技術戦略部研究発表会（R2.9.3）
※第57回下水道研究発表会投稿論文（講演集pp.808-810）

下水処理場におけるコンクリート構造物の炭酸劣化に関する実態調査

日本下水道事業団　技術課発企画課
○細川　和也
橋本　敏一

はじめに

■ これまでの取組み（JS）

下水処理場で発生する**硫化水素に由来した硫酸によるコンクリート構造物の腐食**への対策技術として、コンクリート防食技術の調査研究を継続的に実施、および、その成果に基づいた技術基準(JSマニュアル)の整備に取り組んできた。

※1987年に「コンクリート防食塗装指針(案)」を制定。以降、複数回の技術評価や指針改定を実施。
※「JSマニュアル」：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

■ 一方、反応タンクでは…

微生物による有機物の酸化等により発生する、**二酸化炭素を起因とするコンクリート構造物の劣化**が生じる。
しかし、その発生状況や劣化機構等に係る知見が不足している(JSマニュアルの対象外)。

気相部 → 炭酸ガスによる中性化。

液相部 → 侵食性遊離炭酸による化学的侵食。

⇒ 下水処理施設(反応タンク)における、劣化の発生・進行状況や劣化環境の把握を目的とし、２箇所の下水処理場で現地調査を実施。

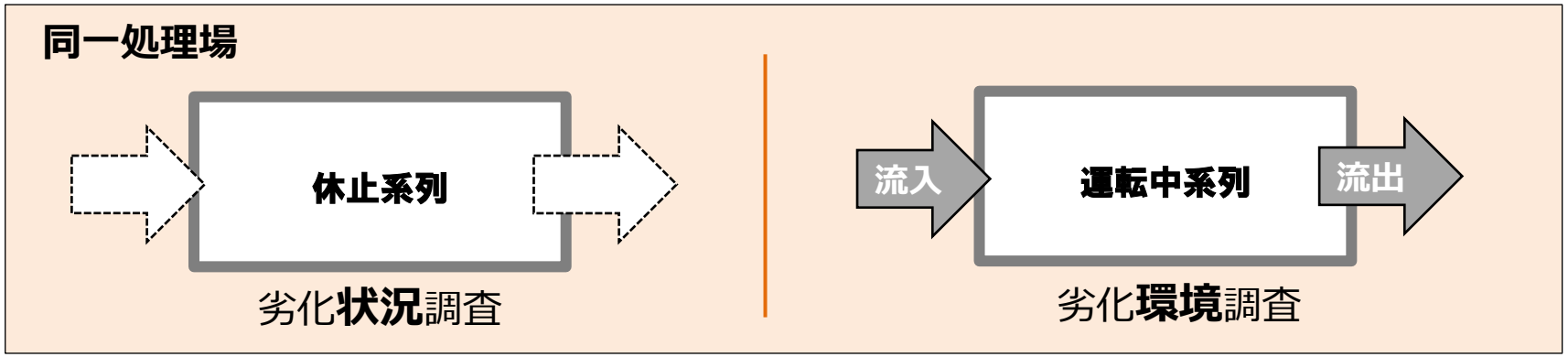
1. 調査方法(1/2)

■ 調査項目

調査内容		調査項目	備考
気相部調査	劣化環境	炭酸ガス濃度	ポータブル濃度計による1週間連続測定
	劣化状況	中性化深さ	JIS A 1152(斫りによる方法) 1箇所あたり3測点の平均値
		外観・表面異常	目視・指触、テストハンマーによる検打　等
液相部調査	劣化環境	侵食性遊離炭酸濃度、 全炭酸濃度、ｐＨ、アルカリ度	下水試験方法
	劣化状況	中性化深さ	JIS A 1152(斫りによる方法) 1箇所あたり3測点の平均値
		外観・表面異常	目視・指触、テストハンマーによる検打　等
その他共通調査		気温・湿度、水温、ORP	―
		施設運転状況	施設管理者ヒアリング

1. 調査方法(2/2)

■ 実施方法



- 設備更新や施設点検による施設の休止に合わせて、**劣化状況調査**を実施。
- 運転条件(流入水、既存設備等)が同一の運転中の別系列にて、**劣化環境調査**を同時に実施。

■ 調査状況

中性化深さ測定

炭酸ガス測定

目視調査

2. 対象施設(1/2)

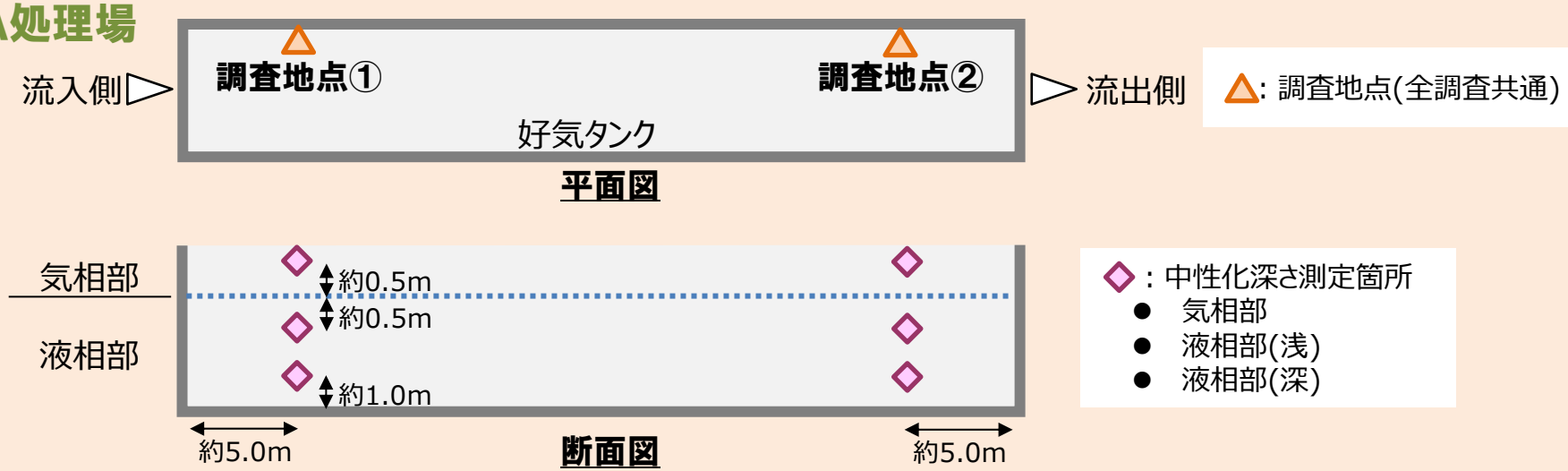
■ 今回調査の対象施設

項　目	A処理場	B処理場
計画処理能力	114,200m^3/日(日最大)	49,000m^3/日(日最大)
処理方法	標準活性汚泥法	嫌気好気活性汚泥法
曝気方式	旋回流式	全面エアレーション式
覆蓋	全面	全面
供用年数(調査対象系列)	25	42
反応タンク寸法 (池幅×池長×水深)	6.5m×64.0m×5.5m	嫌気：8.0m×22.1m×4.5m 好気：8.0m×36.9m×4.5m
調査実施日	令和2年2月	令和2年1月

2. 対象施設(2/2)

■ 調査箇所

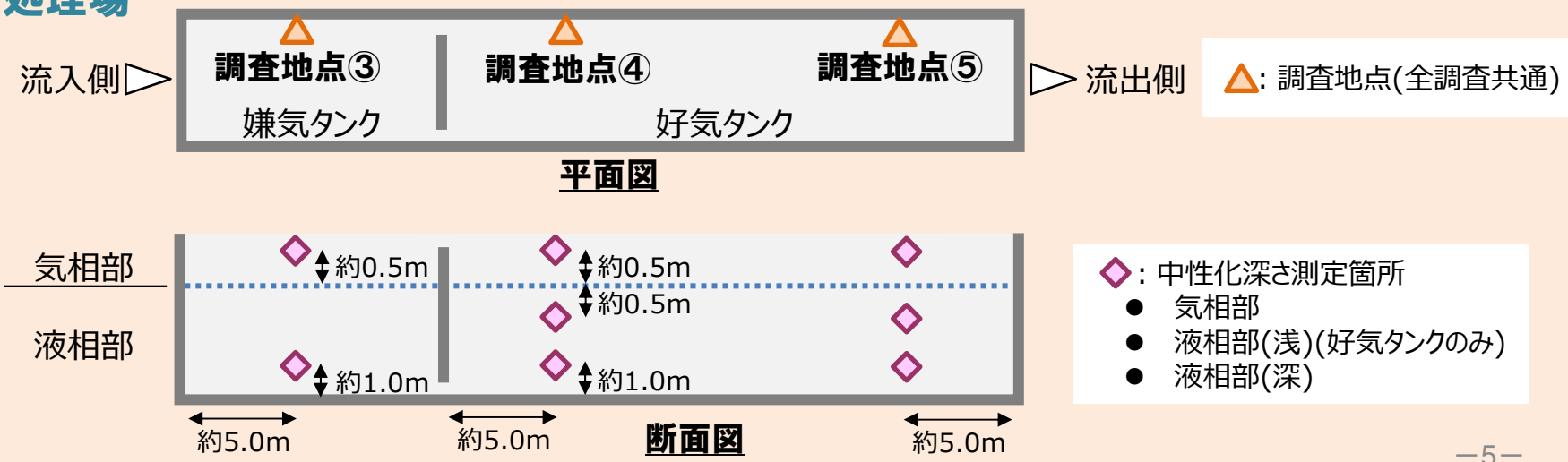
A処理場



△: 調査地点(全調査共通)

◇ : 中性化深さ測定箇所
- 気相部
- 液相部(浅)
- 液相部(深)

B処理場

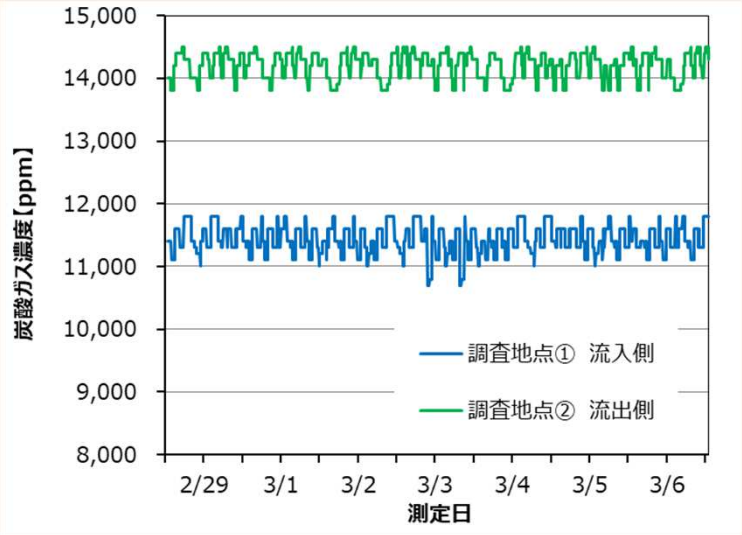
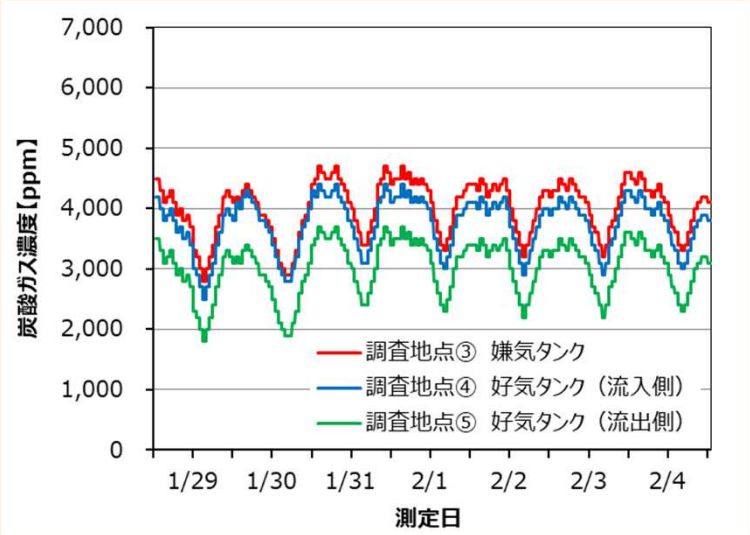


△: 調査地点(全調査共通)

◇ : 中性化深さ測定箇所
- 気相部
- 液相部(浅)(好気タンクのみ)
- 液相部(深)

3. 結果 －気相部調査(１)－

■ 劣化環境：炭酸ガス濃度

	A処理場	B処理場
測定値		
	流入側：11,000～12,000ppm程度 流出側：13,800～14,500ppm程度	流入側(好気)：2,500～4,500ppm程度 流出側(好気)：1,800～3,700ppm程度
事象	流入部と流出部の間に明らかな濃度差が確認できる。	日間の規則的な変動(昼間:高い、夜間:低い)が確認できる。
ヒアリング結果	反応タンク4区画のうち、流入側1区画の曝気風量を絞った運転をしている。	流入負荷が下がる夜間の曝気風量を絞った運転をしている。

参考：大気中の炭酸ガス濃度は300～500ppm程度

→ **施設の運転方法により、発生する炭酸ガス濃度に大きな差が生じる。**

3. 結果 －気相部調査(２)－

■ 劣化状況：中性化深さ測定

単位(mm)

調査地点			測点１	測点２	測点３	平均
A処理場	①	好気・流入側	4.3	6.8	7.3	**6.1**
	②	好気・流出側	5.3	5.5	5.3	**5.3**
B処理場	③	嫌気	6.5	20.0	1.0	**9.2**
	④	好気・流入側	5.3	20.5	5.3	**10.3**
	⑤	好気・流出側	16.8	16.1	15.5	**16.1**

- いずれの調査地点においても中性化の進行が確認できた。
- 調査地点の違いと、中性化深さの差異に規則性は確認できず、**炭酸ガス濃度との関係性も認められなかった**。
- B処理場では液相部と比較して気相部(好気タンク平均値)の中性化深さが大きくなった。

3. 結果 －気相部調査(３)－

■ 中性化速度式による考察

コンクリートの中性化の進行は、経過年数の平方根に比例することが広く確認されており、下記の式を用いて予測することができる。

$$X=A\sqrt{t} \Rightarrow \underline{A=X/\sqrt{t}}$$

X ：中性化深さ(mm)
A ：中性化速度係数(mm/年)
t ：経過時間(年)

	経過年数(t)	調査地点	中性化深さ(X)	中性化速度係数(A)	炭酸ガス濃度
A処理場	25	①	6.1	1.22	①：11,000～12,000ppm程度 ②：13,800～14,500ppm程度
		②	5.3	1.07	
B処理場	42	③	9.2	1.41	③：2,800～4,700ppm程度 ④：2,500～4,500ppm程度 ⑤：1,800～3,700ppm程度
		④	10.3	1.59	
		⑤	16.1	2.49	

- 炭酸ガス濃度が低いB処理場の中性化速度係数の方が大きかった。

→ **中性化の進行には、炭酸ガス濃度以外の要因(コンクリートの材料や品質、槽内の流動等)も影響しているものと考えられる。**

3. 結果　－気相部調査(４)－

■　劣化状況：目視調査

割れ、浮き、鉄筋露出等は無く、検打による打音は、堅固な響きであった。

- 両処理場とも**目視等による気相部の表面異常**は確認できなかった。

3. 結果　－液相部調査(1)－

■ 劣化環境：水質分析調査

調査地点			侵食性遊離炭酸（mg/L）	pH	アルカリ度（mg/L）
A処理場	①	好気・流入側	**7**	6.9	120
	②	好気・流出側	**8**	6.5	64
B処理場	③	嫌気	**6**	6.7	170
	④	好気・流入側	**5**	6.6	150
	⑤	好気・流出側	**5**	6.6	130

- 高濃度の侵食性遊離炭酸を確認することは出来ず、劣化が発生している施設での測定事例(18～40mg/L)※と比較しても低濃度であった。

※　公益社団法人日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説後編-2019年版-　参照

3. 結果　－液相部調査(２)－

■ 劣化状況：中性化深さ測定

単位(mm)

調査地点				測点１	測点２	測点３	平均
A処理場	①	好気・流入側	浅層部	11.0	10.3	8.3	**9.8**
			深層部	7.0	6.5	5.5	**6.3**
	②	好気・流出側	浅層部	11.0	6.0	10.0	**9.0**
			深層部	9.0	7.3	9.0	**8.4**
B処理場	③	嫌気	深層部	1.0	1.0	1.0	**1.0**
	④	好気・流入側	浅層部	10.8	11.0	10.5	**10.8**
			深層部	9.8	6.3	8.8	**8.3**
	⑤	好気・流出側	浅層部	9.5	11.3	9.3	**10.0**
			深層部	9.0	9.3	10.8	**9.7**

- 嫌気タンク(調査地点③)では、ほとんど中性化していない。
- 両処理場とも、測定箇所の違い(流下方向)による大きな差は確認できない。
- いずれの調査地点も、**深層部に比べ浅層部で、中性化が進行**している(平均)。
- A処理場は液相部、B処理場は気相部(共に好気タンク平均値)で中性化深さが大きく、**処理場間で中性化の進行に違いがみられた**。

3. 結果　－液相部調査(３)－

■ 劣化状況：目視調査

スクレーパでこすると表面が容易に削り取れる(表面の軟化)。

コンクリート躯体の骨材が露出している。

- 部分的ではあるが、両処理場で表面の異常が確認された。

→ **高濃度の侵食性遊離炭酸は確認できなかったものの、表面の劣化が進行しているものと想定される。**

おわりに

まとめ

2箇所の下水処理場の反応タンクを対象とした現地調査の結果を、以下に示す。

- 反応タンク気相部には高濃度の炭酸ガスが存在している。また、施設の運転方法等によりその濃度には大きな違いが生じる。

- 反応タンク液相部では、部分的ではあるがコンクリート表面の溶出や骨材の露出が確認できた。このことから、侵食性遊離炭酸による劣化が進行しているものと考えられる。

- 中性化深さ測定では、嫌気タンクでの中性化の進行は確認できなかった。好気タンクでは測定箇所の違い（流下方向）による差異は生じなかったが、液相部では深層部に対し、浅層部での進行が速いことが確認できた。

今後の展望

- 下水道施設のコンクリート構造物における炭酸劣化の実態について、調査を継続し、更なる知見の蓄積を進める。

- 炭酸によるコンクリート劣化の対策に係る技術基準の策定等、総合的な腐食・劣化対策を確立を目指す。

ご清聴いただきありがとうございました。

謝辞：調査にご協力いただいた関係自治体各位に感謝の意を表します。