

スクリーニング調査を核とした管渠調査方法の技術評価 ～B-DASHプロジェクト（管渠マネジメントシステム）の実証研究～

深谷 渉・末久正樹・賀屋拓郎・小川文章

1. はじめに

地方公共団体では、下水道管渠の劣化に伴う道路陥没等の未然防止や管渠の長寿命化を図る観点から、計画的な点検調査の実施に向けた取り組みが進められている。しかしながら、限られた予算や現行のTVカメラ調査の日進量では膨大な管渠ストックを十分調査できないことから、様々な管渠調査技術を組み合わせた効率的な調査方法の開発が強く望まれている。

2. 下水道革新的技術実証事業の概要

2.1 下水道革新的技術実証事業とは

国土交通省では、平成23年度から下水道革新的技術実証事業（以下、「B-DASHプロジェクト※」）を実施している。平成25年度は、下水道管路施設の維持管理費縮減や点検調査実施率の向上を図るため、管渠マネジメントシステム技術を対象とした民間技術の公募を行い、3つの技術を選定した。

2.2 管渠マネジメントシステム

下水道管渠の維持管理は、調査計画の策定に始まり、調査計画に基づく全管渠を対象とした劣化調査（詳細調査）、緊急度判定（改築・修繕の優先順位付け）及び処置の実施、調査結果等の履歴の蓄積、調査計画へのフィードバックといったPDCAサイクルで実施（図-1）するのが一般的である。このサイクルを実現するために必要となる技術及び一連のシステムを、管渠マネジメントシステムと呼んでいる。

B-DASHプロジェクトでは、前述のPDCAサイクルのさらなる効率化のために、管内の劣化調査に従来より用いられてきたTVカメラ調査の前段に、詳細な劣化調査を必要とする対象箇所を絞り込むためのスクリーニング調査を加えるとともに、詳細調査の効率性や調査精度を向上させる新たな



図-1 管渠マネジメントのPDCAサイクル
技術を導入する、新たな管渠マネジメントシステムを提案した。

ここでスクリーニング調査とは、広範囲にわたる管渠を迅速に調査し、緊急対応が必要な異常の発見及び詳細調査の対象箇所を絞り込むことを目的とした調査であり、用いられる技術は、①広範囲の管渠を迅速、安価に調査すべき、②中度以上の異常有無を見つけることができる、③調査前の洗浄等の事前措置を極力実施しない、などの特徴を有している。

3. 管渠マネジメントシステム技術の概要

B-DASHプロジェクトでは、3つの管渠マネジメントシステムを構成する技術毎に機器性能等の検証を実施した。各システム及びシステムの構成技術を下記に示す。



図-2 システムAの技術

Demonstration of sewage pipe's management system based on screening survey

※Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

表-1 システムAの構成技術

	スクリーニング調査	詳細調査	追加調査技術①	追加調査技術②
技術名称	管口カメラ	展開広角カメラ	管路形状プロファイリング	傾斜計測計
調査目的	詳細調査箇所の絞り込み	管きよの異常診断	偏平・変形、耐荷力把握	管勾配の効率的計測
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 作業員がマンホールに入らずに調査 管壁の異常(クラック)は管口付近のみ判定可能 緊急度判定を行うためには詳細調査が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 継手部を側視することなく走行、撮影 撮影画像は、展開図化し異常の程度を判定 	<ul style="list-style-type: none"> レーザー光線を管内壁に照射し管内壁の凹凸や変形を把握 	<ul style="list-style-type: none"> 展開広角カメラに傾斜計測計を内蔵 スパン全体の縦断勾配を定量的かつ連続的に自動計測

表-2 システムBの構成技術

	スクリーニング調査	詳細調査	追加調査技術
技術名称	展開広角カメラ	—	衝撃弾性波検査法
調査目的	詳細調査箇所の絞り込み、異常診断	—	耐荷力把握
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 継手部を側視することなく走行、撮影 撮影画像を展開図化し異常程度を判定 緊急度判定が可能でTVカメラ調査(詳細調査)が不要 	—	<ul style="list-style-type: none"> 管きよの耐荷力を定量的数値として判断 目視で確認が困難な微小クラックや外面クラックを間接的に発見可能 非破壊検査であり、管を傷めない 残存耐荷力に応じた適正な改築工法の選定が可能

3.1 管口カメラ点検と広角展開カメラ調査及びプロファイリング技術による管渠マネジメントシステム

管口カメラ点検と展開広角カメラ調査及びプロファイリング技術による管渠マネジメントシステム(以下、「システムA」)は、大きな異常のある管渠を管口カメラによりスクリーニング後、展開広角カメラで詳細調査を実施する。

また必要に応じ、管路形状プロファイリングや傾斜計測計により、従来型TVカメラでは把握できない管内壁の凹凸や、たるみ・偏平等の特定の異常項目を正確に計測する。システムの構成技術は表-1、図-2の通りである。(実証機関：管清工業(株)、(株)日水コン、八王子市共同研究体、実証都市：八王子市)

3.2 展開広角カメラ調査と衝撃弾性波検査技術による管渠マネジメントシステム

展開広角カメラ調査と衝撃弾性波検査技術による

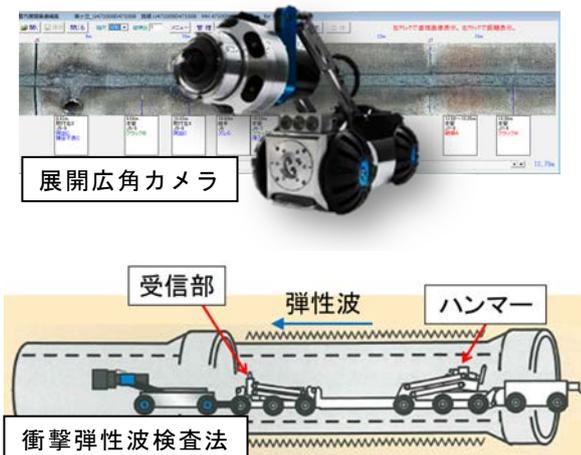


図-3 システムBの技術

る管渠マネジメントシステム(以下、「システムB」)は、直視走行だけで管内状態を効率的に把握することが可能な展開広角カメラを用いてスクリーニング後、必要に応じ衝撃弾性波検査法を用いて管体の耐荷力算定及び対策方法の判定を行う。システムの構成技術は表-2、図-3の通りである。(実証機関：積水化学工業(株)、(一財)都市技術センター、河内長野市、大阪狭山市共同研究体、実証都市：河内長野市、大阪狭山市)

3.3 高度な画像認識技術による管渠マネジメントシステム

高度な画像認識技術による管渠マネジメントシステム(以下、「システムC」)は、無停止での全周画像撮影、学習型不具合自動検出等の機能を備えた自走式TVカメラを用いて、調査の省力化、効率化を図るものである。システムの構成技術は表-3、図-4の通りである。(実証機関：日本下水道事業団、日本電気(株)、船橋市共同研究体、実証都市：船橋市)

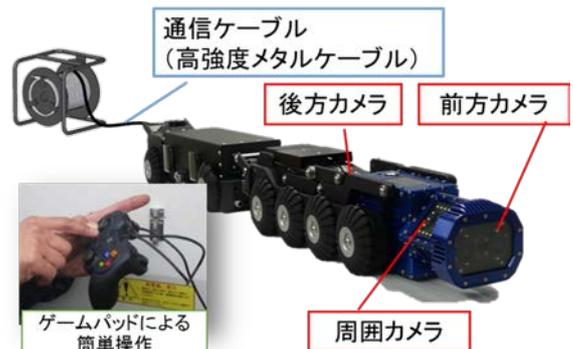


図-4 システムCの技術

表-3 システムCの構成技術

	スクリーニング調査
技術名称	展開広角カメラ
調査目的	詳細調査箇所の絞り込み、異常診断
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・継手部を側視することなく走行、撮影 ・撮影画像を展開図化し異常程度を判定 ・異常発生箇所を自動検出し、判定者の労力を大幅に軽減 ・緊急度判定が可能でTVカメラ調査（詳細調査）が不要 ・ケーブルの軽量化により長距離調査が可能

4. 実証結果

(1) 評価項目と評価方法

実証研究では、管渠マネジメントシステム技術の性能等を示す評価項目を下記の通り設定し、老朽化が進行しつつある実際の管渠（実証フィールド）を調査し、評価用データを収集した。

評価項目は、技術の性能を示す項目として、日進量、調査コスト、確認可能な異常項目とランク、異常確認精度（検出率・適合率）、堆積物の乗り越え性能としての走破性を整理した。また、現場の適用性を明らかにするために、適用範囲（管渠属性）、適用条件（現場環境）、専門技術性（必要な資格・知識）を整理した。

得られたデータは、技術導入時の参考になるよう後述するガイドラインに整理した他、技術選定時の目安になるよう、①緊急度適合率、②日進量向上率、③コスト効率の3つの指標（以下、「共通指標」）を整理した。

ここに、①緊急度適合率は、実証フィールドにおける管渠マネジメントシステム技術と従来型TVカメラの緊急度判定結果（表-4に基づき判定）を比較し、従来型TVカメラの結果を正とした場合の適合割合を示す指標であり、算出方法は表-5の通りである。

②日進量向上率は、実証フィールドにおいて堆積有・無の場合の日進量を計測し、従来型TVカメラに対する日進量の向上割合として示した。

③コスト効率は、従来型TVカメラの調査単価に対する管渠マネジメントシステム技術による調査単価のコスト縮減効果を示す指標であり、実フィールドで要した人員や機械損料、日進量に基づき算出した。

①～③は、管渠マネジメントシステム全体（スクリーニング+詳細調査）を対象とし、システムAは管口カメラ+展開広角カメラ、システムBは展開広角カメラ（詳細調査は省略）、システムCは画像認識型カメラ（詳細調査は省略）とした。

表-4 管渠の緊急度区分²⁾

緊急度区分		対応の基準
緊急度Ⅰ	重度	速やかな措置が必要
緊急度Ⅱ	中度	簡易な措置により必要な措置を5年未満まで延長できる
緊急度Ⅲ	軽度	簡易な措置により必要な措置を5年以上にまで延長できる

表-5 緊急度適合率の算出イメージ

スパン数	従来型TVカメラで調査した判定結果			
	緊急度Ⅰ	緊急度Ⅱ	緊急度Ⅲ以下	
管渠マネジメントシステム技術で調査した判定結果	緊急度Ⅰ	A ₁	A ₃	C ₁
	緊急度Ⅱ	A ₂	A ₄	C ₂
	緊急度Ⅲ以下	B ₁	B ₂	C ₃

$$\text{緊急度適合率(\%)} = \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)}{(A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + B_1 + B_2)} \times 100$$

なお共通指標は、調査対象となるフィールドの現地条件や劣化傾向の影響を受けることから、仮定の共通フィールド（以下、「モデルフィールド」）を設定した上で評価した。モデルフィールドは、国土技術政策総合研究所下水道研究室が有する管渠劣化データベースを用いて、布設年度（S29年以前、S30年～S49年、S50年～H4年）、管種（陶管、コンクリート管、塩化ビニル管）、堆積物発生割合（堆積レベル小、中、大：表-6参照）の条件の組み合わせによる27ケースを設定した。

表-6 堆積物発生割合

堆積レベル	堆積状況
小	堆積物なし
中	堆積深20～30%のスパンが調査対象エリアに3割存在
大	堆積深20～30%のスパンが調査対象エリアに6割存在

(2) 共通指標の算出結果

共通指標の算出結果の内、各システムにおける導入効果の高いケースについて示す。

1) システムAの共通指標算定結果

システムAの導入効果が最も高い条件は、「昭和50年～平成4年に布設した陶管のケース」であり、日進量向上率が約290%（従来法の約2.9倍）、コスト効率は約240%（従来法の6割減）、緊急度適合率は80%であった（図-5）。なお、管口カメラは管内を走行しないため堆積発生割合の影響は受けない。また、緊急度適合率は管種により異なり、特に塩化ビニル管は1スパンあたりの異常の数が少ないため、異常発生スパンの見落としの可能性が高くなり緊急度適合率は約60%となった。

2) システムBの共通指標算定結果

システムBの導入効果が最も高い条件は、「昭和29年以前に布設された陶管で堆積レベル小の

ケース」であり、日進量向上率は約310%（従来法の約3.1倍）で、コスト効率は約240%（従来法の6割減）、緊急度適合率は95%であった（図-6）。

展開広角カメラによるスクリーニング調査は側視が不要なため、継手の多い陶管の場合、特に日進量向上率、コスト効率の面で日進量の大幅な向上が期待できる。また、緊急度適合率は布設年度、管種、堆積物発生割合によらず8割程度であり、条件を問わず一定の調査精度を見込むことが可能である。なお、土砂等の堆積深が管径の20～30%程度であればほぼ問題なく乗り越えられるため、コスト効率、日進量向上率への影響は小さい。

3)システムCの共通指標算定結果

本システムでは陶管、塩ビ管を適用外（調査実績無し）としているため、コンクリート管に限定して共通指標を算出した。導入効果が最も高い条件は「昭和29年以前に布設されたコンクリート管で堆積レベル小のケース」であり、日進量向上率が約160%（従来法の約1.6倍）、コスト効率は約180%（従来法の4割減）、緊急度適合率は94%であった（図-7）。

画像認識型カメラによるスクリーニング調査は従来法と比較して側視が不要なため、日進量向上率、コスト効率の面で一定の優位性がある。また、緊急度適合率については8割程度であり、経過年数によらず一定の調査精度を見込むことが可能であり、学習機能によるさらなる精度向上が期待できる。走破性については、土砂の堆積深が管径の2割を超えると乗り越えられないケースが出てくるため、土砂堆積による走行不可能箇所が多い地区では、コスト効率、日進量向上率が低下する傾向にあった。

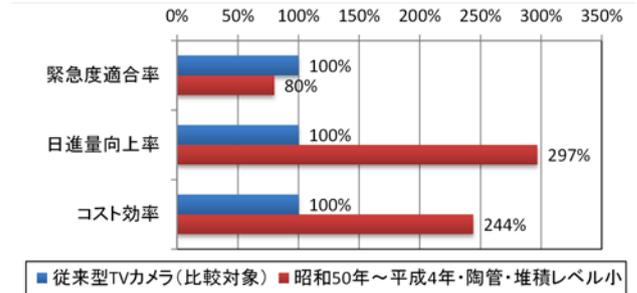


図-5 システムAの導入効果試算例

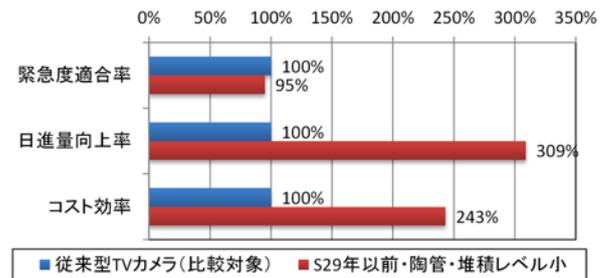


図-6 システムBの導入効果試算例

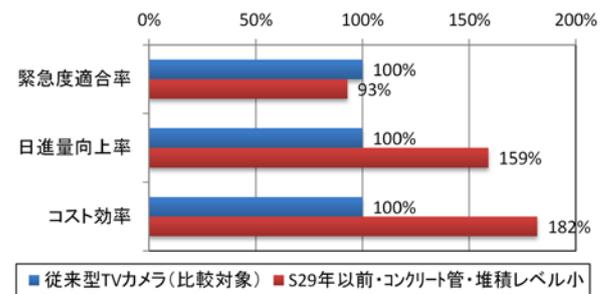


図-7 システムCの導入効果試算例

5. おわりに

実証研究成果を踏まえ、下水道事業者等が技術を円滑に導入できるよう、平成26年10月に「スクリーニング調査を核とした管渠マネジメント技術導入ガイドライン」を公表した。ガイドラインの活用により、実証技術の全国展開、管路管理効率化が図られ、安全安心が市民に享受されることを期待する。

参考文献

- 1) <http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/index.htm>
- 2) 下水道維持管理指針2014年度版、日本下水道協会

深谷 渉



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
Wataru FUKATANI

末久正樹



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
Masaki SUEHISA

賀屋拓郎



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 部外研究員
Takuro KAYA

小川文章



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室長
Fumiaki OGAWA