

水道管路内の流速向上技術による夾雑物移送工法の開発

Development of Impurities Transport Method by Increasing Flow Velocity in Water Pipes

小仲正純* 富田直岐* 畑中哲夫*

Masazumi Konaka, Naoki Tomita, Tetsuo Hatanaka

送配水管路には、経年劣化や布設替工事等に起因して、錆や砂等の夾雑物が混入してしまうことがある。これらの対策として、水道事業者では主に消火栓を利用した排水作業等により計画的な洗管が実施されている。しかし、口径の大きい管路(口径 ϕ 200以上)では、消火栓を開けるだけでは夾雑物を流すほどの流速が得られないため、比重の大きい夾雑物(土砂、錆等)の排出は困難であることが問題となっている。本研究は、消火栓から排水を行っても流速を上げられない配水管路(口径 ϕ 200~350)に存在する夾雑物を効率的に除去する方法を検討することを目的とし、流速向上装置“パラシュート”を管内に挿入して夾雑物を移送・排除する工法について、その有効性を検討した。

Impurities such as rust and sand may infiltrate water pipes of transmission or distribution mains because of aging degradation of the pipes or when replacing pipes. As a corrective measure, water supply authorities are systematically flushing and draining the lines using fire hydrants. However, in large diameter pipelines (ϕ 200 and larger diameters), it is difficult to remove impurities because the flow velocity created in the pipe by fire hydrant water pressure is insufficient for carrying away impurities. The purpose of this study is to examine methods of removing impurities from distribution mains (ϕ 200 to ϕ 350 diameters) in which the flow velocity is insufficient for transporting impurities by draining with fire hydrant water pressure. The efficiency of transporting and removing impurities by the way of a flow velocity increaser called “Parachute” that is inserted in pipes was examined.

1. 諸言

送配水管路には、経年劣化や布設替工事等に起因して、錆や砂等の夾雑物が混入してしまうことがある。これらを除去するために、現在事業者では計画的な排水洗管を行っているが、その方法は既存の消火栓から排水と同時に夾雑物を排出するものであり、多量の排水が必要であるなどの理由から、効率的な排出方法の開発が求められている。

このような背景から、消火栓からの効率的な排水方法として、適切な排水量と排水時間との関係を実験により求め、データに基づいた排水作業方法が提案されている。しかし、口径の大きい管路(ϕ 200以上)では、比重の大きい夾雑物(土砂、錆等)を流せるだけの流速を得られないため、消火栓を開けるだけでは夾雑物の排出が困難であることが明らかとなった。

本研究の内容は、管路内に挿入したパラシュートが水流を受けて開くことにより通水断面積を小さくさせ、その結果局部的に高まった流速を利用し、通常断面の流速では移送できない夾雑物を移送・排出する工法の開発に関するものである。

2. 流速向上技術とは

2.1 流速向上技術の原理

図1に管内イメージを示す。土砂・錆など比重の大きい夾雑物は管内に沈降した状態で存在し、一定以上の流

速がないと流れないことが明らかとなっている。現在までに行われている研究結果では、粒径4~5mm程度の砂を流すためには $V=0.6$ m/s以上の管内流速が少なくとも必要であることが確認されている。

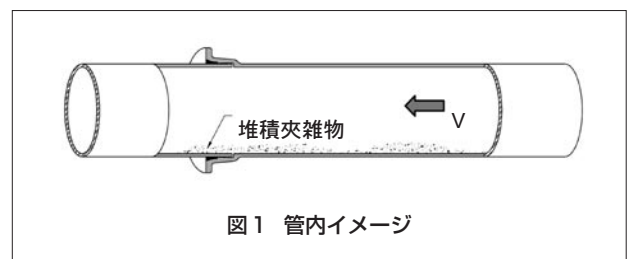


図1 管内イメージ

本実験では、上記のような管路における夾雑物の移送・排出を効率的・効果的に行う手段として、管内で水流を受けて開いたパラシュートにより通水断面積を小さくすることで局部的に流速を上げ、この掃流力を利用して夾雑物の移送を試みるものである。

図2にパラシュート挿入時の管内流速状況を示す。

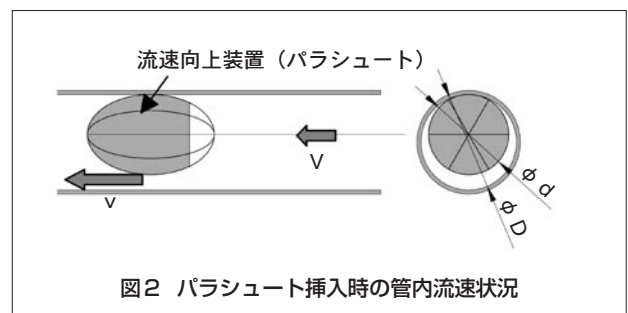


図2 パラシュート挿入時の管内流速状況

* 鉄管事業部 鉄管研究部

図2は、通常断面での流速Vに対し通水断面積を縮小させることでv(>V)に流速を高めている時の状況を示す。

Vとvの関係は管内径とパラシュート外周径を用いて以下のようになる。

パラシュートによる通水断面積の閉塞率Sは次式で表される。

$$S = \frac{\pi d^2/4}{\pi D^2/4} = \frac{d^2}{D^2} \quad \dots\dots\dots ①$$

通常断面の流速Vと断面縮小箇所の流速vは連続の式から以下のようになる。

$$\frac{\pi D^2}{4} V = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) v$$

$$D^2 \cdot V = (D^2 - d^2) v$$

$$v = \frac{D^2}{D^2 - d^2} V = \frac{1}{1 - d^2/D^2} V$$

$$v = \frac{1}{1 - S} V \quad \dots\dots\dots ②$$

②式の関係に基づき、断面縮小箇所の流速を夾雑物が移送を開始するための流速(0.6 m/s以上)に高める。

管内でパラシュートが開いた時のパラシュート周辺部に発生する流況変化の予測手段として、FEM解析を行ったので管軸方向の流速分布を図3に示す。

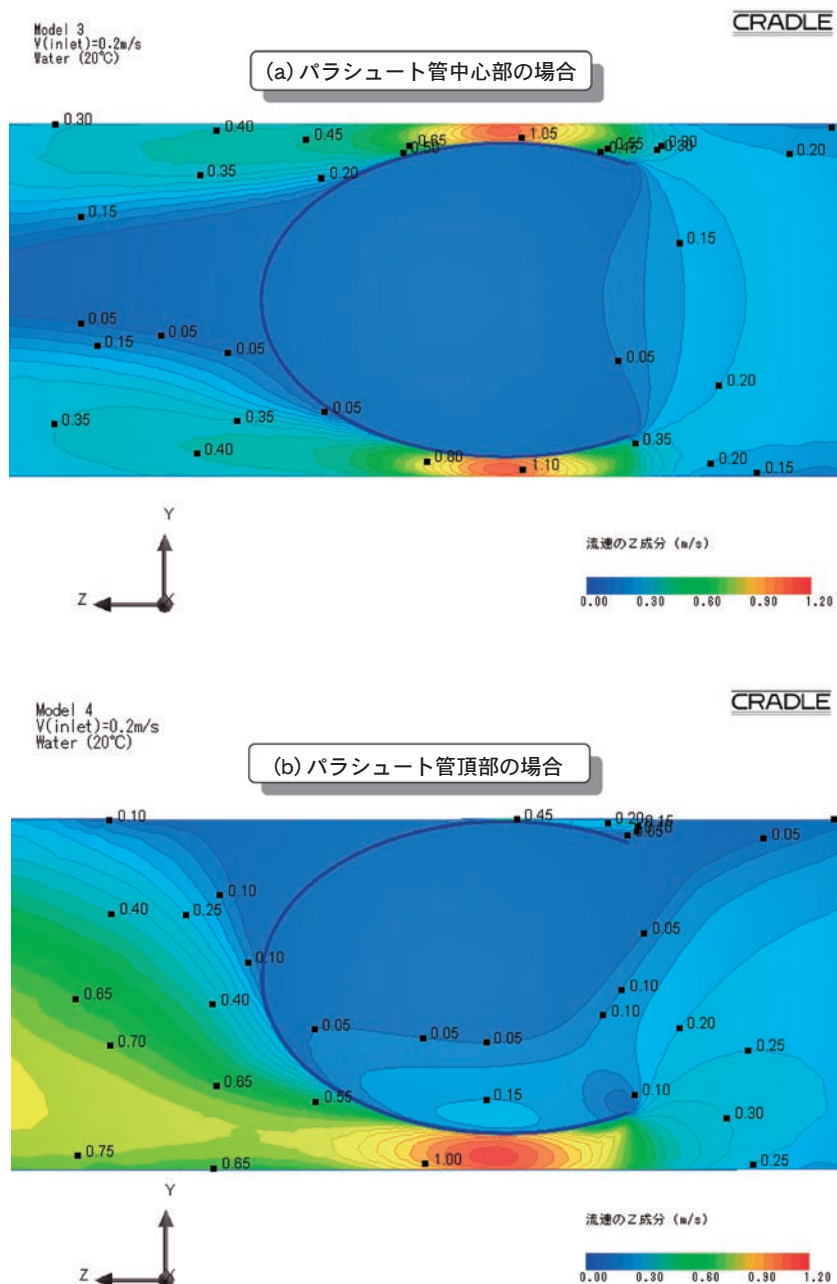


図3 管軸方向流速分布

パラシュートは管内で水流の抵抗を受け様々な挙動を示すため、解析モデルはパラシュートの位置が管中心部の条件(a)、管頂側の条件(b)の2通りについて行った。パラシュートは、流速を与えた管路中に存在する曲面を有した剛体として表現し解析を行った。

解析条件は以下の通りである。

<解析条件>

- a) 口径：φ200
- b) 本管流速：0.2 m/s
- c) 閉塞率： $S \approx 0.8$ (約5倍に流速向上)

パラシュート位置が管頂部にある条件(b)において、管底側でパラシュート前方の広範囲で流速が高まっていることから、主に管底を移動するような比重の大きい砂・鏽等の夾雑物に対し移送効果は高くなると予想できる。

2.2 夾雑物移送工法の概要

a) 構成

図4に夾雑物移送工法の概要図を示す。図4に示すように、夾雑物移送区間を挟む2ヶ所の既存消火栓施設を利用し、上流側からパラシュートを挿入する。下流側では夾雑物(沈降物)を効果的に排出するために、挿入式の排出ノズルを設置し、パラシュートにより運ばれた夾雑物を管底から排出する。

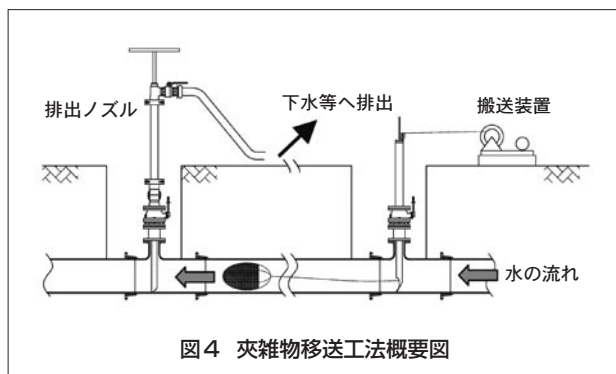


図4 夾雑物移送工法概要図

b) 作用

本工法において、管内に挿入されたパラシュートは、配水管のバルブを開くと水流抵抗を受けて開き、下流側へ流れようとする。この状態から、搬送装置とパラシュートを結ぶラインの送り出し速度を、管内流速よりも遅い速度となるように搬送装置(電気制御)で調節しながら送り出す。こうすることによりパラシュートは開いた状態を保持しつつ送り出され、夾雑物を排出ノズルへ移送させることができる(図5)。

c) パラシュートの特徴

図6にパラシュートの主要構成部品図を示す。

パラシュートは既設消火栓からの挿入および回収を容易に行うことを目的とし、柔軟性のある構造となっている。主な構成部品は図6に示す通りであり、水質衛生面



図5 夾雑物移送状況

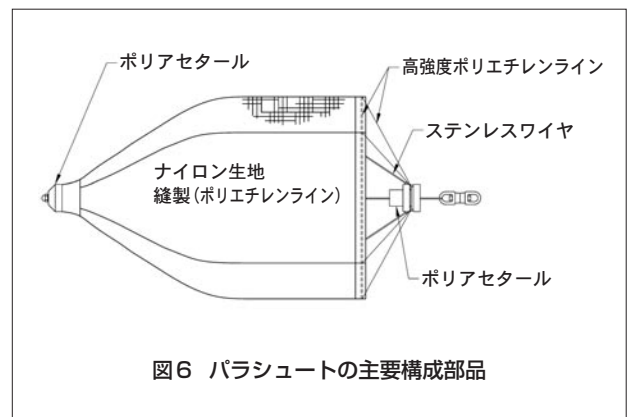


図6 パラシュートの主要構成部品

を考慮した材料を使用している。

構造は、パラシュートの前後端部でポリアセタール製の治具で結合されたステンレスワイヤによって骨が形成され、ナイロン生地を裁断・縫製したものを取り付けている。また、パラシュートの後方側は、ナイロン生地が水流により捲り上がらないように、高強度ポリエチレンラインを後端部のポリアセタール製の結合治具に結線している。こうすることによりパラシュートが開いた時の形状を安定させている。

d) 仕様

以下にパラシュートの仕様を列記する。

- 1) 適用口径：φ200～φ350
各口径対応のパラシュートを準備
- 2) 必要流速： $V = 0.2$ m/s以上

3. 実験管路を用いた夾雑物排出実験

3.1 実験条件

カーブ、上げ越し部を含むφ350の実験管路(図7)延長約30mを夾雑物移送区間とし、パラシュートによる夾雑物移送効果を確認するため、通常では夾雑物が動かない範囲の流速で実験を行った。実験条件を表1に示す。

なお、パラシュートは閉塞率 $S \approx 0.75$ (式①)で設計し、パラシュート周辺部の流速を約4倍に向上させた。



図7 実験管路 (φ350)

表1 実験条件

呼び径 (mm)	流速 V (m/s)	試料投入量 (g)	パラシュート移動速度
φ 350	0.20	1,000	詳細は設定せず、実験結果より適時設定した。
	0.23		
	0.26		

3.2 実験結果

実験結果を図8に示す。

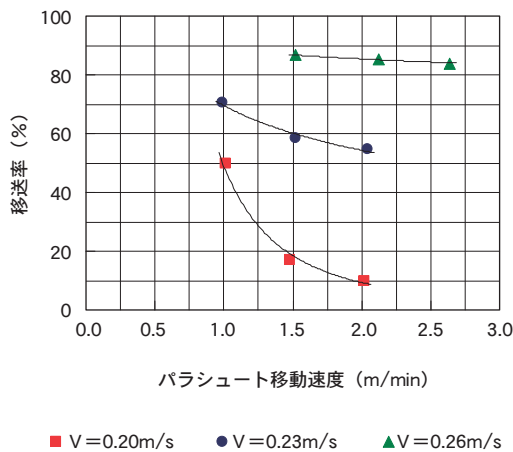


図8 パラシュート移動速度と夾雑物移送率

実験結果より、通常0.20～0.26 m/sの流速では動かない夾雑物(移送率0%)が、本装置を用いる事で移送可能となり、本工法の有効性を確認する事ができた。

各条件において、搬送装置で移動させるパラシュートの移動速度は、低い値に設定した方がより効果的である。これは、夾雑物の移動速度より速い速度でパラシュートを移動させると、パラシュートが夾雑物を追い越し、夾雑物の取り残しが生じるためである。

但し、パラシュートの移動速度を低く設定すると、夾雑物の移送作業に費やす時間の増大を招くため、最適な

設定方法とは一概に言えない。実管路への適用に当たっては、作業工程(断水時間)を考慮に入れた上で、各現場に適した速度設定を検討する事が大切である。

4. 実管路調査

4.1 実管路調査結果

実管路への適用を検討するため、事業者指導の下、計8ヶ所の実管路で特に本工法の作業性について調査を行った。実管路における本工法の作業結果を表2に示す。

表2 調査結果

管路 No.	呼び径	延長	備考	作業結果*
M1	φ 200	130m 強		△
M2	φ 200	170m 強	山形勾配	×
M3	φ 200	80m 強	勾配	○
M4	φ 200	80m 強		○
M5	φ 200	160m 強		△
M6	φ 200	90m 弱		△
M7	φ 200	150m 弱	勾配	○
M8	φ 200	100m 弱		×

*作業結果…○：適用化/△：装置の改良で適用可/×：適用不可

実管路による調査の結果、8ヶ所中3ヶ所で適用可能であり、全工程を完了する事ができた。M1、6では、パラシュートの回収に時間を要し、その方法に改善が求められた。また、M5では既設の補修弁の型式が古く、それに対応するために装置類の寸法変更が要求された。適用不可であったM2は、山形勾配の管路であり、必然的に発生する管内水の充排水作業に費やす時間が膨大であり、断水時間にも制限があるため本工法に作業時間を割くことができなかった。またM8では、パラシュート挿入箇所であるT字管部で管内面の錆が激しく、パラシュートを挿入・発進するに至らなかった。



図9 実管路調査状況

4.2 実管路への適用に向けて

実管路での調査結果より、本工法を実管路に適用するには依然として問題点を抱えている事が明確となった。調査で見出された装置の問題点の中でも、特に懸念される装置の安全性(特にラインの強度)はユーザ側からも多く問われる点であり、以下に述べる実験および安全装置の付加により対処した。

a) ラインの強度

実験管路(φ350)を用いて、パラシュートが管内の水流を受けて開いた時、ラインに作用する張力を測定した(図10)。

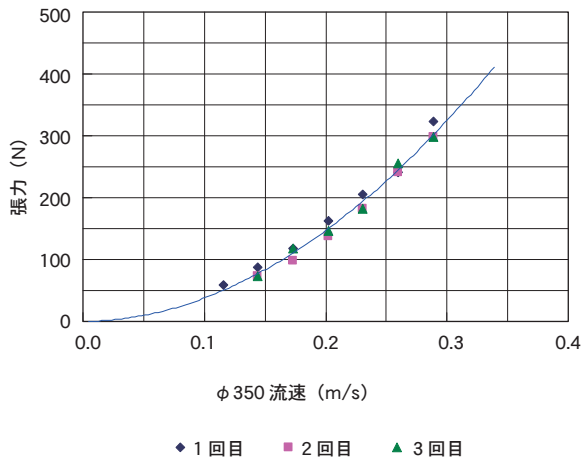



図10 流量とライン張力の関係

本工法は、パラシュートにより流速を4倍程度向上させることから、概ね0.2~0.3 m/sの流速範囲で用いられる。従って、図10からラインに作用する張力は概ね400 N (40 kgf) に満たない程度と予想できる。本実験結果を踏まえ、当初使用していたラインより引張強さが高いものに変更し安全性を高めた。表3に変更したパラシュート用ラインの仕様を示す。

表3 パラシュート用ライン

材質	芯糸	ケブラー 29	
	側糸	ポリエステル	
線径	2.8mm		
引張強さ*	4,500N (450kgf)		
破断伸度	6.5%		

*本工法ではラインに結び目ができるため、結節強度(結び目の強さ)として引張強さの40%の1,800N(180kgf)で検討を行う。

その他、本工法ではラインが管内に擦りつけられて移動することから、摩耗によるラインの強度劣化等についても実験を行い確認している。(図11,12)

b) 安全装置

実管路における作業では、断水時間範囲内で作業を行わなければならないこともあり、例えば装置の誤操作などにより予想外の張力がラインに作用することも考えら

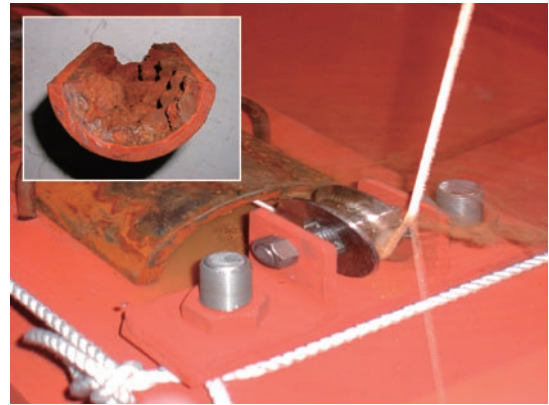
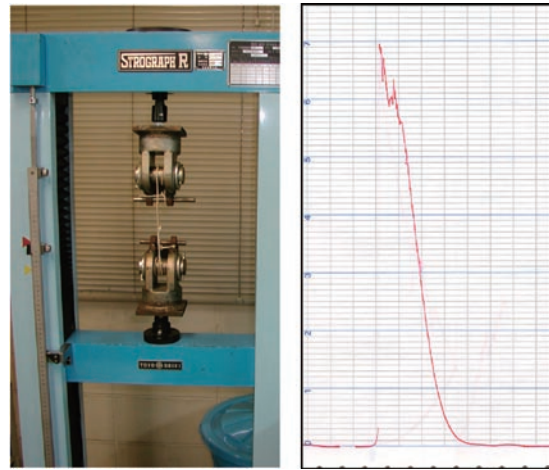


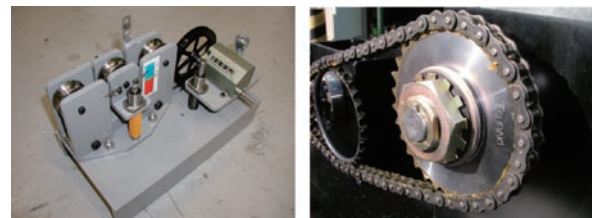
図11 摩耗実験状況



(a) 引張試験機 (b) 出力チャート (24.5N/目)

図12 引張試験状況

れる。そこで本装置では、前項で述べたラインの強度増強と摩耗に対する耐久性確認に加え、図13に示すような張力測定装置による作業中の張力管理と、ラインに必要以上の張力を作用させないように張力解放機構(リミッタ)をパラシュート搬送装置に付加し安全性を高めた。



(a) 張力測定装置 (b) 張力解放機構

図13 安全装置

これらの改良および付加装置の性能については、実管路を想定した埋設部を含む実験管路を新たに構築し、実証実験を行い、作業性・安全性共に向上していることが認められている

5. 結言

近年、厚生労働省が水道ビジョンを策定し、水道事業の将来における施策が示された。また、日本水道協会規格として水道事業ガイドラインが制定され、各事業者では地域ビジョン策定の下、様々な課題に対してより一層の取組みがなされている。今後、「おいしい水」を届けることは勿論のこと、有効率・有収率の向上あるいは環境問題といった点にも着眼し、多様なニーズに対応できる技術を提案し続けることが本テーマの課題であると考え

る。本報では、水道管内の夾雑物対策技術の一つとして、流速向上技術の基礎実験から実用化に向けた検討課題について報告した。本報が水道事業の課題解決に対する一助になれば幸いである。

謝辞

本工法の開発に際し、東京都水道局殿および東京水道サービス株式会社殿にご指導・ご助言・立会など多大なるご協力を賜りました。ここに記して謝辞といたします。

執筆者

小仲正純

Masazumi Konaka

平成12年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



富田直岐

Naoki Tomita

平成4年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



畑中哲夫

Tetsuo Hatanaka

平成8年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事

技術士(上下水道部門)

