

# 耐食性鉄筋コンクリート製品の 20 年に及ぶ 追跡調査結果と適用範囲

安藤ハザマ ○ 根岸 敦規  
ビックリート製品協会 三岡 善平  
日本ヒューム 畑 実  
日本ヒューム 井川 秀樹

## 1. はじめに

下水道施設における硫酸劣化の原因となる硫黄酸化細菌の活動を阻害するコンクリートに予め添加される防菌剤りなどの腐食抑制剤は、コンクリート二次製品の下水管路やマンホールなどに広く利用されている。その抑制効果は、日本下水道新技術機構において、曝露試験や5年ごとの技術審査証明更新時の追跡調査により審査され、証明されている<sup>2)</sup>。防菌剤を混和したコンクリートは、下水道施設の硫酸によるコンクリートの腐食を抑制し、下水道用コンクリート二次製品の長寿命化が実現できることを特長としている。本技術を用いた耐食性コンクリート二次製品の開発から既に25年以上が経過し、令和4年9月現在の累計出荷実績は213,658トンに達している。本技術の長期的な防食効果を検証し、腐食抑制効果や、長期間に亘る健全度を確認する目的で、平成29年10月～平成30年5月に全国の12現場を対象にした現場追跡調査を実施した。本技術は令和3年度下水道技術海外実証事業に採用され、ベトナムで実証試験と追跡調査を実施している。今回、国内での追跡調査結果と、実証事業の測定結果を比較検討し、適用範囲の設定を行ったので報告するものである。

## 2. 現場追跡調査箇所

現場追跡調査は、表-1に示すように、全国の6地区ごとに2現場を選定し、計12現場において供用中の下水道管路施設を対象に実施した。

## 3. 現場追跡調査概要

### (1) 気相部の平均硫化水素濃度と温度の計測

調査対象施設内に拡散式連続硫化水素濃度測定器を設置(写真-1)し、平均硫化水素濃度と温度を計測した。

### (2) 製品表面の外観調査

コンクリート表面の腐食劣化状況を目視によって調査した。

### (3) 硫黄侵入深さの測定

耐食性コンクリート製品の内面から、鉄筋の位置を避けてコア供試体(φ15mm×30mm程度)を採取し、電子線マイクロアナライザ(Electron Probe Micro Analyzer: EPMA)分析により、コンクリート中の硫黄の侵入深さや、カルシウムの溶脱などを測定し、腐食速度の推定とコンクリートの健全度を評価した。

### (4) 腐食関与微生物種の同定

コンクリート製品表面の切削粉を対象に、表面に生息する微生物種の遺伝子情報をPCR測定により増幅し、クローン数を計測すると共に、腐食に関与する固有の遺伝子情報と比較し微生物種を同定した。

表-1 調査箇所一覧

地区	調査No	現場所在地	適用場所	対象施設	供用年数
北海道	1	北海道Y郡A町	車道	マンホール	13年
	2	北海道S市	農道	マンホール	17年
東日本	3	埼玉県K市N地区	車道	マンホール	20年
	4	埼玉県K市Z地区	農道	下水道管	21年
東海	5	三重県M市	車道	下水道管	10年
	6	三重県I市	駐車場	下水道管	6年
関西	7	和歌山県K市U地区	住宅地内道路	マンホール	5年
	8	和歌山県K市F地区	車道	マンホール	5年
中四国	9	広島県H市	車道	マンホール	6年
	10	山口県H市	車道	マンホール	7年
九州	11	福岡県K市	車道	下水道管	19年
	12	佐賀県T市	車道	マンホール	13年



写真-1 硫化水素濃度測定器

#### 4. 調査結果

##### (1)気相部の平均硫化水素濃度と温度の計測

測定結果の一例（埼玉県K市）を図-1に示す。

##### (2)製品表面の外観調査

コンクリート表面の腐食劣化状況を目視によって調査した。

##### (3)硫黄侵入深さの測定

EPMA分析の結果得られたカルシウムと硫黄の濃度からコンクリート中での硫黄の形態を表した分布図の一例を図-2に示す。図の

上方がコンクリート内面である。図-1の硫化水素濃度測定と同じ箇所あり、調査対象において最も腐食が進行していた（調査No.3）。図中に赤で示した領域には硫酸劣化による最終生成物である二水石膏が分布している。また、図中の橙色、黄色には腐食予備軍と呼ばれる二次的エトリンガイトが分布している。表-2に調査結果の一覧を示す。対象12現場のうち、供用19年を経過したNo.11では、コンクリート表面に僅かに荒れた状態が見られるものの、供用には全く問題のない軽度の状態であり、他の11現場のコンクリート表面も健全な状態にあった。表層の腐食生成物はモノサルフェートやエトリンガイトが主であることから、腐食抑制効果は持続しているものと考えられる。また、硫黄侵入速度は、最も大きいケースで0.32mm/年（No.8）だったが、二水石膏の生成が確認された2現場（No.3、11）における硫黄侵入速度は0.20mm/年以下であった。これは、過去の現場調査<sup>2)</sup>によって得られた普通コンクリートの硫黄侵入速度の平均値（3.27mm/年）に対して、約1/16に相当し、長期的な耐食効果があることが判明した。

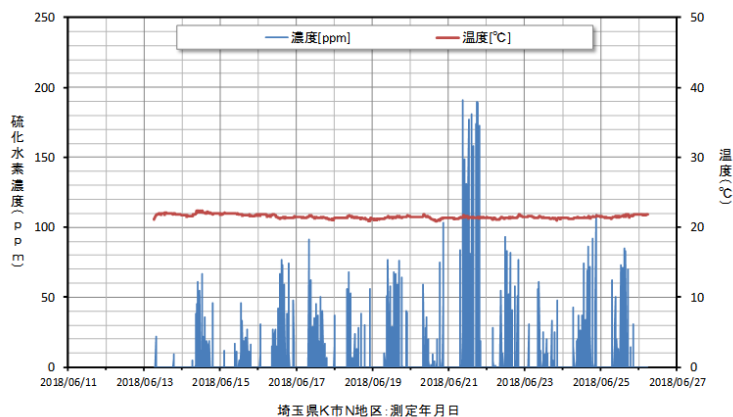


図-1 硫化水素濃度測定例(最大191ppm、平均3.7ppm)

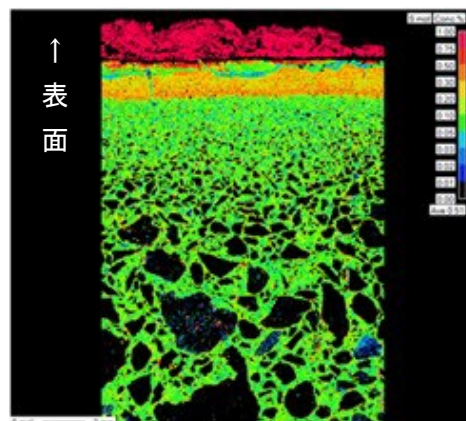


図-2 硫黄の存在形態分布例

表-2 調査結果一覧

調査No	硫化水素濃度 (ppm)		平均温度 (°C)	劣化度ランク	カルシウム溶脱深さ (mm)	硫黄侵入深さ (mm)	硫黄侵入速度 (mm/年)	腐食生成物
	最大	平均						
1	21.0	0.2	15.6	健全	0.5~0.8	0.5~0.8	0.04~0.06	モノサルフェート
2	0.5	0.3	15.6	健全	0	0	0	なし
3	191.0	3.7	21.5	健全	3.6	3.8	0.19	二水石膏
4	20.0	0.2	19.3	健全	1.5	1.5	0.07	エトリンガイト
5	9.0	5.5	15.6	健全	0.3~0.5	2.2~2.6	0.22~0.26	モノサルフェート
6	0	0	14.7	健全	0.9~1.0	0.9~1.0	0.15~0.17	エトリンガイト
7	8.0	0.2	20.0	健全	0.3	1.0	0.20	モノサルフェート
8	40.0	0.6	19.2	健全	0.6	1.6	0.32	モノサルフェート
9	3.0	0.4	24.9	健全	0.3	0.3	0.05	エトリンガイト
10	0.5	0.1	20.4	健全	0	0	0	なし
11	10.0	5.3	19.4	C	3.5	3.5	0.18	二水石膏
12	9.0	0.2	17.6	健全	1.0	1.2	0.09	モノサルフェート

#### (4)腐食関与微生物種の同定

微生物種の同定結果を図-3に示す。過去の現場調査での無添加コンクリート表面では腐食に関与する硫黄酸化細菌（図中青バー）が支配的であるのに対し、二水石膏まで腐食が進んでいる No.3 では、若干、腐食に関与しない菌も同定された。一方、腐食予備軍であるエトリンナイトが検出された No.4 においては、約 40%が腐食に関与しない菌で占められていた。これは、腐食抑制剤の添加により、腐食に関与する菌の活動が制限されたためと考えられる。

#### 5. 海外における適用範囲の検討

ベトナムハイフォン市の実証試験では3基のマンホールを布設替えして、追跡調査を実施している。布設個所は生鮮食料品を取扱う市場前の連続するマンホールで、腐食環境は3基ほぼ同じく年間平均硫化水素濃度 1.3ppm（図-4）で、日本下水道事業団の腐食環境II類に該当する。この環境では図-5から硫黄侵入速度は0.2~0.5 mm/年なので、鉄筋かぶりが25 mmの製品の場合、硫酸が鉄筋に到達するまで50年以上かかり、標準耐用年数を確保できることがわかる。

#### 6. まとめと今後の課題

腐食抑制剤の硫黄酸化細菌に対する阻害機構は、既往の研究<sup>3)</sup>により硫酸を生成させるいくつかの酵素に効果的に結びつくためであり、耐性を持つ硫黄酸化細菌の出現は考えにくい。防食被覆のように躯体表面で硫酸を遮断する技術では、長期的に見ると、硫酸の浸透や硫化水素ガスの透過により被覆層が破壊されると、急激な腐食が引き起こされるが、本技術の場合、有効成分が製品全体に分布しているため、長期的に腐食抑制効果が維持できる。今後も施設の長寿命化や維持更新費用の低減に寄与できる本技術の日本だけでなく海外布設現場における追跡調査を通じ、適用範囲の明確化とともに規格化を推進していく所存である。

#### 7. 参考文献

- 1) 根岸敦規、栗原靖夫、硫黄酸化細菌の活動を阻害する防菌剤・抗菌剤の追跡調査による腐食抑制効果の確認、第51回下水道研究発表会 pp. 661-663、2014
- 2) 日本ヒューム(株)、(株)安藤・間：公益財団法人 日本下水道新技術機構、建設技術審査証明（下水道技術）報告書「ビックリート（防菌コンクリート）」2019年3月
- 3) 杉尾剛他、Thiobacillus 属細菌によるコンクリート腐食に関する研究(第1報)、日本農芸化学会 1995年大会講演集, pp.197
- 4) ビックリート製品協会、「ビックリート（下水道用耐食性コンクリート）製品の現場追跡調査結果報告書」平成30年7月、ビックリート製品協会

【問い合わせ先】安藤ハザマ 技術研究所 環境研究部 〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1

TEL: 029-858-8811 E-mail : negishi.atsunori@ad-hzm.co.jp

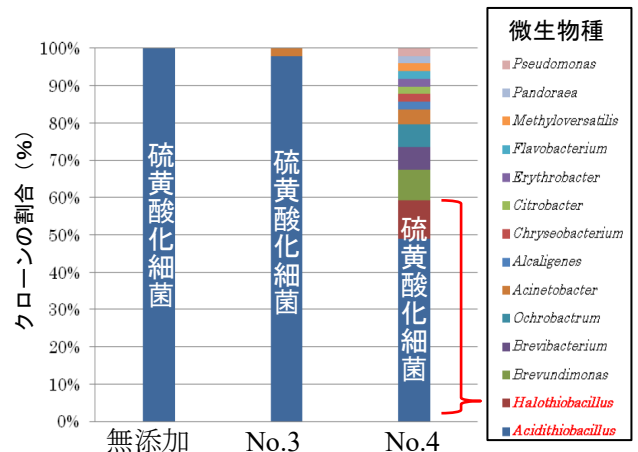


図-3 微生物種の同定結果

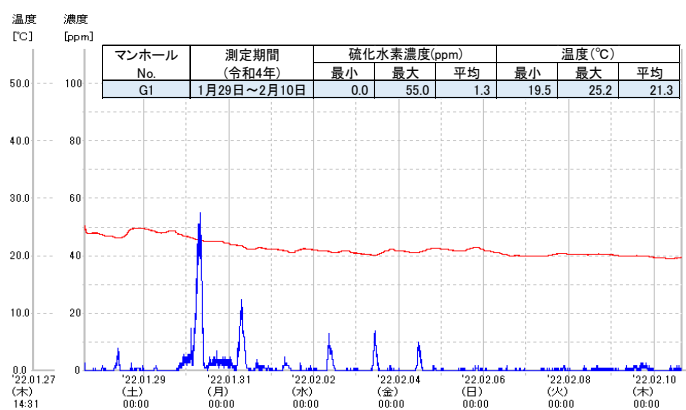


図-4 硫化水素濃度測定結果一例

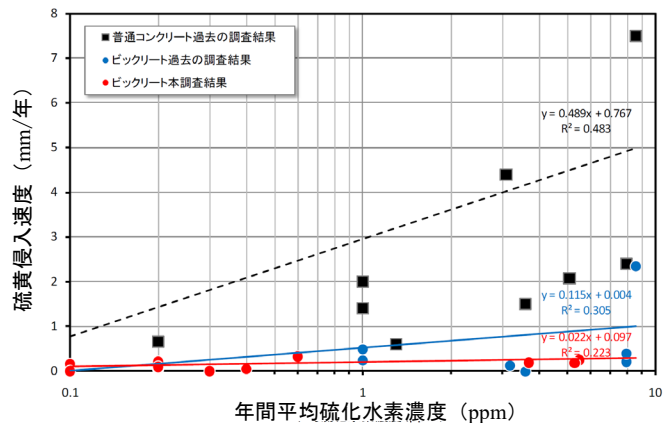


図-5 硫化水素濃度と硫黄侵入深さの関係<sup>4)</sup>