

管路内の水理学的挙動の解析による漏水検知に関する研究

武蔵工業大学学生会員 ○増田 皓太

武蔵工業大学正会員 長岡 裕

1. はじめに

近年、受水槽を用いた建物の給水システムにおいて管路内における漏水や水質悪化、給水栓からの逆流、水道管の経年劣化による水道水の水質及び水道の異常が多数報告されている。この中でも管路内の漏水は、給水装置事故の約 75%を占めている¹⁾。現在、漏水検知の研究は多く行なわれているが漏水を検知するセンサーの取り付けが不可能な場所が存在する²⁾ことや、長い配水管を対象にしているものが多く、これらをそのまま建物内の給水管に応用させることは難しい。

本研究では、管路内で発生する漏水に着目し、水道メーター付近に設置した流量計と圧力計によって蛇口使用に伴う各センサーからの出力の変化を解析し、建物内の漏水を検知する手法の開発を目的とした。

2. 実験装置

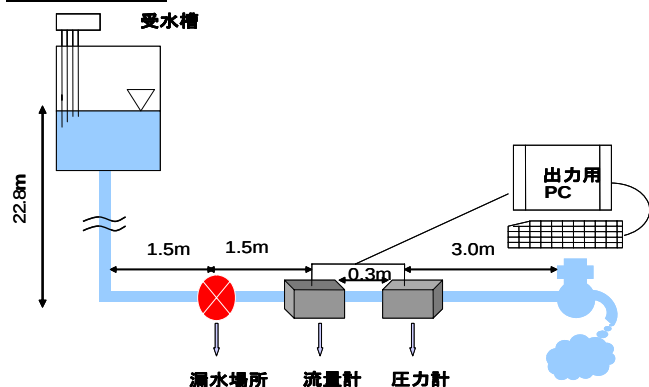


図1 実験装置概略図

図1に実験装置概略図を示す。実験装置は本学5階建ての1階の蛇口から塩ビ管（管径13mm）を繋ぎ、その塩ビ管に流量計と圧力計を設置し蛇口の使用に伴う流量と圧力を同時に測定できるシステムになっている。各検出器から出力されるデータはA/D変換機を通してアナログデータをデジタルデータに変換し1台のパソコンで連続的に取得できるようにした。また、漏水の有無での変化を比べるため漏水ユニットで漏水を再現した。漏水ユニットは塩ビ管の側面に直径1.5mmの穴を開けたものに直径3mm、ピッチ0.5のネジを挿入

し管とネジの微小な隙間で微量な漏水を再現したものと管と管を結ぶ接続部における管と接続部の隙間からの漏水を再現した。

3. 漏水検知の原理と方法

断面積の等しい管路で(1)式のベルヌーイの式が示す通り各水頭の合計は全水頭 H となり、どの断面でも等しくなる。また、管の摩擦や形状による損失は(2)式のダルシーワイズバッハ式で示され、摩擦損失係数 f 、形状損失係数 K 、管長 L 、管径 D は固有な数値をとり係数部分と変数部分に分けることができ、その係数部分を損失水頭係数 λ とした。つまり、流量が変化しても損失水頭係数 λ は一定値を示すと考えられ、損失水頭係数 λ を監視することで管内の異常を検出する可能性がある。蛇口閉鎖時の圧力水頭を全水頭と考え、この全水頭から蛇口を開けたときの速度水頭と圧力水頭の差を総損失水頭とし、損失水頭係数 λ は(4)式より算出した。

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z + h_L = H = \text{const} \quad (1)$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

$$h_L = \left\{ \frac{1}{2gA^2} \left(f \frac{L}{D} + K \right) \right\} Q^2 \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{h_L}{Q^2} \quad (4)$$

(h_L : 全損失水頭 f : 摩擦損失係数 L : パイプの長さ D : 管径 v : 流速 g : 重力加速度 A : 断面積 K : 形状損失係数 Q : 流量 λ : 損失水頭係数)

(3)式中の摩擦損失係数 f はレイノルズ数に依存するが、特に層流領域では、温度の影響が大きい。よって、層流領域における実験結果については(5)~(9)に示すように、損失水頭係数 λ を α を用いて評価した。その際、形状損失 K は無視できるものとした。

$$\text{Re} = \frac{D}{\nu} \frac{Q}{A} \quad (5)$$

(Re : レイノルズ数 d : 管径 ν : 動粘性係数 Q : 流量 A : 断面積 ks : 相当粗度)

$$\lambda = \frac{1}{2 g A^2} \left(f \frac{L}{D} + K \right) \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \left(\frac{L}{D} \frac{1}{2 A g^2} \right) \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{\lambda \text{Re}}{64} \quad (9)$$

実験では管末端に設置した蛇口を開き、10秒間水を流し続けたときの流量と圧力を測定しそこから速度水頭と圧力水頭に変換し、これをパソコンで連続的に取得させた。また、毎回水温を測定し実験を行なう前には蛇口を閉じた状態での圧力を確認した。

4. 実験結果

4. 1 漏水量と流量の関係

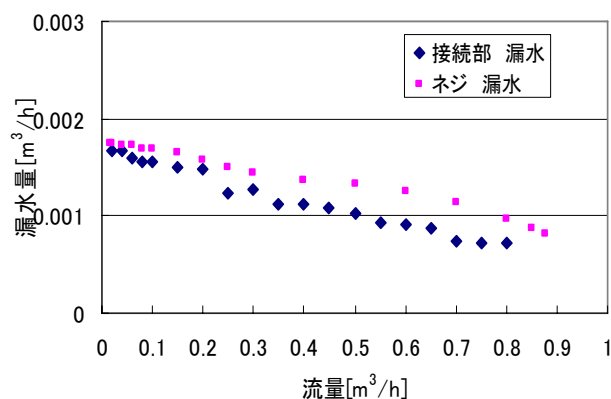


図2 漏水量と流量の関係

図2に漏水量と流量の関係を示す。接続部からの漏水の方が末端の蛇口で調節した各流量での漏水量は小さな値を示した。また、蛇口での流量が大きくなると漏水量が少なくなりグラフは横ばいの傾向を示した。

4. 2 レイノルズ数と損失水頭係数λの関係

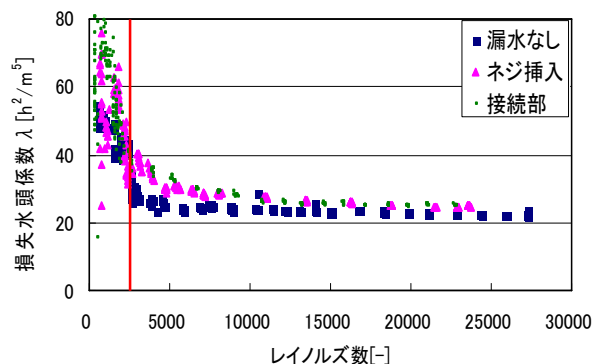


図3 レイノルズ数と損失水頭係数λの関係

図3にレイノルズ数と損失水頭係数λの関係を各条件の下示す。レイノルズ数より層流域、遷移流域、乱

流域に分け、各流域でどのような変化があるか検証した。グラフ上の縦線は層流を表すレイノルズ数が2000を表している。図3をみるとほとんどの範囲が乱流域である。また乱流から層流に変化する遷移流域付近で損失水頭係数λの値は上昇し始め層流域ではばらつきが大きくなった。

4. 3 層流域における損失水頭係数レイノルズ数の関係

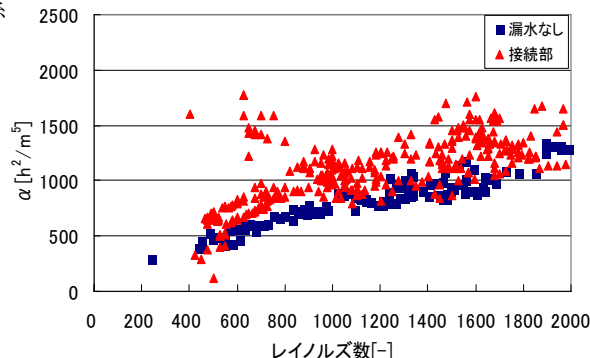


図4 損失水頭係数λとレイノルズ数の関係

図4に層流域におけるレイノルズ数と係数αの関係を示す。グラフは漏水の有無での違いを明確にするため2つの条件で検討した。グラフより両条件とも右上がりに带状でグラフが広がっており接続部の方が高い値を示した。このことから損失水頭係数λを監視することで漏水検知が可能であることが示唆された。

5. まとめ

ベルヌーイの式を用いてダルシーワイズバッハの式を変換し係数部分と変数部分に分け、この係数部分である損失水頭係数λを水を流した状態で監視したとき、層流域の状態での漏水検知の可能性を見出した。よって漏水していないときの温度と損失水頭係数λを把握しておき、通常時の損失水頭係数λと比較することにより、漏水を検知できると考えた。

参考文献

- 1) 給水工事技術振興団体：家庭内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究 平成15年度 2004平成18年6月6日(火)
- 2) 半田千秋：漏水検知システム：計装工事, Vol.14, P44, 48
- 3) 蘇武政文：受水槽給水方式における漏水検出方法の検討 日本水環境学会年会講演集 Vol. 40th Page. 268 (2006. 03. 15)