

下水道管路模擬施設を用いた 点検調査機器の性能確認・比較実験

畠山貴之・橋本 翼

1. はじめに

下水道管路施設の管理については、点検調査の速度向上や困難箇所での導入等、点検調査機器の技術開発に対するニーズが高い。民間企業による技術開発や地方公共団体における新技術の活用を促進するためには、実証データを基に機器性能を明確化することが重要であるが、実際の下水道管路施設を用いた性能試験は、点検調査機器の紛失リスクがあるとともに、同一条件下での性能比較が困難である。そこで、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、下水道管路施設の点検調査機器の性能を明確化するため、下水道管路模擬施設を2021年度に設置し、2022年度に実験を開始した。

本稿では、下水道管路模擬施設の概要及び下水道管路模擬施設に設置した小口径管路及び大口径管路を用いた各種点検調査機器の性能確認・比較実験の内容及び結果を示す。

2. 下水道管路模擬施設の概要

下水道管路模擬施設は、主に、圧送管（硬質塩化ビニル管、口径150mm及び300mm）、小口径管路及び大口径管路により構成される（図-1）。小口径管路は、口径200mmの鉄筋コンクリート管、口径250mmの鉄筋コンクリート管、口径400mm・500mm・600mmの鉄筋コンクリート管それぞれを1号組立人孔で接続した施設の計3つの施設で構成されている。大口径管路は、口径800mmの鉄筋コンクリート管を2号組立人孔及び1500mm×1500mmのボックスカルバートで接続した施設である。小口径管路及び大口径管路は、開口部に異常模擬鉄板を設置することで、クラックや腐食等、下水道管路内に発生する様々な異常を再現できるほか、貯水タンクや送風機を使用することで水流や管内風を再現でき、実際に近い条件下で点検調査機器の定量的な評価が可能である。

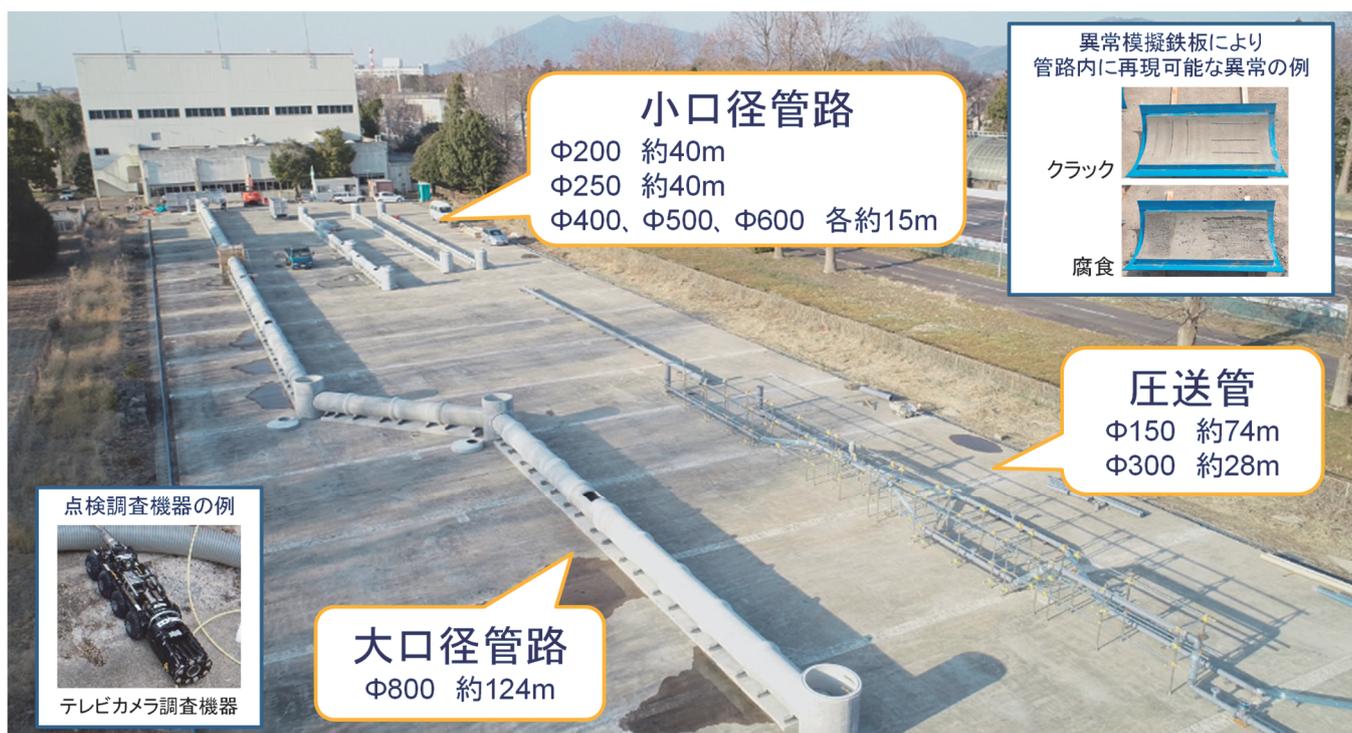


図-1 下水道管路模擬施設の俯瞰図

3. 実験の概要

3.1 小口径管路での実験概要

小口径管路では、口径400mm・500mm・600mmの鉄筋コンクリート管（全長約45m）で、テレビカメラ調査機器を用いた詳細調査の実験を行った。各開口部には、異常模擬鉄板を設置した。本実験に用いたテレビカメラ調査機器は、表-1に示すように、走行性能や口径変化箇所での対応方法の違いを把握するため、テレビカメラ調査機器として標準的に採用されているもの（機種1）、最新鋭の機種（機種3）、その中間的な性能を有する機種（機種2）の3機種を選定した。

まず、テレビカメラ調査機器を小口径管路の始点（人孔）から投入し、管内の異常を把握しながら走行可能な地点まで進ませる。走行不可能となった場合はテレビカメラ調査機器を回収し、必要な調整作業を行った上で再走行させ、小口径管路の終点（人孔）まで詳細調査を行った。要した作業時間から日進量等を整理した。

3.2 大口径管路での実験概要

大口径管路では、ドローン調査機器4機種（表-2）を用いて、詳細調査を必要とする箇所の絞り込みを行うことを目的とした点検調査を想定し、以下の2実験を行った。

3.2.1 長時間飛行実験

ドローン調査機器を大口径管路の始点（人孔）から投入し、直線部を飛行区間として連続飛行実験を行った。直線部の端に達した場合は折り返して実験を継続することとし、1回のバッテリーで連続飛行した時間及び延長を計測した。管内水位の影響で飛行困難と判断された場合はバッテリー残量がある場合も飛行を停止した。管内水位の条件は、口径に対して0%、12%、18%とした。

3.2.2 管内異常の調査性能確認実験

ドローン調査機器を大口径管路の始点（人孔）から投入し、調査性能の確認実験を行った。各開口部には、異常模擬鉄板を設置した。管内水位の条件は、口径に対して0%、10%、20%、30%とした。

4. 結果

4.1 小口径管路での実験結果

テレビカメラ調査機器ごとに実験実施時に測定

表-1 テレビカメラ調査機器の概要

	機種1	機種2	機種3
①走行性			
ステアリング機能	なし	なし	あり
リフト機能	なし	なし	高さ変更可能
タイヤ付替え機能	手作業で付替え	工具なしで付替え	ワンタッチで付替え
②操作性	アナログシステム、ジョイスティック	キーボード、ジョイスティック	タッチパネル、ジョイスティック

表-2 ドローン調査機器の概要

	機種A	機種B	機種C	機種D
サイズ	中	大	小	小
重量	約2,000g	約5,000g	約1,500g	約200g
連続飛行可能時間	約5分	約30分	10分	8分
タイプ	飛行	水面走行	飛行	飛行
飛行制御	手動制御	手動制御	手動制御	手動制御

表-3 テレビカメラ調査機器の日進量

	機種1	機種2	機種3
日進量 (m/日)	162	168	222
標準的な歩掛りの日進量 (m/日)	240	240	240
比率	0.68	0.7	0.93

した作業時間を基に日進量を算定した。日進量は、調査準備及び後片付けを含むすべての作業時間を対象にしている。標準的な歩掛りでは、テレビカメラを1日あたり6時間走行させたときの走行距離が側視回数別に示されている。本実験では異常模擬箇所、取付管部及び継手部にて側視を実施しており、作業時間及び走行距離から6時間あたりに進む距離を求め、日進量とした。

表-3に各機種の日進量の比較を示す。本実験では全長約45mの管路に対し21回の側視（約0.47回/m）を実施している。標準的な歩掛りの日進量として、側視回数0.5回/m以下に対応する240m/日と比較すると、機種1及び機種2の日進量は7割程度となった。機種3は日進量が222m/日であり、若干であるが標準的な歩掛りの日進量240m/日を下回った。これらの原因としては、断面変化部でのテレビカメラ調査機器の調整作業に時間を要した

ことが考えられる。図-2に機種別・作業項目別の作業時間を示す。作業項目は、テレビカメラ調査機器が管路内を走行・直視する「移動」、発見した異常模擬箇所及び取付管部の詳細を確認する「側視」、断面変化部における調整作業をする「断面変化」に区分した（走行中の継手部の側視は移動に含む）。これより、機種3では、断面変化に要する作業時間を大きく短縮できていることが分かる。機種3は自動でカメラの高さ位置を変えることができるリフト機能を有しており、断面変化部による日進量低下を最小限にとどめることができていることから、日進量の観点から有効な機能であるといえる。また、側視に要した時間については、全体の約4～7割を占めることから、今後テレビカメラ調査機器の日進量の向上を目指すためには、側視の時間短縮が大きな課題になると考えられる。

4.2 大口径管路での実験結果

4.2.1 長時間飛行実験

図-3は、当該実験におけるドローン調査機器の機種別の総飛行距離及び飛行速度を示したものである。機種A、機種C及び機種D（いずれも飛行タイプドローン）を用いた調査は、18%程度の水位になると飛行速度の低下又は飛行が困難になることが分かった。管内水位を高くすると総飛行距離が短くなる点から、ドローン自身が巻き起こす風の跳ね返りや水しぶきによる操作性への直接的な影響が考えられる。また、実験中に機種A及び機種Cにおいて電波の受信不良による飛行停止が確認されたこともあり、管内水による電波の減衰や反射障害が飛行速度の低下や飛行の困難に寄与しているとも考えられる。ドローンで用いる電波の周波数は、Wi-Fiと同様の2.4GHzであり、高

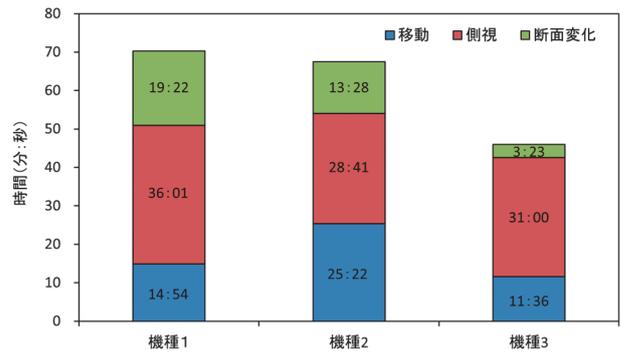


図-2 テレビ調査機器の機種別・作業項目別の作業時間

い周波数帯に区分される。電波は周波数が高いほど減衰しやすい特徴があるため、現在の周波数より低い周波数帯の電波を使用する等の対策を行えば、飛行障害を改善できる可能性がある。総飛行距離に着目すると、本体重量が大きいほど総飛行距離が長い傾向があった。本体重量にはバッテリーが含まれているため、搭載しているバッテリー容量の違いが総飛行距離に影響したものと考ええる。

4.2.2 管内異常の調査性能確認実験

表-4、図-4にドローン調査機器の各機種における模擬異常を確認できた程度を示す。表中の各列の左の記号（◎～×）は現地モニターで模擬異常を確認できた程度を示し、右の記号（◎～×）はドローン撮影画像から後日判読によって模擬異常を確認できた程度を示す。機種Aは、ドローン調査機器の性能上、現地では撮影のみで異常をリアルタイムで確認できないが、後日判読により全ての異常を確認できた。機種B及び機種Dは、現地モニターでは、クラック（ランダム）についてのみ異常模擬鉄板の存在は確認できたが、異常模擬鉄板に再現した異常までは確認できなかった。一

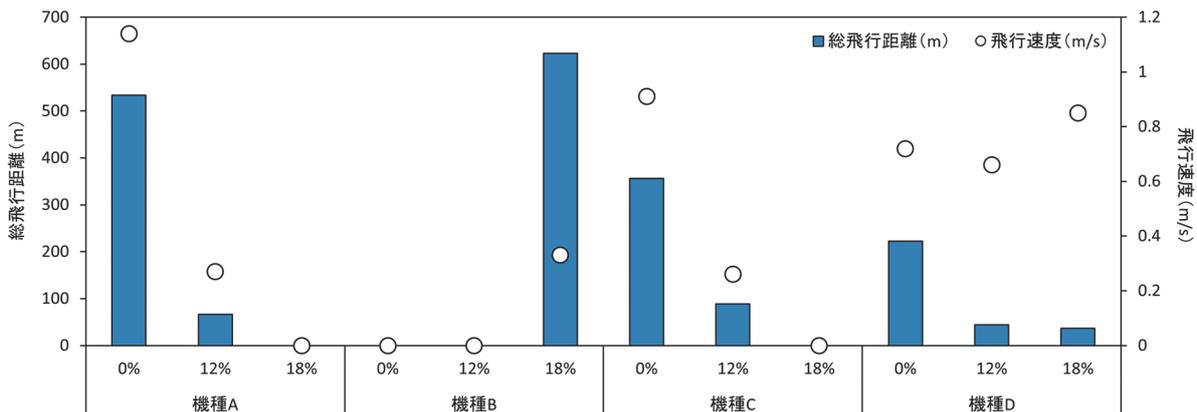


図-3 ドローン調査機器の機種別の総飛行距離・飛行速度（※機種Bは、総水面走行距離・水面走行速度）

表-4 ドローン調査機器の機種別の模擬異常確認の程度

機種	水位	クラック (軸方向)	浸入水	クラック (円周方向)	腐食	管の 継手ズレ	クラック (ランダム)
機種A	0%	×/○	×/○	×/○	×/○	×/○	×/○
機種B	20%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/○
	30%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/○
機種C	0%	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎
	10%	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎
機種D	0%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/△
	10%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/△

◎：異常の詳細まで確認 ○：異常を確認 △：模擬鉄板の確認はできたが異常は確認できず ×：異常を確認できず

※機種Aの水位10%, 20%, 30%、機種Cの水位20%, 30%、機種Dの水位20%, 30%は、ホバリングの状況から飛行不可能と判定。

※機種Bの水位0%, 10%は、管内水位が低く走行不可。

※クラック（ランダム）は、実際のクラックを再現した不規則なクラックを指す。

方、後日判読では、機種Bは異常を確認できたが、機種Dは異常を確認できなかった。機種Cは、現地モニターで全ての異常を詳細まで確認できた。

カメラの画質の点では、機種B及び機種C、機種A、機種Dの順で性能が良い。カメラ制御の点では、機種Cは走行中にカメラの向きを変えられることができるが、その他の機種は固定である。基本的には画質の良い順番に沿った結果が出ており、機種Cはカメラが可動であることによってより鮮明に異常を確認しやすくなったと考えられる。

5. おわりに

テレビカメラ調査機器及びドローン調査機器について、下水道管路模擬施設を用いた実験を行い、性能を確認した。テレビカメラ調査機器は、日進量に側視が大きく作用していることを定量的に確認できた。テレビカメラ調査機器の日進量の向上を目指すためには、側視の時間短縮が大きな課題になると考えられる。ドローン調査機器は、サイズやタイプ等、機種によって特徴が大きく異なるが、飛行可能な管内水位の制約を除けば殆どの機種で異常の判読が可能であり、今後多くの現場での適用が期待される結果であった。

国総研では、引き続き下水道管路模擬施設を用いた点検調査機器の性能確認・比較評価を進めるとともに、将来的には、民間企業等も下水道管路模擬施設を利用できるようにし、更なる点検調査機器の技術開発及び新技術の活用を促進する。

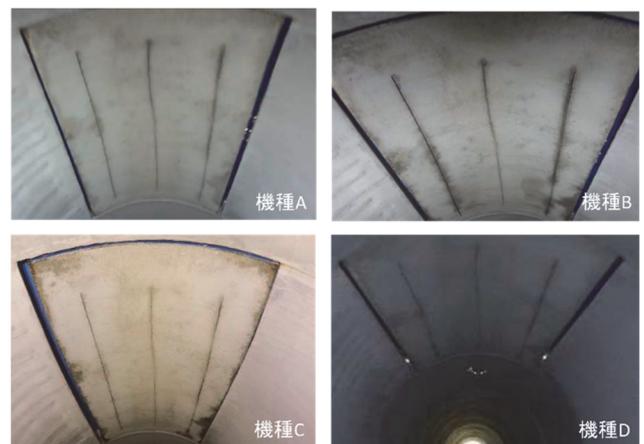


図-4 ドローン調査機器の機種別の模擬異常の撮影写真
(クラック（軸方向）)

参考文献

- 1) 下水道施設維持管理積算要領—管路施設編—2020年版 公益社団法人日本下水道協会
- 2) 鈴木航平、成瀬直人、吉田敏章：下水道管路模擬施設を用いた点検調査機器の確認・比較実験、第60回下水道研究発表会講演集、pp.742～744、2023

畠山 貴之



国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道研究室 研究官
HATAKEYAMA Takayuki

橋本 翼



国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部下水道研究室 主任研究官
HASHIMOTO Tsubasa