

下水道用施設管理ロボットの 開発基礎調査

1. はじめに

下水道の普及に伴い、下水道施設本来の機能を保持するために必要な維持管理作業も、増大しつつある。しかし、その作業が、危険かつ非衛生的な劣悪条件下における単純な繰り返し作業で、かつ、重労働であることなどから、現在、人手不足がちであり、今後も維持管理要員の確保は、難しいことが懸念される。

このため、維持管理作業のロボット化による作業の軽減や、効率化と職場環境の改善などが求められている。

平成4年度までの調査によると、現在、 $\phi 800\text{mm}$ 以下の管渠の維持管理作業では、テレビカメラによる調査や、高圧水のジェットによる清掃等の自動化が進んでいる。しかし、 $\phi 800\text{mm}$ 以上の管渠では人力作業が主体であり、管渠の使用に障害が発生するまで放置されることが少なくない。

そこで平成5年度から $\phi 800\sim 2,000\text{mm}$ の管渠を対象とした調査・清掃作業のロボットの開発を行っている。平成6年度では実機の開発に向けて、調査・清掃ロボットの各模型を製作し、実験を通じて、改良点の抽出と仕様の確定を行った。

2. 調査内容

2.1 調査ロボット

調査ロボットは走行部とセンサー部から構成され

ているので、双方の調整を図りながら、開発しなければならない。

本年度は、次の調査を実施し、走行部の基本動作の確認と、センサー搭載イメージの提案を行った。

- (1) 走行部の実物大模型の製作。
- (2) $\phi 1,650\text{mm}$ のヒューム管を3本繋げたモデル管路での走行時のロボットの振動変位と停止時の姿勢の変化の測定
- (3) $\phi 1,800\text{mm}$ の供用前の管路を使用した、水平、及び傾いた状態での走行実験。
- (4) 走行実験の結果を考慮して、走行部に搭載する調査機器を検討し、その搭載イメージを提案した。

2.2 清掃ロボット

清掃ロボットの模型1号機は前年度に製作及び基本動作実験を行い、開発の方向性を確認している。

本年度は、次のような調査を実施し、ロボットユニットの仕様の確定と土砂回収システムの調査を行った。

- (1) 清掃作業の状況、および管渠内の堆積土砂の性状を考慮した模型の改良。
- (2) 改良機（1／2サイズの模型2号機）による実験。
- (3) 浚渫土砂回収システムの検討。

2.3 ロボットの動作環境の調査

清掃ロボットの実験条件を設定するために、清掃作業の状況、および管渠内の堆積土砂の性状を調査した。

3. 調査結果

3.1 調査ロボット

- (1) 模型製作
実物大模型を製作した。
- (2) 実験
モデル管路実験・走行実験を実施した。
- (3) 調査機器搭載イメージ
走行部，調査機器部と合わせてロボットのイメージを提案した。

3.2 清掃ロボット

- (1) ロボットの改造
昨年度は，清掃ロボットのイメージをより具体化するために清掃ロボット模型の製作を行った。本年度は，清掃ロボット模型を実験に適した構造とするため，次のようなロボット模型の改造を行った。

- ・クローラ構造の変更
- ・駆動系の伝達効率の向上
- ・本体構造の改造
- ・連結チェーンの改造

これらの改造により，清掃ロボット模型は堅牢な構造になり，各種の実験に問題なく使用することができた。

また改造前後のロボット模型の比較について次の表-1に示す。

改造項目の具体的内容を表-2に示す。

表-1 清掃ロボット模型仕様比較表

	改造前	改造後
全長	700mm	570mm
全幅	180mm	180mm
重量	27kg	24kg
最大速度	3.0m/s	3.7m/s
モータ出力	60W	90W
最大トルク	120.3kgcm	292.1kgcm
クローラ形式	ゴム製ベルトクローラ方式	チェーン式アタッチメント方式
防水方式	Oリング方式	オイルシール方式
本体材質	ステンレス(SUS304)	アルミ(6061)

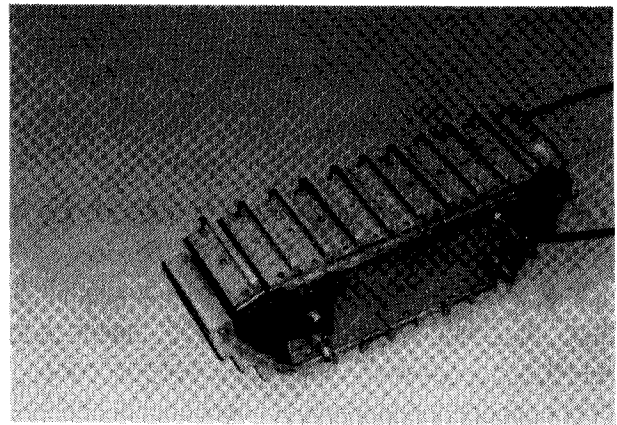


写真-1

表-2 改造内容一覧表

検討項目	問題点	対策
クローラ構造の変更	・砂によるクローラ・スプラケット間のスリップおよびクローラの異常張力発生	・チェーンを使用した駆動方式によるスリップの防止 ・ゴム製クローラから金属製クローラへの変更
駆動系の伝達効率の向上	・ウォームギヤ使用による伝達効率の低下 ・駆動輪のロボットの下部配置による有効伝達歯数の少なさ	・減速機に平歯車することによる伝達効率の向上 ・駆動輪位置変更によるかみ合い歯数の増加
本体構造の改造	・本体部分に設置している軸等の防水構造必要箇所の多さ	・本体と軸関係の設置レイアウトの見直しによる防水必要箇所の減少
連結チェーンについて	・チェーン使用による重量増加 ・制御・電源線の分離接続によるとり回し性の悪化	・連結にワイヤーを使用し、電源線を一体化することによる重量低減、とり回し性の向上

(2) 実験

今後、清掃ロボットの開発を進めるには、クローラ方式による掻き出し動作の基本データの確認と、掻き出し動作が下水道管渠の汚泥清掃に適していることを実験により確認する必要がある。

今年度は、清掃ロボット模型の改造部分の性能に関する実験と、クローラ材質・形状の選定を可能にする実験を中心に行った。

以下に実験目的、方法、結果等をまとめた。

1) 走行速度測定実験

改造を行なった清掃ロボット模型での走行速度を確認するためコンクリート上での走行実験（走行距離10m）を行なった。

測定の結果、当初予定していた清掃ロボット模型での走行速度1.5m/min（模型縮尺が1 / 2なので）を十分満たしていることが確認された。

測定結果を次の表-3に示す。

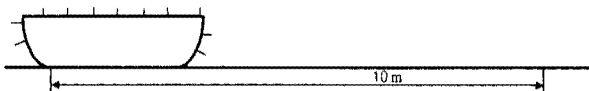


図-1 走行速度測定実験概略図

表-3 走行速度測定結果表

測定回数	1回目	2回目	3回目	平均
走行時間 (S)	162.36	161.63	162.59	161.86
速度 (m/min)	3.69	3.71	3.69	3.70

2) 牽引力測定実験

清掃ロボットを連結した場合に各ロボット間に作用する張力についてのデータ収集をおこなうために標準砂上でロボットが空転した場合の牽引力の測定を行った。

実験は水で飽和させた標準砂の上にロボットをロープで拘束し、牽引力測定用のロードセルを介して固定壁に設置した。

実験パラメータとしてクローラフィンの形状3種類および設置間隔3種類の計9種類の組み合わせにより牽引力の測定を行った。

測定結果を表-4に示す。

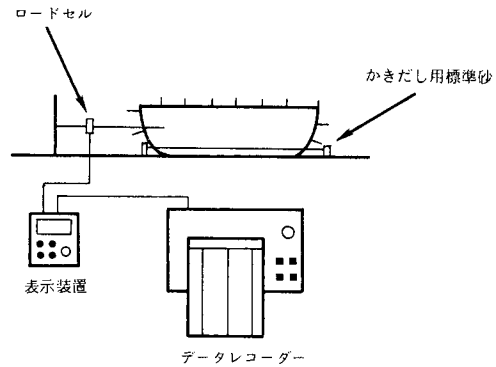


図-2 牽引力測定実験概略図

表-4 牽引力測定結果表

単位: kg

フィン枚数	32枚	16枚	8枚
クローラ形状			
三 角 形 型	27.00	26.89	28.92
両 端 屈 曲 型	26.60	28.71	29.95
直 線 型	28.63	29.46	26.79

本結果は各組合せにおいて牽引力の測定を3回行ない、その平均を求めたものである。各々の組み合わせで有意性のある傾向は見られなかった。

3) 段差乗り越え実験

下水管の継ぎ目等清掃ロボットの走行に障害になると思われる場所を想定して段差乗り越え実験を行った。実験は高さの調整可能な障害物を製作し、乗り越え可能な限界高さの測定を行った。

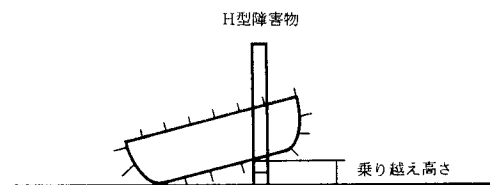


図-5 障害物乗り越え実験概略図

実験の結果、最大乗り越え高さは8cmであった。これより高くなるとロボット模型が障害物に乗り上げ180度回転・転倒してしまうが、複数台が連結した場合は連結ワイヤーにより拘束が生じるので、乗り越え可能高さは高くなるものと考えられる。

4) 噛込み実験

レキ、ガラ等走行環境が悪い場合の土砂の駆動系にあたる影響を調査するために、クローラ内面に標準砂、最大粒径5mmおよび10mm程度のレキを挿入し、走行に与える影響を調査した。

実験結果を次の表-3に示す。

最大粒径10mmまででは問題は生じなかった。

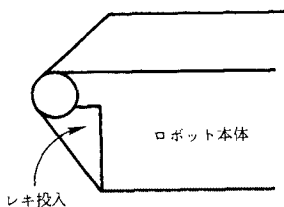


図-6 噛込み実験概略図

表-3 かみこみ結果表

かみこみ物質	走行状態
標準砂	異常なし
砂利(最大粒径5mm)	異常なし
砂利(最大粒径10mm)	異常なし

5) かきだし実験

最適なクローラ形状・配置間隔等を調査するためにクローラのかきだし状態を調査する実験を行った。実験は厚さ4cmの水で飽和した標準砂の上にロボット模型を設置・空転させ、かきだし状態を観察する。かきだしが終了するまでクローラを1/4回転づつ回転させ、それぞれのかきだし量を測定する。

使用するクローラ形状は三角形型、両端屈曲型、直線型の3種類を使用する。

各々の形状につきシューの配置枚数を32枚設置(配置間隔5.6cm)、16枚設置(配置間隔11.2cm)8枚設置(配置間隔22.4cm)した状態でのかきだし状態を観察する。

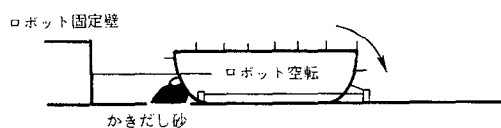


図-7 かきだし実験概略図

各組合せでの1/4回転あたりのかきだし量および終了までの総かきだし量の各組合せによる実験結果に有意性のある傾向は見られなかった。実験結果として、各組合せでの総かきだし量を表に示す。

表-4 かきだし実験結果表

単位:g

フィン枚数	32枚	16枚	8枚
クローラ形状			
三角形型	8,593	8,392	8,163
両端屈曲型	8,511	8,058	8,169
直線型	8,365	8,076	8,316

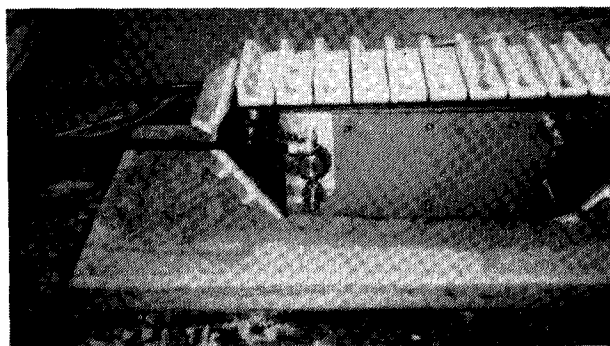


写真-2

6) クローラ耐久性調査実験

クローラ材料として考えられる各材質の摩耗等の耐久性の調査および下水管の摩耗・損傷を調査するためにクローラ耐久性実験を行った。

実験はコンクリート製のU字溝の上にロボットを設置し、一定速度により空転させクローラの摩耗の測定およびU字溝表面の観察を行った。使用材料として、各種材料を検討した結果、各素材の代表的なものとしてアルミニウム、塩化ビニール、デルリン(ポリオキシメチレン)、ゴム(ネオプレンゴム)の4つを選定した。

実験結果(6時間経過後)を表-5に示す。

アルミニウムが最も摩耗量が少なかったが、U字溝に摩擦痕が見られ、削り粉も発生していた。

摩耗量とU字溝との状態から考え、塩化ビニールまたはデルリンが適していると思われる。

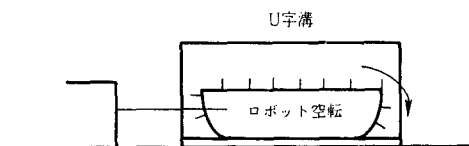


図-8 耐久性実験概略図

表-5 耐久性試験結果

単位: mm

材質	左	右
デルリン	0.11	0.11
塩化ビニール	0.16	0.20
アルミニウム	0.09	0.06
ゴム	0.43	0.33

7) 管路搬出入実験

管路内への搬出入実験を行なった。実験は金属製のガイドレールを製作し、それをモデル管路に設置し、清掃ロボット模型を使用して搬出入実験を行なった。

実験の結果ガイドレール方式により管路内への搬出入が可能であることが確認された。

8) 実験結果まとめ

実験に使用したロボット模型は1/2の縮尺のものであったが、本クローラ構造のロボットが基本的に下水道管渠内の汚泥清掃に有効であることが確認できた。

また、クローラ形状は明確な差はなかったが、実験結果より三角形型が、材質はデルリンまたは塩化ビニールが適していると判断される。

本年度で清掃ロボット単体の構造をほぼ確定し、来年度は清掃ロボットを複数台連結した場合の効率的清掃方法について実験を行いながら検討していく。

(3) 浚渫土砂回収システムの検討

既存の技術でロボットの土砂回収システムとして応用できる可能性の高いものとして、水中連続吸引脱水機がある。その脱水能力、回収粒度は、必要性を満たすものである。しかし、応用にあたっては次の点への考慮が必要であると考えられる。

- 低騒音型への改良が必要である。
- 脱水処理量はロボットの送泥能力との整合が必要となる。
- 補助ポンプを付けない場合に、想定される揚程に対しての吸引力不足が予想される。
- マンホール入口の広さの有効利用および装置のセッティングのしやすさを求めた場合に、ロボット導入用レールと土砂回収システムの吸引ホース等のセット化が必要となると考えられる。

3.3 ロボットの動作環境調査

実際の動作環境に近い状態で実験を行うために、管内土砂と清掃作業の実態を調査した。

(1) 管内土砂

管渠内、及び下水道施設内に堆積している土砂の性状を調査した。その結果は次の様であった。

- 粒度分布は「標準砂」に類似している。
- 含水率は23.43%程度
- 比重は1.86程度

したがって、ロボットによる清掃の対象となる管内土砂の一般的な性状は、標準砂程度の粒度で、粒子間に殆ど水の入る隙間が無いような、締まった状態にあることが分かった。

この結果を受けて、清掃ロボットの模型実験には、標準砂を少量の水で締め固めた状態で使用した。

(2) マンホールについて

清掃作業現場の調査を行い、ロボットの管渠内への設置について、次のことが判明した。

- マンホールと管渠中心軸とが、ずれていると、ロボットをマンホールから管渠内へ入れるときに捻えるようになる。
- 蓋の取付金具や、内部のステップ等がロボットを管渠内へ入れるときの障害となる。
- 作業帯の形によっては、ロボットを搭載した車が、ロボットを管渠内へ送り込める位置に付けないこともある。

4. まとめと今後の課題

4.1 調査ロボット

平成6年度は走行機構の模型を製作し、実験から基本動作を確認した。また、走行機構の仕様に合わせて、調査機器搭載のイメージを明確にした。

今後は、走行機構の模型に改良を加え、ロボットの仕様を確定していく。

4.2 清掃ロボット

今年度は、模型の改良と、改良機による実験を実施し、ロボットユニット単体の仕様を確定した。

今後は、清掃システム全体としての作業効率を検討していく。その過程で必要性があれば、モデル管路実験や実際の管渠を使用した現場実験、ロボットユニットの構造の更なる改良等も考慮していく。

-
- この調査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 |
| 研究第一部主任研究員 | 伊藤 久明 |
| 研究第一部研究員 | 森 正治 |
| 研究第一部研究員 | 高木 克也 |