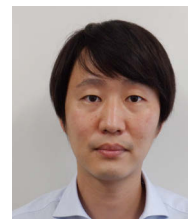


下水道施設における点検・調査へのICT技術の活用方法に関する調査研究

研究第一部 研究員
岸 謙介
(2023年6月まで所属)



1 研究の概要

下水道処理人口普及率は令和3年度末で80.6%に達しており、普及率の向上とともに下水道施設（管路、処理場、ポンプ場）のストックは増加しています。持続可能な下水道事業の実現のため、この大量のストックについて、適切な維持管理、老朽化した施設の適切な改築等が求められています。計画的な維持管理・改築事業の実施に向けて、より効率的・効果的に実施する技術が重要となります。

その1つの解決策として、ICT技術の活用があり、近年下水道施設においてもICT技術を用いた点検・調査技術が実用化されてきています。そこで、本研究では、下水道施設における点検・調査へのICTの活用効果を高めることを目的とし、フィールド試験を実施しました。

2 研究体制

2.1 研究体制

本研究は、下水道技術開発連絡会議（※1）にて実施しました。

※1 札幌市、仙台市、さいたま市、千葉市、東京都、川崎市、横浜市、相模原市、新潟市、静岡市、浜松市、名古屋市、京都市、大阪市、堺市、神戸市、岡山市、広島市、北九州市、福岡市、熊本市、（公財）日本下水道新技術機構から構成される会議

2.2 研究期間

令和3年度～令和4年度

3 研究内容

本研究は、令和3年度のICTのニーズ調査・アンケート調査等を踏まえて、令和4年度に実際の下水道施設を用いた以下の3技術のフィールド試験を実施しました。

- ・回転機器に対する振動センサによる劣化診断技術
- ・回転機器に対する音響データに基づく異音検知技術
- ・中大口径管に対する浮体式カメラによるスクリーニング調査技術

4 研究結果

4.1 回転機器に対する振動センサによる劣化診断技術

4.1.1 試験目的

回転機器の劣化診断技術として振動センサ等を利用した解析技術の調査研究が進められています。民生用に対しては数千台以上が導入されている実績がある中、官公庁向けとなる下水道施設においての実績はいまだに多くなく、今後導入が進んでいくことが考えられます。

ここでは、振動センサによる劣化診断技術の現場検証を通じ、その適用性の確認を目的として試験を実施しました。

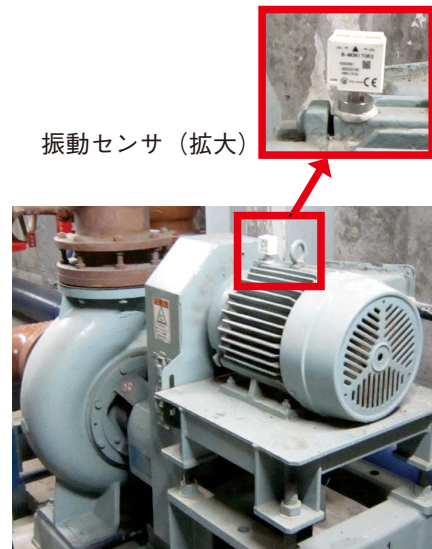
4.1.2 試験方法

図-1に使用した振動センサのシステム構成図を示します。振動センサは市販システムを利用しました。図に示すとおり、Bluetooth通信により、スマートフォンを振動センサに近づけるとデータを収集できま

す。端末に収集されたデータを、モバイル回線網等を通じてクラウドサーバーにアップロードし、WEBで閲覧します。

表-1 に振動センサ諸元を示します。本センサは、エポキシパテにて回転機器の軸受近傍等に取り付けました。

フィールド試験は、フィールドA~Eの5カ所で実施しました。表-2 に振動センサ設置箇所を、写真-1 に振動センサ設置状況の一例を示します。データ収集頻度は、日常点検時等に合わせ、2週間に1度程度としました。またレポートで報告するデータは、フィールドにより異なりますが2022年11月~2023年3月の5カ月程度の間収集した結果です。



振動センサ (拡大)

写真-1 振動センサ設置状況の例 (返送汚泥ポンプ, フィールドA)



図-1 振動センサのシステム構成図

表-1 振動センサ諸元

項目	内容
基本情報	外形寸法：L38mm, W24mm, H38mm 電源：リチウム電池
計測内容	1軸振動加速度RMS, 1軸振動速度RMS, 温度, 運転時間, FFT
計測仕様	加速度計：±30G, 測定周波数範囲：8~10,000Hz, FFT分解能：1Hz
適用環境	IP66, 周囲温度：-20~60℃, 設置面：-20~85℃
データ保存間隔	加速度RMS・温度：1時間, 速度RMS：1日, FFT：7日 (標準)

表-2 振動センサ設置箇所

フィールド	汚水ポンプ	送風機	脱水機	返送汚泥ポンプ	計
A		3		7	10
B				13	13
C	5	2	3		10
D		3			3
E	5		4		9
計	10	8	7	20	45

4.1.3 試験結果

(1) 振動センサ測定結果

本稿では、フィールドAの2系返送汚泥ポンプNo.1, No.2 (7.5kW, 4極, 製造年2007年)の結果を説明します。

図-2に、加速度, 速度, 温度の測定結果を示します。No.1, 2は交互運転であり, 値は小さく安定していました。

図-3に、振動加速度の周波数解析例 (FFT) を示します。No.1と比較すると, No.2の加速度は周波数500~1 kHz, 2k~4 kHz周辺について相対的に大きい値を示しており, 振動センサメーカーからは軸受の潤滑不良やベルトの緩みの可能性を指摘されました。

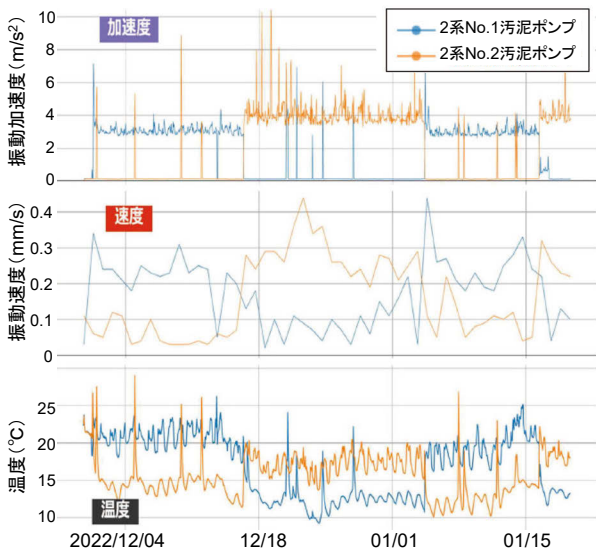


図-2 加速度, 速度, 温度

た。フィールドAの現地を確認したところ, 同条件で設置・運用されているポンプですが, No.2のポンプはVベルトの緩みの兆候が確認されました。

(2) アンケート結果

フィールドA~Eに対し, 振動センサによるデータ取得について, アンケート調査を実施しました。図-4に示します。1カ所2分程度でデータ収集ができる, 機械室の入り口からデータ収集ができるといった意見がありました。

一方で, 課題としては, データを閲覧するシステムの使い勝手や見やすさの改善, 誤解を招かないようなマニュアル類の表現の修正について, 要望がありました。

4.1.4 課題・考察

日常点検に合わせ, 下水道施設の回転機器の振動データを比較的容易に取得することができました。データを取得することで, 運転状況や異常検知を効率的に調査できる可能性が示唆されました。

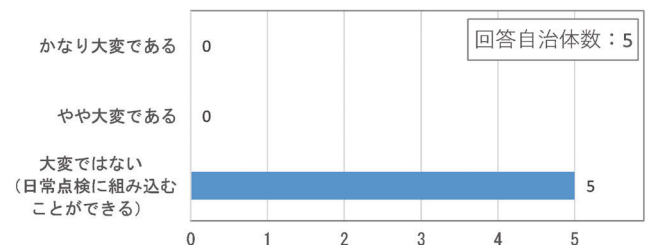
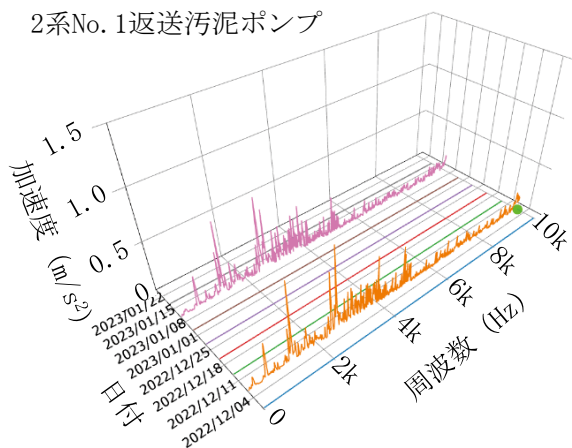


図-4 センサからのデータ取得について

2系No.1返送汚泥ポンプ



2系No.2返送汚泥ポンプ

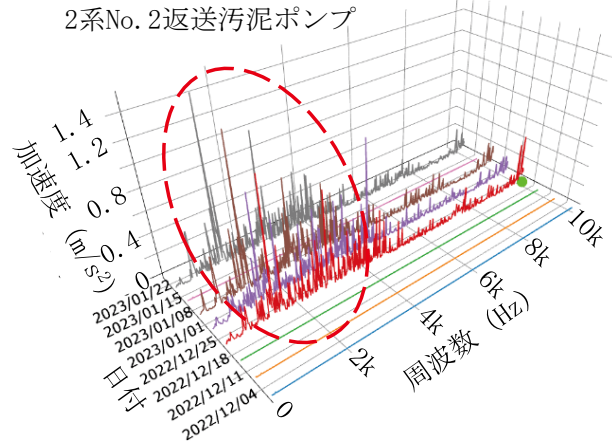


図-3 振動加速度 周波数解析例 (FFT)

4.2 回転機器に対する音響データに基づく異音検知技術

4.2.1 試験目的

予防保全型の維持管理を実践していくためには、機械振動等の診断技術と共に、異音検知による異状の早期発見や、これらデータの蓄積による劣化予測技術の開発も有効な手段であると考えられます。

本技術は、比較的安価な民生の收音装置を活用し、収集した音響データの周波数帯域やうねりをグラフ等により可視化することで、異状の早期発見を目指すものです。

ここでは、音響データに基づく異音検知技術を開発するに当たり、技術のフィールド試験を通じてその適用性の検証することを目的とし、試験を実施しました。

4.2.2 試験方法

使用した音響センサ等仕様を表-3に、構成図を図-5に示します。音響データとの相関データの取得用に振動値も計測しました。

音響試験は、フィールドFの生汚泥ポンプ2台(No.1, No.2)を対象にデータを取得しました。ポンプは単独運転で、週ごとにNo.1とNo.2を切り替えて運用されていました。ポンプは1時間ごとのタイマー運転であり、起動から停止まで25分間程度運転し、最初沈殿池の汚泥を送泥していました。

表-4に音響試験の測定データ数、写真-2に音響試験の状況を示します。

運転データ取得中のうち1回分において、ポンプ付

近でコーン落下等を実施し、人為的な異音を含むデータを取得しました。

表-3

機器	型番	仕様
普通騒音計	NL-21	C特性 (33~130dB)
		サンプリング周波数: 48kHz
振動ピックアップ	PV-90B	圧電式加速度検出 (環状シェア)
		周波数範囲: 1Hz~25,000Hz
		電荷感度0.18 pC/ (m/s ²) ±20% (80Hz, 23°C)

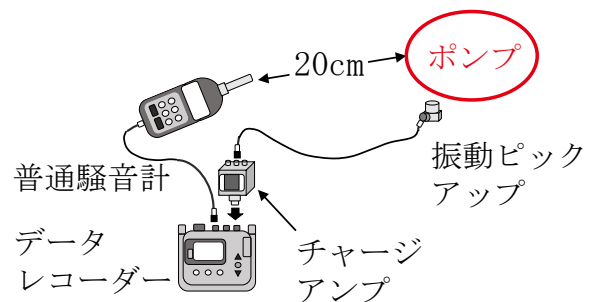
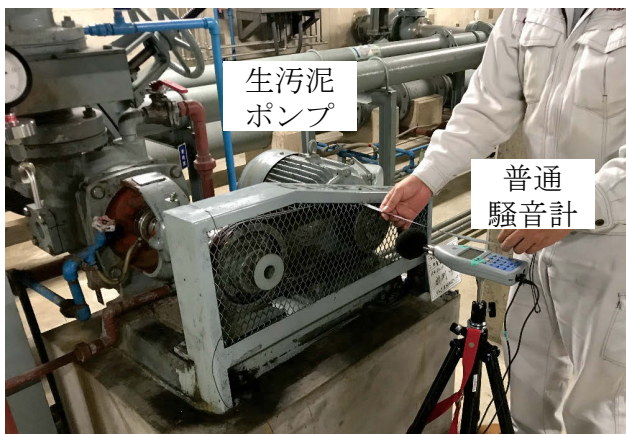


図-5 音響センサ等構成図

表-4

試験日	測定データ数
2022年12月7日	25分/回×7回
2022年12月9日	25分/回×7回
2022年12月12日	25分/回×7回
2022年12月13日	25分/回×7回※

※最終1回の計測中は、ポンプ付近で発声やコーン落下、金属音等の異音を発生させた



(a) 設置状況



(b) 人為的な異音発生状況

写真-2 音響試験の状況

4.2.3 試験結果

図-6に、収集した音圧データを周波数解析例（サウンドスペクトログラム 12月13日15時55分～16時12分頃）を示します。

図より、16時10分、16時11分頃に、63～2kHz周辺で70dB以上の音を数回記録しています。このことから、人為的に発生させたコーン落下音を、周波数解析より判別できることが示唆されます。

図-7に、それぞれ12月7日と12月13日の7回分の音響計測データを周波数別に統計処理した結果を示します。統計処理を行ったデータを取り扱うことで、将来AI学習へ活用する際などにおいて、より少ない計算機能力で正常・異常データの学習を実施できることが期待されます。

12月13日のデータは63～2kHz周辺に、音圧の最大

値と平均（90%レンジ）に差異があります。一方、12月7日にはそのようなデータは見受けられません。このことから、統計データである周波数別統計結果からも、異音を判別できたと考えられます。

4.2.4 課題・考察

音響センサ技術は、比較的簡単に導入でき、その周波数解析結果より、運転状況や異常検知に活用できることが示唆されました。

課題として、正常から異常発生までの間の音響データを収集し、検出できるかの検証が必要です。具体的には、周囲環境で発している異音と、異常を起因とする軸受等から発する異音を区別できるかという課題があると考えています。

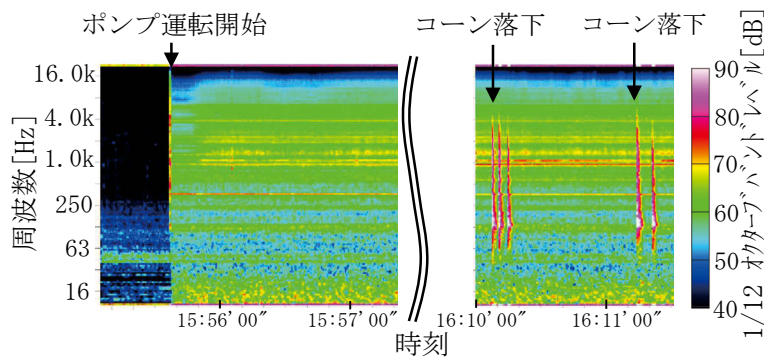
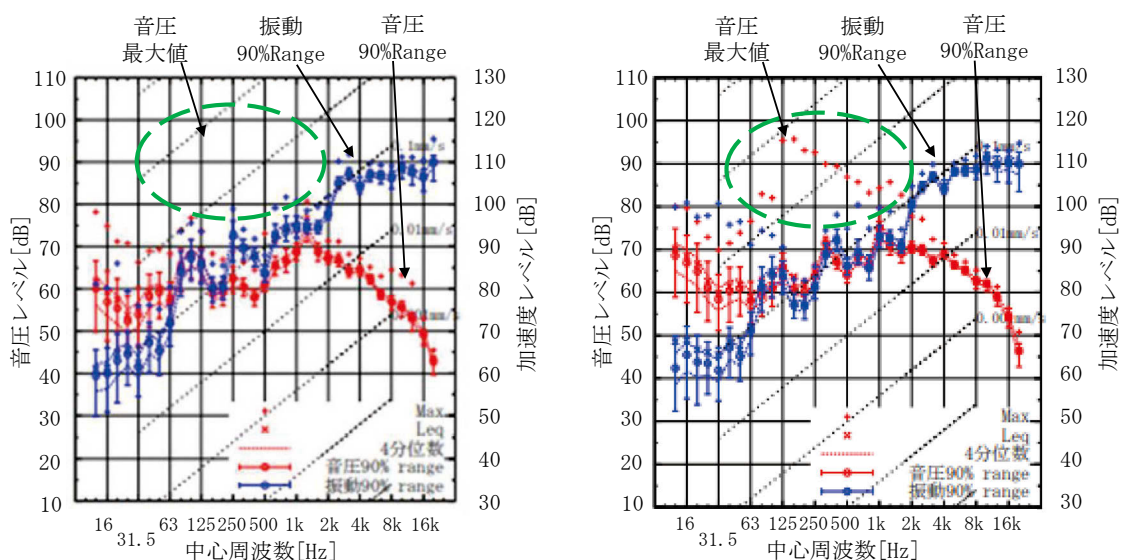


図-6 周波数解析（サウンドスペクトログラム）
（12月13日15時55分～16時12分頃）



(a) 12月7日（7回分）

(b) 12月13日（7回分）

図-7 周波数別統計値

4.3 中大口径管に対する浮体式カメラによるスクリーニング調査技術

4.3.1 試験目的

下水道の管路調査においては、管口カメラ、自走式TVカメラやドローン等を活用した点検・調査が進められていますが、特に中大口径管に多い高流速、高水位の条件下では、使用できる機材が極めて限定的となり、調査困難箇所として調査が先延ばしされるケースがあります。

ここでは、管路内の段差や曲がりなどの構造的制約への適用性が高い、浮体式カメラ（浮体に積載されたカメラを下水の流れに浮流させて録画する手法）によって管内気相部の壁面状況を確認する技術を使用し、高流速、高水位といった調査困難な中大口径管の劣化診断・調査技術の適用性を確認するため、フィールド試験を行いました。

4.3.2 試験方法

写真-3に浮体式カメラの構成、表-5に諸元を示します。

保安作業等の準備孔の後、浮体式カメラをインバートに設置し、一定のスピードで下流マンホールまで撮影を実施します。図-8に調査イメージを示します。浮体式カメラ調査のフィールドは、3カ所（フィールドG、フィールドH、フィールドI）にて実施しました。フィールドの概要を表-6に示します。

4.3.3 試験結果

ここでは、3つのフィールドのうちフィールドGの結果を示します。

写真-4に周辺状況を、図-9に案内図を示します。路線は6スパンでした。

写真-5に、下流側から撮影した浮体式カメラを示します。

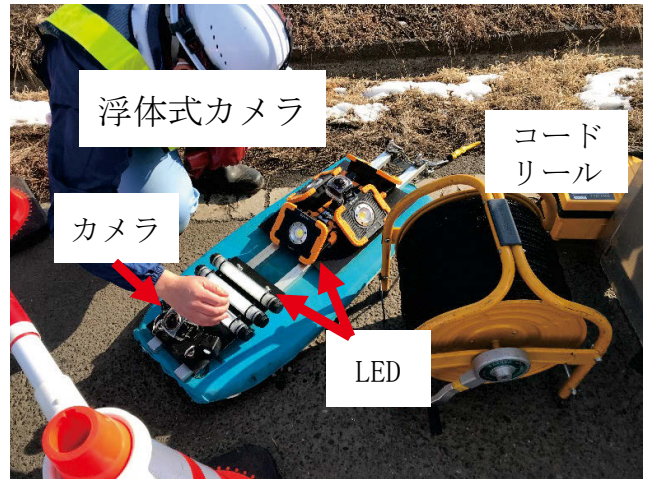


写真-3 浮体式カメラの構成

表-5 浮体式カメラの諸元

適用管径 (mm)	Φ800～Φ2500
寸法 (mm)	横幅 450
	奥行 1000
	高さ 300
重量 (kg)	8
撮影モード	広角撮影
照明	LED ライト×7 灯

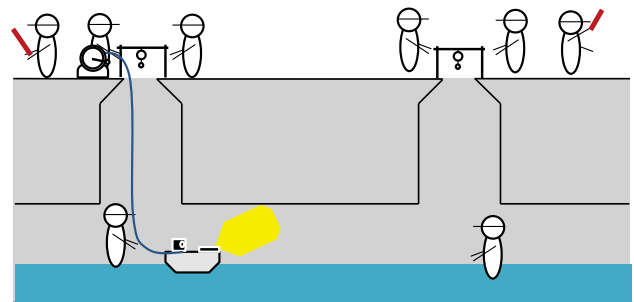


図-8 浮体式カメラ調査のイメージ

表-6 浮体式カメラ調査フィールドの概要

フィールド	路線数	対象延長	管径	管種	経過年数	人孔深	水深	流速	備考
G	6スパン	約726m	Φ1,500mm	ヒューム管 (HP)	43年	6m程度	概ね1/4	0.7m/s程度	—
H	1スパン	約545m	Φ1,500mm	シールド管	44年	14m程度	上流：概ね1/5 下流：概ね3/4	平均 0.1m/s	処理場 入口の管
I	2スパン	約66m	Φ800mm	強化プラスチック 複合管 (FRP)	21年	2m程度	概ね1/2	流れなし	水替え工 雨水幹線

撮影した映像のうち、異常発生箇所を例を写真-6に示します。対象箇所では、映像から、破損bが3カ所、クラックbが8カ所、浸入水bが20カ所確認されました。

また、調査所要時間について、表-7に示します。時間を要する作業は、準備としてマンホールへ移動してから人孔内安全確認までの作業と、片付けとしてカメラ回収から規制帯撤去までの作業でした。

4.3.4 課題・考察

本結果を踏まえ、浮体式カメラ技術は、特別な操作なく、中大口径管の劣化状況の把握に十分な映像を得られることがわかりました。

一方で、管の曲がりや段差、急流の影響でカメラの撮影方向が不安定になることへの対策、作業員の入孔が難しい箇所において地上部で作業が完結するシステムの導入が今後の課題と考えています。



図-9 フィールドG 案内図



写真-4 フィールドG 周辺状況



写真-5 調査状況 (下流側より撮影)



写真-6 フィールドG 破損b

表-7 作業時間の集計

通し No	延長 (m)	所要時間 (分)				速度 (m/分)
		準備	流下	片付	合計	
①	148.04	16	4	10	30	37
②	150.19	15	4	10	29	38
③	123.71	13	3	7	23	41
④	126.13	12	4	8	24	32
⑤	61.07	12	2	8	22	31
⑥	116.63	12	3	10	25	39
平均		13.3	3.3	8.8	25.5	36

5 まとめおよび今後の課題

【回転機器に対する振動センサによる劣化診断技術、 回転機器に対する音響データに基づく異音検知技術】

本研究の中では、回転機器を対象に振動・音響センサを活用した状態監視のフィールド試験を実施し、次の知見を得ました。

振動、音響センサは比較的簡単に設置、データ収集が可能であり、運転状況の振動値、音圧を問題なく取得することができました。周波数解析結果より、運転状況や異常検知に活用することが可能であることが示唆されました。

今回試験実施期間中には設備の不具合は確認されていないものの、連続してのデータ取得が有効となる可能性が示唆されました。現状、保全管理の必要性は認識されているものの、連続的な調査方法やデータ取得

に要する手間やコストが大きな課題です。今回の手法は比較的低コストで実施できる方法であり、振動や音響データを蓄積・分析することにより、今後、状態監視保全によるストックマネジメント実施に寄与することが期待されます。

【浮体式カメラによるスクリーニング調査技術】

中大口径管にて、自然流下型の浮体式カメラを用い、スクリーニング調査を実施しました。

高流速といった条件の中大口径管においても、気相部のクラックや浸入水発生箇所を判別するのに十分な映像を取得することができました。これまで高流速・高水位といった未調査区間における調査診断技術とし、有効であることが示唆されました。

今後の課題として、曲部、段差、分岐や合流といった条件のある中大口径に対しても、適用の範囲を広げていくことが挙げられます。

