

超音波による点検口から測る流入汚水量の 測定装置の開発について

岩手県浄化槽検査センター 国生 紀

1. はじめに

流量計と言うと、原水ポンプなどの配管途中などに取り付け測定するものが一般的である。ところが一般家庭の流入管渠ではほとんどが自然流下であるため、今までの流量計では測定が出来なかった。

しかし、日常の検査業務で流入管渠の点検口を観察していると、目視では流入の有無がはっきりと確認できる。もし個々の排水の流入パターンが大まかにでも把握できれば、保守点検や法定検査などの際に水質低下の原因やタイマー設定などの参考になることから、これを連続して計測する方法の開発は非常に有用と考えられる。

そこで超音波を利用し、自然流下の管路でも流量が測定できるように、第1に設置されている点検口から1組のセンサーで流入水の水位を確実に測定出来ることの確認を行い、第2にセンサーを前後に2組配置し、流入形状の特性を利用しその先頭が検出される時間差から流速を求めることで、流入汚水量の連続測定を試みた。

2. 超音波による水位の測定原理

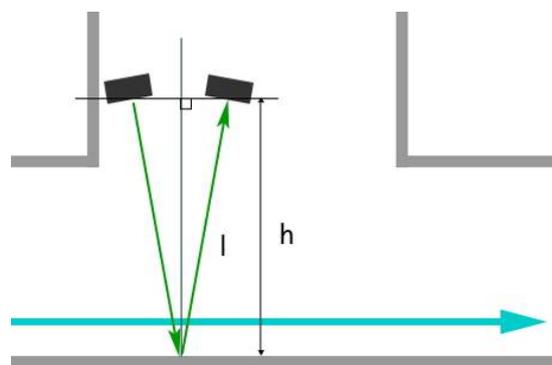


図 2-1 原理図

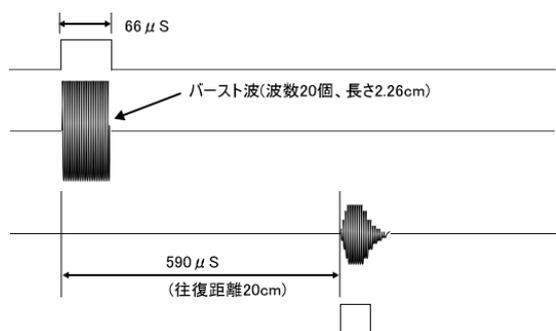


図 2-2 超音波のイメージ

今回の測定では超音波が水面に反射する性質を利用し、発信した超音波が反射して戻ってくるまでの時間を計測して水位を求める。

超音波の往復にかかる時間を t 、超音波の伝播速度を v とすると、往復距離 l は $l = vt$ [m] であるが、今回のセンサーは 10° 傾斜しているため、水面までの距離 h はおよそ

$$h = \frac{l}{2} \cdot \cos 10^\circ = \frac{vt}{2} \cos 10^\circ \text{ [m]}$$

で求められる(図 2-1)。

ここで通常の超音波距離計はミリ秒単位で計測をするが、今回の計測は非常に近距離であるため、マイクロ秒単位で計測する必要がある。

今回の実験では 66μ 秒の制御パルスにより波数 20 個、長さ 2.26cm の超音波バースト波が送信され、約 590μ 秒後に反射波が戻ってくる計算になる(図 2-2)。

3. 流量の計算方法

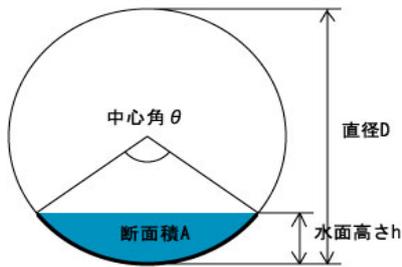


図 3-1 配管断面

流入汚水量を計算するためには、刻々と変化する流水の断面積と流速を知る必要がある。

$$Q = A \cdot V \quad [m^3 / s] \quad A \text{ は断面積}[m^2]、V \text{ は流速}[m/s]$$

ここで、断面積 A は図 3-1 のように水位から求められるが、流速 V に関しては、流水の先頭部分が 2 つのセンサーを横切る時の時間差を計測して求めている。

なお、配管内の流水は摩擦抵抗と粘性の影響を受けるため、壁面近くの流速は遅く、中央部の流速は早くなる傾向がある。その結果、流水の先頭部分は図 3-2 に示すように水滴を横にしたような形状を取ることが多い。このことから、今回の流速の計測にはこの水流の先頭部分で急激な水位の変化が見られる特性を利用している。

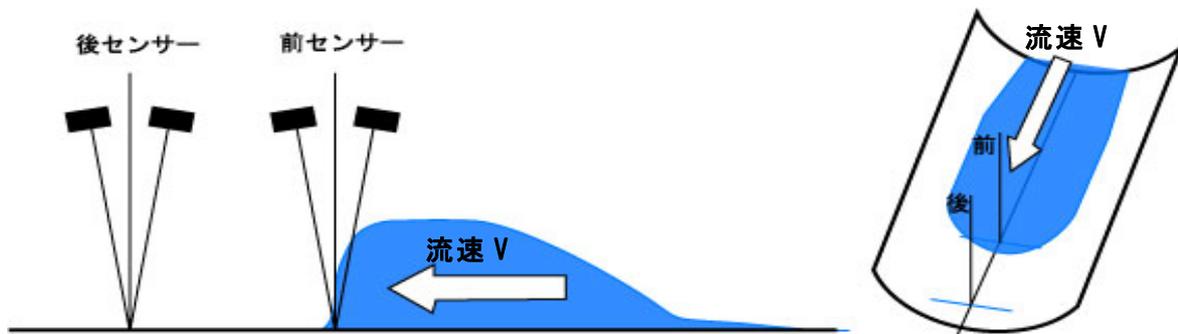


図 3-2 流速測定イメージ

4. 測定装置の概要

測定は図 4-1 のように配管の点検口に超音波センサーを設置し水位を測定する。センサーは送受信 2 つで 1 組であり、そのセンサーを 10cm 間隔を置いて水流方向の前後に配置するため、合計 4 つのセンサーで構成されている。

また、流入水の詳細な変化を捉えるためサンプリングは 1 秒間に 100 回とし、マイクロコンピュータで演算した測定結果をシリアルデータにしパソコンに送信している。パソコン側では受信したデータを基に各数値を計算し画面に表示すると共に、csv 形式でデータを記録している(図 4-2)。

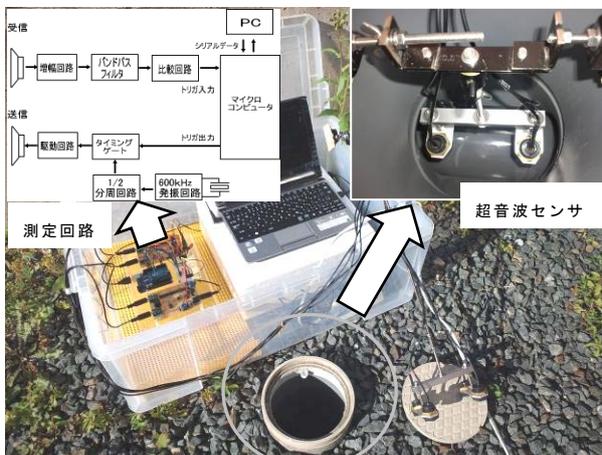


図 4-1 測定装置

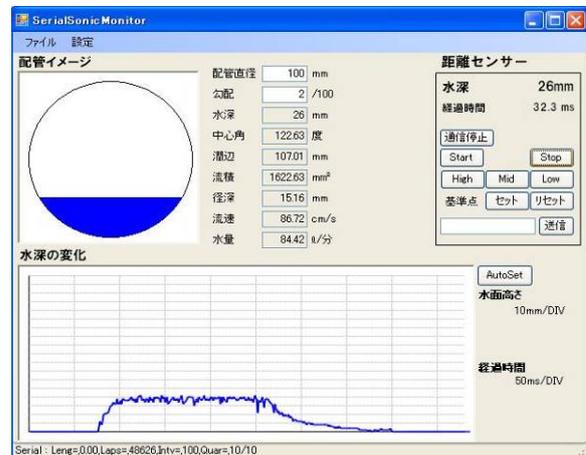


図 4-2 データの取り込み

5. 測定結果

(1) 水位の測定

初めに、1組のセンサーによる水位の測定を24時間実施した例を図5-1に示す。①は風呂の張り水がオーバーフローしその後に栓を抜いた時の状況、②はトイレ及びシャワー排水、③は風呂排水、④は洗濯排水、⑤はトイレ排水、⑥はトイレ及び台所排水である。それぞれのパターンに特徴がみられ、管路内の水位の詳細な変化が記録されている。

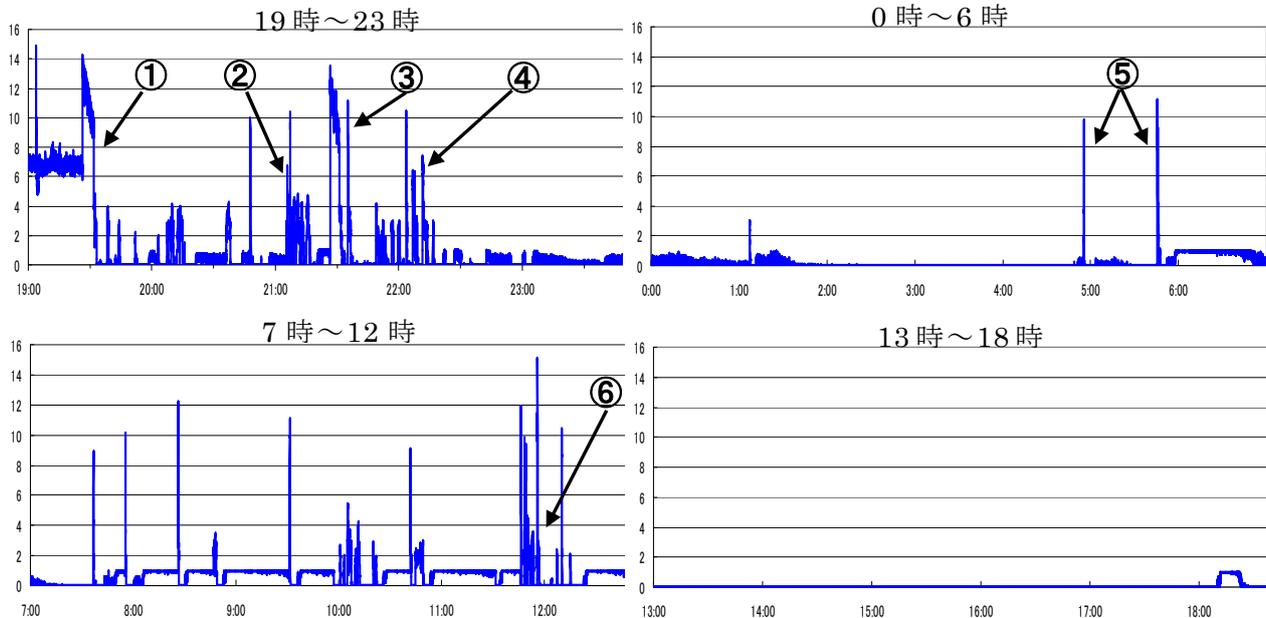


図 5-1 24 時間測定結果

ここで、図5-1の左下7時～12時のデータに1mmほどの連続した水面データが現れている。排水が終わりしばらくすると現れる特徴を持つこのデータは、夾雑物など何らかのきっかけでセンサー直下の配管底部に水たまりが発生したものである。

また、図5-2は風呂排水の部分拡大したものであるが、浴槽の水位の低下に伴い排水量が減少するため、配管内の水位が徐々に低下しているのが分かる。

ここで、測定した水位の正確さを検証するため既知の風呂の容積220Lを排出時間中(4分40秒)に測定された水位から求められる断面積の総和で割ってみると、平均流速はおおよそ1.6 m/sと算出された。このように水位の測定は、ほぼ実用レベルの結果が得られていると推察される。

また、水位を測る距離計としての精度は図5-3に示すように、JIS1級の定規との相関係数が0.9968と良好な値が得られた。

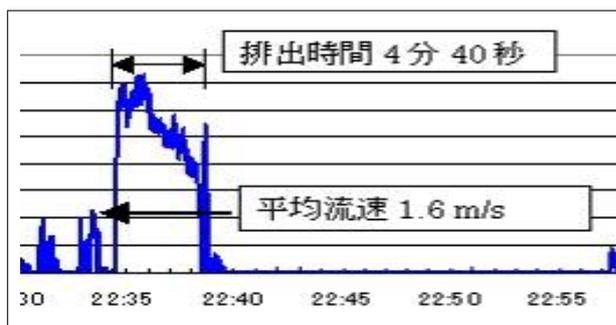


図 5-2 風呂排水の拡大図

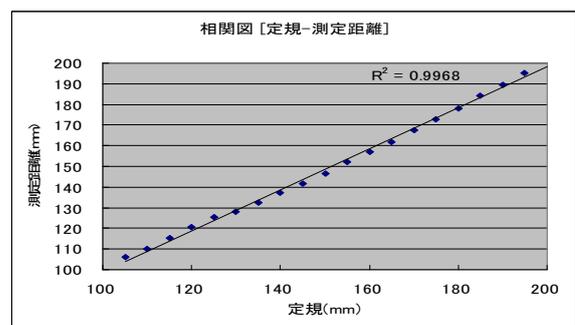


図 5-3 距離計の精度

(2) 流速の測定

流速を求めるには前後2組のセンサーによる時間差の検出が必要だが、この場合明らかな水位の変化部分がないとその差の検出ができない。そのため、検出には図3-2に示したとおり水流の先頭部分の水位が急激に変化する特性を利用している。

実際の配管に水を流した測定例を図6-1に示す。この場合も先頭部分の急激な水位の変化が検出されており、後センサーが時間を置いて追従していることが分かる。前後センサーの時間差は109～144[ms]の範囲であり、センサーの間隔は10[cm]であるから、流速はおおよそ0.69～0.92[m/s]と考えられる。

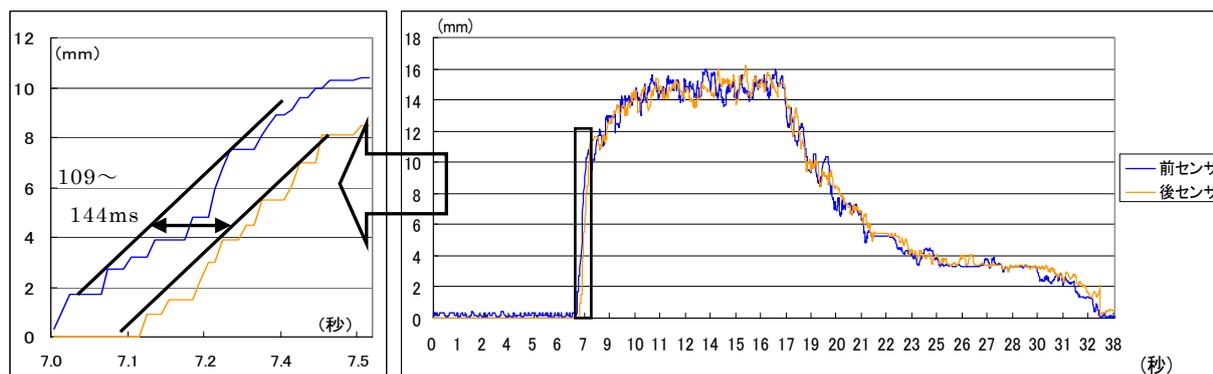


図 6-1 測定値の詳細

ここで、測定された水位から断面積を求め、流速との積から水量の総和を求める。

図6-2に示すように配管内を通過した水の体積は単位時間ごとの断面積に流速を乗じたものの総和であるから、流入汚水量は、

$$Q(m^3) = \sum_{i=1}^n A_i(m^2) \times V(m/sec) \times \Delta t(sec)$$

$$V = 0.69 \sim 0.92(m/sec), \Delta t = 0.01(sec)$$

で求められる。

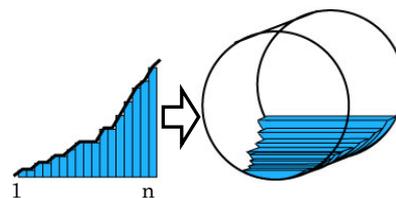


図 6-2 水量の総和

この数式を基に計算すると、配管内を通過した水の体積は6.37～8.49Lと求められる。ここで、配管に流した水の実測値は約6.7Lであった。

以上のことから、流速の測定に関してはデータが不足しておりまだ実用レベルに達していないものの、今後データを収集し様々な手法を活用することで流速の精度を高められれば、流入汚水量の測定装置として使用できる可能性は高いものと思われる。

ところで、図6-1右の測定グラフを見てみると、流入のピークが過ぎても前後センサーに時間差の発生によるデータの開きが見られない。これは流入の初めから終わりまで流速に大きな変化がないことを示している。生活排水のほとんどは瞬間的に発生する非定常流であり、前後の流水の影響はほとんどないものと考えられる。また現在の塩ビ製配管の摩擦抵抗は非常に少ないことを考えると、流水を支配しているのは粘性と表面張力、空気抵抗、そして重力加速度となる。仮定ではあるが、配管内で瞬間的に流れる水は一つの水塊として配管内を転がるボールのような挙動を示すのではないかと考えられる。

この仮定が実証できれば、流速の初速度は水量を計算する場合の代表値として十分使用できることになり、流入汚水量の測定装置としての有用性がさらに高まるものと思われる。

7. まとめ

今回の開発では、超音波を利用して配管内の水位の変化を詳細に捉えることが可能であり、排水パターンの把握には十分実用的であることが分かった。また水位の連続測定により、配管内の流入水の先頭が特徴的な形状を持つことが確認でき、そしてその性質から流入水の初速度から流入汚水量の推定が可能であることを示すことができたと思う。ただし流速の測定に関しては今後実用レベルに達することが目標であり、下記に示すような方法で実現可能と思われる。

① 流速検出プログラムの最適化

流水中の水位を超音波で測定する際には水面の乱反射によるデータの欠損が必ず発生するため、現状の 10cm 間隔の前後センサーでは計測値のばらつきが無視できない。今後精度を上げるためにはサンプリング数を増やしデータ欠損の補間法を導入すると共に、水位変化のパターン認識をすることで、よりの確な流速を算出できると考えている。併せて超音波の受信感度調整、発信周波数の最適化、送受信センサーの角度調整などにより、測定装置としての総合的な性能を高めていくことが必要である。

② 定常流・小水量時の流速検出

検出プログラムの改良によりある程度の改善は見込めるが、基本的に今回の方法で流速を検出するためには明確な水位の変化が必要であり、水位が一定である定常流や、管底を表面張力で這うように進む僅かな流れには対応が難しい。このように物理的に直接検出が難しい状況に対しては中・大水量時の流速から近似直線を求め、計算式により間接的に流速を推定する方法(定常流の場合、同じ場所では水位と流速は一定の関係がある)も考えられる。

最後に、家庭排水のような非定常流下で点検口から流入汚水量を直接測定する方法は、次のような活用が可能と思われる。

① 水質改善の基礎資料としての活用

個々の排水のパターンを把握することにより、浄化槽内で起きている様々な事象の裏づけの資料として活用する。

② 浄化槽の省エネ化

流入量や流入時間に応じてブローを制御し、消費電力を低減する。

③ 浄化槽の高機能化

排水パターンを学習し、逆洗時間の設定を自動化する

排水パターンの把握から定量ポンプの移送水量を制御し、滞留時間を最大限にとる排水の流入を感知すると同時に担体の流動部を静置させ、ろ過機能を持たせる

8. 参考資料

「携帯型ゲーム機用魚群探知機を利用した汚泥界面の測定」

稲村成昭 著 日本環境整備教育センター 発行

「水理学演習」

有田正光 著 東京電機大学出版局 発行

「基礎から学ぶ流体力学」

飯田明由 著 オーム社 発行