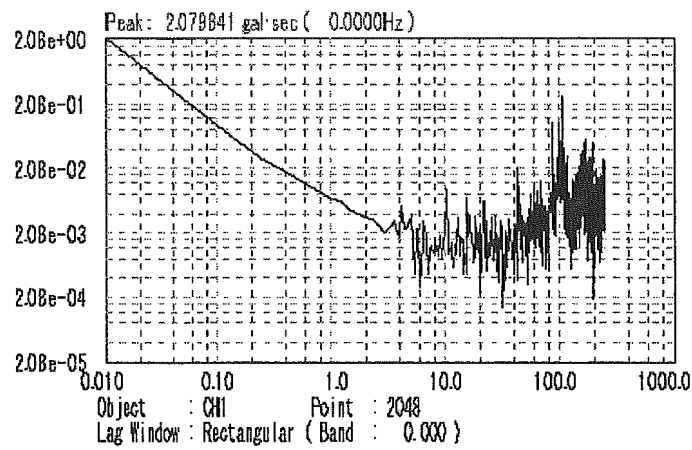
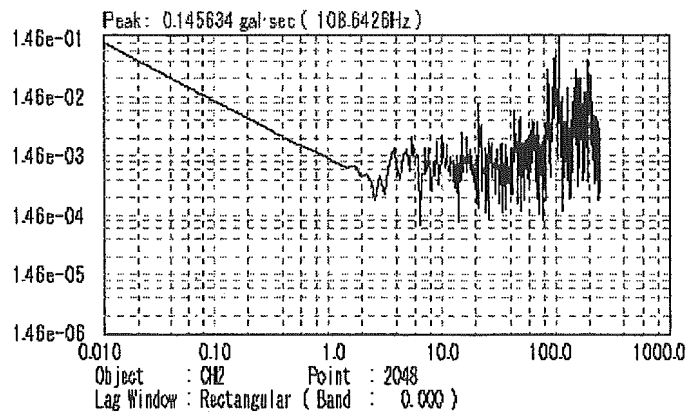


(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)

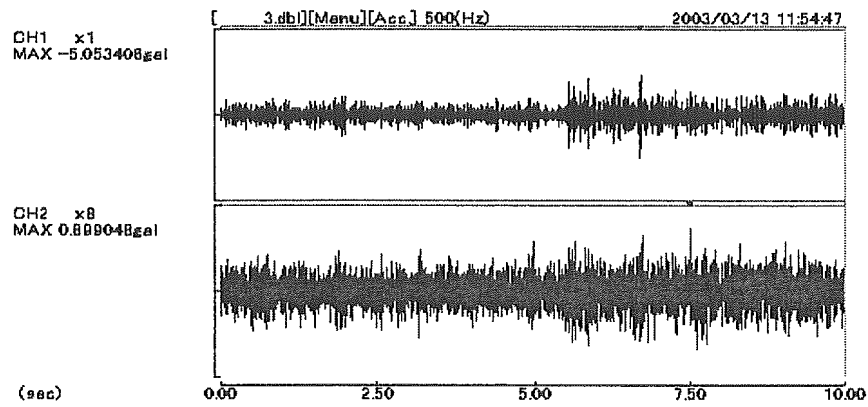


(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図

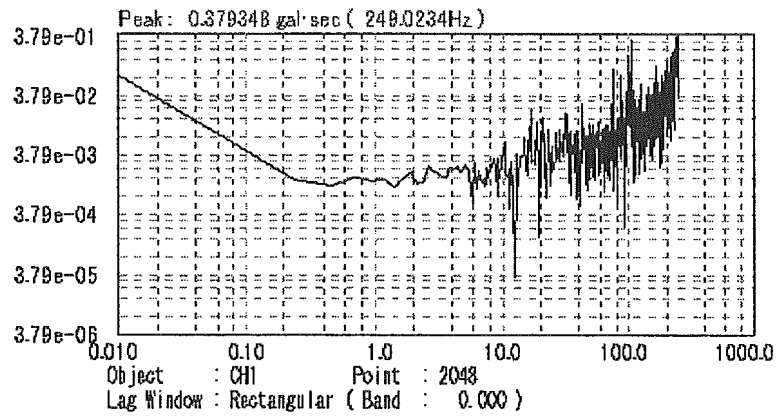


(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

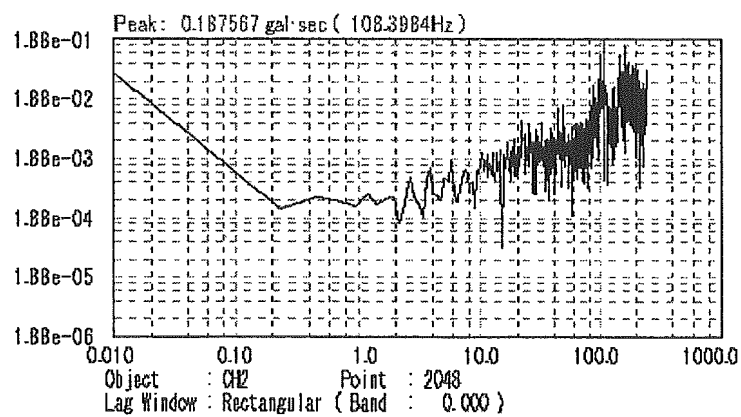
図2 水を蛇口から出していない状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図



(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)

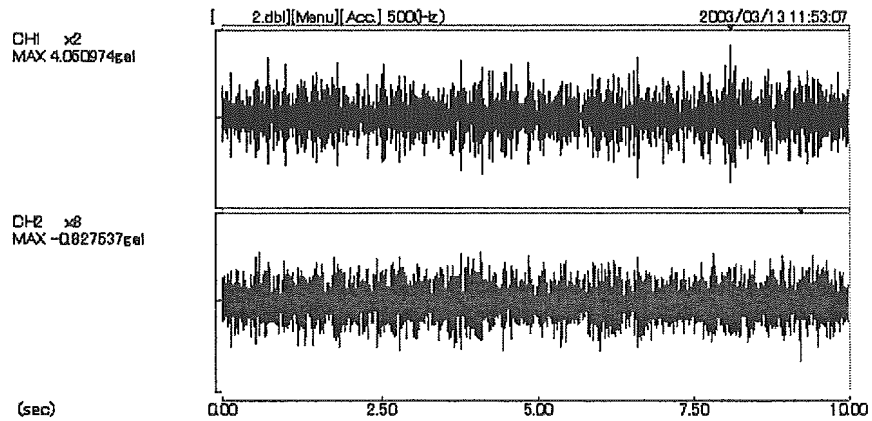


(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図

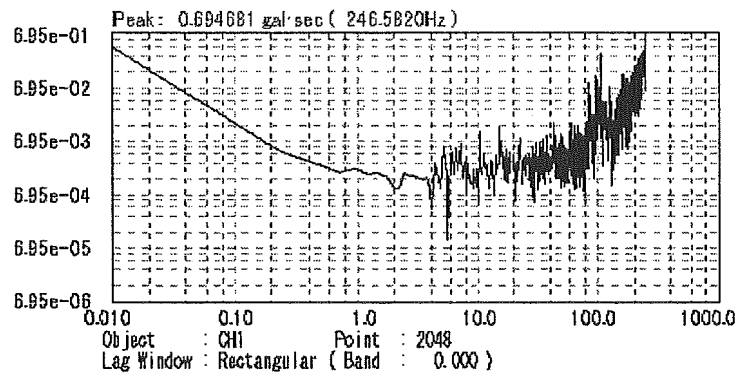


(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

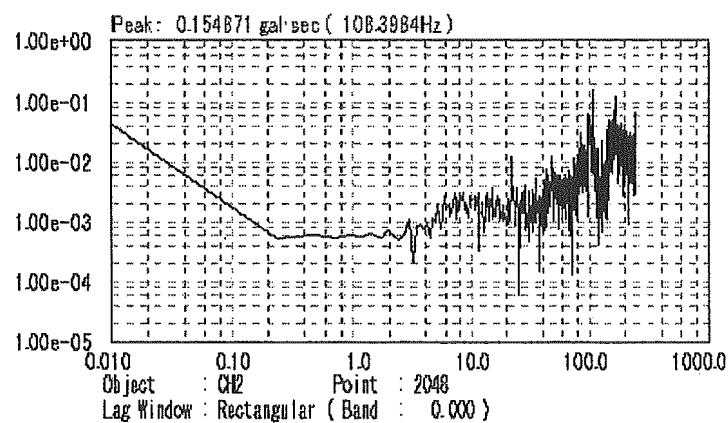
図3 出水量0.015[l/sec]の状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図



(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)

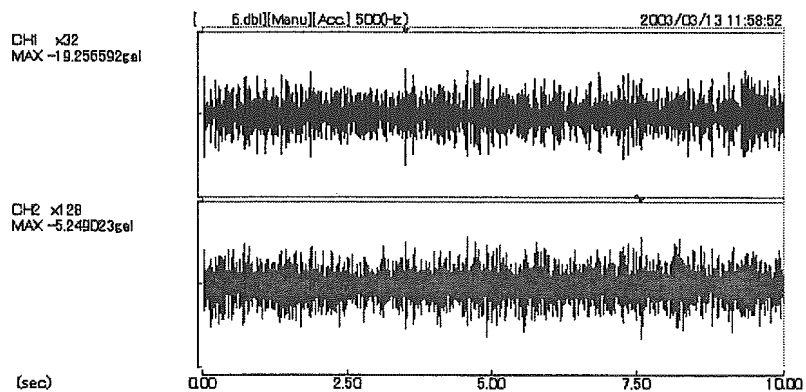


(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図

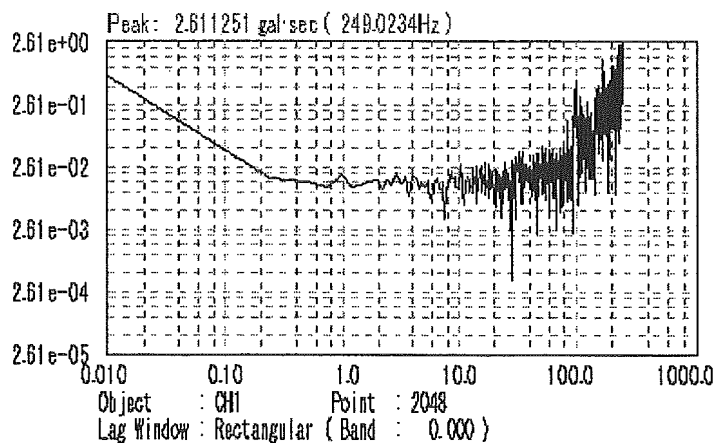


(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

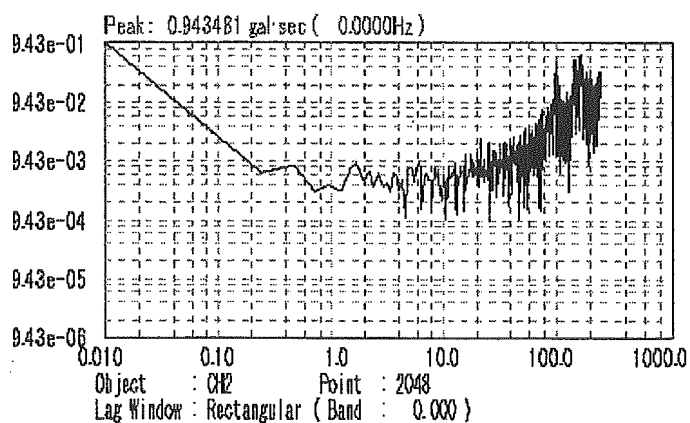
図4 出水量0.020[l/sec]の状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図



(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)

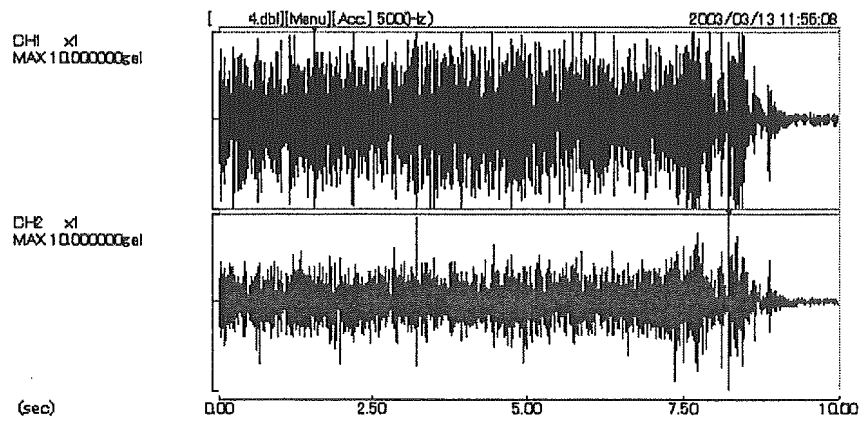


(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図

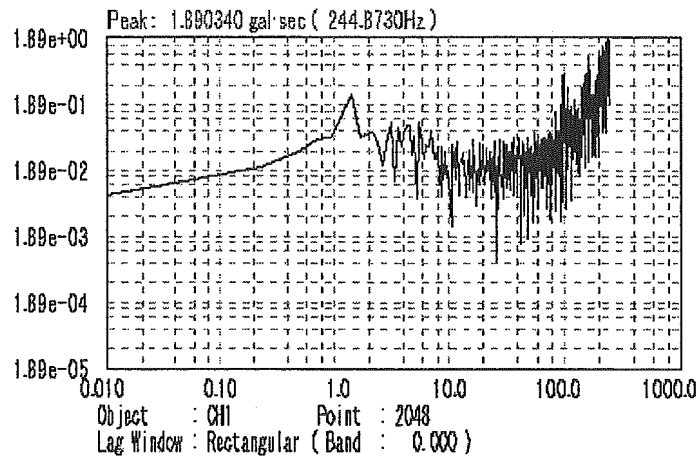


(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

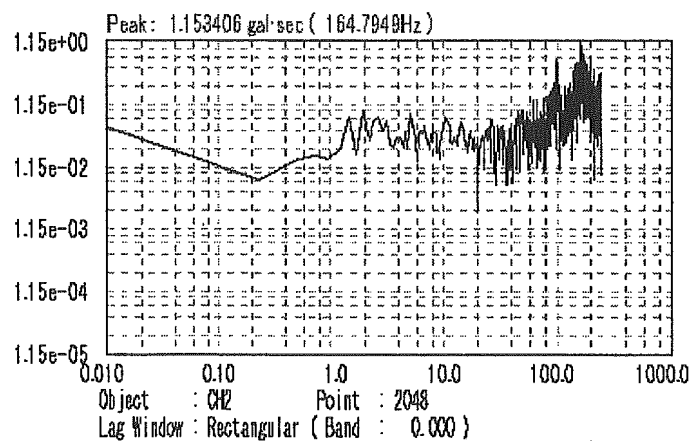
図5 出水量0.060[ℓ/sec]の状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図



(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)

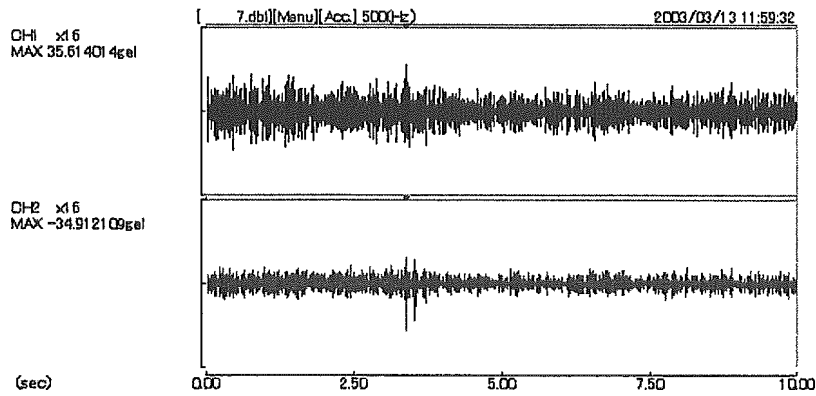


(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図

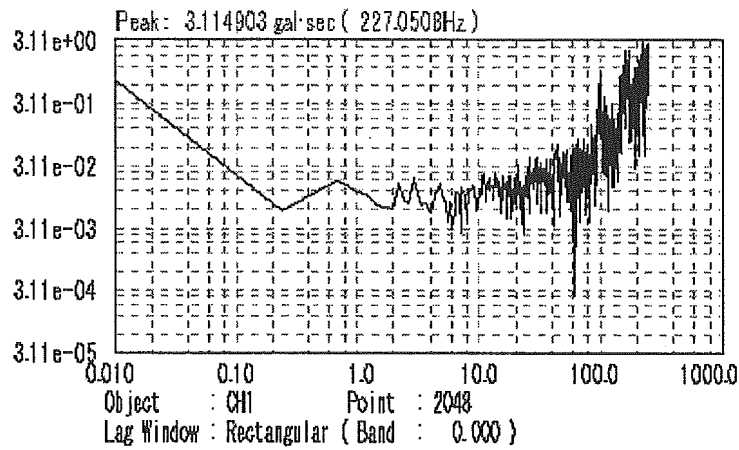


(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

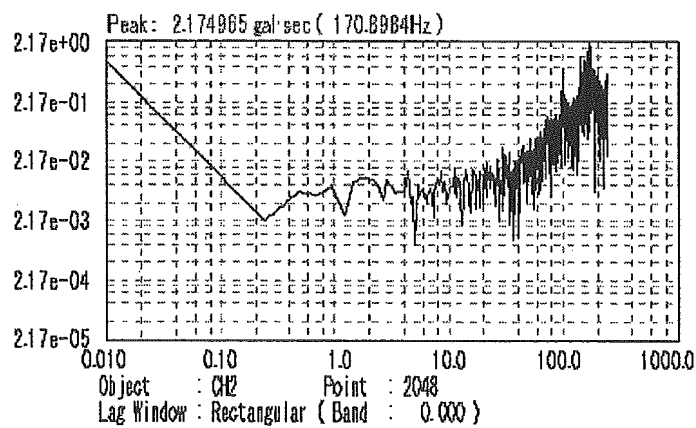
図6 出水量0.080[m³/sec]の状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図



(a) 給水管の振動加速度波形 (CH1: 管軸方向、CH2: 管軸直交方向)



(b) 管軸方向振動加速度のフーリエスペクトル図



(c) 管軸直交方向振動加速度のフーリエスペクトル図

図7 出水量0.250[m³/sec]の状態における振動加速度記録とフーリエスペクトル図

5. 水撃現象発生時の判断（意思決定）に用いるシステム

振動波形記録や騒音波形記録から、「水撃現象が発生しているか否か」を検知システムの中で自動的に判定できるようなものとするためのツールとして、ファジイ演算を用いた意思決定プログラムを組み込むことを構想として立てている。このプログラムに関しては、橋梁に用いられているボルトの緩みを打音検査によりチェックする場合のシステムへの組み込みを意図して現在開発中であり、これを水撃現象発生の有無の検知にも十分適用できると考えている。その理由は、ボルトの緩みの打音検査用意思決定プログラムでは、収録された音の波形の①スペクトル解析により求められる卓越周波数、②音の継続時間、③波形の減衰比、④位相差スペクトルの4つの要因を考慮することで、ボルトが緩んでいるか否かを判定するようにするとよいとの結果が得られており（詳細に関しては文献4）、5)参照)、3. で述べた水撃作用発生時の動水圧の変動特性の特徴と類似しているためである。ちなみに、このシステムを用いると、熟練技能者でも約30%の精度でしか判定できないボルトの緩みをおおよそ50%の精度で判定できることが明らかにされている。図8に、ボルト打音時の波動特性の概要を、図9にファジイ理論に基づく高力ボルト緩みチェックシステムを用いた場合の緩み判定結果の表示例を示す⁴⁾。

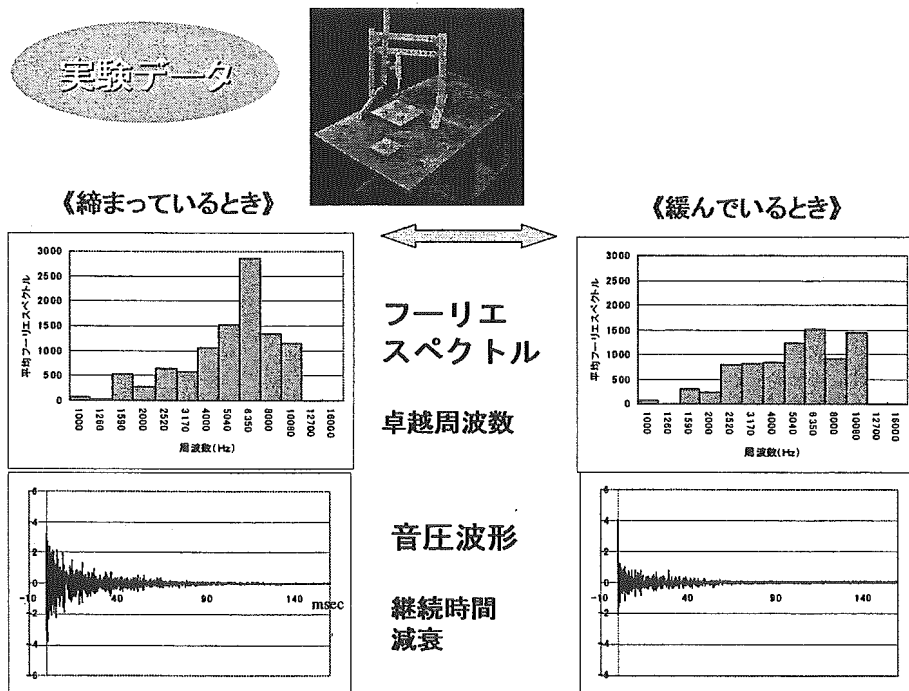
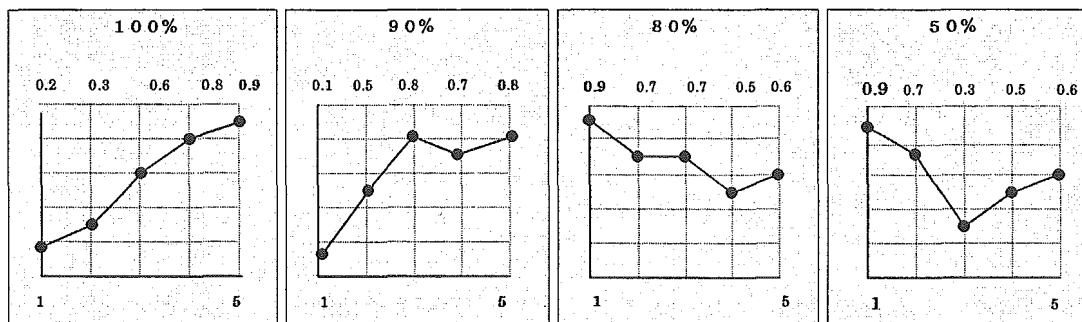


図8 ファジイ理論に基づくボルト緩みチェックシステムの概要



評価尺度 4.29

→締まっている

3.92

→やや緩んでいる

3.20

→緩んでいる

3.19

→緩んでいる

図9 ファジィ演算に基づく判定結果の一例

6. まとめ

一般家屋内での水撃作用の発生を比較的簡単に検知できる方法（システム）を開発・確立するための第一段階として、平成14年度は、まず、水撃現象発生時の動水圧の変動特性について既往の資料から把握することを試みた。その結果、平常時と比較して、①水撃現象の発生時には動水圧波形のピーク値が高いこと、②初期の波形の減衰が大きいこと、③卓越周波数が高いことが明らかとなった。次に、水撃作用発生時の振動・騒音特性を実験により把握するための基礎情報とするために、平常時の給水管の振動を計測し、出水量と管軸および管軸直交方向の振動加速度特性との関連について考察を加えた。

平成15年度は、水撃作用の発生に伴って生じる配管の振動や騒音が、前述した動水圧特性と同様の特性を有すると考えるのが妥当であることから、実際に水撃作用を発生させて、配管にどのような特性を有する振動が生じるのか、また、この振動に伴って発生する騒音の特性はどうかについて、実験を実施し検討していくこととする。さらに、振動波形記録や騒音波形記録から「水撃現象が発生しているか否か」を検知システムの中で自動的に判定できるようなものとするためのツールとして、ファジィ演算を用いた意思決定プログラムを構築していくことも、次年度以降試みていく。

参考文献

- 1) 江波戸明彦：音響法による被害探査技術の開発、「震災時水道施設復旧支援システム開発研究」終了記念セミナーテキスト、pp.173-194、2002年8月。
- 2) 池田雅孝：音圧法による被害探査技術の開発、「震災時水道施設復旧支援システム開発研究」終了記念セミナーテキスト、pp.195-210、2002年8月。
- 3) 榎タブチ：ウォーターハンマー水撃防止器 メゾン2 パンフレット
- 4) 福岡温美：ファジィ理論に基づく高力ボルト緩みチェックシステムの構築、山梨大学工学部土木環境工学科卒業論文、2002年3月。
- 5) 白倉宏信：打音検査時に高力ボルトから放射される音の位相差スペクトル特性、山梨大学工学部土木環境工学科卒業論文、2003年3月。

Ⅱ－１－３ 濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内における水質異常の検出：トレンド出力型濁りモニタの試作と評価

岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 松井佳彦

1. 背景

水道の需要者にとっては給水施設，特に最先端の蛇口から給水される水量と質が水道の決定的な評価となる。水量に関してはインライン計量情報の伝送化により綿密な状況監視技術が実用化され，水道使用量の自動検針のみならず漏水検知など広範囲な住民サービス向上が展開されつつある。しかし，水質に関しては浄水技術の高度化により安全な水質の水道水が供給されつつある一方，腐食・さび・クロスコネクション，給水装置(逆止弁その他)の欠陥や故障などによる給水システム内での水質異常は依然として解決を待つ問題である。

2. 目的

給水栓水質を簡易な装置により常時監視し，水質に対する異常な変動を検出することにより，事故等による水質異常の検出する技術の可能性を検討する。具体的には，濁度，吸光度，懸濁粒子数を管内にインラインで設置したセンサーで計測する技術開発を行う。

3. 特徴

- ・給水栓への設置を想定するため給水管にインラインで設置可能な耐圧フローセル構造とする。
- ・メンテナンスフリー，キャリブレーションフリーをめざす。
- ・簡素で廉価型とする。
- ・濁度・吸光度同時測定を可能とするため，透過光・90度散乱光同時測定とする。
- ・インラインでキャリブレーションフリーの条件では精密濁度・吸光度計測は難しいことから，濁度・吸光度の絶対値ではなく，計測値の経時トレンドと水道メーターによる連続計測される流量データにより，水質異常を検知できるか検討する。

4. 実験装置と実験方法

写真1に示すような管内流水状態で散乱光濁度を測定する原理試作器を製作した。光源は赤色LED680nmで、内径13Φフローセルにおいて光ファイバーより光を管内に照射し、90度散乱光を光ファイバーより入射しSi-フォトダイオードモジュールでアナログ電気信号に光電変換する。アナログ電気信号は携帯型のデータロガーでデジタルデータとして保存した。原理試作器は通常の水道水圧に耐えられるような耐圧性で製作したが、今回の実験では圧力がかからないように、水量コントロールは元締めで行った。実験管の途中には、市販の水道メータを設置し水量データをデジタルデータとして記録した(写真2)。さらに、管末端の放流水の濁度を微粒子カウント型の濁度計、卓上型の散乱光濁度計で測定した。

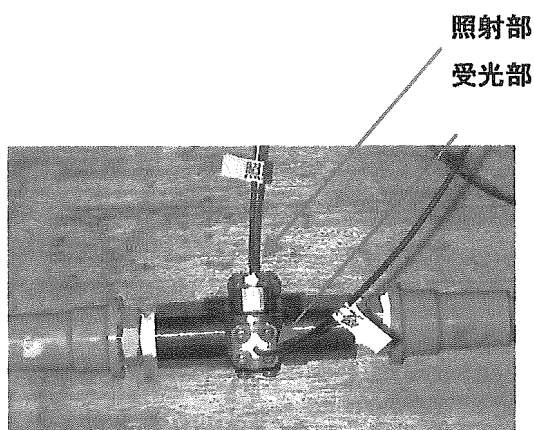


写真1 トレンド出力型濁りモニタ原理試作器

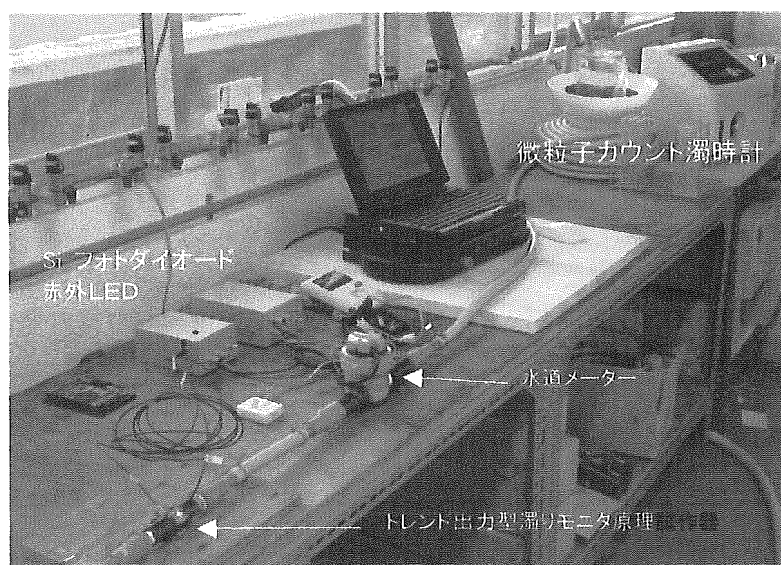


写真2 実験装置の設置状況

5. 実験結果

5. 1 出力値と濁度の関係

濁度を長時間にわたってゼロ点校正無しで測定することは難しい。そこで、トレンド出力型濁りモニタでは、濁度の絶対値ではなく、相対的に大きく濁度の変動したことを検知することを目的としている。このためには、出力のゼロ点がずれたとしても、装置の出力値に対する濁度の比例関係がある程度保たれている必要がある。そこで、原理試作器について、初期出力値を変えた状態における出力値と濁度の関係を調べた。結果を図1に示す。濁度に対する出力値の変化比率は0.02から0.029であった。この値が長時間にわたってより小さい範囲になることが次の目標である。

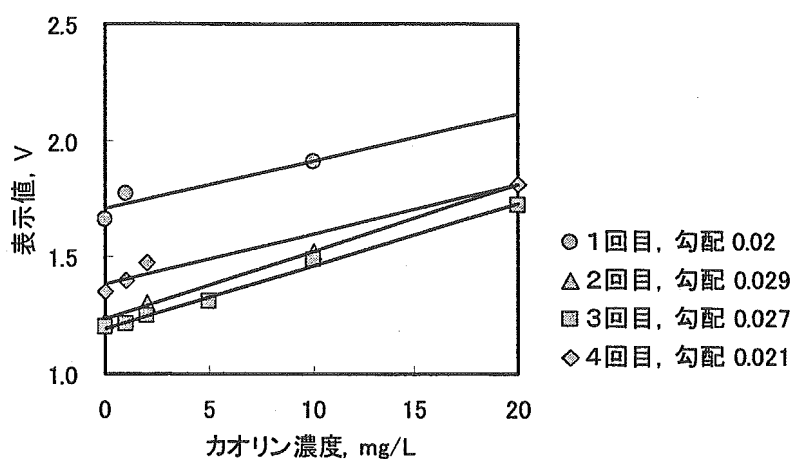


図1トレンド出力型濁りモニタ原理試作器の出力値と濁度の関係

5. 2 流水時の出力値の変化

岐阜市水道水を用いた通水実験における流水時の原理試作器の出力値と流量の時間変化を図2に示す。濁りモニタ出力値は、通水開始時に濁度が0になるように設定し、その値を基点とした相対値で濁度（カオリン濃度）を示した。通水/停止に関わらず出力値は約10時間にわたって5度以上上昇した。図3に示すように、この間の実際の濁度の変化は0.1度以下であった。この間にセンサー表面に汚れが濁度換算で5度以上付着したとは想像しにくいことから、この出力値の上昇は原理試作器自体の電氣的なものに由来していると思われる。また、時間24時付近では、通水開始と停止の瞬間にモニタ出力値がショックで異常上昇した。このように濁度の絶対値を長期間にわたって校正なしで連続的にモニターすることの難しさを確認した。

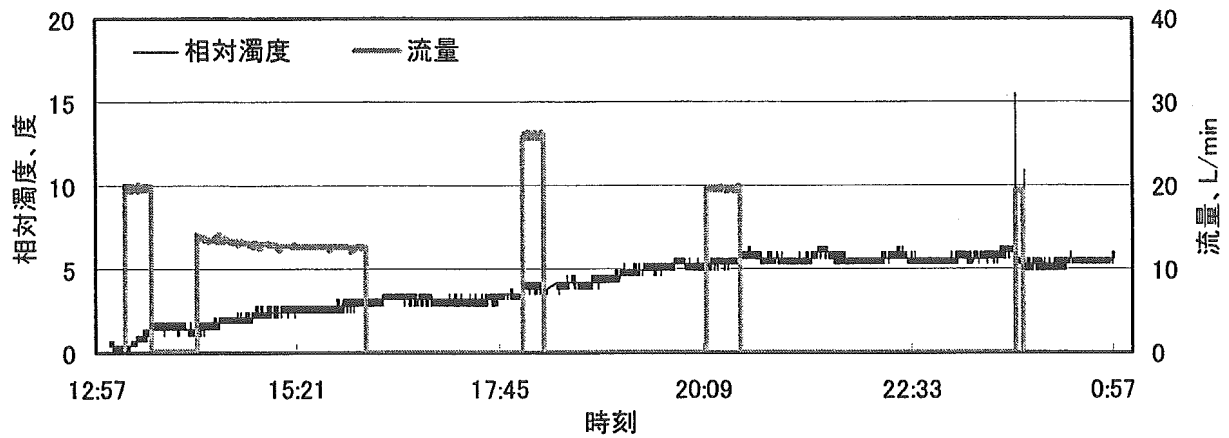


図2 トレンド出力型濁りモニタゲリ試作器の出力値と流量の時間変化 (水道水)

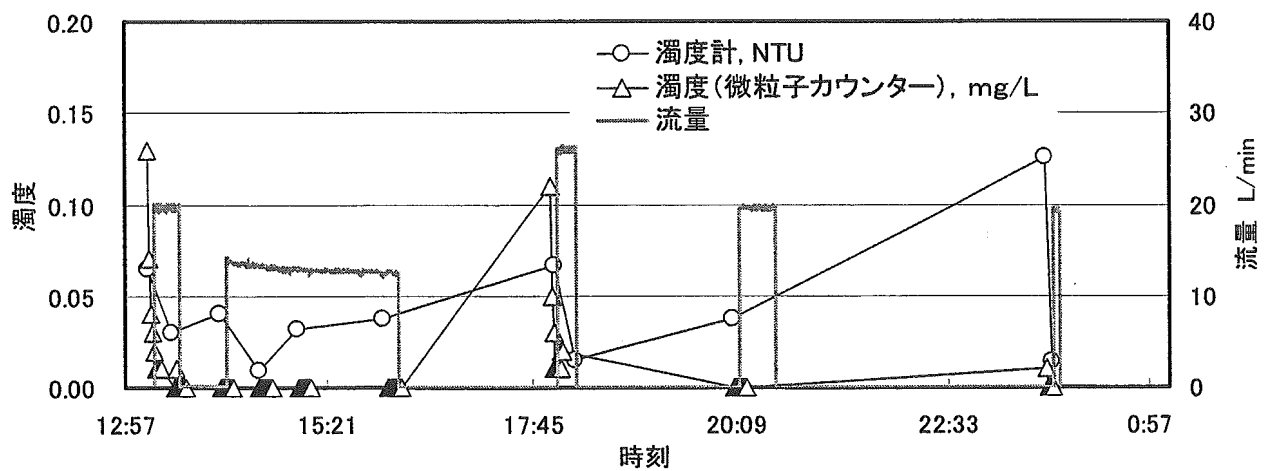


図3 濁度計による濁度計測値と流量の時間変化 (水道水)

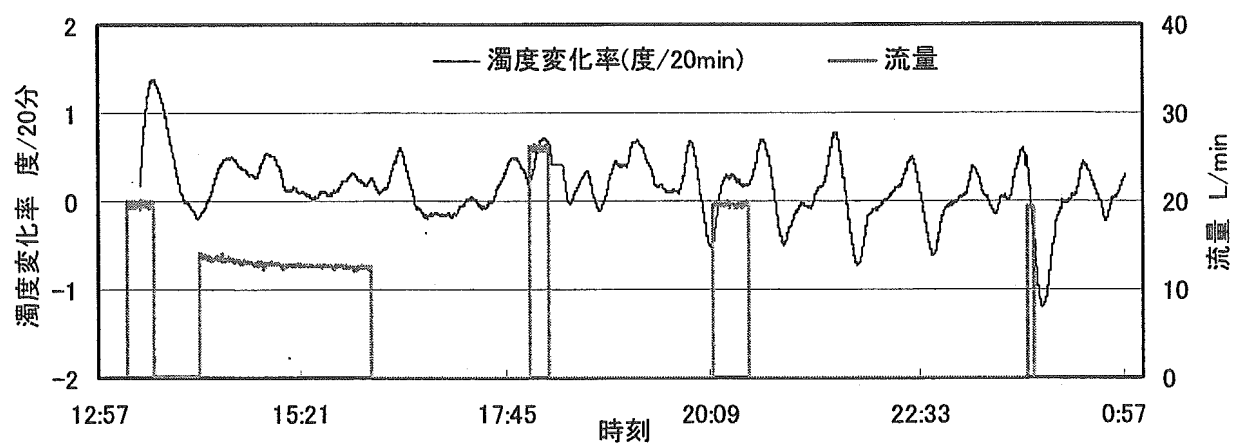


図4 20分あたりの出力値(濁度)変化率と流量の時間変化 (水道水)

次に、濁度の異常値を検出することを目的に、原理試作器の出力の時間変化率を算出した。図4の縦軸の値は原理試作器の出力値(濁度)の時間変化率として、当該時間から過去20分までの間の出力値の変化率を最小二乗法で求めた結果である。図2に示したように出力値の濁度は大きく上昇をしているが、図4のように20分間の間の濁度変化率は±1.2度以内で変動していることがわかった。このような実験を計7回繰り返した(表1)。最長3日間の連続実験を行ったときには、濁りモニタ出力値は15度まで上昇し、濁度変化率の最大値も3.2度となった(図5と6)。さらに、長期間の確認実験を行う必要があるが、現時点では20分間で濁度が4度以上上昇する場合の水質異常の検出の可能性が示された。

6. 今後の課題

表1 実験結果のまとめ

今後の課題として以下の4点が残された。

- ① 原理試作器の製作と評価
 - より長時間にわたる耐久実験
 - 給水栓を先締めした状態でのテスト
 - 停滞水時と流水時の光学系汚れ程度の評価：
- ② 透過光強度検出の可能性
- ③ さび・腐食管・クロスコネクションなどの異常水質の検出模擬実験
- ④ 濁度上昇を示す指標の算出法

実験No.	期間	20分間の濁度変化率の最大値
1	15 h	1.91
2	17 h	1.30
3	2.5 h	0.71
4	16 h	1.65
5	3.5 h	1.44
6	2 day	-3.20
7	12 h	1.34

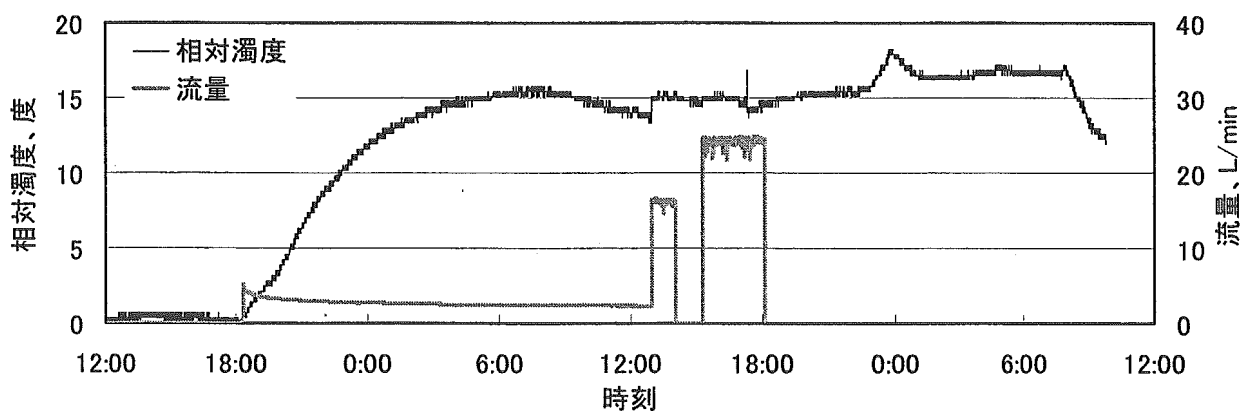


図5 トレンド出力型濁りモニタゲンリ試作器の出力値と流量の時間変化(水道水)

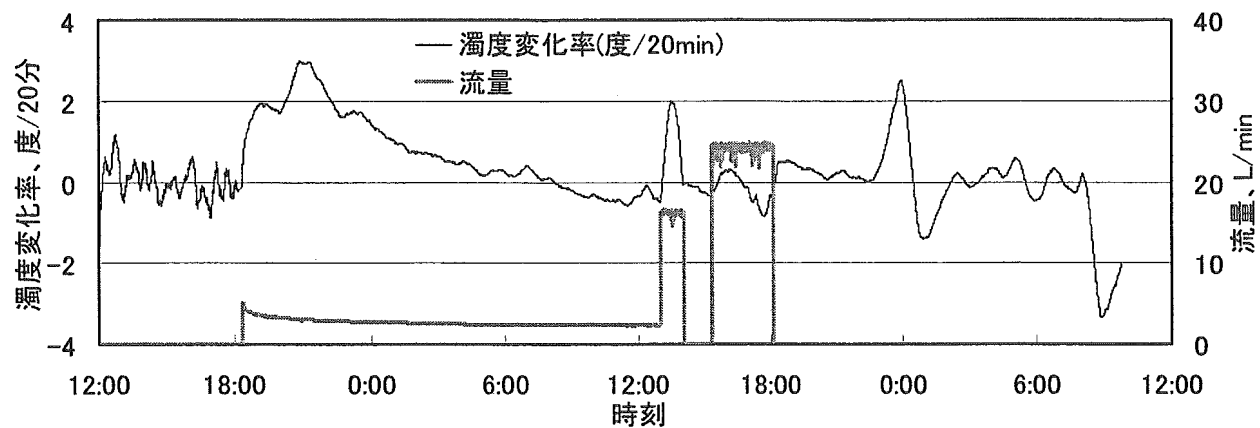


図6 20分あたりの出力値(濁度)変化率と流量の時間変化(水道水)

II-1-4 リスク管理目的に合致した異常現象の検出方法に関する基礎的研究 「水量、水質 (EC、ORP 等) 異常の検出」中間報告

武蔵工業大学 長岡 裕

要約

集合住宅等では、各戸における給水栓の不正常な使用などにより、住宅全体において水量および水質の異常の事態が発生し、健康リスクにも影響を与える。本研究では、各戸の水道メーター付近に設置した流量および水質センサーにより、速やかに異常を検出し、ユーザーに警報を発するシステム開発を目的とする。本年度は、蛇口付近において、蛇口の利用に伴う流量、圧力、および電気伝導度の変動を同時に測定するシステムの検討を行い、実装置の試作を行った。

流量計としては、10Hz の応答性のある電磁流速計を、圧力計としては応答速度 2ms 以下のデジタル圧力計を使用した。電気伝導時計は、交流発信機を用いて自作したものであり、水質の変動に十分応答する感度を備えたものとした。

データは 10Hz 程度で A/D 変換した後にパソコンに取り入れるものとする。データは長時間連続的に取得するものとし、通常の使用に伴う各パラメータの出力パターンを検討する予定である。

1. 研究の目的

集合住宅等では、各戸における給水栓の不正常な使用などにより、住宅全体において水量および水質の異常の事態が発生し、健康リスクにも影響を与える。本研究では、各戸の水道メーター付近に設置した流量および水質センサーにより、速やかに異常を検出し、ユーザーに警報を発するシステム開発を目的とし、そのための基礎的知見の集積を目指すのものである。

2. 異常検出システムの概要と構成

2.1 異常検出システムが対象とする場

各種センサーを併設した水道メータは集合住宅の一個/一戸に設置されており、集合住宅への引き込み管にさらに一個のメーターが設置されている。流量データおよび水質データ (濁度、電気伝導度) の時系列データは逐次、一箇所の監視システムに送られる。監視システムにおいて異常を検出した場合には各戸に警報を発することができる(図 1 参照)。

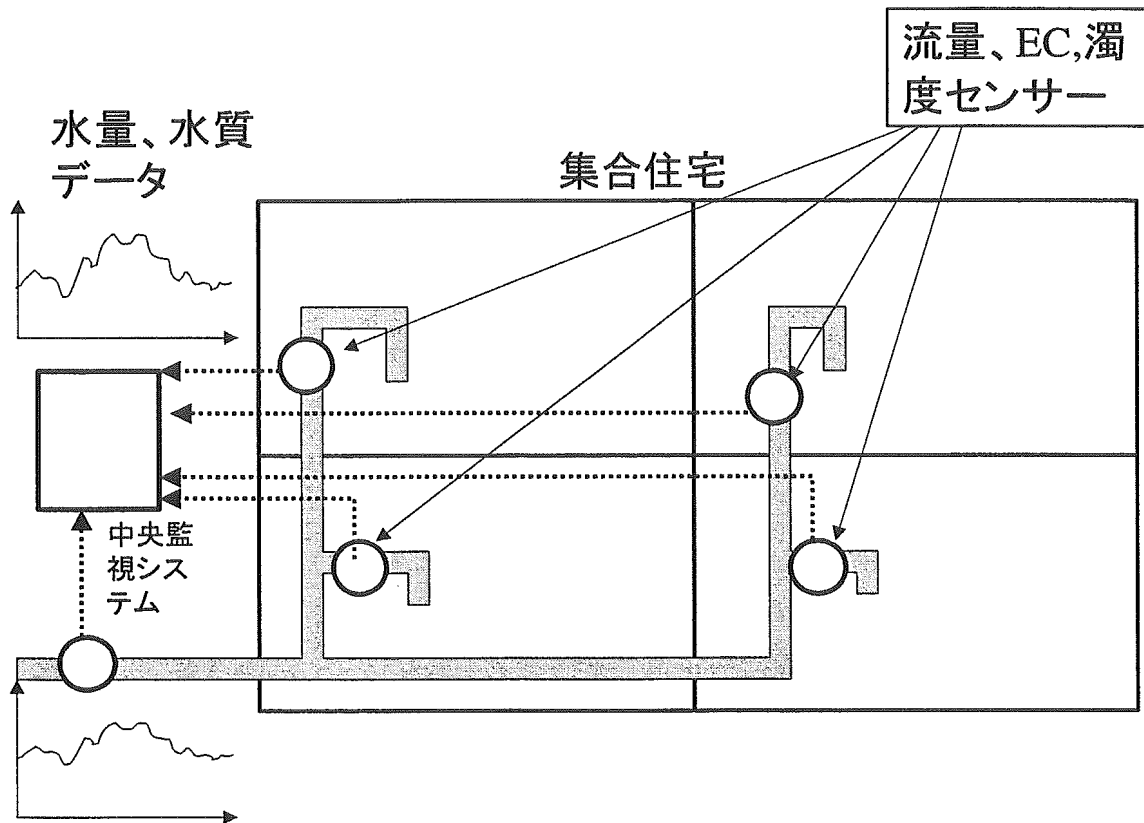


図 2. 1 研究対象の場のイメージ図

2. 2 異常検出システムの構成

異常検出システムは、配管内に流量計、圧力計、および電気伝導度計を組み込んだものとする。図 2. 1 は受水槽水道における検出器の設置の模式図である。蛇口を開くと流量 Q が上昇し、圧力 P は減少するものである。この両検出器からのデータにより、配管における水理学的な異常の検出が可能となる。また電気伝導度のデータより、水質異常の検出が可能となる。

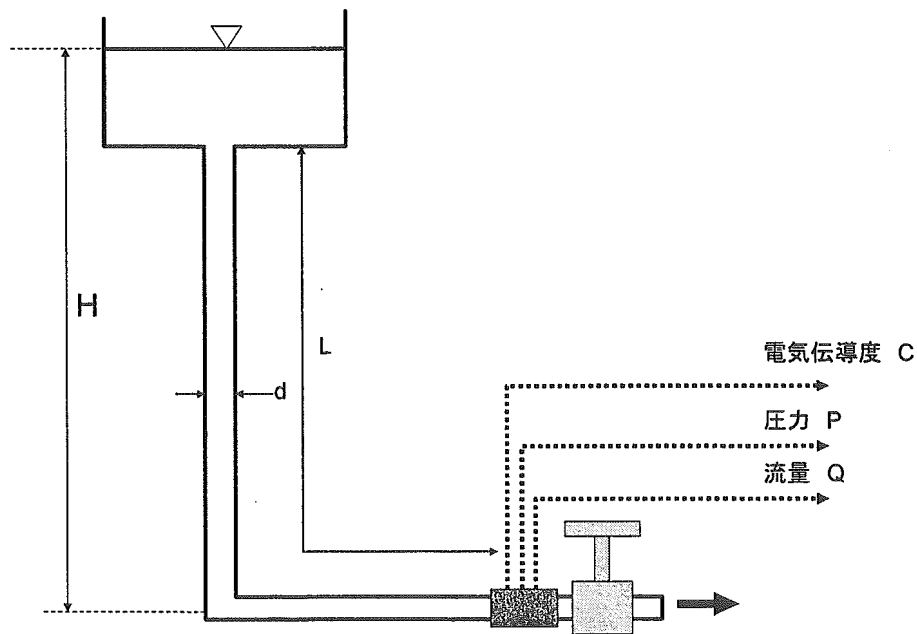


図 2. 2. 1 受水槽水道における検出器の設置

2.3 本異常検出システムにより検出可能な異常現象

本システムにより検出可能な異常現象としては、以下のようなものがあげられる。

①流量異常

集合住宅入り口における流量と各戸の流量の和に差が生じれば、配管内からの異常漏水があることになる。

②電気伝導度異常

電気伝導度の上昇が見られれば、イオン濃度の上昇（金属の溶出など）による異常が生じたことになる。特に流量の上昇期において高い電気伝導度がみられれば、管内滞留水に金属の溶出がみられたことになる。

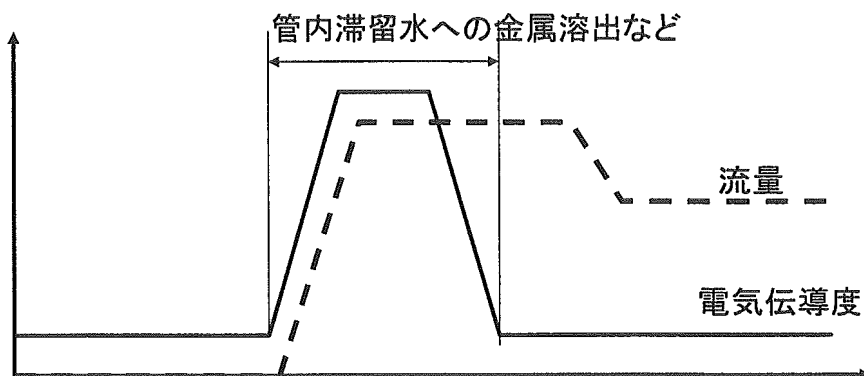


図 2.3.1 電気伝導度異常検出の模式図

③管内における不圧と逆流の検出

図 2.3.2 は管内における不圧の逆流の発生時のデータの模式図である。何らかの理由によりこれらの現象が発生した場合、流量（流速）および圧力の両検出データから確認することが可能となる。

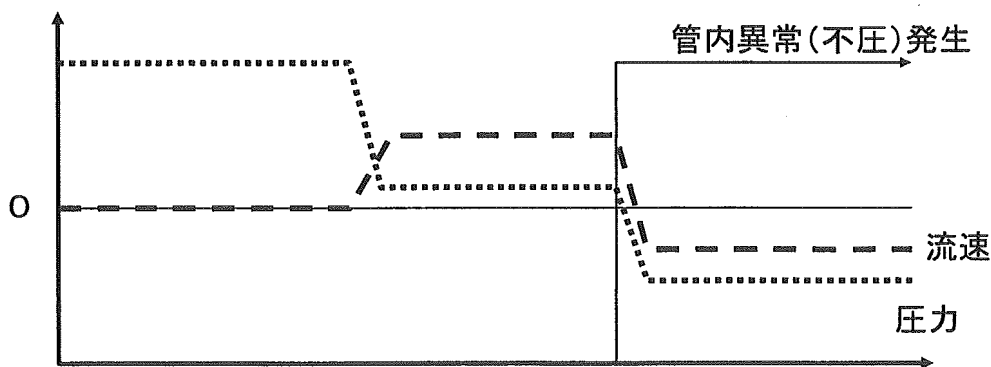


図 2.3.2 管内における不圧と逆流の発生時データの模式図

④ 管内閉塞などの検出

図 2.2.1 に示す設置例では、蛇口をひねって水を出している状態では、蛇口における速度水頭および圧力水頭の和は、受水槽における全水頭 H よりも管内損失分だけ小さくなる。ところが、管内が異物により閉塞するなど異常が発生すると、管内の損失が通常時より大きくなり、蛇口における全水頭を計算することによりこれを容易に検出することができる（図 2.3.3 参照）。

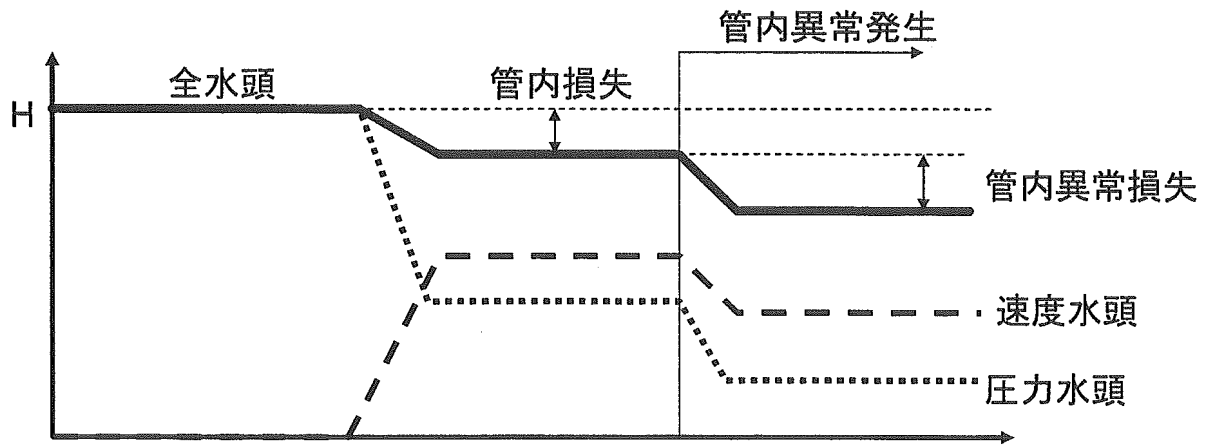


図 2.3.3 管内閉塞などによる異常発生を検出の模式図

3. 実験装置

実験装置の概要を図 3-1 に示す。本学研究室の水道蛇口に電磁流量計，伝導率センサー，圧力センサーを設置する。各測定機器のスペックは以下のものを使用する。また，各測定機器の原理，形状，使用方法などについては後ほど詳細に説明し，現在までの実験装置製作の過程を報告する。

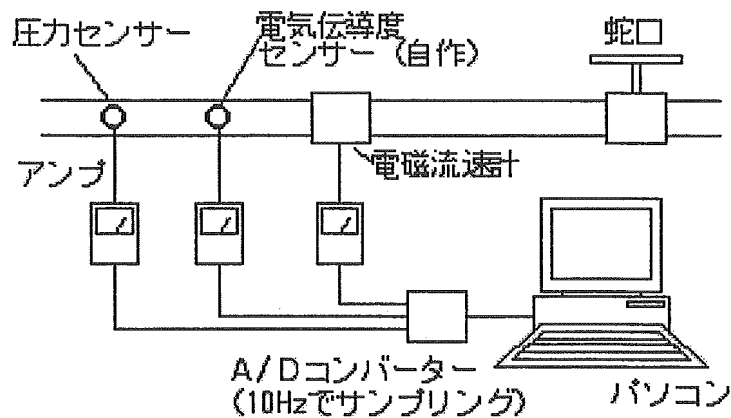


図 3.1 実験装置の概要

表 3-1 実験装置のスペックなど

機器	仕様
電磁流量計	東京計装 (株) MGM1010K 周波数応答 5Hz アナログ出力
導電率計	自作
圧力センサー	長野計器 (株) GC61 デジタル圧力計
発振器	AND (株) AD-8623
パソコン	Windows パソコン (OS : Windows XP)
A/D コンバーター	CONTEC AD16-16U(PCI)EH 非絶縁型 16bit

3. 1 電磁流量計

電磁流量計には東京計装（株）の一体型電磁流量計 MGM1010K（口径 10mm）を用いる。この電磁流量計は、ローコスト・ハイパフォーマンスをテーマに開発されたものである。合理的な設計により、高性能と経済面の両立を実現している。ライニングにはテフロン PFA を採用しており、軽量コンパクトなウエハ型で、一般のアプリケーションはもとより、装置組込などにも最適とされている。

下記に仕様を示した。

仕 様	
・口径	: 10mm
・測定範囲	: 流速 最大 : 0~0.3m/s 最小 : 0~12m/s
・流体仕様	導電率 : 5 μ S/cm 以上（但し水の場合は 20 μ S/cm 以上） 温度 : -25~+120 $^{\circ}$ C 圧力 : 0Pa~1.6Mpa

出 力 信 号	
・電源出力	: DC4~200mA, DC0~200mA 負荷抵抗 : 500 Ω 以下 時定数 : 0.2~99.9 s 可変 (0.1 s ステップ)

流 量 レ ン ジ		
口径 (mm)	設定可能流量レンジ (・ /h)	
	最小	最大
10	0~0.0849	0~3.39

(流速スパン : 0.3~12m/s)

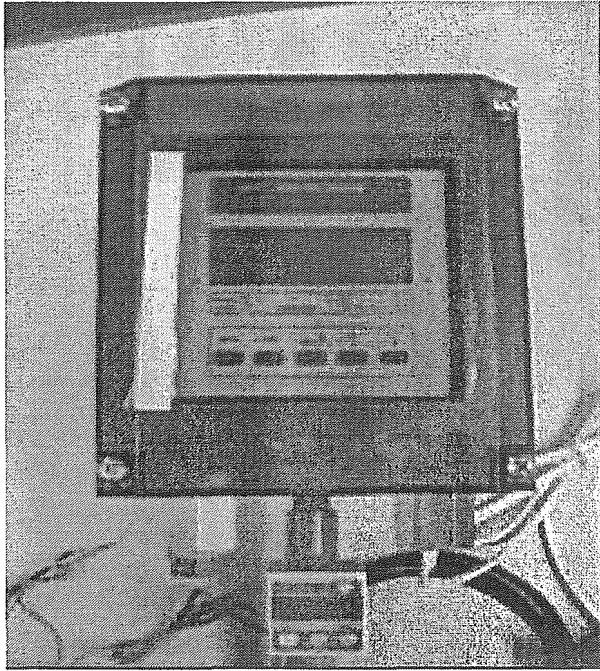


図 3.1.1 電磁流量計 (上面)

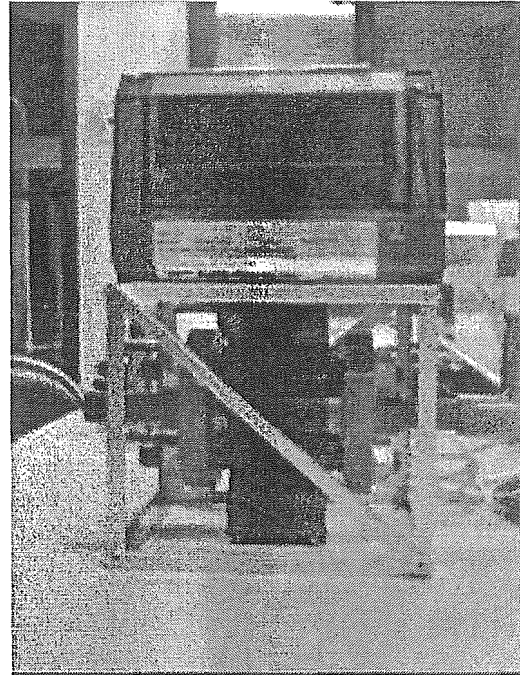
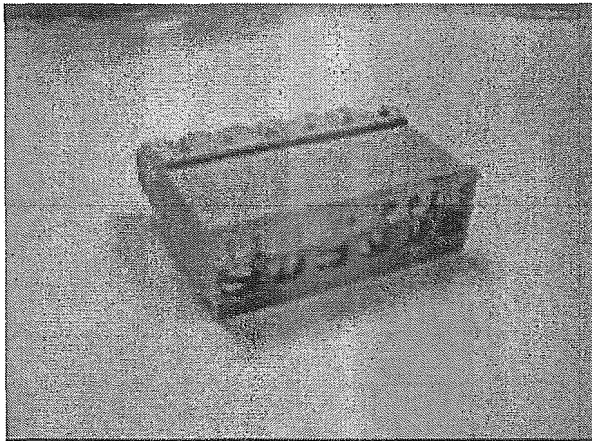
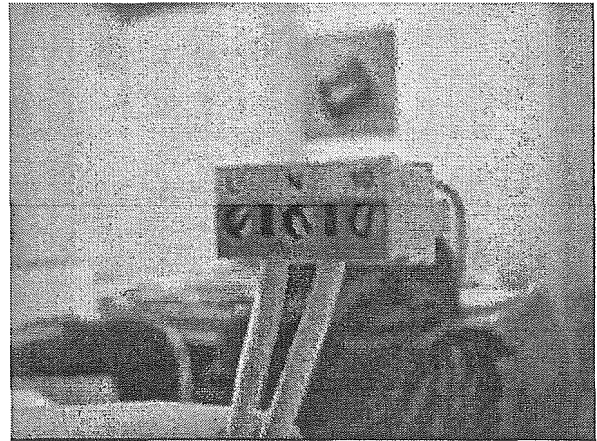


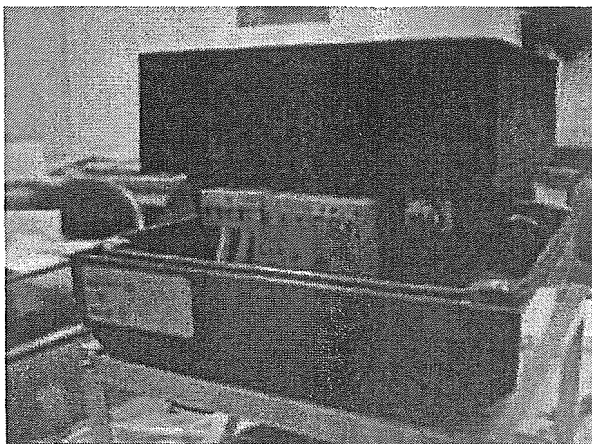
図 3.1.2 電磁流量計 (側面)



電流出力・パルス出力・状態出力の端子ブロック



電源の端子



端子ブロックが収まった状態