

ベトナムにおける耐食コンクリート製マンホールの布設実証試験 —国土交通省の海外実証事業に採用された技術のフォローアップ報告—

根岸 敦規^{*1}・中村 孝道^{*1}・吉野 怜次郎^{*1}・山本 善久^{*2}・中村 仁^{*2}

下水道施設におけるコンクリートの硫酸腐食原因の微生物の働きを抑えるための腐食抑制剤は、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おり、その効果は建設技術審査証明（下水道技術）により証明されている。本技術は下水道技術の海外展開のための国土交通省の実証事業（令和3年度）に採択され、ベトナムの現地材料を用いて製造したマンホールが日本の規格を満足し、微生物への抑制効果と確実な施工ができるかを確認するために現地適用性試験を実施した。その結果、品質性能と微生物に対する抑制効果を確認したので、一連の試験結果と腐食抑制の持続性を確認するために実施している追跡調査結果も含め報告する。

キーワード：下水道、コンクリート腐食、硫酸腐食、硫黄酸化細菌、腐食抑制剤、マンホール

1. はじめに

ベトナムでは下水管の腐食による道路の陥没事故が多発しており、社会問題となっている。これは、ベトナムが一年を通して気温が高く、コンクリートの腐食に関与する硫黄酸化細菌の活動が活発なためである。このような腐食対策に日本の技術である耐食性コンクリートの適用を目的としている。耐食性コンクリートに添加される腐食抑制剤¹⁾は、コンクリート二次製品の製造時に、コンクリートに添加する混和剤で、コンクリートの硫酸腐食の原因である硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌など（写真-1）の活動を抑制することができる。下水道施設の腐食は、図-1に示すように進行する。下水中に含まれる硫酸イオンが硫酸塩還元細菌の代謝により硫化水素を生成する。硫化水素は下水中に溶けているが、下水の流れが乱される環境下では気相部に放散される。気相部に生息する硫黄酸化細菌が、硫化水素を代謝し硫酸を生成することにより、コンクリートと反応して腐食する。

本技術は下水道技術の海外展開のための国土交通省の実証事業（令和3年度）に採択され、新たに開発した腐食抑制剤の有効性を実証試験で確認すると同時に、政府開発援助（ODA）で利用するために、ベトナムの現地材料を使用した耐食性コンクリート製品の品質が日本の基準を満たしていること、ベトナムの現地材料で製造されたマンホールが日本下水道協会規格（JSWS）の基準を満たしていることを確認することを目的とした。ハイフォン市の食品市場前に布設された既設マンホール3基を撤去し、2種類の腐食抑制剤入りの耐食マンホールと

比較用として通常配合のマンホールを新設した。また、本技術の腐食抑制効果を確認するため、追跡調査を実施している²⁾。

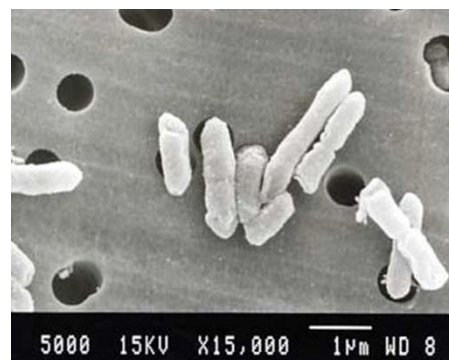


写真-1 硫黄酸化細菌
(*Acidithiobacillus thiooxidans*)

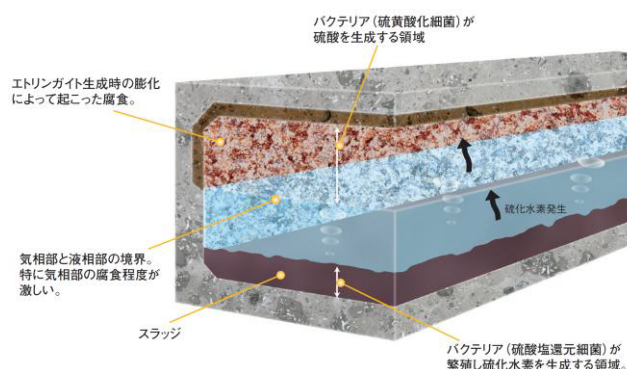


図-1 下水道施設におけるコンクリート腐食機構

*1 土木研究部 *2 土木営業第一部

2. 背景

ベトナム社会主義共和国は、工業化ならびに都市部の産業発展に伴い、ハノイやホーチミンなどの都市部へ人口集中が進み、工場廃水や生活排水が増大している。一方、下水道システムの整備が20%程度と少なく、多くの雑排水などが公共水域へ放流されており、水質汚濁が深刻となっている。このため政府は、2050年までに都市部の下水処理普及率を100%程度まで引き上げることを計画している（2016年4月6日付首相決定No.589/QĐ-TTg）。下水道整備を加速させるためには、下水処理システムの整備費用を安価にする対策が必要である。ベトナムの大都市では、下水道整備を行う道路の交通量が非常に多く、工事に伴う交通渋滞対策や既設埋設管の損傷防止対策として、日本の下水道技術を応用した非開削工法である推進工法による下水道幹線管路の建設が行われている。推進管は遠心成形で製造され、現状の腐食対策は、製品成形後に塗布型ライニングで内面に防食被覆層を形成する手法を採用しており、手間とコストがかかる問題があった。また、実証試験を行ったハイフォン市は港湾都市であり、満潮時や洪水時に海面下に埋設された下水管に海水が浸入し、海水に含まれる硫酸イオンにより硫化水素が発生しやすい。特に食品市場の周辺では排水以外にも硫黄分を多く含む食品残渣などが下水道管へ流入するため、硫化水素に起因するコンクリートの腐食による道路陥没の被害が多く発生しており、その対策が急務となっている。

3. 実証試験概要

本実証事業で使用される耐食性コンクリートは、腐食抑制剤を混入したコンクリートである。腐食抑制剤とは、コンクリート腐食の原因となる硫化水素を硫酸に変える硫黄酸化細菌や硫黄酸化能を有する鉄酸化細菌の活動を抑制する薬剤である。この腐食抑制剤をコンクリートに適正に混和することにより、下水道施設のコンクリートの硫酸腐食を未然に、あるいは初期段階で防止することができる。腐食抑制剤は写真－2に示すように粉体の状態でコンクリートに混和する。本実証事業では、国内で流通している腐食抑制剤Sと海外展開を見据え新たに開発した腐食抑制剤Cの2種類の薬剤を使用して試験を実施した。



写真－2 腐食抑制剤

4. 現地材料を用いた品質確認試験

4.1 配合試験

表－1に本実証事業で使用した現地材料の特徴を示す。北部はバクニン省の、南部はドンナイ省の日越合弁会社のコンクリート二次製品工場で使用されている材料である。配合はJIS規格の組立てマンホールと同じスペック【JIS規格:圧縮強度25N/mm²以上（28日強度）、スランプ:12.0±2.5cm（自主管理値）】が得られるように、表－2、3のように設定した。

表－1 現地材料の特徴

地域	セメント	骨材粒度	練混ぜ水
バクニン工場(北部)	良質	5～20mm	地下水
ドンナイ工場(南部)	不均質 (鉄分多い)	5～15mm	河川水浄化

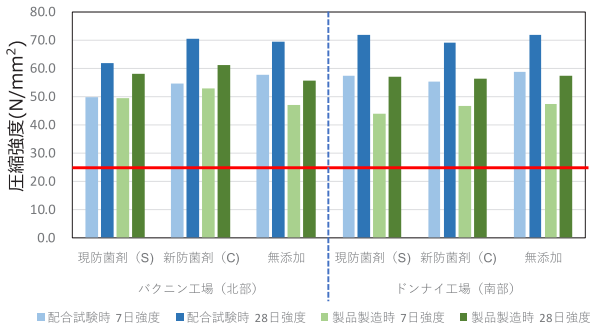
表－2 バクニン工場（北部）示方配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
		水	セメント	細骨材	粗骨材		混和材料	
		W	C	S	G1	G2	腐食抑制剤	減水剤
45	50.0	173	380	929	648	278	4	3.84

表－3 ドンナイ工場（南部）示方配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
		水	セメント	細骨材	粗骨材		混和材料	
		W	C	S	G1	G2	腐食抑制剤	減水剤
45	50.0	173	380	916	909	0	4	3.84

各配合の圧縮強度試験（7日強度、28日強度）結果を図－2に示す。図中の赤線は規格値（25N/mm²）を示しているが、配合試験時、製造時の強度は、腐食抑制剤S、Cいずれの場合も通常配合とほぼ変わらず、規格値を満足する結果となった。



図－2 圧縮強度試験結果（赤線は規格値：25N/mm²）

4.2 製品品質確認試験

配合試験において、現地材料で製造できることが確認できたので、製品工場のプラントで混練したコンクリートをもちいてマンホールを製作し、各種品質試験を実施した。表－4に製造した組立てマンホールの部材一覧を示す。なお、バクニン工場（北部）の配合で製作される直壁部材は、ハイフォン市への施工箇所の埋設寸法に合わせたため、呼び高さに違いが生じている。

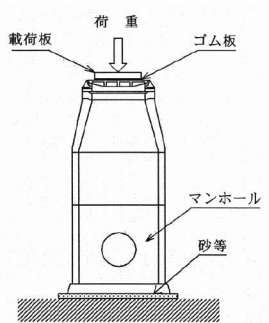
表－4 組立マンホール部材一覧

配 合		底 版	直 壁 呼び高さ (cm)				頂 版
			30	60	90	120	
北部 バクニン 工場	無添加	○	○	-	-	○	○
	腐食抑制剤 S	○	○	-	-	○	○
南部 ドンナイ 工場	腐食抑制剤 C	○	-	-	○	○	○
	無添加	○	○	-	-	○	○
	腐食抑制剤 S	○	○	-	○	-	○
	腐食抑制剤 C	○	○	-	-	○	○
	規格値 (mm)	1,100mm φ×200	900mm ^φ ×300	900mm ^φ ×600	900mm ^φ ×900	900mm ^φ ×1,200	1,100mm ^φ ×145

(1) 軸方向載荷試験

製造した耐食性マンホールについて、「下水道用プレキャスト鉄筋コンクリートマンホール（JSWAS A-11）」規格に準拠した軸方向載荷試験を実施した。試験方法例³⁾を図－3に載荷試験状況を写真－3に示す。

載荷試験の結果、南部、北部の材料で製造したマンホールは JSWAS A-11 規格値の 150kN まで載荷してもひび割れ等の性状変化がないことを確認した。



図－3 軸方向載荷試験例³⁾

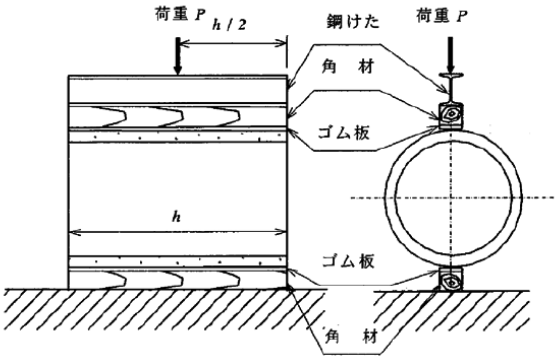


写真－3 軸方向載荷試験状況（北部材料）

(2) 側方曲げ強さ試験

製造した耐食性マンホールに対し、「下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール（JSWAS A-11）」の規格に準拠した図－4示すように側方曲げ強さ試験³⁾を実施した。

試験状況を写真－4に示す。その結果、南部、北部の材料で製造したマンホールは JSWAS A-11 規格値の 6.9kN/m 載荷してもクラック発生など、マンホール性状に異常がないことを確認した。



図－4 側方曲げ強さ試験例³⁾



写真－4 側方曲げ強さ試験状況（南部材料）

(3) 水密性試験

製造した耐食性マンホールに対し、「下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール (JSWAS A-11)」の規格に準拠した図-5に示すように水密性試験を実施した。

試験状況を写真-5に示す。その結果、南部、北部の材料で製造したマンホールはJSWAS A-11規格値の0.05MPaの水圧を3分間保持でき、規格値の水密性能を有することを確認した。

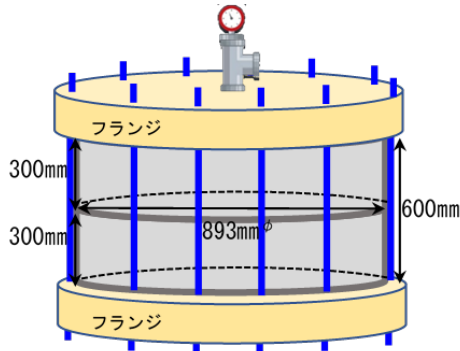


図-5 水密試験例



写真-5 水密試験状況 (南部材料)

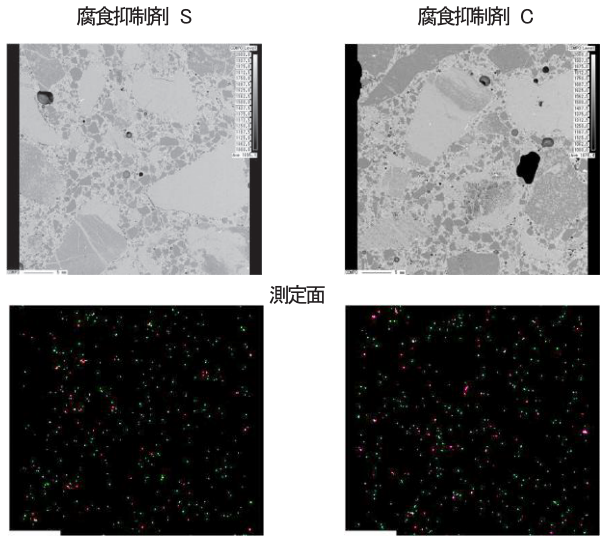


図-6 腐食抑制成分分散性確認試験結果
(明るい点が腐食抑制剤成分)

4.3 腐食抑制剤分散性確認試験

強度試験用試験体を用い、腐食抑制剤の分散状況を主成分の金属化合物をターゲットとして元素の分布を測定できる電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて分析を実施した。図-6に示すように、試験体全体に腐食抑制剤成分が分布していることが確認できた。また、データは示さないが、蛍光X線分析 (XRF) により得られた、試験体中の腐食抑制剤成分の含有量を測定した結果、規定量の腐食抑制剤成分を含有していることが確認できた。

4.4 腐食抑制性能確認試験

強度試験に使用した6本の試験片 (通常配合、腐食抑制剤C添加、腐食抑制剤S添加、各工場) を、硫酸化細菌 (*Acidithiobacillus thiooxidans*) などの複数の腐食微生物、微生物の培地、pH指示薬 (ブロモクレゾールグリーン) (pH < 4で黄色、pH > 4で青色) を含むpHを2.5に調整した試験液に1時間浸漬した。判定薬はpH=4付近に変色域を持つ指示薬を用いたもので、通常配合のコンクリートでは腐食関与微生物の活動により、硫酸が生成されpHが低下 (黄色のまま) するが、耐食性コンクリートでは腐食関与微生物の活動が抑制され、セメント成分が溶出してpHが上昇 (青色に変化) することで判定が可能である⁴⁾。この呈色反応は1時間以内で安定するので、約1時間での判定が可能であり、製品検査時の適用を想定している。写真-6に測定結果を示す。この写真に示すように、通常配合のサンプルは黄色のままであるのに対し、腐食抑制剤を添加したサンプルは青色に変化し、微生物の活動を抑制しており、腐食抑制性能を有することが確認できた。

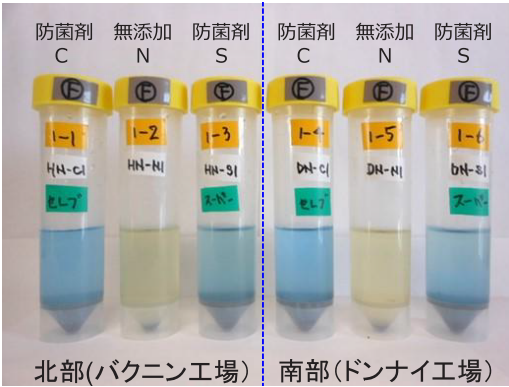


写真-6 腐食抑制性能判定薬試験結果

5. 既設マンホールの布設替え

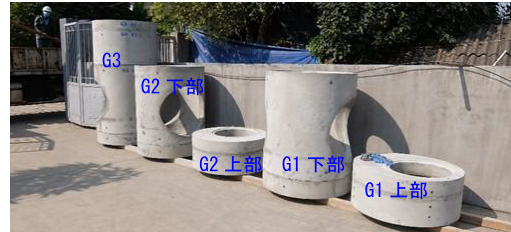
ハイフォン下水道排水公社（HPSADCO）への事前ヒアリングにより、硫化水素濃度が高く、コンクリートが腐食環境にあるハイフォン市内 Le Chan 区、Du Hang 町、Cot Den 市場前道路に布設された隣接するマンホール 3 基を改築更新箇所として選定した。図－7 に実証試験におけるマンホール改築更新箇所を示す。3 基の既設マンホールを、通常配合のコンクリートと（G1）2 種類の腐食抑制剤を添加して耐食性を付与したコンクリート（G2：腐食抑制剤 S、G3：腐食抑制剤 C）で製造された組立マンホールに交換した。図－7 に実証試験におけるマンホール改築更新箇所を示す。3 基の既設マンホールを、通常配合のコンクリートと（G1）2 種類の腐食抑制剤を添加して耐食性を付与したコンクリート（G2：腐食抑制剤 S、G3：腐食抑制剤 C）で製造された組立マンホールに交換した。



図－7 耐食性マンホール布設箇所

交換する前の既設マンホールの腐食状況（G3）を写真－7 に示す。コンクリート表面は骨材の露出や硫黄の沈着が認められ、腐食が進行している状況が確認できた。

写真－8 に布設マンホール外観を、写真－9 に組立マンホール設置状況を、写真－10 に設置後の市場前道路の状況を示す。昼間は買い物客で賑わう場所なので、布



写真－8 布設マンホール外観



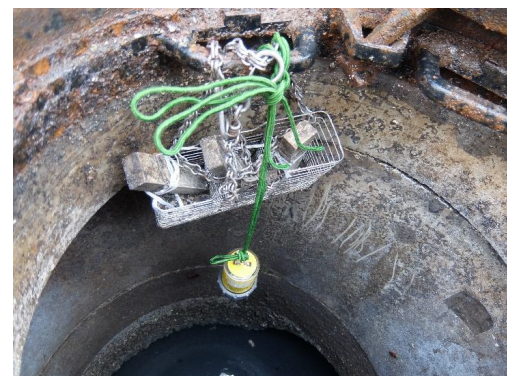
写真－9 組立マンホール設置状況（G3：腐食抑制剤 C）



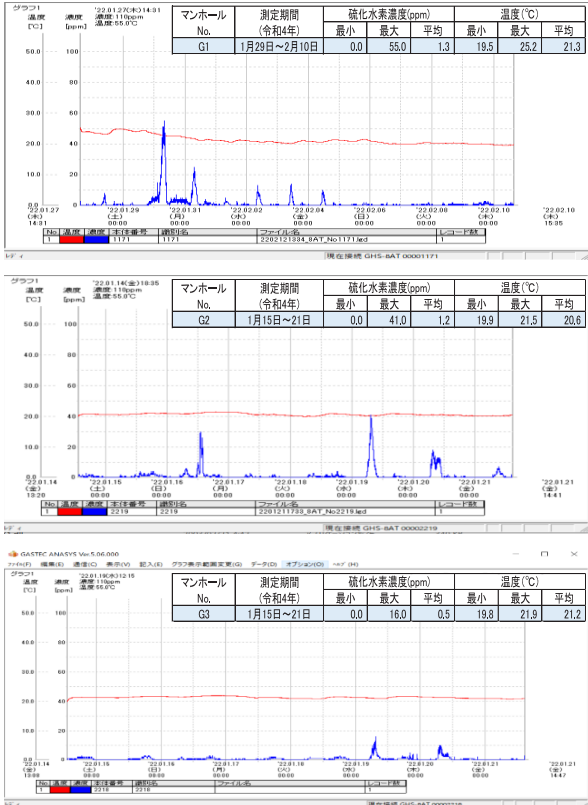
写真－10 マンホール布設替え状況（G3：腐食抑制剤 C）



写真－7 既設マンホール（G3）腐食状況



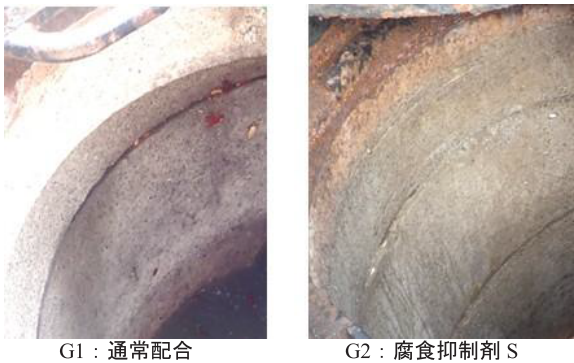
写真－11 テストピース設置および腐食環境測定状況（G2）



図－8 テストピース設置時の腐食環境
(青：硫化水素濃度 赤：温度)

設替えの施工は夜間に実施し、問題なく施工できることを確認した。

長期間にわたる本技術の腐食抑制効果を確認するため、布設したマンホール内に写真－11に示すようにテストピースを設置し、追跡調査を実施している。図－8に布設替え時の硫化水素濃度と各マンホール内温度変化を示す。硫化水素濃度は一定ではなく、時間帯によって、高くなることがあったが、これは流入管からの下水流量の増加などが原因と考えられる。平均温度は20℃前後で、平均硫化水素濃度は0.6～1.3ppmであった。硫化水素濃度の最大はG1マンホールの55ppmであった。設置から1年経過毎に硫化水素濃度の測定とマンホールおよび



写真－12 マンホール内面状況（3年経過時）

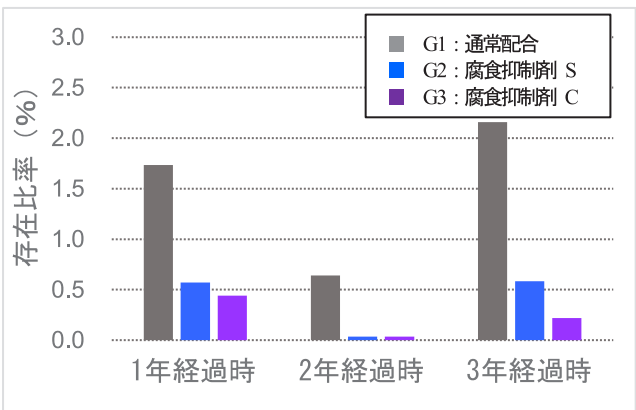
テストピースの表面状況の確認を実施して、劣化状況を評価している。

3年経過時観察の結果、写真－12に示すように、通常配合マンホール（G1）は表面が白く脆くなっているのに対し、腐食抑制剤添加マンホール（G2、G3）は設置時とほぼ変わらない平滑な表面を維持していた。各マンホール表面から付着物をサンプリングし微生物遺伝子解析を実施することで、付着物に含まれる微生物種の特定制と相対存在比率を調査した。表－5に1年経過時のマンホール表面に生息する腐食に関与する微生物と各マンホールでの全微生物に対する存在比率を示す。硫黄酸化に関与する検出された微生物のうち *Thiobacillus* 属が突出しており、腐食原因の微生物としてはベトナムにおいても日本と同等であることが確認できた。

表－5 腐食に関与する微生物の存在割合（1年経過時）

存在比率 (%)			Genus (属)	特徴
無添加 G1	防腐剤 S G2	防腐剤 C G3		
1.7289	0.5605	0.4311	<i>Thiobacillus</i>	化学合成無機栄養性
0.0035	0.0016	0.0004	<i>Thiovirga</i>	化学合成無機栄養性
0.0007	0.0023	0.0024	<i>Thioclava</i>	通性独立栄養性
0.0009	0.0041	0.0006	<i>Thioalkalimicrobium</i>	好塩・アルカリ性、化学合成無機栄養性
0	0.0016	0.0032	<i>Thioalkalivibrio</i>	好塩性、化学合成無機栄養性
0	0.0005	0.0020	<i>Thiomonas</i>	中等度好酸性、通性独立(混合)栄養性
0	0.0002	0	<i>Thiohalophilus</i>	好塩性、化学合成無機栄養性
1.73	0.57	0.44	Total	

図－9に1年、2年、3年経過時の硫黄酸化細菌の存在比率を示す。この図に示すように通常配合マンホール（G1）では硫黄酸化細菌の存在比が経時的増加傾向にあるのに対し、腐食抑制剤 S 添加マンホール（G2）ではほぼ同じ、腐食抑制剤 C 添加マンホール（G3）では減少していた。また、腐食抑制剤添加マンホールにおける硫黄酸化細菌の存在比率は、1年後で通常配合マンホールの1/4～1/3に、また3年経過時では約1/6に減少しており、腐食抑制効果が持続していることが確認された。2年経



図－9 各マンホールでの硫黄酸化細菌の存在比率 (%)

過時に存在比率の割合が1年経過時、3年経過時と比較して小さくなっているが、これはサンプリング直前に大雨が降り、マンホール内面の微生物が洗い流されたことが影響していると考えられる。

6. まとめ

本実証試験のまとめを以下に示す。

- (1) ベトナム国内で入手可能な材料を用いて耐食性コンクリート基本性状が日本の圧縮強度、スランプの規格通りに製造できることを確認した。
- (2) ベトナム国内で入手可能な材料を用いた耐食性コンクリートを用いて製造したマンホールが日本の規格を満足することを確認した。
- (3) 硫酸化細菌の活動を抑制する腐食抑制剤成分が耐食性コンクリート内部に均一に分布することを確認した。
- (4) 製造された耐食性コンクリートから採取した試験片を用いて腐食抑制性能判定試験を実施した結果、腐食抑制性能を有することが確認された。
- (5) 現地での試験施工の結果、問題なく施工できることが確認された。
- (6) 3年間に及ぶ追跡調査の結果から、マンホール内部のコンクリート表面に生息する腐食に関与する微生物数が耐食性コンクリートで製造されたマンホールにおいて、通常配合マンホールの微生物数より少なく、経年で減少する傾向であることが確認された。

謝辞

本実証事業を実施するにあたり、ご協力いただいた国土交通省 水管理・国土保全局下水道部 下水道企画課 国際技術室、国際協力機構（JICA）ベトナム専門家、ハイフォン市下水道排水公社に心から感謝申し上げます。

本報告書は、WOW TO JAPAN プロジェクトの成果を追跡調査結果も含めてとりまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) 日本ヒューム㈱, ㈱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）」2024年3月
- 2) 新田智博, 長岡裕, 根岸敦規, 耐食性鉄筋コンクリート製品の下水道技術海外実証事業における適用性確認試験, 第60回下水道研究発表会 pp. 871-873, 2023
- 3) 日本下水道協会規格「下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール（JSWAS A-11）」, 2005
- 4) 根岸敦規, 杉尾剛, 井川秀樹, pH指示薬を用いた耐食性コンクリート製品の腐食抑制効果判定手法の研究, 第55回下水道研究発表会 pp. 34-36, 2018

Demonstration test of corrosion-resistant concrete manholes in Vietnam - Follow-up report on technologies adopted in the MLIT's overseas demonstration project -

Atsunori NEGISHI, Takamichi NAKAMURA, Reijiro YOSHINO, Yoshihisa YAMAMOTO and Hitoshi NAKAMURA

Corrosion inhibitors (antibacterial agents) added to sewerage facilities to suppress the activity of sulfur-oxidizing bacteria, which cause sulfuric acid deterioration of concrete, are widely used in secondary concrete products such as sewer pipes and manholes. Their effectiveness has been proven by the Construction Technology Review Certification (Sewerage Technology). This technology was adopted for the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism's Sewerage Technology Overseas Demonstration Project (2021) to promote the overseas expansion of sewerage technology. A field applicability test was conducted to verify that manholes manufactured using local materials in Vietnam met Japanese standards, and that they were effective in suppressing microorganisms and could be reliably constructed. As a result, quality performance and microbial suppression were confirmed. This report includes the results of a series of tests and the results of a follow-up survey being conducted to verify the sustainability of corrosion inhibition.
