

自然流下式TVカメラによる長スパン大口径幹線管渠内面調査技術

長水路トンネル調査技術協会
 (復建調査設計株式会社)
 今井田敏宏

1. はじめに

下水道普及率は、平成 22 年度末で 75.1% に達し、管路延長は 40 数万 km と膨大なストックとなっている。管路の老朽化が原因の道路陥没事故等も増加する傾向にあり、管路施設の点検の重要性が高まっている。本論文は、長スパン・大口径幹線管渠（管径 2,200mm～2,600mm、4 スパン、延長 3.16km）で、流量が多く調査員が入坑不可能な区間において、自然流下式TVカメラ（船型調査ロボット、ケーブルレス）を使用して、調査対象区間の一括全線調査を実施し、管渠内面の撮影映像から本管調査記録表や写真帳の作成、健全度の評価・報告を行ったので、その概要及び適用性について報告する。



写真-1 船型調査ロボット(側面写真)



写真-2 船型調査ロボット(正面写真)

(2) 調査方法の概要

調査の手順を表-2 に、調査方法の概要を、図-1 に示す。

2. 調査技術の概要

(1) 調査ロボットの概要

船型調査ロボットの主要諸元を表-1、写真を写真-1～写真-2 に示す。

表-1 船型調査ロボット概要

項目	主要諸元
外形寸法	幅 0.45m 長 1.00m 高 0.35m
重量	約 35kg
主要材質	SUS FRP アクリル ほか
TVカメラ	4台 (38万画素カラー)
主要装備	照明、映像記録装置、電源装置、ほか
適用範囲	管径：1.0m (最小)～4.0m 程度 (最大) 延長：最長約 9km 程度 (流速 1.0m/s 時)

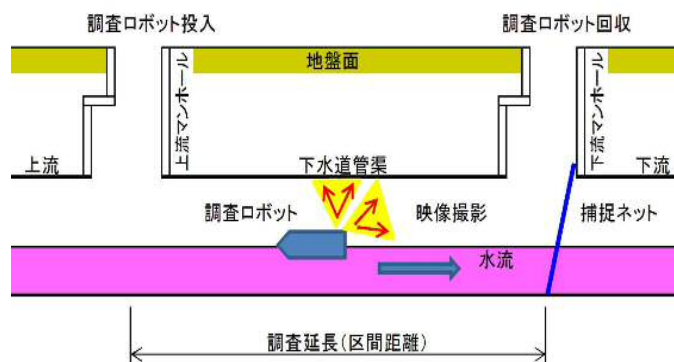


図-1 調査方法概要図

表-2 調査手順概要

番号	項目	作業内容	作業日数
1	仮設置	安全施設、足場、捕捉ネット等を設置する。	2日
2	予備調査	球形の模擬浮体を3個程度流下させて確実な流達を確認する。 球形TVカメラによる流下調査を行い、障害物の有無を確認する。	1日
3	本調査	船型調査ロボットを自然流下させて、管渠内面の映像を撮影する。 流下調査は2回実施する。	1日
4	後片付	捕捉ネット、足場、安全施設等を撤去する。	1日
5	結果解析	撮影映像から本管調査記録表や写真帳を作成する。	—

(3) 撮影映像の概要

船型調査ロボットは、4台のTVカメラを装備し、下流方向・左側壁・天井・右側壁の映像を同時に撮影する。左側壁・天井・右側壁を撮影する3台のテレビカメラにより、死角のない管路内面の側視映像を撮影する。映像撮影範囲を図-2～図-4に、撮影映像の例を写真-3～写真-6に示す。

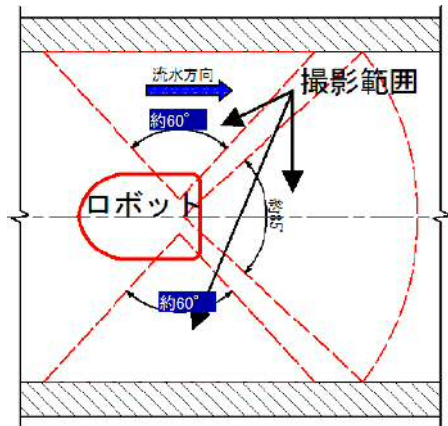


図-2 撮影範囲平面図

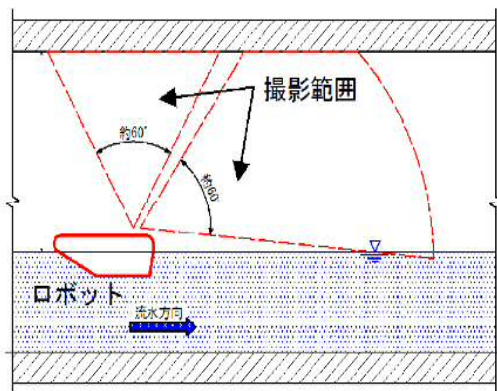


図-3 撮影範囲側面図

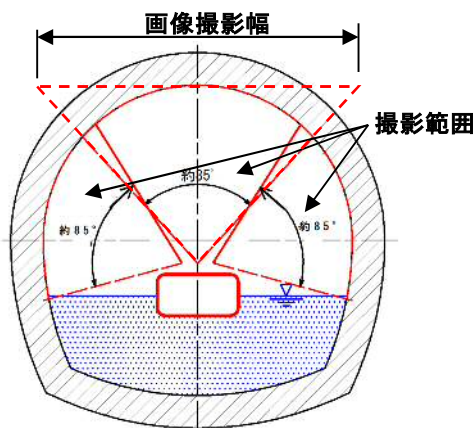


図-4 撮影範囲横断面図



写真-3 下流方向映像例



写真-4 左側壁映像例



写真-5 天井映像例



写真-6 右側壁映像例

3. 調査結果の概要

(1) 調査能率

調査対象区間は、管径 2,200mm(延長 845m)、管径 2,400mm(延長 822m)、管径 2,400mm(延長 961m)、管径 2,600mm(延長 533m)の4スパンで、総延長 3.16kmであった。船型調査ロボットを使用し、これらの区間を1スパンとし

No.3										本管用調査記録表										1122														
上流人孔 No.					No.18					管 種					管 径					管 深					下流人孔 No.					No.19(受口A-5)				
人孔種類		人孔番号		管径標準		人孔蓋種類		管 種		管 径		管 深		人孔種類		人孔番号		管径標準		管 深		人孔蓋種類		管 種		管 径		管 深						
特殊人孔		11.33		11.56		鋼鉄		シールド工法(二次覆工)		φ 2,400mm		853.5		特殊人孔		15.86		12.74		鋼鉄		人孔内点検												
人孔内点検																																		
本管調査記録部																																		
継手数																																		
内 容																																		
写真番号																																		
管本数		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87				
内 容																																		
写真番号																																		
健全度評価部																																		
継手部		A		B		C		D		E		A		B		C		D		E		A		B		C		D		E		合計		
継手部																																44		
本管部																																10		
不良箇所																																69.5		
点 数																																54		
合 計																																		
使 用 上																																		
継手部		A		B		C		D		E		A		B		C		D		E		A		B		C		D		E		合計		
継手部																																3		
本管部																																0		
不良箇所																																15		
点 数																																3		
合 計																																2		

図-5 本管調査記録表(例)

て流下調査を実施した。現地作業日数は、仮設置2日、予備調査1日(午前:模擬浮体流下調査、午後:球型カメラ流下調査)、本調査1日(船型調査ロボット流下調査:午前・午後各1回)、後片付1日で、合計5日で現地作業を完了した。(表-2)調査能率は、約600m/日であった。

(2)本管調査記録表及び写真帳の作成

4台のTVカメラで撮影した映像から、本管部及び継手部の劣化損傷を抽出し、本管調査記録表(図-5)及び劣化損傷写真帳(写真-3~写真-6)を作成した。映像の位置は、管路内の流速、曲線部通過時間、マンホール通過時間等から計算して割り付けを行った。調査対象区間はシールド工法で築造されているので、二次覆工のコンクリート施工地を本管継手と見なして、本管調査記録表を作成した。

(3)健全度の評価

劣化損傷の種類と程度に応じた評価点を設定し、管路の健全度を定量的に評価した。

(図-5)

5年毎に実施する定期点検の評価結果から経年変化を把握し、補修工事の要否検討の判断材料とする。

4. 画像によるひび割れ幅の計測事例

(1)ひび割れ幅の計測事例

本項では、別途調査で実施した、ひび割れ幅の計測事例について紹介する。
水路トンネル天井映像(撮影幅 B=

3,660mm、カメラから天井までの距離約2.0m)を、縮尺1/10(印刷幅 B1=366mm)で印刷し、ひび割れ幅を計測した結果、 $W_o = 0.3\text{mm}$ となった。カメラから天井までの距離約2mの場合では、実際のひび割れ幅(W)は、 $W = W_o \times B \div B_1 = 3\text{mm}$ と計算(写真-7)される。画像の状況にもよるが、写真-7のひび割れの画像状況から、 $W = 2\text{mm}$ 程度のひび割れであれば検出が可能と考えられる。

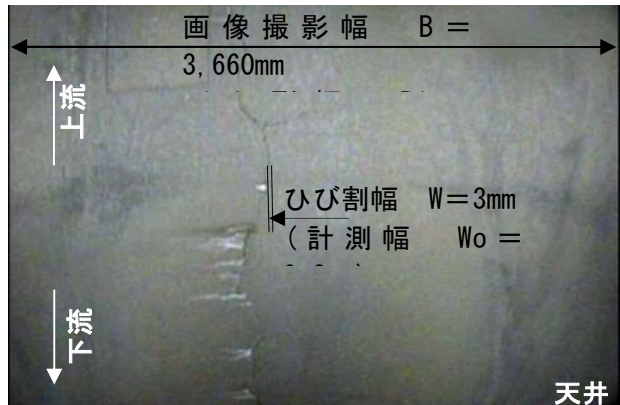


写真-7 画像によるひび割れ計測事例

(2)解像度とひび割れ幅の検出精度

ひび割れ幅の検出精度は、コンクリート表面の汚れの状況、カメラの流速、浸入水、析出物、照明の状況等によって異なる。本事例の場合、画像撮影幅(B=3,660mm)と水平解像度(n=720dot)の状況($B/n = 5\text{mm/dot}$)で、約3mm程度のひび割れを検出できる事が分かった。



写真-8 天井カメラ展開画像作成例

これは、1dot の大きさ ($b=B/n=5\text{mm}$) の約半分程度のひび割れ幅を検出できる可能性、すなわち検出精度が $b/2$ 程度であること示している。ひび割れの検出精度は、概ね表-3 に示す精度と推定される。

表-3 ひび割れ検出精度の推定

カメラから天井までの距離	画像撮影幅 B	水平解像度 N	$b = B/n$	検出精度 $b/2$
1.0m	1,830mm	720dot	2.5mm	1.2mm 程度
2.0m	3,660mm	720dot	5.0mm	2.5mm 程度

(3) トンネル内部映像からの展開画像の作成

調査ロボットが撮影した天井方向映像(動画)から、展開画像(写真-8 天井カメラ展開画像作成例)を作成し、覆工内面の劣化損傷の視認性向上と、健全度診断への適用性の検討を行った。

その結果、トンネル内面の劣化損傷の視認性と検出精度が、動画によるものに比べて格段に向上し、健全度診断の基礎データとして非常に有効であることが分かった。

5. まとめ

(1) まとめ

船型調査ロボットを使用して、長スパン・大口径幹線管渠の調査を行った結果、下記事項を確認することが出来た。

- ・4台のTVカメラで撮影した映像から、ひび割れ、浸入水、腐食等の劣化損傷を抽出し、本管調査記録表及び劣化損傷写真帳を作成することができる。
- ・劣化損傷の種類と程度に応じた評価基準に沿って、健全度評価等の実施が可能である。
- ・調査能率が比較的高く(600m/日)、マンホール解放等による交通規制の影響を軽減することができる。

・下流方向・左側壁・天井・右側壁の映像を同時に撮影する4台のテレビカメラにより、死角のない管路内面の映像を記録・保存することが出来る。

(2) 今後の技術開発

本技術による調査品質の向上のために、下表の技術開発を継続していきたい。

表-4 技術開発の概要

項目	内容
撮影画質の向上	TVカメラの高画質化と照明(方向、種類、出力)の検討
撮影位置精度の向上	スピードセンサー等の装備検討
調査機材の小型軽量化	電源装置、撮影・録画装置、照明等の、組み合わせや機種検討
画像処理技術の向上	劣化損傷を判別しやすくする画像処理技術や静止画の作成技術の導入検討

以上

共同執筆者:

株式会社ジオデザイン 菊池 信夫

株式会社ゲット 遠藤茂

岡三リビック株式会社 鳥飼貴人

問い合わせ先:

長水路トンネル調査技術協会(LTM協会)

株式会社ジオデザイン 技術部内

〒108-0023 東京都港区芝浦 3-14-6

菊池 信夫

TEL 03-5730-1396

E-mail kikuchi@geodesign.co.jp

復建調査設計株式会社 保全構造部

〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11

今井田 敏宏

TEL 082-506-1814

E-mail imaida@fukken.co.jp