令和元年８月８日（木）
下水道研究発表会Ｎ－８－２－１

有機酸によるコンクリート防食被覆層の腐食に関する実施設調査

日本下水道事業団　○清水克祐
中西啓
山下洋正（現・土木研究所）

はじめに　有機酸による防食被覆層の劣化対策について

これまで、

下水道コンクリート構造物の**硫化水素**に起因する腐食 → 対策 → 樹脂材料を用いたコンクリート防食被覆工法が広く採用されてきた

近年では、

ビルピットなどにおける**有機酸**による防食被覆層の劣化が報告されている → 対策 → ほとんど知見がない

そこで、日本下水道事業団では、以下の調査を実施

調査年度	調査内容（調査規模）	調査目的
H29年度	全国の下水処理場を対象にアンケート調査（対象；全国1,900の処理場、回答；944件）	下水処理場におけるコンクリート躯体の劣化・腐食や防食被覆工法の劣化・不具合の発生状況等の把握
H30年度《本報告》	**アンケート調査を基に実施設調査（対象；処理場１件）**	**有機酸による防食被覆層の劣化の可能性がある処理場を選定し、有機酸による劣化状況を調査**

調査対象

調査対象

項目	諸元
対象処理場	A処理場
日平均処理水量	6,000m^3/日程度
処理方式	標準活性汚泥法
対象施設	濃縮汚泥受槽
対象施設の供用年数	13年経過
調査個所	気液界面（L.W.L付近）
防食の種類	塗布型ライニング（D種）
防食材	ポリウエア樹脂
防食被覆の厚さ	設計値：3mm
防食被覆の供用年数	13年経過

調査項目

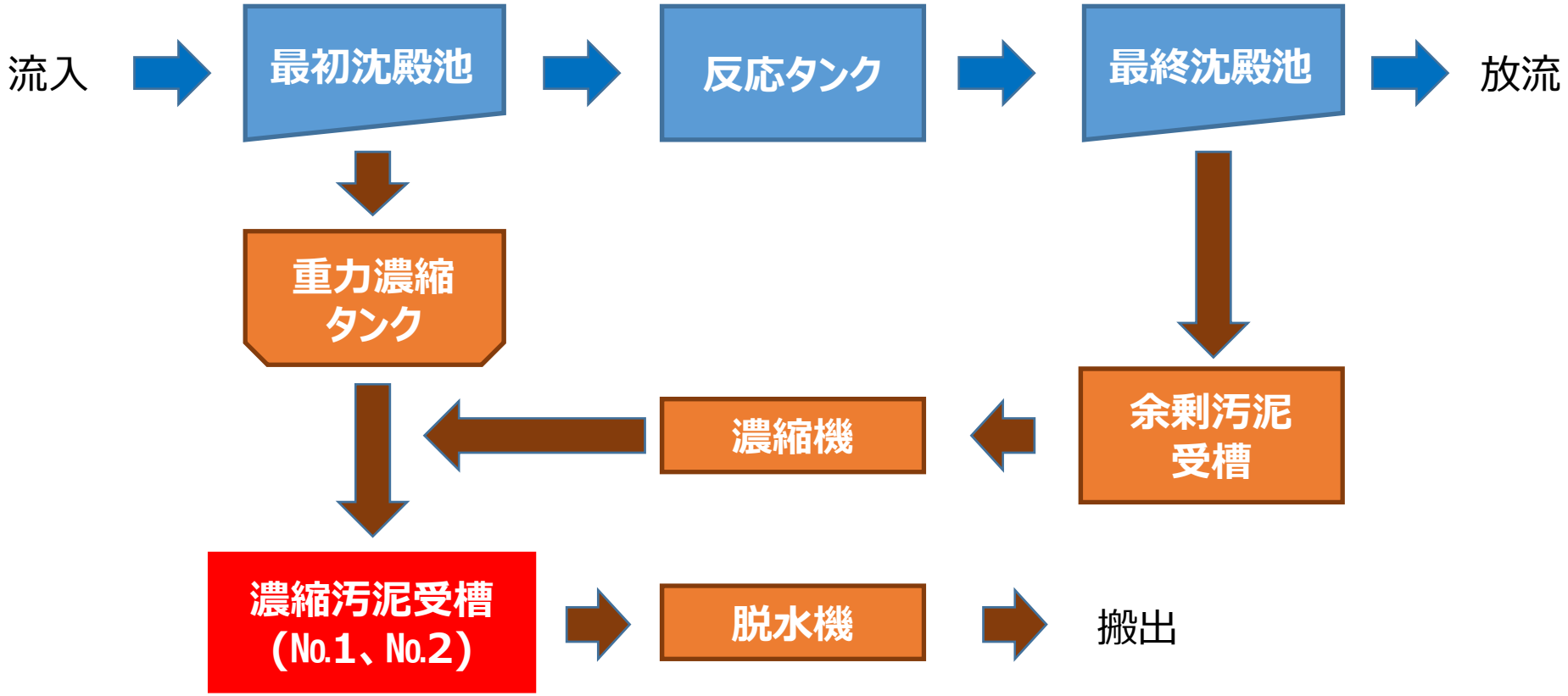
調査項目（調査時期平成31年2月）

本報告では、**赤字**の項目について報告

調査項目		調査内容
腐食環境調査	気相	**硫化水素ガス濃度**
	汚泥	水温、PH、アルカリ度、MLSS、TS、ORP
		有機酸濃度（VFA）
	コンクリート	表面の腐食・劣化状況
腐食・劣化状況調査	コンクリート	残存鉄筋被り厚
		中性化深さ
	防食被覆層	**有機酸浸透深さ**
		硫黄浸透深さ
		劣化状況
		物性試験（付着、引張、曲げ、硬度）
		厚さ

調査対象施設

対象処理場の処理フロー

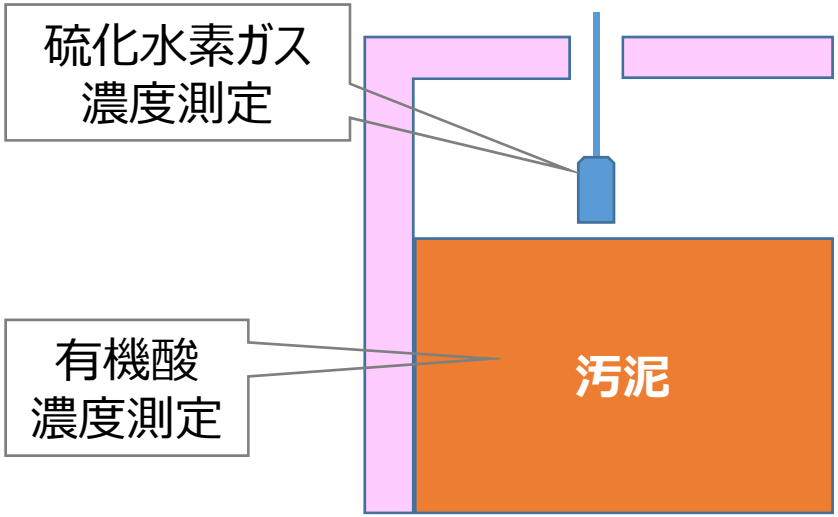


有機酸は嫌気条件のスカムや脂肪を含む堆積物（バイオフィルム）中で濃度が高くなると考えられたため、濃縮汚泥受槽を調査対象施設とした

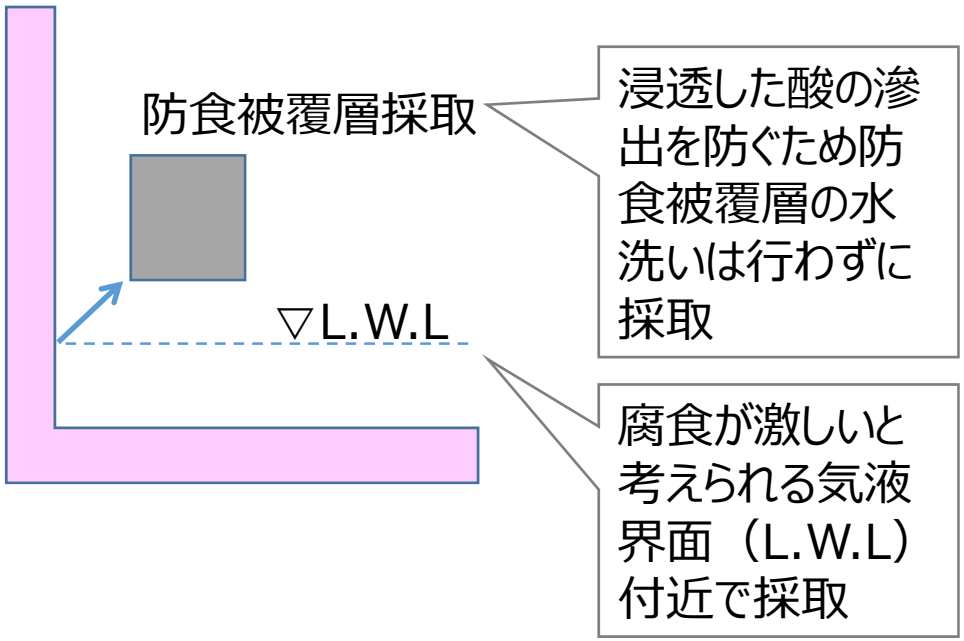
調査対象施設

対象施設の調査個所

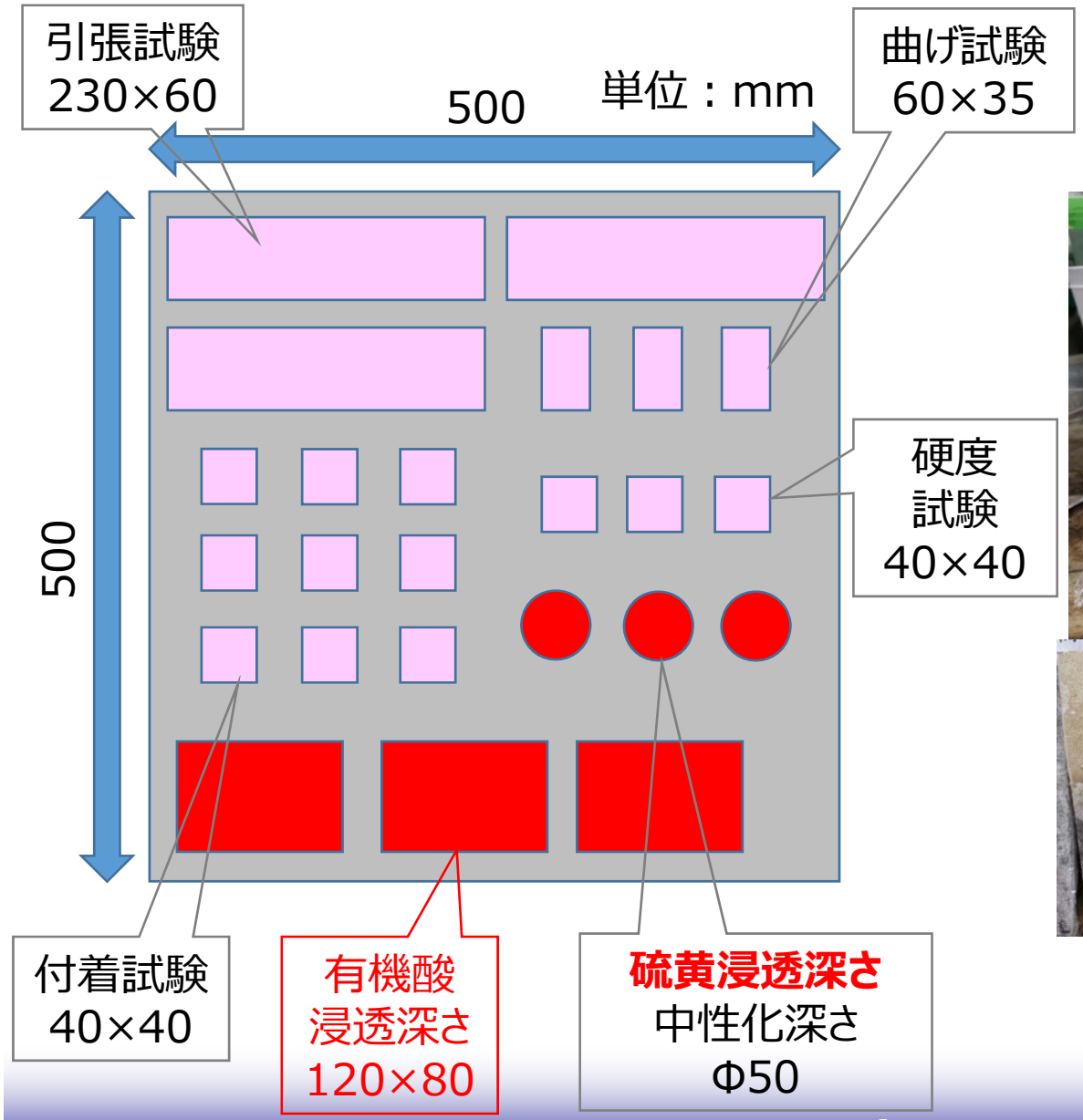
濃縮汚泥受槽（No.1）
腐食環境調査（供用中）



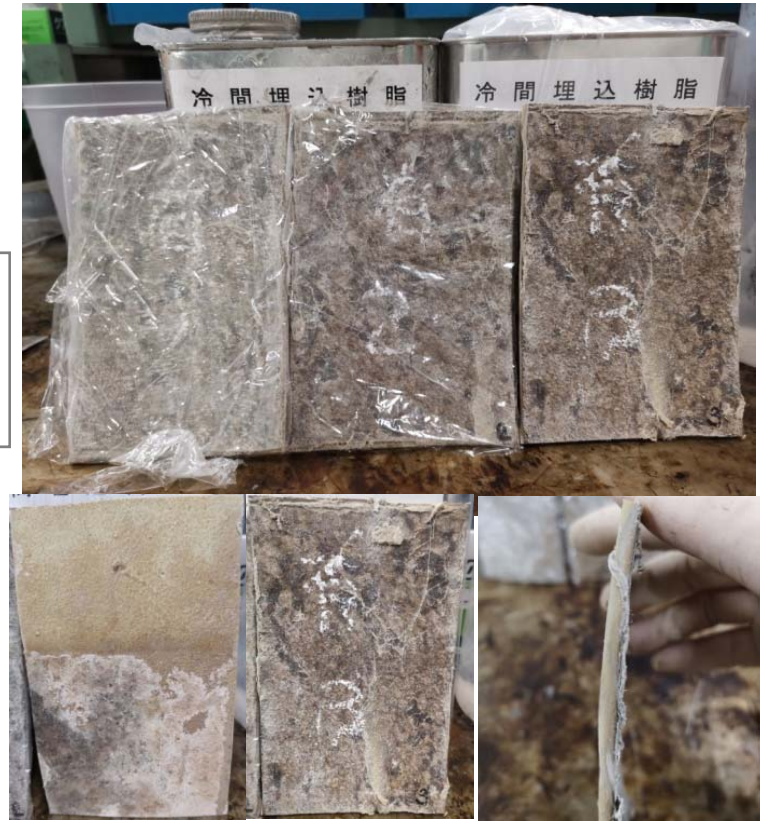
濃縮汚泥受槽（No.2）
腐食・劣化状況調査
（設備点検の水抜きに合わせ実施）



防食被覆層採取状況

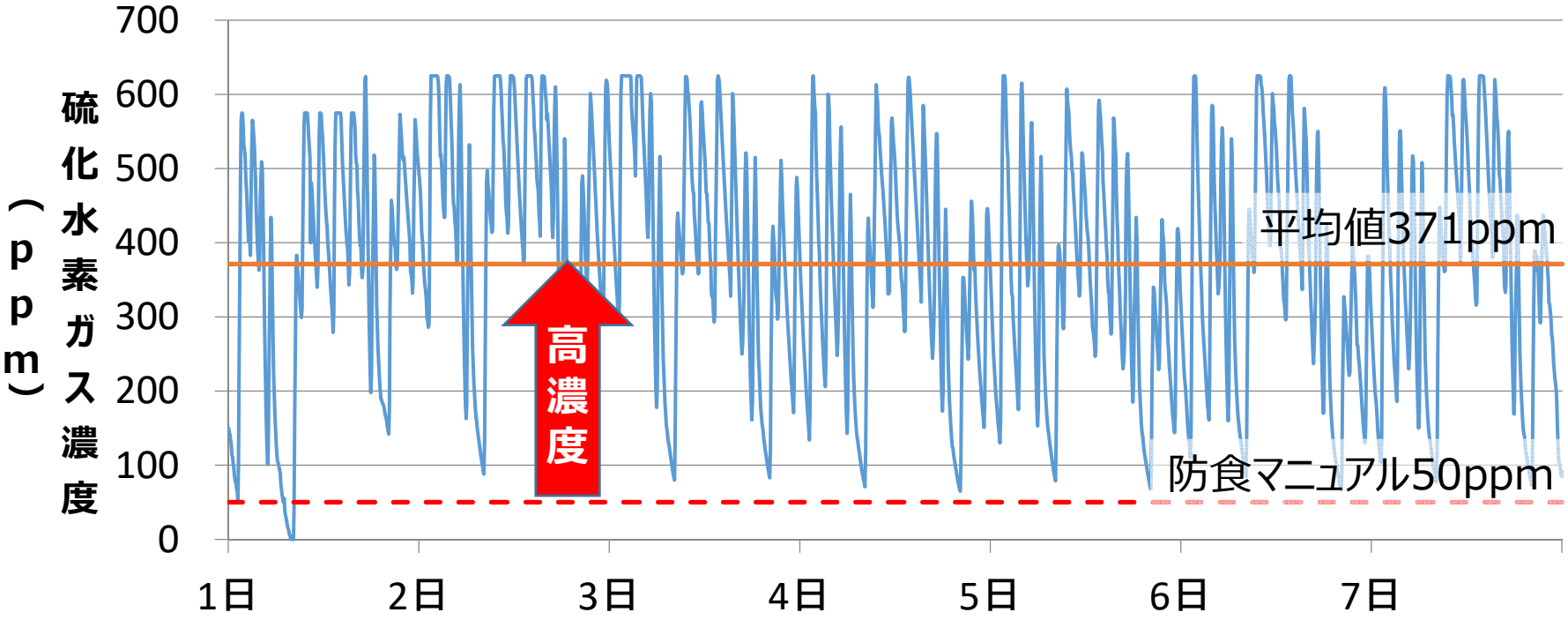


有機酸浸透深さ
測定用試料採取状況



腐食環境調査結果　硫化水素ガス濃度

硫化水素ガス濃度



測定方法	測定期間	最大値	平均値	防食マニュアル※ 腐食環境Ⅰ類
5分間の平均値を連続測定	H31.2 (7日間)	625ppm	371ppm	年間平均濃度 50ppm以上

※「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」日本下水道事業団（2017）

腐食環境調査結果　有機酸濃度

有機酸濃度　※採取した汚泥をろ過し、ガスクロマトグラフ法により測定

測定項目	測定結果
酢酸	439mg/L
プロピオン酸	616mg/L
i-酪酸	41mg/L
n-酪酸	334mg/L
i-吉草酸	58mg/L
n-吉草酸	169mg/L

冬季（水温14℃）に調査を実施したにもかかわらず、硫化水素ガス及び有機酸が比較的高濃度で測定されたことなどから、対象施設は**有機酸・硫酸による厳しい腐食環境下**にあると考えられた。

腐食・劣化状況調査結果　防食被覆層の劣化状況

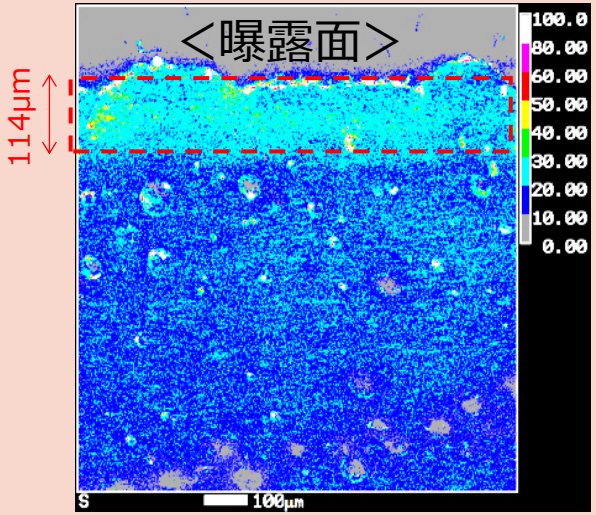
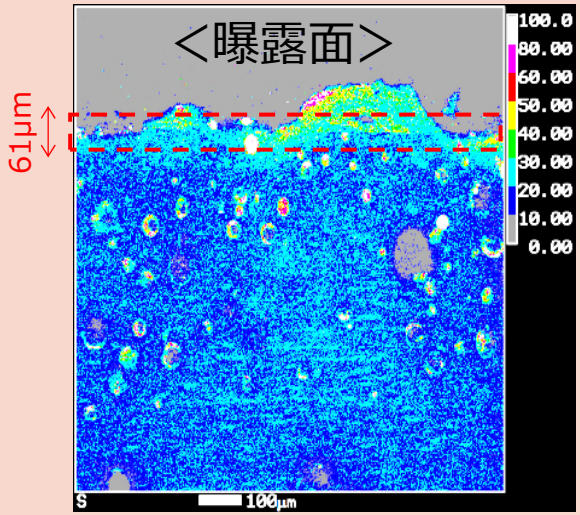
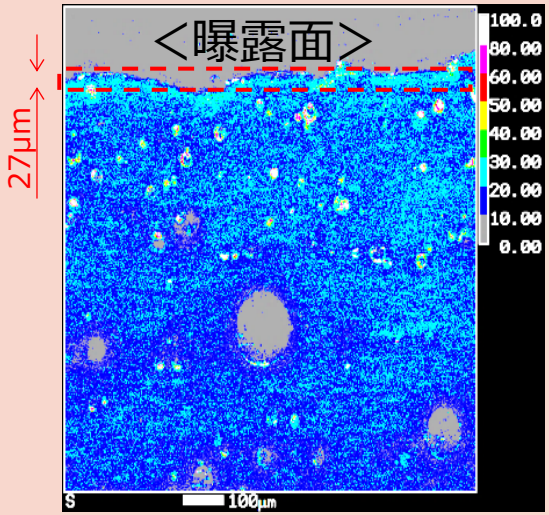
防食被覆層の劣化状況

気相部（天井、壁）	液相部（壁）	液相部（床）
変色（白色）が見られた 	膨れ（浮き）が見られた 	膨れ（浮き）が見られた
亀裂や剥落は見られず、比較的健全であると判断された		

腐食・劣化状況調査結果　硫黄浸透深さ

硫黄浸透深さ　EPMA分析※

S元素をターゲットとして分析

No.1	No.2	No.3
		
114μm	61μm	27μm

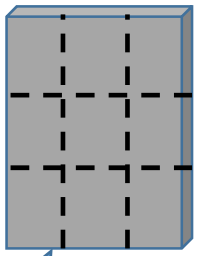
硫黄浸透深さは27μm～114μmであった。防食被覆層の厚さが4.38mm（設計厚3mm）であることから、硫黄の浸透はコンクリートに達していないと考えられた。

※Electron Probe Micro Analyzer：電子線マイクロアナライザー分析

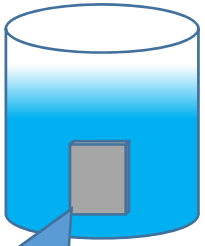
腐食・劣化状況調査結果　酸浸透深さ

有機酸の構成元素（C,H,O）は防食被覆層の樹脂に大量に含まれるため、直接分析できない。そこで、以下に示すアルカリマーキング法により分析した酸の浸透深さと硫黄浸透深さを比較することで、間接的に有機酸浸透深さを評価する。

採取した防食被覆層 → **アルカリ水溶液に浸漬** → **アルカリ元素を分析**



酸が浸透していると推定される試料



酸が浸透した部位にアルカリが浸透する（ナトリウム塩等の生成）

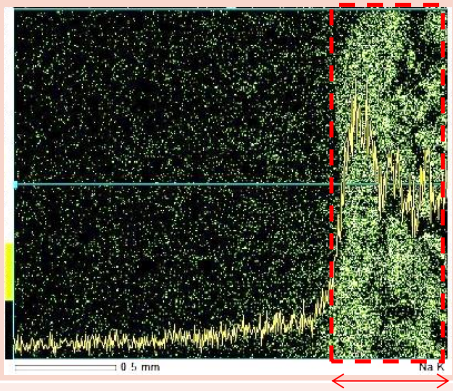
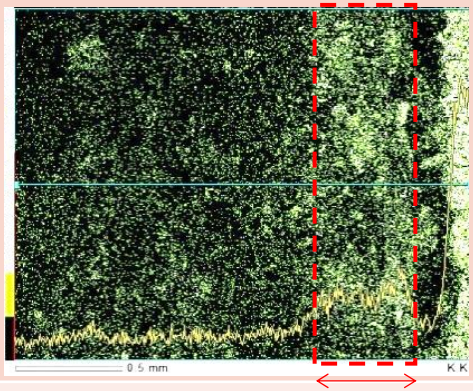
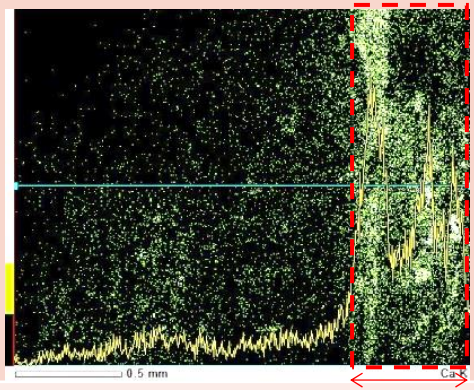
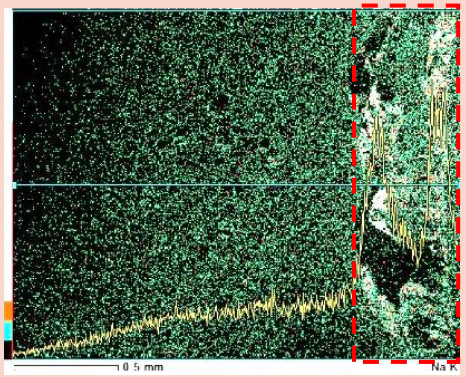
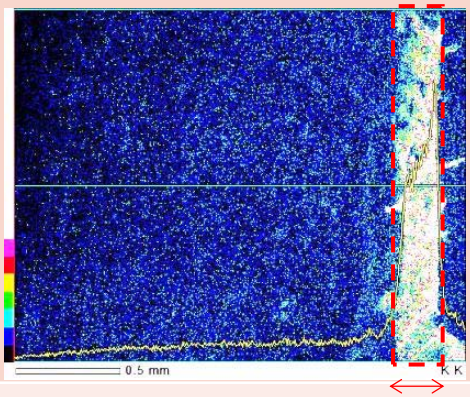
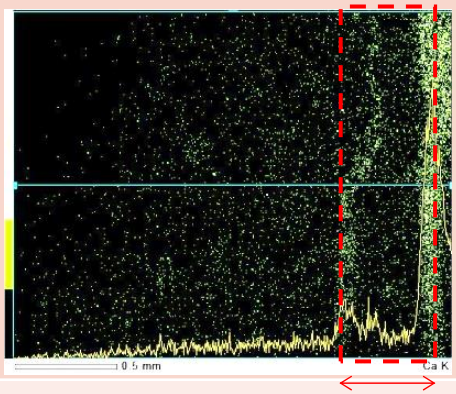
アルカリ元素（Na元素等）をターゲットとしてEDS分析※することにより、間接的に酸の浸透深さを評価

試験条件	アルカリ水溶液（40℃）	浸漬時間
高濃度(20%)	NaOH	120時間
	KOH	
	$Ca(OH)_2$	
低濃度(1%)	NaOH	300時間
	KOH	
	$Ca(OH)_2$	

※　Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
　エネルギー分散型X線分光法

腐食・劣化状況調査結果　酸浸透深さ

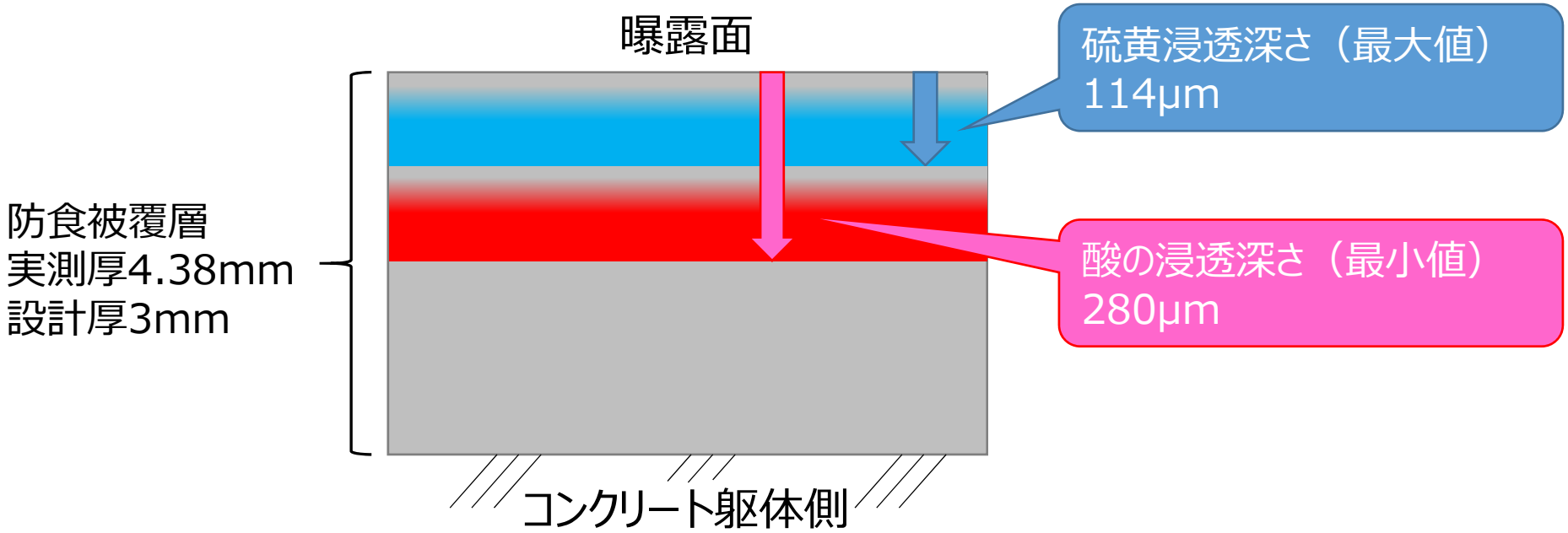
有機酸浸透深さ　EDS分析

	NaOH	KOH	$Ca(OH)_2$
高濃度 20%	 ＜曝露面＞ 約450μm 450μm	 ＜曝露面＞ 約600μm 600μm	 ＜曝露面＞ 約1100μm 1100μm
低濃度 1%	 ＜曝露面＞ 約660μm 660μm	 ＜曝露面＞ 約280μm **280μm**	 ＜曝露面＞ 約640μm 640μm

※浸透深さのばらつきは防食被覆層の厚さが均一でないことや
濃度分布が均一でないことなどが考えられた。

腐食・劣化状況調査結果　有機酸浸透深さ

有機酸浸透深さの評価



硫黄に比べ酸の浸透深さが深いこと、汚泥中に有機酸が高濃度で存在することなどから、**アルカリマーキング法で分析された酸の浸透深さは有機酸によるものと推定した。**
また、有機酸浸透深さが硫黄浸透深さより深かったのは、調査個所がL.W.L付近の気液界面であり、気相（硫化水素ガス）より液相（有機酸）に曝露される期間が長かったことなどが要因と考えられた。

まとめと今後の展開

有機酸腐食の実施設調査より、以下のことが明らかとなった。

対象施設内の**硫化水素ガス濃度は非常に高く**、気液界面の防食被覆層では硫黄の浸透が確認された。

対象施設に貯留された汚泥中に**有機酸（VFA）が比較的高濃度**で存在し、気液界面の防食被覆層で確認された酸の浸透は有機酸によるものと推定された。

L.W.L付近の**気液界面の防食被覆層では有機酸による浸透が優位**であることが確認され、これは有機酸に曝露される期間が長かったことなどが考えられた。

今後の展開

本調査は1箇所の処理施設の結果であったが、今後も継続して調査を実施することにより知見を蓄積し、有機酸による腐食の実態を明らかにしていく予定である。

－　謝　辞－
本調査の実施にあたり、対象施設の調査にご協力頂いた自治体、並びに、有機酸浸透深さの評価にご協力を頂きました東京工業大学の関係各位に感謝の意を表します。

ご清聴いただきありがとうございました。