

第 5 章 詳細調査技術および追加調査技術

第1節 詳細調査技術および追加調査技術の概要

§ 34 詳細調査技術および追加調査技術の種類

スクリーニング調査と組み合わせて実施する詳細調査は、スクリーニング調査で絞り込まれた管渠に対して、その後の対応方法（改築・修繕）を判断するための情報収集を目的として実施するものであり、従来型 TV カメラと同様に下水道管渠の構造的異常や機能的異常の程度を判定する「詳細調査技術」と、従来型 TV カメラでは確認できない異常項目を高い精度で調査する「追加調査技術」がある。

本実証研究では、下記の 1 つの詳細調査技術と、詳細調査と併せて実施する 3 つの追加調査技術を対象とした。

【詳細調査技術】

- (1) 展開広角カメラ（詳細調査）

【追加調査技術】

- (2) 衝撃弾性波検査法
- (3) 管路形状プロファイリング
- (4) 傾斜計測計

【解 説】

詳細調査は、点検やスクリーニング調査によって発見された異常を、視覚調査をはじめとする各種調査で把握し、異常の程度を見極めて、改築、修繕等の対策につなげる調査である。

本ガイドラインで扱うのは、スクリーニング調査によって抽出された管渠に対して、改築や修繕の必要性を判断するために、従来型 TV カメラ調査技術と同等の精度で、下水道管渠の構造的異常や機能的異常の程度を定量化し、緊急度を判定する「詳細調査技術」と、従来型 TV カメラによる詳細調査だけでは確認できない異常の把握や、特定の異常項目を従来型 TV カメラ以上の精度で計測することを目的に、本来の詳細調査に追加して実施する「追加調査技術」である。

本ガイドラインでは、実証研究で対象とした下記技術について、技術の諸元や調査方法、調査実施上の留意事項を整理する。

- (1) 展開広角カメラ（詳細調査技術）
- (2) 衝撃弾性波検査法（追加調査技術）
- (3) 管路形状プロファイリング（追加調査技術）
- (4) 傾斜計測計（追加調査技術）

第2節 展開広角カメラ（詳細調査）

§ 35 展開広角カメラによる詳細調査の特徴

展開広角カメラは、広角レンズ（画角 190 度）を搭載している TV カメラ機器であり、詳細調査に用いるにあたり下記の特徴を有する。

- (1) 継手部の側視調査が不要
- (2) 洗浄後に調査を行うため微細な異常を確認可能

【解 説】

展開広角カメラは、広角レンズ（画角 190 度）を搭載している TV カメラ機器であり、走行しながら管内の展開画像を作成することができ、管壁面の状況を容易に把握することができる。従来型 TV カメラ調査で行っている側視による管壁確認等が不要で、展開画像を見ながら異常の程度の診断を実施することから、現場での日進量を向上させることができる。詳細調査に使用される展開広角カメラの外観を図 5-1 に示す。



図 5-1 展開広角カメラの外観

展開広角カメラの基本的な特徴は、スクリーニング調査として用いる場合と同様（§ 19 (1) (2) を参照）であるが、詳細調査に用いた機器の特徴としては、以下のようにまとめられる。

(1) 継手部の側視調査が不要

走行と同時に管内の展開画像を作成することで、管壁面の状況を容易に把握することができる。このため、従来型 TV カメラ調査で行っている継手ごとの側視が不要となり、日進量を飛躍的に向上させることができる（スクリーニング調査と異なり、異常が確認された箇所では機器を停止し、確認を行う）。

(2) 洗浄後に調査を行うため微細な異常を確認可能

スクリーニング調査と異なり，事前に管内洗浄を行い管内の汚れを除去することで，洗浄前には汚れと見分けが付きにくかった微細な破損，クラックまで確認することが可能となる。また現場においても異常が確認された箇所では機器を停止し，従来型 TV カメラ調査における異常項目とランクの判定の考え方に沿って現場で異常ランクの確認を行う。ただし，継手ごとの側視は行わない。さらに，室内作業でも展開図を用いて現場でのランク判定と齟齬がないか再度確認する。

また，より正確に異常の内容やランクを把握するため，現場において異常が確認された箇所ではカメラを停止し，異常ランクの確認を行うことから，日進量はスクリーニング調査に用いる場合よりもやや少なくなる。

§ 36 展開広角カメラによる詳細調査方法

展開広角カメラを用いた詳細調査は、作業区分に応じた適切な人員配置のもと、安全管理に努めるとともに、関連法令や地方公共団体等が定める基準を順守して適切に行うものとする。

- (1) 作業編成
- (2) 調査手順
- (3) 異常診断・報告書作成

【解 説】

(1) 作業編成

1) 現地調査における作業編成

準備（作業帯設置、酸欠調査等）、機材設置、計測（カメラ走行・測定等）、機材回収、片づけという作業が現場における調査サイクルであり、このサイクルを1スパンごとに行う。現地調査においては、表 5-1 に示すように、調査人員として、調査技士1名をはじめとする計5名が必要となるほか、使用車両・機材として、展開広角カメラ搭載型車両、送風機、ガス検知器等が必要である。作業範囲としてはマンホール周囲 2.5m×6m程度である。

表 5-1 展開広角カメラの作業区分、作業編成、必要機材等（現地調査）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
準備 (作業帯・酸欠調査等)	調査技士×1 調査助手×1 調査作業員×2 運転手(一般)×1 計5名	展開広角カメラ搭載型車両 チェーンブロック マンホール鍵 送風機 ガス検知器 作業帯(カラーコーン, バー等)	2.5m×6m程度	記憶メディア 展開広角 TV 用タイヤ 作業用品 (ウエス, ゴム手袋, チョーク, ビニールテープ, ヘルメット等)
機材設置				
計測 (カメラ走行・測定等)				
機材回収				
片づけ				

2) 異常診断・報告書作成における作業編成

室内作業においては、異常診断、報告書作成の流れで作業を行う。展開広角カメラ調査においては、展開画像データの保存が可能になるという点が、従来型 TV カメラ調査と大きく異なる点である。異常診断および報告書作成においては、表 5-2 に示すように、調査人員として、管路主任技士 0.3 名をはじめとする計 3.3 名、使用機材として、展開画像の編集が可能なソフトを搭載したパソコン等が必要となる。

表 5-2 展開広角カメラの作業区分，作業編成，必要機材等（異常診断・報告書作成）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
異常診断	管路主任技士×0.3 管理技士×1 調査技士×1 調査助手×1 計 3.3名	専用ソフトウェア パソコン等	—	記憶メディア (DVD, HDD, SD カード等) 綴込みファイル用紙，インク等
報告書作成				

(2) 調査手順

展開広角カメラを用いた詳細調査は、管渠を洗浄した後に実施する。スクリーニング調査と異なり、現場においても異常が確認された箇所では機器を停止し、表 5-3 に示す従来型 TV カメラ調査における異常項目とランクの判定の考え方に沿って現場で異常ランクの確認を行う（継手ごとの側視は行わない）。その他の事項については、§ 20 を参照されたい。

(3) 異常診断・報告書作成

1) 異常診断

異常診断を行う際には、展開広角カメラで撮影した画像から、図 5-2 に示すような展開図を作成する。この展開図から図 5-3、図 5-4 に示すようなパソコンの画面上において、表 5-3 に示す従来型 TV カメラ調査における異常項目とランクの判定の考え方に沿って異常診断を行う。

なお、展開広角カメラを詳細調査として使用する場合には、(2) 調査手順に示した通り、スクリーニング調査と異なり、現場においても異常が確認された箇所では機器を停止し、表 5-3 に示す従来型 TV カメラ調査における異常項目とランクの判定の考え方に沿って現場で異常ランクの確認を行う。また、室内作業においても展開図を用いて現場でのランク判定との差異がないかを再度確認する。

なお、後述する検出率、適合率は、「下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）」に基づき従来型 TV カメラ調査により判定された結果に対して、表 5-3 の判定基準に基づき展開広角カメラ調査（詳細調査）により判定された結果を比較することで算定した。

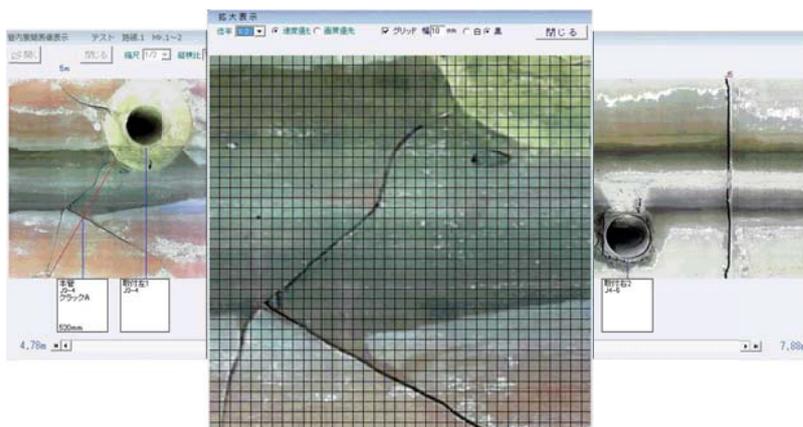


図 5-2 展開図の例

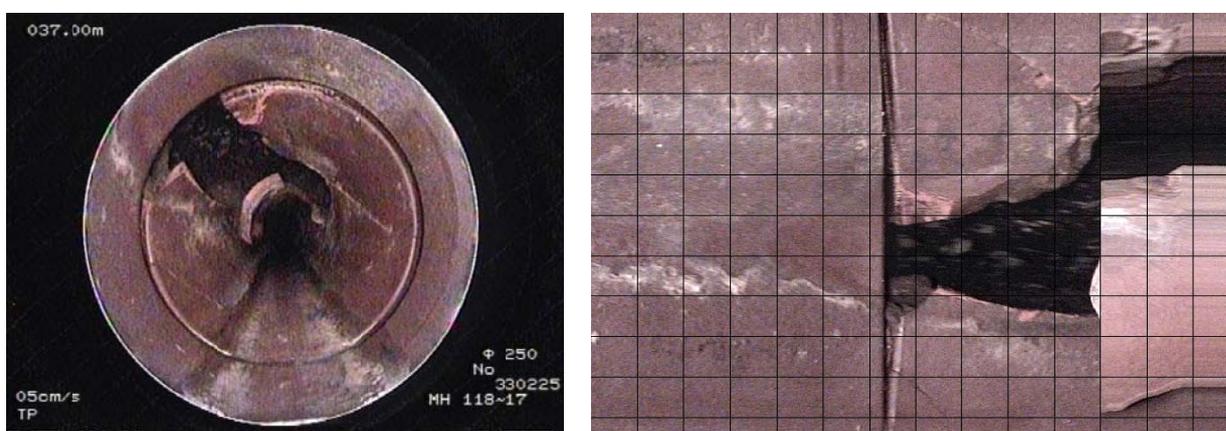


図 5-3 異常診断のための静止画像（例 1：破損 a）

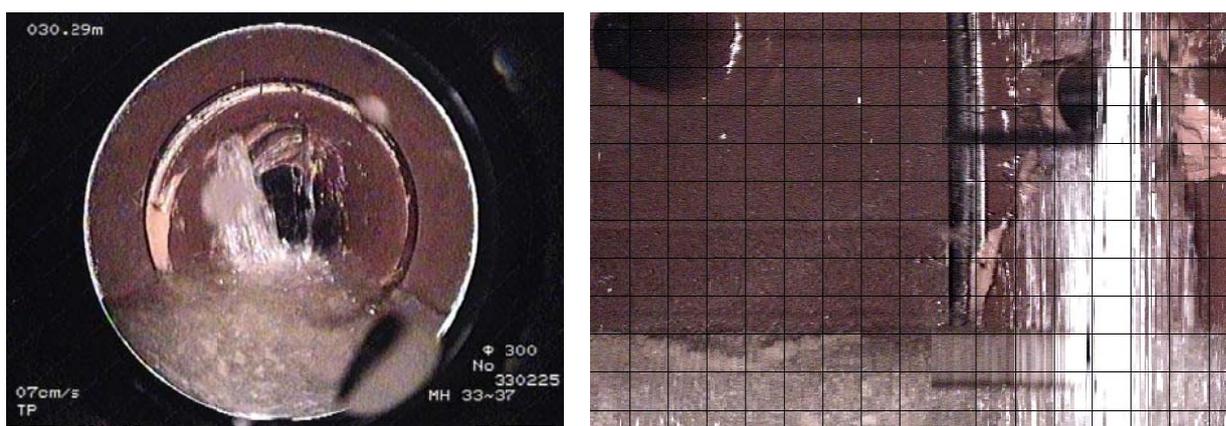


図 5-4 異常診断のための静止画像（例 2：浸入水 a）

表 5-3 本管調査判定基準（案）
（下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）と同様）

項目	ランク		A	B	C
	1) 管の腐食			鉄筋露出状態	骨材露出状態
2) 上下方向のたるみ	管渠内径 700mm未満		内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満
	管渠内径 700mm以上 1650mm未満		内径の1/2以上	内径の1/4以上	内径の1/4未満
	管渠内径 1650mm以上 3000mm以下		内径の1/4以上	内径の1/8以上	内径の1/8未満
項目	ランク		a	b	c
	3) 管の破損	鉄筋コンクリート管等	欠落 軸方向クラックで幅5mm以上	軸方向クラックで幅2mm以上	軸方向クラックで幅2mm未満
陶管		欠落 軸方向クラックが管長の1/2以上	軸方向クラックが管長の1/2未満	—	
4) 管のクラック	鉄筋コンクリート管等	円周方向クラックで幅5mm以上	円周方向クラックで幅2mm以上	円周方向クラックで幅2mm未満	
	陶管	円周方向クラックで長さが円周の2/3以上	円周方向クラックで長さが円周の2/3未満	—	
5) 管の継手ズレ			脱却	鉄筋コンクリート管等：70mm以上 陶管：50mm以上	鉄筋コンクリート管等：70mm未満 陶管：50mm未満
6) 浸入水			噴き出ている	流れている	にじんでいる
7) 取付管の突出し			本管内径の1/2以上	本管内径の1/10以上	本管内径の1/10未満
8) 油脂の付着			内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	—
9) 樹木根侵入			内径の1/2以上閉塞	内径の1/2未満閉塞	—
10) モルタル付着			内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満

※段差は、mm単位で測定する。また、その他の異常（木片、他の埋設物等で上記にないもの）も調査する。

※7), 8), 9), 10)については、基本的に清掃等で除去できる項目とし、除去できない場合の調査判定基準とする。

出典：下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）平成25年6月（(公社)日本下水道協会）

2) 報告書の作成

展開広角カメラを用いた調査結果を記録表にとりまとめる。現場作業および室内作業で用いる記録表の様式（例）を表 5-4 に示す。

表 5-4 記録表の様式（例）

本管用調査記録表

路線No. U464001D465003

上流人孔 No. 464001											下流人孔 No. 465003															
人孔番号	人孔種別	人孔深	管頂深	人孔蓋種別	管種	管径	人孔間延長	人孔番号	人孔種別	人孔深	管頂深	人孔蓋種別														
464001					HP	φ 250 mm	19.90 m	465003																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 人孔内点検 人孔内点検 </div>																										
継手部	継手数	管口 1 2 3 4 5 6 7 8 9 管口										管本数	【 10 本】													
	内容											管不良数	【 3 箇所】													
	写真番号											ソケット数	【 1 本】													
本管部	管本数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											DVD番号	【 枚目】			
	内容		破損				クラック				クラック												チャプター番号	【 】		
	写真番号		C				B				A	A											布設年度			
ソケット部	取付管方向	左																				占用位置				
	内容																					1. 国道、県道、市道 その他				
	写真番号																					2. 車道、歩道、 ガードレール内 その他				
考察																										

マーク	項目	異常箇所														計	備考															
		破損	クラック			隙間ズレ			たるみ蛇行			モルタル		浸入水				突出接合不良		腐食		油跡、木根		その他								
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C				
	異常箇所																															
	継手部																															
	本管部		1	2	1																									2	1	1
	ソケット部																															
	計		1	2	1																									2	1	1

§ 37 機器の必要性能

詳細調査に用いる展開広角カメラの標準仕様と、調査実施上で必要となる性能を整理する。

- (1) 標準仕様
- (2) 必要性能

【解説】

(1) 標準仕様

実証研究に用いた展開広角カメラの標準仕様は表 5-5 の通りである。

表 5-5 展開広角カメラ（詳細調査）の標準仕様

項目	仕様
機種	I 社 型式番号 DSIII
寸法	カメラヘッド 全長 150mm × 幅 90mm × 高さ 90mm 自走車 全長 367mm × 幅 120mm × 高さ 100 mm
重量	カメラヘッド 1.1kg 自走車 14 kg
機器構成	カメラヘッド 自走車
走行速度	標準走行速度 6m/分 最大 17m/分（展開可能速度は、パソコンのスペックに依存）
通信ケーブル	500m, 直径 6.6mm
連続稼働時間	約 10 時間

(2) 必要性能

展開広角カメラを用いて詳細調査を適切に実施するための最低限の性能としては表 5-6 を満足する必要がある。

表 5-6 展開広角カメラ（詳細調査）に必要な機器性能

必要性能	尺度	性能値
視認性能	画素数	40 万画素以上
	画角	190 度以上
	照明	3W×6 灯と同等以上 光感度 1Lux 程度以上
走行性能	ケーブル長	150m以上

§ 38 性能諸元と現場諸元

詳細調査に展開広角カメラを使用した場合に期待される性能を、性能諸元、現場諸元に分類したうえで整理する。

- (1) 性能諸元
- (2) 現場諸元

【解説】

詳細調査に展開広角カメラを使用した場合に期待される性能を、実証研究の結果に基づき、性能諸元、現場諸元に分類したうえで下記の通り整理した。

(1) 性能諸元

実証研究の結果に基づき、詳細調査に展開広角カメラを用いた場合の性能諸元を評価した。性能諸元は、①日進量（m/日）、②調査コスト（円/m）、③確認可能な異常項目とランク、④異常確認精度（検出率・適合率）の4項目とし、評価結果は表 5-7 および表 5-8 に示す通りとなった。

①日進量（m/日）

現地調査における日進量は、調査対象スパン長を 30m と想定して算出すると、従来型 TV カメラ（日進量 300m/日）に対して、約 1.5 倍となった。

②調査コスト（円/m）

調査コストは、従来型 TV カメラ（約 1,000 円/m・洗浄費含む）に対して、約 0.9 倍であった。

③確認可能な異常項目とランク

展開広角カメラで確認可能な異常項目は、「下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）平成 25 年 6 月（（公社）日本下水道協会）」に記載のある 10 項目であり、ランク a, b, c の異常を判定可能であった。

④異常確認精度（検出率・適合率）

異常確認精度は、たるみ C ランクと浸入水（a, b, c）において適合率 70%～80%程度であったが、その他の異常項目についてはほぼ 100%であった。たるみについては、広角レンズの特性から小規模なたるみの確認が困難であることが原因と考えられる。また、浸入水については、調査する日により地下水位が変動し浸入量が変わるため、展開広角カメラと従来型 TV カメラ調査の結果において、異常の程度を完全に一致させることが困難であることが要因として考えられる。

なお、検出率、適合率は、下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）に基づき従来型TVカメラ調査により判定された結果に対して、表5-3の判定基準に基づき展開広角カメラ調査（詳細調査）により判定された結果を比較することで算定した。

表 5-7 展開広角カメラ（詳細調査）の異常確認精度

異常項目	精度検証結果		備 考	
	検出率	適合率		
管の腐食	A	100%	100%	
	B	100%	100%	
	C	100%	100%	
上下方向のたるみ	A	100%	100%	水深が低い場合は水位の変化を把握しがたいため、ランク c 程度の軽微な場合は、把握が難しい。 調査時の水量によっても程度が変わるため、一致は難しい
	B	100%	100%	
	C	81%	81%	
管の破損	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
管のクラック	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
管の継手ズレ	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
浸入水	a	100%	71%	浸入水の異常の程度は、天候や調査時期に左右されるため、一致しないことがある 浸入水は水の動きで判断するため、広角カメラ特有の湾曲した画像や、動きがない展開図上では判断が難しい
	b	69%	69%	
	c	78%	78%	
取付管突き出し	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
油脂の付着	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
樹木根の侵入	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	
モルタルの付着	a	100%	100%	
	b	100%	100%	
	c	100%	100%	

※水深が管径の最大1割程度の状態で調査を実施した。

表 5-8 展開広角カメラ（詳細調査）の性能諸元

評価項目		性能諸元
①	日進量（m/日）	450m/日
		報告書作成業務：400m/日
②	調査コスト（円/m）	930 円/m（うち洗浄費 270 円/m）
③	確認可能な異常項目とランク	「下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）平成 25 年 6 月（（公社）日本下水道協会）」に記載のある 10 項目（ランク a～c までの異常ランクの判定が可能）
④	異常確認精度	表 5-7 参照

(2) 現場諸元

実証研究の結果に基づき、詳細調査に展開広角カメラを用いた場合の現場諸元を評価した。現場諸元は、①適用範囲（管渠属性）、②適用条件（現場環境）、③専門技術性の3項目とし、評価結果は表 5-9 に示す通りとなった。

①適用範囲（管渠属性）

コンクリート管、塩ビ管、陶管に適用可能である。適用管径は、車体寸法上の制約より最小管径として 200mm、最大管径は 700mm である。ただし、特異なインバート形状により、管口に設置した調査機器が安定しない場合は、展開画像の作成が不可能となることから、展開広角カメラの適用は難しい。

②適用条件（現場環境）

展開広角カメラ調査の実施上制約となる条件について整理する。

管内の流水状況に関する条件として、流速は 1.0m/s 以下とする。この制約条件は、従来型 TV カメラと同様である。

光ファイバーが設置されている場合、天井への敷設であれば走行上支障はないが、引き流し工法による敷設や天井の光ファイバーがたるんでいる場合等は走行不可となることが多いため、調査においては十分な注意が必要である。

交通量および道路幅員については、作業帯が確保できれば調査上問題になることはない。

③専門技術性

展開広角カメラによる詳細調査では、現地での異常診断と併せて、撮影画像を持ち帰り判定者により異常診断を行う。このため、現場オペレータおよび室内での異常診断（ランク判定）を実施する判定者ともに、従来型 TV カメラでの現地オペレータに求められる経験および知識等と同等（下水道管路管理専門技士等）の専門技術性が求められる。

表 5-9 展開広角カメラ（詳細調査）の現場諸元

評価項目	現場諸元
① 適用範囲 (管渠属性)	管種：コンクリート管，塩ビ管，陶管 管径：200～700mm 土被り：問わない マンホールサイズ：内径 900mm 以上 スパン長：200m以下
② 適用条件 (現場環境)	流速：1.0m/s 以下 光ファイバー有無：注意が必要（光ファイバーが引き流し工法で施工されている場合には，走行できないことが多い） 交通量：問わない 道路幅員：作業帯範囲を確保できる幅員
③ 専門技術性	試験・資格：酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者，下水道管理技術認定試験，下水道管路管理総合技士，下水道管路管理主任技士，下水道管路管理専門技士と同等

§ 39 留意事項

詳細調査として展開広角カメラを用いる場合は、以下の項目に留意する必要がある。

- (1) たるみ判定の誤差
- (2) 浸入水判定の誤差

【解説】

(1) たるみ判定の誤差

実証研究の結果より、広角レンズによる判定では、たるみランク C の判定率が下がる傾向が示されている。これは、広角レンズの特性からたるみの軽微な異常の確認が困難なためである。このため、たるみを精度良く判定する必要がある場合は、傾斜計測計による調査を合わせて実施することが望ましい。

(2) 浸入水判定の誤差

展開広角カメラによる室内における異常診断は、現場での撮影画像を展開画像にしたものを用いる。この際、展開図は平面的な静止画であり、断面方向に動きのある浸入水を判定することが難しいため、水の痕跡（水跡）の確認や、直視画像（動画）の確認等を行う必要がある。

第3節 衝撃弾性波検査法

§ 40 衝撃弾性波検査法による追加調査の特徴

衝撃弾性波検査法は、非破壊かつ非開削で管体の耐荷力を定量的に計測することが可能な技術であり、下記の特徴を有する。

- (1) 非破壊・非開削での検査
- (2) 管体の耐荷力を定量的な数値指標により評価可能
- (3) 効率的な長寿命化計画（改築計画）の策定が可能

【解説】

詳細調査の追加調査技術である衝撃弾性波検査法を用いた調査は、平成24年3月に「衝撃弾性波検査法による管路診断技術資料」（財）下水道新技術推進機構が発行され、導入実績も増加しつつある。衝撃弾性波検査技術は管内面から管体に軽い衝撃を与えることにより発生する、管体における軸・周方向の振動挙動および伝播波の減衰に着目し、計測された波形の周波数分布を解析することにより対象物の異常状態を定量的に判定する手法である。

衝撃弾性波検査法装置の外観を図5-5に示す。



図 5-5 衝撃弾性波検査法装置の外観

衝撃弾性波検査法の特徴は以下のようにまとめられる。

(1) 非破壊・非開削での検査

衝撃弾性波検査法は、構造物の非破壊検査法を下水道管渠の調査・診断に適用したものである。管に軽い衝撃を与えることにより発生する振動を、加速度センサ等により計測する手法であり、非破壊で下水道管渠の構造的に重要な管の異常を検査することができる。また、管内に専用の調査ロボット（衝撃弾性波検査ロボット）を挿入して測定を行うため、非開削で構造的な管の異常を検査できる。

(2) 管体の耐荷力を定量的な数値指標により評価可能

衝撃弾性波検査法では、構造的な管の異常（腐食による減肉、軸方向クラック）を仮想管厚と仮想破壊荷重として定量数値化する。これらの基礎数値から管体の残存強度ならびに埋設管としての安全性について定量的に評価することができる。

また、本技術の定量的な評価により目視では発見しにくい微小なクラックや外面クラックを間接的に発見でき、機械的な計測のため調査員の主観による差異が生じない等の特徴も有する。

(3) 効率的な長寿命化計画（改築計画）の策定が可能

衝撃弾性波検査法によって得られる定量的な数値指標を、TVカメラ調査の結果に加えて評価することにより、より正確に管渠の強度低下を判定することができる。このことから①既設管強度を考慮した経済的な更生工法の採用による改築費用の低減、②強度低下の著しいスパンを優先的に改築することによる陥没事故の減少等の予防保全的な維持管理が可能となる。

衝撃弾性波検査法によって得られるデータは管体の構造設計、特に更生工法による複合管設計に適用させることが可能である。これにより改築工法の中から、自立管および複合管の適切な選択が可能となり、より経済的な改築・修繕を実施することができる。具体的には衝撃弾性波検査法で得られるデータを既設管の材料強度に置換し、複合管構造設計（FEM解析等）の設計入力値とすることにより、改築の仕様をスパンごとに定量的に決定することができる。

なお、本実証研究で用いた衝撃弾性波検査法は、「衝撃弾性波検査法による管路診断技術資料」（(財)下水道新技術推進機構）に記載の通り、打撃部と受信部の間隔を延長し、管体1本あたりの測定回数を減らすことにより、従来の衝撃弾性波検査法と比較し、効率的な調査が可能となっている。

§ 41 衝撃弾性波検査法による追加調査方法

衝撃弾性波検査法を用いた追加調査は、作業区分に応じた適切な人員配置のもと、安全管理に努めるとともに、関連法令や地方公共団体等が定める基準を順守して適切に行うものとする。

- (1) 作業編成
- (2) 調査手順
- (3) 異常診断・報告書作成方法

【解説】

(1) 作業編成

1) 現地調査における作業編成

衝撃弾性波検査法を用いた詳細調査は、準備（作業帯設置、酸欠調査等）、機材設置、計測（ロボット走行・測定等）、機材回収、片づけという作業が、現場における調査サイクルであり、このサイクルを1日の作業時間の中で複数回繰り返す。現地調査においては、表 5-10 に示すように、調査人員として、調査技士1名をはじめとする計5名が必要なほか、使用車両・機材として、衝撃弾性波ロボット搭載型車両、送風機、ガス検知器等が必要である。作業範囲としてはマンホール周囲 2.5m×6m程度である。

表 5-10 衝撃弾性波検査法の作業区分、作業編成、必要機材等（現地調査）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
準備 (作業帯・酸欠調査等)	調査技士×1 調査助手×1 調査作業員×2 運転手(一般)×1 計5名	衝撃弾性波ロボット搭載型車両 自走式TVカメラ チェーンブロック マンホール鍵 送風機 ガス検知器 作業帯(カラーコーン, バー等)	2.5m×6m程度	記憶メディア カメラ車用タイヤ 作業用品 (ウエス, ゴム手袋, チョーク, ビニールテープ, ヘルメット等)
機材設置				
計測 (ロボット走行・測定等)				
機材回収				
片づけ				

2) 異常診断・報告書作成における作業編成

室内作業においては、異常診断、報告書作成の流れで作業を行う。衝撃弾性波検査法においては、現場で取得した高周波成分比データを分析し、耐荷力の定量的指標である管の健全度および管の安全度の評価を行う（(3)1)で後述）。異常診断および報告書作成においては、表 5-11 に示すように、調査人員として、管路主任技士 0.3 名をはじめとする計 3.3 名、使用機材として、管の健全度および管の安全度の評価が可能なソフトを搭載したパソコン等が必要となる。

表 5-11 衝撃弾性波検査法の作業区分、作業編成、必要機材等（異常診断・報告書作成）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
異常診断	管路主任技士×0.3 管理技士×1 調査技士×1 調査助手×1 計 3.3 名	専用ソフトウェア パソコン等	—	記憶メディア (DVD, HDD, SD カード 等) 綴込みファイル用紙, インク等
報告書作成				

(2) 調査手順

衝撃弾性波検査法を用いた追加調査調査の一連の流れを図 5-6 に示す。

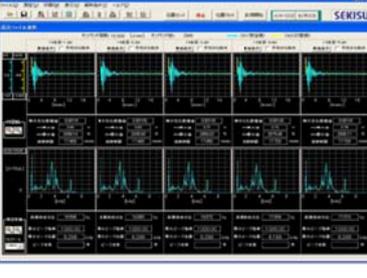
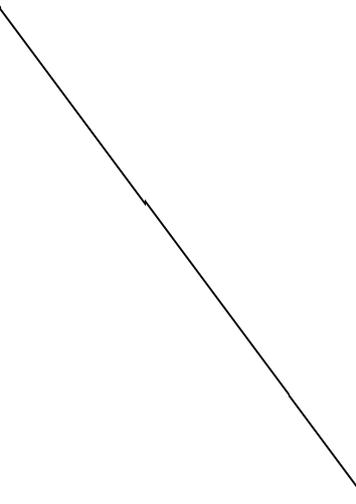
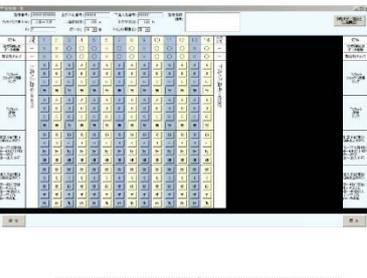
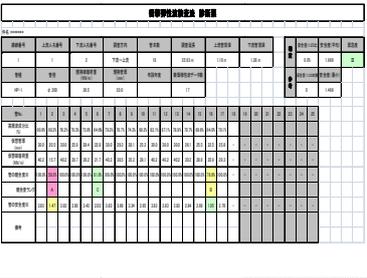
<p>準備① 作業帯設置</p>	<p>準備② 酸素濃度測定</p>	<p>機材設置 管内挿入</p>
		
<p>【作業内容】 調査車両・マンホール周囲に2.5×6mの範囲で作業帯を設置する。(カラーコーン・バーを設置)</p>	<p>【作業内容】 マンホール内に進入する前に、測定器を用いて、マンホール・管内の酸素濃度・その他有害ガス濃度を計測する。</p>	<p>【作業内容】 管内へ調査機材 (TVカメラと衝撃弾性波検査装置) を挿入する。挿入する際には、マンホール内にて受け取り役の作業員が待機している。</p>
<p>計測① ロボット走行</p>	<p>計測② 測定</p>	<p>機材回収 管内から撤去</p>
		
<p>【作業内容】 調査車両内のコントローラを操作し、計測する管体を確認しながら、ロボットを走行させる。</p>	<p>【作業内容】 計測位置に到着すると、計測用パソコンを操作し、管体を打撃し計測を行う。</p>	<p>【作業内容】 機器を後退走行させながらケーブルを巻き取り、管内から調査機材を回収する。</p>
<p>異常診断 解析作業</p>	<p>報告書作成 帳票取りまとめ</p>	
		
<p>【作業内容】 展開広角カメラ結果や現場野帳を確認しながら、衝撃弾性波検査結果を解析する。</p>	<p>【作業内容】 解析結果を各種帳票類にとりまとめ、診断票・集計表・総括表を作成する。</p>	

図 5-6 衝撃弾性波検査法の調査手順

表 5-12 「管の健全度」を基にした管1本ごとの判定基準例

ランク	衝撃弾性波法による管の健全度	説明	
a	0~60%以下	管の有する破壊耐荷力が規格値を下回り、管の耐荷性能に影響する異常事象がある状態	標準的な埋設条件下において、管の有する破壊耐荷力が、管に作用する荷重を下回り、管の安全性が損なわれている状態
b	60%を超えて80%以下		標準的な埋設条件下において、管の有する破壊耐荷力が、管に作用する荷重を上回るものの、一般的な安全率を満足できていない状態
c	80%を超えて100%未満		標準的な埋設条件下において、管の破壊耐荷力が作用荷重を上回り、かつ一般的な安全率を満足できるが、終局限界状態に対する十分な安全係数を確保できない状態
なし	100%	管の有する破壊耐荷力が規格値と同等以上であり、構造的に健全な状態である状態	

※衝撃弾性波検査法による管路診断技術資料（財）下水道新技術推進機構より抜粋

②スパン全体の評価

スパン全体の評価は以下の手順に従い実施する。衝撃弾性波検査法によるスパン全体の評価は、スパン全体の「管の安全度」の平均値を求め、その度合いにより緊急度をランク付けして判定する。衝撃弾性波検査法による「管の安全度」は、評価する管の埋設状態における安全性に着目したもので、管が有する破壊耐荷力をその作用荷重に対する安全率として指標化したものである。

「管の安全度」を基にしたスパン全体の判定基準を表 5-13 に示す。

表 5-13 「管の安全度」を基にしたスパン全体の判定基準（緊急度判定基準）例

緊急度	定義	衝撃弾性波検査法による管の安全度 $[F_B]$	説明
I	速やかな措置が必要な場合	$1.25 > F_B$ の平均値または $1.25 > F_B$ となる管の本数が 20%以上	管の有する破壊耐荷力が、管に作用する荷重を下回り、管の安全性が損なわれている状態
II	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	$1.6 > F_B$ の平均値 ≥ 1.25	管の有する破壊耐荷力が、管に作用する荷重を上回るものの、一般的な安全率を満足できていない状態
III	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	$2.0 > F_B$ の平均値 ≥ 1.6	管の破壊耐荷力が作用荷重を上回り、かつ一般的な安全率を満足できるが、終局限界状態に対する十分な安全係数を確保できない状態
なし	衝撃弾性波検査法において異常が認められないもの	F_B の平均値 ≥ 2.0	管の破壊耐荷力が作用荷重を上回り、かつ終局限界状態に対する十分な安全係数を確保できる状態

※衝撃弾性波検査法による管路診断技術資料（財）下水道新技術推進機構より抜粋

2) 報告書作成

現場で取得した弾性波データを室内作業にて解析する。解析結果はシステムで処理され自動的に診断表、集計表および総括表が作成される。衝撃弾性波検査法の記録表の例を表 5-14 に示す。

表 5-14 記録表の作成例

衝撃弾性波検査法 診断票																										
件名:*****																										
路線番号	上流人孔番号	下流人孔番号	調査方向	管本数	調査延長	上流管頂深	下流管頂深	判定	安全度<1.25比	安全度(平均)	緊急度	参考	安全度<1.25本数	安全度(最小)												
1	1	2	下流→上流	18	35.93 m	1.10 m	1.28 m		0.0%	1.966	Ⅲ		0	1.466												
管種	管径	規格破壊荷重 (KN/m)	規格管厚 (mm)	布設年度	衝撃弾性波データ数																					
HP-1	φ 300	26.5	30.0		17																					
管No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
高周波成分比 (%)	90.6%	60.3%	78.2%	70.3%	75.0%	64.6%	79.3%	76.7%	74.3%	69.2%	82.1%	87.1%	78.9%	70.7%	69.6%	64.0%	70.1%									
仮想管厚 (mm)	30.0	20.5	30.0	25.9	28.4	22.8	30.0	29.3	28.1	25.3	30.0	30.0	30.0	26.1	25.5	22.5	25.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
仮想破壊荷重 (KN/m)	40.2	15.7	40.2	29.7	36.2	21.7	40.2	38.5	35.3	28.1	40.2	40.2	40.2	30.2	28.6	20.9	29.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
管の健全度※	100.0%	59.3%	100.0%	100.0%	100.0%	81.8%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	78.8%	100.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
健全度ランク		A				C										B										
管の安全度※	3.83	1.47	3.83	2.80	3.43	2.03	3.83	3.66	3.34	2.65	3.83	3.83	3.83	2.84	2.69	1.95	2.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
備考																										

§ 42 機器の必要性能

衝撃弾性波検査法の標準仕様と、調査実施上で必要となる性能を整理する。

- (1) 標準仕様
- (2) 必要性能

【解説】

(1) 標準仕様

実証研究に用いた衝撃弾性波検査法の標準仕様は表 5-15 の通りである。

表 5-15 衝撃弾性波検査ロボットの標準仕様

項目	仕様
機種	S 社 衝撃弾性波検査ロボット
寸法	全長：約 2000mm～最大約 2800mm（延長ユニット使用時） 幅：約 170mm 高さ：約 160mm （受信ユニット：約 350mm，打撃ユニット：約 460mm）（図 5-8 参照）
重量	約 25 kg（本体：受信ユニット+打撃ユニット）
機器構成	受信ユニット，延長ユニット，打撃ユニット
走行速度	駆動部なし（TV カメラにより牽引）
通信ケーブル	160m

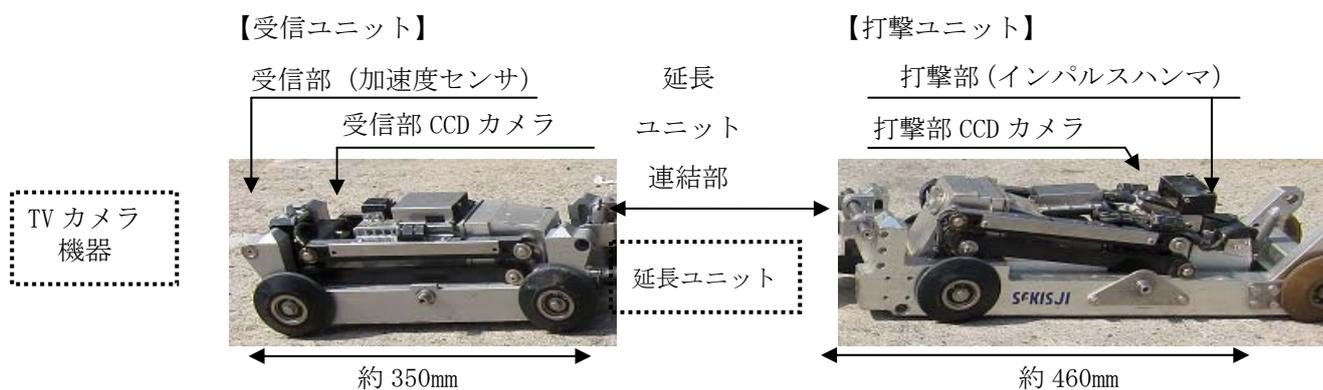


図 5-8 衝撃弾性波検査ロボット（側面）

(2) 必要性能

衝撃弾性波検査法を用いて調査を適切に実施するための最低限の性能としては表 5-16 を満足する必要がある。本技術は、管径 200～700mm の下水道用鉄筋コンクリート管に適用されるため、管径および管径ごとの有効管長を考慮した衝撃弾性波ロボットの打撃性能が必要となる。また、打撃した振動を受信する受信性能も必要である。

①打撃性能

管径 200～700mm の管体を適切に打撃できるよう、衝撃弾性波ロボットの高さを調整および打撃部の高さを調整する必要がある。また、管体 1 本につき 1 回の調査で管全長の情報を取得するため、管径ごとの有効管長に合わせて、衝撃弾性波検査ロボットの長さを伸縮する必要がある。

②受信性能

所定回数の打撃により発生した特定範囲の周波数の弾性波を取得する必要がある。

③走行性能

従来型 TV カメラと同等に複数スパンの連続調査を実施するための十分なケーブル長が必要である。

表 5-16 衝撃弾性波検査ロボットに必要な機器性能

必要性能	尺度	性能値
打撃性能	打撃部高さ	管径に応じて数段階に調整可能
	衝撃弾性波検査ロボット長さ	管有効長に応じて数段階調整可能
受信性能	周波数スペクトル値	0.5～7.0kHz
走行性能	ケーブル長	160m以上

§ 43 性能諸元と現場諸元

衝撃弾性波検査法に期待される性能を、性能諸元、現場諸元、その他の諸元に分類したうえで整理する。

- (1) 性能諸元
- (2) 現場諸元
- (3) その他の諸元

【解説】

衝撃弾性波検査法を使用した場合に期待される性能を、実証研究の結果に基づき、性能諸元、現場諸元、その他の諸元に分類したうえで下記の通り整理した。

(1) 性能諸元

実証研究の結果に基づき、衝撃弾性波検査法を用いた場合の性能諸元を評価した。性能諸元は、①日進量 (m/日)、②調査コスト (円/m)、③確認可能な異常項目とランク、④異常確認精度の4項目とし、評価結果は表 5-18 に示す通りとなった。

①日進量 (m/日)

実証研究の現場においては、日進量 363m/日を確認したが、現場条件により多少は変動すると考えられる。そこで、本ガイドラインにおいては、過去の実験データに基づき定めた日進量 340m/日を性能諸元とする。

②調査コスト (円/m)

本技術の各機材および労務実績は積算基準と同等の使用実績であることを確認した。調査コストは、従来型 TV カメラ (約 1,000 円/m、洗浄費含む) とほぼ同等であった。

③確認可能な異常項目とランク

本技術は、管体の耐荷力に影響のある異常を定量的に評価する技術である。そのため、対象とする異常項目は腐食、破損 (欠落、軸方向のクラック) およびクラック (円周方向のクラック) である。また、軽微な腐食、破損およびクラックにおいても定量化することができるため、全ランクにおいて確認可能である。

④異常確認精度

本技術により管体の耐荷力を評価するための定量的指標である、仮想管厚および仮想破壊荷重の算出式は、基礎実験により求めた実験式である。実験式であるため実管厚および実破壊荷重と比較すると一定の誤差を有している。誤差範囲は管径により異なるが、管径 200mm の管体

における信頼区間 80%となる仮想管厚の誤差範囲は±2.2mm, また仮想破壊荷重の誤差範囲は±5.6kN/m程度である。

本技術の特徴は、TV カメラにより発見した構造上の耐荷力に関する異常について、定量的に評価し、改築優先度を決定するとともに、改築量を削減することである。本技術の異常確認精度として重要となる考えは、TV カメラにより腐食ランク A および破損ランク a と判定した異常に対し、衝撃弾性波検査法により「管の健全度」が 100%であると判定した時の信頼性である。実証研究により、80%以上の信頼性があるということが確認された。詳細を以下に示す。

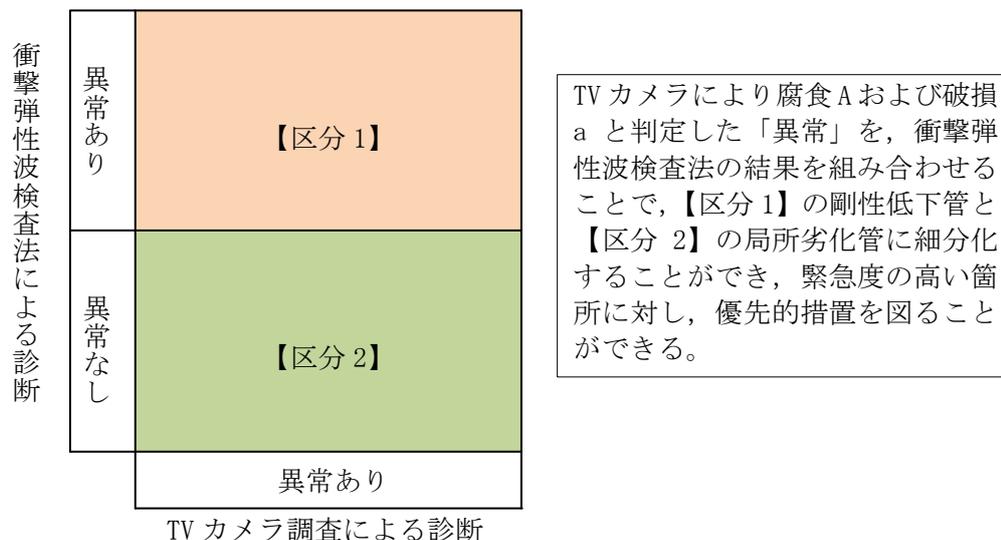
TV カメラによる診断と衝撃弾性波検査法による診断の区分を明示したマトリクスを図 5-9 に示す。前述した、TV カメラにより腐食ランク A および破損ランク a と判定した異常に対し、衝撃弾性波検査法により「管の健全度」が 100%であると判定する場合は、区分 2 にあたる。つまり、従来型 TV カメラの判定基準により、腐食ランク A ならびに破損ランク a と判定された管体に耐荷力を有するものと有さないものがあるということである。これらの差異は、異常の程度にあると考えられる。異常の程度の差異は次の通りである。

1 スパン内に 1 箇所のみ局所的に鉄筋が露出していることにより腐食ランク A と判定される管体、また管口の一部において微小欠損していることにより破損ランク a と判定される管体は、耐荷力は有していると考えられる。以下、これらの管体を「局所劣化管」と定義する。

一方、腐食環境下であり 1 スパン内に数箇所において鉄筋が露出していることにより腐食ランク A と判定される管体、また軸方向クラックが発生していることにより破損ランク a と判定される管体は、耐荷力を有していないと考えられる。以下、これらの管体を「剛性低下管」と定義する。

実証研究より、区分 2 と判定された管体のうち 80%以上(表 5-17)が局所劣化管であると確認された。つまり、TV カメラにより腐食ランク A および破損ランク a と判定した異常に対し、衝撃弾性波検査法により「管の健全度」が 100%であると判定した時の信頼性は 80%以上ある。

なお、表 5-17 は、区分 2 に属する 1 スパン内に腐食ランク A があるスパンにおいて腐食ランク A と判定した管体本数、1 スパン内に破損ランク a があるスパンにおいて破損ランク a と判定した管体本数、ならびに 1 スパン内に腐食ランク A かつ破損ランク a があるスパンにおいて腐食ランク A または破損ランク a と判定した管体本数を展開広角カメラの調査結果より剛性低下管と局所劣化管に分類した表である。



※実証研究においては、展開広角カメラによる調査結果と衝撃弾性波検査法による調査結果のマトリクスとなる。

【区分1】展開広角カメラ調査で異常が認められ、かつ衝撃弾性波検査法による「管の健全度」の低下が見られる場合。

【区分2】展開広角カメラ調査で異常が確認されたが、衝撃弾性波検査法による「管の健全度」が100%の場合。

図 5-9 TVカメラと衝撃弾性波検査法の結果による分類例

表 5-17 【区分2】剛性低下管と局所劣化管の割合

	剛性低下管	局所劣化管	合計
腐食ランク A	15 本 (12%)	113 本 (88%)	128 本
破損ランク a	40 本 (20%)	165 本 (80%)	205 本
腐食ランク A 破損ランク a	3 本 (43%)	4 本 (57%)	7 本
合計	58 本 (17%)	282 本 (83%)	340 本

表 5-18 衝撃弾性波検査法の性能諸元

評価項目	性能諸元
① 日進量 (m/日)	340m/日
	報告書作成業務：600m/日
② 調査コスト (円/m)	1,220 円/m (洗浄費含む)
③ 確認可能な異常項目とランク	異常項目：腐食，破損，クラック ランク：全ランク
④ 異常確認精度	仮想管厚の誤差範囲：±2.2mm (管径 200mm, 信頼区間 80%) 仮想破壊荷重の誤差範囲：±5.6kN/m (管径 200mm, 信頼区間 80%) ※「衝撃弾性波検査法による管路診断技術資料」((財)下水道新技術推進機構) 参照 区分 2 の信頼性：80%以上

(2) 現場諸元

実証研究の結果に基づき、衝撃弾性波検査法を用いた場合の現場諸元を評価した。現場諸元は、①適用範囲(管渠属性)、②適用条件(現場環境)、③専門技術性の3項目とし、評価結果は表 5-19 に示す通りとなった。

①適用範囲(管渠属性)

衝撃弾性波検査法が適用できる管種は、鉄筋コンクリート管外圧管1種とする。調査機器は動力を搭載しておらず、従来型 TV カメラにより牽引されるため、従来型 TV カメラの制約も受ける。適用管径は、最小管径として 200mm、最大管径は 700mm である。

適用できるスパン長は、機種のカベブル長にもよるが 160m までの調査が可能である。

その他の管渠属性の制約として、管1本の長さがある。規格より短い管体の場合は、計測不可となる。

②適用条件(現場環境)

衝撃弾性波検査法の実施上制約となる条件について整理する。

管内の流水状況に関する条件としては、管内水深と流速がある。水深は管径の 40% 以下、流速は 1.0m/s 以下とする。光ファイバーが設置されている場合、天井への敷設であれば走行上支障はないが、引き流し工法による敷設や天井の光ファイバーがたるんでいる場合等は走行不可となることが多いため、調査においては十分な注意が必要である。交通量および道路幅員については、作業帯が確保できれば調査上問題になることはない。

③専門技術性

機器の初期調整、機器の操作、異常項目およびランクの判定等の項目に分け、従来型 TV カメラと比較した結果、機器の初期調整および操作に関しては、従来型 TV カメラとおおよそ同等の専門性(下水道管路管理専門技士同等の経験)があれば対応できることが確認された。

衝撃弾性波検査法の異常項目およびランクの判定では、弾性波データ解析が含まれるため、管路品質システム協会（略称：PQUEST 協会）の定める認定資格を保有していることが望ましい。

表 5-19 衝撃弾性波検査法の現場諸元

評価項目	現場諸元
① 適用範囲 (管渠属性)	管種：鉄筋コンクリート管（外圧管）1種 管径：200～700mm 土被り：問わない マンホールサイズ：内径900mm以上 スパン長：160m以下（ただし、機種のカベール長による） 管1本の長さ：2.0m（管径200～350mm） 2.43m（管径400～700mm）
② 適用条件 (制約条件)	水深：管径の40%以下 流速：1.0m/s以下 光ファイバー有無：注意が必要（光ファイバーが引き流し工法で施工されている場合には、走行できないことが多い） 交通量：問わない 道路幅員：作業帯範囲を確保できる幅員
③ 専門技術性	現地調査に関する試験・資格 酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者，下水道管理技術認定試験，下水道管路管理総合技士，下水道管路管理主任技士，下水道管路管理専門技士と同等 異常診断に関する試験・資格 PQUEST協会認定資格 ※衝撃弾性波検査法による異常診断は，弾性波データ解析を伴うため上記資格を有することが望ましい

(3) その他の諸元

本技術の特徴は、耐荷力に関わる異常である腐食および破損が生じている管体の耐荷力を定量的に把握することにより、対策路線の絞り込み、対策路線の優先度付け、ならびに適切な対策工法の選定ができることである。これより、改築事業費の削減効果および改築事業費の平準化が期待できる。

本効果は、現場ごとの腐食および破損が発生している路線数、管体数およびランクにより変動する。ここでは、実証研究を実施した現場における、改築事業費の削減効果および改築事業費の平準化効果を以下に示す。

1) 調査対象路線の緊急度割合

実証研究の調査対象路線の緊急度の割合は、展開広角カメラ調査の結果より図 5-10 の通りであった。衝撃弾性波検査法の実施対象管路は、展開広角カメラにより緊急度Ⅱと判定された管路（調査対象全路線の 41.5%）とし、改築事業費の削減効果および改築事業費の平準化効果の値を以下の 2) で示す。

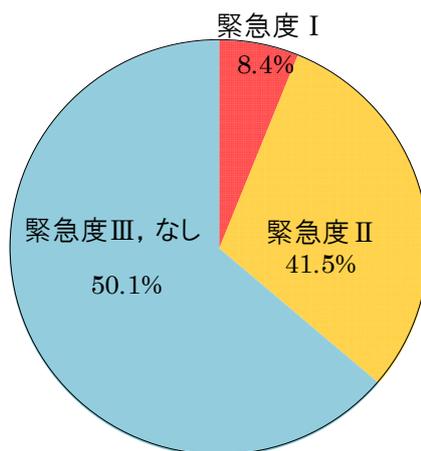


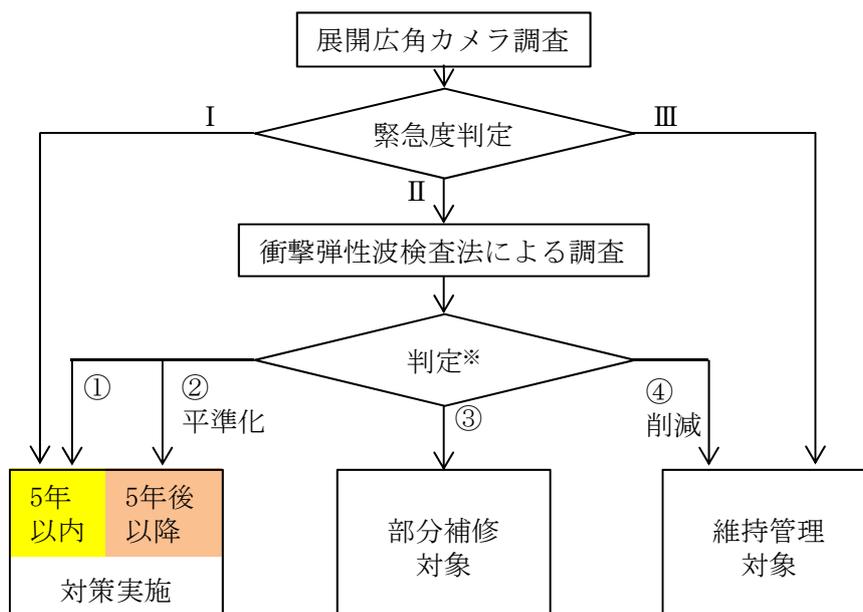
図 5-10 調査対象路線の緊急度割合

2) 改築事業費の削減効果および改築事業費の平準化効果

図 5-11 の衝撃弾性波検査法による対策判定フローに基づき、下記の対策パターン①～④から対策を選定する。選定する上での判定基準は表 5-20 の通りとする。

本技術における、改築事業費の削減効果は④、また改築事業費の平準化効果は②に基づく。

- ①5 年以内に改築による対策を実施
- ②5 年後以降に改築による対策を実施（改築事業費の平準化）
- ③5 年以内に部分補修による対策を実施
- ④対策対象路線から除くことによる改築事業費の削減（改築事業費の削減）



※表 5-20 の判定基準に基づき，①～④の対策を判定する

図 5-11 衝撃弾性波検査法による対策判定フロー

表 5-20 衝撃弾性波検査法による対策判定基準

対策判定基準	対策パターン※2			
	①	②	③	④
管 1 本ごとの評価 (管の健全度に基づく判定) ※1	a	b	a	c
スパン全体の評価 (管の安全度に基づく緊急度判定) ※1	I, II	III	III	III

※1 管の健全度，管の安全度については表 5-12 および表 5-13 を参照

- ※2 ①：1 スパン内に健全度 a の管体が 1 本以上あり，かつ管の安全度に基づく緊急度判定 I または II
 ②：1 スパン内に健全度 b の管体が 1 本以上あり，かつ管の安全度に基づく緊急度判定 III
 ③：1 スパン内に健全度 a の管体が 1 本以上あり，かつ管の安全度に基づく緊急度判定 III
 ④：1 スパン内に健全度 c の管体が 1 本以上あり，かつ管の安全度に基づく緊急度判定 III

・改築事業費の削減効果

改築事業費の削減効果とは，展開広角カメラにより緊急度 I および緊急度 II の管渠を全て改築（更新）するとした場合の改築費に対し，衝撃弾性波検査法の判定結果より対策対象路線から除くと判定した路線の改築費の割合を示す。

実証研究を実施した現場においては，改築費の削減効果は 22%（図 5-12）であった。

・改築事業費の平準化効果

改築事業費の平準化効果とは、展開広角カメラにより緊急度Ⅰおよび緊急度Ⅱの管渠を全て改築（更新）するとした場合の改築事業費に対し、衝撃弾性波検査法の判定結果より5年後以降に改築による対策を実施すると判定した路線の改築事業費の割合を示す。

実証研究を実施した現場においては、改築費の平準化効果は20%（図 5-12）であった。

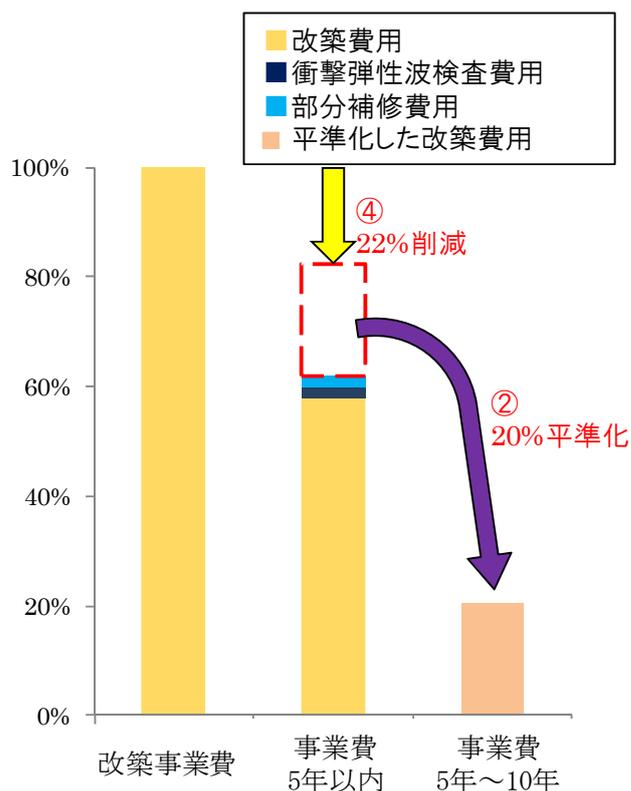


図 5-12 衝撃弾性波検査法による改築事業費の削減効果・平準化効果

§ 44 留意事項

追加調査として衝撃弾性波検査法を用いる場合は、以下の項目に留意する必要がある。

- (1) 適用管渠
- (2) 取付管

【解説】

(1) 適用管渠

衝撃弾性波検査法を適用できる管種は鉄筋コンクリート管（外圧管）1種であり、その他の管種には現時点では適用できない。またスパン内に、規格より短い管（延長調整用の短管）が混在している場合、その管に対する評価をすることはできない。

(2) 取付管

取付管が下記条件にて本管に接続されている場合、高周波成分比が大幅に低下する等の影響を受けるため、調査できない。このような管が存在するスパンにおいては、該当する管を除いて調査を行い、その結果からスパンの評価を行うものとする。

- ①取付管が管頂部（打撃—受信部間の中心軸上）に接続されている
- ②本管1本あたり4箇所以上の取付管が接続されている

第4節 管路形状プロファイリング

§ 45 管路形状プロファイリングによる追加調査の特徴

管路形状プロファイリングは詳細調査機器（従来型 TV カメラ）にレーザー照射装置を装着してレーザーを照射し、管渠の断面形状を計測する追加調査技術であり、下記の特徴を有する。

- (1) 管渠の耐荷力判定等に活用
- (2) 詳細調査（従来型 TV カメラ調査）と同時に実施

【解説】

詳細調査の追加調査技術である管路形状プロファイリングは、従来型 TV カメラにレーザー照射装置を装着して管内面の断面形状を計測するものである。

現地における管内径計測は、レーザー光線を管内壁に照射することで、管内壁の凹凸や変形を描き出すレーザーリングを生成し、このレーザーリングを従来型 TV カメラで撮影する。室内作業では、現地の撮影結果をパソコンソフトで 360 度方向の管径として精密解析する。0.1mm の分解能で精密に解析することができ、腐食による減肉量、たわみ率、破損状況等を数値化することが可能である。管路形状プロファイリング装置の外観を図 5-13 に示す。



図 5-13 管路形状プロファイリング装置の外観
（左：カメラ装着時，右：装置単体）

管路形状プロファイリングの特徴は以下のようにまとめられる。

(1) 管渠の耐荷力判定等に活用

従来型 TV カメラ調査は、目視による判断に委ねられているため、腐食が進んだコンクリート管の断面形状、塩ビ管の偏平等の判断に個人差が発生する。管路形状プロファイリングを用いる

ことで、従来型 TV カメラ調査では判断が難しかった腐食による減肉量、たわみ率、変形等を精緻に数値化し、耐荷力の算出や、対策優先度の判断等に役立てることが可能となる。

(2) 詳細調査（従来型 TV カメラ調査）と同時に実施

管路形状プロファイリングは、従来型 TV カメラに装着し、管内を走行する。往路に従来型 TV カメラ調査、復路で管路形状プロファイリングを実施することで、効率的に調査を行うことが可能である。

§ 46 管路形状プロファイリングによる追加調査方法

管路形状プロファイリングを用いた追加調査は、作業区分に応じた適切な人員配置のもと、安全管理に努めるとともに、関連法令や地方公共団体等が定める基準を順守して適切に行うものとする。

- (1) 作業編成
- (2) 調査手順
- (3) 異常診断・報告書作成方法

【解説】

(1) 作業編成

1) 現地調査における作業編成

表 5-21 に示すように従来型 TV カメラ調査と同時（往路に従来型 TV カメラ調査，復路で管路形状プロファイリング）に実施する場合は，管路形状プロファイリングのために調査員を増員する必要はない。

表 5-21 管路形状プロファイリングの作業区分，作業編成，必要機材等（現地調査）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
準備 (作業帯・酸欠調査等)	管路形状プロファイリングのために調査員を増員する必要はない。	管路形状プロファイラ 従来型 TV カメラ マンホール鍵 送風機 ガス検知器 作業帯 (カラーコーン, バー等)	2.5m×6m 程度	TV カメラ調査に必要な消耗品として
機材設置				記憶メディア
計測 (機器走行・測定等)				カメラ車用タイヤ
機材回収				作業用品 (ウエス, ゴム手袋, チョーク, ビニールテープ, ヘルメット等)
片づけ				

2) 異常診断・報告書作成における作業編成

室内作業は、表 5-22 に示すように、従来型 TV カメラ調査とは別に調査人員として計 3.3 人、使用機材として、異常診断を行うための専用ソフトウェアを搭載したパソコン等が必要となる。

表 5-22 管路形状プロファイリングの作業区分, 作業編成, 必要機材等 (異常診断・報告書作成)

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
異常診断	管路主任技士×0.3 管理技士×1 調査技士×1 調査助手×1 計 3.3 名	専用ソフトウェア パソコン等	-	記憶メディア (DVD, HDD, SD カード 等) 綴込みファイル用紙, インク等
報告書作成				

(2) 調査手順

管路形状プロファイリングの調査手順を示す。

往路に従来型 TV カメラ調査を行い、復路においてレーザー照射および画像記録を行う。管径 400mm 以下の管渠を対象とした調査では、スナップオン式レーザ (1 灯) を点灯した状態で従来型 TV カメラに装着し、カメラの照明を消灯にしてレーザーの光跡が管内にはっきり映っている状態でカメラを一定の速度で録画したまま後退させる。発進マンホールに到着後、カメラを管内から取り出して校正定規を映像で撮影する。管径 450mm 以上の中・大口径管を対象とした調査の場合は、大型レーザーを用いる。

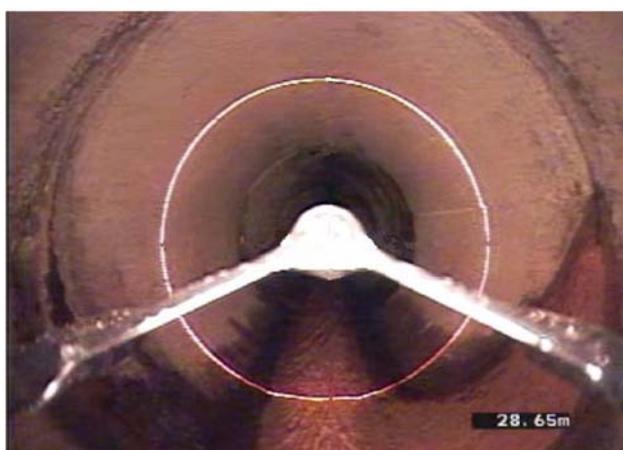


図 5-14 レーザー光照射時の画像

(3) 異常診断・報告書作成方法

管壁にレーザー光を照射している動画をパソコン上で解析する。撮影した動画には、管壁にレーザー光を照射した動画の他に、校正定規(キャリブレーション)を撮影した動画も記録されており、管の内径、たわみ率は、この校正定規と管壁のレーザー光との差異から算出するため、精度の高い解析が可能となる。

パソコン上の作業では、レーザーの光跡を写した管内映像に対し、範囲選択、画像調整、マスク処理(不要な障害物を隠す)を経て解析を行う。解析後、内径図、偏平図、展開図等から解析作業を行い、形状診断を実施、報告書として取りまとめる。以下に内径測定結果、偏平測定結果、展開図の例を示す。

1) 内径測定結果

管の内径は、以下の手順で把握する。なお、以下の処理は専用の解析ソフトで自動的に実施されるものである。

- ①管壁に照射される円状のレーザー光について、全周 360 度に対して 2 度ごとの 180 点の座標値を読み込む。
 - ②180 点の座標値から円の中心を通る 90 本の線の長さを読み込む。
 - ③計測地点の管径は、90 本の線の長さの中央値として算出する。
- ※なお、計測地点に取付管がある場合等は、管壁のレーザー光が全周 360 度にわたって記録できず、90 本より少ない線の長さから管径を算出することとなる。

この内径測定結果から、腐食による内径の拡大の程度を定量的に把握することが可能である。内径測定結果の例を図 5-15 に示す。

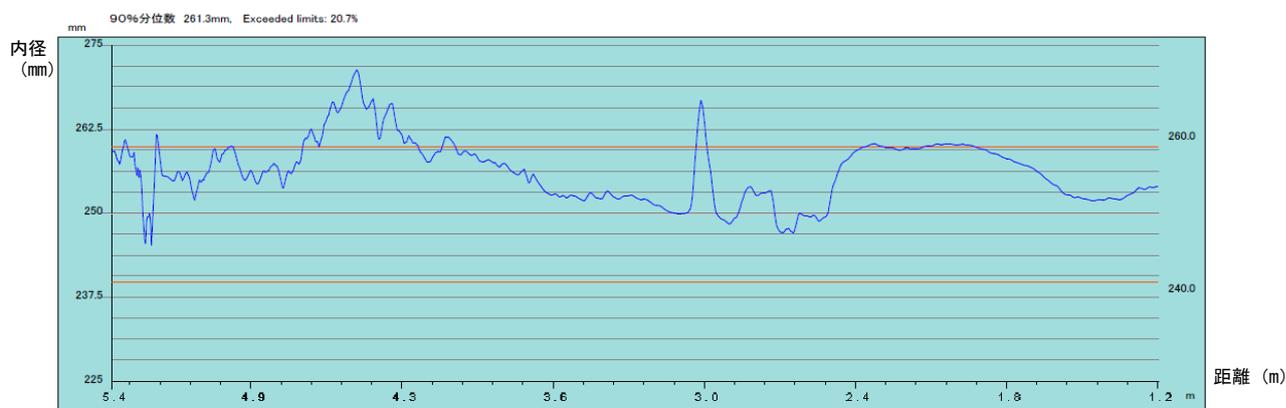


図 5-15 管路形状プロファイリングによる内径測定結果

2) 偏平（たわみ率）測定結果

管の偏平は、米国の「ASTM F1216 規格」に準拠し以下の式により算出される。

$$\text{たわみ率(\%)} = \{(\text{計測値の最大} - \text{計測値の平均}) / \text{計測値の平均}\} \times 100$$

すなわち、最大値と平均値が同値であれば真円であり、たわみ率は0%となる。

この測定結果から、管の偏平の程度を定量的に把握することが可能である。偏平測定結果の例を図 5-16 に示す。図 5-16 には、表 5-23 より偏平のランク b となるたわみ率 5%の位置に補助線（赤線）を合わせて記載した。この補助線を超えている箇所については、ランク b の偏平が存在すると判定できる。

たわみ率 (%)

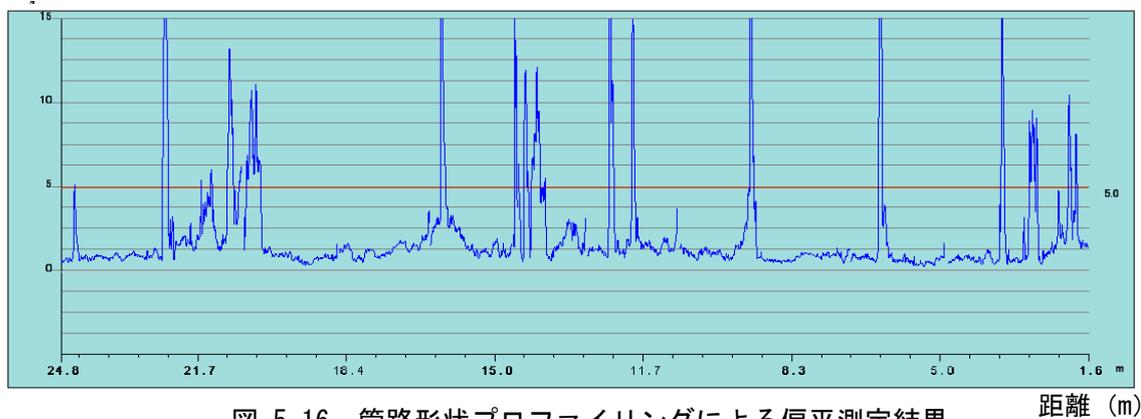


図 5-16 管路形状プロファイリングによる偏平測定結果

3) 展開図

展開図は、管の底部（6時方向）を切り開いた管壁を表す。管の内径が呼び径より大きく測定される部分は、黄色（たわみ率 5%）、オレンジ（たわみ率 10%）、赤（たわみ率 15%）で示される。また、たわみ率が 5%未満の箇所は、青の三段階の色調で表示される。なお、管円周方向の全周をレーザーで照射できない取付管、副管、継手の部分は黒く表示される。

内径 (mm)

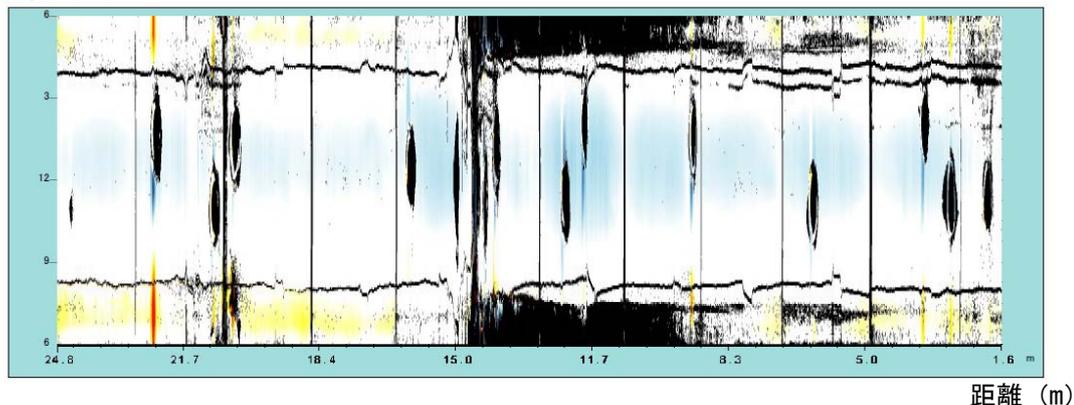


図 5-17 管路形状プロファイリングによる展開図（管径の大小を表示）

表 5-23 塩ビ管の判定基準案

スパン全体での評価	ランク		A	B	C
	項目	適用			
	管の腐食	鉄筋コンクリート管	鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
上下方向のたるみ		管渠内径 700mm未満	内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満
		管渠内径 700mm以上～1650mm未満	内径の1/2以上	内径の1/4以上	内径の1/4未満
		管渠内径 1650mm以上～3000mm未満	内径の1/4以上	内径の1/8以上	内径の1/8未満
管1本ごとに評価	ランク		a	b	c
	項目	適用			
管の破損及び軸方向クラック		鉄筋コンクリート管	欠落 軸方向のクラックで幅:5mm以上	軸方向のクラックで幅:2mm以上	軸方向のクラックで幅:2mm未満
		陶管	欠落 軸方向のクラックが管長の1/2以上	軸方向のクラックが管長の1/2未満	—
		塩ビ管	亀甲状に割れている 軸方向のクラック	—	—
管の円周方向クラック		鉄筋コンクリート管	円周方向のクラックで幅:5mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm未満
		陶管	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	—
		塩ビ管	円周方向のクラック幅5mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm以上	円周方向のクラックで幅:2mm未満
管の継手ズレ		鉄筋コンクリート管	脱 却	鉄筋コンクリート管:70mm以上	鉄筋コンクリート管:70mm未満 陶管:50mm未満
		陶管		陶管:50mm以上	
		塩ビ管	脱 却	接合長さの1/2以上	接合長さの1/2未満
		浸入水	噴き出ている	流れている	にじんでいる
		取付管突出し	本管内径の1/2以上	本管内径の1/10以上	本管内径の1/10未満
		油脂の付着	内径の1/2以上閉塞している	内径の1/2未満閉塞している	—
		樹木根侵入	内径の1/2以上閉塞している	内径の1/2未満閉塞している	—
		モルタル付着	内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満
		扁平	塩ビ管 たわみ率15%以上の扁平	たわみ率5%以上の扁平	—
		変形 (内面に突出し)	塩ビ管 白化または本管内径の1/10以上内面に突出し	本管内径の1/10未満内面に突出し	—

※ 平成 25 年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集 老朽化対策の最前線 下水管ストックマネジメントの最新動向 (P51) より

§ 47 機器の必要性能

追加調査に用いる管路形状プロファイリングの標準仕様と、調査実施上で必要となる性能を整理する。

- (1) 標準仕様
- (2) 必要性能

【解説】

(1) 標準仕様

実証研究に用いた管路形状プロファイリングの標準仕様は表 5-24 の通りである。

表 5-24 管路形状プロファイリングの標準仕様

項目	仕様
機種	R 社 型式番号 PROF
寸法	全長 520mm × 幅 120mm × 高さ 70mm
重量	総重量 0.3kg
機器構成	レーザーヘッド スナップオン
走行速度	標準走行速度 6m/分 (等速走行が必須)
通信ケーブル	不要
連続稼働時間	4 時間

(2) 必要性能

管路形状プロファイリングを行う場合には表 5-25 に示す性能を満足する機器を選定する必要がある。

表 5-25 管路形状プロファイリング機器に必要な機器性能

必要性能	尺度	性能値
視認性能	レーザー	1 灯 LAS50 以上 クラス 2M 1mW 以下 波長 635-670nm
走行性能	接続性	従来型 TV カメラへの装着が可能であること
解析ソフト	分解能	進行方向で 1 秒間に 30 コマ, 円周方向 2 度間隔 (180 点) 以上

§ 48 性能諸元と現場諸元

追加調査に管路形状プロファイリングを使用した場合に期待される性能を、性能諸元、現場諸元に分類したうえで整理する。

- (1) 性能諸元
- (2) 現場諸元

【解説】

追加調査として管路形状プロファイリングを使用した場合に期待される性能を、実証研究の結果に基づき、性能諸元、現場諸元に分類したうえで整理すると下記の通りとなる。

(1) 性能諸元

実証研究の結果に基づき、追加調査に管路形状プロファイリングを用いた場合の性能諸元を評価した。性能諸元は、①日進量 (m/日)、②調査コスト (円/m)、③確認可能な異常項目とランク、④異常確認精度 (検出率・適合率) の4項目とし、評価結果は表 5-27 に示す通りである。

①日進量 (m/日)

日進量は、従来型 TV カメラ (日進量: 300m/日) に対して、約 0.9 倍となった。往路で従来型 TV カメラ調査、復路で管路形状プロファイリングを実施する場合を想定していることから、従来型 TV カメラ単独での運用に比べ、1 割程度、日進量が低下する。

②調査コスト (円/m)

調査コストは、従来型 TV カメラ (約 1,000 円/m, 洗浄費含む) に対して、約 1.26 倍であった (同時に運用する従来型 TV カメラのコスト 1,000 円/m (洗浄費含む) + 傾斜計測計のコスト 260 円/m)。

③確認可能な異常項目とランク

管路形状プロファイリングで確認可能な異常項目は、腐食、管の変形、偏平の3項目である。腐食については従来型 TV カメラと組み合わせることで異常のランクのみならず、詳細な減肉量についても計測できる。

④異常確認精度

実証研究においては、表 5-26 に示すように従来型 TV カメラ調査で1箇所 (ランク b) の管の偏平箇所を確認した。管路形状プロファイリングではこれに加え、従来型 TV カメラでは検出できなかった5箇所 (ランク b) の管の偏平箇所を確認している。従来型 TV カメラ調査においては、異常診断を行う判定者が映像を見ながら偏平を認識した箇所に対してスケール等に

よる計測を行うため、判定者が見逃した偏平は検出されないことになる。今回の実証研究では、管路形状プロファイリングで把握したランク b の偏平箇所について、従来型 TV カメラ映像を見直し、スケールにて再計測を行ったところ、実際にランク b の偏平が発生していることを確認できた。このように、管路形状プロファイリングを使用することで、従来型 TV カメラ調査では人為的なミスにより見逃される可能性のある偏平を確実に確認することが可能となる。

腐食による減肉量、変形の状況については、実証研究における調査では該当する異常は確認できなかったものの、室内実験や第3者による認証 (WRc 認証[※]) の結果、0.1mm の分解能で精密に把握できることが明らかとなっており、これらについても異常の程度を精緻に確認することが可能である。なお、室内実験による検証の方法および結果については、参考資料編Ⅱを参照されたい。

※WRc 認証機構は英国の審査機関であり、製品が求められる性能に適合しているか等について独立して技術的な審査を提供する認証機構である。

表 5-26 実証研究で確認した管の偏平箇所
(従来型 TV カメラ調査と管路形状プロファイリングとの比較)

	従来型 TV カメラ調査による確認	
	偏平あり	偏平なし
管路形状プロファイリングによる確認：偏平あり	ランク a : 0 箇所 ランク b : 1 箇所	ランク a : 0 箇所 ランク b : 5 箇所

実証研究における管路形状プロファイリングによる調査結果の一例を図 5-18 に示す。1,353.02m (49 スパン) に対する管路形状プロファイリング調査を実施したところ、合計 89 箇所の管の変状と推定される箇所が確認された。あらためて従来型 TV カメラの映像で確認を行ったところ、このうち赤枠①に囲んだ偏平 5 箇所はいずれも従来型 TV カメラ調査では見過ごされ、記録表には反映されていなかったが、たわみ率 5%以上の偏平箇所であった。検出された偏平の一例を図 5-19 に示す。また、赤枠②に囲んだ観測内容も同様に映像や記録表と照らし合わせた結果、従来型 TV カメラ調査で検出された異常項目や管路の形状と一致していることが確認された。赤枠③に囲んだ管内ハレーション、管口の異常項目は、映像に入り込んだ光や反射によって異常値としてデータで現れるが管内の状況には全く影響はない誤検出であった。

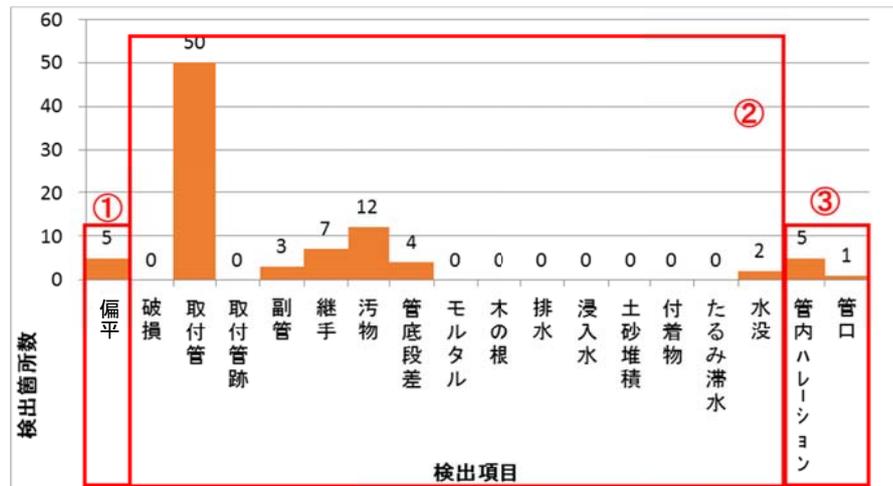


図 5-18 管路形状プロファイリングによる検出項目

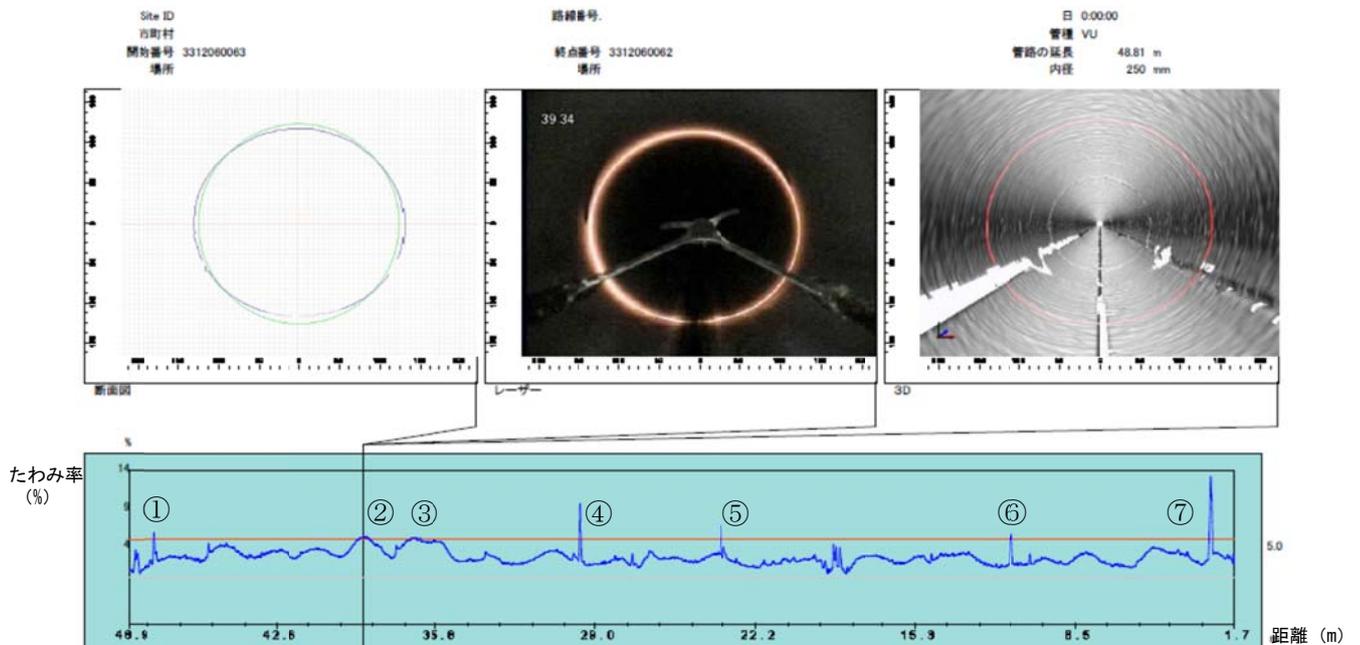


図 5-19 検出された偏平箇所例 (たわみ率 5.5%)

事例として示した図 5-19 においては、①～⑦の7箇所において、たわみ率が5%を超える測定結果が得られた。これらを個別に従来型TVカメラの映像を確認した結果、以下のように判定された。

- ①：取付管
- ②，③：偏平 (5%以上のたわみ率)
- ④：取付管
- ⑤：管底段差
- ⑥：管底段差
- ⑦：管底段差

表 5-27 管路形状プロファイリングの性能諸元

評価項目	性能諸元
① 日進量 (m/日)	270m/日*
	報告書作成業務：300m/日
② 調査コスト (円/m)	1,260円/m*(同時に運用する従来型 TV カメラ調査のコスト 1,000円/m (洗浄費含む) + 管路形状プロファイリングのコスト 260円/m (管渠の三次元画像, 展開図の作成込み))
③ 確認可能な異常項目とランク	腐食, 管の変形, 偏平の3項目, ランク判定可能 (腐食については従来型 TV カメラと組み合わせて詳細な減肉量についても計測可能)
④ 異常確認精度	従来型 TV カメラでは検出できない偏平を検出可能 (実証結果より) 腐食による減肉量, 管の変形, 偏平を 0.1mm の分解能で確認可能 (WRc 認証によって実証済) 測定精度 (実験場における検証より) 管路形状プロファイリングによる測定管径と実管径との差 管径 200mm : プロファイリング測定管径 201.4mm, 実管径 202mm 上記から測定誤差は-0.6mm 管径 400mm : プロファイリング測定管径 397.7mm, 実管径 396mm 上記から測定誤差は 1.7mm ※上記の検証方法等については参考資料編Ⅱを参照

*日進量, コストについては往路で従来型 TV カメラ調査, 復路で管路形状プロファイリング調査を実施する場合の値である。

(2) 現場諸元

実証研究の結果に基づき, 追加調査に管路形状プロファイリングを用いた場合の現場諸元を評価した。性能諸元は, ①適用範囲 (管渠属性), ②適用条件 (現場環境), ③専門技術性の3項目とし, 評価結果は表 5-28 に示す通りである。

①適用範囲 (管渠属性)

管路形状プロファイリングは, 従来型 TV カメラ調査等と同時に実施する (往路に従来型 TV カメラ調査, 復路で管路形状プロファイリング)。このため, 適用管径は, 従来型 TV カメラ調査と同様, 車体寸法上の制約より最小管径として 200mm, 最大管径は 700mm である。

②適用条件 (現場環境)

管路形状プロファイリングは, 従来型 TV カメラ調査と同時に実施することから, 適用条件は, 従来型 TV カメラ調査の制約を受ける。ただし, 管の断面形状を精密に計測することを目的として実施する調査であることから, 水深については, 管径の 20%までを適用条件とする (従来型 TV カメラ調査は管の半分程度を限界としている)。光ファイバーが設置されている場合, 天井への敷設であれば走行上支障はないが, 引き流し工法による敷設や天井の光ファイバーがたるんでいる場合等は走行不可となることが多いため, 調査においては十分な注意が必要である。

③専門技術性

管路形状プロファイリングは、従来型 TV カメラ調査等と同時に実施することから、現場には従来型 TV カメラ調査を使用可能な人員を配置する必要がある（管路形状プロファイリングのために調査員を増員する必要はない）。室内での異常診断を実施する判定者は、異常の原因や対策に関する考察が求められる場合において、管渠の力学的構造に関する知識を有していることが必要である。

表 5-28 管路形状プロファイリングの現場諸元

評価項目	現場諸元
① 適用範囲 (管渠属性)	管種：問わない 管径：200～700mm 土被り：問わない マンホールサイズ：内径 900mm 以上 スパン長：200m以下
② 適用条件 (現場環境)	水深：管径の 20%まで 流速：1.0m/s 以下 光ファイバー有無：注意が必要（光ファイバーが引き流し工法で施工されている場合には、走行できないことが多い） 交通量：問わない 道路幅員：作業帯範囲を確保できる幅員
③ 専門技術性	現地調査に関する試験・資格 酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者，下水道管理技術認定試験，下水道管路管理総合技士，下水道管路管理主任技士，下水道管路管理専門技士と同等 異常診断に関する試験・資格 異常の原因や対策に関する考察が求められる場合において，管渠の力学的構造に関する知識を有していることが必要

§ 49 留意事項

追加調査として管路形状プロファイリング機器を用いる場合は、以下の項目に留意する必要がある。

- (1) 機器の汎用性
- (2) 確認できる異常ランク
- (3) 等速走行

【解説】

(1) 機器の汎用性

現状では、管路形状プロファイリング機器を装着できる TV カメラが限定される。管路形状プロファイリング調査を実施する際には、適用できる従来型 TV カメラ機器を選定する必要がある。

(2) 確認できる異常ランク

管路形状プロファイリングは管断面の形状を測定する技術のため、単体ではクラック、継手ズレ等の見極めを行うことができない。また、管の内径を正確に計測するため、異常ではない表面の汚れや取付管からの流入水、取付管口の仕上げ材等も断面として計測してしまうことから、異常箇所の整合確認のためには従来型 TV カメラ調査と組み合わせて実施する必要がある。

(3) 等速走行

測定誤差を防ぐため、管路形状プロファイリングを実施する際は、従来型 TV カメラを等速で走行させるよう留意する。

第5節 傾斜計測計

§ 50 傾斜計測計による追加調査の特徴

傾斜計測計は、詳細調査機器（展開広角カメラ等）に内蔵して管内を走行することで管渠の勾配を計測する機器であり、下記の特徴を有する。

- (1) たるみの定量的な把握が可能
- (2) 詳細調査（展開広角カメラ調査）との同時実施が可能

【解説】

詳細調査の追加調査技術である傾斜計測は、展開広角カメラに傾斜計測計を内蔵して管渠の勾配を計測するものである。

従来型 TV カメラでは、滞水量等からたるみの発生およびたるみ量を推測していたが、傾斜計測計はスパン全体の縦断勾配を定量的かつ連続的に自動計測するとともに、局所的なたるみ量も精度良く把握することが可能であり、たるみのランクをより正確に判定することが可能である。傾斜計測計の外観を図 5-20 に示す。

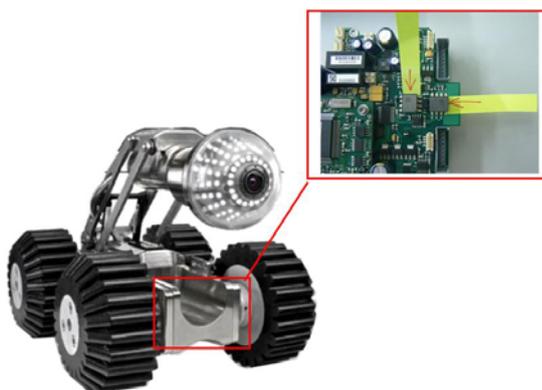


図 5-20 傾斜計測計の外観（展開広角カメラに内蔵）

傾斜計測計の特徴は以下のようにまとめられる。

(1) たるみを定量的に把握できる

詳細な傾斜計測を機械が自動で行うことから、たるみを定量的かつ正確に把握することが可能である。

(2) 詳細調査（展開広角カメラ調査）と同時に実施できる

傾斜計測計は、走行型カメラに内蔵され、管内を走行する。往路に展開広角カメラ調査、復路で傾斜計測を実施することで、展開広角カメラ単独での運用と同等の調査時間で効率的に調査を行うことが可能である。

§ 51 傾斜計測計による追加調査方法

傾斜計測計を用いた追加調査は、作業区分に応じた適切な人員配置のもと、安全管理に努めるとともに、関連法令や地方公共団体等が定める基準を順守して適切に行うものとする。

- (1) 作業編成
- (2) 調査手順
- (3) 異常診断・報告書作成

【解説】

(1) 作業編成

1) 現地調査における作業編成

表 5-29 に示すように傾斜計測計は展開広角カメラに内蔵し、自動で計測するため、傾斜計測計による調査のための追加人員等の配置は必要ない。

表 5-29 傾斜計測計の作業区分、作業編成、必要機材等（現地調査）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
準備 (作業帯・酸欠調査等)	傾斜計測調査のために調査員を増員する必要はない	傾斜計測計（展開広角カメラ内蔵型） 送風機 ガス検知器	2.5m×6m程度	展開広角カメラ調査に必要な消耗品として 記憶メディア カメラ車用タイヤ 作業用品 (ウエス, ゴム手袋, チョーク, ビニール テープ, ヘルメット 等)
機材設置				
計測 (機器走行・測定等)				
機材回収				
片づけ				

2) 異常診断・報告書作成

異常診断および報告書作成においては、表 5-30 に示すように、展開広角カメラ調査とは別に調査人員として、管路主任技士 0.3 名をはじめとする計 3.3 名、使用機材としてパソコン等が必要となる。

表 5-30 傾斜計測計の作業区分、作業編成、必要機材等（異常診断・報告書作成）

作業区分	作業内容			
	調査員人数・職種	使用車両・機材	作業範囲	必要な消耗品
異常診断	管路主任技士×0.3 管理技士×1 調査技士×1 調査助手×1 計 3.3名	専用ソフトウェア パソコン等	—	記憶メディア (DVD, HDD, SD カード等) 綴込みファイル用紙, インク等
報告書作成				

(2) 調査手順

傾斜計測計は展開広角カメラに内蔵され、自動で計測するため、展開広角カメラの調査手順に基づく方法で実施する。

(3) 異常診断・報告書作成

自動計測したデータを解析し、管路縦断面図グラフを作成、異常診断を行う。図 5-21 に管路縦断面図の例を示す。



管路勾配グラフ

整理番号	40	管種	陶	管径	250	路線延長	39.87	下流人孔番号	3303210063
路線番号	33032100623303210063	図面勾配			9.4‰				
上流人孔番号	3303210062	調査勾配(平均)			11.7‰				

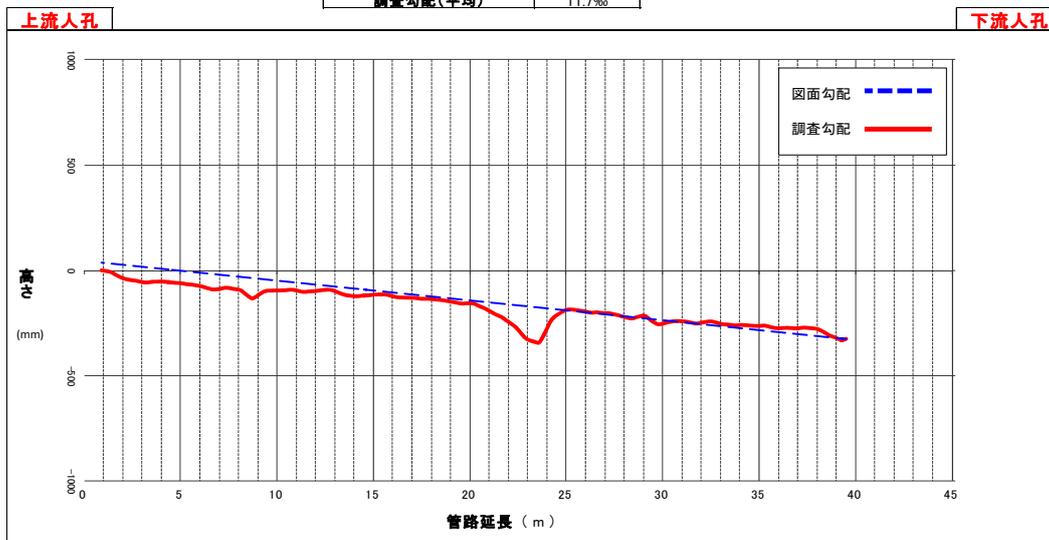


図 5-21 傾斜計測調査による管路縦断面図

§ 52 機器の必要性能

追加調査に用いる傾斜計測計の標準仕様と、調査実施上で必要となる性能を整理する。

- (1) 標準仕様
- (2) 必要性能

【解説】

(1) 標準仕様

実証研究に用いた傾斜計測計の標準仕様は表 5-31 の通りである。

表 5-31 傾斜計測計の標準仕様

項目	仕様
機種	I 社 型式番号 DSIII
寸法	全長 9mm×幅 5mm×高さ 11mm (展開広角カメラに内蔵)
重量	1g (展開広角カメラに内蔵)
機器構成	展開広角カメラの内部基盤に埋め込み

(2) 必要性能

追加調査として傾斜計測計を利用する場合には、表 5-32 に示す性能を満足することが要求される。

表 5-32 傾斜計測計の必要性能

必要性能	尺度	性能値
測定精度	測定範囲	±30 度 (60 度の範囲内で計測可能)
	センサー分解能	0.03 度 (0.5%) 以上
	測定間隔	10 cm以下 (毎秒 3 回以上)

§ 53 性能諸元と現場諸元

追加調査に傾斜計測計を使用した場合に期待される性能を、性能諸元、現場諸元に分類したうえで整理する。

- (1) 性能諸元
- (2) 現場諸元

【解説】

追加調査に傾斜計測計を使用した場合に期待される性能を、実証研究の結果に基づき、性能諸元、現場諸元に分類したうえで整理すると下記の通りとなる。

(1) 性能諸元

実証研究の結果に基づき、追加調査に傾斜計測計を用いた場合の性能諸元を評価した。性能諸元は、①日進量 (m/日)、②調査コスト (円/m)、③確認可能な異常項目とランク、④異常確認精度の4項目とし、評価結果は表 5-34 に示す通りである。

①日進量 (m/日)

日進量は、従来型 TV カメラ (日進量: 300m/日) に対して、約 1.5 倍である (同時に運用する展開広角カメラの日進量)。

②調査コスト (円/m)

調査コストは、従来型 TV カメラ (約 1,000 円/m, 洗浄費含む) に対して、約 1.27 倍である (同時に運用する展開広角カメラのコスト 930 円/m (洗浄費含む) + 傾斜計測計のコスト 340 円/m)。

③確認可能な異常項目とランク

傾斜計測計で確認可能な異常項目は、管のたるみである (ランク判定可能)。

④異常確認精度

傾斜計測計では、管勾配を 0.03 度 (0.5%) の分解能で精密に把握することが可能であるため、従来型 TV カメラ調査では見逃される可能性があるたるみを確認することができる。

実証研究においては、表 5-33 に示すように従来型 TV カメラ調査で 295 箇所 (ランク B:11 箇所, ランク C:284 箇所) のたるみを確認しており、傾斜計測計ではこれに加え、従来型 TV カメラでは確認できなかった 152 箇所 (ランク B:3 箇所, ランク C:149 箇所) を確認している。

従来型 TV カメラ調査においては、異常診断を行う判定者が映像を見ながらたるみの判断を行うため、判定者が見逃したたるみは検出されないことになるが、今回の実証研究では、傾斜

計測計で把握したたるみについて、従来型 TV カメラ映像を見直し、再度判定を行ったところ、実際にランク B, C のたるみが発生していることを確認できた。このように、傾斜計測計を使用することで、従来型 TV カメラ調査では人為的なミスにより見逃される可能性のあるたるみを確実に確認することが可能となる。

なお、傾斜計測計の測定精度に関しては、実証研究の現場とは別の室内実験により検証が行われている。検証の方法および結果については、参考資料編Ⅱを参照されたい。

表 5-33 実証研究で確認した管のたるみ
(従来型 TV カメラ調査と傾斜計測との比較)

	従来型 TV カメラ調査による確認	
	たるみあり	たるみなし
傾斜計測計による確認 たるみあり	ランク A : 0 箇所 ランク B : 11 箇所 ランク C : 284 箇所	ランク A : 0 箇所 ランク B : 3 箇所 ランク C : 149 箇所

従来型カメラの調査結果を分析した結果、20.26m付近からたるみが始まり、滞水が管の半分の高さまで達したのが21.95m付近であり、さらに20.57m付近ではカメラが水没したことを確認した。傾斜計測計で得られた勾配計測グラフと比較した結果、滞水状態と一致しており、従来型 TV カメラによる目視のみでは計測が困難な管勾配を傾斜計測により定量的に確認することが確認できた。

表 5-34 傾斜計測計の性能諸元

評価項目	性能諸元
① 日進量 (m/日)	450m/日 報告書作成業務 : 400m/日
② 調査コスト (円/m)	1,270 円/m (同時に運用する展開広角カメラのコスト 930 円/m (洗浄費含む) + 傾斜計測計のコスト 340 円/m)
③ 確認可能な異常項目とランク	管のたるみ (ランク判定可能)
④ 異常確認精度	従来型 TV カメラでは見落とされる可能性のあるたるみを検出可能 (実証結果より) 測定精度 (室内実験より) 傾斜計測計による測定勾配と実勾配との差 : 1%以内 ※上記の検証方法等については参考資料編Ⅱを参照

(2) 現場諸元

実証研究の結果に基づき、スクリーニング調査に傾斜計測計を用いた場合の現場諸元を評価した。性能諸元は、①適用範囲（管渠属性）、②適用条件（現場環境）、③専門技術性の3項目とし、評価結果は表 5-35 に示す通りとなった。

①適用範囲（管渠属性）

適用範囲は、展開広角カメラの適用範囲に依存し、展開広角カメラが走行可能な管種全てに適用可能である。適用管径は、車体寸法上の制約より最小管径として 200mm、最大管径は 700mm である。

②適用条件（現場環境）

適用条件は、展開広角カメラの適用条件に依存し、管内の流水状況に関する条件として、流速は 1.0m/s 以下とする。光ファイバーが設置されている場合、天井への敷設であれば走行上支障はないが、引き流し工法による敷設や天井の光ファイバーがたるんでいる場合等は走行不可能となることが多いため、調査においては十分な注意が必要である。

③専門技術性

傾斜計測は、展開広角カメラ調査等と同時に実施することから、現場には展開広角カメラ調査に必要な人員を配置する必要がある（傾斜計測のために調査員を増員する必要はない）。

表 5-35 傾斜計測計の現場諸元

評価項目	現場諸元
① 適用範囲 （管渠属性）	管種：コンクリート管，塩ビ管，陶管 管径：200～700mm スパン長：200m以下 土被り：問わない マンホールサイズ：内径 900mm 以上 ※従来型 TV カメラ調査技術と同等
② 適用条件 （現場環境）	流速：1.0m/s 以下（ただし水深による） 光ファイバーの有無：注意が必要（光ファイバーが引き流し工法で施工されている場合には、走行できないことが多い） 交通量：問わない 道路幅員：作業帯範囲を確保できる幅員 ※従来型 TV カメラ調査技術と同等
③ 専門技術性	現地オペレーターは、同時に運用する従来型 TV カメラ調査技術と同等 異常診断を行う技術者については、二級土木施工管理技士程度の測量に関する知識を有することが必要である

§ 54 留意事項

追加調査として傾斜計測調査を用いる場合には、以下の項目に留意する必要がある。

- (1) 機器の汎用性
- (2) 管内残留物の影響
- (3) 等速走行

【解説】

(1) 機器の汎用性

現状では、傾斜計測計を内蔵可能なカメラは展開広角カメラ1機種（今回の実証研究で使用した機種）に限定される。

(2) 管内残留物の影響

傾斜計測調査は基本的には管内洗浄を行った後に実施することになるが、洗浄で除去しきれない固形物が管内（主として管底）に付着している場合には、調査結果の勾配の精度が低くなることがある。

(3) 等速走行

測定誤差を防ぐため、傾斜計測計を使用する際は、展開広角カメラを等速で走行させるよう留意する。