

安全な水道水を供給するための水道管内洗浄技術の実験的検証

研究代表者 社会基盤デザイン学科教授 山岡 暁
 研究協力者 社会基盤デザイン学科助教 飯村 耕介, 同学科4年 佐野 凌汰, 中里建設株式会社 中里 聡

背景

◆ 日本の水道事情

近年国内では、水道管の老朽化が進んでおり、管内の汚れによる赤水などの水質被害や給水力の低下などが問題となっている。しかし、老朽化した水道管の更新作業は進んでおらず、早急な対策が求められている。



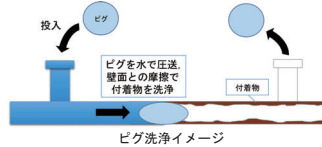
付着物により汚れた水道管内

◆ ピグによる水道管洗浄工法

水道管老朽化への対策として、夾雑物により汚れた水道管の内壁を洗浄する様々な工法が開発されており、その中でも、中里建設(株)が開発した特殊な軟質球状ピグによる洗浄工法は、効果・安全性・経済性に優れた水道管洗浄工法として注目されている。



特殊ウレタン製ピグ



ピグ洗浄イメージ

ピグは表面にシリコンコーティングが施された特殊ウレタン製ボールで、適度な弾力性と透水性を有している。夾雑物により汚れた水道管内にピグを投入し、水で圧送することで、管壁面に付着した汚れを摩擦力によって、スポンジで強くふき取るように洗浄する。

◆ ピグ洗浄工法の課題

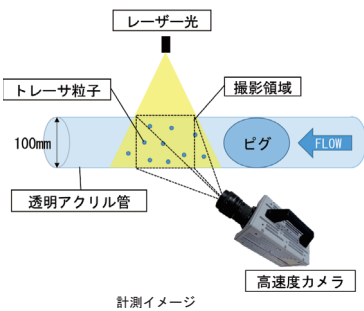
今後水道管洗浄の需要は高まり、分岐管を含むなど、より複雑な管路での洗浄が増加することが予想される。よって、洗浄精度を向上させる必要がある。そのためにはピグの特性について詳細な知識を有する必要がある。しかし、ピグに関して、圧縮強度や引張強度、洗浄能力などの基礎的なデータは既往の研究により得られているが、管内での挙動や流れへの影響についてなど、水理学的特性に関しては十分な検討が行われていない。

↓
 圧力管内流れのPIV計測を行い、圧力管内におけるピグの挙動や水流への影響を明らかにすることを目的とする

実験方法

◆ 計測方法

トレーサ粒子を十分に混濁させた水を貯水槽に溜め、水槽内の水をエンジンポンプで管内に循環させる。その後、撮影領域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トレーサ粒子を管側面から高速度カメラで撮影する。ピグは流れ上流から流下させ、観測範囲を通過する前後5~10秒間撮影を行う。管種は透明アクリル管で内径は100mm。



計測イメージ

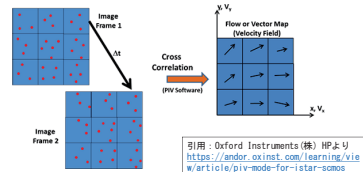
◆ 実験条件

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

※ケース1, 4は解析精度の検証のために設定

◆ PIV (粒子画像流速測定法) とは

PIVは、流れ場における多点の瞬時速度を非接触で得ることができる流体計測法である。流体に追従する粒子にレーザーシートを照射し可視化、これをカメラで撮影しフレーム間の微小時間Δtにおける粒子の変位ベクトルΔxを画像処理により求め、流体の局所速度ベクトル $v = \Delta x / \Delta t$ を算出する。

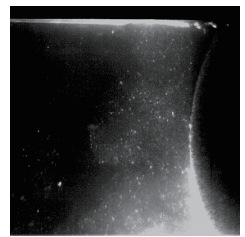


引用: Oxford Instruments(株) HPより
<https://andor.oxinst.com/learning/view/article/piv-mode-for-istar-somos>

結果と考察

◆ 計測結果 (粒子画像)

撮影した粒子画像の例として、ケース2のピグ前方部分を示す。



粒子画像例 ケース2 ピグ前方

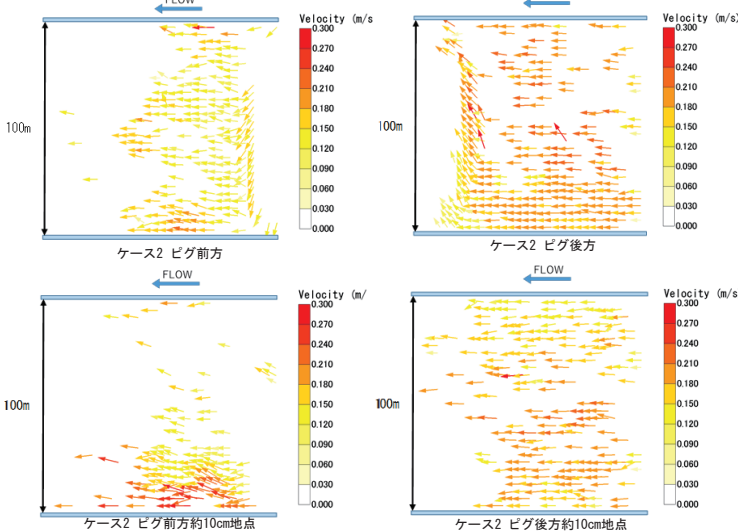
ケース2, 3, 6において、ピグが進行しながら、円弧状に振動する様子が確認された。振動数はそれぞれ11, 36, 16, 7, 100Hzとなり、振幅は大きい順にケース2, 3, 6となった。

↓
 ピグの直径及び流量によって、振動の発生仕方が変化している。

また、ケース2, 3において、ピグの振動に伴う管の中心に巻き上がる流れの発生を確認。

◆ 解析結果 (流速分布図)

代表してケース2の流速分布図を示す。

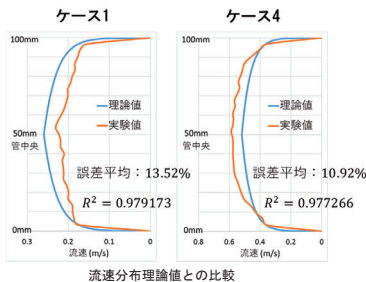


(ピグ前方)
 ピグの振動の振幅が大きかった。ケース2, 3において、ピグの表面で方向が周期的に上下に変化する速度ベクトルの発生を確認。また、ピグ前方約20cmまでの範囲で、鉛直方向の速度成分の発生を確認。

↓
 ピグの振動によって発生した流れの速度成分だと考えられる。

(ピグ後方)
 ピグ表面で方向が上下に変化する速度ベクトルの発生を確認したが、それ以外については流れの変化は確認されなかった。

◆ 解析精度の検証

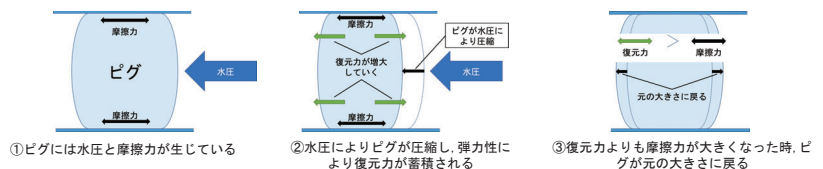


流速分布理論値との比較

流速分布理論値と実験値との比較の結果、ケース1とケース4の誤差平均は約10%、決定係数 R^2 は1に近い値となったため、流速解析の精度は概ね高いと考える。

◆ ピグの振動についての考察 (発生メカニズム)

ケース2, 3, 6で発生した、ピグの円弧状の振動の発生メカニズムについての考察を右に示す。



まとめ

圧力管内流れのPIV計測実験により、以下のことが明らかとなった。

- ピグは一定条件下において、円弧状に振動する
- ピグ表面及び前方約20cmまでの範囲で、振動に伴う流れが発生する

以上より

- ピグが水流に与える影響の範囲は、ピグ近傍であると考えられる
- ピグの振動は、管内壁との摩擦力和ピグの持つ復元力により生じていると考えられ、ピグの流下速度や洗浄効果に影響を与えている可能性がある