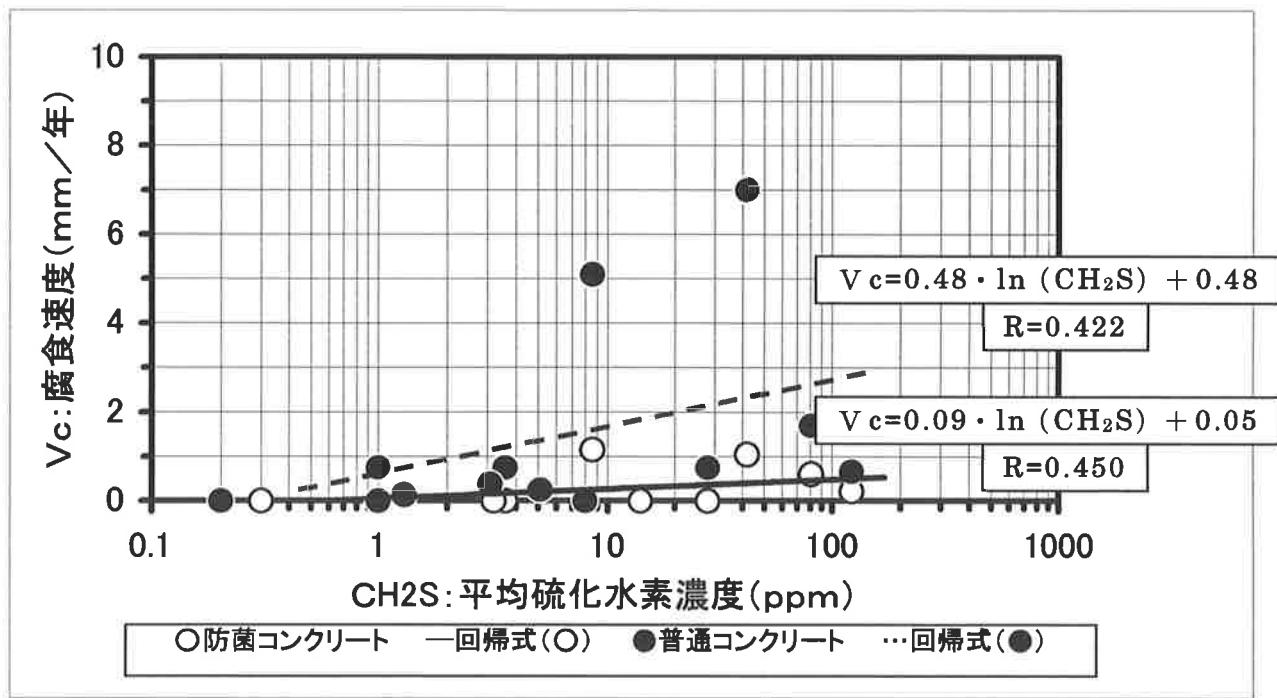


図-5 平均硫化水素濃度と腐食速度の関係

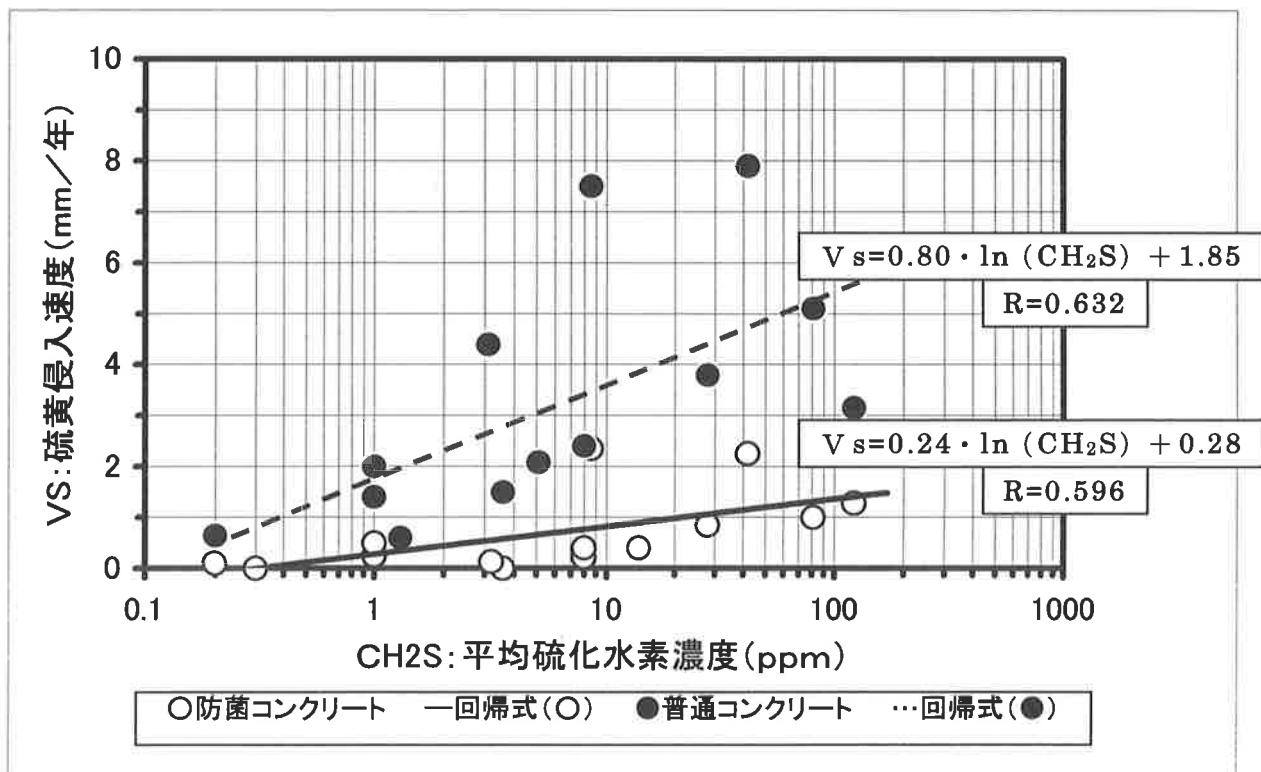


図-6 平均硫化水素濃度と硫黄侵入速度の関係

### (1) 腐食速度から求めた回帰式

ビックリートと普通コンクリートについて、各々の平均硫化水素濃度と腐食速度との関係から求めた回帰式を、式1と式2に示す。

$$\text{ビックリート} : V_c = 0.09 \cdot \ln(\text{CH}_2\text{S}) + 0.05 \quad (R=0.450) \dots \dots \dots \text{式1}$$

$$\text{普通コンクリート} : V_c = 0.48 \cdot \ln(\text{CH}_2\text{S}) + 0.48 \quad (R=0.422) \dots \dots \dots \text{式2}$$

### (2) 硫黄侵入速度から求めた回帰式

ビックリートと普通コンクリートについて、各々の平均硫化水素濃度と硫黄侵入速度との関係から求めた回帰式を、式3と式4に示す。

$$\text{ビックリート} : V_s = 0.24 \cdot \ln(\text{CH}_2\text{S}) + 0.28 \quad (R=0.596) \dots \dots \dots \text{式3}$$

$$\text{普通コンクリート} : V_s = 0.80 \cdot \ln(\text{CH}_2\text{S}) + 1.85 \quad (R=0.632) \dots \dots \dots \text{式4}$$

なお、これらの評価に、硫化水素濃度の平均値を用いた理由は、日平均硫化水素濃度（累積硫化水素濃度／24時間（1日）又は48時間（2日））を採用している事例が多いことに準拠したものである<sup>21)</sup>。

## 4-2 耐用年数

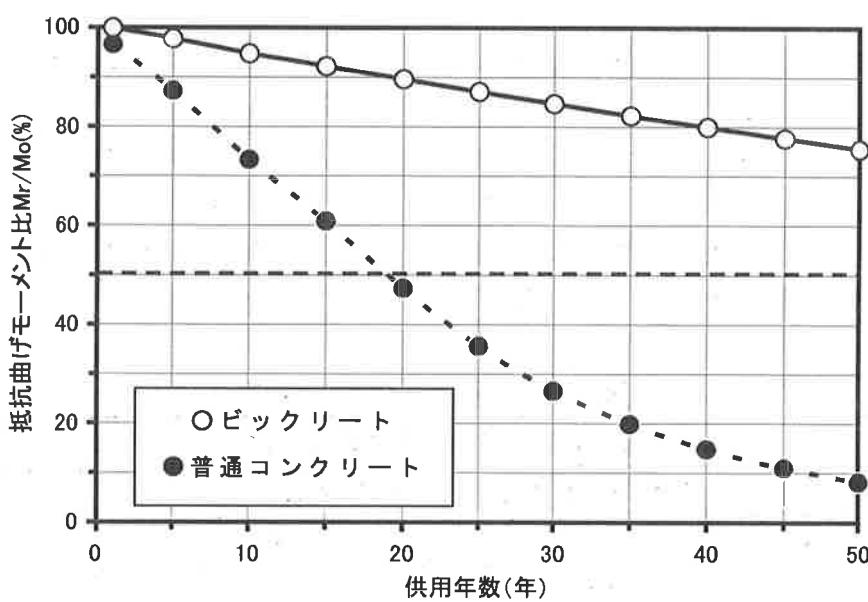
平均硫化水素濃度10ppm以下における耐用年数は、表-5に示すとおりである。これは、各部材における鉄筋のかぶりに相当する厚さまで腐食が進行する年数として、コンクリートの標準的な耐用年数を求めたものである。

例えば、ビックリートにおける腐食速度（0.26mm/年）から計算したかぶりの最小値に達する期間は、スラブで一般の環境の場合、かぶりの最小値が25mmであることから、25mmを0.26mm/年で割れば97年となる。したがって、下水道施設に用いる一般的な構造物の標準耐用年数である50年を十分に確保することが可能であるものと推測される。これと同様に、ビックリートにおける硫黄侵入速度から計算したかぶり厚さの最小値に達する期間は、腐食性環境のスラブにおいても概ね50年を確保できるものと推測される。

また、図-7は硫化水素濃度10ppmにおけるヒューム管の供用年数と抵抗曲げモーメントの関係を示したものである。このグラフから、硫化水素濃度が10ppm以下の環境条件下におけるビックリートの耐久性は、50年以上確保できることが分かる。

表一5 平均硫化水素濃度 10ppm 以下の腐食環境におけるコンクリートの標準的な耐用年数

部材	環境条件	かぶりの最小値 (mm) <sup>22)</sup>	腐食速度から計算したかぶりの最小値に達する期間(年)		硫黄侵入速度から計算したかぶりの最小値に達する期間(年)	
			ピックリート	普通コンクリート	ピックリート	普通コンクリート
スラブ	一般の環境	25	97	16	30	7
	腐食性環境	40	156	25	48	11
	特に厳しい腐食性環境	50	194	32	60	14
はり	一般の環境	30	117	19	36	8
	腐食性環境	50	194	32	60	14
	特に厳しい腐食性環境	60	233	38	72	16
柱	一般の環境	35	136	22	42	9
	腐食性環境	60	233	38	72	16
	特に厳しい腐食性環境	70	272	44	84	19



図一7 硫化水素濃度 10ppm におけるヒューム管の供用年数と抵抗曲げモーメントの関係

#### 4-3 腐食の進行

平均硫化水素濃度 50 ppm 以下の環境条件下におけるビックリートと普通コンクリートの腐食深さと硫黄侵入深さを比較したものが表-6である。その結果、ビックリートは普通コンクリートに比較して、腐食深さが 6 分の 1 から 5 分の 1 程度、硫黄侵入深さが 4 分の 1 程度になることが確認された。

表-6 平均硫化水素濃度 50 以下の環境における腐食速度と硫黄侵入速度

平均硫化水素濃度 (ppm)	腐食速度 (mm/年)		腐食速度比※	硫黄侵入速度 (mm/年)		硫黄侵入速度比※
	ビックリート	普通コンクリート		ビックリート	普通コンクリート	
5	0.19	1.25	6.58	0.67	3.14	4.69
10	0.26	1.59	6.12	0.83	3.69	4.45
20	0.32	1.92	6.00	1.00	4.25	4.25
30	0.36	2.11	5.86	1.10	4.57	4.15
40	0.38	2.25	5.92	1.17	4.80	4.10
50	0.40	2.36	5.90	1.22	4.98	4.08

※腐食速度比と硫黄侵入速度比は、普通コンクリート/ビックリートで求めた。

#### 4-4 環境への影響

##### 4-4-1 環境に及ぼす影響

ビック剤の主成分であるニッケルは重金属である。一般的に、重金属には有害物質が多く含まれていることから、ビック剤を混和することによる環境への影響を確認した。これは、下水実験方法の活性汚泥の品質管理手法である COD 生分解度によって行ったものである。

実験の結果は表-7に示すとおりであり、COD 生分解度の値で比較すると、対照（ブランク）に対するビック剤混和（ビック剤 1%）の割合は 9 割以上確保できている。したがって、ビック剤を混和することによる活性汚泥の COD 生分解度への影響は殆ど無いものと判断できる<sup>19)</sup>。

表-7 活性汚泥への影響

試料名称	COD (化学的酸素要求量)		COD 生分解度 (%)
	初期 (mg/l)	24 時間後 (mg/l)	
ビック剤混和(1%)	99.0	16.0	83.8
対照	99.0	9.7	90.2

##### 4-4-2 微生物に及ぼす影響

ビック剤を混和することによる微生物に及ぼす影響を確認するために、硫黄酸化細菌以外の一般的な微生物の中から任意に選んだ大腸菌、黄色ぶどう球菌、緑膿菌に対するビック剤の耐菌性能について実験を行った。この実験は、これらの

細菌に適した培地にビック剤を混和した場合（ビック剤 1%）と、ビック剤を混和しない場合（無混和）を対象にしたものであり、ビック剤混和による菌の繁殖阻害性を細菌の増殖による菌数で確認した。

表一8に実験結果を示すように、大腸菌と黄色ぶどう球菌については菌数の経時的な変化は確認されなかった。その一方で、緑膿菌では、ビック剤の無混和に比べて混和では菌数が若干低下しているが、2桁少ない値で止まっている。これらのことから、ビック剤の混和による一般的な微生物への阻害作用は殆ど無いものと考えられる<sup>19)</sup>。

表一8 大腸菌・黄色ぶどう球菌・緑膿菌の経時変化（単位：個／ml）

分類	試料名	0 時間	0.5 時間	1 時間	4 時間	8 時間	24 時間
大腸菌	ビック剤 (1%)	$1.1 \times 10^6$	$7.8 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	$2.2 \times 10^5$	$2.9 \times 10^5$	$3.3 \times 10^5$
	無混和	$1.1 \times 10^6$	$6.2 \times 10^5$	$1.3 \times 10^6$	$5.0 \times 10^5$	$4.4 \times 10^5$	$5.5 \times 10^5$
黄色 ぶどう球菌	ビック剤 (1%)	$2.4 \times 10^6$	$2.8 \times 10^6$	$2.6 \times 10^6$	$2.4 \times 10^6$	$1.4 \times 10^6$	$2.3 \times 10^6$
	無混和	$2.6 \times 10^6$	$1.8 \times 10^6$	$1.9 \times 10^6$	$1.6 \times 10^6$	$1.1 \times 10^6$	$1.8 \times 10^6$
緑膿菌	ビック剤 (1%)	$2.2 \times 10^5$	$1.7 \times 10^5$	$1.8 \times 10^4$	$1.1 \times 10^4$	$3.2 \times 10^3$	$6.3 \times 10^2$
	無混和	$2.4 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$5.4 \times 10^5$	$3.8 \times 10^4$	$5.4 \times 10^4$

#### 4-4-3 最大溶出量と毒性試験結果

ビック剤成分の最大溶出量や毒性などを確認するために、ニッケルの溶出試験、ニッケルと酸化タンクスティンの毒性試験、変異原性試験（プレインキュベーション法）を行った。

表一9は、これらの試験結果を最大溶出量と毒性試験結果として示したものである。その結果、ビック剤成分の溶出による環境への悪影響は殆ど認められなかった<sup>19)</sup>。

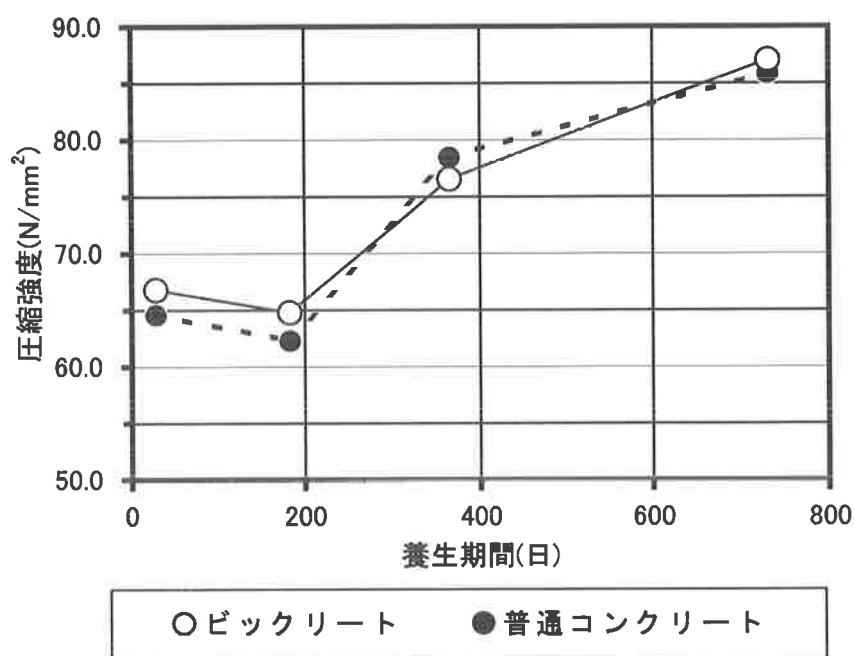
表一9 最大溶出量と毒性実験結果

防菌剤成分	最大溶出量 (mg/l)	発がん性	変異原性	経口毒性 (ラット) LD <sub>50</sub> (mg/kg)
ニッケル	0.00045	無い	陰性	—
酸化タンクスティン	—	—	陰性	2,000 以上

## 5. コンクリート強度への影響

ビッククリート混和によるコンクリート強度への影響を確認するために、ビッククリートによる遠心力供試体と普通コンクリートによる遠心力供試体の圧縮強度を長期材令で比較したものが図一8である。また、表一10は双方のコンクリートにおけるフレッシュ性状（まだ固まらないコンクリートの性状）を示したものである。

ビッククリートと普通コンクリートは共に、供試体の圧縮強度のバラツキによって、養生期間が30日よりも180日の圧縮強度の方が僅かに低いが、それ以降の圧縮強度は、養生期間の進行に伴って増進している。また、ビッククリートと普通コンクリートの圧縮強度とフレッシュ性状には差が認められないことから、ビッククリートによるコンクリート強度への影響は無いことを確認した<sup>19)</sup>。



図一8 遠心力コンクリート供試体の圧縮強度変化

表一10 圧縮強度実験用供試体のコンクリートのフレッシュ性状

分類	スランプ (cm)	空気量 (%)	練り上がり温度 (°C)	単位容積重量 (kg/m³)
ビッククリート	9.0	1.6	16.0	2,413
普通コンクリート	8.5	1.6	16.0	2,409

## 6. 製造時の取扱い

ビック剤の製造時の取扱い方法として、遠心力鉄筋コンクリート管の示方配合例を表一11に、ビック剤を用いたレディーミクストコンクリートの配合例（呼び強度  $24\text{N/mm}^2$ ）を表一12に示す。

また、硬化したビックリート中におけるビック剤の分散性能については、元素分析（EPMA）によって行った。この結果は、ビック剤成分（ニッケル）の分布状況を写真一5に、これを拡大表示したものを作成し、これを写真一6に示すとおりである。これらの写真から、ビック剤の成分がビックリート中に良く分散し、尚且つ、微粒で存在していることを確認した。

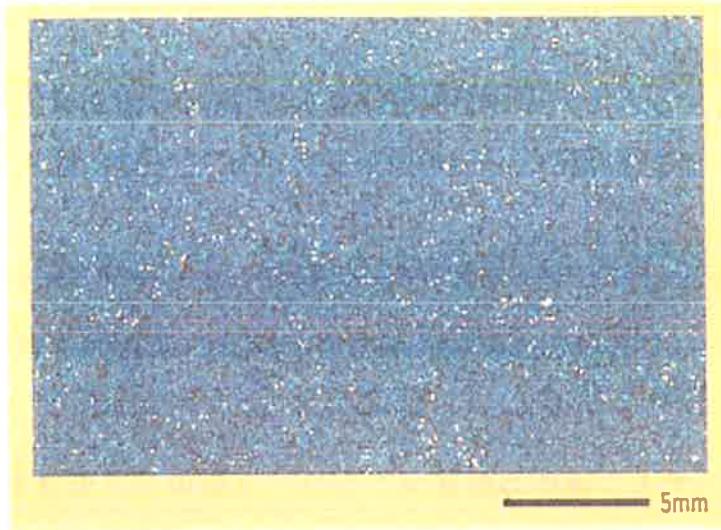
以上の結果から、ビックリートの製造時におけるビック剤の取扱いは、混和剤と同様であることを確認した<sup>19)</sup>。

表一11 遠心力鉄筋コンクリート管の示方配合例

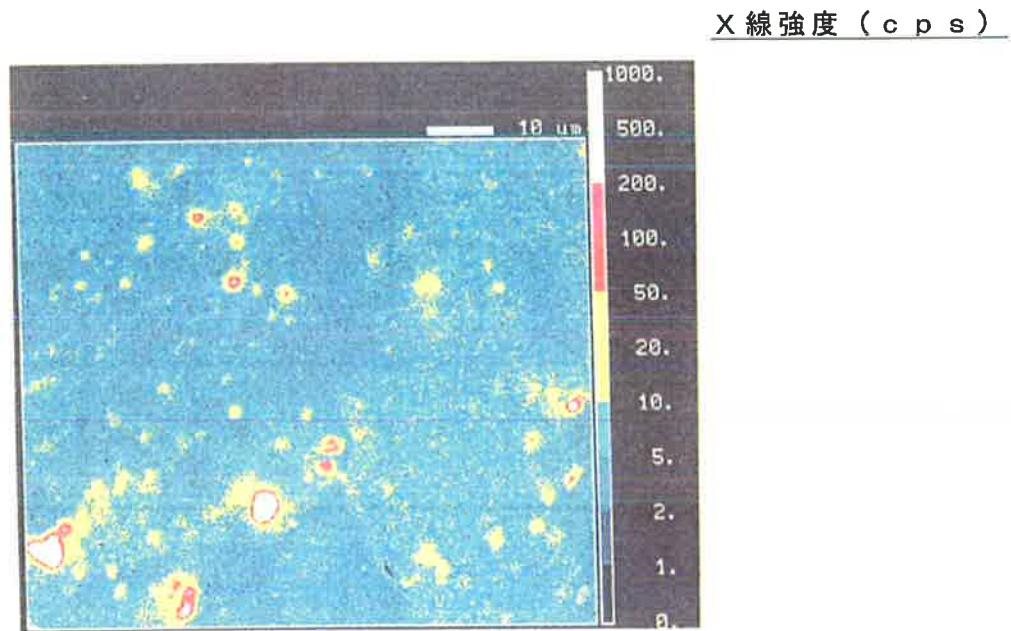
粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (ビック剤)
20	8±2	2±1	30	43	120	400	767	1016	4

表一12 レディーミクストコンクリートの配合例（呼び強度  $24\text{N/mm}^2$ ）

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	8±2	4±1	57	46	161	283	843	1004	0.283 2.83



写真一5 ビックリート中へのビック剤成分の分布状況  
(黄色, 白がビック剤の有効成分)



写真一6 ビックリート中へのビック剤成分の分布状況

## 7. ビックリートの品質特性

曝露実験結果などから得られた知見に基づいて、ビックリートの品質特性をまとめると、以下のとおりである。

- ①平均硫化水素濃度が 10ppm 以下の環境条件下において 50 年以上の耐久性が確保できる。
- ②平均硫化水素濃度が 50ppm 以下の環境条件下において、普通コンクリートに比較して腐食深さは 6 分の 1 から 5 分の 1 程度、硫黄侵入深さは 4 分の 1 程度に抑制することができる。
- ③他の微生物や周辺環境などに及ぼす影響は生じない。
- ④ビック剤混和によるコンクリート強度への影響は無い。
- ⑤コンクリートの製造時におけるビック剤の取扱いは、混和剤と同様である。

## 8. おわりに

ビックリートは環境保全型のコンクリート製品であり、その優れた品質特性から、下水道や下水処理施設等に適用されたコンクリート構造物の腐食劣化や、これに伴った道路陥没などの社会問題を解消することができる。これにより、コンクリート構造物のライフサイクルが延びるため、その結果として、コストの低減とその有効活用にも十分に貢献でき得るものと考えられる。したがって、安全で快適な生活環境を創出し、次世代に向けた都市基盤の整備とその形成を図るために、ビックリートは不可欠なコンクリート製品であるといえる。

ビックリートを販売開始以来 10 年が経過し、この間の施工実績は平成 15 年度末までに累計で約 11 万トンに達している。また、ビックリートが高く評価されたことの証明として、下水道新技術推進機構による審査証明の取得（平成 11 年度）および更新（平成 15 年度）や、国土技術研究センターが主催した第 3 回国土技術開発賞の入賞（平成 12 年度）が挙げられる。

今後は、より多くの公的機関や地方自治体（ユーザー）などに、ビックリートの妥当性を認識して頂くと共に、より一層の普及拡大を図ることが急務である。

## 9. 参考文献

- 1) 前田照信：添加するだけでイオウ酸化細菌の活動を阻害する防菌剤，月刊下水道，4 月号 Vol.19 1996.4
- 2) 石井義章，前田照信：防菌剤によるコンクリート防蝕工法の現状と課題，防水ジャーナル，8 月号 1997.8
- 3) 前田照信：防菌コンクリート，コンクリート工学 1 月号，Vol.36, No.1 1998.1
- 4) 前田照信：防菌コンクリートの技術開発について，月刊生コンクリート，2 月号 1998.2
- 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，1998.8
- 6) 長期間に亘り耐用年数を確保 — ビックリート — 曝露実験により防食性能を実証，Vol.21 No.2 p73 2002.2

