

# 下水道管渠きよの劣化調査におけるスクリーニング調査導入の 経済性評価の枠組みの基礎的検討

田本典秀・茨木 誠・原口 翼・岡安祐司

## 1. はじめに

令和元年度末における全国の下水道管渠（かんきよ）の総延長は約48万kmである。このうち、標準耐用年数50年を経過した管渠の延長は約2.2万km（総延長の5%）であり、10年後は約7.6万km（16%）、20年後は約17万km（35%）と今後急速に増加する見込みである（図-1）<sup>1)</sup>。管渠の老朽化等による下水道機能の停止や道路陥没等を未然に防止する為には、計画的かつ効率的に劣化調査を実施し、修繕や改築等につなげていく予防保全的な施設管理が重要である。管渠の劣化調査の大部分は、地上からマンホールを経由して管内にテレビカメラを挿入し、管渠内の異常を調査する方法（以下、「TVカメラ調査」という。）により実施されており、このTVカメラ調査を効率化する目的で、企業によりスクリーニング調査技術が開発されている。今後、地方公共団体におけるスクリーニング調査の導入検討をより円滑化・迅速化し、TVカメラ調査の効率化を図って行くためには、スクリーニング調査の得失を考慮した定量的な導入検討手法の確立が有効と考えられる。

このような背景から、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）下水道研究部は、スクリーニング調査導入の得失を踏まえた経済性評価の枠組みの基礎的な検討を行った。本稿では、

その検討結果について報告する。

## 2. 下水道管渠の劣化調査の現状とスクリーニング調査技術の特徴・導入状況

### 2.1 下水道管渠の劣化調査の現状

全国の下水道管渠の総延長約48万kmのうち9割以上が、人が管渠内に入って劣化調査等を実施できない内径800mm未満の管渠であり<sup>2)</sup>、これらの管渠に対してはTVカメラ調査が用いられる。一方、内径800mm以上の管渠に対しては、一般的に調査員が管渠内に入り目視する方法（以下、「潜行目視調査」という。）が用いられる。図-2に示すように、全国における直近5年間のTVカメラ調査と潜行目視調査の合計実施延長は年間約7,000km程度であり、そのうちTVカメラ調査は、令和元年度には約6,000kmと85%程度を占めており、その割合は過去5年間増加傾向にある<sup>3)</sup>。

### 2.2 スクリーニング調査技術の特徴

管渠調査の大部分を占めるTVカメラ調査を効率化する目的で、複数の企業によりスクリーニング調査技術が開発され、国土交通省の下水道革新的技術実証事業（通称「B-DASHプロジェクト」）を通じガイドライン化されている<sup>4)5)</sup>。スクリーニング調査は、異常の有無のみが確認できるなど、

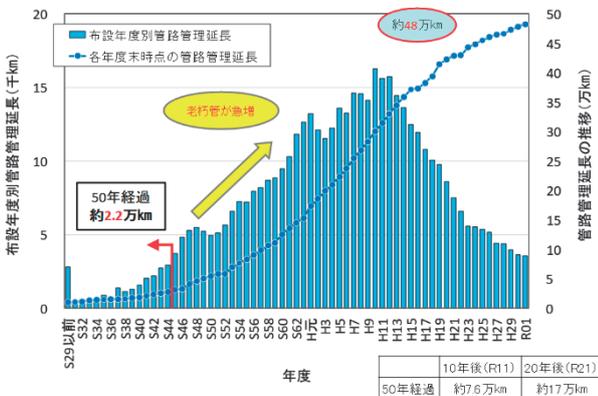


図-1 全国の管渠の布設年度別延長<sup>1)</sup>

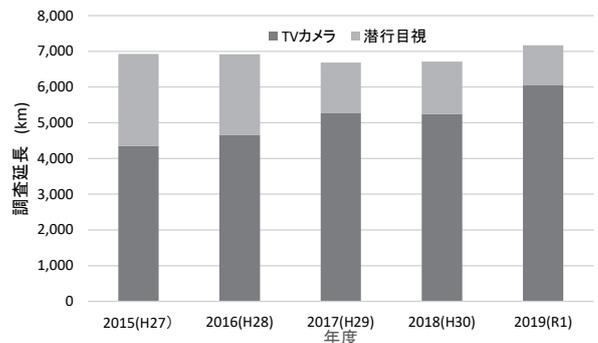
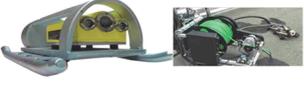


図-2 過去5年間の管渠調査実施延長<sup>3)</sup>

表-1 スクリーニング調査技術の例<sup>6)</sup>

技術名	管口カメラ	広角展開カメラ	点検直視型カメラ	洗浄一体型カメラ
機器写真				
機能概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトを取り付けた機器。</li> <li>調査員が、地上から管口カメラをマンホール内に挿入し、モニターを見ながらズーム機能等を駆使して管きよ内を撮影する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リモートコントロールで移動するTVカメラ車のカメラヘッドに広角レンズを取り付けた機器。</li> <li>停止して側視せず、管内の壁面全体の展開画像を得ることが出来る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>等速前進（ノンストップ）の自走車に小型カメラを搭載した機器。</li> <li>停止して側視せず、一定のスピードで連続撮影を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>管きよ洗浄用ノズルにカメラを搭載した機器。</li> <li>洗浄ノズルの水圧により管内を走行し、洗浄と同時に管きよ内を撮影する。</li> </ul>

管渠の異常を詳細かつ定量的に把握できるTVカメラ調査に対し、調査精度は劣るが、日進量（1日当たりの調査延長、m/日）が大きく、調査単価(円/m)が小さい技術である。スクリーニング調査技術には、管口カメラ、広角展開カメラ、点検直視型カメラ、洗浄一体型カメラ等がある（表-1）<sup>6)</sup>。例えば、管口カメラは、マンホール内に入らずに、地上部からカメラとライトを取付けた操作棒で管内を撮影するものであり、日進量はTVカメラ調査（約300m/日）の約4倍、調査コストはTVカメラ調査（約1,000円/m）の約0.2倍と評価されている<sup>4)</sup>。スクリーニング調査で異常を発見した箇所に対し、TVカメラ調査を実施することで、TVカメラ調査におけるいわゆる”空振り”を少なくし、調査費用を縮減する狙いである。一方、仮にスクリーニング調査を実施した箇所のほとんどでTVカメラ調査が必要となる場合は、いわゆる”二度手間”が増える。また、本来異常があるにも関わらずスクリーニング調査で”異常無し”と判定されると、”見落とし”のリスクを抱えることとなる。

### 2.3 スクリーニング調査技術の導入状況

現在約90の地方公共団体がスクリーニング調査を採用している<sup>7)</sup>。導入にあたっては、各地方公共団体が、上述のガイドライン等を参考にスクリーニング調査の得失を考慮し、導入検討・判断を行っている。今後、地方公共団体におけるスクリーニング調査の導入検討をより円滑化・迅速化し、スクリーニング調査の導入によるTVカメラ調査の効率化を図っていくためには、これらスクリーニング調査の得失を考慮した定量的な導入検

討手法の確立が有効と考えられる。

## 3. 経済性評価の枠組みと試算結果

### 3.1 経済性評価の枠組み

スクリーニング調査導入の定量的な検討手法の基礎として、スクリーニング調査の得失を費用換算して経済性を評価する枠組みを検討した。具体的には、「調査対象となる管渠の全延長に対してTVカメラ調査を行う場合（ケース1）」と「調査対象となる管渠の全延長に対しスクリーニング調査を行い、異常が発見された箇所にTVカメラ調査を行うケース（ケース2）」の費用を比較することを試みた。なお、ケース2にスクリーニング調査の”見落としリスク”を費用換算し経済性評価に織り込んだ点が本枠組みの特徴である。経済性評価の枠組みを図-3に示すとともに、以下に図中番号①～⑩を説明する。また、後述の試算に用いた係数や単価の設定の考え方も併せて記載する。

- ① ケース1の調査費用  $C1i$  は、調査対象区域内の  $i$  年経過した管渠の全延長  $L_i$  に TV カメラ調査単価  $U_d$  を乗じて算出する。 $U_d$  の算出には、歩掛<sup>8)</sup>を用いた。
- ② ケース2のスクリーニング調査費用  $C2si$  は、 $L_i$  にスクリーニング調査単価  $U_s$  を乗じて算出する。 $U_s$  の算出には、歩掛<sup>9)</sup>もしくは見積りを用いた。
- ③ ケース2のTVカメラ調査対象延長  $L2di$  は、スクリーニング調査で異常と判定された延長であり、 $L_i$  に経年劣化率  $a_i$  および異常発見率  $\beta$  を乗じて求める。なお、 $a_i$  は、経過年数  $i$  年

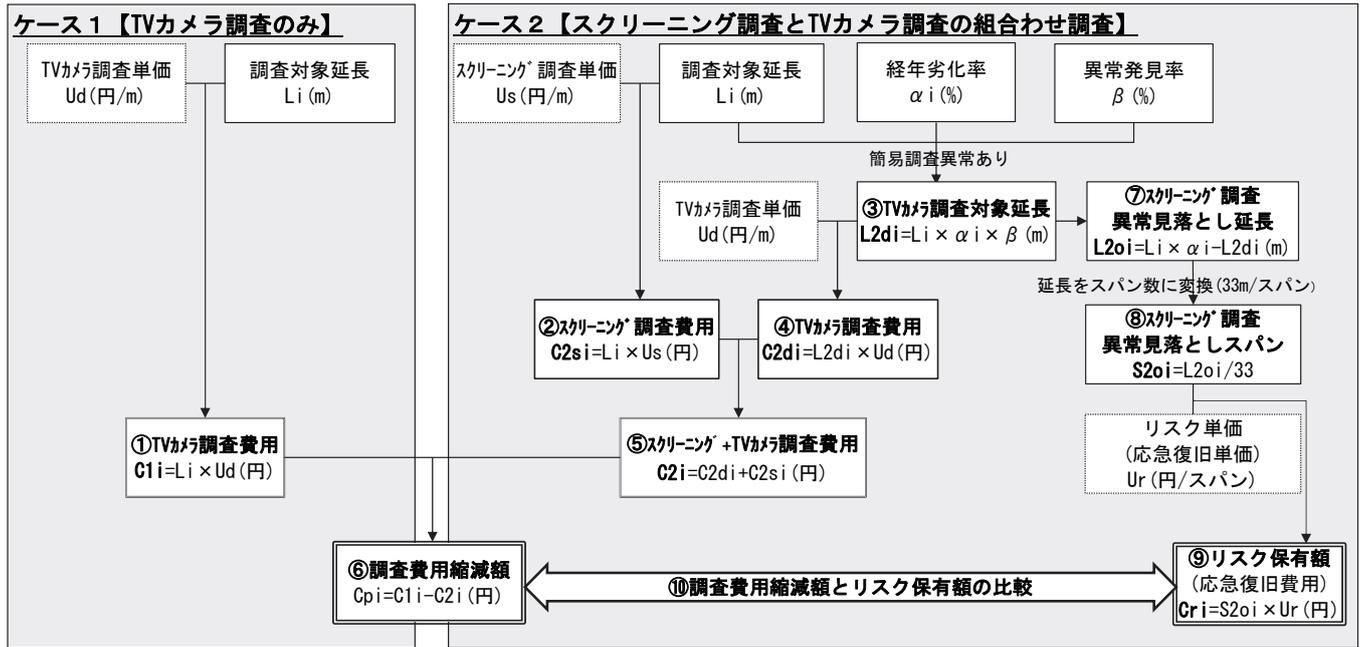


図-3 スクリーニング調査導入に係る経済性評価の枠組み

の管渠に対しTVカメラ調査を実施した場合に修繕または改築が必要と判断される管渠の割合であり、国総研が公表している健全率予測式<sup>10)</sup>に基づき設定した。健全率予測式は、設置済みの全管渠のうち、健全な管渠の割合（健全率）が経年的にどのように低下していくかを、全国の地方公共団体における管渠調査データを用いて算出したもので、例えば図-4のようなグラフで表される。異常発見率 $\beta$ は、TVカメラ調査で発見される異常をスクリーニング調査でも発見できる割合であり、既往研

究<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>の成果を参考にスクリーニング調査技術毎に表-2のとおり設定した。

- ④ ケース 2 の TV カメラ調査費用  $C_{2di}$  は、TV カメラ調査対象延長  $L_{2di}$  に TV カメラ調査単価  $U_d$  を乗じて算出する。
- ⑤ ケース 2 の調査費用  $C_{2i}$  は、スクリーニング調査費用  $C_{2si}$  と TV カメラ調査費用  $C_{2di}$  の和である。
- ⑥ ケース 1 の調査費用  $C_{1i}$  とケース 2 の調査費用  $C_{2i}$  の差が、スクリーニング調査と TV カメラ調査を組み合わせた場合の調査費用縮減額  $C_{pi}$  である。
- ⑦ スクリーニング調査で異常を見落とす延長  $L_{2oi}$  は、 $L_i$  に経年劣化率  $\alpha_i$  を乗じた延長から TV カメラ調査対象延長  $L_{2di}$  を引いた延長である。
- ⑧ スクリーニング調査で異常を見落とす延長  $L_{2oi}$  をスパン数  $S_{2oi}$  に換算するため（リスク単価  $U_r$  がスパン単位であるため）、1 スパン当たりの延長を 33m と仮定した。
- ⑨ リスク保有額  $C_{ri}$  は、スクリーニング調査で異常を見落とすスパン数  $S_{2oi}$  に、リスク単価

区分	緊急度の区分	
緊急度Ⅰ	重度	速やかに措置が必要な場合
緊急度Ⅱ	中度	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる場合
緊急度Ⅲ	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上に延長できる場合
劣化なし	健全	特別な措置を講じる必要がない場合

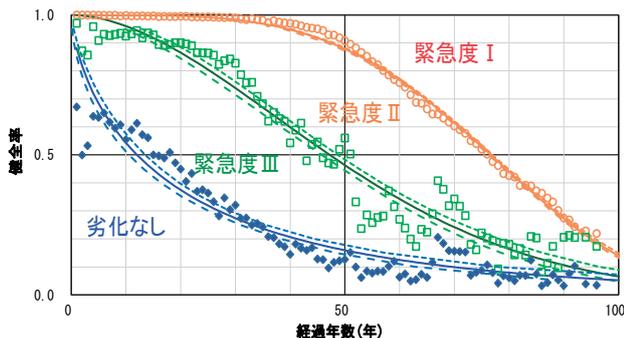


図-4 健全率予測式のグラフの例

表-2 異常発見率 $\beta$  (%)の設定値

スクリーニング調査技術	鉄筋コンクリート管	陶管	塩化ビニル管
管口カメラ	45	53	45
広角展開カメラ	90	91	88
点検直視型カメラ	85	85	66
洗浄一体型カメラ	74	80	59

Ur を乗じて算出する。なお、リスク単価 Ur は、既往研究<sup>11)</sup>の復旧費用別道路陥没件数において、発生割合が全体の64%と最も大きい(復旧工事費不明の件数を除く割合)「復旧費10万円を超え50万円以下」カテゴリの中央値である30万円と設定した。

- ⑩ 調査費用縮減額 Cpi とリスク保有額 Cri を比較し、Cpi が大きい場合に、スクリーニング調査とTVカメラ調査を組み合わせる方が経済的であると判断される。

### 3.2 経済性評価の枠組みを用いた試算

上述した経済性評価の枠組み及び設定した係数を用いて、調査費用縮減額Cpi とリスク保有額Criについて、鉄筋コンクリート管、陶管、塩化ビニル管の管種毎に、経過年数iを100年まで計算した結果のグラフを図-5～図-7に示す。なお、ケース2で適用するスクリーニング調査技術は、「維持管理情報等を起点としたマネジメントサイクル確立に向けたガイドライン(管路施設編)-2020年版<sup>6)</sup>」に例示されている技術のうち、開発実績<sup>4)5)</sup>、現場での適用実績、更に適用範囲の広さ等を勘案し、管口カメラ、広角展開カメラ、点検直視型カメラ、洗浄一体型カメラとした。

図-5～図-7から読み取れることを以下に述べる。点線の調査費用縮減額Cpiについては、経過年数が小さい時期は、スクリーニング調査後にTVカメラ調査を要する異常箇所数が少ないため、調査費用縮減額が大きく、経過年数の増加に従い調査費用縮減額も減少していく。また、実線のリスク保有額Criについては、経過年数が小さい時期は異常の発生が少なく、スクリーニング調査で異常を見落とす箇所数も少ないため、リスク保有額も小さく、経過年数の増加に従い異常の見落としによるリスク保有額が増加する。これら、2つの曲線の交点(以下「損益分岐点」という。)において、ケース1とケース2の経済性が等しくなる。例えば、図-5において赤色で示す管口カメラ調査をTVカメラ調査の前段で行った場合、損益分岐点における経過年数は44年と読み取れる。すなわち、この試算例では、設置から44年までの管渠群には、管口カメラ+TVカメラ

調査の組合せが経済的であり、それ以上の経過年数の管渠群には、TVカメラ調査のみが経済的であることを示している。

なお、図-7に示す塩化ビニル管の場合は、経過年数0年から100年の間で損益分岐点は得られな

ケース	調査費用縮減額	リスク保有額	損益分岐点の経過年数
2-1: 管口カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	44年
2-2: 広角展開カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	28年
2-3: 点検直視型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	44年
2-4: 洗浄一体型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	32年

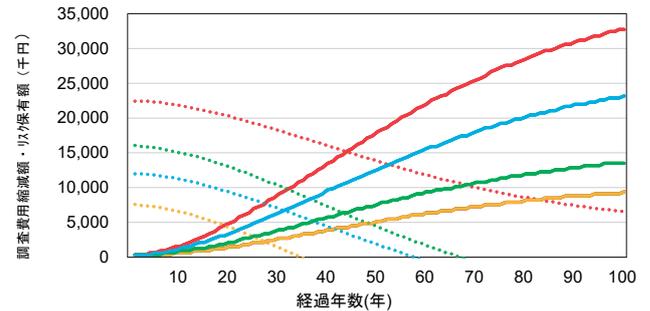


図-5 経済性の試算結果(鉄筋コンクリート管)

ケース	調査費用縮減額	リスク保有額	損益分岐点の経過年数
2-1: 管口カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	36年
2-2: 広角展開カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	24年
2-3: 点検直視型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	35年
2-4: 洗浄一体型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	28年

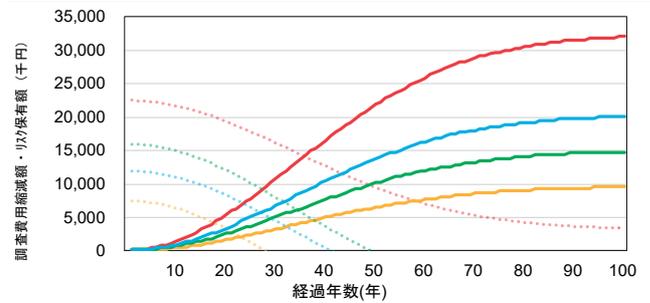


図-6 経済性の試算結果(陶管)

ケース	調査費用縮減額	リスク保有額	損益分岐点の経過年数
2-1: 管口カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	100年以降
2-2: 広角展開カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	100年以降
2-3: 点検直視型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	100年以降
2-4: 洗浄一体型カメラ + 従来式TVカメラ	.....	——	100年以降

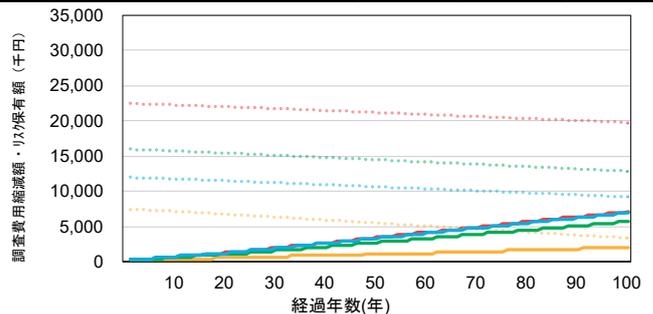


図-7 経済性の試算結果(塩化ビニル管)

表-3 異常発見率  $\beta$  を変化させた場合の感度分析

管種	スクリーニング調査の種類	異常発見率 $\beta$	損益分岐点の経過年数	損益分岐点の経過年数の変化	
鉄筋 コンクリート管	管口	+50%	56	12年	127%
		設定値	44	-	-
		-50%	35	-9年	80%
	広角展開	+50%	32	4年	114%
		設定値	28	-	-
		-50%	19	-9年	68%
	点検直視型	+50%	48	4年	109%
		設定値	44	-	-
		-50%	30	-14年	68%
	洗浄一体型	+50%	35	3年	109%
		設定値	32	-	-
		-50%	24	-8年	75%
陶管	管口	+50%	43	7年	119%
		設定値	36	-	-
		-50%	29	-7年	81%
	広角展開	+50%	26	2年	108%
		設定値	24	-	-
		-50%	17	-7年	71%
	点検直視型	+50%	38	3年	109%
		設定値	35	-	-
		-50%	25	-10年	71%
	洗浄一体型	+50%	30	2年	107%
		設定値	28	-	-
		-50%	21	-7年	75%

かった。これは、塩化ビニル管の調査データ数および劣化の標本数が少なく、健全率予測式が精度良く求められていないことから、経年劣化率 $\alpha_i$ が全期間において非常に低い値として設定されてしまっていることに起因する。

次に、スクリーニング調査技術の違いに着目する。管口（赤）、点検直視（緑）、広角展開（黄）、洗浄一体型（青）の順に、調査費用縮減額（点線）が大きいという試算結果となった。技術毎に設定される調査単価 $U_s$ が高いほど、また異常発見率 $\beta$ が大きいほど、調査費用縮減額は小さくなることに起因している。一方、管口（赤）、洗浄一体型（青）、点検直視（緑）、広角展開（黄）の順にリスク保有額（実線）が大きいという試算結果となった。技術毎に設定される異常発見率 $\beta$ が大きくなるほどリスク保有額は小さくなることに起因している。

### 3.3 異常発見率 $\beta$ を変化させた場合の感度分析

上述の試算で用いた異常発見率 $\beta$ は既往の研究成果に基づき設定した仮定値であり、実際には現場条件等に応じ幅を持った値であると考えられるため、異常発見率 $\beta$ の影響を確認するため感度分析を行った。表-2に示す異常発見率 $\beta$ の設定値に対して $\pm 50\%$ の変動幅を持たせた場合の損益分岐点の経過年数の変化を試算した結果、表-3に示すとおり、異常発見率 $\beta$ を $+50\%$ とした場合、損益分岐点の経過年数は $+2$ 年 $\sim +12$ 年変化した。異常発見率 $\beta$ を $-50\%$ とした場合、損益分岐点の経過年数は $-7$ 年 $\sim -14$ 年変化した。スクリーニ

ング調査の種類毎に見ると、最大で21年（鉄筋コンクリート管で管口カメラのケース）、最小でも9年（陶管で広角展開および洗浄一体型の2ケース）の変動幅が生じた。このように、異常発見率 $\beta$ の変動は、損益分岐点の経過年数に小さくない影響を与えることが分かった。なお、図-7に示すとおり塩化ビニル管については損益分岐点が得られなかったため感度分析の対象外とした。

## 4. 経済性評価の枠組みの課題

上述のとおり、スクリーニング調査によるTVカメラ調査の”空振り”の回避による調査費用の削減効果、スクリーニング調査技術毎の異常発見率の違い、スクリーニング調査による異常見落としによるリスク保有等、スクリーニング調査導入の得失を考慮した経済性評価の試算の結果、スクリーニング調査導入の損益分岐点が得られるなど、この経済性評価の枠組みをスクリーニング調査の導入検討に活用できる一定の可能性が示唆された一方、地方公共団体における実務に適用するには、係数等の設定に関して更なる検討が必要と考えられる。

例えば、経年劣化率 $\alpha_i$ は、国総研の下水道管渠健全率予測式に基づき算定している。健全率予測式の元となる標本データには偏りがあり、また、経過年数 $i$ の小さい管渠については、劣化している管渠を優先的に調査していることが考えられ、経年劣化率 $\alpha_i$ を過大に評価している可能性がある。また、塩化ビニル管については、健全率予測式が精度良く求められていないことから、引き続き劣化に関するデータの蓄積が必要である。

また、経済性評価の特徴の一つである”見落としリスク”は異常発見率 $\beta$ により反映される。しかしながら、今回の試算で用いた異常発見率 $\beta$ は、実証事業で得られた限られたデータに基づき設定した値であるとともに、管渠の状況等に応じて変動する値であると考えられる。上述の感度分析では、 $\beta$ が $\pm 50\%$ 変動した場合、損益分岐点が、最大で21年、最小で9年変動するなど、経済性評価に小さくない影響を与えるため、異常発見率 $\beta$ の現場条件に応じた変動幅の検証等が必要である。

また、リスク単価 $U_r$ は、今回の試算では、下水道管路施設に起因する道路陥没の復旧工事費用

と仮定しており、道路陥没に伴う人身・物損事故や交通機能への支障、あるいは下水道サービスの停止等の社会的損失は加味されていない。社会的損失を如何に評価し、どのように経済性評価に盛り込むか、更なる検討が必要である。

なお、スクリーニング調査技術の選定に当たっては、経済性評価に加え調査対象となる管渠の条件と各調査技術の適用範囲（スパン延長、管種、口径、土被り、マンホールサイズ、下水の流下状況、段差・曲がりへの対応等）を含めて総合的に考慮して決定する必要があることに留意が必要である。各調査技術の適用範囲については、既往研究<sup>4)</sup>に参考情報が記載されている。

## 5. おわりに

本稿では、下水道管渠の劣化調査の大部分を占めるTVカメラ調査を効率化することを目的に、スクリーニング調査導入の経済性評価の枠組みの基礎的な検討の結果を報告した。

本検討では、TVカメラ調査の”空振り”回避効果や、異常見落としによるリスク保有等のスクリーニング調査の得失を考慮した経済性評価の枠組みを用いた試算により、スクリーニング調査導入の損益分岐点が得られるなど、この経済性評価の枠組みをスクリーニング調査の導入検討に活用できる一定の可能性が示唆された。

今後の課題として、この経済性評価の枠組みを地方公共団体の実務に適用できる熟度に高めて行くためには、スクリーニング調査技術の異常発見率の現場条件に応じた変動幅の検証や、道路陥没に伴う人身・物損事故や交通機能への支障、あるいは下水道サービスの停止等の社会的損失の反映方法等について更なる検討が必要と考えている。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部ホームページ：下水道の維持管理、  
[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000135.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html)
- 2) 日本下水道協会：下水道統計、第76号（令和元年度版）
- 3) 日本下水道協会：下水道統計、第72号（平成27年度版）～第76号（令和元年度版）
- 4) 国土技術政策総合研究所下水道研究室：国総研資料No. 876 B-DASH プロジェクトNo.7 スクリーニング調査を核とした管渠マネジメントシステム技術導入ガイドライン（案）、2015
- 5) 国土技術政策総合研究所下水道研究室：国総研資料No. 1149 B-DASHプロジェクトNo.33 ICTを活用した総合的な段階型管路診断システムの技術導入ガイドライン（案）、2021
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部、国土技術政策総合研究所下水道研究部：維持管理情報等を起点としたマネジメントサイクル確立に向けたガイドライン（管路施設編）-2020年版-、2020
- 7) 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道技術開発会議 令和3年度第1回会議資料：国土交通省における技術開発関係施策に関する最近の動き、p.19、[http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/2\\_r3-1\\_saikinnougoki.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/2_r3-1_saikinnougoki.pdf)
- 8) 日本下水道協会：下水道施設維持管理積算要領-管路施設編-2020年版
- 9) 日本下水道管路管理業協会：下水道管路管理積算資料-2015-
- 10) 国土技術政策総合研究所下水道研究室：健全率予測式2021、  
[http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/deterioration\\_rate\\_prediction\\_formula\\_2021.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/deterioration_rate_prediction_formula_2021.pdf)
- 11) 国土技術政策総合研究所下水道研究室：国総研資料No. 668 下水道管路施設に起因する道路陥没の現状（2006-2009年度）、2012

田本典秀



研究当時 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、現 JICA専門家 ベトナム建設省下水道政策アドバイザー  
TAMOTO Norihide

茨木 誠



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  
IBARAKI Makoto

原口 翼



研究当時 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 交流研究員、現 管清工業（株）  
HARAGUCHI Tsubasa

岡安祐司



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、博士（工学）  
Dr. OKAYASU Yuji