

第4章 管きよの合理的診断手順に関する研究

第4章 管きよの合理的診断手順に関する研究

4.1	はじめに	4-1
4.2	下水管の維持管理の現状と課題	4-2
4.3	スクリーニング併用型調査手法	4-4
4.3.1	スクリーニング併用型調査の概念	4-4
4.3.2	管口カメラの性能評価	4-4
4.3.3	スクリーニング調査の有効性評価	4-10
4.4	MMS 技術の活用による陥没予兆発見手法開発	4-15
4.4.1	MMS 技術とは	4-15
4.4.2	A市における調査事例	4-15
4.4.3	今後の課題	4-16
4.5	下水道管きよの効率的な点検調査技術に関する研究	4-17
4.5.1	共同研究の目的	4-17
4.5.2	簡易型 TV カメラ調査機器のプロトタイプの試作	4-17
4.5.3	電動 RC 制御式カメラ車の性能評価	4-19
4.6	まとめ	4-21

第4章 管きよの合理的診断手順に関する研究

4.1 はじめに

社会資本が日本より早く高齢化した米国では、人命を巻き込む落橋事故が発生し、大きなニュースとなった。日本でも高度経済成長期に集中投資した社会資本の高齢化・老朽化による事故や災害、維持管理費・更新費の急増が懸念されている。

下水道分野においても、昭和40年代以降から急速に整備が進められた我が国の下水道事業は、近年、45万kmに及ぶ膨大な管きよストックに対する老朽化問題が顕在化している(図-4.1.1)。下水道管きよに起因する道路陥没が全国で年間4千件も発生し、国民の安全・安心確保に向けた予防保全として改築事業等への大幅な投資が求められている。

一方、社会的情勢に着目すると、人口減少や少子高齢化の局面に入ったことで、より一層の財政逼迫が予想され、料金収入の減少等による下水道事業経営の脆弱化が懸念される。今後、時間の経過とともに老朽化していく既存施設を、限られた予算内で、適正に管理し機能の持続性を確保するとともに、施設の長寿命化を図ることが必要とされている。施設の長寿命化に向けては、下水道管きよの状態を適切に把握し、下水道管きよの致命的損傷の発生を未然に防ぐことが重要である。

そこで本研究では、下水道管きよの致命的損傷の発生を未然に防ぐ予防保全的管理の推進と適切な改築更新の実施に向けて、より効率的な診断手法・診断装置として①管口カメラを活用したスクリーニング併用型調査、②MMS技術の活用による陥没予兆発見手法開発、③簡易型TVカメラ調査機器の開発を行った。

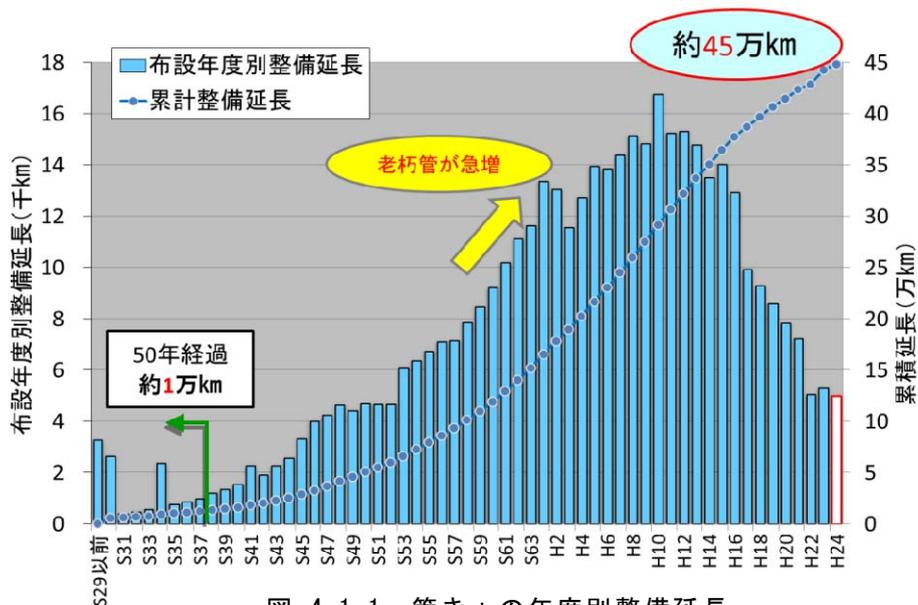


図-4.1.1 管きよの年度別整備延長

4.2 下水管の維持管理の現状と課題

現在の管きよの劣化調査は、視覚調査にて行われることが一般的であり、人の出入りが可能な大口径（800 mm以上）においては作業員（自治体職員や維持管理業者）による直接目視調査、人の出入りが不可能な中小口径（800 mm未満）ではTVカメラ調査が行われる。

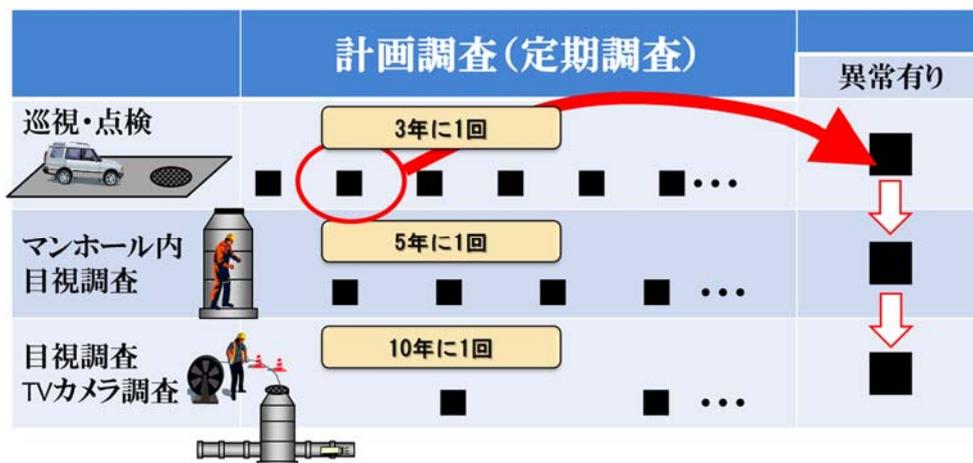


図-4.2.1 管きよの定期調査イメージ

一般的なTVカメラを用いた調査は、マンホール間を一工程とし、管きよ内の映像を地上のオペレータ室内のモニターテレビに映し出し、オペレータの判断により劣化状況を把握するものである。TVカメラは、走行中は前方の状況を映し、不具合箇所では一旦停止後、レンズを回転させ壁面の状況を映し（側視）劣化の判定を行う。有線式で、起点となるマンホールから100m以上の走行が可能である。1日当たりの作業量は、劣化の程度により差違があるが、標準的には300m/日程度である。

現状のTVカメラについては、調査遂行上のいくつかの課題が挙げられる。先述の通り、TVカメラ調査は、現場において撮影から劣化状況判定、ビデオ編集までを実施することから、現場での拘束時間が長くなる傾向にある。また、不具合発見や程度の判定はオペレータの技量に委ねられることから、成果品の精度にバラツキが生じやすいという問題がある。このため近年、レンズ回転不要の魚眼レンズの採用及び不具合の自動判定等の技術が開発され、作業時間の大幅短縮や一定レベルの精度確保が可能になりつつある。

一方で、一部の不具合に対しては適用できない等の代償が生じている他、機材が高価で買い換えが進まない等の課題もある。流速が早いために管きよ内の作業が不可能な路線や、有毒ガスからの労働者の安全確保の為、大口径管においても車両型や船体型のTVカメラ調査が採用されてきている。

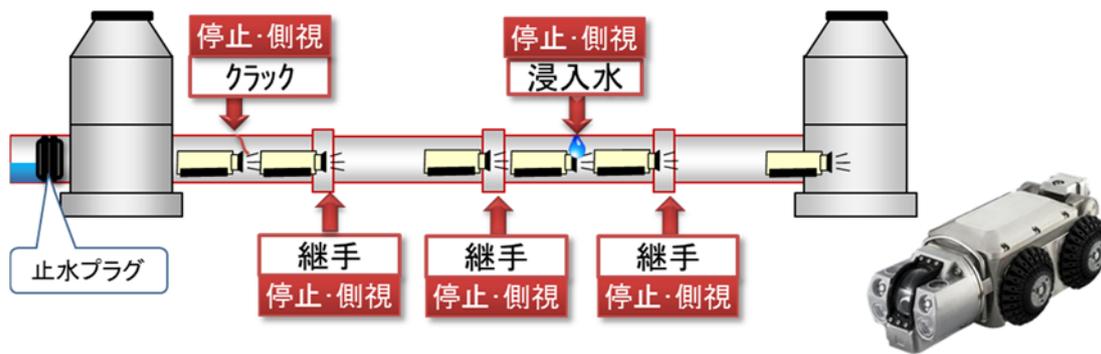


図-4.2.2 TVカメラ調査の実施イメージ

調査の頻度については、下水道維持管理指針に「供用開始後経過年 0～30 年では、潜行目視調査又はTVカメラ調査は 10 年に 1 回」の記載があり、管きよの平均経過年数と道路陥没件数の関係や、維持管理を積極的に実施している自治体の実績に基づき設定された、いわば理想的な設定例である。これに対し、全国での管きよ劣化調査の実態としては、年間の調査延長が総管きよ延長の 1%程度となっており、理想と実態の大きな乖離が見られる（図-4.2.3）。下水道管きよ施設の管理を行うにあたっては、施設の致命的損傷に繋がる劣化を早期に発見し処理する予防保全型維持管理が必要であるが、地方公共団体の厳しい財政事情に加え、管きよ診断を行う調査機器が有する課題も、維持管理の足かせになっていると言える。

今後の本格的な維持管理時代に向け、早く、安く、的確に管きよ調査診断を実施できる調査手法及び機器開発が必要となっている。

都市規模別で見た下水道管路施設の簡易カメラ調査・潜行目視・TVカメラ調査状況

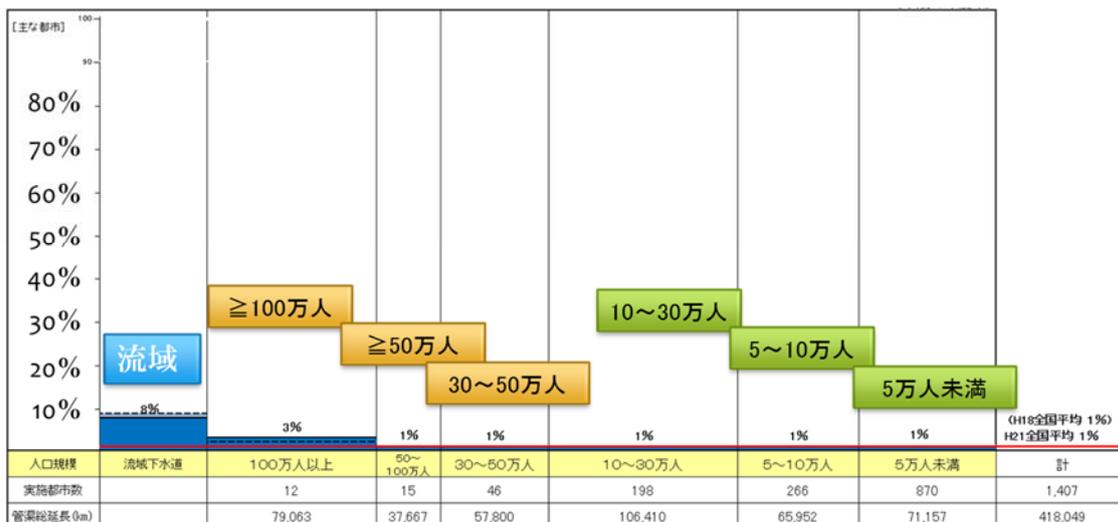


図-4.2.3 管きよの点検調査実施率（H21 年度）

4.3 スクリーニング併用型調査手法

4.3.1 スクリーニング併用型調査の概念

前述したとおり管きよの既存ストックは膨大であり、経過年数の少ない(=不具合の少ない)管きよに最初からTVカメラ調査を実施すると、調査が追いつかないのが現状である。管きよに起因する事故を防止し、ライフサイクルコストを低減するため、管きよ内を早く安く調査できる調査手法が求められている。本研究では管きよの予防保全のための維持管理の推進と適切な改築、修繕の実施に向けて、既存の詳細調査(TVカメラ調査)とスクリーニング調査(簡易調査)を組み合わせたスクリーニング併用型調査手法の有効性の検討を行った。

これはTVカメラによる調査の前段に、管きよ内を早く安く調査できるスクリーニング調査(簡易調査)を実施することで、TVカメラを実施すべき調査箇所を絞り込み(スクリーニング)を行い、調査の効率性(経済性、調査延長)を向上させることを目的とするものである。スクリーニング併用型調査の概念を図-4.3.1に示す。

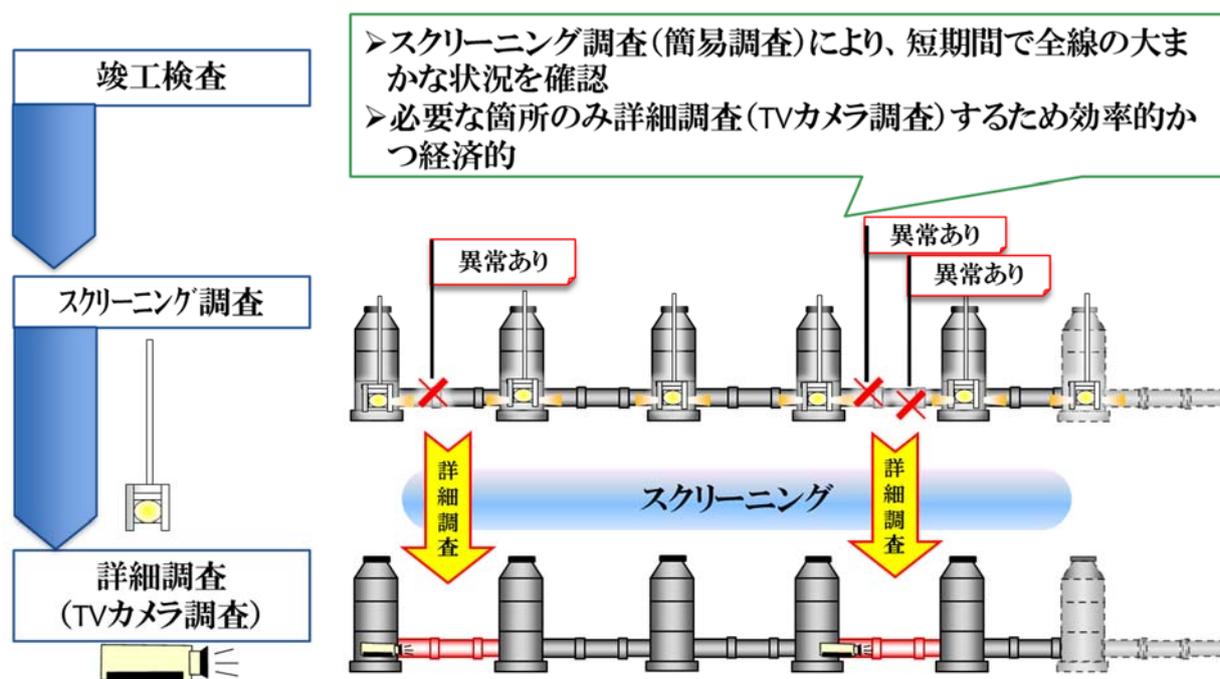


図-4.3.1 スクリーニング併用型調査の概念

4.3.2 管口カメラの性能評価

1) 管口カメラの諸元

本研究では、スクリーニング調査(簡易調査)機器として管口カメラに着目し、これを用いた検証を行った。管口カメラとは伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトをつけた調査機器である。写真-4.3.1は、国内で販売されている国産製の管口カメラである。

管口カメラによる調査は、調査員がマンホール内に直接入らず、地上からビデオカメラをマンホール内に挿入し、管きよ内の状況を撮影できる範囲で確認するものであ

り、管きょの上下流のマンホールからの調査を1セットとする。調査の前処理（洗浄工）は基本的に行わない。既存の詳細調査（テレビカメラ調査）に比べ、安価で短期間に多くの管きょを調査することが可能であり、TVカメラ調査の機能を補完するスクリーニング調査機器として有効であると考えられる。管口テレビカメラ調査の作業模式図を図-4.3.2に、管口カメラの主な特徴を表-4.3.1に示す。

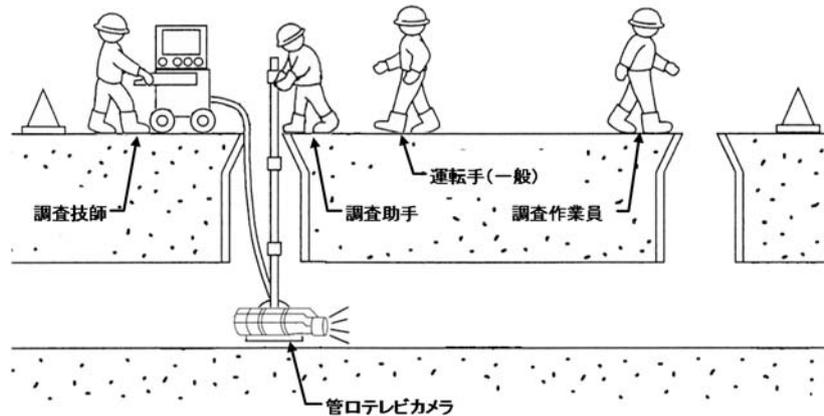


図-4.3.2 管口テレビカメラ調査作業模式図



A社製



S社製



Q社製

写真-4.3.1 管口カメラ（国産）の外観

表-4.3.1 管口カメラの主な特徴

項目		内容
調査目的		従来のTVカメラによる調査路線の絞込みや管渠の清掃の要否の判定
流下区分		自然流下
適用管種		全ての管種
適用管径		φ150～φ1200
調査範囲	長さ方向	ズーム機能、光量により異なる。
	断面方向	水面より上
検出される異常		・構造的異常、機能異常の全般にわたり判断可能 ・ただし、異常の程度の大きいものに限られる
長所		・機器が比較的軽量であるため、1箇所あたりの調査時間が短く、移動も容易である。
短所		・管口からの調査のため、管渠中央付近の異常を見落とす可能性がある。 ・断面の変化にあまり影響を与えない異常(破損・クラック・継手ズレ等)は発見しにくい。

2) 模擬劣化管きよを用いた実験

管口カメラは、TVカメラと比較して安価で簡単に操作できるが、一方で、視認範囲の制限や調査の精度が課題に挙げられる。このため国総研構内にある模擬劣化管きよ(写真-4.3.2)を用いて管口カメラ調査の適用範囲を把握するための実験を行った。模擬劣化管きよは、塩化ビニル管(VUφ200mm)と鉄筋コンクリート管(HPφ250mm)の2種類からなり、管きよの内面の異常を再現している。本実験で使用した管きよの異常を表-4.3.2に示す。

表 - 4.3.2 模擬劣化管きよに再現した不具合の諸元

ランク	不具合項目						
	破損		クラック		浸入水	取付管突出	扁平
	HP	VU	HP	VU	HP・VU	VU	VU
A	長さ100mm 幅10mmの 軸方向 クラック	長さ80mm 幅10mmの 軸方向 クラック	長さ100mm 幅10mmの 円周方向 クラック	長さ75mm 幅10mmの 円周方向 クラック	管頂部から φ3mmの 管を通して 約0.8L/min で注水	-	(20%扁平) 管の中央を 40mm 押し潰した
B	長さ100mm 幅4mmの 軸方向 クラック	長さ80mm 幅3mmの 軸方向 クラック	長さ100mm 幅4mmの 円周方向 クラック	長さ70mm 幅3mmの 円周方向 クラック	管側部から φ3mmの 管を通して 約0.8L/min で注水	35mmの 突き出し	(10%扁平) 管の中央を 20mm 押し潰した



写真 - 4.3.2 模擬劣化管きょ

実験では表 - 4.3.2 に示した不具合が管口カメラで管口から何メートルの範囲まで視認できるかを検証した。なお、実際の管口カメラ調査では、対象スパンの調査人孔と逆の人孔を解放し調査を実施していることから、本実験では、模擬劣化管きょの下流側も開放した状態で調査を行った。

実験の結果、破損やクラックのような管壁に発生する不具合項目は、管口から概ね 3m 以内までであれば視認可能であった。一方で管きょの断面を変化させる取付管突出や木根侵入といった項目は、照度の高い機材を用いれば管口から 30m 程度離れていても発見することが可能であった。

続いて管口カメラの視認範囲に影響を与える要因を明らかにするため、国内における使用実績と性能の違いに配慮し、3 種類の管口カメラ（管口カメラ 1 と 2 は国産、管口カメラ 3 が海外製）を選定し実験を行った。実験に使用した管口カメラのスペックを表 - 4.3.3 に示す。なおモニターは、管口カメラ 1 は専属のものを使用し、管口カメラ 2 と 3 は共通のものを使用した。またモニターのコントラスト等の調整は、実験中特に行っていない。

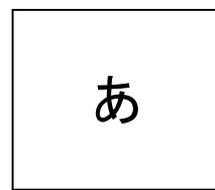
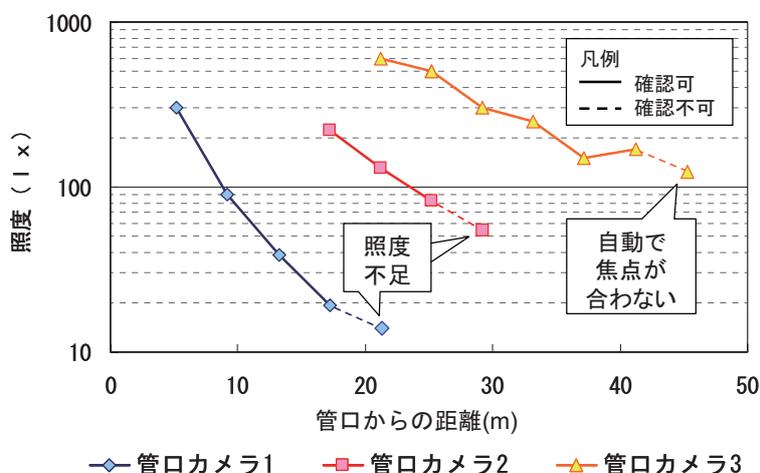
実験では塩化ビニル管を直線状につなぎ、端部の管中心に照度計(Fine Digital Lux Meter：東京硝子器械製)を設置して管口カメラライトの照度の測定を行った。なお、被験者は 1 名であり、模擬劣化管きょの下流側は暗幕で閉じた状態で試験を行った。管端部に設置した文字（白地の紙に 20 ポイントの「あ」）をターゲットとし、これが認識できるか、あるいは機械のオートフォーカス機能が正常に作動するかで測定限界を決定した。

試験の結果、管口カメラ 1 と 2 は照度の下限値となった管口からそれぞれ約 15m(約 20lx)、約 25m(約 80lx)まで、管口カメラ 3 はオートフォーカス機能が正常に作動した管口から約 40m までが測定限界となった(図 - 4.3.3)。

オートフォーカスは調査実施の観点から必須の機能であるが、測定対象物が遠くなるとオートフォーカス機能が連続して作動し自動では焦点が合わなくなる。このため管口カメラの測定限界に影響を及ぼす要素として、ライトの照度とともにカメラのズーム機能、とりわけカメラのオートフォーカス対応範囲が重要であることが明らかとなった。

表 - 4.3.3 実験に使用した管口カメラのスペック

	管口カメラ 1	管口カメラ 2	管口カメラ 3
カメラ	(光学) × (デジタル) 10倍 × 4倍 = 40倍 CCD1/4 38万画素	(光学) × (デジタル) 18倍 × 12倍 = 216倍 CCD1/4 38万画素	(光学) × (デジタル) 36倍 × 12倍 = 432倍 CCD1/4 38万画素
照明	ハロゲンランプ35W × 1ヶ	H.I.Dランプ10W × 2ヶ(切換式)	H.I.Dランプ14W
制御	・チルト(上45° 下90°) ・パン(左右10°)	・チルト(なし、手動可) ・パン(なし)	・チルト(なし、手動可) ・パン(なし)
ポール	・1.5m~3.8m(伸縮) ・1.6m(延長) ネジ込みにて継ぎ足し可	・1.8m~7.2m(伸縮)	・1.8m~7.2m(伸縮)
備考	・パン、チルトを遠隔操作	・距離測定機能(6m~48m)	・距離測定機能(6m~48m)



※ターゲットの実物大文字 (A 4 版印刷時: 20 ポイント)

図 - 4.3.3 管口カメラの測定可能範囲 (HP φ 250mm, VU φ 200mm) とターゲットの実物大文字

3) 現地調査による検証

模擬劣化管きょを用いた検証につづき、実際の現場における調査を実施し管口カメラの視認範囲の評価を行った。調査は H 県 K 市及び N 市のフィールドにおいて、管口カメラ調査及び TV カメラ調査の両方を実施し、管口カメラ調査の判定結果と TV カメラ調査の判定結果を比較したものである。調査実施数量を表-4.3.4 に示す。なお、TV カメラ調査では事前に管内洗浄を実施しているが、管口カメラ調査は管内洗浄前に調査が行われている。また、TV カメラ調査は A ランク (重度)、B ランク (中度)、C ランク (軽度) の判定を行っているのに対し、管口カメラ調査はランクの判定は行っていない (不具合の有無のみ判定)。

表-4.3.4 調査実施数量

調査箇所	管径	管種	スパン数	管きょ延長
H 県 K 市	φ250	HP	116	2,397,65m
H 県 N 市	φ300~500	HP	87	2,123,73m
計			203	4,521.38m

TVカメラ調査による異常箇所を集計した結果を図-4.3.4に示す。今回の調査では、各項目ともAランク（重度）、Bランク（中度）の異常が少なく、Cランク（軽度）の異常割合が多くを占めている。

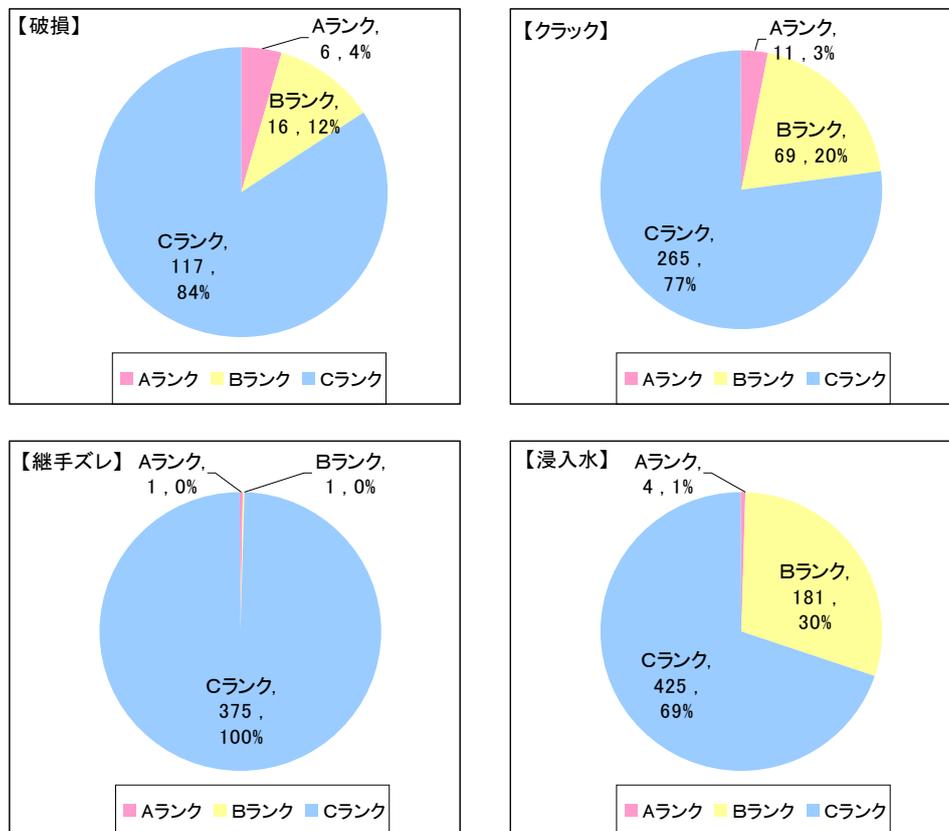


図-4.3.4 異常箇所のランク別割合

表-4.3.5に不具合発生距離別の発見割合を、以下に評価結果のまとめを示す。

- ・ 破損、クラックは、全体をみると、0～1mで発見割合が高く、1m以上で発見割合が低かった。なお、1～3m範囲でもAランク、Bランクはそれなりに発見できている。
- ・ 継手ズレは、いずれの地点でも発見率が低くなった。今回の調査ではCランクの不具合がほとんどを占めており、いずれも微細な継手ズレであることから発見率が低くなったと考えられる。Bランクの継手ズレについては、発生箇所は1箇所のみであるが、4～5m地点の継手ズレが確認できており、A・Bランクの継手ズレであれば視認できる可能性がある。
- ・ 浸入水は、10m未満ではいずれの地点でも高い発見割合であった。Cランクの不具合でも発見割合が高く、管口カメラにより視認しやすい不具合項目と考えられる。浸入水跡の変色箇所に注目することにより、管口からかなり離れた箇所の不具合も視認可能となることが分かった。

表-4.3.5 不具合発生距離別の発見割合（不具合別集計）

		不具合発生距離区分(m以上-m未満)											総計
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10以上	
クラック	合計	44	29	21	16	8	9	11	3		1	74	216
	管口カメラ 不具合発見割合(%)	84%	38%	33%	19%	25%	0%	9%	0%	-	0%	0%	28%
破損	合計	6	18	11	11	13	8	6	2		1	49	125
	管口カメラ 不具合発見割合(%)	83%	39%	18%	0%	8%	0%	0%	0%	-	0%	0%	12%
浸入水	合計	80	47	59	31	38	48	53	24	7	3	219	609
	管口カメラ 不具合発見割合(%)	99%	94%	83%	77%	76%	75%	79%	96%	100%	67%	0.5%	55%
継手ズレ	合計	4	41	54	37	46	19	33	1	3	2	105	345
	管口カメラ 不具合発見割合(%)	25%	10%	6%	3%	4%	0%	3%	0%	33%	0%	0%	4%
その他	合計	2	13	9	8	10	12	8	3	2	0	25	92
	管口カメラ 不具合発見割合(%)	100%	85%	89%	88%	90%	83%	75%	67%	100%	-	8%	64%
※その他=取付管突出し、モルタル付着、木根侵入等													

4) 管口カメラの視認範囲のまとめ

模擬劣化管きょ及び現地調査による検証結果より、管きょ内に発生した A、B ランクの不具合に対する管口カメラの視認範囲について以下のとおり整理する。

- ・通常のクラック、破損は管口から 3m 以内まで発見することが可能（ただし、浸入水が発生している箇所は 10m まで発見することが可能）
- ・取付管突出や木根侵入といった管の内部に発生した不具合は、管口から 15m 程度の不具合でも発見することが可能

4.3.3 スクリーニング調査の有効性評価

1) 管きょ内に発生する不具合傾向の整理

前述した模擬劣化管きょ及び現地調査による検証結果より管口カメラの視認範囲が明らかとなった。ここでは発生するクラック等の不具合がスパン内のどの位置に発生するのかを国総研が所有する TV カメラ調査結果データをもとに整理し、不具合が発生したスパンのうち管口カメラ調査でスクリーニングが可能なスパンがどの程度あるのかを明らかにした。

まず、ヒューム管 649 スパン（不具合 2,704 箇所）の TV カメラ調査結果データ（表-4.3.6）から、A ランク（重度）および B ランク（中度）の不具合を対象に、マンホール（管口）から発生箇所までの距離（不具合発生距離）を整理し、集計を行った。なお不具合発生距離は上流マンホールおよび下流マンホールからの距離のうち、短い方の距離を集計している。

表-4.3.6 TVカメラ調査データの不具合ランク

不具合項目		不具合ランク			総計
		A	B	C	
破損	箇所数	157	261	237	655
	割合(%)	24	40	36	100
クラック	箇所数	203	257	253	713
	割合(%)	28	37	35	100
浸入水	箇所数	26	138	734	898
	割合(%)	3	15	82	100

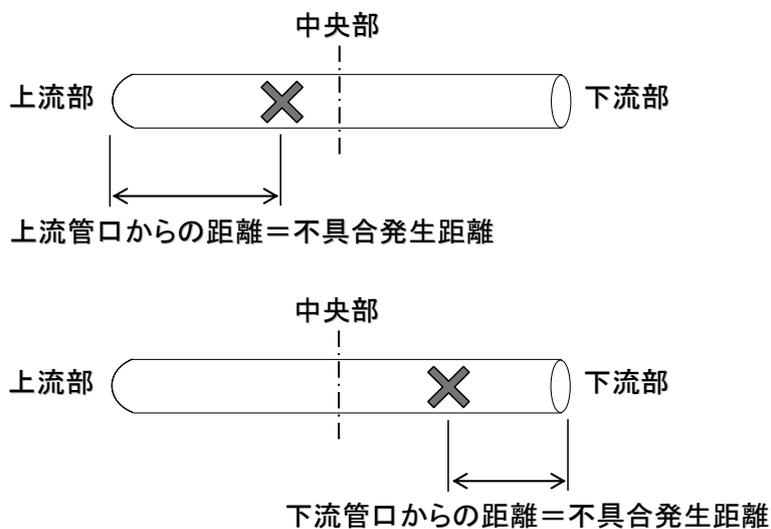


図-4.3.5 不具合発生距離の計測について（イメージ図）

各不具合の集計結果を図-4.3.6、図-4.3.7、図-4.3.8に示す。

クラックの場合、管口から0～5mの区間に約70%の不具合が集中していることが分かる。前述した模擬劣化管きょ及び現地調査による検証結果から管口カメラによるクラックの視認範囲を3mと仮定すると、クラック全体の約60%がスクリーニング可能と試算でき、管口付近を適正に調査することで、スパンの劣化の概況を判断するスクリーニングが有効であると推察される。

破損、浸入水についても同様の傾向が見られ、ともに管口から0～5mの区間に約50%の不具合が集中している。特に浸入水の場合、現地調査による検証結果から管口カメラでも管口から10m程度まで視認できることが分かっており、これをもとに試算した場合、管口カメラで約70%の浸入水が発見できると考えられる。

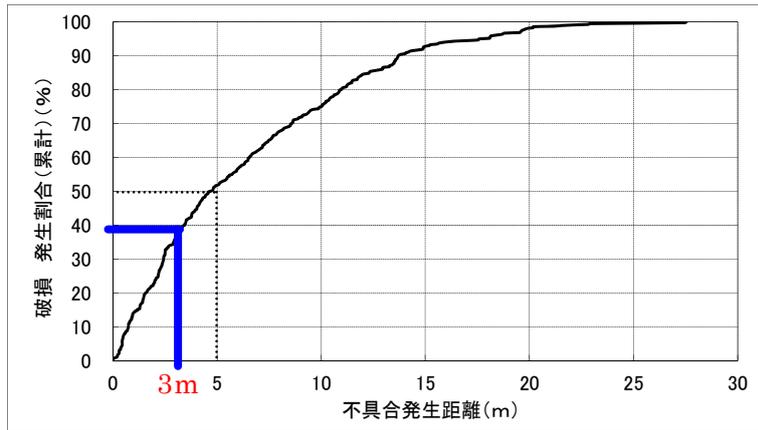


図-4.3.6 破損の発生割合（累計）

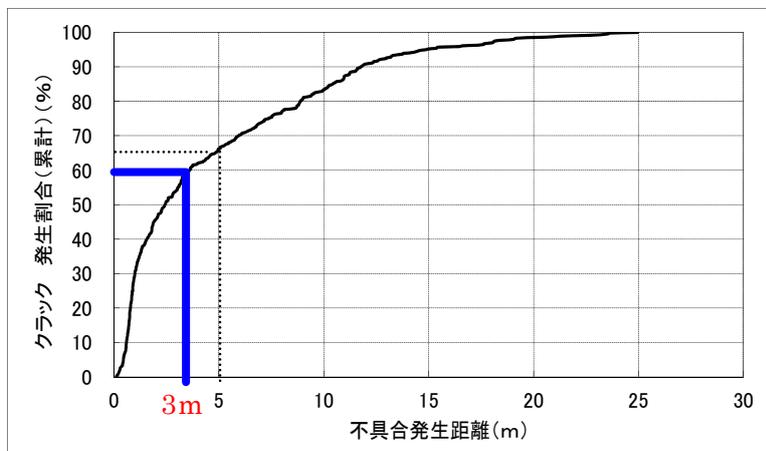


図-4.3.7 クラックの発生傾向（累計）

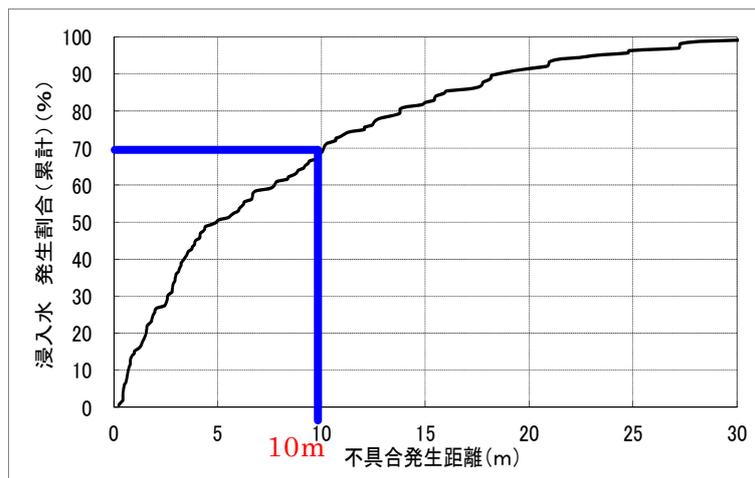


図-4.3.8 浸入水の発生傾向（累計）

2) スクリーニング併用型調査の有効性評価（調査精度）

スクリーニング併用型調査のフローを図-4.3.9に示す。スクリーニング併用型調査の場合、図-4.3.9で示したとおりスクリーニング調査で異常が確認されたスパンには、

次のステップとしてTVカメラ調査を行うことになるため、管口カメラの視認範囲外に存在する不具合についても、その際に発見することが可能である。ただし、管口カメラの視認範囲外にのみ不具合が存在する場合は、スクリーニング調査で異常なしと判断されてしまうため、重大な不具合を見逃してしまう恐れがある。

前述した現地調査の結果から管口カメラによる破損、クラックの視認範囲を3メートル（浸入水発生箇所については10m）、と仮定し、国総研が所有する不具合の発生した下水道管きょスパンのデータのうち、どの程度がスクリーニング可能かを検証した。その結果、76%がスクリーニング可能との結論が得られた。

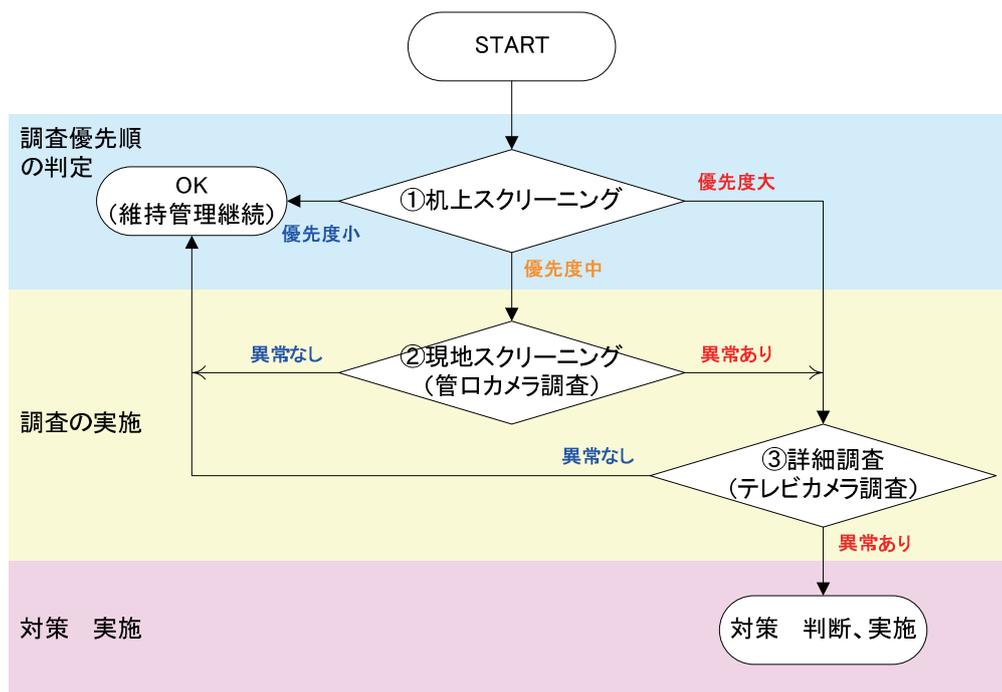


図-4.3.9 スクリーニング併用型調査フロー

3) スクリーニング併用型調査の有効性評価（調査コスト）

スクリーニング併用型調査のコスト面での優位性の検証を行うため、TVカメラのみで調査を行った場合との調査コストの比較を行った。

なお、スクリーニング併用型調査の場合、不具合が確認された管きょに対して再度TVカメラ調査を行うことから、不具合が少ない管きょ（=経過年数が少ない管きょ）ほど、「TVカメラ調査のみ」に比べ、経済的に優位となるといえる。本検討では調査区域全体における不良管きょ延長の割合を管きょ健全率予測式（国土技術政策総合研究所資料第654号P7）より概算し、経過年数ごとの比較を行った。主な検討条件、検討結果を図-4.3.10に示す。

主な検討条件

管口カメラ調査の費用単価：300 円/m （管きょ協歩掛より試算）

TV カメラ調査の費用単価：1,900 円/m （下水協歩掛りより）

不良管きょ延長：管きょ健全率予測式より概算

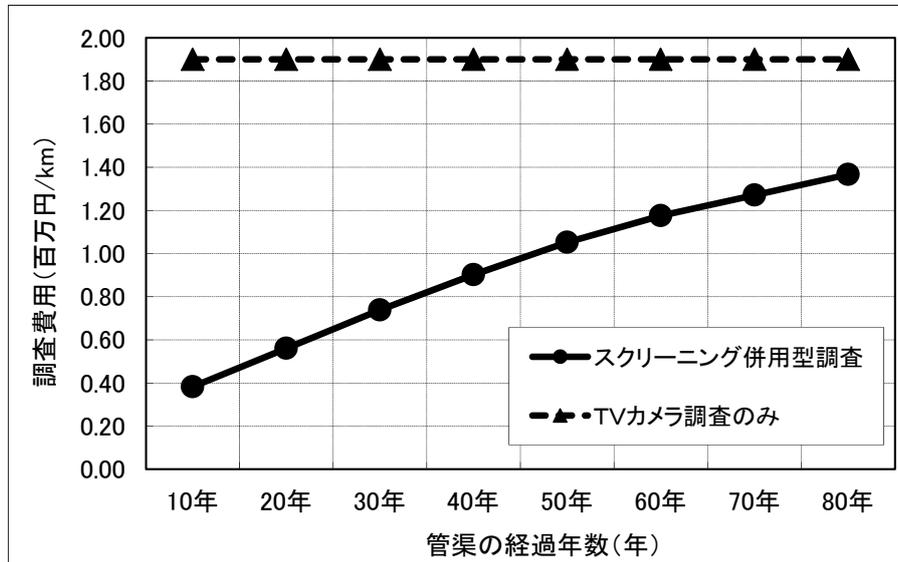


図-4.3.10 調査コスト比較

(4) まとめ

単純なコスト比較の場合、「TV カメラ調査のみ」と比較して精度はやや劣るものの、大幅なコスト低減が可能であるといえる。とくに限られた財源で膨大な管きょ延長の調査を行う場合、対象とする管きょの経過年数が10年～30年程度であれば経済的に高い優位性を持つ（TV カメラ調査のみと比較して単純なコスト比較で1/5～2/5）ため、この期間にスクリーニング併用型調査を運用することで広範囲における調査を図ることが可能である。

ただし、管口カメラの視認範囲外にのみ不具合が存在する場合、スクリーニング調査では異常なしと判断されてしまうため、50年以上経過した老朽管や交通量の多い重要路線については最初から詳細調査を実施するなどの机上スクリーニングを行うことが重要である。

今後のスクリーニング調査精度の向上に向けては管口カメラのズーム機能、ライトの照度オートフォーカス対応範囲等の改良によりスクリーニング調査の可視域を広げることが重要であるといえる。

4.4 MMS 技術の活用による陥没予兆発見手法開発

4.4.1 MMS 技術とは

道路陥没の原因の 1 つである地下空洞は、上水道や下水道といった地下埋設物の老朽化に伴う損傷部等からの土砂流失や、埋め戻し土の緩みにより生じると考えられる。下水道管きよによる道路陥没の予兆を効率的に発見することを目的とし、(株)環境総合テクノスと共同で、MMS 技術を活用した陥没予兆発見手法確立のための研究を平成 23 年度から実施した。

MMS (Mobile Mapping System) は、路面の三次元計測データを取得するための高精度 GPS 移動計測装置 (以下、MMS) の通称である。MMS は、GPS (全地球測位システム) と IMU (慣性姿勢計測装置) 及びオドメトリ (タイヤの回転角から現在位置を推定する手法) により車両の位置・姿勢を計算し、車両に取り付けられたレーザスキャナとカメラにより道路周辺や路面の三次元地形モデルを計測します。レーザスキャナ等の計測に必要な機材は車両の天端に取り付けられており、交通規制を行わず、走行しながらデータを取得することが可能である (写真-4.4.1)。

本技術は、計測対象物の現状把握はもちろんのこと、定期的な計測により得られた三次元計測データを解析することで計測対象物の経時的な変化が分かることから道路の路面調査においても実績がある。

共同研究では、本技術を応用した下水道管きよに起因する道路陥没の予兆発見技術の実用化に向け実フィールドでの実証研究を行った。



写真-4.4.1 MMS 搭載車両と取得データイメージ

4.4.2 A 市における調査事例

平成 23 年 11 月～平成 24 年 8 月の期間中、A 市において MMS 搭載車両による計測を 3 回 (11 月、5 月、7 月) 実施した。走行距離は 1 回当たり約 44km で、概ね 3 日かけて計測を行った (時速 40～60km)。

この期間中に A 市内で発生した下水道管きよに起因する道路陥没は 241 件あり、このうち 57カ所で MMS による計測を行った。

図-4.4.1 に計測結果例を示す。寒色系が基準点より高いもの、暖色系が基準点より低いものを示しており、時系列画像を比較することによって当該地点が陥没したか隆起

したかを定量的に判定可能である。この箇所におけるMMS計測は平成23年11月下旬と陥没直前の平成24年5月中旬に行っており、陥没前の路面沈下の変化量は約16mm/6ヶ月であった。

他の陥没地点における沈下の変化量は7.5mm～31.6mm/6ヶ月で、下水道管きょが原因で道路が陥没する場合の半年ぐらいの沈下速度は、概ねこの範囲ではないかと推定しており、MMSによる路面形状の経時変化から陥没箇所を事前に察知できる可能性が示唆されたと考えている。

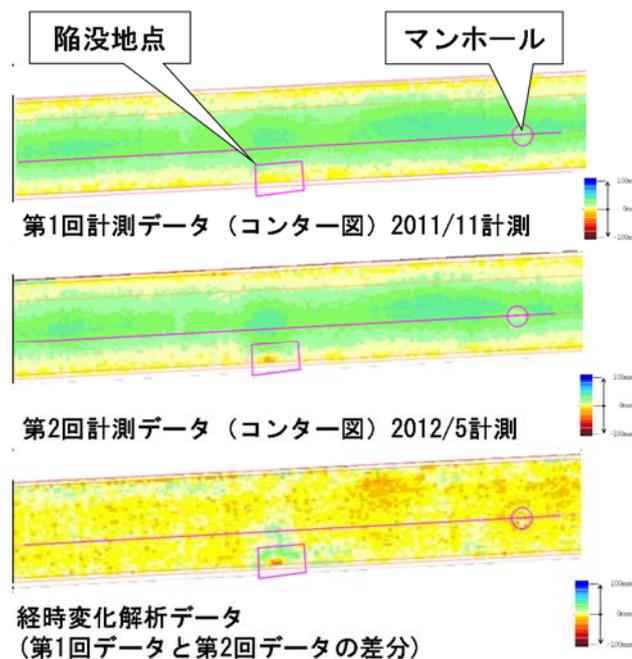


図-4.4.1 陥没前の路面計測結果 (A市)

4.4.3 今後の課題

MMSでの現地計測は交通規制を伴わないため、TV カメラ調査と比べ拘束時間の短縮を図ることが可能である。しかし、陥没危険箇所を路面の三次元計測データから抽出するにはより多くの陥没データを解析し、沈下量の閾値等を検討する必要がある。これには、沈下量だけでなく、実際生じた陥没の大きさと沈下量の関係や、舗装厚や土被りとの関係、下水道管きょの口径や材質、劣化の進行度 (損傷の程度)、交通量等も考慮にいたした検証が必要となる。今後は、これらの検証を進めると共に、実用化に向けて必要となる計測頻度や必要精度等について整理し、調査手法の確立を行うこととしている。

なお、MMS 技術を活用した陥没予兆発見手法確立のための共同研究の成果は、国土技術政策総合研究所資料第750号に取りまとめているので参考にされたい。

4.5 下水道管きよの効率的な点検調査技術に関する研究

4.5.1 共同研究の目的

点検実施率の向上に資する新たな簡易型TVカメラ調査機器を開発することを目的とし、管清工業(株)、(株)カンツールと共同で、共同研究を平成23年度から実施した。

本共同研究では、調査の効率性の向上を図るために、下記(表-4.5.1)の達成目標を設定するとともに、目標を達成しうる機器の試作及び現地における走行実験を実施し、実用化の可能性及び課題の整理を行った。

表-4.5.1 簡易型TVカメラ調査機器の達成目標

達成項目	達成目標	従来のTVカメラ調査
日進量	・日進量は1000m/日以上	TVカメラの標準日進量=300m/日
準備作業	・整備・組み立てが極力少ない。	・管径に合わせたタイヤ交換 ・車両の移動・駐車スペース必要
前処理工	・調査前の事前清掃は実施しない。	・清掃は必須。
所用人数	・調査技術者数：2名程度 ・交通誘導員：1～2名	・調査技術者数：5名 ・交通誘導員：2～3名
機材価格	・一般市販品を組み合わせた安価な物	・高額
判定精度	・従来方式と同程度 ・スクリーニングとして使用する場合は、不具合有無の判定が実施できる事	・維持管理指針による

4.5.2 簡易型TVカメラ調査機器のプロトタイプの試作

プロトタイプの試作にあたっては、一般に市販されているビデオカメラ、照明機器を使用した。これらの機器は、バッテリーによる稼働であり外部電源から電気を供給する必要のないものである。また、防水仕様であり、管きよ内の画像データを録画し蓄積するのに十分な容量の外部メモリーを装着できる仕様となっている。録画状態にして管きよ内を走行させた結果、得られた管きよ内画像は鮮明で目的を達成できるレベルにあった。

また、管きよの内部を撮影しメモリーに記録させて回収するためには、カメラや照明機器を搭載して管きよ内を走行させ、回収する走行台車が必要となる。試作した4種類の走行台車(写真-4.5.1～4.5.4)による実証実験結果を表-4.5.2に示す。このうち、最も日進量が優位であったものは電動自走台車によるもので、3時間の現場作業で600mを完了した。現場の施工条件等を勘案すると、日進量は当初の目標としていた1000mを概ね達成できるものと考えられる。

表-4.5.2 実証実験結果

		調査方法	効率性の検証結果
走行台車	車輪式台車	ワイロケーブルで台車を押込む	Max800m/日
	そり式台車	ワイロケーブルで押込む	× そりがうまく管きよ内で滑らず
	船体型台車	浮力と下水の流れで走行	× 走行には水深が必要であり、 小口径管には不適
	電動 RC 制御車	RC 制御により走行	Max1000m/日 (Max600m/3hr) ワイロケーブル回収の手間が不要。多少の土砂堆積、滞留水があっても走行可能



写真-4.5.1 車輪式台車



写真-4.5.2 そり式台車



写真-4.5.3 船体型台車



写真-4.5.4 電動 RC 制御車

4.5.3 電動 RC 制御式カメラ車の性能評価

日進量で最も優位であった電動 RC 制御式カメラの B 市における現地調査結果（B 市、80 スパン）をもとに、カメラ車の調査精度について検証した（写真-4.5.5、4.5.6）。ランク判定の誤差はあるものの、概ね通常の詳細テレビカメラ調査と同等の調査精度を有しているといえる（表-4.5.3）。電動 RC 制御式カメラの有利な点と不利な点に関して表-4.5.4 に整理した。また今後のさらなる性能向上に向けた課題を表-4.5.5 のとおり整理した。

今回作成したのはあくまでプロトタイプであるものの、日進量、機材価格、作業性の観点から、従来型と比較して優位であるといえ、今後の効率的な管きょ内調査に活用できる可能性がある。



写真 4.5.5 管きょ内調査の様子



写真 4.5.6 電動 RC 制御式カメラの映像

表-4.5.3 既存の TV カメラと比較した電動 RC 制御式カメラの有利な点と不利な点

			通常の詳細テレビカメラ調査 合計 10 スパン			
			A	B	C	なし
			6	4	0	0
電動 RC 制御式カメラ 合計 10 スパン	A	9	5	4	—	—
	B	1	1	—	—	—
	なし	0	—	—	—	—

表-4.5.4 電動 RC 制御式カメラの優位性検証

項目	電動 RC 制御式カメラ	側視付 CCTV カメラ
日進量	1000m/日	300m/日
準備作業	TV カメラ車の移動が無い 発電機を必要としない	TV カメラ車の移動が必要
前処理工	原則、事前の洗浄・清掃はしない	事前の洗浄・清掃を行う
一般的 所用人数	点検技術者数：3名 交通誘導員：2～3名	調査技術者数：5名 交通誘導員：2～3名
機材価格	既製品と比較して安価に製作が可能	高額
判定基準	簡易な判定基準の適用	従来基準に従った判定可能
詳細調査	詳細調査には不適	詳細調査対応

表-4.5.5 点検カメラ手法の構成要素と現況把握・評価、今後の課題

	構成要素項目	現状	現況把握・評価 今後の課題
カメラ	①カメラ本体		
	カメラ	解像度、広角度合、動画フレームレート	機能として当面は十分
	映像記録	32GB SD カード	同上
	②外部照明		
	照明	防水懐中電灯（単3電池2本）	LED と充電池による方式の開発
	③モニター機能		
	カメラモニター	なし	電波による映像データ搬送方式の開発
	④映像記録外部制御		
映像記録外部制御	開始・停止・終了機能なし	当面は現状のまま。今後無線による制御	
動画の編集	動画編集は無し、キャプチャ機能のみ	動画編集ソフトの選定と提出用ファイル作成基準	
電動 自走 台車	①走行系		
	電動走行方式	モーターとリチウムポリマー電池	当面は現状のバッテリー電源方式
	走行用電源	内部電池方式	軽量化するための基本、当面は現状のまま
	走行方式	ゴムタイヤ四輪駆動	効率的なタイヤの開発、クローラ式、6輪式
	走行速度	10～12m/分	現状の2倍の速度での映像の状況確認
	走破性能	土砂、モルタル、油脂を走破する	さらなる走行系の改良：サスペンション等
	②制御系		
	制御方式	無線による外部制御（不完全）	光、超音波方式 無線電波周波数・出力の検討
	③距離測定方式		
	距離測定	なし	無線で距離を測定しビデオ画像に取り込む
	④安全性の確保		
	安全索	ナイロンケーブル	他の素材及びケーブル巻取りドラムの選択
回収装置	人孔に入らずに籠を使用した回収	回収かご等装置の工夫	

4.6 まとめ

本技術開発では、下水道管きよの致命的損傷の発生を未然に防ぐ予防保全的管理の推進と適切な改築更新の実施に向けて、より効率的な診断手法・診断装置として①管口カメラを活用したスクリーニング併用型調査、②MMS技術の活用による陥没予兆発見手法開発、③簡易型TVカメラ調査機器の開発を行った。

①管口カメラを活用したスクリーニング併用型調査においては、実験施設及び現地試験の結果をもとに管口カメラの視認範囲を明らかにするとともに、国総研の所有するTVカメラ調査結果データから管口カメラによるスクリーニング精度を検証した。また従来のTVカメラ調査のみの場合とコスト比較を行い、対象とする管きよの経過年数が10年～30年程度であれば経済的に高い優位性を持つ（TVカメラ調査のみと比較して単純なコスト比較で1/5～2/5）ことを明らかにした。

また②MMS技術の活用による陥没予兆発見手法開発ではMMS(Mobile Mapping System)を用いた下水道管きよに起因する道路陥没の予兆発見技術の実用化に向け実フィールドでの実証を行った結果、下水道管きよが原因で道路が陥没する場合の沈下速度は、概ね沈下の変化量は7.5mm～31.6m/6ヶ月の範囲であり、MMSによる路面形状の経時変化から陥没箇所を事前に察知できる可能性が示唆された。

③簡易型TVカメラ調査機器の開発では電動RC制御式カメラのプロトタイプモデルを作成し、日進量、機材価格、作業性の観点から、従来型と比較して優位である点を確認した。

今後、調査精度及び効率性のさらなる向上に向け、研究を継続することにより、道路陥没に代表される国民生活や経済社会活動に甚大な影響を与える下水道管きよの致命的な損傷の回避、長寿命化、コスト縮減の進展が期待される。