

下水道管渠維持管理器材 に関する共同研究

1. 研究目的

下水道施設の機能を十分に発揮させるためには、適切な維持管理が必要不可欠である。下水道管渠は、処理施設に下水を送るという重要な役割を担っているものだが、管渠の底には砂や汚泥等の堆積物が沈積しやすい。これらは、下水の流れの妨げとなると共に管渠施設の機能低下につながる恐れがある。また、合流式下水道の場合は、雨天時における公共用水域への流出汚濁負荷量のかかなりの部分を占めている。

本調査は、管渠の日常管理による砂や汚泥の堆積防止のための方法のひとつとして、下水道管渠維持管理器材（以下、クリーニングボールと呼ぶ）を使用した場合の管渠機能維持について実際の下水道管渠及び模擬管渠において試験を行い、その効果を確認し、実用化のための基礎資料の収集、整理を行うことを目的として行ったものである。

2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構と旭テック㈱、管清工業㈱の共同研究により実施した。

3. クリーニングボールの概要

クリーニングボールとは、下水流そのものを利用してボールが管渠内を下流側に移動（転動）する際に、下水の流れをボール周囲で部分的に妨げて周辺流速を上げ、沈殿物を下水流と共に下流へ移送させることにより、管渠の清浄状態を保つ維持管理器材である。

ボールの形状は、図-1に示すとおりであり、鋼板製またはプラスチック製のボール本体に清浄効果を高めるためのゴム片を取り付けた構造となっている。

ボールの種類は、ボール径、ゴム片の高さの組み合わせで12種類あり、ボールの適用管径は、ボール外径の約1.5倍～3倍程度を標準としている。

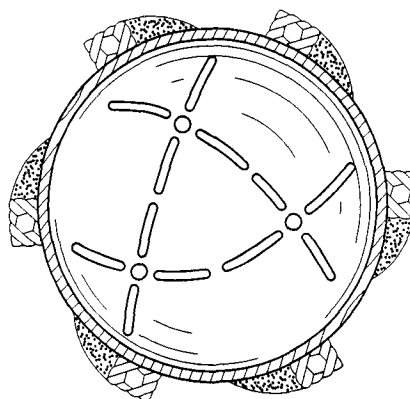


図-1 クリーニングボールの形状

4. 基礎調査

クリーニングボールを日本で実用化する方策を検討するにあたり、本器材が既に実用化されている海外（主にドイツ）での使用実態、また日本における管渠維持管理の実態を調査した。

4.1 海外におけるボールの使用実態

クリーニングボールは、海外全体で見ると、ドイツの11都市、フィンランドの1都市及びイギリスの1都市の計13都市において使用実績があった。またクリーニングボールを所持している団体のボール使用要領を把握するために行ったアンケート調査および現地訪問調査から、海外における下水道管渠の維持管理に対する意識、ボールの使用要領としては、

- ① 下水道管渠の維持管理に係わる罰則規定が存在することもあり、管渠に対する維持管理意識が高い。
- ② 管渠の清掃方法としては高圧洗浄が基本であるが、高圧洗浄では清掃できない（高圧洗浄車が入れない等）ルートにボール清掃を採用している。
- ③ ボールの使用効果については各都市とも概ね満足しており、ボールによる清掃作業を行いやすくするためにマンホールの改造（投入用ウインチの設置、回収用器具の設置等）を実施している都市もある。
という実態が掴めた。

4.2 日本における下水道管渠の維持管理実態

前項では既にクリーニングボールが実用化されている海外の状況を調査したが、日本でボールを実用化する際に考慮すべき下水道管渠の現状や、維持管理実態についても調査を行った。

日本においては、平成7年度で全3,233市町村のうち1,794市町村が下水道を実施しており、下水道実施率は約56%に達している。

また、管渠延長を種別延長で見ると、全延長約250kmのうち約159kmが汚水管であり、約64%を占めている。一方、合流管の延長が50km以上の自治体は4県となっている。

また、全体の管渠延長を管径別で見ると、全延長約249kmのうち、約203kmが径600mm未満の小口径管であり、約82%を占めている。

このように膨大な敷設距離を持つ下水道管渠であるが、管内に沈殿物が堆積すると、表-1に示すように様々な問題が発生すると考えられる。

表-1 管渠内の土砂堆積による問題の整理

原因	問題点		影響
	大項目	小項目	
土砂の堆積	流下能力の低下		上流への水位的悪影響（場合によっては溢水の発生）
		悪臭	周辺地域への公害
	ガスの発生	硫化水素	コンクリートの硫酸性腐食
水質悪化	流下下水		処理場での下水処理への悪影響
		CSO	公共用水域の水質汚濁
		糸状性細菌の増殖	処理場での下水処理への悪影響（バルキング等）

このような問題を起こさないためには、定期的・計画的な管渠の維持管理が重要であると考えられるが、(社)日本下水道管路維持管理業協会、(財)下水道新技術推進機構が行った下水道管渠の維持管理に関するアンケート結果等からは、アンケートを実施した各都市とも事後対策的維持管理しか実施していないという実状が掴めた。この原因としては、維持管理費用や人員の不足、また従来の清掃方法では地上部に広いスペースを必要とするため、作業がどうしても大がかりになってしまうことや、作業環境の悪い管渠内に清掃者が入って作業しなければならない等、現状の管渠維持管理体制に起因する課題があることが推察される。

これらの課題に対処するには、以下のような方針による対応が望まれるが、クリーニングボールの持つ作業の簡便性を考慮すると、クリーニングボールによる管渠維持管理というもの、課題解決に役立つのではないかと考えられる。

- ① より省スペース化・低コスト化を図れる維持管理手法を用いる。
- ② より簡便な方法で管渠維持管理の省力化を図る。
- ③ 管渠内清掃の無人化を図る。

5. クリーニングボールの適用実験

本適用実験は、クリーニングボールの適用性や有用性を確認するために、

- ① クリーニングボールの転動条件の確認
 - ② クリーニングボールの清浄効果の確認
- を実際にボールを転がしてみることで把握し、今後

の実用化へ向けた基礎資料とすることを目的として実施した。

5.1 転動条件確認実験

(1) 実験目的

本実験は、ボールが転がるために必要な管渠内流況（流速・水深等）を把握し、ボールの転動速度を流況、ボール諸元等から導く「ボール速度式」を算定することを目的として行った。

「ボール速度式」を明らかにすることで、今後ボールを実用化する際に当該管渠をボールが転動→流下するか否かを予測することができ、またボールの転動に係わる因子とその影響の程度を、速度式を構成するパラメーターから把握することができる。

(2) 実験方法

実験は、まず人為的に幾つかの流況を作り出せる樹脂製の模擬管渠（管径1,000mmに相当）で管内流速、水深とボールの大きさを变化させた時のボール流下速度を計測してボール速度式を算定し、算定した速度式の妥当性を検証するために、A県B町の実合流管、C県D市の実分流汚水管での流下速度計測結果を当てはめて、最終的なボール速度式を導くという方法で行った。また実験に使用したボールは、外形の異なる4種類を用いた。

図-2 に実験に使用した模擬管渠の模式図を示す。

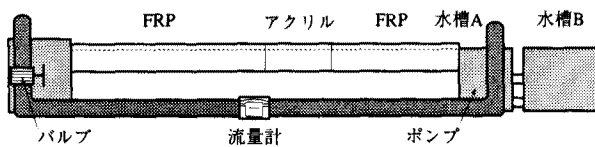


図-2 模擬管渠実験装置

(3) 実験結果

模擬管渠実験から導いた速度式に実管渠のボール速度計測結果を当てはめたところ、計算値と実測値には大きな差が見られた。これは模擬管渠に使用した樹脂管と実管渠のヒューム管の粗度係数の違いに起因するものと考えられたので、両者の粗度係数の比を利用して模擬管渠の速度式に補正を掛けたところ、計算値と実測値がほぼ等しい値となった。

以下に算定したボール速度式、図-3 にA県B町のボール速度実測値と計算値（補正前と後）の比較結果を示す。

$$V = \text{模擬管渠試験速度式} \times \left(\frac{\text{模擬管渠粗度係数}}{\text{実管渠粗度係}} \right)$$

$$= (0.11 \times H - 0.02 \times W + 0.03 \times d - 0.06 \times h + 0.27 \times T - 1.58) \times 0.4$$

ここに、

- V : ボール速度 (m/s)
- H : 水深 (cm)
- W : ボール重さ (kg)
- d : ボール径 (cm)
- h : ボール羽根高さ (cm)
- T : 管渠勾配 (T/1,000)

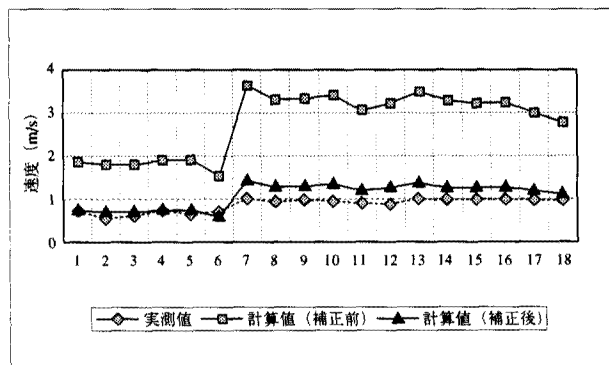


図-3 ボール速度実測値と計算値の関係 (A県B町)

またこの実験からは、ボールが転動するための条件として水深が約20cm以上、流速は約0.45m/s以上という結果が得られ、算定された速度式から判断すると、ボールの転動に作用する要因として、表-2 のような整理ができた。

表-2 ボールの転動に作用する要因

	因 子	係 数
+要因	管渠勾配T/1,000	+0.27
	水深 (cm)	+0.11
	ボール径 (cm)	+0.03
-要因	ボール重さ (kg)	-0.02
	ボール羽根高さ (cm)	-0.06

5.2 清浄効果確認実験

(1) 実験目的

ドイツのハノーバー市では、約2年に亘る清浄効果確認実験を実施してボールの使用効果を確認していたが、日本においても同様の効果が得られるかどうかを検証する目的で、C県D市の実分流污水管を用いてボールの清浄効果確認実験を行った。

(2) 実験方法

実験は、まず対象管渠を高圧洗浄して2ヶ月放置した後の沈殿物堆積厚を測定し、その堆積厚と同じ区間においてボールを2ヶ月間5回/週、引き続き1ヶ月間1回/週使用（ボールの使用開始からは3ヶ月経過後）した場合の堆積厚を比較して、ボールの使用効果（堆積予防効果）を把握するという方法で行った。また使用したボールは、φ600mmの人孔から投入できる最大のボールである外径540mmのものを用いた。

図-4に実験を行ったD市の分流污水管の状況を示す。

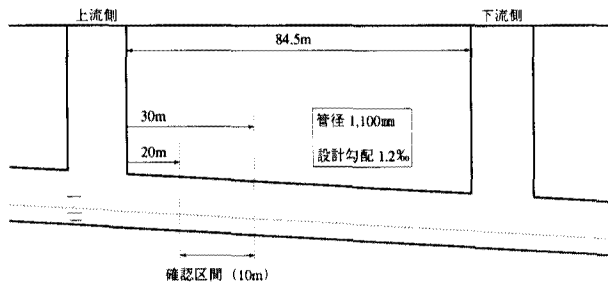


図-4 清浄効果確認実験管渠（C県D市分流污水管）

(3) 実験結果

本実験では、管渠を清掃し2ヶ月放置した後、クリーニングボールを用いて維持管理清掃を行った場合の清浄効果（堆積予防効果）が確認できた。管内の堆積厚の推移状況を図-5に示す。図-5より、以下のようなボール使用効果が見られた。

- ① 管渠を清掃後、クリーニングボールを使用せずに2ヶ月間放置しておく、管渠内には10～30mm程度土砂の堆積が見られた。
- ② クリーニングボールを1日1回で週5回使用すると、堆積物はほとんど見られなくなった。
- ③ 1日1回で週1回のみ使用した場合についての効果の確認を行ったところ、週5回使用した場合に比べて始点から22～24m地点において

5～10mm、30m地点で5mmの堆積物がみられるようになったが、他の区間では堆積物厚が大きくなっておらず、週1回の使用でもある程度の清浄維持効果があることが確認できた。

以上の結果からは、クリーニングボールを使用することで沈殿物の堆積を予防し、管渠を清浄に維持できることが確認できたと考える。なおボールの使用頻度については、今後さらに実験による検証が必要であると思われる。

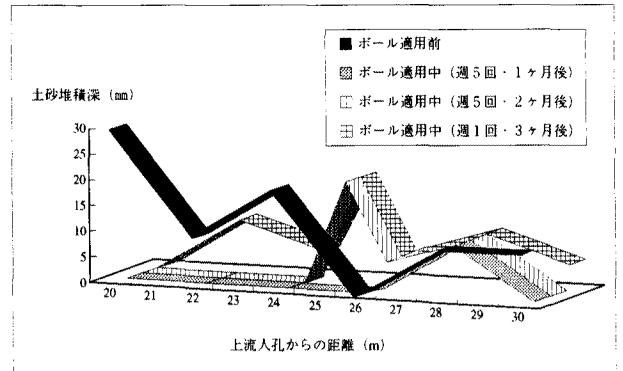


図-5 土砂の堆積状況の推移

6. クリーニングボールの適用範囲の検討

クリーニングボールには、外径と羽根高さの組み合わせで12種類のボールがあるが、その使用にあたっては、適用する管径や管内流況等により、適切なボールを選定する必要がある。今回の研究では必ずしもこれらの適用条件を明らかにすることはできなかったが、既存の文献や適用実験の結果から検討したボールの適用範囲に関する事項を以下のように整理した。

(1) ボール径と適用管径及び投入人孔の大きさ

クリーニングボールは、通常人孔部から投入を行うこととなるため、適用ボールの大きさは人孔の大きさに依存する。日本における通常の人孔は、径がφ600mmであることから、現状では実際に適用できるボールは最大で外径φ540mmのものということになる。

適用ボールの大きさは、海外での使用実績及び国内での試験結果等から概ね管径の1/2～1/3の外径のボールが望ましいとされており、これを踏まえると現状でボールが適用可能な最大の管径は、約1,800mmということになる。

(2) 適用可能な流況

実管路における試験結果から、ボール（ ϕ 600mm）の人孔からそのまま投入出来るボールで一番大きい ϕ 540mmのものを対象とした場合）が転がるためには、概ね水深が20cm以上でかつ流速が0.45 m/s以上の条件が必要であった。

また、文献調査等からは、流速及び水深の適用範囲の上限については、流速で約0.75m/s程度、水深で約0.4m程度という数値が一つの目安として掴めたので、クリーニングボールを適用する流況としては、**図-6**のような範囲が適当であると思われる。

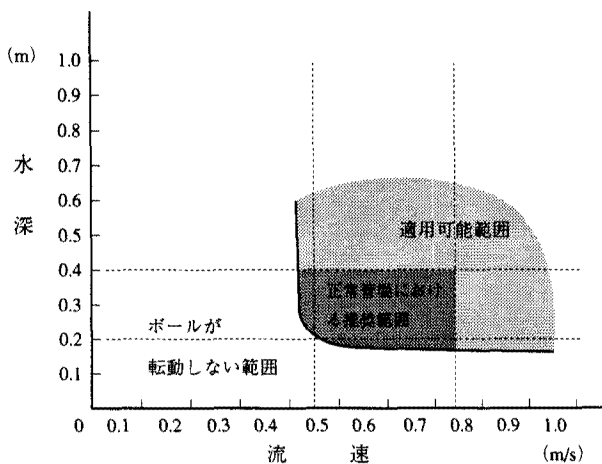


図-6 クリーニングボールの適用可能流況例

(3) 適用頻度

実管路による清浄効果確認実験から、ボールを適用する頻度は、1日に1回で週1～5日程度を目安とすれば良いと判断できる。

(4) 合流式管渠への適用性

合流式下水道の管渠は雨天時の計画流量で管渠断面が設定されているため、晴天時の流量が少ない時には土砂や汚濁物質等が堆積しやすくなる。これらの汚濁物質等は雨天時において掃流され、降雨初期にはいわゆるファーストフラッシュといわれる濃度の高い汚濁物質が雨水吐から公共用水域に放流されることとなる。したがって、晴天時等の流量の少ない時に管内での汚濁物質の堆積を防げれば合流式下水道の越流水対策に寄与できると思われる。

ただし、今回の研究においては、合流式管渠での清浄効果確認実験を実施できなかったため、晴天時の流量が少ない合流管でボールを転動させる

方法等の確立やその効果については、今後の課題である。

7. 作業手順・経済性に関する検討

実管渠での適用実験を基にして、クリーニングボールを適用する際の作業手順や経済性について、検討を行った。

(1) 作業手順に関する検討

クリーニングボールは、適用対象管渠の上流部人孔からボールを投入し、下流部の適当な人孔（またはポンプ場の流入スクリーン等）で回収すれば良いだけなので、非常に安全、かつ簡便な維持管理器材である。

ボールの投入・回収はボールに「ひも」を繋いで人孔から上げ・降ろす方法のほか、ドイツ等では専用のウインチでボールを投入し、専用スクリーンで回収しているところもある。また将来的には自動で投入・回収を行える装置の考案も考えられる。

作業の安全性については、基本的に作業人員が管渠内に入らずに全ての作業が行えるので、管渠内に滞留したガスなどに対する対策も、必要最小限に止めることができる。

(2) 経済性に関する検討

クリーニングボールの経済性に関する検討として、現在用いられている既存の清掃方法とクリーニングボールによる清掃方法にかかるコストを試算して比較することを試みた。今回設定した試算の条件を以下に示す。

・費用比較の対象とした清掃手法

- ① 高圧洗浄車による清掃
- ② 吸引車による清掃
- ③ バケツ清掃(ウインチ使用)
- ④ クリーニングボールによる維持清掃

・費用比較条件の想定

- ① 対象管径800mmとする。
- ② 高圧洗浄車による清掃、吸引車による清掃、バケツ清掃については、清掃頻度を1年に1回とした。一方、クリーニングボールによる維持清掃は、週5回として算出した。
- ③ 清掃管渠延長は、300mとした。
- ④ 土砂深は、管径に対して15%とした。
- ⑤ 1日当たりの作業量は、下水道施設維持管理積算要領（管路施設編）（1993年(社)日本下水道協会）に示されている値を参考にした。

- ⑥ 清掃土砂量は、下水道施設維持管理積算要領（管路施設編）（1993年）（社）日本下水道協会）に示されている値を参考にした。
- ⑦ 各費用単価は、下水道施設維持管理積算要領（管路施設編）（1993年）（社）日本下水道協会）に示されている値及び管渠清掃業者へのヒアリングにより設定した。また、クリーニングボールについては、週5回使用した場合5年で償却されるものと想定した。

上記の設定条件に基づくコストの試算結果を、**図-7**に示す。この結果からは、週5回の使用においても、クリーニングボールによる清掃が他の清掃方法と比較して、約1/2程度の費用になるという結果となった。

8. おわりに

汚水を適切に処理して公共用水域へ帰すために

は、発生源から確実に収集し、かつ移送することが大前提である。そのためには下水道管渠そのものに対する関心を高める必要があるが、日本における下水道関連の研究は、汚水処理・汚泥処理に関するものに偏っており、また下水道施設の維持管理に対する意識も「処理」に偏っているというのが現状であろう。

これは膨大な敷設距離を持つ下水道管渠を維持・管理するための予算の不足や人員の不足に起因するものと考えられ、これからは意識の改革とともに、手法そのものの改革も考えていかななくてはならない。

本研究からは、管渠を流下する下水流によってクリーニングボールを転動・流下させることができれば、管渠内の沈殿物堆積予防効果が望めることが分かった。今回の研究だけでは、その期間や実験距離が短く、またボールの適用条件に関する検討も十分ではないが、本器材の持つ簡便性・安全性に着目し、今後も十分な検討を行うことで、下水道管渠の維持管理に貢献できるものとする。

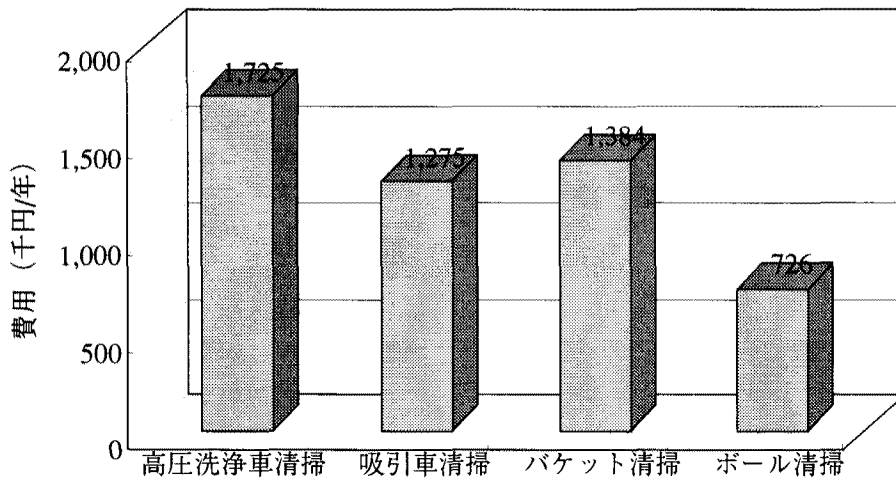


図-7 各清掃手法の費用比較

●この研究に関する問い合わせは 研究第二部長 前田 正博
 研究第二部主任研究員 佐伯 守久
 研究第二部研究員 永松 真一