



コンクリートの長寿命化に寄与する耐食技術のご紹介

安藤ハザマ 技術研究所
根岸 敦規

ご紹介内容



1. 下水道に特有なコンクリートの劣化
2. コンクリートの腐食抑制技術と防食技術
3. 既設コンクリート構造物の補修・補強

ご紹介内容



1. 下水道に特有なコンクリートの劣化
2. コンクリートの腐食抑制技術と防食技術
3. 既設コンクリート構造物の補修・補強

下水道施設におけるコンクリートの劣化



★下水道施設特有の劣化原因

①微生物が作り出す硫酸による腐食：気相部

- ・管路施設：圧送管出口人孔、伏越し部人孔、段落ち部人孔
- ・処理場：汚泥関連施設、最初沈殿池、流入渠、連絡管路

②重炭酸塩によるカルシウムの溶脱：水中部

- ・エアレーションタンク、オゾン処理槽、高度処理施設

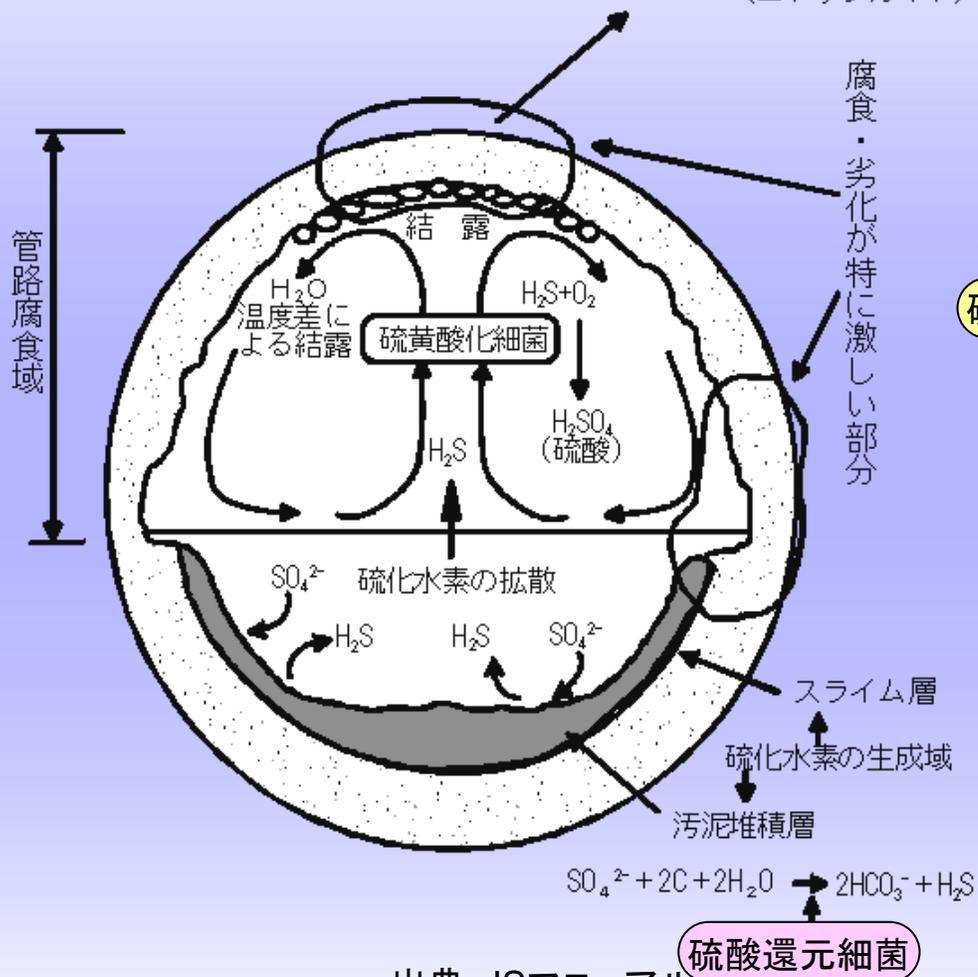
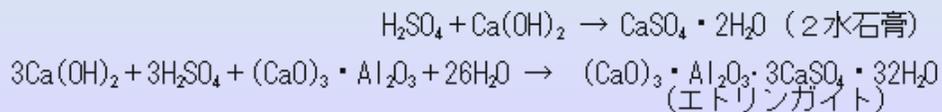
③薬品による劣化

- ・塩素消毒槽など

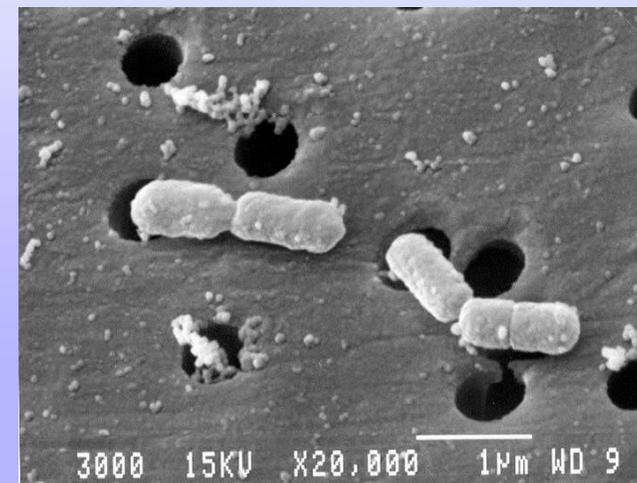
④有機酸による劣化：液相部

- ・消化タンク（初期運転時）、汚泥施設

下水道施設におけるコンクリートの腐食



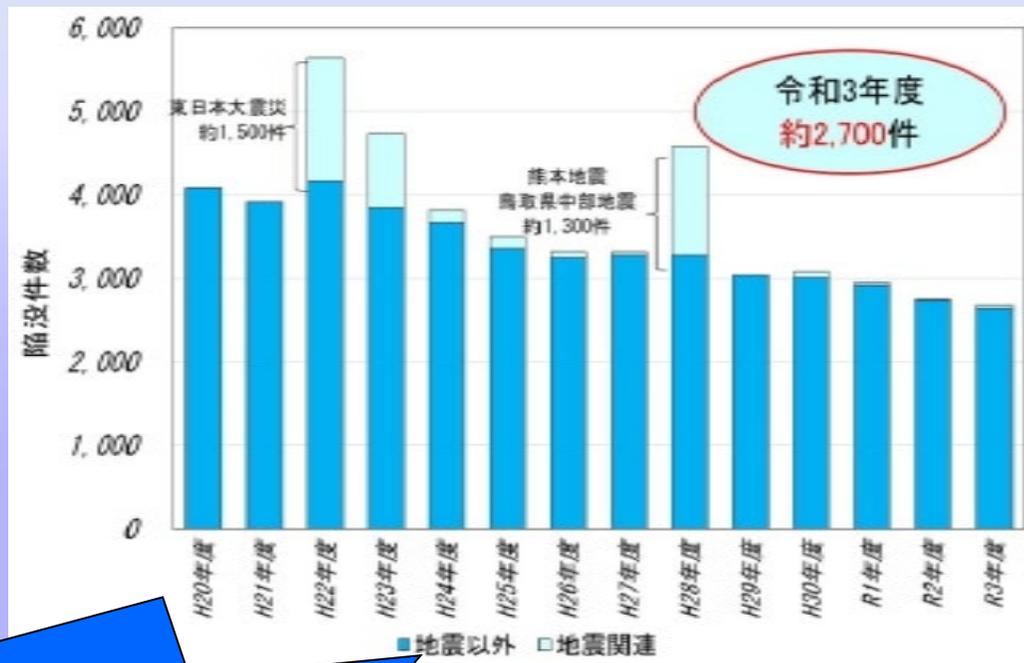
硫酸化細菌



- ①硫酸塩還元細菌が硫化水素を生成
 - ②下水が乱され硫化水素がガスとして放散
 - ③硫酸化細菌が硫化水素から硫酸を生成
- 水温、下水中の硫酸イオン濃度、気相中の H_2S ガス濃度、湿度、気温等の腐食環境に大きく影響を受ける。

出典: JSマニュアル

コンクリートの劣化による事故



出典：国土交通省HP

出典：国土交通省HP

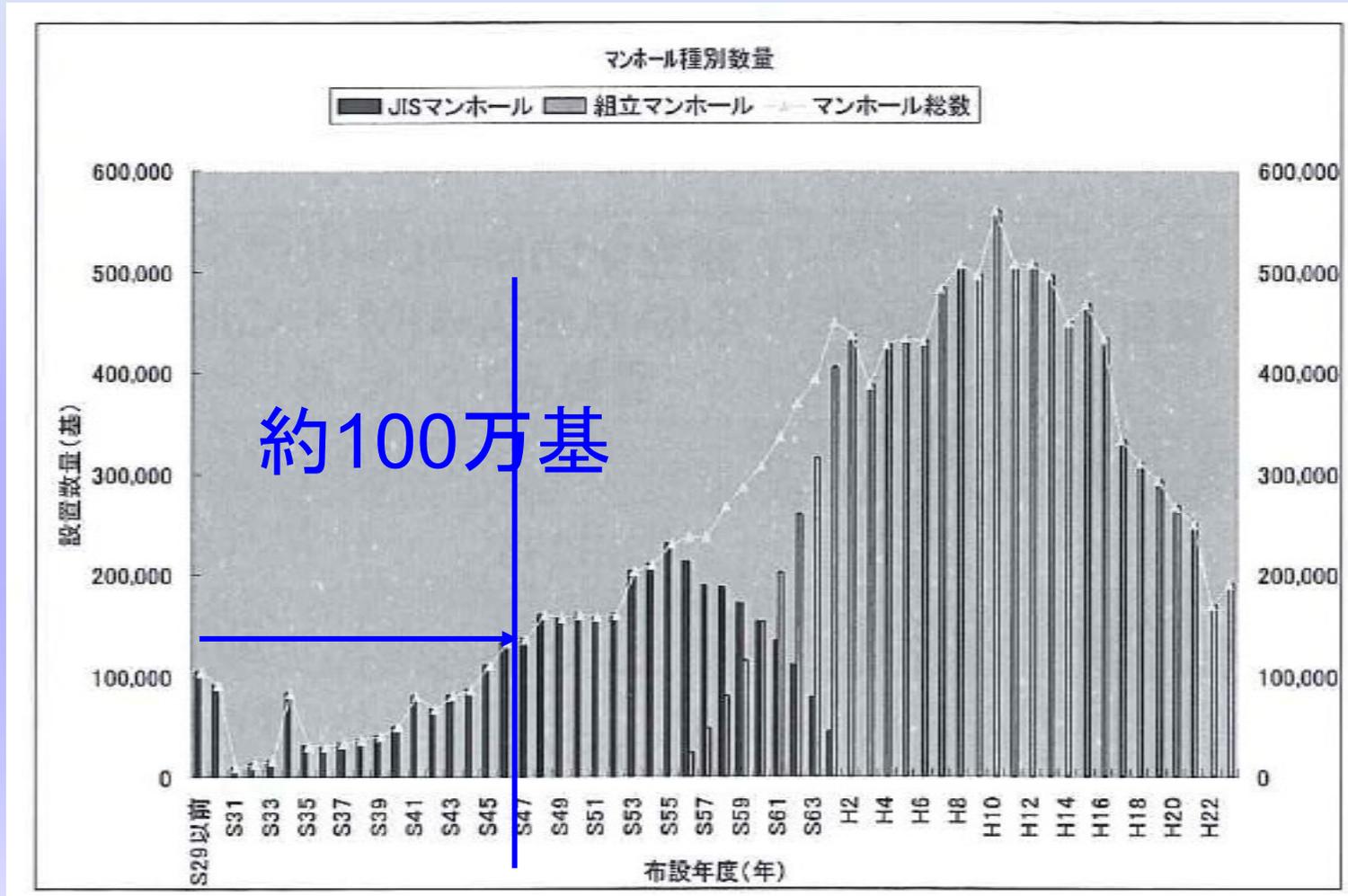
下水道管路の劣化

- 道路陥没による第3者災害
- 酸欠事故

下水道施設コンクリートの劣化

- 下水処理機能の低下
- 墜落、転落事故

耐用年数を迎えるマンホール



コンクリートの腐食事例



下水管路：上部からの漏水

コンクリートの腐食事例



汚泥濃縮槽（鉄筋も消失）

コンクリートの腐食事例



最初沈殿池：気相部は劣化、水中部は健全

コンクリートの腐食事例



セパレータ部は新設の状態に残っている

ご紹介内容



1. 下水道に特有なコンクリートの劣化
2. **コンクリートの腐食抑制技術と防食技術**
3. 既設コンクリート構造物の補修・補強

下水道施設維持更新関連の指針類



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指針・同マニュアル」（令和5年3月）
炭酸劣化の記述を充実試験方法を改正。

下水道事業支援センター

- ・下水道コンクリート防食工事施工・品質管理の手引き（案）
上記マニュアル改訂を受けて作業中

日本下水道協会

- ・「下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）」（2013年6月）
- ・「下水道管路施設ストックマネジメントの手引き」（2017年1月）
- ・「管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」（2017年7月）

地域資源循環センター

- ・「農業集落排水施設のコンクリート防食の手引き」（令和2年8月）
- ・「農業集落排水施設設計指針 令和2年度改訂版」

日本下水道新技術機構

- ・「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」（2014年12月）
長寿命化計画策定のための調査・診断、修繕・改築に対する関する考え方を明確化

東京都下水道局施設管理部

- ・「コンクリート改修技術マニュアル 処理施設・管路施設編 平成20年」
- ・「コンクリート改修技術マニュアル センター・ポンプ所編 平成31年4月」
シートライニング工法の耐久年数を15年に規定

腐食抑制技術と防食技術



表 3-2 硫酸によるコンクリート腐食の主な対策技術¹⁾

対策技術の分類	技術の分類	対象施設	原理と対策
コンクリート腐食の抑制技術 (硫酸生成の抑制)	下水中の硫酸イオン濃度低下	主として 管路施設	①硫化水素の生成ポテンシャルの低下 ・工場排水、温泉排水等の規制 ・海水浸入の防止
	下水あるいは汚泥中の硫化物生成抑制	管路施設	①嫌気性化防止 ・圧送管への空気注入、酸素注入、硝酸塩注入等 ・伏越し管の構造変更 ・自然流下の管きよでの再曝気、沈殿物の排除、コンクリート表面の洗浄、フラッシング
		ポンプ場・ 処理場	①嫌気性化防止 ・揚水ポンプの適正運転 ・処理場の適正運転
	溶存硫化物の固定と硫化水素の気相中への放散防止	管路施設 ポンプ場・ 処理場	①液相中の硫化物の酸化・固定化 ・塩化第二鉄注入、ポリ硫酸第二鉄注入 ②硫化水素の放散を抑制する構造 ・合流部の攪乱防止 ・段差・落差の解消
	硫酸を生成する硫黄酸化細菌の活動抑制	管路施設 ポンプ場・ 処理場	①気相中 H ₂ S ガス濃度の希釈・除去 ・換気、脱臭 ②コンクリート表面の乾燥 ・換気 ③硫黄酸化細菌の代謝抑制 ・コンクリートへの防菌剤・抗菌剤混入
コンクリート防食技術 (コンクリートへの対策)	コンクリートの耐硫酸性向上	管路施設 ポンプ場・ 処理場	①コンクリート表面の被覆 ・塗布型ライニング工法 ・シートライニング工法 ②コンクリート自身の耐硫酸性向上 ・耐硫酸性コンクリート

★JSマニュアルの目的★



JSマニュアルは、下水道構造物の**硫化水素**に起因する硫酸によるコンクリート構造物の腐食対策技術を示し、コンクリート腐食対策に係る設計・施工及び維持管理に関する具体的な手法を示すことで、コンクリート構造物の**耐用年数**を可能な限り長く保持することを目的とする。

①コンクリート腐食抑制技術

コンクリート腐食の原因となる硫化水素の発生を抑制するため、汚水及び汚泥の滞留又は腐敗の防止、換気・脱臭装置の設置などを行う。⇒**防菌コンクリート**

②コンクリート防食技術

硫化水素に起因する硫酸によるコンクリート腐食を防止するためにコンクリート表面に防食被覆を行う。設計、施工についてはJIS A 7502-2,3に基づいて実施する。⇒**スラスラ工法**

腐食抑制：硫黄酸化細菌の代謝抑制



防菌剤、抗菌剤とは

「コンクリートの硫酸劣化の原因となる硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌の活動を抑制するために、予めコンクリートへ添加する混和材料」

- 無機金属系防菌剤（審査証明取得技術）
- 有機酸金属塩系防菌剤（審査証明取得技術）

適用事例

★二次製品への適用 → 日本下水道協会Ⅱ類認定技術
「耐食性鉄筋コンクリート管」（腐食環境Ⅲ種対応）

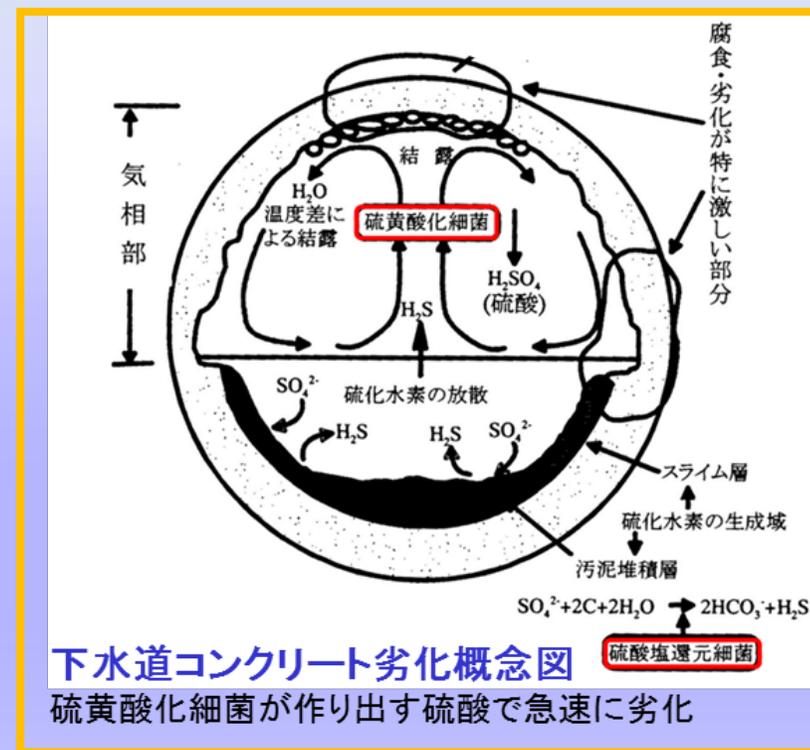
★現場施工への適用 → JSマニュアルの腐食抑制技術

→ 年間平均 H_2S 濃度 $<10ppm$ で効果（腐食環境Ⅱ類：防食規格B種相当）

20年以上に及ぶ追跡調査から年間平均 H_2S 濃度 $<30ppm$ で効果が確認されている

★海外展開 → 国土交通省海外実証事業（WOW TO JAPAN）に採択。

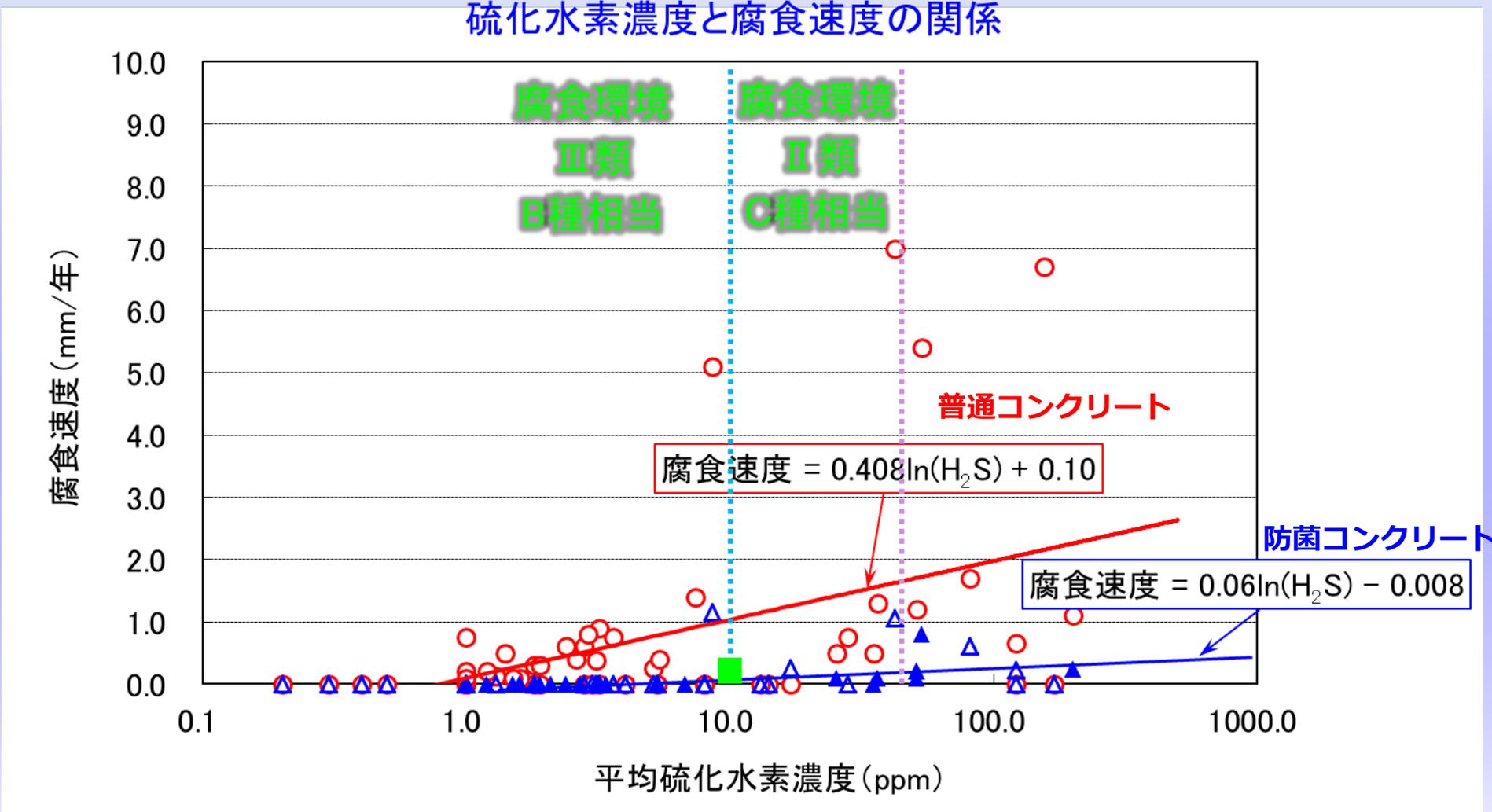
ベトナムハイフォン市で組立人孔の布設替えと追跡調査を実施



追跡調査結果



硫化水素濃度と腐食速度の関係



防菌コンクリートは普通コンクリートに比べ1/10~1/18の腐食低減効果あり

海外実証事業 (ベトナムハイフォン市)



国土交通省 下水道技術海外実証事業 (WOWTOJAPAN)

現地材料を用い、日本の規格でコンクリート製品を現地製作

- ▶ 普通コンクリート
- ▶ 防菌コンクリートS,Cで製作した組立マンホールを施工



市場前道路



G3 防菌剤C

G2: 防菌剤S

G1: 無添加

硫酸化細菌存在比率 (設置1年後)

存在比率 (%)			Genus (属)	特徴
無添加 G1	防菌剤 S G2	防菌剤 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	



マンホール布設状況



ハイフォン市のテレビ局の取材を受け、ニュースで紹介

布設替えの様子は、ハイフォン市のテレビの取材を受け、翌日のニュースで、紹介されました。



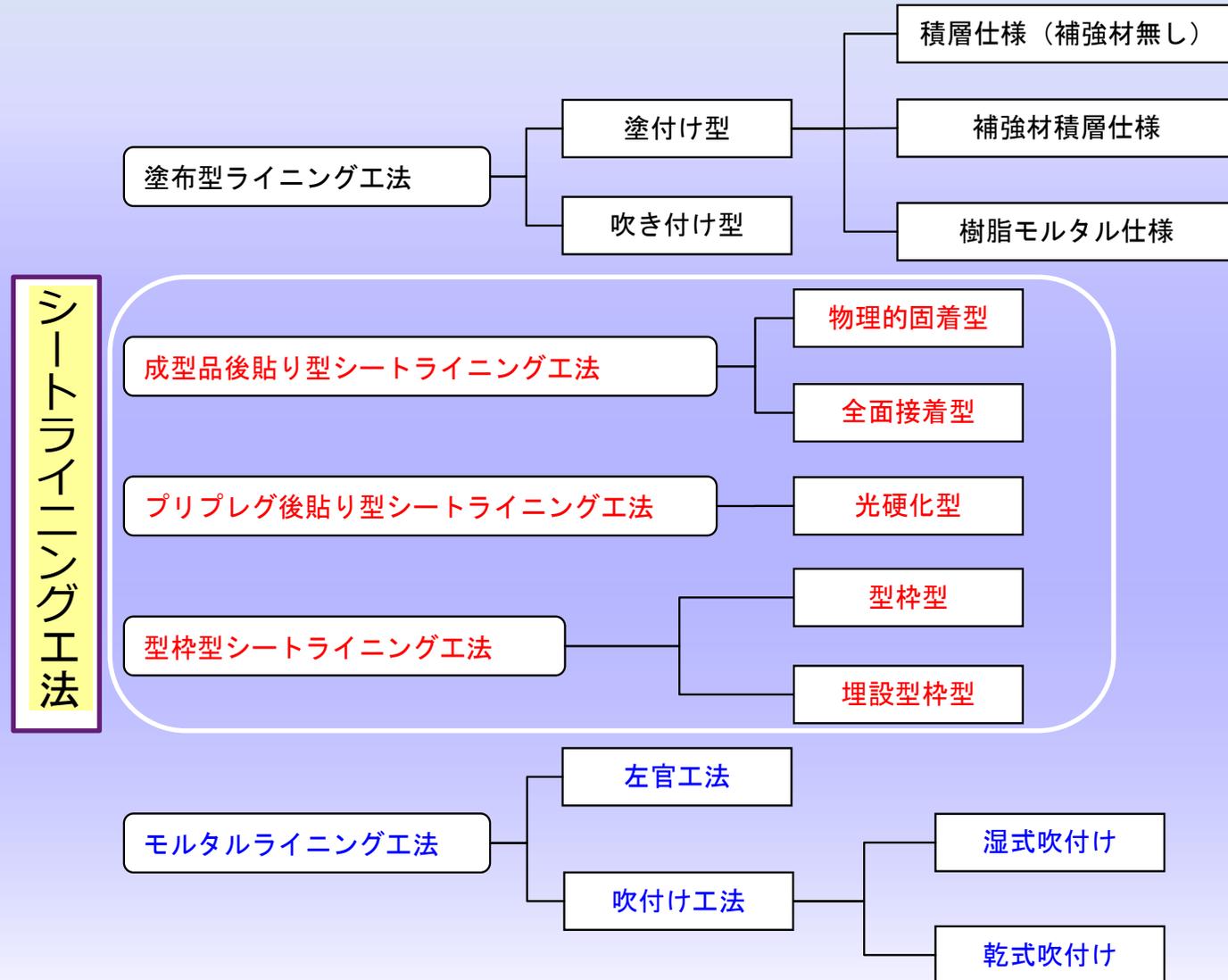
コンクリートの耐久性向上

- ・コンクリートの耐酸性向上

コンクリートの表面被覆

- ・塗布型ライニング工法
- ・シートライニング工法
- ・モルタルライニング工法

コンクリートの被覆工法の分類 (JSマニュアル)



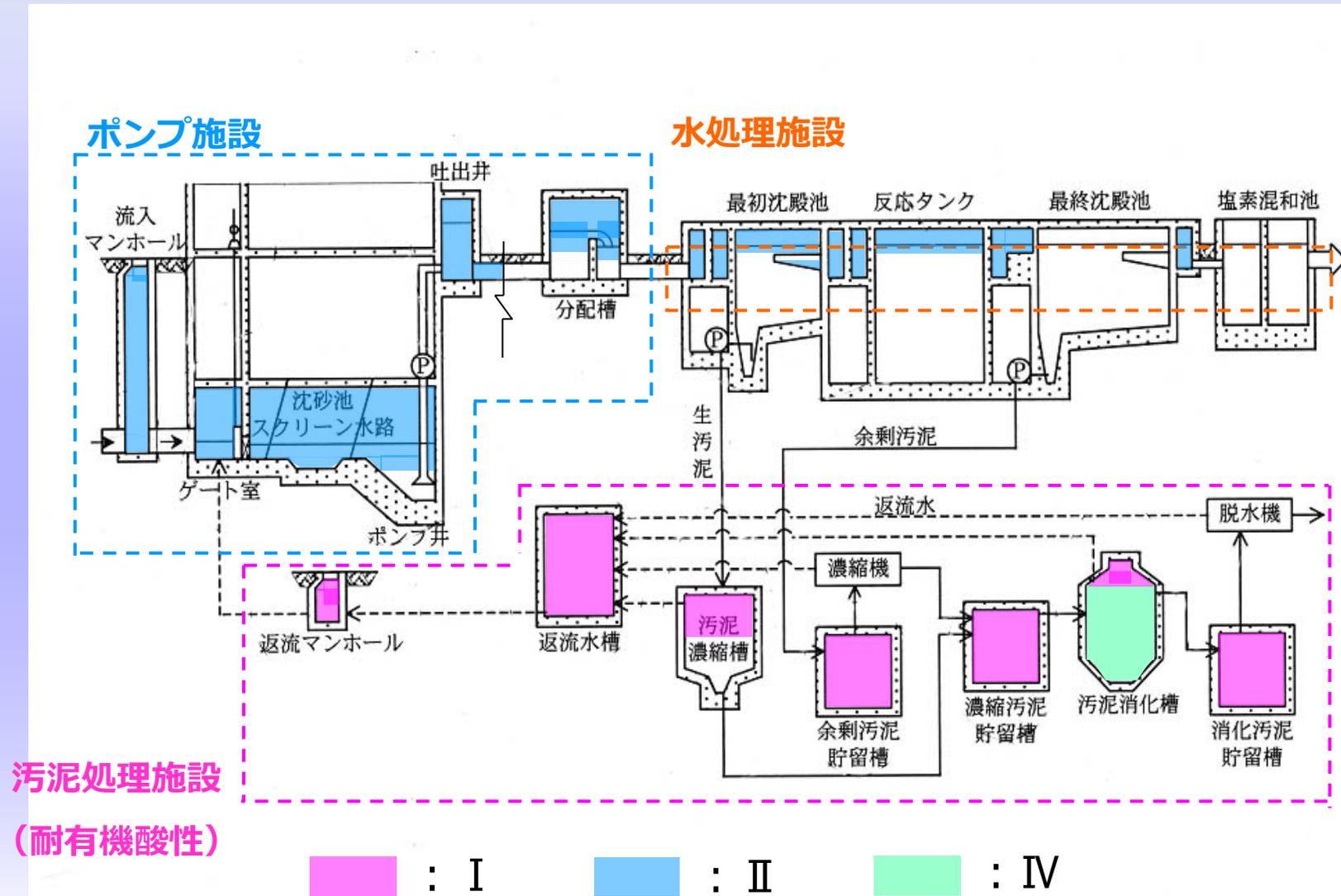
腐食環境分類



厳
↑
↓
緩

分類	腐食環境
I 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が 50ppm以上 硫酸によるコンクリート腐食が 極度 に見られる腐食環境
II 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が 10～50ppm 硫酸によるコンクリート腐食が 顕著 に見られる腐食環境
III 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が 10ppm未満 硫酸によるコンクリート腐食が 明らかに 見られる腐食環境
IV 類	硫酸による腐食はほとんど生じないが、コンクリートに接する液層が 酸性状態 になりえる腐食環境。

処理場における腐食環境の分類例



汚泥処理施設
(耐有機酸性)

設計環境腐食条件と工法規格の関係



防食被覆工法 設計腐食環境		工法規格									
		塗布型ライニング工法		シートライニング工法						モルタルライニング工法	
				成形品後貼り型		プリグレグ後貼り型		成形品型枠型			
腐食環境	I類	D種	—	D種		D種		D種		—	
	II類	C種	D種	—	D種	—	D種	—	D種	C種	—
	III類	B種	C種	—		—		—		B種	C種
	IV類	A種		—		—		—		—	
点検及び修繕・改築の難易		容易	困難	容易	困難	容易	困難	容易	困難	容易	困難

厳

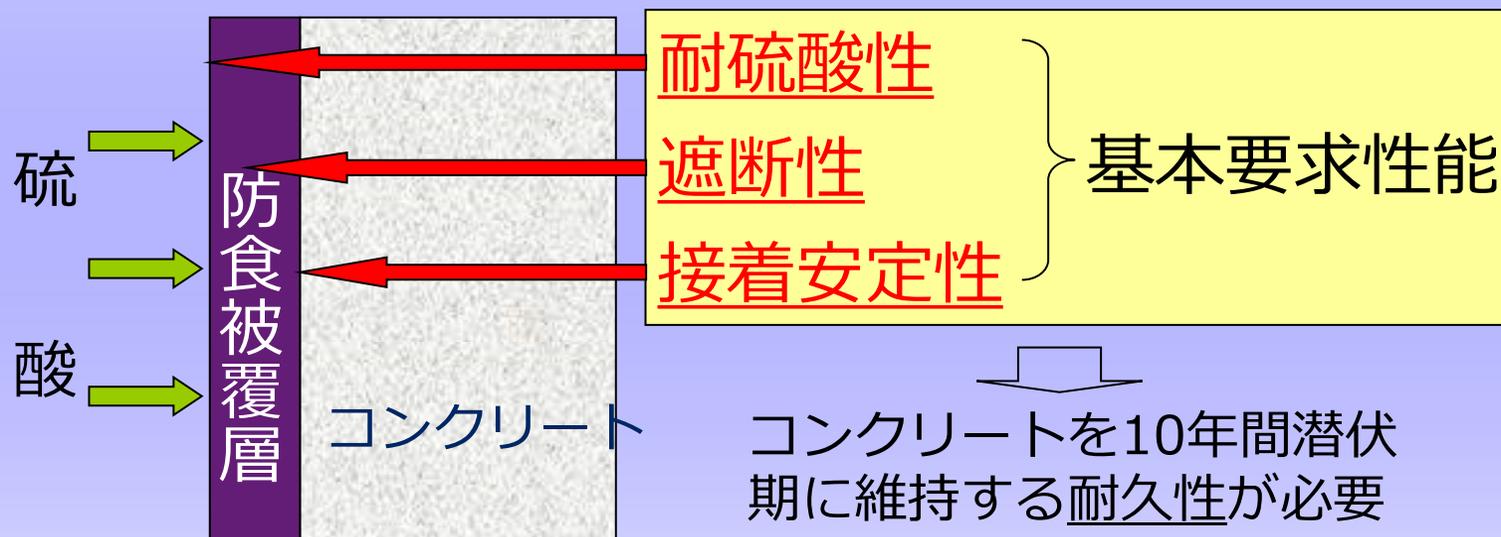


緩

防食被覆工法の仕様要求性能



防食被覆工法は、防食被覆層の設計耐用年数として、**10年間**を標準とし、以下の性能を有する仕様としなければならない。



設計耐用年数は実績が確認できる場合は**10年以上**とすることができる。コンクリート防食被覆工法の受注者に求められる責任は、適切な品質管理と検査の実施によって良好な施工品質を確保し、その防食被覆性能を10年間保証することである。

シートライニング工法の品質規格

成型品後貼り型、型枠型



要求性能		評価項目		D種
基本的な性能	耐硫酸性	硫酸水溶液浸せき後の被覆の外観		10%の硫酸水溶液に 60日間 浸せきしても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
	遮断性	硫黄侵入深さ	シート部 目地部	10%の硫酸水溶液に 120日間 浸せきした時の侵入深さが設計厚さに対して1%以下であること。
		透水性		透水量が0.15 g 以下
	接着安定性	コンクリートとの固着性		物理的固着型： 0.24N/mm² 以上
全面接着型： 1.5(吸水状態:1.2)N/mm ² 以上				
シート工法に必要な性能	外観性		被覆にしわ、むら、はがれ、われのないこと。	
	耐アルカリ性		水酸化カルシウム飽和水溶液に 60日間 浸せきしても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	

シートライニング工法の品質規格



設計腐食環境		I、II類
工法規格		D種
防食被覆材料名		
成型品 後貼り型	①硬質塩化ビニル樹脂：成型板	○
	②高密度ポリエチレン樹脂：成型板	○
	③ビニルエステル樹脂系：レジンコンクリート板	○
	④ビニルエステル樹脂：FRP板	○
	⑤不飽和ポリエステル樹脂：FRP板	○
プリプレグ 後貼り型	⑥光硬化型プリプレグ	○
型枠型	⑦硬質塩化ビニル樹脂：成型板	○
	②高密度ポリエチレン樹脂：成型板	○
	③ビニルエステル樹脂系：レジンコンクリート板	○
	⑤不飽和ポリエステル樹脂：FRP板	○

補修の目的



硫酸による腐食を受けた施設に対して



- ①劣化部の除去、
- ②所定の構造断面及び構造性能を確保するための修復
- ③劣化原因である硫酸による腐食環境からの保護を
目的としたコンクリート被覆

専門技術者は、コンクリート、**防食被覆材料**、並びに防食被覆工法の設計及び施工技術に関する知識と経験を有し、防食被覆工事における**施工管理**全般について責任を負い以下に示す職務を行う。

- 1) 防食被覆工法の施工全般にわたり**施工管理**を行い、施工計画の立案時における必要書類の準備、各工程の**施工管理**及び**検査の記録**を作成し、受注者に報告する。
- 2) 対象コンクリートの品質の検査、各工程の検査及び**完成検査**に立ち会うとともに、検査において不良個所が認められた場合には、処置方法の検討を行う。

補修の工種



施工工程	施工仕様例	備考
劣化部除去工	・サンドブラスト、高圧水洗浄処理	石膏化部分の除去は可能、Fe層は除去できない。
	・手はつり	役物部等小面積施工時。
	・機械はつり(油圧式・空気圧式等)	管路施設等、同一断面形施工時に有効。
	・ 超高压水(150~200MPa) による劣化部除去処理 表面強度は 500m² につき1箇所の頻度で検査を実施	所定の深さまで確実にを行い、 健全なコンクリート面 を露出させる。劣化部の除去に伴う排水については廃掃法、 水質汚濁 防止法その他関係法令等に従って処理しなければならない。
鉄筋処理工	・アルカリ含浸処理(亜硝酸リチウム等) ・錆除去、防錆材塗布処理	無筋コンクリート、鉄筋に発錆がない場合は不要。
断面修復工	・ポリマーセメントモルタル (耐硫酸) ・超微粉末高炉スラグ高含有モルタル	コンクリート腐食環境に適した材料の選定が必要。 左官工法、型枠+注人工法、吹付け工法等。
コンクリート防食被覆工	・塗布型ライニング工法 ・シートライニング工法	新設時と異なる施工環境(コンクリート表面の含水状況、求められる施工期間、仮設条件等)に留意が必要。

出典：JSマニュアル

シートライニング工法 成型品後貼り型



スラスラ工法



【工法概要】スラスラ工法は、1㎡当り4,500個を超える支持体を有する、厚さ2mmの高密度ポリエチレン樹脂製シートを、微生物による腐食を防ぐスーパー防菌剤を添加した耐硫酸性断面修復モルタルの硬化前に差込み、一体化させることにより、高耐久性の防食被覆層を形成させるマンホール更生工法対応のシートライニング工法である。

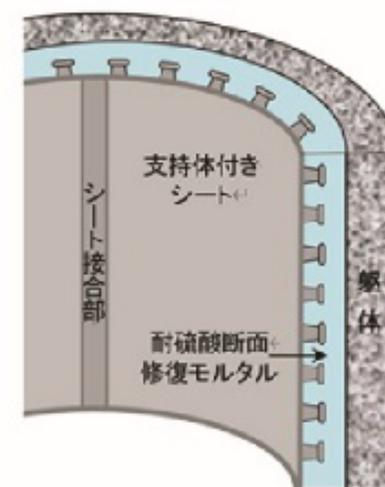
【耐硫酸性】シートの耐硫酸性は、0.5%硫酸水溶液における促進試験により、50年後での設計引張弾性率の2倍以上を保持。

【耐劣化性】耐硫酸性断面修復モルタルは車両走行（交通条件N7）を想定した疲労試験により、50年以上にわたる耐久性を有する。

【耐震性能】コンクリート強度50%減、鉄筋量25%減におけるマンホールにおいても、レベル1・2地震動に対し、シートの引張特性と、モルタルの強度特性により耐震性能を有する。

○評価機関名：日本下水道新技術機構

○所得年月日：2020年3月7日



ご紹介内容



1. 下水道に特有なコンクリートの劣化
2. コンクリートの腐食抑制技術と防食技術
3. 既設コンクリート構造物の補修・補強

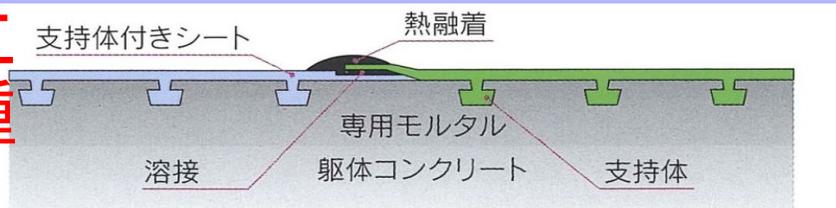


適用工法の概要（スラスラ工法）

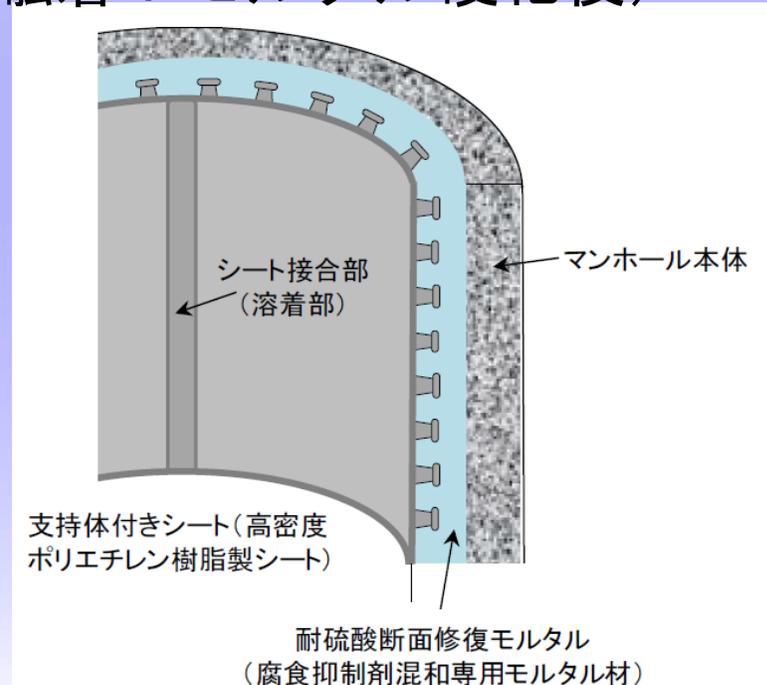
成型品後貼り工法シートライニング工法（D種）

審査証明対象工種

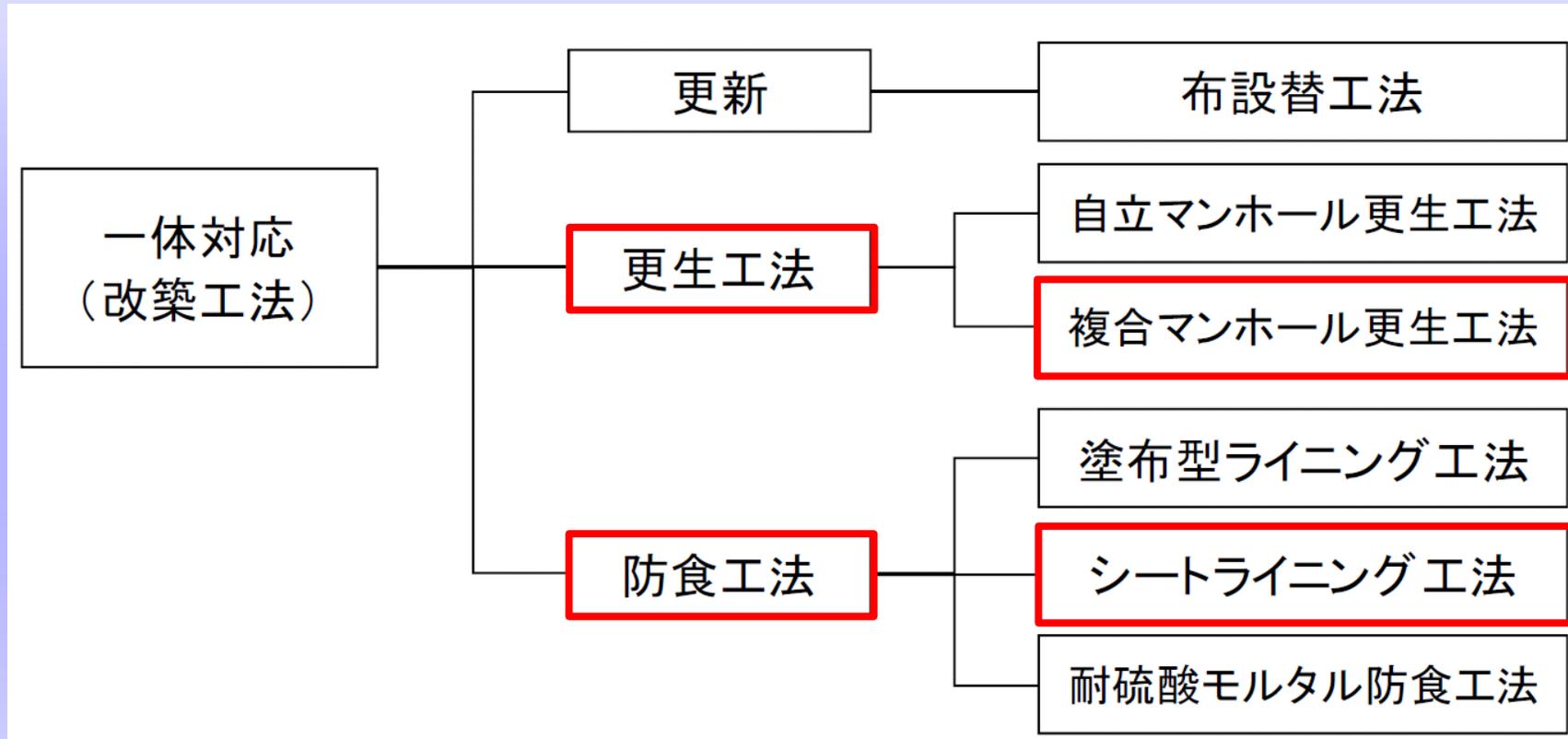
- ①ハツリ（超高压水処理：200MPa以上）
- ②専用モルタル吹付け
- ③左官仕上げ
- ④シート差込み（まだ固まらないうちに）
- ⑤端部処理（同材料で熱融着：モルタル硬化後）



コンクリート構造物の劣化部を除去し専用モルタルを吹付けた後、吹付け面を左官仕上げした未硬化面に支持体付きシート（高密度ポリエチレン製）を差込み、シートライニングする防食被覆工法です。



マンホール更生工法における位置づけ



マンホール更生工法の要求性能-1



(1) 耐荷性能

- ・コンクリート圧縮強度：25N/mm²以上
- ・軸方向耐圧強さ：150kN以上
- ・側方曲げ強さ：ひび割れ発生荷重、破壊荷重が規定値以上

(2) 耐久性能

- ・耐薬品性
- ・耐硫酸性⇒50年（シート材料）
- ・耐劣化性⇒50年（断面修復材料）
- ・水密性

(3) 耐震性能

- ・レベル1、レベル2地震動に対して耐久性を有する

(4) 水理性能

- ・内面の平滑化、内空断面の確保

マンホール更生工法の要求性能-2



(5) 環境適用性能

- ・ 粉塵、騒音・振動、臭気、その他法的要求事項

(6) 維持管理性能

- ・ 内部空間の確保

複合マンホール工法に特有な要求性能

(1) 既設マンホールとの一体化

- ・ 既設マンホールと充てん材の一体性
- ・ 表面部材（防食被覆層）と充てん材の一体性

防食工法に関する要求性能

- ・ 後貼り型シートライニング工法（D種）
- ・ 耐硫酸性断面修復モルタル材

<更生試験体:載荷状況、結果>



管種	材齢	更生の有無	軸方向耐圧強さ(kN)	
			ひび割れ発生荷重	破壊荷重
II種	σ 21	更生前	285	588
		更生後	206	912
	σ 28	更生前	270	627
		更生後	240	990
規格値			150 kN で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	200kN で破壊しないこと

側方曲げ試験状況

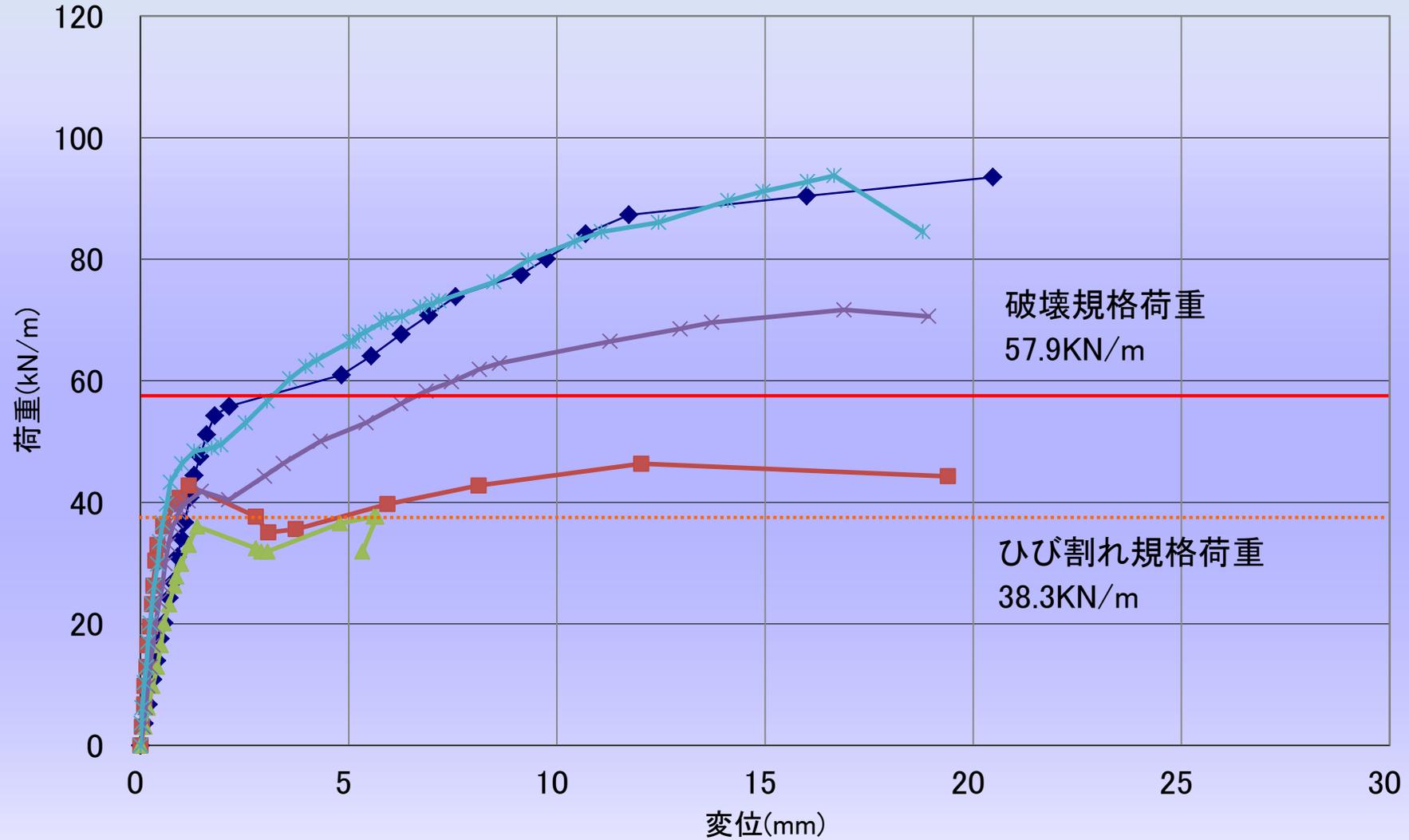


<試験結果>



管種	材齢	更生の有無	側方曲げ強さ(kN/m)	
			ひび割れ発生荷重	破壊荷重
I種	σ28	更生前	22.3	47.7
		更生後	24.3	89.6
II種	σ21	更生前	22.0	51.0
		更生後	33.1	101.3
	σ28	更生前	26.3	65.2
		更生後	27.0	130.8
規格値 (I種)			6.9 kN/m で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	10.4 kN/m で破壊しないこと。
規格値 (II種)			13.7 kN/m で幅 0.05 mm を超えるひび割れがないこと。	20.6 kN/m で破壊しないこと。

<荷重-変位曲線>

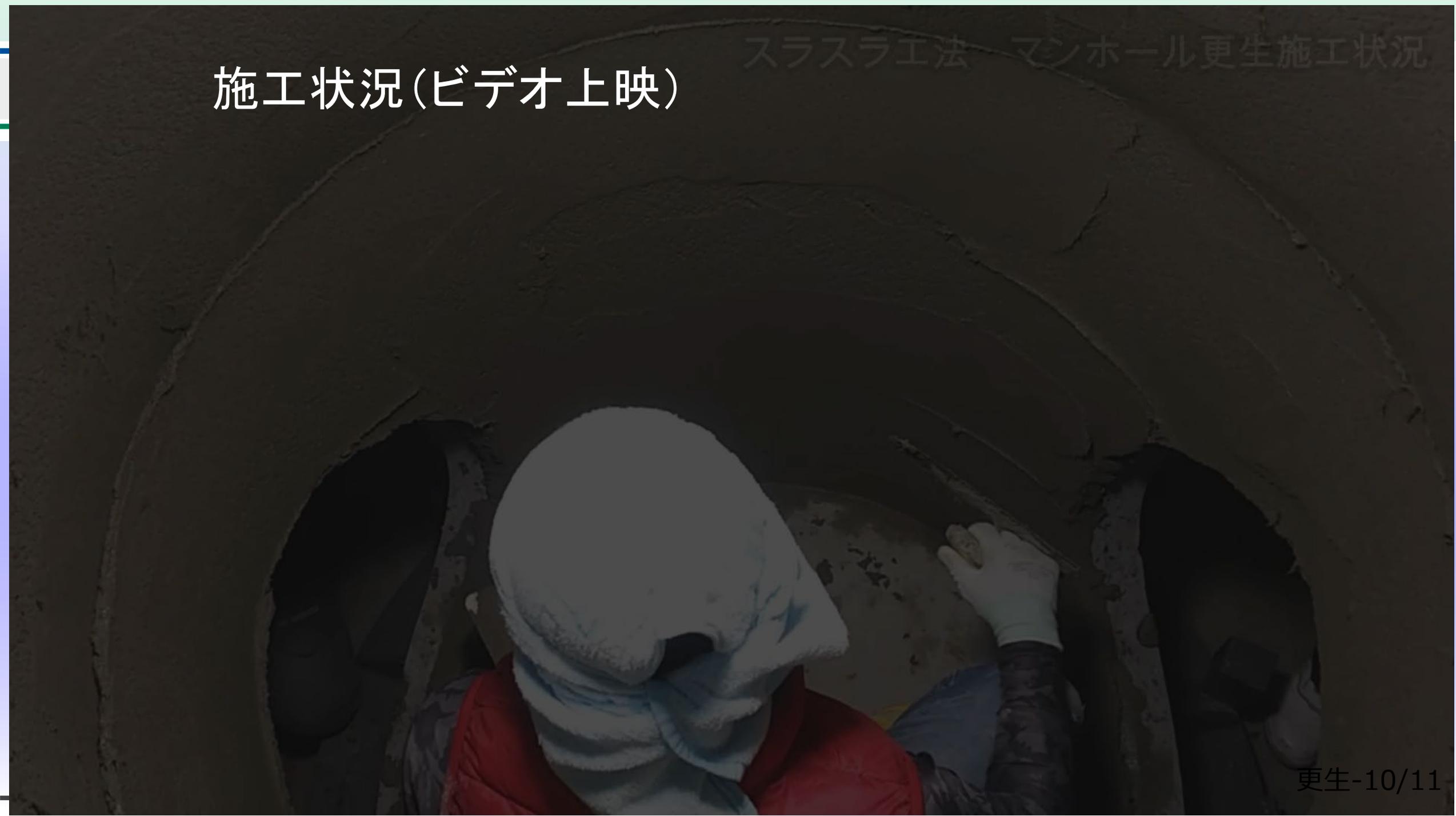


◆標準仕様 ■通常厚減鉄筋 ▲減厚減鉄筋 ×断面修復 *断面修復+シート

施工事例



施工状況(ビデオ上映)



追跡調査結果 <21年経過>



- ・施工年月：1995年12月～1996年3月 ・追跡調査年月：2017年10月
- ・追跡調査箇所：M県I市 下水道圧送管吐出部特殊人孔
- ・硫化水素濃度：120 ppm（調査時）



防食被覆層にはふくれ、われ、軟化、溶出が認められず、
20年以上の耐久性を有していることが確認された。

ご清聴ありがとうございました。



御不明な点、わかり難い点などは何なりとご質問ください。
質問はメールでも受け付けております。
下記アドレスにお問い合わせください。

negishi.atsunori@ad-hzm.co.jp