

# 下水道用施設管理ロボットの 開発基礎調査

## 1. はじめに

下水道施設を適正に管理するための維持管理業務は、普及率の向上に伴い増加している。一方、維持管理は、恒常的な重要な作業であるにもかかわらず、下水道というイメージや作業の内容から「3K」の代表的なものとして見られがちで、人手不足の現状にある。

今後、高齢化と低出生率から労働力不足が深刻となる社会を向かえ、維持管理要員の確保は、さらに厳しくなることが予想される。しかし、維持管理の中には、重労働でかつ危険、非衛生的な劣悪条件下での単純な繰り返し作業もあり、ロボット化による作業の効率化や作業環境の改善が可能なものも数多くある。

このような状況から下水道用施設管理ロボットの研究開発を平成4年度から実施している。平成5年度は、前年度の調査結果に基づき、現在人力作業が主体となっている管渠 $\phi$ 800～2,000mmを対象とする調査・清掃ロボットのイメージを固めるため次の検討を行った。

- (1) ロボット開発のための条件設定
- (2) 調査及び清掃ロボットの開発
- (3) ロボット化による効果

## 2. 調査内容

● $\phi$ 800～2,000mmの下水管渠を対象とした調査・

清掃ロボットの開発を行うにあたっては、図1に示すように開発条件の設定、すなわち、ロボットが行う作業内容と作業環境を設定しなければならない。

また、設定された作業が容易に行える機器の仕様を設定する為の要素技術の検討、またロボット開発による効果や市場性を十分把握しておくことが重要である。

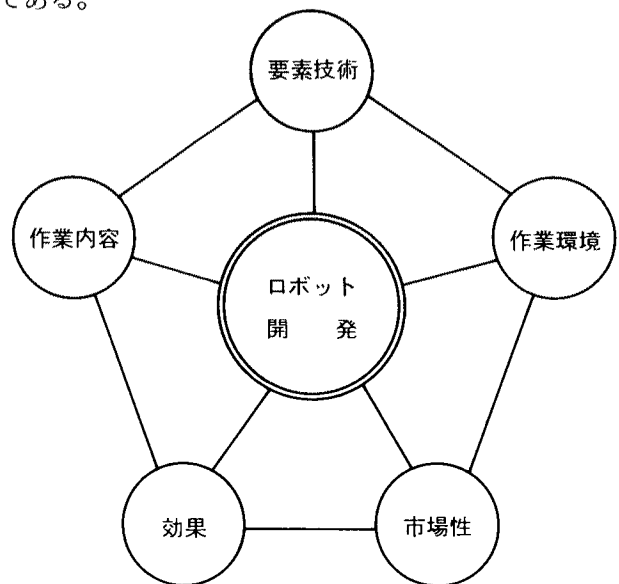


図1 ロボット開発のための要素

そこで、実際に維持管理を数多く実施している東京都と12政令指定都市および（社）日本下水道管路維持管理業協会を通じて214社の維持管理者に● $\phi$ 800～2,000mmの下水管渠の調査と清掃の実態に

ついてアンケート調査を実施し、その結果（内67社から回答）をもとに次のような条件設定を行った。

### 3. 調査結果

#### 3.1 ロボット開発の為の条件設定

##### (1) 作業環境

アンケート調査によって、表1に示すような維持管理作業の問題点と対処法が明らかとなった。ロボット開発に際してはこれらの事項に留意することとした。

調査・清掃ロボット用に設定した<sup>1)2)</sup>作業環境を表2、3に示す。これらの条件は、アンケートの調査結果をもとにロボットの汎用性を考慮して出来るだけ条件の厳しい値を採用した。特にマンホールの入口はロボットの外形寸法を制限することからφ600～900のうちφ600を採用した。

なお、条件設定に際し管径を3段階に設定したのは、下水管渠φ800～2,000mmとその差が2倍以上にもなることからロボットの大きさも3段階に分けて検討することが望ましいと判断したためである。

表1 維持管理作業の問題点と対処法

酸欠	問題点	作業中の酸欠
	対処法	作業前の測定器による管内の酸素濃度の測定
換気	問題点	換気量の確認。大管径、大スパンの換気は困難
	対処法	大型送風機の使用
騒音	問題点	夜間作業時の騒音
	対処法	防音型の機械の使用
臭気	問題点	伏越し部の臭気
	対処法	芳香剤の使用、送風機の設置
交通状況	問題点	市街地内での作業
	対処法	作業時間帯の検討、作業時間の短縮
防爆	問題点	作業用機械の防爆タイプは高価となる
	対処法	特種な場合以外は対応していない
住民対策	問題点	周辺住民への作業、交通規制の必要性、臭気、騒音の説明
	対処法	管理者との共同による説明、広報活動

表2 清掃ロボットの作業環境

下水管の口径 (mm)	マンホール (m)					管 渠					備考
	入 口	円 形	矩 形		深 さ	スパン (m)	勾 配 (%)	水 深 (%)	流 速 (m/s)	堆積土砂厚 (%)	
	φ	φ	L	W	H						
φ800 ～ φ1,200	0.6	1.2	1.2	1.2	15.0	150	15.0	管径の15%	1.0	管径の10%	
φ1,350 ～ φ1,500	0.6	1.8	1.8	1.8	20.0	180	7.0	管径の15%	1.0	管径の10%	
φ1,650 ～ φ2,000	0.6	2.0	2.0	2.0	20.0	240	5.0	管径の15%	1.0	管径の10%	

表3 調査ロボットの作業環境

下水管の口径 (mm)	マンホール (m)					管 渠					備考
	入 口	円 形	矩 形		深 さ	スパン (m)	勾 配 (%)	水 深 (%)	流 速 (m/s)		
	φ	φ	L	W	H						
φ800 ～ φ1,200	0.6	1.2	1.2	1.2	15.0	150	15.0	管径の40%	2.7		
φ1,350 ～ φ1,500	0.6	1.8	1.8	1.8	20.0	180	7.0	管径の40%	2.7		
φ1,650 ～ φ2,000	0.6	2.0	2.0	2.0	20.0	240	5.0	管径の40%	2.7		

(2) 作業内容

調査ロボットの作業内容は、アンケート調査結果から、次の項目の調査が行えるものとした。

- ① 管内水位
- ② 土砂の堆積厚
- ③ 管渠のひび割れ・破損、接合部の状態
- ④ 管渠の勾配・蛇行
- ⑤ 管渠材料の劣化状態
- ⑥ 管渠内硫化水素ガス等の濃度

なお、これらの調査によって得たデータをもとに下水管渠の診断を行うこととなるが、これらの診断手法の開発は、本年度対象外とした。

また、清掃ロボットは、下水管渠内に堆積している土砂を浚渫し、マンホール付近まで運搬するまでの作業を行うものとした。

3.2 調査・清掃ロボットの開発

(1) 開発の方向性

調査・清掃ロボットは、次の理由により調査用と清掃用とにそれぞれ分割し、研究開発を進めることとした。

- ① 調査と清掃の二つの作業を必ずしも同時に行う必要は無い。
- ② 調査と清掃とではロボットの動作環境が異なる。
- ③ 調査か清掃の片方だけ必要な場合も予想され、その場合機能を分割していた方がロボットは安価となる。
- ④ マンホールから搬入できるロボットの大きさは(400×400×800mm)程度であり、調査用と清掃用の両方の機能を搭載させるのは困難である。

(2) 調査ロボット

前述に設定した作業環境と作業内容の条件を満足させるための、ロボットの移動方法と調査方法についての要素技術を検討した。

移動方法については、下水管渠内での走行という条件からクローラ式、船方式、ロープによる牽引等の方式について比較検討を行なった。その結果、移動効率、移動機構、管渠内の流水状況等を考慮して、図2に示すようにロボット本体が水面の上部を走行する機構を選定した。

調査方法は、調査機器をロボットに搭載して各種調査を行なう方式とした。重量、大きさ、価格、下水管渠内での耐久性等各種の制約条件を受けることから測定原理、適用性、将来技術の予測等を総合的に検討し<sup>3)4)</sup>、表4に示す仕

様のものとした。

調査機器の搭載方法は、各種調査機器を分割し、調査の項目に応じて、ロボットに搭載できる構造とする。

また、調査して得られた情報は、通信用光ファイバーケーブルを使用して地上に伝送し、管内状況をモニター画面で表示するとともにプリンターによる出力及び記録装置による調査データの記録が行なえるものとする。

(3) 清掃ロボット

清掃ロボットは、φ600mmのマンホールの入口から投入でき、下水管渠内でのセッティングに手間取らず、地上からの遠隔操作ができるものでなければならない。しかも劣悪な環境下で効率よく堆積土砂が除去でき、故障の少ない機構としなければならない。

要素技術の検討にあたっては、清掃方法と移動方法及び土砂運搬方法を一連の組み合わせで

表4 調査ロボット概略仕様

形状	本体円筒形	
全長	2,000m (分割・組立方式)	
外径	500mm	
重量	50 kg	
性能	走行方式	車輪駆動 (DCモータ)
	操作方式	有線遠隔制御
	速度	1.4m/min
	作業可能距離	240 m
	防水性	汚水中で完全防水
調査機能	画像取り込み	CCDカメラ
	照明	ハロゲンライト
	ガス検知	熱伝導式ガスセンサ 隔膜ガルバニ電池式 ガスセンサ
	管材質検査	超音波非破壊検査装置 中性化試験
	堆積汚泥検知	探触子方式検査装置
	傾斜検知	ジャイロ
搬入方法	ガイドレール方式	
作業環境	円形下水管渠	
	管径	φ800 ~ 2,000 mm
	最大流速	2.7m/s
	最大水深	管径の40%

行うことが必要なことから表5のような比較検討を行った。

その結果、水中でのジェットとブラストでは、攪拌威力に疑問があり、チェーン、ブラシ、回転スクレーパーでは、土砂の運搬用設備が必要となる。

一方、ベルト方式は、清掃効果に期待がもて、しかも管渠内の土砂の運搬が不要であり、現存の技術の応用で実現できるので最も優れた方法といえる。

以上の検討結果から清掃ロボットは、マンホールから投入でき、装置全体が動力伝送路となって土砂の運搬も可能な図3に示すクローラを数台連結させた方式とした。

この方式は下水管渠の断面形状が円形であることに着目し、中心付近の堆積土砂を排除することにより両脇の残された土砂は、中心付近に寄り集まって来る特性の利用を図ったものである。

攪拌された土砂は、下水の流下能力を利用して下流マンホールに集め、これを強力吸引車で地上に吸い上げる方式とした。

### 3.3 ロボット化による効果

以上のような調査ロボット、清掃ロボットの開発によって、作業時間の短縮と今まで危険で入ることのできなかった場所での管渠の維持管理が可能となる。

また、次のように作業員による維持管理作業上の問題点が解消され、また、設備の大幅な軽減も可能となる。

#### ① 換気

ロボットを地上から遠隔操作することにより、作業員は下水管渠に入る必要がなくなる。このため酸欠防止の為にしていた換気はマンホール部分のみとなる。

#### ② 騒音

今まで換気を行うことにより発生していた騒

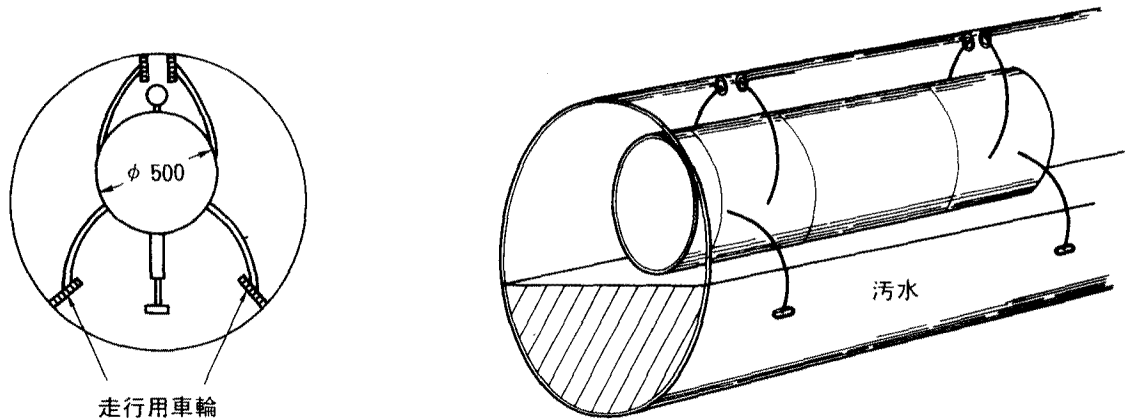


図2 調査ロボットイメージ

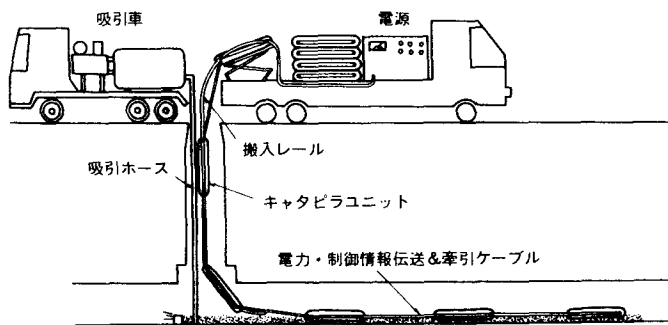


図3 清掃ロボットの全体システム

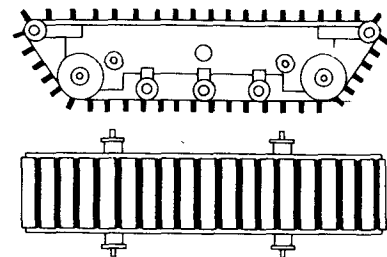
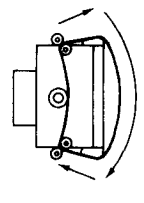
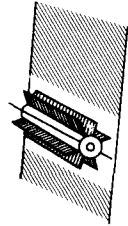
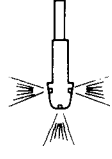
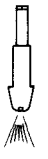
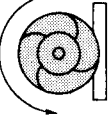
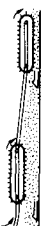


図4 クローラユニットの概念

表5 ロボットによる清掃方法 (要素技術の組合せ)

ケース	組合わせ		作業手順	問題点等	評価
	清掃方法	移動方法			
1	チェーン 	クローラ 船 牽引	<ul style="list-style-type: none"> <li>土砂を攪拌, 吸引, 地上まで引き揚げながら移動する</li> <li>土砂を攪拌しながら移動し, 下流マンホール付近で吸引車により土砂を引き揚げる</li> <li>攪拌した土砂を吸引 (脱水) して積載しながら移動する</li> <li>攪拌した土砂を吸引 (脱水) して袋に詰めて着としながら移動する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>攪拌した土砂が下流マンホール付近まで流れないとフラッシュ用の堰, 土砂の積載, 袋詰め装置開発, または吸引ホースの牽引が必要</li> <li>マンホール入り口の径に制限された大ききで流水に流されない台車, 姿勢の安定と作業反力の得られる船の開発が必要</li> </ul>	△
2	ブラシ 	クローラ 船 牽引	<ul style="list-style-type: none"> <li>土砂を攪拌, 吸引, 地上まで引き揚げながら移動する</li> <li>土砂を攪拌しながら移動し, 下流マンホール付近で吸引車により土砂を引き揚げる</li> <li>攪拌した土砂を吸引 (脱水) して積載しながら移動する</li> <li>攪拌した土砂を吸引 (脱水) して袋に詰めて着としながら移動する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水中でジェットに威力は有るか?</li> <li>ジェットで200m自走できるか?</li> <li>クローラでジェット用水用のホースを牽引できるか?</li> <li>吸引車で引き揚げる水量が多くなる</li> <li>マンホール入り口の径に制限された大ききで流水に流されず, ジェットの反力の得られる台車開発が必要</li> </ul>	△
3	ジェット 	自走 クローラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジェット・ノズルが清掃しながら自走し, 下流マンホール付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> <li>クローラに載せたジェット・ノズルで清掃し, 下流マンホール付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水中でジェットに威力は有るか?</li> <li>ジェットで200m自走できるか?</li> <li>クローラでジェット用水用のホースを牽引できるか?</li> <li>吸引車で引き揚げる水量が多くなる</li> <li>マンホール入り口の径に制限された大ききで流水に流されず, ジェットの反力の得られる台車開発が必要</li> </ul>	△
4	プラスチック 	自走 クローラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラスチック・ノズルが清掃しながら自走し, 下流マンホール付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> <li>クローラに載せたプラスチック・ノズルで清掃し, 下流付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水中でプラスチックに威力は有るか?</li> <li>プラスチックで200m自走できるか?</li> <li>クローラでプラスチック用のホースを牽引できるか?</li> <li>吸引車で引き揚げる水量が多くなる</li> <li>マンホール入り口の径に制限された大ききで流水に流されず, ジェットの反力の得られる台車開発が必要</li> <li>プラスチックの粒子で管内面を傷付ける</li> </ul>	△
5	回転スクレーパー 	クローラ 牽引	<ul style="list-style-type: none"> <li>土砂を掻き取り吸引, または圧送しながら移動する</li> <li>土砂を掻き揚げる攪拌しながら移動し, 下流マンホール付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> <li>土砂を掻き揚げ, ベルトコンベアで送りながら移動する</li> <li>掻き揚げた土砂を吸引 (脱水) して積載しながら移動する</li> <li>掻き揚げた土砂を吸引 (脱水) して袋に詰めて着としながら移動する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掻き揚げた土砂が下流マンホール付近まで流れない場合, フラッシュ用の堰, 土砂の積載, 袋詰め装置ベルト・コンベアの開発, または吸引ホースの牽引が必要</li> </ul>	△
6	ベルト 	不要	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業区間全般に布設されて回転し土砂を下流マンホールまで掻き続けて下流マンホール付近で吸引車で土砂を引き揚げる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>動力用ケーブールや吸引用ホースを牽引しなくてよい</li> <li>掻かれた土砂が下流マンホールまで届く</li> <li>ロボットが流失することがない</li> </ul>	○

音が軽減する。しかし、その他の騒音の発生源については従来どおりである。

③ 臭気

今まで換気により管渠内の悪臭が外部に排出されていたが、大幅に軽減される。

④ 交通状況

作業能率の向上により道路を一時使用する時間が短縮される。

⑤ 防爆

内燃エンジンを使用せず、動力を電力ケーブルで賄う為、防爆性に優れている。万が一、管渠内のガスが爆発した場合でも下水管渠内での人力作業がないので危険性が軽減できる。

⑥ 突発的流量増加

作業員が管渠内にいないので危険性が少ない。

⑦ 住民対策

臭気、騒音、交通規制が軽減されるので住民の協力を得やすくなる。

⑧ その他

管渠に入らずに作業ができることから、維持管理業務のイメージの向上につながり、将来的な人員の確保が容易になる。

能、要素技術等の設定及びイメージを固めた。

来年度からは模型を製作し、実験を行うことにより種々の問題点の解決を図る。さらに、実際の下水管渠に適用するプロトタイプのロボットの製作を進めていくことが必要である。

ここでいう模型とは、ロボットの動作原理を確認するためのスケールモデルであり、走行、清掃等の機構確認を第一の目的とするものである。

同様にプロトタイプとは、実機と同様の動作環境下で作動することを想定したもので、実機と同様の動作が行なえるものをいう。

参考文献

- 1) (社)日本下水道協会 建設省監修  
下水道施設設計指針と解説
- 2) 東京都下水道研究会 編 実用流量表
- 3) (社)電気協同研究会 電気協同研究  
第46巻 第4号 電力設備へのセンサ適用技術  
センサ技術適用専門委員会
- 4) (株)情報調査会 センサ技術編集部  
センサデバイスハンドブック
- 5) (社)日本産業用ロボット工業界  
「産業用ロボットに関する技術調査並びに予測  
に関する調査研究報告書  
(非製造業分野)」平成4年6月

## 4. まとめと今後の課題

本年度の調査結果から、◎800～2,000mの下水管渠を対象とした調査と清掃ロボットに対する必要機

● この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	佐藤 和明
研究第一部主任研究員	鈴木 茂
研究第一部研究員	森 正治
研究第一部研究員	高木 克也