

新型下水道管路調査機器に求められる要求性能の検討 ～人孔における段差・曲りに対する走行性能について～

川島弘靖・宮本豊尚・深谷 渉・岩崎宏和

1. はじめに

我が国の下水道管路の総管理延長は、平成27年度末に約47万kmに達している。このうち標準的な耐用年数である50年を経過した管路は、現時点で約1.3万km存在し、10年後には約4倍、20年後には約10倍に増加すると見込まれており、老朽化していく管路を限られた人員・予算で効率的に維持管理していくことが求められている。

下水道管路の維持管理では、効率的に点検調査を行い、管路に異状がある場合は適切に改築修繕を行うことが重要となるが、地方公共団体において実施される管路調査の年間の調査延長は、総管理延長の1%程度であり、十分な管路調査が行われているとは言い難い。この一因として、従来型のTVカメラ調査機器では、人孔における上流側管路と下流側管路との段差や下水の円滑な流下を図るために人孔底部に設けられるインバートの曲りを通過することが困難であり、人孔毎に調査機器の設置が必要となるため、実際の調査時間が十分に確保できないことにある。

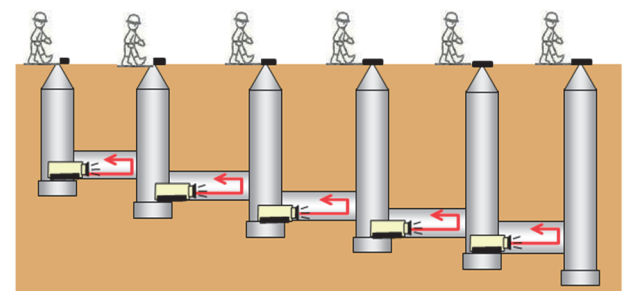
このため、国総研では、段差やインバートの曲りに対する調査機器の走行性能の改良に着目し、平成26年度には、段差やインバートの曲りが管路調査の日進量（1日あたりの調査延長）に与える影響について確認した¹⁾。また、平成27年度には、ある都市の下水道台帳を基に、各人孔における段差の高さとインバートの曲りの交角を確認し、段差と交角の発生割合を整理するとともに、段差やインバートの曲りに対する走行性能から調査可能延長を求めるための試算方法を検討した²⁾。本稿では、走行性能による調査可能延長の試算方法を紹介するとともに、今後求められる新型調査機器の走行性能について、実験とケーススタディから試算した結果を報告する。

2. 人孔における段差・曲りの発生割合と調査可能延長の試算方法

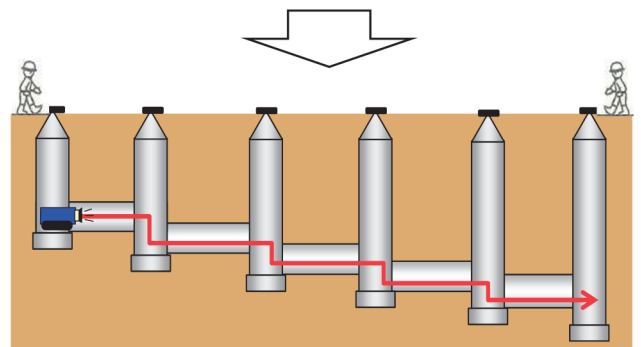
本項では、人孔における段差やインバートの曲りに対する走行性能から調査可能延長を試算する方法について紹介する。

調査機器の走行性能を改良し、段差やインバートの曲り等の走行困難箇所を克服できれば、連続した複数スパンの調査が可能となり、機材設置、回収、片付け等の段取り時間が短縮し、日進量が向上する（図-1）。ここでは、段差やインバートの曲りのみが、複数スパンの連続調査の可否に影響するものと仮定し、人孔さえ通過できれば連続調査が可能と判断することとした。

まず、人孔における段差とインバートの曲りがどの程度発生しているのかを確認するため、A市の下水道台帳から、段差の高さとインバートの曲りの交角の発生割合について整理した（表-1）。



【従来】マンホール毎に機器の付替え→日進量が伸びない



【将来】走行性能改良により複数スパンを調査可能→日進量向上

図-1 管路調査機器の走行性能の改良イメージ

表-1 A市の下水道管路台帳から整理した
段差やインバートの曲りの発生割合

曲り(交角)	1° 以下	25° 以下	48° 以下	83° 以下	112° 以下
2cm以内	16.8%	33.5%	36.5%	39.0%	42.6%
5cm以内	23.6%	47.7%	52.1%	56.1%	62.5%
10cm以内	26.3%	53.4%	58.5%	63.4%	71.6%
20cm以内	28.0%	57.3%	62.8%	68.4%	78.0%
50cm以内	30.5%	62.9%	68.9%	75.3%	86.6%
80cm以内	31.7%	65.9%	72.3%	79.1%	91.1%
1m以内	32.3%	67.4%	73.9%	80.9%	93.3%
2m以内	32.6%	68.2%	74.8%	82.2%	95.4%

ここで、調査機器の走行限界となる閾値以下の段差及びインバートの曲りの発生割合を通過率pと定義する。通過率を用いることにより、一度の調査機器の設置による調査可能なスパン数を試算することが可能となる。さらに、スパン延長も仮定すると、次式より、一度の調査機器の設置による調査可能延長の期待値Lを求めることができる。

$$L = \bar{L} \times \left[\sum_{k=1}^{n-1} \{k \cdot p^{(k-1)} \cdot (1-p)\} + n \cdot p^{(n-1)} \right] \dots \text{式 (1)}$$

ここで、pは通過率、nは通過可能スパン数の上限値 (n ≥ 2を仮定)、 \bar{L} はスパンの平均延長を表す。

表-1と式 (1) から、走行性能による調査可能延長の試算が可能となる。例えば、段差2cm及びインバートの曲り1度が走行限界であり、ケーブル長が120mの調査機器があるとする。表-1より通過可能な人孔の割合 (通過率) は16.8%であり、調査対象路線のスパンの平均延長が30mであれば通過可能スパン数は4スパンとなり、式 (1) から調査可能延長の期待値は36m程度となる。

3. 実験による試験機器の走行性能と作業時間の確認

ここでは次項のケーススタディで必要となる、実際の機器の段差やインバートの曲りににおける走行性能と作業時間 (調査時間と段取り時間の合計時間) を実験により確認した。

3.1 実験に使用した機器の性能・諸元

段差やインバートの曲りを通過可能な機器を用い、走行性能を確認した。実験に用いたのは農業用暗渠管清掃洗浄用に開発された機器 (以下「試験機器」という。) であり、先端部にLEDライトとCCDカメラを有し、首振り機能を持たせ、後方の噴射ノズルからの噴射力 (水圧) により推進する機器である。試験機器での調査は、目標地点まで推進した後、ケーブルの巻き取り時 (復路)

に管内の撮影を実施することとなる。表-2に試験機器のその他の諸元を示す。

3.2 段差やインバートの曲りににおける走行性能の確認

図-2に示す1号人孔 (内径φ900) を想定したアクリル製の模擬人孔及び管径φ150、250、400のアクリル製の管路を用い、表-3に示すパターンにおける段差やインバートの曲りの通過可否に関する実験を行った。なお、機材設置等の段取り回数を減らすため、設置した人孔から上下流を調査することを想定した。下流側管路の調査において、段差は自由落下で対応可能であるため、実験の対象外とし、実験では、設置した人孔から上流側管路を調査する場合の走行性能のみを確認した。

段差の通過試験では、下流側管路から上流側管路に移動する際、試験機器の全長23.5cmより低い段差を通過する時には、機器の先端部を上流側の管口にひっかけ、噴射力で機器を持ち上げて通過する手法を採用したため、20cmまでは7~8割で通過できたが、30cmを超えると3割程度しか通過できなかった (図-3)。また、全ての管径において、段差がない場合はインバートの曲り90度まで問題なく通過することができた。

表-2 試験機器の諸元

調査部 全長	23.5cm
重量	1.5kg
ケーブル長	230m
移動速度	20cm/s
調査可能管径(実績)	φ200mmまで



図-2 実験に使用した模擬管

表-3 段差・曲り試験のパターン一覧

		段差				
		0cm	10 cm	20 cm	30 cm	50 cm
曲 が り	0°	φ150	φ150	-	φ150	φ150
		φ250	φ250		φ250	φ250
		φ400	φ400		φ400	φ400
	45°	φ150	φ400	φ400	φ400	φ400
		φ400			φ400	φ400
	90°	φ150	φ150	φ400	φ150	φ150
		φ250	φ250		φ250	φ250
		φ400	φ400		φ400	※φ400

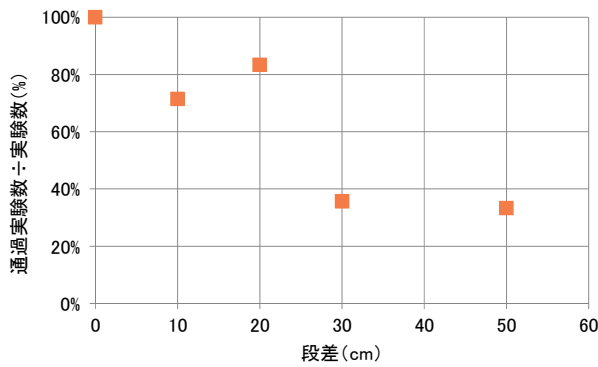


図-3 各段差における通過率

今回の実験結果から、試験機器の走行限界となる閾値は、段差20cm及びインバートの曲り90度であると判断した。この条件を表-1に当てはめると、通過率は70%程度となる。

3.3 作業時間の確認

模擬管による実験及びB市の下水道管（5スパン）での実際の調査から、移動・準備・機材設置・計測・機器回収・片付けの段取り時間及び人孔内通過速度を確認し、既報¹⁾を踏まえ、ケーススタディで使用する各時間を設定した。

4. ケーススタディ

3.2及び3.3の結果を踏まえ、既報¹⁾と同じフィールドを対象として、日進量を机上で試算した。フィールドの概要を図-4及び表-4に示す。

試算ケースは4ケースとし、現在使用されている機器の日進量を試算するため、従来型TVカメラをCASE1、側視調査が不要で従来型TVカメラよりも現地調査時間を短縮できる展開広角カメラをCASE2とした。また、実験により走行性能を確認した試験機器をCASE3とし、従来型TVカメラの概ね5倍の日進量の調査が可能となるように、走行性能を机上設定した試験機器をCASE4とした。

試算条件と結果を表-5に示す。本ケーススタディにおいて、CASE1では合計作業時間が約4,000分であるが、CASE2では約2,400分と6割となっている。さらに、CASE3では約1,100分と3割まで減少しており、通過率70%程度の試験機器では、従来型TVカメラの約3~4倍程度の日進量までは達成する見込みが示された。また、CASE4から、従来型TVカメラの概ね5倍の日進量を達成するためには、段差80cmをクリアするとともに、人孔1箇所当りの段差通過時間を2分

にする必要があることが分かる。また、従来型TVカメラの5倍を超える日進量を達成するためには、ケーブル長の延長や計測速度の更なる向上などの機器の改良が必要になる。

なお、ケーススタディでは、調査路線数は、CASE3で53路線、CASE4で29路線となり、連続調査スパン数の平均は、CASE3で2.3スパン、CASE4で4.2スパンとなった。一方、連続調査スパン数について式（1）により試算すると、CASE3の機器は、 $n=10$ 、通過率70%であるため、連続調査スパン数は3.3スパンとなる。CASE4の機器は、表-1より、段差80cmかつインバートの曲り90度の通過率は85%程度となるため、 $n=10$ 、通過率85%とした場合、5.7スパンの連続調査が可能であるという結果になる。

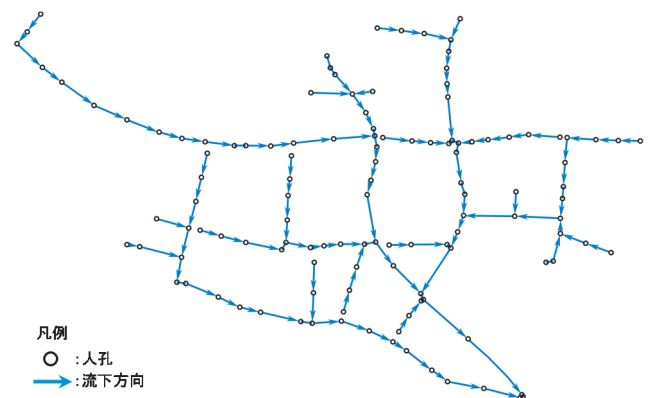


図-4 フィールドの概要図

表-4 フィールドの概要

処理区面積		13.54ha
管路延長		2995.8m
スパン数(人孔と人孔の間が1スパン)		122スパン
平均スパン長		24.6m
段差	5cm以下(交角0~45°)	63箇所
	5cm以下(交角45°~90°)	4箇所
	5~10cm以下	9箇所
	10~20cm以下	11箇所
	20~50cm以下	13箇所
	50~100cm以下	11箇所
	100~200cm以下	8箇所
	200cm~	3箇所
計		122箇所

表-5 ケーススタディの計算条件と結果

CASE.		1	2	3	4
		従来型TVカメラ	展開広角カメラ	試験機器	試験機器 (性能は机上設定)
調査方向		上流→下流	上流→下流	下流→上流	下流→上流
ケーブル		あり	あり	あり(230m)	あり(230m)
段差乗り越え機能		下り	不可能	不可能	可能
		上り	不可能	不可能	20cm
インバートの曲りにおける通過可否		不可能	不可能	可能	可能
連続調査可能スパン数		1スパン	1スパン	ケーブル長範囲	ケーブル長範囲
1回当り 段取り時間	移動(分)	5.00	5.00	5.00	5.00
	準備(分)	6.80	6.80	6.80	6.80
	機材設置(分)	0.50	0.50	0.50	0.50
	機材回収(分)	0.45	0.45	0.40	0.40
	片づけ(分)	3.80	3.80	3.80	3.80
	合計(分)	16.55	16.55	16.50	16.50
1m当り 通過速度	往路(分/m)	0.61	0.08	0.08	0.08
	復路(回収)(分/m)	0.04	0.04	0.08	0.08
人孔1箇所 当り 通過速度	段差無し(0~5cm以下)-曲り0~45°以下(分/箇所)	×	×	0.07	0.07
	段差無し(0~5cm以下)-曲り45~90°以下(分/箇所)	×	×	0.13	0.13
	下り段差(分/箇所)	×	×	0.07	0.07
	上り段差5~10cm以下(分/箇所)	×	×	0.67	0.67
	上り段差10~20cm以下(分/箇所)	×	×	1.33	1.33
	上り段差20cm以上(分/箇所)	×	×	×	2.00
試算結果	段取り回数	122回	122回	34回	17回
	調査路線数(設置人孔から通過不可となる人孔の間が1調査路線)	122路線	122路線	53路線	29路線
	段取り時間(分)	2,019	2,019	571	287
	通過時間(分)	1,947	360	484	524
	合計作業時間(分)	3,966	2,379	1,054	811
	日進量(一日当たりの作業時間を6時間とする)	272	454	1,033	1,303
	対照系(従来型TVカメラ)との比	1.0	1.7	3.8	4.8

※展開広角カメラの数値は参考文献1)、試験機器の数値は実験結果を用いた。

既存TVカメラによる調査費算出に用いられる標準日進量は300m/日³⁾であるため、計測時間以外は展開広角カメラの作業時間とし、日進量が300m/日となるよう計測時間を設定

5. まとめ

今回の実験とケーススタディにより、従来型TVカメラ調査機器の概ね5倍の日進量を確保するために必要となる調査機器の走行性能について確認した。本研究が、調査機器の開発促進の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 末久正樹、小川文章、宮本豊尚、深谷渉、横田敏宏：管路内調査機器の走行性向上に関する基礎的検討、第52回下水道研究発表会講演集、pp.659~661、2015。
- 2) 宮本豊尚、深谷渉、竹内大輔、横田敏宏：新型下水道管路調査機器に求められる要求水準の検討、第53回下水道研究発表会講演集、pp.719~721、2016。
- 3) 公益社団法人日本下水道管路管理業協会：下水道管路管理積算資料2015、pp.117、2015。

川島弘靖



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
Hiroyasu KAWASHIMA

宮本豊尚



国土交通省水管理・国土
保全局下水道部流域管理
官付 課長補佐
Toyohisa MIYAMOTO

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

岩崎宏和



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
Hirokazu IWASAKI