

耐硫酸コンクリートを用いた防食工の供用 7 年における追跡調査

大成建設（株） 正会員○宮原茂禎，正会員 大脇英司
フェロー会員 新藤竹文
宇部興産（株） 佐々木彰， 藤野由隆
東京都下水道サービス（株） 林悦朗， 谷津清宏
東京都下水道局 武元貴裕， 田中信次

1. はじめに

下水道施設のコンクリートは微生物由来の硫酸により激しく腐食する場合がある．著者らは施設のコンクリートの 50 年以上のメンテナンスフリーを目指して通常の 10 倍以上の耐硫酸性を有する耐硫酸コンクリートを開発し，実用化を進めている．稼働中の水再生センターにおいて，壁面と天井面の計 13m²の補修工事に断面修復と防食を兼ねて 2013 年に適用した¹⁾．本稿では供用期間 7 年において耐硫酸コンクリートの健全性を調査した結果を報告する．

2. 耐硫酸コンクリートの材料・配合および補修工法の概要

耐硫酸コンクリートは，耐硫酸性付与剤（高分子界面活性剤）と石灰石材料の使用により（表 1），硫酸による腐食速度を通常のコンクリートの 1/10 以下に低減した材料である．耐硫酸性付与剤の効果により，硫酸との接触時に表面に緻密なせっこう層が形成されて，以降の腐食が大幅に抑制される²⁾．これに加えて，後述の充填工法においては，下水汚泥焼却灰を分級・粉砕して製造した粒度調整灰を添加して資源の有効利用を図った．

施設の補修は充填工法とパネル工法により行った（図 1）．耐硫酸コンクリートは自己充填型の高流動コンクリートであり，充填工法では締固めを行わずに型枠に充填した．パネル工法では耐硫酸コンクリートのパネルを設置し，パネルと同等の耐硫酸性をもつグラウトで裏面を充填して既設コンクリートと一体化した．施工厚さは両工法ともに 35mm とした．最後にセパレータ孔や施工目地を耐硫酸性の高いエポキシ系の目地材で処理し，供用を開始した．供用中に測定した施設の年平均 H₂S 濃度は 40ppm であった³⁾．

3. 供用期間 7 年における耐硫酸コンクリートの追跡調査

施工から 7 年間の耐硫酸コンクリートの表面の変化を図 2 に示す．供用約 1 年で天井面ではせっこう層が水滴状に析出しはじめ，供用 3 年において壁を含め全体を覆った¹⁾．供用 7 年では，脆弱なせっこうが厚く析出していた．この脆弱部を除去した表面には白い析出物が固着しており，粉末 X 線回折の結果，せっこうであった．また，粗骨材の露出がみられた．この変質の状況は工法や配合に関わらず同様であった．目地材は全く劣化していなかった．そこで，目地材の表面を耐硫酸コンクリートの初期の表面位置として，脆弱部除去後の深さ（脆弱化深さ）

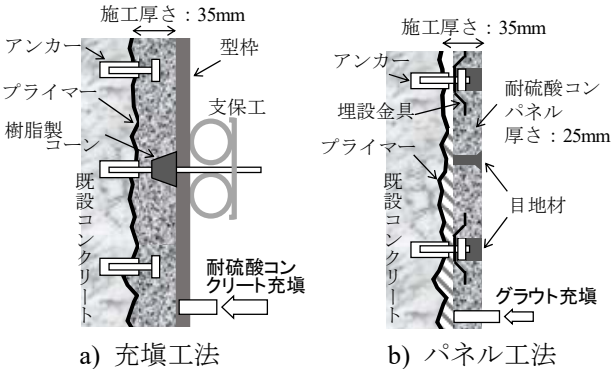


図 1 補修工法の概要

表 1 耐硫酸コンクリートの配合

配合名		粒度調整 灰添加率 (C×%)	単位量 (kg/m³)							PP 繊維 (vol%)	
			水	普通セメント		石灰石 微粉末	粒度 調整灰	骨材			耐硫酸性 付与剤
膨張材		砂※1		砂利※2							
充填 工法	充填-0	0	175	320	30	352	0	873	581	13	0.15
	充填-5	5				306	16	917			
	充填-10	10				262	32	961			
パネル 工法	パネル	—	276	464	0	386	—	1063	—	20	1.5
	グラウト		230	384	30	366		557		23	0

※1：石灰石砕砂，※2：石灰石碎石，粗骨材最大粒径＝10mm

キーワード 下水道 コンクリート 耐硫酸コンクリート 防食被覆工 経年調査 メンテナンスフリー

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7265

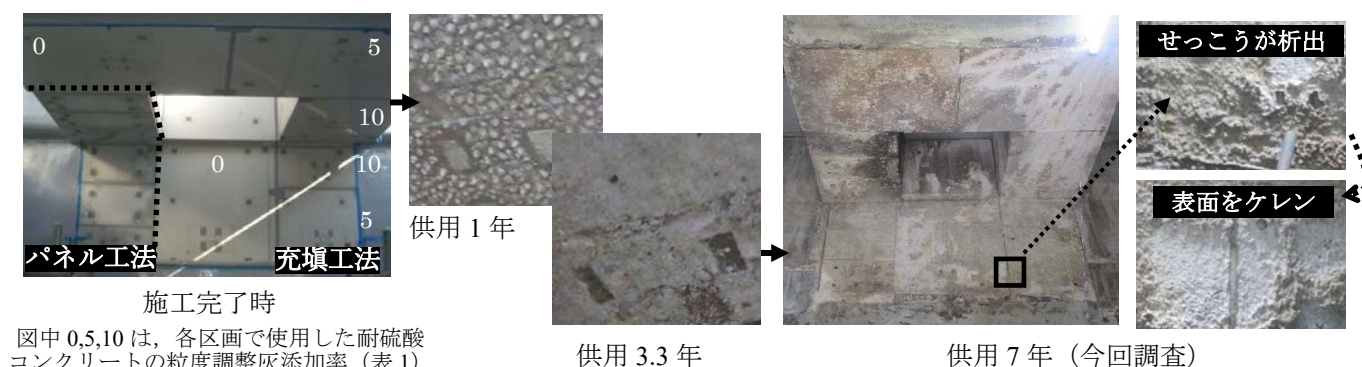


図2 耐硫酸コンクリートの供用期間中の表面の変化

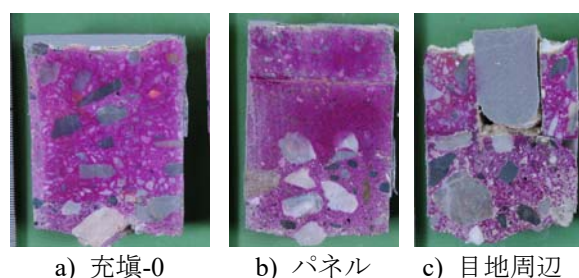
を計測した。7年間の脆弱化深さの平均値は3.3 mmであった(表2)。

内径 50mm のコアビットで表面から既設コンクリートまで切込みを入れ、建研式引張試験により接着強さを測定した。測定した8箇所の平均値は2.06 N/mm² (最小値 1.77 N/mm², 最大値 2.67 N/mm²) であり、下水道事業団⁴⁾が断面修復材や防食被覆材の接着強さとして規定する1.5 N/mm²を十分に上回った。なお、破壊箇所は耐硫酸コンクリートまたは既設コンクリートの母材であり、界面はさらに高い接着強さをもつと考えられた。

接着強さ試験で得られたコンクリートを用いて測定した中性化深さはいずれの配合でも0mmであった(写真1)。腐食深さは、脆弱化深さと残存コンクリートの中性化深さの和と定義されるが⁴⁾、耐硫酸コンクリートでは残存コンクリートの内部は健全であり、腐食深さは脆弱化深さと同一となった。なお、目地の周囲も中性化しておらず、弱点となりやすい目地とコンクリートの界面においても腐食はみられなかった。

表2 供用7年における脆弱化深さ

部位・配合		測定箇所数	脆弱化深さ(mm)
壁面	充てん-0	12	2.2
	充てん-5	6	4.3
	充てん-10	6	2.2
天井面	充てん-0	6	4.0
	充てん-5	10	3.9
	充てん-10	11	4.1
	パネル	5	2.0
全平均		56	3.3



a) 充填-0 b) パネル c) 目地周辺

(試験体上部の灰色の部分は接着強さ試験で使用了接着剤)

写真1 耐硫酸コンクリートの中性化深さ

4. 既存の防食厚みの設計法の適用性評価

日本下水道事業団は、耐硫酸性をもつモルタルで表面の防食を行う場合の厚みの設計方法を規定している⁴⁾。耐硫酸コンクリートでもこれに準じて7年間の供用に必要な厚みを求め(1式、2式)、設計法の適用性を評価した。

通常モルタルの劣化速度(mm/年)= $1.42 \times \ln(x) + 1.05$ (1), 設計厚み(mm)= $0.0145 \times \gamma_{cd} \times \alpha_{sd} \times \alpha_{md} \times t$ (2)

ここで、x: 施設の年平均H₂S濃度(ppm), γ_{cd} : 安全係数 1.265, α_{sd} : 対象構造物の劣化速度(mm/年, (1)式で算出), α_{md} : 耐硫酸コンクリートの硫酸浸漬による劣化速度(mm/日), t: 予定供用日数(日), 0.0145: 通常モルタルの硫酸浸漬による劣化速度(0.19 mm/日)から決まる係数(1/0.19 mm/日/365日 $\approx$ 0.0145)である。

施設のH₂S濃度を40 ppm, 予定供用期間を7年として設計厚みを計算すると、通常コンクリートは56 mm, 10倍の耐硫酸性をもつ本コンクリートは5.6 mmと計算される。実測値(3.3 mm)はこれよりも小さくなっており、耐硫酸コンクリートの施工厚さは、既存のモルタルの設計法を準用して安全側に設計できることが確認できた。

5. まとめ

10倍の耐硫酸性をもつ耐硫酸コンクリートにより下水道施設を補修し、供用開始後7年において健全性を評価した。耐硫酸コンクリートの腐食深さは平均で3.3mmとわずかであり、今後も長期の供用が期待できる。また、耐硫酸コンクリートは既往のモルタルの手法⁴⁾に準じて防食厚さを設計できることを確認した。

参考文献 1) 大脇英司ほか: コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第17巻, pp.463-468, 2017. 2) 小西和夫ほか: セメントコンクリート論文集, No.57, pp.315-320, 2003. 3) 林悦朗ほか: 第54回下水道研究発表会講演集, pp.771-773, 2017. 4) 日本下水道事業団: 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル, 2017.