

て当たり前と出てきた。しかし、給水条例上需要者にも維持管理の責任があり、費用負担が生じるのであれば、具体的かつ丁寧な説明が需要者に必要であろう。特に、既設給水装置の維持管理を更に徹底させるためには、十分な説明がないと反発が大きいと危惧する。

3-5 第3者の立場から

1) 水有効利用のための給水システム構築に関する研究委員会委員 中村文雄 給水工事技術振興財団

平成 14～16 年度にかけて、給水システムにおける事故・故障発生要因に関する基礎的研究や給水システムの維持管理方法に関するアンケート調査に関与させて戴いたが、ここでは、今までの調査研究結果等を参考にしながら、給水システムの維持管理と安全対策に関するやや先走った感のある私見を述べさせていただく。

6 大都市における給水人口千人当りの事故・工事件数を調べた結果では、各事業体業体の給水システム内事故への関わり方や記録方法に差があるため事故発生件数に変動が認められたが、その最大値は宅地内事故発生率として 13.5 件/千人/年であった。ここで、1 家族 4 人と仮定し、メータ上流側の事故発生件数や需要者が工事業者に直接修繕を依頼する件数を同数と仮定すると、事故発生率は 1 戸当り 10 年に 1 回（年当り 10 戸に 1 戸）程度と想定され、その発生頻度はさほど高いものではないとも考えられる。しかし、この頻度は、給水装置・用具の経年劣化をも考慮すると無視できない発生頻度であり、とりわけ給水システム内の事故は人の健康に係わる水質事故にも直結するものであるため、安易に考えるわけにはいかない性質のものである。

需要者から給水装置の調査・修繕等の依頼があった場合の対応の流れは、故障の内容、休日・夜間の時間帯等によって同じ事業体でも数通りの処理方式を採用しているにしても、事業体が直接・間接的に関わっている処理方式は 62.5%、需要者が直接水道工事業者（管工事組合員）に依頼する方式が 34.9%、修繕センター等を経由して処理する方式は 2.5%であった。給水システムの故障や事故等に由来する重大な健康被害の発生を寡聞にして聞いていないので、現時点においては、それぞれの水道事業体における上述の対応方式でも大過無く処理されてきているものと考えられる。ただ、給水装置・用具のための巡回・点検・交換と言った維持管理は為されておらず、需要者からの申告対応方式下での微妙なバランスの上に成り立っているようにも考えられる。一方において、昨今では、貯水槽水道や小規模水道などの維持管理の不完全性が指摘されていたり、法で定められている水質管理が実行されていない維持管理不十分な施設が報告されている現実がある。したがって、水道の安全性を考慮するとき、維持管理に関するこの現状をより改善する必要があるであろう。

ただ、給水装置は個人の財産であり、その維持管理は個人の責任に帰属するものであるという認識があるためか、給水装置・用具に関連を持つ水道事業者、工事業者、第3者認証機関、製造業者は、それぞれ維持管理に積極的に関与し難い状況にあったし、それぞれの分野で維持管理の必要性を感じていたとしても、それを実行する仕組みが無かったために組

織だった維持管理を実施しようが無かったとも言える。

そこで、この改善方策として、何らかの形で国の助言を得て、需要者、水道事業者、工事業者、製造業者、第3者認証機関等が関与する維持管理を専門に実行する第3者機関を立ち上げ、それぞれが持つ機能に応じた役割で維持管理および安全対策を確実に実行する様にしたら如何かと個人的には考えている。すなわち、調査結果によると、255事業体の中には事業体と管工事組合が共同で設立している約45の維持管理センターがある。事故等への対応方法は区々であるが、基本的には、需要者からの連絡を受けて、調査、工事、修繕などを行っている。第3者機関では、このような維持管理センター的な機能をより拡充・強化して、維持管理に関する需要者への指導や助言、需要者からの情報の整理・管理システムの構築、図面の整備、配管材料や施工法の適正化・規格化、定期的巡回・点検等々の給水装置の維持管理にかかわる業務を行うものとする。

一方、安全対策に関しては、リスク管理システムに準じた組織と機能を第3者機関に持たせるべきと考える。調査結果に依れば、1事業体あたり年間800から1100件程度の問い合わせがあるが、その半数は工事・修繕に関するもの(24.3%)と、水質関係・出水不良・器具故障等に関するもの(30.2%)である。ただ、問題は、需要者がこれら異常に気付くのは5感によるものが大半であることあり、中には異常に気付かない人も居るわけで、水道水質に関しては異常を感知した時点では既に遅い場合が多くなる事が危惧される。したがって、常時、人間の感覚以上の感度でシステム内の異常を感知するシステムを立ち上げて連続的な安全性の確認を日常業務とすると共に、異常を感知したときには直ちに対応を取り得るシステムを立ち上げる必要がある。ここでは、当然のことながら、危機の予防・回避等ための事前準備をしておくと共に、危機の予測・予知機能を具備し、危機管理マニュアル、人材確保、復旧方策等々の事故対策を確立した組織を作る必要がある。

勿論、実際の立ち上げに際しては、異常情報の選択とその測定方法、情報の集中管理と異常情報の解析・抽出・予測と伝達方法、事故への対応方式、組織における手続き・組織・構造・指揮命令系統のあり方、B/C等々の検討項目や問題点が多く、まず、フィージビリティスタディを行うべきではあるが、水道においては、地震その他に対する危機管対応とその為のマニュアル作成等に関しては既に多くの経験を持っており、測定や情報の集中管理と異常情報の解析・抽出・予測や伝達方法に関しては、現今の技術レベルからすれば対応可能なものであるので、上記のような維持管理と安全対策のあり方は、あながち荒唐無稽な方策とは言えないであろう

4. 総括

前記のように、本研究では、平成14～16年度にかけて実施したアンケート調査結果およびワーキンググループ委員の意見を基にして、給水システムの維持管理の現状と問題点を整理すると共に、各委員および外部関係者から、「水道事業者」「管工事業者(組合)」「給

水装置メーカー」「需要者」および「第三者」の立場に立った給水システムの維持管理の方向性に関する各人の意見を文書の形で述べて戴いた。

本報告の 2-3 節で述べた給水システムの維持管理における問題点に関しては、主要と考えられる 8 項目の問題点を抽出し、各問題点の概要と若干の対応策について記述した。ここで、給水システムの維持管理と言う観点からこれらの問題点を見れば、とりわけ重要と考えられる事は、①給水装置・用具の製造メーカーが「需要者による日常的な維持管理の必要性」と、「専門家による装置・用具の定期点検の必要性」を指摘しているにしても、②多くの需要者は、維持管理のための知識を殆ど持たず、メーカーが指摘する「日常的な維持管理項目」すら実行することが困難の多いと考えられることである。

先述のように、現在は、給水システム内の異常を感知した需要者からの通報に基づいて、主として工事業者や水道事業者が、場合によっては製造メーカーが、調査・修繕・工事を実施している状況にあるが、水道水質の安全性確保の観点からは、この申告・対応方式に対して何らかの改善を行うことが望ましいであろう。

一方、3 節においては、委員個人の立場から給水システムの維持管理の方向性に関する建設的な意見をそれぞれ述べて頂いた。また、問題点を整理する過程でそれぞれの意見を戴いたが、当然のことながら、立場が違うと、この件に関する考え方に若干ずつの差がある。

しかし、コスト・時間等々の諸問題点を内蔵しているとは言いながら、各委員の意見および問題点整理過程における意見を大局的に総括すれば、下記の事項の必要性に関しては、ほぼ共通した認識を持っているものと考えられる。

- 1, 需要者・水道事業者・工事業者・製造業者の間の連携強化
- 2, 需要者の給水システム維持管理への支援体制(制度)の確立
- 3, 定期的巡回点検システムの立ち上げ

これらが一朝一夕に確立出来るものとは思われないが、水道水質の安全性確保の観点から、今後、この方向で努力して行くべきであろう。

Ⅱ - 1 - 4 給水システムのリスク管理に関する研究（1）；

水撃作用（水圧〔音・振動〕変動異常）の検出方法に関する研究

分担研究者 杉山俊幸 山梨大学工学部教授

1. 研究目的

キッチン、浴室、洗面所などで「ドン!」「ガン!」「コン!」などと聞こえる原因不明な異音や衝撃音、もしくは、原因不明の漏水やシャワーの温度が急に変化するなどといった現象、これらはすべて水撃現象により発生する音や現象である。シングルレバー方式の蛇口や浴室のシャワー／カランの切り換え等の混合水栓、および、全自動洗濯機や食器洗い乾燥機といった「電磁弁内臓で給水の急閉止を伴う家電製品」が急速に普及したことが原因として挙げられる。さらに、近年の建築物の高層化や大型化、三階建て住宅の普及で住宅密集度が増加し、多くの地方自治体は給水圧力や給水量を増大せざるを得なくなりつつある。これらのことから水撃現象が引き起こされるケースが増加し、その結果として、給水管の振動とこれに起因する騒音などによる住環境の悪化、さらには、給水管の破裂や疲労破壊が生じる可能性が高くなってきている。

そこで本研究では、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・確立することを目的とする。具体的には、給水管の振動・波動の継続時間や減衰性状、および、スペクトル解析の実施により振動・音の卓越周波数やスペクトルのピーク値、位相差分スペクトル等を算出する。そして、平常時（水撃作用が生じていない時）と比較して、これらの値があらかじめ設定した閾値を越えた場合に、「水撃作用の発生」という警告を発するような装置とする。

平成 14～15 年度に、計測した振動波形から水撃作用が発生しているか否かを、ファジィ理論を適用して自動的に判定するシステムの構築に向けた基礎的な研究、さらに、振動波形を収録する場合にどのようなデータをどの位置で収録するのが適切なのか、また、水撃作用が生じた時の給水管の振動特性の把握と前述の装置開発に向けた基礎データを得ることを行った。

平成 16 年度の研究では、スチール製給水管を一般家屋を想定しながら実験室内に設置し、水撃作用発生時の給水管の振動データの収録・解析を試みた。また、ハンマーで与えた衝撃による給水管の振動データの収録・解析も行い、水撃作用発生時とハンマーで与えた衝撃との給水管の振動特性の違いから、水撃作用が発生しているか否かを、ファジィ演算を用いて判定するシステムの構築を試みた。

2. 実験

2. 1 実験概要

実験は、『給水装置の構造及び材質の基準』¹⁾に定められている「給水用具内の流速 2.0 [m/sec] または動水圧 0.15 [MPa]」のうち、実験室内でその状態を作り出すことのでき

る流速 2.0 [m/sec] の条件下で実験を行った。給水管にはスチール製のものを使用し、電磁弁を用いて急閉止させることで水撃作用を発生させ、そのときに生じる給水管の振動を収録した。同じ条件で、通水時にハンマーで与えた衝撃による給水管の振動も収録した。収録する位置に関しては 13 箇所を選定してサーボ型振動計を装着した。収録する振動記録については、給水管管軸方向水平振動を対象とし、各位置においてその振動速度を収録した。今回の実験においては、水撃作用発生時の給水管の振動特性と通水時にハンマーで与えた衝撃による振動特性との違いなどの把握を目的とした。

2. 2 実験装置

給水管を、床からの高さ 87 [cm] の位置に図 2-1 に示す通り部屋を囲むように設置し、電磁弁 (写真-1)・流量計 (写真-2)・圧力計 (写真-3) を図の位置にセットした。また、給水管の断面寸法は図 2-2 に示す通りである。

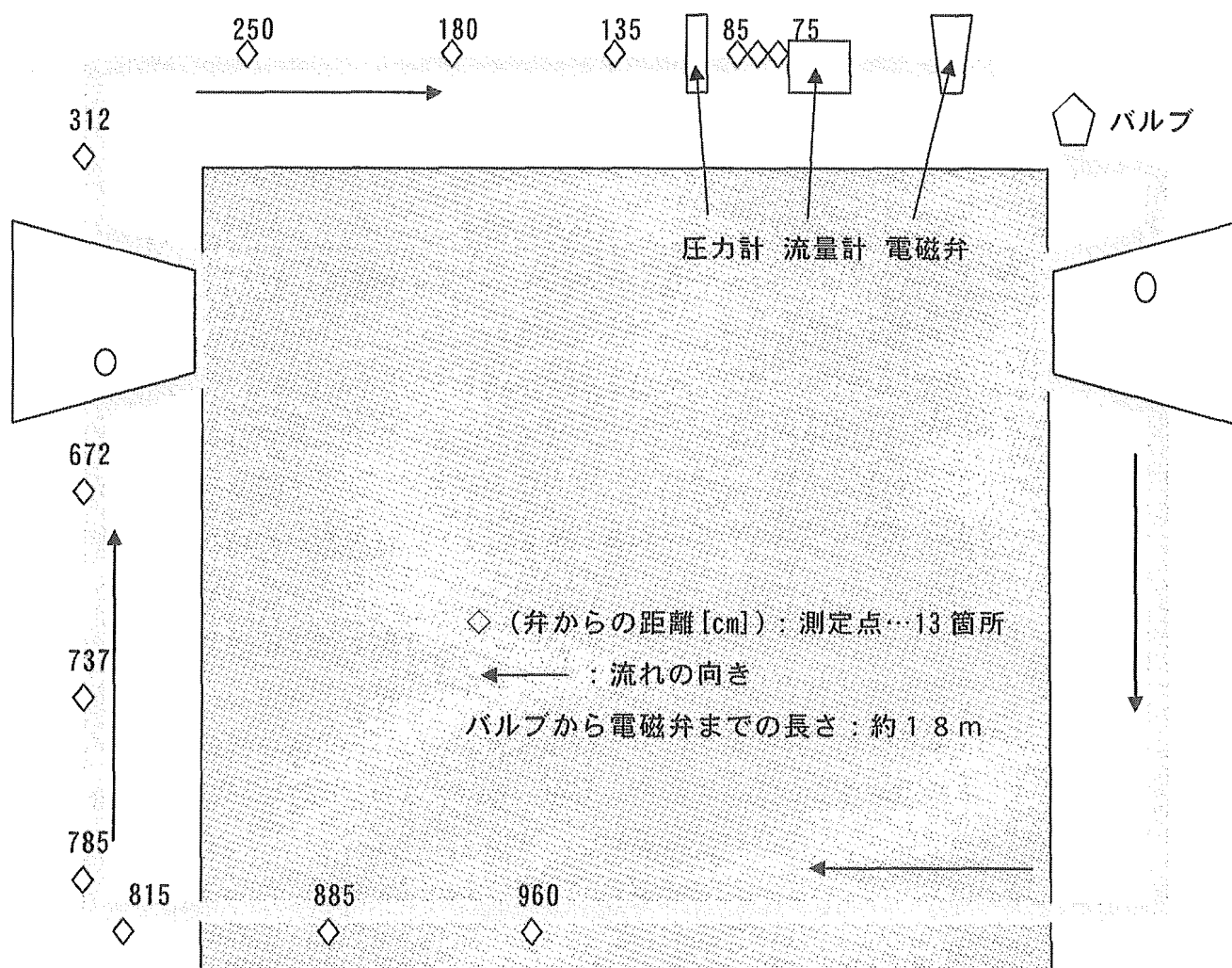
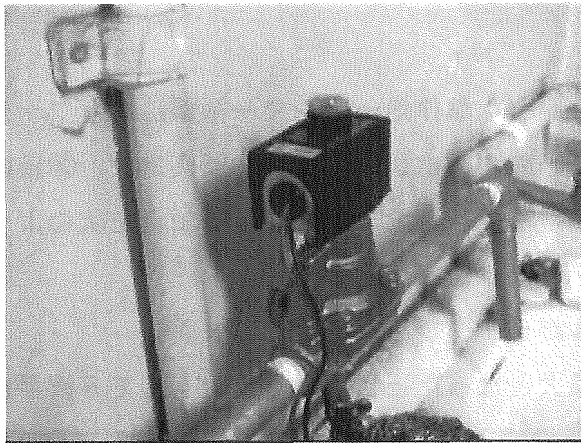
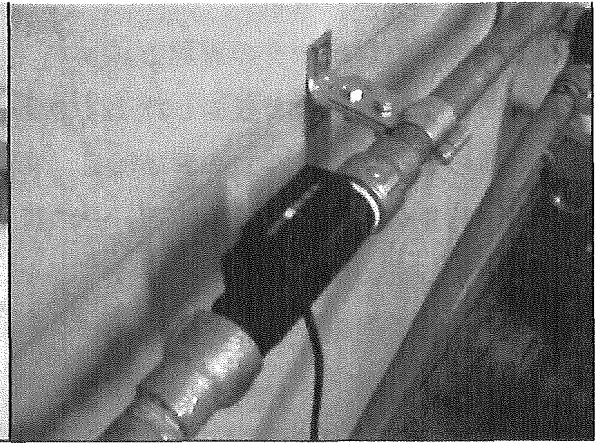


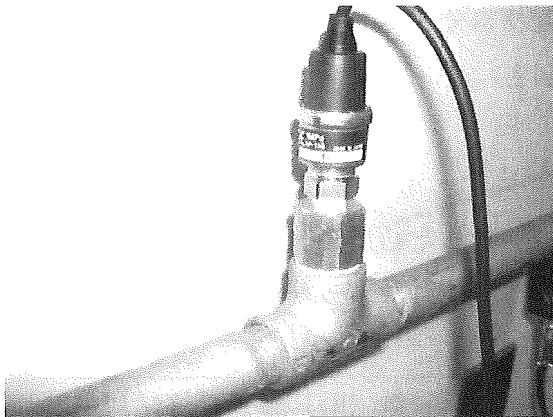
図 2-1 管路図



写真一 1 電磁弁



写真一 2 流量計



写真一 3 圧力計

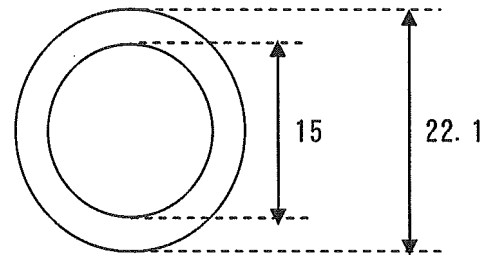


図 2 - 2 スティール製給水管の寸法 (mm)

2. 3 振動速度波形の収録

実験は、流速 2.0 [m/sec] の条件で行った。具体的には、平均流速による取り扱いをすることとし、流速 v と管路の流水断面 A を連続方程式 $Q = A v$ (Q : 流量) に代入して、流速 2.0 [m/sec] 時の流量 Q を求め、得られた流量 $Q = 21.2$ [ℓ/min] になるようバルブを開いて調整し実験を行った。

収録する位置に関しては、昨年度までの研究で特に指定する必要はないとのことだったが、給水管が曲げられていることの影響について調べるため、曲がりの前後も含め 13 箇所収録した。収録位置は図 2 - 1 に示す通りである。収録する振動波形は昨年度までの研究で、正弦波形に近いことから収録に最適とされる「給水管管軸方向水平振動の速度波形」を対象とした。また、サーボ型振動計の給水管への装着には、振動計と給水管との接地面に貼り付けた両面テープを用いた。なお、サーボ型振動計は、収録位置の給水管の下部に装着した。実験では、各位置で水撃作用によるものとハンマーで与えた衝撃による給水管の振動速度を 5 回ずつ収録した。

3. 実験結果の解析

3. 1 実験データの整理方法

ここでは、実験で収録した124のデータ（水撃作用+ハンマー衝撃）を、ファジィ理論に組み込むための4つの評価項目、すなわち、①卓越振動数、②減衰定数、③継続時間、④位相差の割合 についてデータ解析を試みた。なお、4つの評価項目を次のように定めて解析した。

- ①卓越振動数・・・パワースペクトルがピーク値を取るときの振動数
- ②減衰定数・・・振動速度の振幅が最大となったときからカウントして5波目までの減衰を対象として算出
- ③継続時間・・・速度波形の最大振幅の1/55になるまでの時間
(40msecの間隔が空いた時点で終了とする)
- ④位相差の割合・・・15°毎に分けた位相差分スペクトルのうち卓越した二つの位相差が全体に占める割合

3. 2 実験データの解析結果

124のデータを4つの評価項目について解析した結果を表3-1～表3-8に示す。表中の空欄部分は、データから必要な情報が読み取れなかった場合を示している。

表3-1 水撃作用解析データ①-a

弁からの距離 (cm)	固有振動数 (Hz)	卓越振動数 (Hz)	最大振幅絶対値 (cm/s)
65		132.3242	1.85791
		142.5781	1.89727
		140.1367	2.117
		143.5547	2.00256
		164.0625	1.819153
75		129.8828	1.8609
		168.9453	1.99951
		168.457	1.7752
		168.9453	2.04345
		129.8828	2.04345
85		129.3945	1.94641
		75.6836	2.0782
		76.1719	2.069
		76.1719	2.0846
		75.6836	2.0629
		154.69	1.9922

135	57. 6172 145. 5078 168. 9453	163. 0391	1. 89361
		167. 9688	1. 8872
		167. 9688	2. 4258
		166. 9922	1. 9095
		169. 4336	1. 9247
180	57. 1289 168. 457 163. 0859	166. 0156	1. 9235
		160. 94	2. 0694
		168. 9453	1. 8524
		166. 9922	1. 892
		144. 5313	1. 9162
250	70. 8008 70. 8008 70. 8008	166. 5039	1. 6263
		129. 3945	1. 6861
		167. 4805	1. 6556
		168. 457	1. 5631
		167. 4805	1. 4307
312	122. 0703 80. 0781 122. 5586	121. 0938	2. 4542
		126. 9531	2. 015
		167. 4805	2. 1448

表 3 - 2 水撃作用解析データ① - b

弁からの距離 (cm)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
65	0. 1543	1. 644	0. 8432
	0. 1352	1. 646	0. 8469
	0. 1252	1. 731	0. 8838
	0. 1678	1. 754	0. 8996
	0. 1561	1. 767	0. 896
75	0. 1022	1. 823	0. 896
	0. 1301	1. 551	0. 8938
	0. 0749	1. 134	0. 8984
	0. 1052	1. 498	0. 8564
	0. 1234	1. 774	0. 8847

85	0.1046	1.642	0.9299
	0.1186	1.648	0.9556
	0.1147	1.458	0.9284
	0.0944	1.65	0.9363
	0.1174	1.826	0.915
135	0.0436	1.062	0.9179
	0.0382	0.963	0.9221
	0.0604	0.886	0.9094
	0.0476	0.813	0.9372
	0.0414	0.955	0.9087
180	0.1168	1.362	0.9228
	0.117	1.642	0.9145
	0.1436	1.581	0.8996
	0.1183	1.792	0.9214
	0.1341	1.587	0.957
250	0.0568	1.869	0.8664
	0.0642	1.755	0.9314
	0.0498	1.645	0.9253
	0.0615	1.643	0.9416
	0.0522	1.82	0.8872
312	0.0793	1.312	0.8923
	0.1971	1.502	0.9441
	0.094	1.382	0.9067

表 3 - 3 水撃作用解析データ② - a

弁からの距離 (cm)	固有振動数 (Hz)	卓越振動数 (Hz)	最大振幅絶対値 (cm/s)
672	95.2148		
	95.7031	111.3281	1.0669
	94.7266	109.8633	0.992126
		109.375	0.962219

737	81. 543	178. 0119	1. 1761
	81. 543	82. 9195	0. 9744
	95. 7031		
		82. 5195	1. 0147
785	19. 043	82. 81	0. 6573
	19. 043	83. 4961	0. 6311
	19. 043	238. 2813	0. 6262
		83. 4961	0. 6586
815	41. 9922	83. 4961	0. 6268
	83. 9844	24. 4141	4. 2841
	18. 5547	23. 4375	4. 304
		24. 4141	4. 1952
		24. 9023	4. 4046
885	157. 2266	24. 4141	4. 4003
	85. 4492	19. 5313	3. 4082
	17. 0898	24. 4141	3. 444
		19. 5313	3. 4939
		20. 0195	3. 558
960	118. 9523	20. 0195	3. 5464
	19. 043	25. 3906	3. 3124
	45. 4102	24. 4141	3. 5474
		24. 4141	3. 5602
		24. 4141	3. 392
		25. 8789	3. 5617

表 3 - 4 水撃作用解析データ② - b

弁からの距離 (cm)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
672			
	0. 091	1. 853	0. 9509
	0. 0723	1. 736	0. 8842
	0. 0586	1. 717	0. 8965

737	0.0142	0.88	0.8664
	0.0688	1.354	0.8884
785	0.0772	1.728	0.9228
	0.0874	1.18	0.8911
	0.111	0.98	0.821
	0.0948	1.14	0.8982
	0.0518	1.12	0.8063
815	0.0634	1.14	0.862
	0.1674	0.866	0.936263
	0.0804	0.917	0.924
	0.133	0.983	0.8671
	0.1311	0.686	0.9179
885	0.1001	0.686	0.9204
	0.0846	0.987	0.8981
	0.0846	0.958	0.8852
	0.0832	0.957	0.8725
	0.0902	0.987	0.8501
960	0.0839	0.92	0.8938
	0.0614	0.58	0.8789
	0.0884	0.697	0.924
	0.0754	0.697	0.9482
	0.0582	0.852	0.9045
	0.1004	0.696	0.9226

表 3 - 5 ハンマー衝撃解析データ① - a

弁からの距離 (cm)	固有振動数 (Hz)	卓越振動数 (Hz)	最大振幅絶対値 (cm/sec)
65	142.5781 140.1367 143.5547	140.625	1.3626
		143.5547	0.72815
		142.5781	1.5138
		148.9258	0.7568
		100	2.8338

75	168. 9453 168. 457 168. 9453	74. 707	2. 63427
		151. 855	2. 2485
		169. 4336	1. 163
		74. 707	2. 8091
		132. 8125	0. 9451
85	76. 1719 76. 1719 75. 6836	73. 7305	1. 7462
		73. 7305	1. 3223
		166. 9922	1. 044
		73. 7305	1. 2728
		129. 69	1. 3864
135	57. 6172 145. 5078 168. 9453	168. 457	1. 987
		57. 6172	1. 6913
		168. 457	1. 1554
		169. 4336	1. 4337
		168. 457	1. 0107
180	57. 1289 168. 457 163. 0859	57. 1289	1. 7349
		167. 9688	1. 1303
		57. 1289	1. 4547
		57. 1289	1. 6171
		57. 1289	2. 3776
250	70. 8008 70. 8008 70. 8008	70. 8008	1. 8292
		70. 8008	3. 3099
		168. 9453	1. 2106
		70. 8008	2. 8757
		70. 8008	3. 7042
312	122. 0703 80. 0781 122. 5586	79. 9858	1. 9843
		184. 082	0. 6296
		79. 5898	1. 2497
		176. 2695	0. 3491
		184. 5703	0. 6759

表 3 - 6 ハンマー衝撃解析データ① - b

弁からの距離 (cm)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
65	0.1257	0.316	0.5103
	0.0703	0.268	0.4249
	0.0953	0.356	0.737
	0.0355	0.294	0.4076
	0.118	0.33	0.7553
75	0.097	0.38	0.7629
	0.1123	0.31	0.7855
	0.0508	1.26	0.7116
	0.0954	0.384	0.7814
	0.0621	0.34	0.5678
85	0.0468	0.84	0.6618
	0.0303	0.624	0.569
	0.0865	0.448	0.3797
	0.0804	0.686	0.6838
	0.1448	0.452	0.5026
135	0.0999	0.544	0.504
	0.1249	0.824	0.6757
	0.1191	0.344	0.4396
	0.0688	0.92	0.6225
	0.0593	0.548	0.4879
180	0.0399	0.68	0.6029
	0.0299	0.504	0.4142
	0.0351	0.608	0.5785
	0.0862	0.644	0.5792
	0.0733	0.672	0.6332
250	0.0558	0.572	0.5096
	0.0698	0.412	0.7121
	0.0317	0.52	0.5309
	0.0734	0.402	0.6308
	0.09	0.408	0.6989

312	0. 1134	1. 056	0. 5414
	0. 0194	0. 476	0. 2186
	0. 0933	0. 848	0. 5365
	0. 0378	0. 112	0. 1797
	0. 0282	0. 236	0. 2271

表 3 - 7 ハンマー衝撃解析データ② - a

弁からの距離 (cm)	固有振動数 (Hz)	卓越振動数 (Hz)	最大振幅絶対値 (cm/sec)
672cm	95. 2148 95. 7031 94. 7266	92. 7734	0. 760193
		85. 9375	1. 0153
		92. 7734	2. 3044
		165. 5273	0. 7458
		92. 2852	1. 7746
737cm	81. 543 81. 543 95. 7031	82. 9195	1. 7953
		82. 5195	4. 8373
		82. 5195	1. 0635
		82. 5195	1. 452
		95. 7031	1. 8463
785cm	19. 043 19. 043 19. 043	19. 043	1. 3913
		83. 9844	0. 834
		44. 4336	1. 8137
		103. 5391	1. 4157
		44. 4336	2. 7417
815cm	41. 9922 83. 9844 18. 5547	42. 4805	4. 2038
		27. 3438	2. 1741
		18. 5547	2. 2577
		85. 9375	4. 0189
		85. 9375	5. 1526
885cm	157. 2266 85. 4492 17. 0898	157. 226	2. 42401
		157. 2266	1. 0781
		17. 0898	3. 0423
		17. 0898	1. 1813
		17. 0898	10

960cm	118.9523 19.043 45.4102	19.043	2.4332
		19.043	1.9192
		45.4102	0.9149
		158.203	1.2338
		19.043	2.8222

表 3-8 ハンマー衝撃解析データ② - b

弁からの距離 (cm)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
672cm	0.0799	0.28	0.4679
	0.0453	0.748	0.549
	0.0967	0.457	0.7577
	0.0206	0.42	0.5546
	0.1357	0.408	0.7184
737cm	0.0607	0.772	0.8361
	0.1448	0.512	0.8488
	0.0797	0.68	0.6761
	0.1694	0.66	0.7272
	0.0578	1.68	0.6381
785cm	0.0796	10	0.6427
	0.2242	10	0.5531
	0.059	10	0.6689
	0.0585	0.66	0.6386
	0.054	10	0.8102
815cm	0.0761	0.372	0.7624
	0.1264	0.54	0.5978
	0.0211	10	0.579
	0.1255	0.456	0.7233
	0.0818	0.42	0.797
885cm	0.1206	1.36	0.5966
	0.0543	1.38	0.4803
	0.0533	2.66	0.7123
	0.0876	1.22	0.5043
	0.0818	2.48	0.936

960cm	0.0748	10	0.6342
	0.0421	10	0.5951
	0.0742	0.96	0.4359
	0.0455	1.18	0.5047
	0.0701	10	0.6747

3.3 解析結果に関する考察

(1) 最大振幅

水撃作用による給水管の振動速度波形最大振幅を、横軸に測定点の弁からの距離縦軸に振幅をとってプロットしたのが図3-1である。この図より、弁からの距離が長くなるとその振幅も小さくなっていることがわかる。また、250cmと785cmが給水管の曲がり部の前、312cmと815cmが給水管の曲がり部の後であるが、給水管の曲がりの後では振幅は曲がり前に比べ増加していることがわかる。815cm以降振幅が他と比べて大きくなっているのは直管部分の影響のためと思われる。

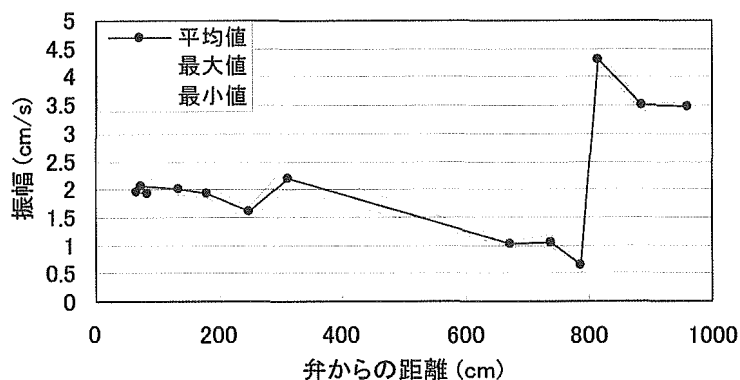


図3-1 最大振幅

(2) 卓越振動数

図3-2は、各測定点の固有振動数(通水していない場合)と、その点での水撃作用、およびハンマーで与えた衝撃によるそれぞれの給水管の振動の卓越振動数をプロットしたものである。この図より、水撃作用とハンマーで与えた衝撃の両方とも測定点の固有振動数付近でその振動が卓越していることがわかる。また、測定点が同じでも振動モードの違いにより卓越振動数も異なった値が生じている。

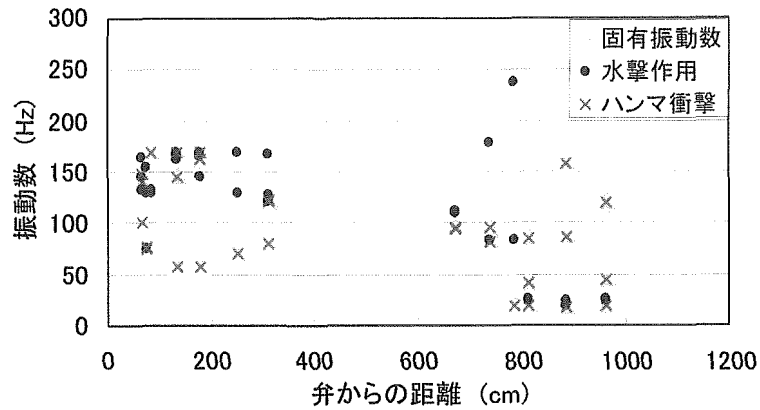


図 3 - 2 卓越振動数

(3) 減衰定数

図 3 - 3 は、減衰定数を各測定点の弁からの距離に対してプロットしたものである。この図より、水撃作用の減衰定数は 2 % ~ 20 %、ハンマーで与えた衝撃の減衰定数は 3 % ~ 22 % と最小値から最大値まで広い範囲でばらついていることがわかる。このばらつきは、振動速度波形が必ずしも正弦波のような形状とならず複雑で、5 波のカウントが困難であり、それが大きな誤差となって現れたものと考えられる。

図 3 - 4 は水撃作用発生時の振動速度の卓越振動数に対して減衰定数をプロットしたものである。通常の構造系の振動では、振動数が高いと減衰定数も大きくなるのが一般的であるが、そのような傾向は見られない。

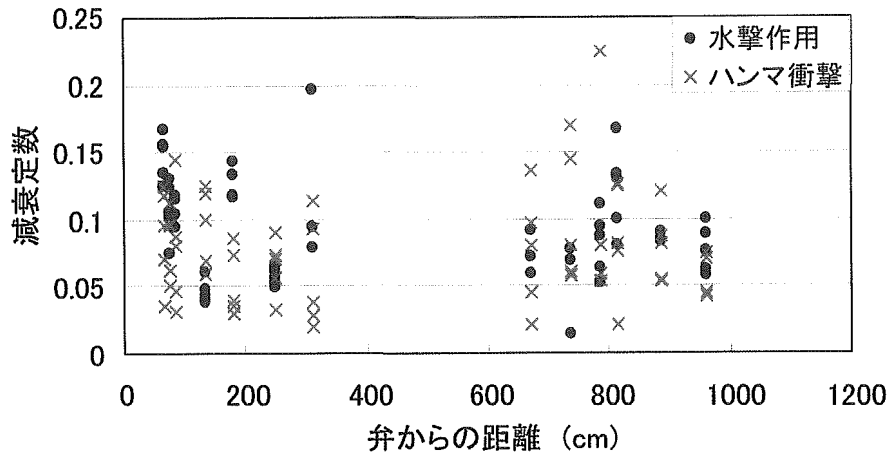


図 3 - 3 減衰定数

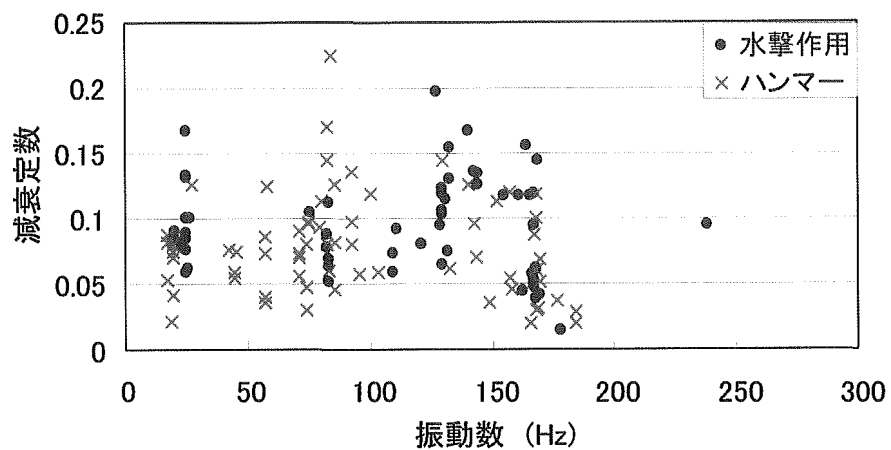


図 3 - 4 減衰定数と卓越振動数

(4) 継続時間

図 3 - 5 は、管の振動速度の継続時間を測定点の弁からの距離に対してプロットしたものである。この図より、水撃作用による管の振動の継続時間は 0.6～1.9 秒程度、ハンマーで与えた衝撃による管の振動の継続時間は 0.2～2.6 秒程度であることがわかる。また、ばらつきがあるものの全体的に水撃による継続時間の方が長いことがわかる。

図 3 - 6 は、継続時間に対して減衰定数をプロットしたものである。減衰定数が大きいと振動の継続時間が短くなるのが一般的であるが、そのような傾向は見られない。

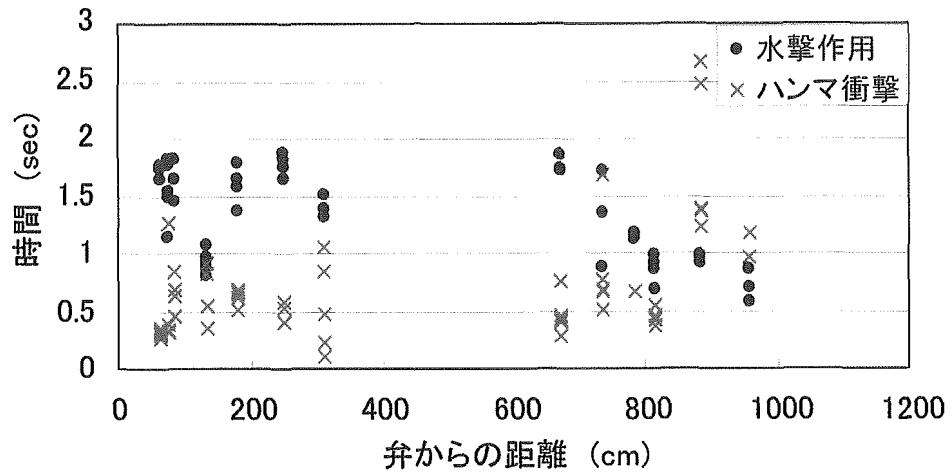


図 3 - 5 継続時間

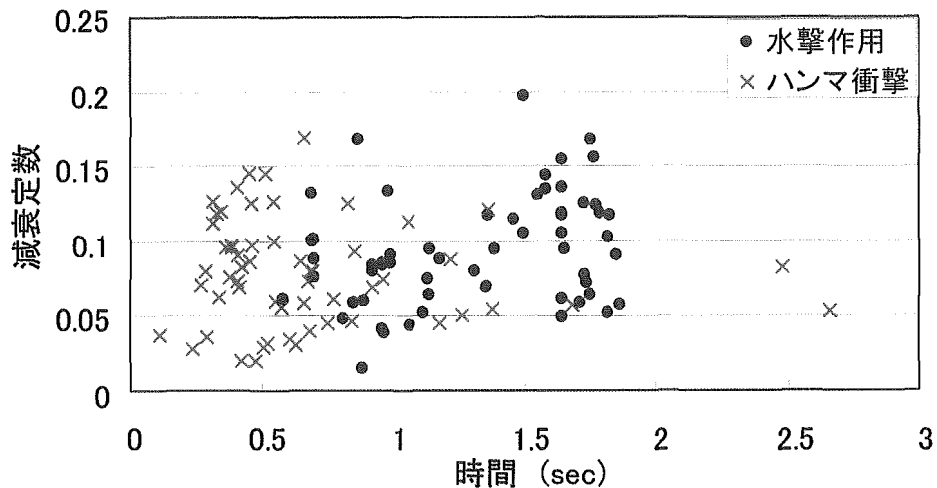


図 3 - 6 継続時間と減衰定数

(5) 位相差の割合

図 3 - 7 は、振動速度波形より抽出した位相差分スペクトルから位相差の割合を求め、測定点の弁からの距離に対してプロットしたものである。この図より、水撃発生時の給水管の振動速度波形の位相差の割合は 80%～96%、ハンマーで与えた衝撃による管の振動速度の位相差の割合は 18%～93%の範囲にあることがわかる。これより、水撃作用による振動の位相差の割合は測定点に左右されず常に大きいが、ハンマーで与えた衝撃の振動による位相差の割合は水撃作用の位相差の割合よりも全体的に小さく、広い範囲にばらついていることがわかる。

なお、図 3 - 8～図 3 - 12 に水撃作用とハンマーで与えた衝撃の位相差分スペクトル図の例を示す。

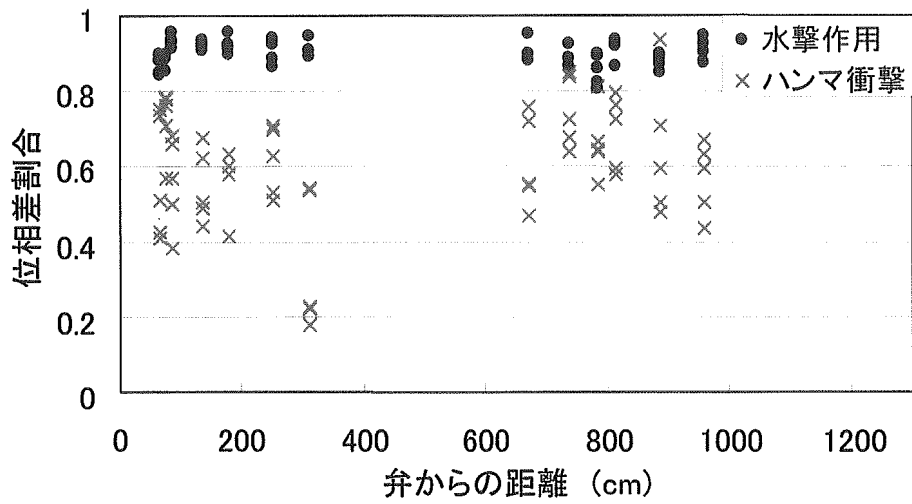


図 3 - 7 位相差の割合

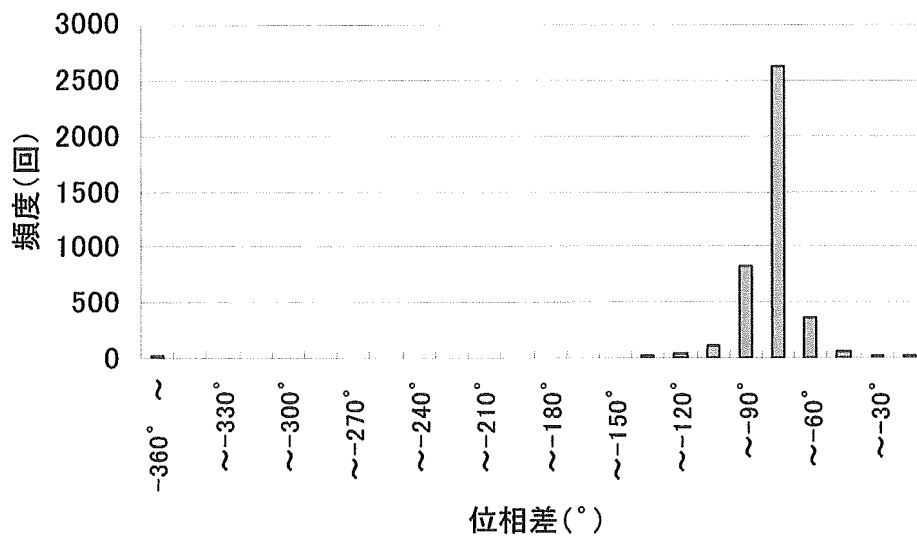


図 3 - 8 水撃作用による管の振動速度の位相差分スペクトル 例①