

	15.63	0.0608	0.057	0.4109	20.807
21 L/min	19.53	0.0677	0.038	0.4727	32.409
	7.81	0.0486	0.028	0.3673	32.768
	3.91	0.0967	0.027	0.6727	32.768
	15.63	0.0581	0.053	0.4218	32.768
	19.53	0.0986	0.004	0.5236	32.768
	7.81	0.0362	0.188	0.4218	32.768

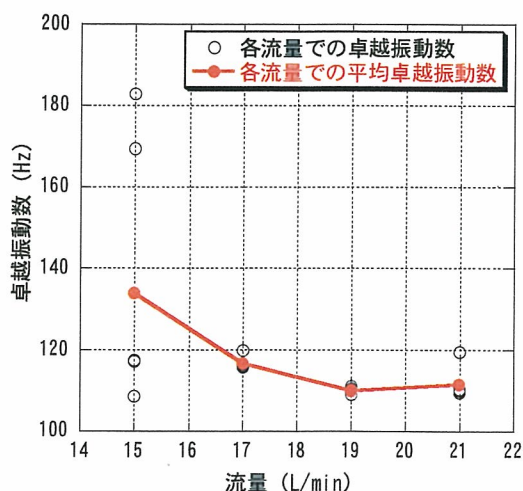
#### 4.1 水撃作用発生時の音の比較

水撃作用発生時の音に関する各評価項目の値、および、その平均値を流量別にプロットしたものが図 4-1~4-4 である。図 4-1 より、卓越振動数は、鉄管の場合、流量が 17[L/min]以上ではほぼ一定の値となるものの、15[L/min]のときには大きくばらついていることがわかる。また、塩ビ管の場合には、流量の増大とともに卓越振動数も増大していることが読み取れる。そのため、卓越振動数をファジィ判定評価項目に採用することは適当でないといえる。

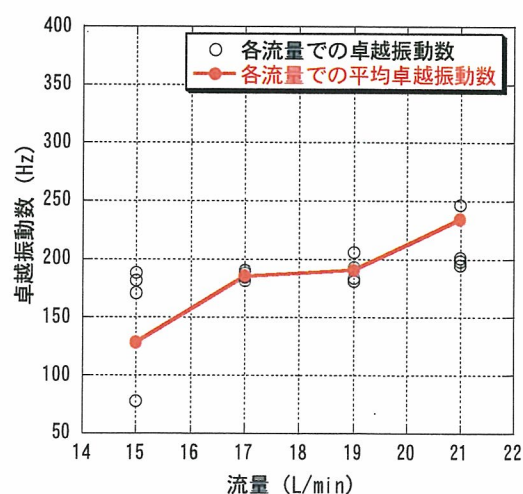
図 4-2 は、流量と減衰定数の関係を示したものである。減衰定数は、鉄管、塩ビ管ともに同じような数値を示しているものの、そのばらつきはかなり大きく、また、減衰定数の波形記録からの読み取りが必ずしも容易でないことから、評価項目には採用しないこととした。

図 4-3 の継続時間については、鉄管では、数値がある程度一定であるのに対して、塩ビ管では、21[L/min]時に数値がやや大きくなっている。これは、塩ビ管の剛性が鉄管に比して低いと、流量が大きいときに大きな振動となって現れ、しかも減衰しにくくなっていると考えられる。しかし、変動範囲がさほど大きくないため、評価項目に採用することとした。

図 4-4 に示した位相差の割合に関しては、鉄管では、17, 19[L/min]のときに数値が大きくなっているが、塩ビ管では、15[L/min]のときが大きくなり、その他の値では、ほぼ同程度の値をとっていることが分かる。しかし、鉄管、塩ビ管ともに数値にある程度のまとまりがあるため、ファジィ判定評価項目とすることに決定した。なお、位相差の割合と水撃作用の物理的な関連については、現在検討中である。

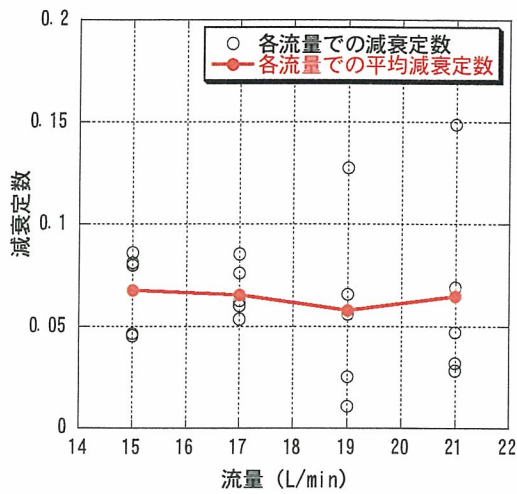


(a) 鉄管

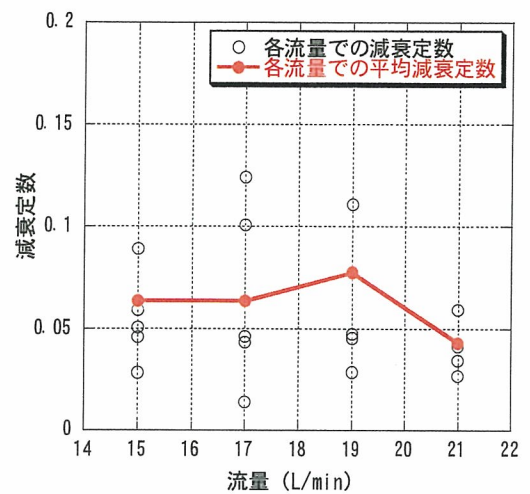


(b) 塩ビ管

図 4-1 流量と卓越振動数の関係

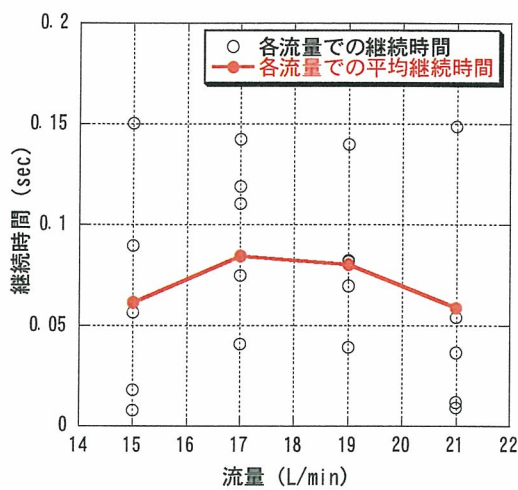


(a) 鉄管

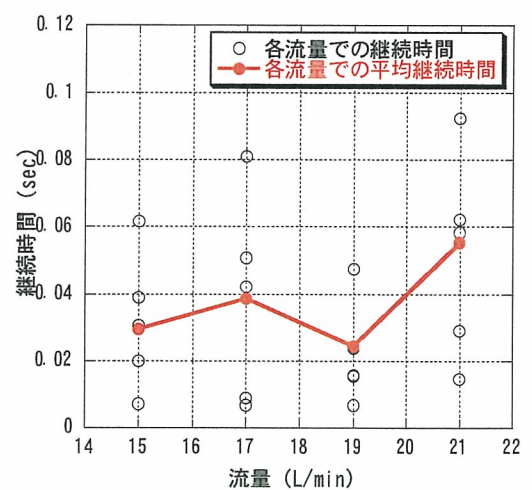


(b) 塩ビ管

図 4-2 流量と減衰定数の関係

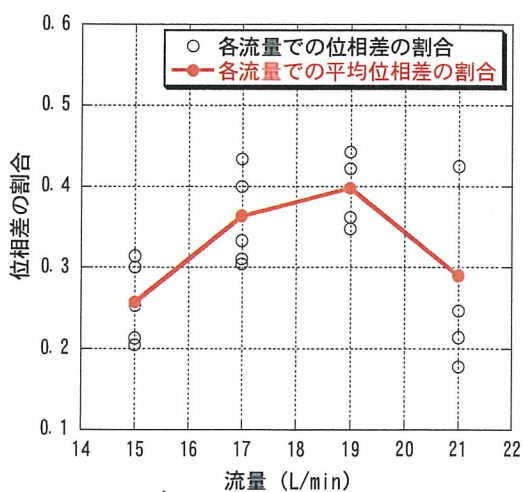


(a) 鉄管

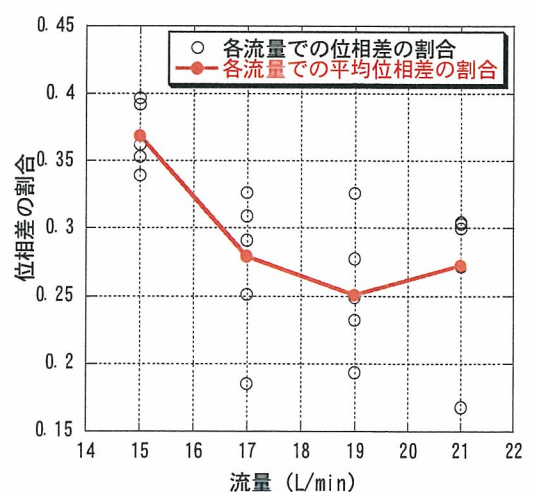


(b) 塩ビ管

図 4-3 流量と継続時間の関係



(a) 鉄管



(b) 塩ビ管

図 4-4 流量と位相差の割合の関係

#### 4.2 水撃作用発生時の振動（振動計測を電磁弁から 80cm の位置で実施）の比較

水撃作用発生時の振動（振動計測を電磁弁より 80cm の位置で実施）の各評価項目の値と、その平均値を流量別にプロットしたものを図 4-5～4-9 に示す。図 4-5 より、卓越振動数については、鉄管の場合に特に大きなばらつきがみられること、および、卓越振動数の値が水撃発生時に限らず、別の原因による衝撃に対しても同じ数値が得られることから、ファジィ判定評価項目に採用しないことにした。

図 4-6 より、減衰定数については、鉄管、塩ビ管ともに大きなばらつきのある数値をとっており、ファジィ判定評価項目に採用するには適切な項目ではないことが読み取れる。

図 4-7 に示す継続時間に関して見てみると、鉄管の場合は、15, 17, 19[L/min]において一定の数値をとっているが、21[L/min]のときに大きな変化があらわれている。しかし、減衰定数ほどのばらつきはない。一方、塩ビ管の場合は、ばらつきは大きいものの、平均値を見ると、15, 17, 19[L/min]においてほぼ一定の数値をとっており、21[L/min]のときに小さい数値となっている。従って、塩ビ管のデータにやや不安が残るものの、ある一定範囲に数値がおさまっているため、ファジィ判定評価項目として採用することとした。

図 4-8 に示す位相差の割合についても、鉄管、塩ビ管ともに、ある一定範囲に数値がおさまっているため、ファジィ判定評価項目として決定した。

最大振幅について示したのが図 4-9 である。これより、鉄管、塩ビ管ともに流量が増大するのに伴って最大振幅が大きくなっていることがわかる。流量に対して数値が変化するような項目を評価項目として採用すると、ファジィ判定の精度が低下するため、最大振幅をファジィ判定評価項目から除外した。

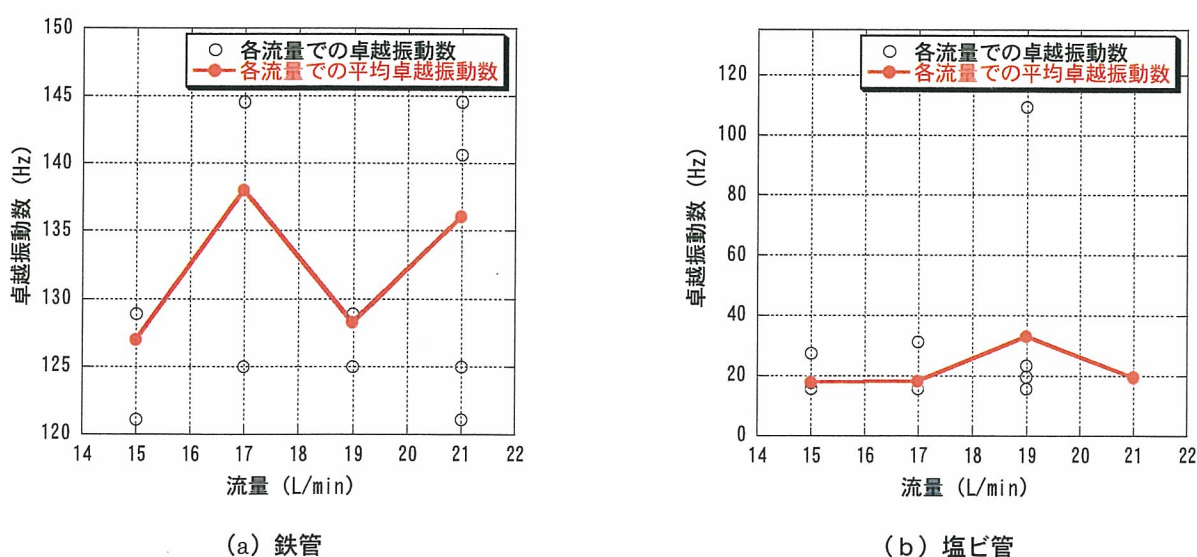
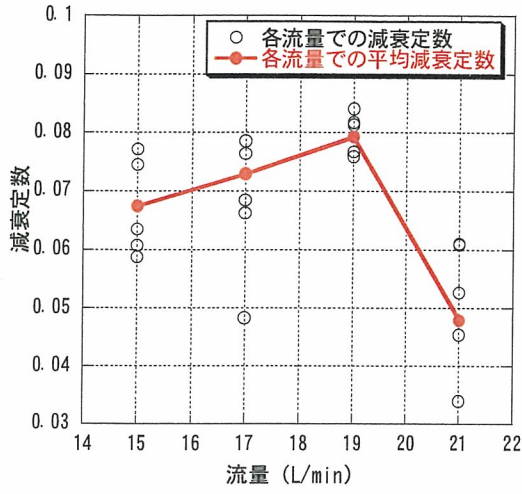
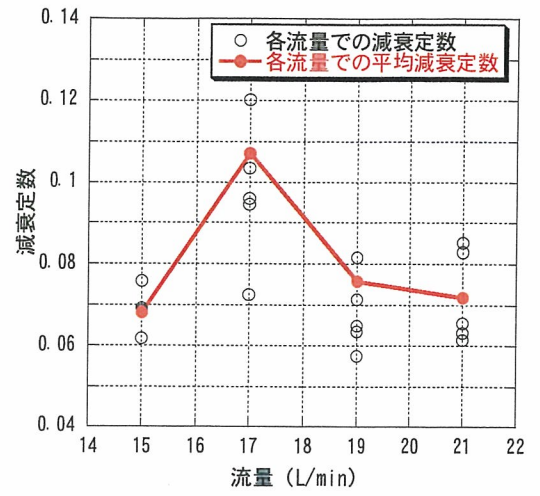


図 4-5 流量と卓越振動数の関係（振動計 80cm に設置）

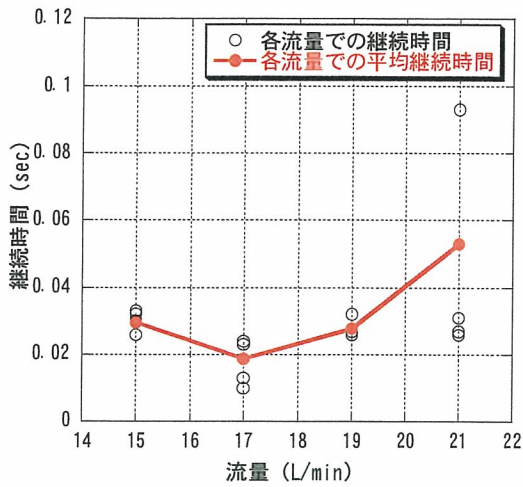


(a) 鉄管

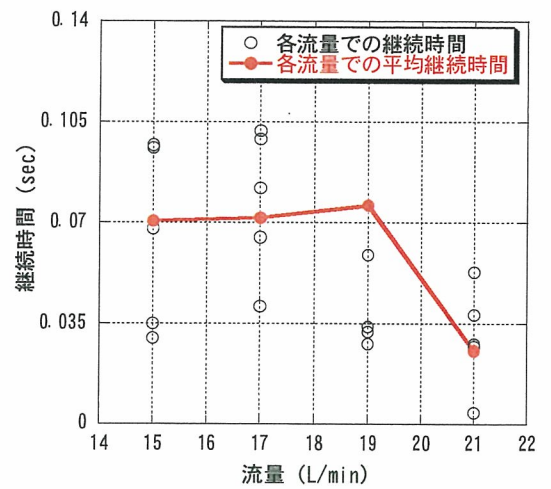


(b) 塩ビ管

図 4-6 流量と減衰定数の関係 (振動計 80cm に設置)

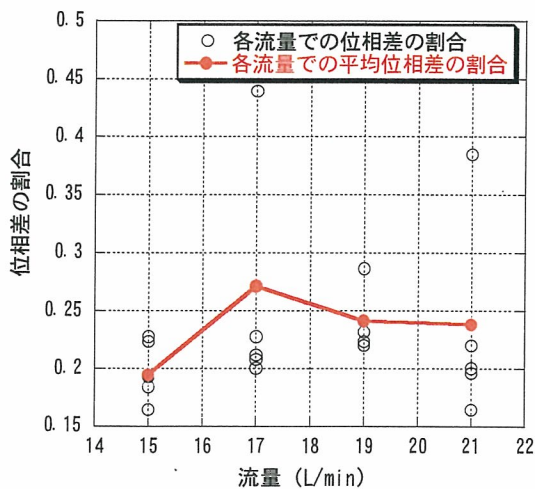


(a) 鉄管

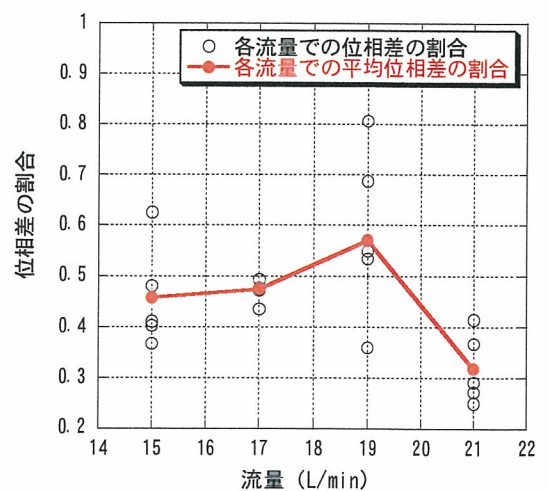


(b) 塩ビ管

図 4-7 流量と継続時間の関係 (振動計 80cm に設置)

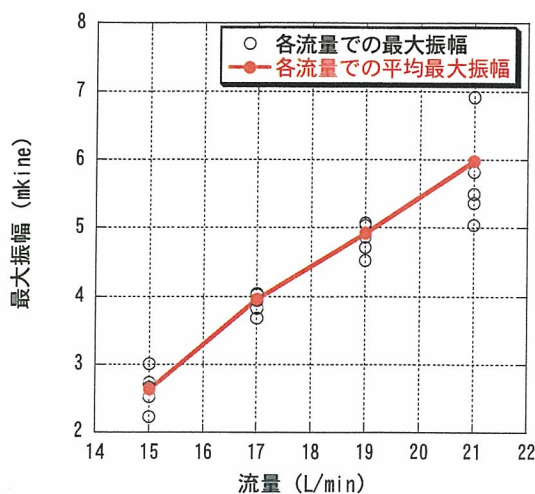


(a) 鉄管

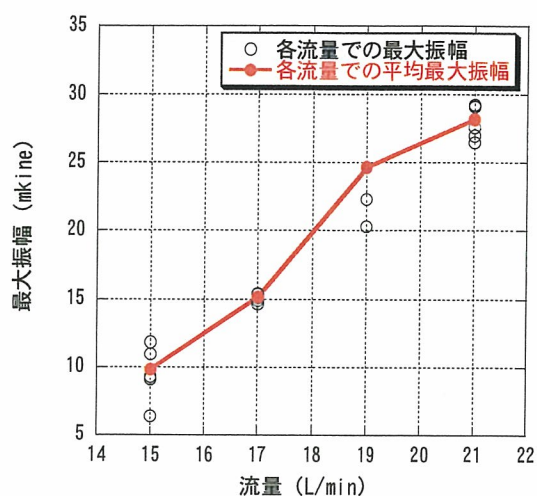


(b) 塩ビ管

図 4-8 流量と位相差の割合の関係 (振動計 80cm に設置)



(a) 鉄管



(b) 塩ビ管

図 4-9 流量と最大振幅の関係 (振動計 80cm に設置)

### 4.3 水撃作用発生時の振動 (振動計測を電磁弁から 280cm の位置で実施) の比較

水撃作用発生時の振動 (振動計測を電磁弁より 280cm の位置で実施) の各評価項目の値と、その平均値を流量別にプロットしたものを図 4-10~4-14 に示す。図 4-10 より、卓越振動数については、鉄管、塩ビ管の各々 1 ケースで大きくかけ離れた値をとっているものの、ほぼ一定の値となっている。ただし、卓越振動数は、水撃発生時に限らず、別の原因による衝撃に対しても同じ数値が得られることから、ファジィ判定評価項目に採用しないことにした。

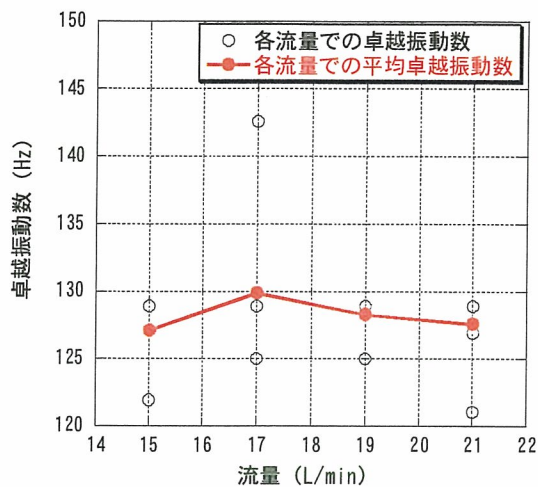
図 4-11 に示す減衰定数については、鉄管では、15 [L/min] のときに一定の数値をとっているが、それ以上の流量ではばらつきが大きくなっている。一方、塩ビ管では、19 [L/min] のときに一定の値をとっているものの、その他の流量では大きくばらついている。そのため、ファジィ判定評価項目に相応しくないと判断した。

図 4-12 の継続時間については、鉄管では、ばらつきはあるものの必ずしも大きい訳ではなく、ある程度一定の値をとっているものと見なせる。塩ビ管の場合も、ある一定の範囲の数値をとっていることから、ファジィ判定評価項目としては適切であるといえる。従って、鉄管、塩ビ管ともにファジィ判定評価項目として採用することとした。

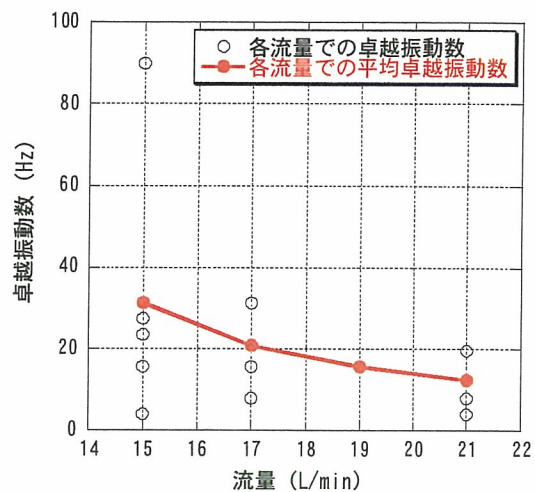
図 4-13 に示す位相差の割合については、鉄管の場合は、19 [L/min] のとき大きな数値をとっているが、ある一定範囲の数値におさまっているため、ファジィ判定評価項目として考えてよい。塩ビ管では、小さなばらつきがあるものの、平均値はほぼ一定となっていることより、鉄管と同様、ファジィ判定評価項目として考えてよい。

図 4-14 の最大振幅に関しては、鉄管・塩ビ管ともに流量に対して比例するような数値をとっている

ため、図 4-9 のケースと同様の理由で、ファジィ判定評価項目としては採用しないこととした。

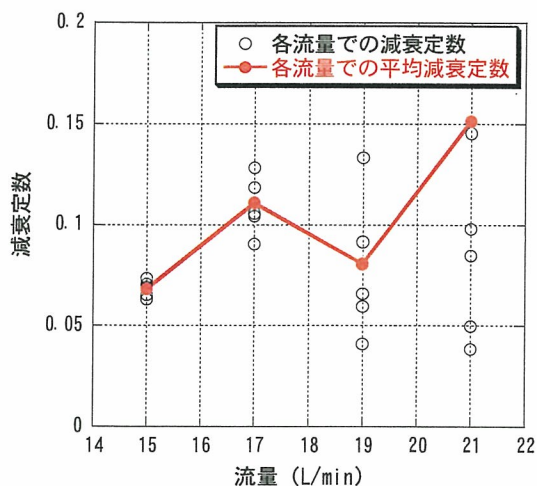


(a) 鉄管

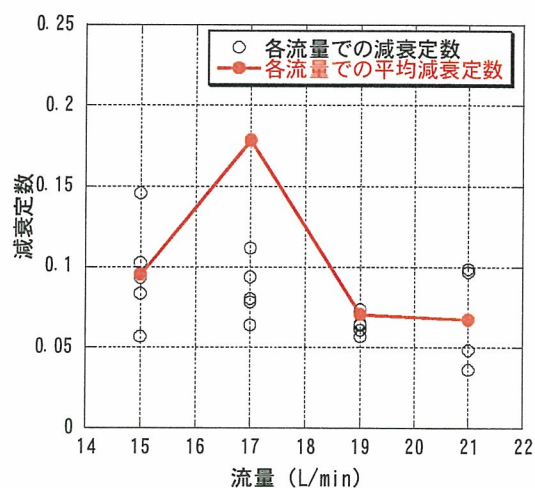


(b) 塩ビ管

図 4-10 流量と卓越振動数の関係 (振動計 280cm に設置)

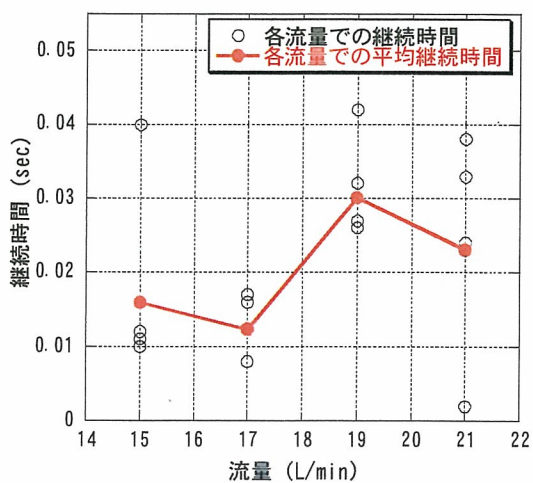


(a) 鉄管

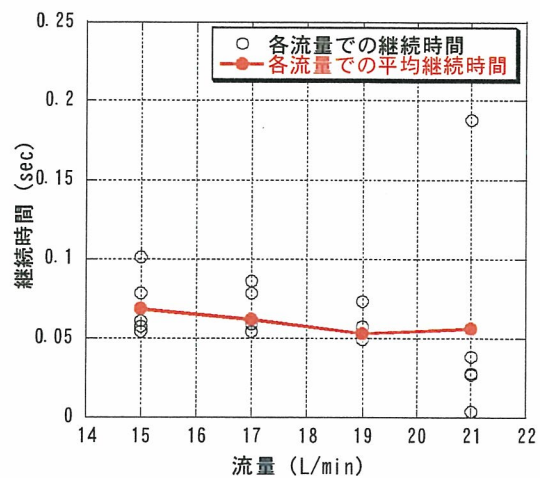


(b) 塩ビ管

図 4-11 流量と減衰定数の関係 (振動計 280cm に設置)

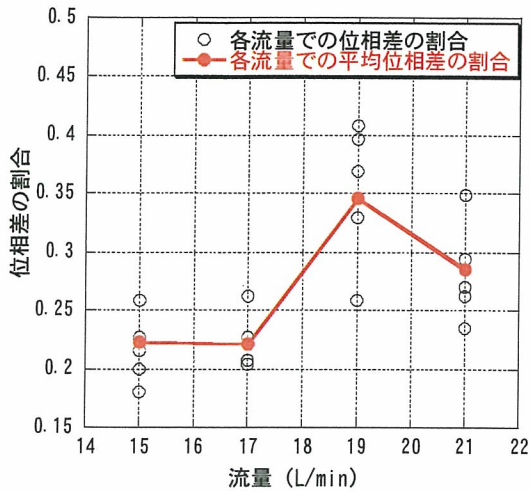


(a) 鉄管

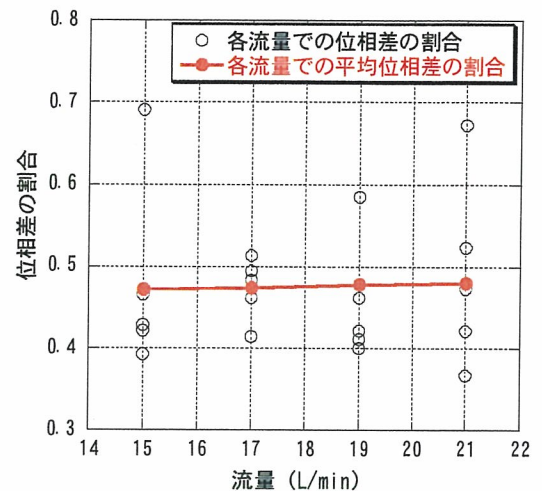


(b) 塩ビ管

図 4-12 流量と継続時間の関係 (振動計 280cm に設置)

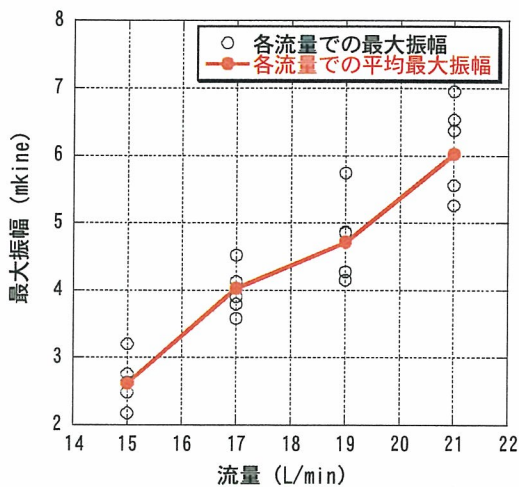


(a) 鉄管

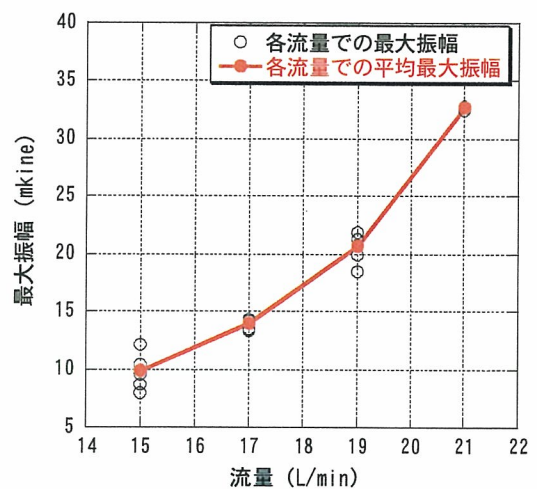


(b) 塩ビ管

図 4-13 流量と位相差の割合の関係 (振動計 280cm に設置)



(a) 鉄管



(b) 塩ビ管

図 4-14 流量と最大振幅の関係 (振動計 280cm に設置)

#### 4.5 ファジィ判定評価項目に関するまとめ

「卓越振動数」は、水撃作用発生時に限らず、別の原因による衝撃に対しても同じ数値が得られるため、また、「減衰定数」は、得られるデータのばらつきが大きいため、さらに、「最大振幅」については流量に依存してしまうことより、これらの項目をファジィ判定評価項目から除外することとした。従って、音、振動ともに、「継続時間」、および、「位相差の割合」をファジィ判定評価項目として採用することとした。

## 5. ファジィ演算モデルの構築

ファジィ演算モデルの構築方法に関しては、平成 17 年度までの研究<sup>1), 2)</sup>で用いた方法と全く同様であるため、ここでは新たに追加した事項についてのみ記述する。

### 5.1 評価基準の決定

給水管がスチール製や塩化ビニル製でない場合には、前章で除外したのもも評価項目として適切となってくる可能性があることから、ここでは、水撃作用発生時の音については、「卓越振動数」、「継続時間」、「減衰定数」、「位相差の割合」の4つの項目に、振動については、「卓越振動数」、「継続時間」、「減衰定数」、「位相差の割合」、「最大振幅」の5つの項目に関して、その善し悪し（パラメータG）、水撃が発生しているか否かの判断に与える影響度の大きさ（パラメータE）、水撃作用発生具合の総合評価（パラメータN）の3つのパラメータに関して、メンバーシップ関数を決定できるようにした<sup>3)</sup>。これは、新たに評価項目を組み込むのはファジィ演算構築上かなりの労力を要するが、評価項目を除外することは、後述するように、「影響度をゼロとする」だけで済むためである。

最初に、各評価項目の善し悪しを「良い」「まあまあ良い」「どちらとも（良いとも悪いとも）言えない」「まあまあ悪い」「悪い」の5つの基準に分ける。決定された評価基準を表 5-1 に示す。この評価基準は、演算の実行にあたり微調整を繰り返し、最適と思われるものを試行錯誤しながら決定した。また、音については、「卓越振動数」「減衰定数」の2つの項目、振動については、「卓越振動数」「減衰定数」「最大振幅」の3つの項目は、水撃が発生しているか否かの判断への影響度をゼロとしたため、表 5-1, 2 では、音、振動ともに「継続時間」「位相差の割合」の2つの評価基準だけを示した。この評価基準により、実験で得た鉄管と塩ビ管のシステム構築用の各々24のデータは表 5-2 のように分類される。

表 5-1 鉄管の評価基準

#### (a) 水撃音

継続時間 [秒]		位相差の割合	
0.03 以上 0.09 未満	評価 5	0.25 以上 0.40 未満	評価 5
0.01 以上 0.03 未満	評価 4	0.20 以上 0.25 未満	評価 4
0.09 以上 0.13 未満		0.40 以上 0.45 未満	
0.13 以上 0.17 未満	評価 3	0.15 以上 0.20 未満	評価 3
		0.45 以上 0.50 未満	
0.005 以上 0.01 未満	評価 2	0.50 以上 0.55 未満	評価 2
0.17 以上 0.18 未満			
0.005 未満	評価 1	0.15 未満	評価 1
0.18 以上		0.55 以上 1.0	



## (b) 振動 (80cm設置)

継続時間 [秒]		位相差の割合	
0.025 以上 0.035 未満	評価 5	0.15 以上 0.25 未満	評価 5
0.015 以上 0.025 未満	評価 4	0.25 以上 0.30 未満	評価 4
0.010 以上 0.015 未満 0.035 以上 0.1 未満	評価 3	0.30 以上 0.40 未満	評価 3
0.1 以上 0.15 未満	評価 2	0.40 以上 0.45 未満	評価 2
0.010 未満 0.15 以上	評価 1	0.15 未満 0.45 以上 1.0	評価 1

## (c) 鉄管の振動 (280cm設置)

継続時間 [秒]		位相差の割合	
0.010 以上 0.020 未満	評価 5	0.20 以上 0.30 未満	評価 5
0.005 以上 0.010 未満 0.020 以上 0.035 未満	評価 4	0.15 以上 0.20 未満 0.30 以上 0.35 未満	評価 4
0.035 以上 0.050 未満	評価 3	0.35 以上 0.45 未満	評価 3
0.005 未満 0.050 以上 0.1 未満	評価 2	0.15 未満	評価 2
0.1 以上	評価 1	0.45 以上 1.0	評価 1

表 5-2 塩ビ管の評価基準

## (a) 水撃音

継続時間[秒]		位相差の割合	
0.020 以上 0.050 未満	評価 5	0.25 以上 0.35 未満	評価 5
0.005 以上 0.020 未満 0.050 以上 0.070 未満	評価 4	0.20 以上 0.25 未満 0.35 以上 0.40 未満	評価 4
0.070 以上 0.090 未満	評価 3	0.15 以上 0.20 未満	評価 3
0.090 以上 0.2 未満	評価 2	0.40 以上 0.45 未満	評価 2
0.005 未満 0.2 以上	評価 1	0.15 未満 0.45 以上 1.0	評価 1

(b) 振動 (80cm 設置)

継続時間[秒]		位相差の割合	
0.03 以上 0.06 未満	評価 5	0.45 以上 0.50 未満	評価 5
0.06 以上 0.10 未満	評価 4	0.35 以上 0.45 未満	評価 4
0.10 以上 0.13 未満	評価 3	0.50 以上 0.60 未満	評価 4
0.02 以上 0.03 未満	評価 2	0.25 以上 0.35 未満	評価 3
0.13 以上 0.185 未満	評価 2	0.60 以上 0.70 未満	評価 3
0.02 未満	評価 1	0.70 以上 0.85 未満	評価 2
0.185 以上	評価 1	0.25 未満	評価 1
		0.85 以上 1.0	評価 1

(c) 振動 (280cm 設置)

継続時間 [秒]		位相差の割合	
0.05 以上 0.08 未満	評価 5	0.40 以上 0.45 未満	評価 5
0.03 以上 0.05 未満	評価 4	0.35 以上 0.40 未満	評価 4
0.08 以上 0.10 未満	評価 4	0.45 以上 0.50 未満	評価 4
0.02 以上 0.03 未満	評価 3	0.50 以上 0.70 未満	評価 3
0.10 以上 0.11 未満	評価 3	0.30 以上 0.35 未満	評価 2
0.01 以上 0.02 未満	評価 2	0.70 以上 0.75 未満	評価 2
0.11 以上 0.19 未満	評価 2	0.30 未満	評価 1
0.01 未満	評価 1	0.75 以上 1.0	評価 1
0.19 以上	評価 1		

表 5-3 鉄管の評価基準によるデータの分類

水撃音		振動計				データ数
継続時間	位相差の割合	80cm 設置		280cm 設置		
		継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	
5	5	5	5	5	5	1
5	5	5	5	4	3	1
5	5	5	4	5	4	1
5	5	5	4	3	3	1
5	5	4	5	5	5	1
5	5	3	3	3	4	1
5	5	3	2	5	5	1
5	4	5	5	5	5	3
5	4	5	5	5	3	1
5	4	5	5	4	5	1
4	5	5	5	5	4	1
4	5	4	3	5	5	1
4	5	3	5	2	5	1
4	5	2	4	5	4	1

4	4	5	5	5	5	1
4	4	4	5	5	5	1
3	5	5	5	5	5	1
3	5	4	5	2	5	1
3	3	5	5	4	5	1
3	2	5	5	4	4	1
2	5	5	5	5	5	1
2	4	5	5	4	5	1
データ計						24

表 5-4 塩ビ管の評価基準によるデータの分類

水撃音		振動計				データ数
継続時間	位相差の割合	80cm 設置		280cm 設置		
		継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	
5	5	5	5	4	4	1
5	5	5	4	5	5	1
5	5	5	3	4	4	1
5	4	5	5	4	3	1
5	4	5	4	3	4	1
5	4	4	3	5	3	1
5	4	3	4	5	5	1
5	3	4	5	5	4	1
5	3	2	3	5	5	1
4	5	5	5	5	5	1
4	5	5	3	3	3	1
4	5	5	2	5	4	1
4	5	4	4	5	4	1
4	5	3	5	5	3	1
4	5	3	4	1	3	1
4	5	2	4	5	3	1
4	4	5	4	4	5	1
4	4	4	5	5	5	1
4	4	4	5	5	4	1
4	4	4	4	5	5	1
4	4	4	4	5	5	1
4	4	4	4	5	4	1
4	3	3	4	3	4	1
3	5	4	5	4	4	1
3	5	4	3	5	5	1
2	5	3	3	2	5	1
データ計						24

## 5.2 メンバシップ関数の決定

鉄管、塩ビ管ともに 24 ずつあるシステム構築用のデータを用い、水撃作用発生時の音と振動に対して、「位相差の割合」に重みをおいたメンバシップ関数を決定した。音と振動については、前年度までの研究で、振動のデータを用いる方が高精度の判定ができることが結果として得られていることから、音より振動に重みをおいた。図 5-1 は、一例として、塩ビ管の水撃作用発生時の音に関する「位相差の割合」に関して決定されたメンバシップ関数を示したものである。

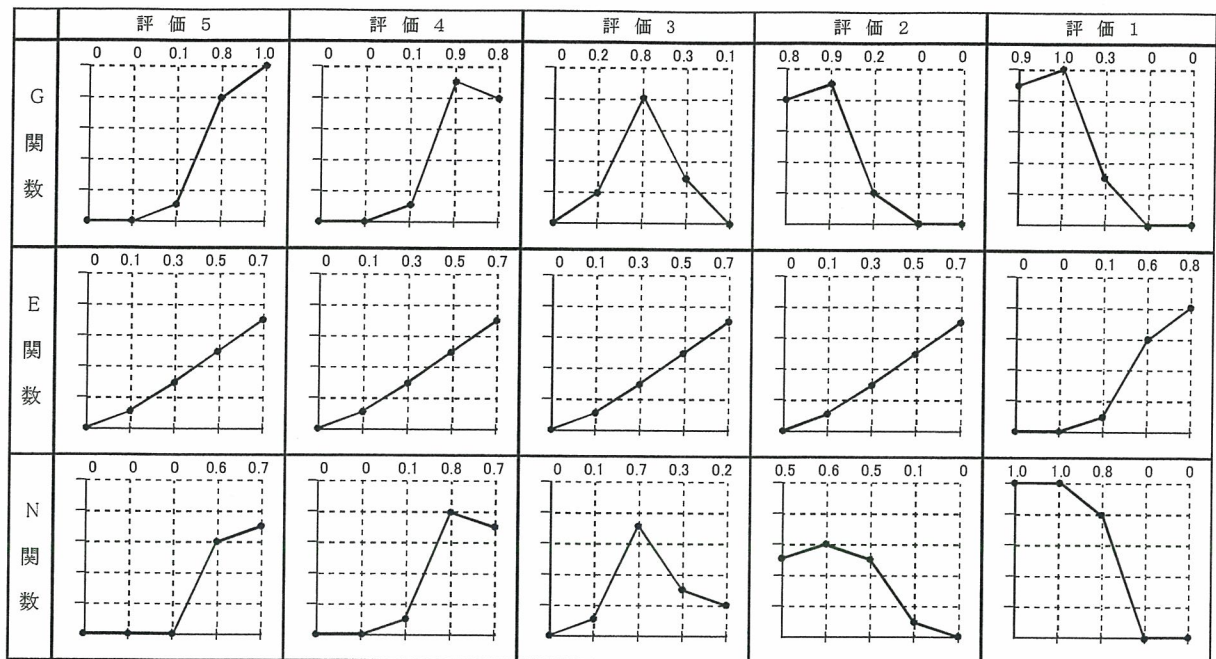


図 5-1 塩ビ管の水撃作用発生時の音に関する「位相差の割合」のメンバーシップ関数

### 5.3 ファジィ演算結果に対する判定基準

本研究では、ファジィ演算結果に対する判定基準として、①ピーク値、②ある点以上の面積の全体に占める割合の2つに着目し、判断基準を以下のように決定した<sup>1), 2)</sup>。

(1) 「水撃作用が発生している」

ピーク値が4点以上 and 3点以上の面積の全体に占める割合が60%以上  
(ただし、ピーク値が2箇所以上ある場合は、高い評価の方を選定)

(2) 「水撃作用発生の可能性がある」

ピーク値が3点 and 3点以上の面積の全体に占める割合が60%未満  
(ただし、ピーク値が2箇所以上ある場合は、高い評価の方を選定)

(3) 「水撃作用は発生していない」

上記二つの条件をいずれも満たさない(図が直線的になる場合も含む)

これらの基準を図で表すと、図 5-2 のようになる。

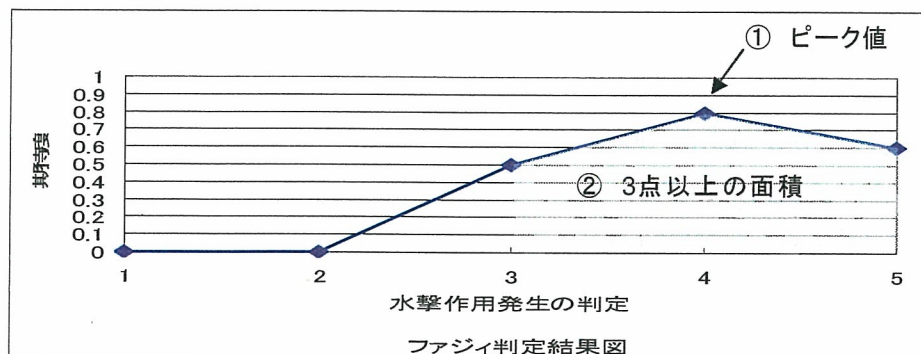


図 5-2 評価基準の例

## 6. 判定結果および考察

### 6.1 ファジィ演算プログラムを構築する際に用いたデータに対する判定結果

前述したファジィ判定図の判定基準をもとに、実験によって収録しファジィ演算プログラムを構築する際に用いた鉄管、塩ビ管ともに24の計48のデータに対して、本研究で構築したファジィ演算プログラムにより判定した結果を示したのが表6-1, 2である。これらの表では、「水撃作用が発生している」を◎、「水撃作用発生の可能性がある」を△、「水撃作用は発生していない」を×として表している。表6-1, 6-2に示すように、鉄管においては、24データ中の19のデータで「水撃作用が発生している」と判定でき、塩ビ管においては、24データ中の17のデータで「水撃作用が発生している」と判定できたことになる。

表 6-1 鉄管の判定基準によるデータ分類

水撃音		振動計				データ数	判定
		80cm 設置		280cm 設置			
継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
5	5	5	5	5	5	1	◎
5	5	5	5	4	3	1	◎
5	5	5	4	5	4	1	◎
5	5	5	4	3	3	1	◎
5	5	4	5	5	5	1	◎
5	5	3	3	3	4	1	◎
5	5	3	2	5	5	1	△
5	4	5	5	5	5	3	◎
5	4	5	5	5	3	1	◎
5	4	5	5	4	5	1	◎
4	5	5	5	5	4	1	◎
4	5	4	3	5	5	1	◎
4	5	3	5	2	5	1	△
4	5	2	4	5	4	1	△
4	4	5	5	5	5	1	◎
4	4	4	5	5	5	1	◎
3	5	5	5	5	5	1	◎
3	5	4	5	2	5	1	△
3	3	5	5	4	5	1	◎
3	2	5	5	4	4	1	△
2	5	5	5	5	5	1	◎
2	4	5	5	4	5	1	◎
データ計						24	

表 6-2 塩ビ管の判定基準によるデータ分類

水撃音		振動計				データ数	判定
		80cm 設置		280cm 設置			
継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
5	5	5	5	4	4	1	◎
5	5	5	4	5	5	1	◎
5	5	5	3	4	4	1	◎
5	4	5	5	4	3	1	◎
5	4	5	4	3	4	1	◎
5	4	4	3	5	3	1	△
5	4	3	4	5	5	1	◎
5	3	4	5	5	4	1	◎
5	3	2	3	5	5	1	△
4	5	5	5	5	5	1	◎
4	5	5	3	3	3	1	△
4	5	5	2	5	4	1	△
4	5	4	4	5	4	1	◎
4	5	3	5	5	3	1	◎
4	5	3	4	1	3	1	×
4	5	2	4	5	3	1	△
4	4	5	4	4	5	1	◎
4	4	4	5	5	5	1	◎
4	4	4	5	5	4	1	◎
4	4	4	4	5	5	1	◎
4	3	3	4	3	4	1	◎
3	5	4	5	4	4	1	◎
3	5	4	3	5	5	1	◎
2	5	3	3	2	5	1	△
データ計						24	

## 6.2 有効性の確認のために収録したデータに対する判定結果

水撃作用発生時の音と振動のデータによって構築した水撃作用検出判定システムの精度の確認のために、新たに、水撃作用発生時のデータを鉄管、塩ビ管ともに 8 の計 16、また、水撃作用以外の衝撃のデータとして、電磁弁から 10cm 離れた位置をハンマ、手、靴により打撃した場合（図 6-1～6-4）のものを 12（各々の実験回数：4 回）収録した。そして、これらの収録データに対して、本研究で構築したファジィ演算プログラムにより判定した結果を示したのが表 6-3～6-6 である。判定の表示方法については、表 6-1、6-2 と同じである。

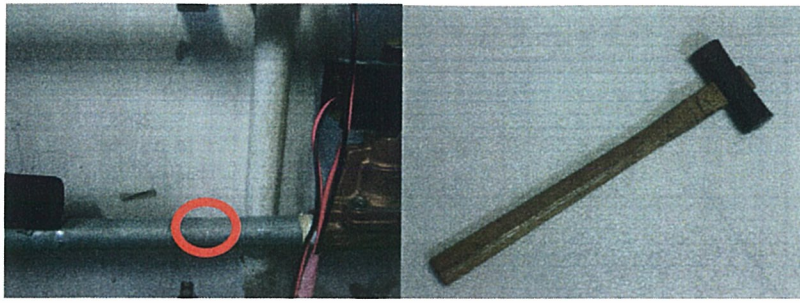


図 6-1 管の打点位置 図 6-2 打撃に使用したハンマ

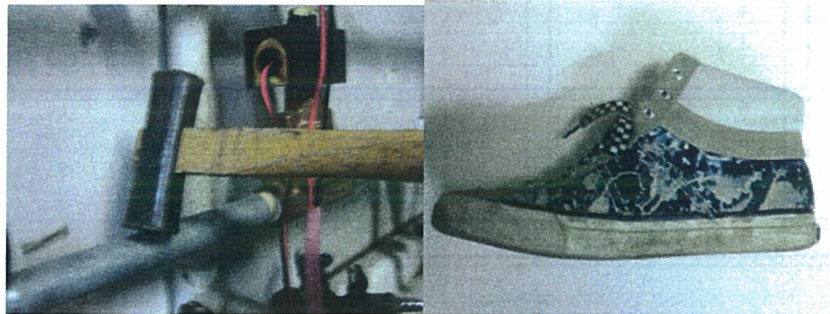


図 6-3 打撃風景 図 6-4 打撃に使用した靴

表 6-3 鉄管の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計				データ数	判定
継続時間	位相差の割合	80cm 設置		280cm 設置			
		継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
5	5	5	5	5	5	1	◎
5	5	5	5	4	4	1	◎
5	5	5	3	5	3	1	△
5	4	5	5	5	4	1	◎
5	4	5	5	4	3	1	◎
5	3	3	3	5	5	1	◎
4	5	5	5	5	4	1	◎
2	5	5	5	4	5	1	◎
						計 8	

表 6-4 塩ビ管の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計				データ数	判定
継続時間	位相差の割合	80cm 設置		280cm 設置			
		継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
5	5	5	4	5	3	1	◎
5	4	5	3	5	3	1	△
5	3	5	4	5	5	1	◎
4	5	5	4	5	5	1	◎
4	5	5	4	3	4	1	◎
4	4	5	5	4	3	1	◎
4	4	4	4	5	3	1	◎
3	4	5	4	4	4	1	◎
						計 8	

表 6-5 鉄管の水撃作用以外の精度確認用衝撃のデータ判定

	水撃音		振動計				データ数	判定
			80cm 設置		280cm 設置			
	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
ハンマによる衝撃	4	5	5	1	1	1	×	
	4	5	5	1	1	1	×	
	4	5	5	1	1	1	×	
	4	4	2	1	4	1	×	
手による衝撃	5	3	3	1	3	1	×	
	4	5	1	2	3	3	×	
	4	2	5	1	4	1	×	
	1	4	4	1	5	1	×	
靴による衝撃	5	5	3	1	1	1	×	
	5	5	1	1	3	1	×	
	5	4	5	1	1	1	×	
	1	5	3	1	4	2	×	
						計 12		

表 6-6 塩ビ管の水撃作用以外の精度確認用衝撃のデータ判定

	水撃音		振動計				データ数	判定
			80cm 設置		280cm 設置			
	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合	継続時間	位相差の割合		
ハンマによる衝撃	5	1	5	2	5	3	1	△
	5	1	4	3	5	3	1	△
	4	1	4	2	5	4	1	△
	2	1	1	1	5	4	1	×
手による衝撃	5	5	5	3	5	4	1	◎
	5	4	1	3	3	4	1	×
	4	3	5	1	4	3	1	×
	4	1	5	2	4	4	1	△
靴による衝撃	5	5	5	2	1	4	1	×
	5	5	4	2	1	3	1	×
	5	3	2	2	1	5	1	×
	5	3	1	2	5	4	1	×
						計 12		

### 6.3 判定精度に関する考察

表 6-3～6-6 の精度確認用データに基づき、(A) 音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）を対象としたときの判定、(B) 音のみを対象にしたときの判定、(C) 振動のみ（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）を対象としたときの判定、(D) 音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm の位置で実施）を対象にしたときの判定、(E) 音と振動（振動計測を電磁弁から 280cm の位置で実施）を対象にしたときの判定の 5 通りの方法の検出精度を示したのが表 6-7 である。なお、この表では、精度として、水撃作用が発生しているケースに対して「水撃作用が発生している」と判定した割合を『水撃作用の検出割合』、水撃作用が発生していないケースに対して「水撃作用が発生していない」と



判定した割合を『水撃作用以外の衝撃の検出割合』と表示してある。表 6-7 より、以下のことがわかる。

- ①音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）を対象とした (A) の判定精度は、鉄管については、水撃作用検出に対して 87.5%，水撃作用以外の衝撃の検出に対して 100% であり、塩ビ管については、水撃作用検出に対して 87.5%，水撃作用以外の衝撃の検出に対して 91.7% である。
- ②鉄管の場合、(A) と (C) の判定精度が同じであり、振動のみを対象として判定してもよいことになる。また、(D) と (E) の精度が同じであることから、鉄管の場合は、振動波形の計測位置に注意をさほど払わなくてもよいといえる。
- ③塩ビ管の場合、(D) の音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm の位置で実施）を対象にしたときの検出精度が最も良いものになり、次に (A) と (C) の精度が高い結果となっている。従って、電磁弁からの距離が近い位置での振動および音のデータを用いるのが適切と考えられる。
- ④鉄管・塩ビ管ともに、音のみを対象として判定する場合には、特に、水撃作用以外の衝撃により異音や振動が発生しているケースに対する検出精度が低くなっている。平成 17 年度の研究では、ハンマによる打音のみを対象として 70% 程度の精度が得られたが、ハンマ以外のもの（ここでは、手と靴）による打音で生じる音に対しては、十分な精度を確保できないといえる。
- ⑤以上より、水撃作用の検出に際しては、給水管の材質を考慮してファジィ演算プログラムを構築する必要があること、および、水撃作用検出用のファジィ演算を構築する場合には、音と振動の両者を対象とするのが望ましいが、一方しか採用しない場合には、特に塩化ビニル製の場合、電磁弁にできる限り近い位置での給水管の振動を対象とするのが適切であることが結果としていえる。

表 6-7 水撃作用検出の精度 ( ) 内は、正しく判定できた回数/総データ数を表示

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
鉄管	水撃作用の検出割合	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	75% (6/8)	75% (6/8)
	水撃作用以外の衝撃の検出割合	100% (12/12)	30% (4/12)	100% (12/12)	100% (12/12)	100% (12/12)
塩ビ管	水撃作用の検出割合	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	50% (4/8)
	水撃作用以外の衝撃の検出割合	91.7% (11/12)	58.3% (7/12)	91.7% (11/12)	100% (12/12)	75% (9/12)

(A) 音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）

(B) 音のみを対象

(C) 振動のみを対象（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）、

(D) 音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm の位置で実施）

(E) 音と振動（振動計測を電磁弁から 280cm の位置で実施）

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、1)実験室内で給水管の振動と音を同時に計測し、両者のデータを用いて水撃作用が発生しているか否かをファジィ演算に基づいて判定するシステムを構築すること、および、2)スチール製給水管（前記 1）で使用）を塩化ビニル製給水管に変更した場合の水撃現象発生時の振動および音の特性を把握するための実験を実施し、給水管の材質の違いがファジィ演算を用いた水撃作用検知システムに及ぼす影響について検討することを試みた。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 評価項目については、音・振動ともに「継続時間」および「位相差の割合」とし、「位相差の割合」に重みをおいて判定を行った結果、音と振動（振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施）の両者を対象としたときの判定結果の精度は、スチール製給水管については、水撃作用検出に対して 87.5%，水撃作用以外の衝撃の検出に対して 100%であり、塩化ビニル製給水管については、水撃作用検出に対して 87.5%，水撃作用以外の衝撃の検出に対して 91.7%であった。
- 2) 水撃作用の検出に際しては、給水管の材質を考慮してファジィ演算プログラムを構築する必要がある。
- 3) 水撃作用検出用のファジィ演算を構築する場合には、音と振動の両者を対象とするのが望ましいが、一方しか採用しない場合には、特に塩化ビニル製の場合、電磁弁にできる限り近い位置での給水管の振動を対象とするのが適切である。

平成 19 年度に向けての課題としては、以下のことが挙げられる。

- 1) 最近普及し始めているポリエチレン製給水管を対象とした実験の実施
- 2) ダイレクトに水圧変動を計測し水撃作用を判定するプログラム構築の試みの妥当性
- 3) 構築した検出システムを一般家屋等で適用した場合の判定精度の検証
- 4) 「小型化」、「低価格化」を意識した検知装置開発の試み

## 参考文献

- 1) (財)給水工事技術振興財団:水有効利用のための給水システム構築に関する研究報告書, pp. 93-134, 2005 年 3 月.
- 2) 厚生労働科学研究費補助金 健康科学総合研究事業:給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究, 平成 17 年度 総括・分担研究報告書, pp. 51-86, 平成 18 (2006) 年 3 月.
- 3) 杉山俊幸, 水谷淳, 熊谷紳一郎:ファジィ理論を用いた山留め壁変位の実測値と予測値の整合性判定プロセスのモデル化, 土木学会論文集 No. 480/VI-21, pp. 147-155, 1993 年 12 月.

## 2. 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究

分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部

### 1. はじめに

近年、受水槽を用いた給水方式において、水質異常や漏水事故が多く報告されている。

受水槽の管理は、建物管理者の責任のもと行われることになっているが、必ずしも十分でない。また、3階以上の建物に対しては、受水槽内の水質劣化を懸念して、配水管から直接水を供給する直結給水方式が奨励されているが、現状では直結給水方式への切り替えは十分に行われておらず、受水槽方式が多く採用されている。受水槽を用いた給水方式は、配水管から一度受水槽に水を貯め、ポンプを使って屋上にある高架水槽に水を送り、水槽との落差を利用して各部屋へと水が供給される仕組みになっている。給水方式には、受水槽方式、圧力水槽方式、直結給水方式の3つがあるが、勝田はこれらを圧力変化、ポンプの運転回数、費用等の観点から比較を行った。その結果、受水槽方式は、ポンプの運転回数が少なく済み、設備費の点では有利であるが、水槽内での滞留時間が長いため残留塩素濃度の低下による水質劣化が他の方式に比べ劣るとして問題提起している。

宅地内の給水装置に関しては、臭味や異物混入といった水質的な問題も生じているが、約75%が給水装置の故障による漏水であることが分かっている。その原因の多くが、配管の接続不良や経年劣化に起因するものである。また、漏水事故の多くは、検針で前月の水使用量との差を比較して発見されているが、漏水の発見までに時間がかかり、水の有効利用の観点や経済的損失を考えたときに大変な問題であり、早急に検出する方法の開発が求められている。

その一方で、漏水検出の研究や水質調査が行われているが、十分に対応しきれていない。漏水検出の研究は多くされているが、音響式漏水検知システムや、バルブの急閉にともなう圧力の過渡現象から漏水位置を特定する方法は、距離の長い配水管を対象としたものであり、その研究成果を建物内の給水管へ応用させることは難しい。また、建物内の漏水検知を対象とした研究では、予め漏水が予想されている箇所（継手付近）に直接センサを付け、それによる検出を行う方法<sup>9)</sup>が考えられているが、センサの取り付けられていない箇所での漏水検出は不可能である。そして、建物の竣工前に行う漏水の有無を検出する方法も研究されているが、この方法は一時的な調査であり、管の経年劣化による漏水の発生の場合には、十分に対応できないといった問題点がある。

給水管内の水質把握については、末端の蛇口での調査が一時的なサンプルで行われているが、経時変化の調査が十分に行われていない。また、一般家庭の給水管内の水質をリアルタイムで測定し、水質異常を検出する方法は確立されていない。

本研究では、水道メータ付近に設置した流量計、圧力計、水質計によって、水質の異常や水量の異常を速やかに検出し、水道利用者に警報を発するシステムの構築を目指した。

想定しているシステムとしては、図1に示すように各戸に各種センサを併設した水道メータを設置し、各種センサから得られる流量データ及び水質データの時系列データを逐次1箇所の管理システムに送ることで、異常が発生した場合、各戸に警報を発するというものである。管理システムでは、流量と圧力の変化や、水質の変化を捉え、それらの変化の傾向から異常を検出し、警報を発する。これにより当該需要者はもちろん、他の需要者に対する健康的リスクの低減や、経済的損失の低減を達成することが可能となる。本研究では、このシステムの構築のために、時系列データから給水管・給水装置に由来する漏水検出方法のアルゴリズム構築と給水管内の水質や水量の変化パターンの把握を目的とする。

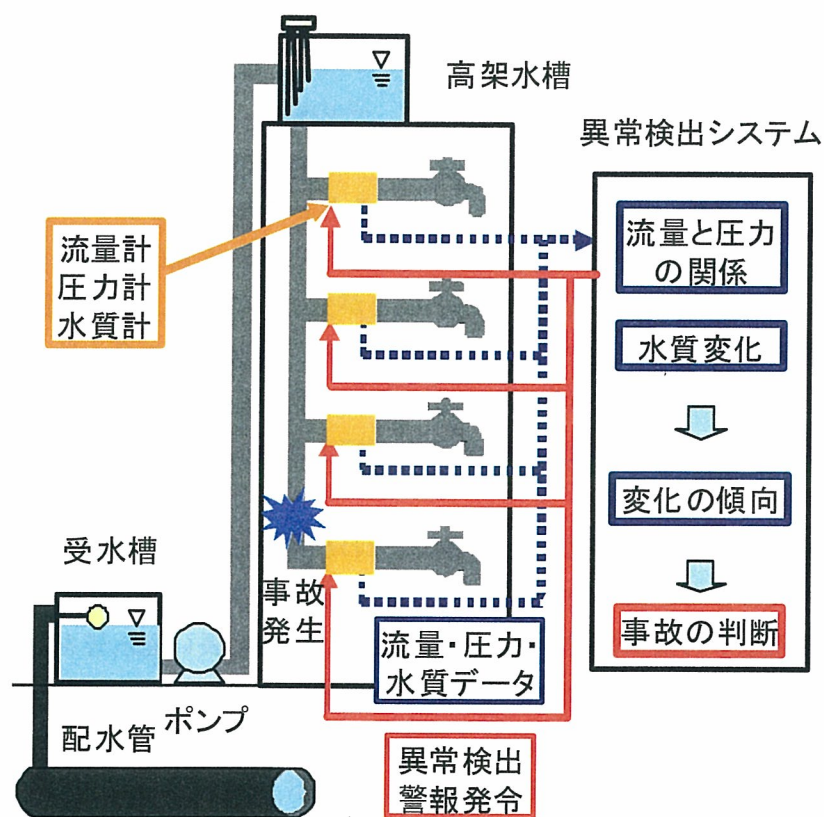


図1 異常検出システム