

水道管内における軟質球状ピグの流速とその要因分析

宇都宮大学 学生会員 ○島崎 湧馬 , 宇都宮大学 正会員 山岡 暁
宇都宮大学 学生会員 佐野 凌汰 , 中里建設株式会社 中里 聡

1. 背景と目的

近年, 国内外において水質劣化が顕在化しており, 水道管の更新等の再整備が必要である. その対策として, 様々な管内の洗浄工法が開発されている中に, ウレタン製ボール (ピグ) を用いた工法がある¹⁾. 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, ピグに関して圧縮強度や洗浄能力などの基礎的なデータは既往研究により明らかになっているが, タイプの異なるピグの流速や摩擦力, 透水性, 洗浄力の限界などは十分に解明されていない.

そこで本研究では, ピグ洗浄工法の洗浄時間予測や必要流量計算の精度向上のために, 国内最大規模の屋外水理実験場にてピグ速度を計測・分析し, その要因を考察する.

2. 計測方法

現在ピグ工法で使用されているピグは, ボールの表面全体を特殊塗料でコーティングした A タイプ (密度 0.018g/cm^3) と, それよりも塗布量が33%少ない B タイプ (密度 0.030g/cm^3) の2種類が開発されている. なお, 現状ではどちらのピグを用いて洗浄を行うのか, 明確な基準は定められていない.

実際に埋設された水道管を模した水路を図1のように構築してポンプにより圧力水を通水させ, ピグが発射されてから圧力計①と②に到達するまでの時間を手動で計測する. 水路には流量計を設置し, データロガーで記録する. 排出口のバルブをある程度締めて急縮状態にし, 実際の管路の圧力状態 (800mの摩擦損失水頭に相当) を再現する.



図1 実験モデル (両タイプ共通)

3. 計測条件

両タイプ共通の管種は透明塩ビ管である. 既往研究により, 管種の違いによる流速の違いはほとんどないことが分かっている. 管内径は呼び径 100mm (実測値 103mm), 設定流量は 240, 470, 710L/min (流速で 0.5, 1.0, 1.5m/s) の3条件, 計測区間は 22m である.

使用したピグの直径は, A タイプは 110, 160, 210, 280mm, B タイプは 120, 150, 170, 210 (一部) mm であり, 以上を掛け合わせて A タイプ 12 ケース, B タイプ 11 ケースをそれぞれ計測する. 各ケース 3 回ずつ計測し, 平均をとる.

4. 計測結果および考察

いずれのケースも水よりもピグの方が遅く流れる結果になった. A タイプでは $Q=240(\text{L/min})$, ピグ径 160mm のケースで最も差が大きく 12.8%, $Q=470(\text{L/min})$, ピグ径 280mm のケースで最も差が小さく 2.2%だった. B タイプでは $Q=240(\text{L/min})$, ピグ径 120mm のケースで最も差が大きく 33.0%, $Q=710(\text{L/min})$, ピグ径 210mm のケースで最も差小さく, 8.2%だった.

キーワード 上下水道, 水道管洗浄, 管内流速, ピグ, 粗度

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:r189323@cc.utsunomiya-u.ac.jp

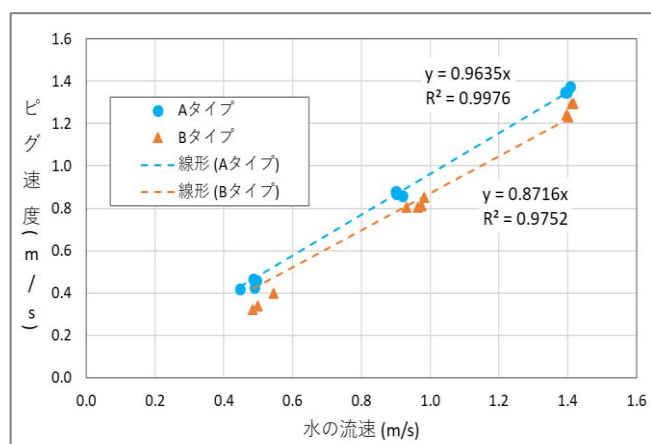


図2 水の流速とピグ速度の相関図

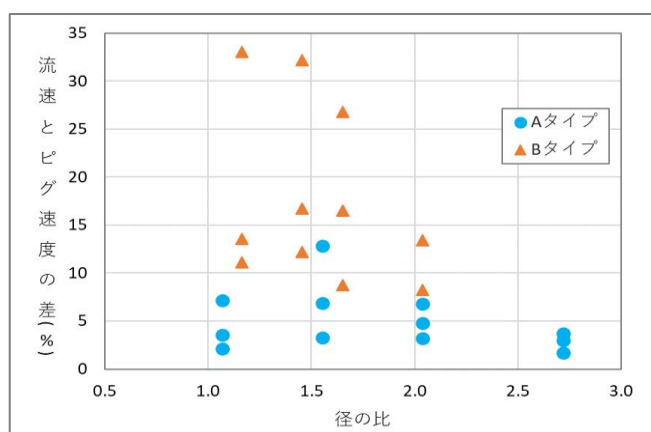


図3 径の比による流速とピグ速度の差

水とピグの流速差は流量（流速）が小さいほどバラツキが大きくなり、流量（流速）が大きいほど差が縮まる傾向になった。Aタイプでは流速とピグ速度の差は10%以内であるケースがほとんどで大差なかった。一方でBタイプでは、流量やピグ径の違いによって差が大きくなる場合があることが分かった。

図2に水の流速とピグ速度の相関図を示す。両タイプともに強い正の相関が見られた。近似直線式から、Aタイプのピグ速度は3.7%、Bタイプのピグ速度は12.8%、それぞれ水に対して遅く流れることがわかった。

図3に径の比による流速とピグ速度の差の比較を示す。「径の比」はピグ径/管径で計算したもので、管に対してピグがどの程度大きいのかを表す。流速とピグ速度の差はピグ径が小さいほどバラツキが大きくなる傾向になった。

以上の結果は、ピグの摩擦や透水性の違いに起因すると推察される。一般に、径の比が大きい場合、管壁とピグの接着面積が大きくなるために摩擦力が増

大し、水よりも遅く流れると予測されていた。しかし、摩擦の影響よりも、径が大きいピグほど管内で圧縮されて内部が密になる（透水性が低下する）ために、ピグが受ける水圧の影響の方が大きくなったと考えられる。タイプに注目すると、BタイプはAタイプに比べて塗装面積が少なく表面が粗い（表面の凹凸が大きく空隙が多い）ことによって摩擦力が相対的に大きくなるために、流速が減少したと考えられる。

5. ピグの粗度

(1) 概要

ピグ洗浄は管内径より大きい直径のピグを管内に投入することで、ピグ自体の圧縮・復元性による摩擦力を利用しているため、その摩擦力がピグ速度や洗浄力に直接影響を及ぼすと考えられる。したがって、ピグを水とみなし、マニング式の流速にピグ速度を代入してピグと塩ビ管との粗度係数として、ピグ自体の表面の粗さを数値化した。その際に用いる動水勾配を算出するためには、計測区間両端の差圧が必要となるので、その計測値を有するAタイプを対象とした。

(2) 計算結果及び考察

その粗度係数は最小値 0.010、最大値 0.016、平均値 0.013 であり、水と塩ビ管の粗度係数の標準値 0.01 よりも 30%大きい（粗い）ことがわかった。また、最小値は塩化ビニル管の標準値、最大値はコンクリートでライニングした水路やレンガ積・モルタル仕上げした暗きょの標準値と、それぞれ同程度の表面粗さであった。

6. まとめ

管内流れにおいて、水とピグには流速差が生じ、その差は水の流速及びピグと管壁との摩擦に加えてピグの透水性に起因し、水の流速によらず一定の比率の差が生じた。また、ピグの種類によっても流速差が生じる。ピグ（Aタイプ）を水とみなしたときの塩ビ管との粗度係数は、水と塩ビ管との粗度係数よりも30%大きかった。今後はピグの透水性や洗浄力を定量化することが課題である。

参考文献

- 1) 中里建設株式会社ホームページ：アクアピグ工法
URL : <https://aquapig.jp/>
- 2) 二瓶泰雄・宮本仁志・横山勝英・仲吉信人著『土木の基礎固め 水理学』講談社