

定断面圧力円管水路における軟質球状ピグの挙動と水流への影響

宇都宮大学 学生会員 ○佐野 凌汰

宇都宮大学地域デザイン科学部 正会員 山岡 暁, 中里建設株式会社 中里 聡

1. 背景と目的

近年, 日本国内では水道管の老朽化対策として, 管内の洗浄に関する様々な工法が開発されている. 中でも特殊なウレタン製ボール(ピグ)を利用した工法は, 物理的な摩擦力による洗浄力を維持しつつ, 圧縮復元特性により閉塞のリスクが低く, 加えて土木工事や切管等の管断工事が不要なため, 効果・経済性・安全性に優れた水道管洗浄工法として注目されている. しかし, ピグの特性に関する研究は僅かで, 管内での流速や挙動, 流れへの影響は十分に分かっていない.

そこで本研究では, 定断面円管圧力管水路内のピグ速度計測実験の結果から, 水とピグとの間に流速差がどの程度生じるのかを検証し, 併せて管内流れのPIV計測を行い, 流況及びピグの挙動を観察する. また, 以上の結果をもとに, ピグ速度と挙動や管内の流れとの関係を考察する. また, 本研究によりピグ洗浄工法の技術向上に貢献することを目的とする.

2. ピグ速度計測実験

(1) 概要

水道管内に設定した流量の水を圧送し, 水中にピグを投入. ピグが一定の区間を通過する時間を計測する. 以上により, 計測した通過時間からピグの速度を算出し, 計算から求めた水の流速との差を求める.

(2) 計測条件

管種はダクトイル鋳鉄管(モルタルライニング)及び塩化ビニル管の2種, 管外径はいずれも100mm. 設定流量は240, 470, 710L/min(流速では0.5, 1.0, 1.5m/s)の3条件, ピグ外径は110, 160, 210mmの3条件とし, 以上を掛け合わせた計18ケースの計測を行う. 計測区間は23mとし, 各ケース5回ずつ計測し平均を取る.

(3) 計測結果

所定区間の通過時間は, 水流に対してピグが1.72~12.73s 遅いという結果になった. 各ケースの, 水に対するピグの流速比を図1に示す. Q470のシリーズが最も

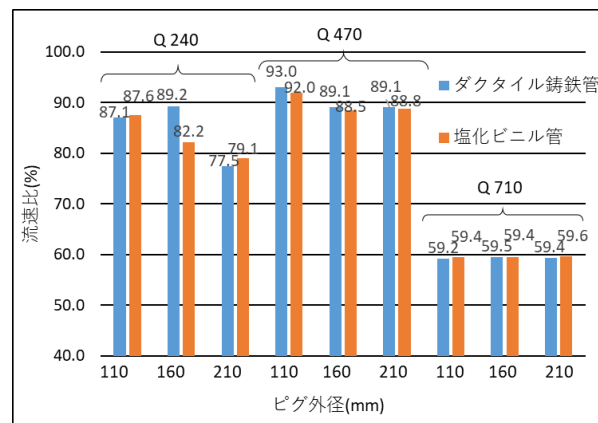


図1 計算値と実測値の流速比

比が大きく約90%, Q710のシリーズが最も比が小さく, 約60%となった.

Q240, 470のシリーズに着目すると, 流量が少なく, またピグ外径が大きいほど, 流速比が小さくなる(流速差が大きくなる)傾向がみられる. しかし, Q710のシリーズでは前述の傾向がみられず, 他のシリーズに比べ流速比も小さくなった. これは, ピグが管の継手部分で一瞬停止し, 再度前進するというような不連続な挙動をとったためだと考えられる. また, 管種の違いによる流速比の違いはほとんどみられなかった.

3. 圧力管内流れのPIV計測実験

(1) 概要

定断面圧力円管水路にピグを流下させ, ピグの前後の流れを管側面から高速度カメラで撮影し, 撮影した粒子画像やPIV解析による流速分布の結果から, 管内でのピグの詳細な挙動や流況を観察する.

(2) 計測方法及び条件

トレーサ粒子(ナイロン12製)を十分に含ませた水をエンジンポンプで管内に循環させ, 計測対象範囲に管上部からレーザー光を照射し, 光の反射で可視化された粒子を管側面から高速度カメラ(Photron FASTCAM SA3)で撮影する. ピグは流れの上流から流下させ, 観測点を通過する前後5~10秒間撮影を行う. 管種は透明アクリル管で管径は100mm.

キーワード 上下水道, 水道管洗浄, 圧力管, ピグ, PIV

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学 TEL. 028-689-6223 E-mail: r169315@cc.utsunomiya-u.ac.jp

実験ケースは、実験装置及び解析の関係上、次の 6 ケースとした(表 1)。

表 1 PIV 実験ケース

ケース	流量(L/min)	ピグ内径(mm)	撮影間隔(fps)
1	100	無	250
2	100	130	250
3	100	160	250
4	200	無	500
5	200	130	500
6	200	160	500

(3) 計測結果

前項の 6 ケースについて粒子画像を撮影した。(図 2)

ケース 2, 3, 6 に関して、ピグが前進しながら円弧状に振動している様子が確認できた。振動数はそれぞれ、11.36Hz, 16.7Hz, 100Hz で、振幅は大きい順にケース 2, 3, 6 となり、振動数が多いほど振幅は小さくなった。この振動は、ピグと壁面

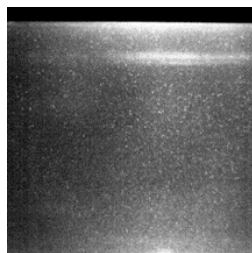


図 2 撮影した
粒子画像例
(ケース 1)

との摩擦が原因と考えられる。また、ピグ前方の管上下部(特に下部)において、ピグの振動によるものと考えられる、管の中心に向かって巻き上がる微小な流れの発生を確認した。ピグ後方では、いずれのケースについても流れに大きな乱れは確認されなかった。

(4) 解析ツール

流速ベクトル解析は Dantec Dynamics 社の Dynamic Studio を用いて行い、コンター図作成は、エスネクスト(株)の Graph-R を用いた。

(5) 解析結果

まず、解析精度の検証として、ピグ無のケース 1.4 について、流速分布の理論値と実験値を比較した結果を示す(図 3)。なお、管内流速の理論値の計算は、円管内乱流の流速分布を表す次の対数式を用いた。

$$\text{流速: } u = u_{max} + 2.5u^* \ln \frac{x}{r_0}$$

ここで、最大流速: $u_{max} = \bar{u}/0.817$, 平均流速: $\bar{u}$

摩擦速度: $u^* = \sqrt{\tau_w/\rho}$, 壁面せん断力: τ_w

管摩擦係数: $f = 0.027$, 水温 10℃

ケース 1, 4 共に、部分的に 0.5~1.0m/s の流速差が生じているが、理論値と実験値との決定係数 R^2 は 1 に近いため、PIV 解析の精度は概ね高いと考える。

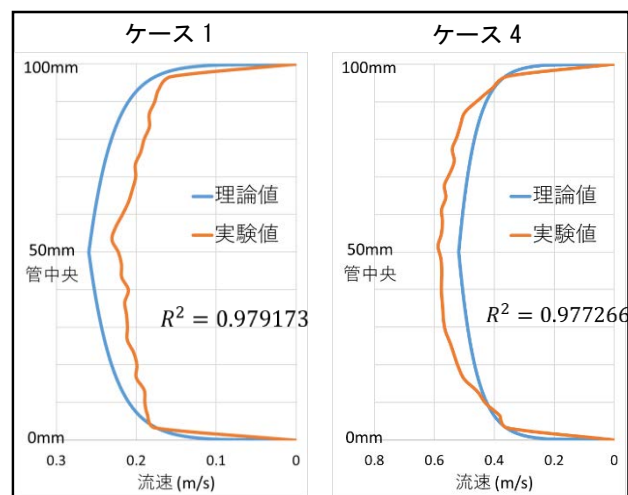


図 3 流速分布理論値との比較

ピグ有のケース 2, 3, 5, 6 の解析結果では、ピグの振動が確認できたケース 2, 3, 6 のピグ表面付近において、振動に伴う流れの発生を確認した。また、ピグ前方において、ピグの振動が原因と推測される流れの、鉛直方向の速度成分を僅かだが確認した。

4. まとめ

主な考察は以下のとおりである。

- ・ 圧力管内において、ピグと水には流速差が生じ、その差は水の流速及びピグ径に起因している可能性が高い。
- ・ ピグは前進しながら円弧状に振動しており、それが原因と考えられる流れがピグ表面及びピグ前方において発生している。この振動は、ピグと管壁面との摩擦が原因と考えられる。
- ・ 以上より、ピグは管壁面との摩擦の影響を大きく受けており、水との流速差も摩擦により生じている可能性が高い。

5. 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- ・ ピグ流下時に圧力計測を行い、ピグ無のケースと比較した圧力上昇分から、ピグの動摩擦係数の推計を行う。
- ・ 実験条件を変更してさらに多くの実験データを得て、傾向を分析する。
- ・ PIV 計測に関して、流速分布のより詳細な検討を行うため、撮影環境や解析精度を向上させる。

参考文献

- 1) 杉山弘編著(2012)『明解入門 流体力学』森北出版(株)
- 2) 玉井信行・有田正光編著(2014-2017)『大学土木 水理学(改訂 2 版)』オーム社
- 3) 水谷夏樹・鈴木武(2005) ”波動場計測における可視化技術について” 国土技術政策総合研究所資料, 第 259 号