

常時微動観測及び強制振動による水管橋の振動特性評価

金沢大学大学院 学生会員 ○林 友弥
 金沢大学大学院 正会員 竹田 周平
 金沢大学大学院 フェロー 北浦 勝
 金沢大学大学院 正会員 池本 敏和

1. はじめに

水道施設のうち、水管橋は河川などで水道管を渡す際に用いられ、送水機能を果たす上で重要な構造物である。水管橋には道路橋に水管が添加された形式のものと水管独立橋形式のものとが存在し、このうち独立橋形式のものは、道路橋と比べて幅員が狭いことや、自重が小さいことなどが特徴としてあげられる。また、独立形式の橋梁には鋼材による溶接接合構造のものがあり、同様な形式のガス管橋よりも水管橋の方が水管に流れる水の分だけ自重が大きいことから、その振動特性は異なると考えられる。水管橋にも近年、その施設の重要性から耐震性が求められている。しかし、橋梁の耐震性に関する研究は、道路橋などでは多数報告されているが、水管橋に関してはこれまでに地震被害は報告されているものの、耐震性や地震時の動的挙動に関する研究は少ない。そこで本研究では、水管橋に対して振動実験を行い、得られた減衰定数、固有振動数、固有モードの振動特性を固有値解析の結果と比較考察し、その妥当性について検討する。

2. 対象とする橋梁の概要

(1) A 水管橋：逆三角形トラス形式のステンレス鋼管の独立水管橋で、配水管が構造物の一部として利用されている。水管はφ318.5mm、トラス支間長 $L=35.1\text{m}$ 、幅 $B=2.5\text{m}$ 、高さ $H=2.8\text{m}$ となっており、上弦材の上に幅 $B=0.75\text{m}$ の点検用の歩廊が全長にわたって設置されている。図 1,2 に水管橋の構造の概要を示す。

(2) B 水管橋：トラス形式についてはほぼ A 水管橋と同じであるが、この橋は逆三角形トラス形式の鋼管 2 径間独立水管橋である。今回は 2 径間のうちの 1 径間を対象として測定を行った。対象とした径間は、全長が $L=36\text{m}$ 、幅が $B=2.5\text{m}$ 、高さが $H=2\text{m}$ である。

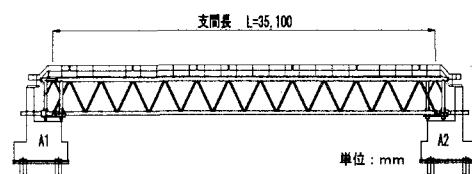


図 1 A 水管橋の側面図

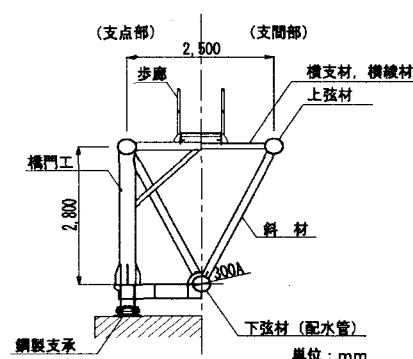


図 2 A 水管橋の断面図

3. 振動実験

3.1 実験概要

加速度計を設置する測点は $L/4$ 、 $L/2$ 、 $3L/4$ (L : スパン) 及び橋台上に設け (B 橋は 1 径間のみ対象)、各測点で橋軸・鉛直・橋軸直角の 3 方向について振動を計測した。A 橋はトラスの上弦材、B 橋は下弦材に加速度計を設置した。計測に用いた計器は、携帯用振動計 (東京測振 SPC-35N) 及びサーボ型速度計 (東京測振 VSE-15D) である。携帯用振動計は A/D 変換部とノートパソコン部により構成されている。データのサンプリング周波数は 200Hz で記録し、得られたデータをパソコンで波形処理を行い、固有振動数・固有モード・減衰定数を求めた。常時微動観測で得られた振動データは、FFT を用いてフーリエスペクトルを求め、卓越振動数を読み取った。自由振動では、人(60kg)の跳躍あるいは屈伸による人力加振で生じた振動を計測し、固有振動数と波形の振幅比より減衰定数を求めた。強制振動では、人が点検用歩廊を歩行したときに生じる振動を計測し、どの振動数が卓越するかを調べた。

3.2 計測結果

表 1 常時微動観測及び振動実験による測定結果

		振動数						減衰定数 (鉛直)
		橋軸方向		鉛直方向		橋軸直角方向		
		1次	2次	1次	2次	1次	2次	
A水管橋	常時微動	3.45Hz	-	5.20Hz	-	3.37Hz	9.09Hz	0.006
	自由振動	5.17Hz						
	強制振動	3.39Hz	-	5.16Hz	-	3.24Hz	9.03Hz	
B水管橋	常時微動	3.32Hz	-	4.63Hz	-	3.32Hz	-	0.005
	自由振動	4.58Hz						
	強制振動	3.32Hz	-	4.61Hz	-	3.34Hz	-	

表 1 に A 水管橋及び B 水管橋における常時微動観測、自由振動及び強制振動による固有振動数の結果を示す。表は橋ごとに 3 段に分かれており、上段は常時微動観測、中段は自由振動、下段は強制振動による結果である。振動数は 10Hz までに得られたものを示した。また、減衰定数は自由振動より得られた鉛直方向に関するものを示してある。

(1) A 水管橋

固有振動数の最低次として橋軸直角方向 $f=3.37\text{Hz}$ が得られており、この振動は対称 1 次振動である。全体の 2 次振動として橋軸方向の $f=3.45\text{Hz}$ 、3 次振動として鉛直方向 $f=5.20\text{Hz}$ の対称 1 次振動が得られた。強制振動による卓越振動数はそれぞれ $f=3.24\text{Hz}$ 、 $f=3.39\text{Hz}$ 、 $f=5.16\text{Hz}$ と常時微動による各方向の 1 次振動数とほぼ同じ値が得られている。橋軸直角方向では 2 次振動数が得られており、 $f=9.03\text{Hz}$ であった。自由振動による減衰定数は $h=0.006$ という値が得られており、道路橋の一般的な値 ($h=0.02$) に比べてかなり小さい。これは振動振幅が小さいことから減衰機能が十分発揮されていないことによるものと考えられる。

(2) B 水管橋

最低次振動数として橋軸直角方向 $f=3.32\text{Hz}$ 、対称 1 次振動の固有振動数が得られた。また、橋軸方向でも $f=3.32\text{Hz}$ の値が得られた。鉛直方向の最低次固有振動数は $f=4.63\text{Hz}$ であり、鉛直対称 1 次振動である。強制振動による卓越振動数はそれぞれ $f=3.32\text{Hz}$ 、 $f=3.34\text{Hz}$ 、 $f=4.61\text{Hz}$ である。減衰定数は $h=0.005$ となった。

4. 固有値解析

A 水管橋に関して常時微動などの振動数を検討するために、固有値解析を行った²⁾。固有値解析による結果を表 2 に示す。解析では橋軸直角方向に 1 次振動として $f=3.36\text{Hz}$ という結果が得られている。この値は常時微動観測等の結果とほぼ同じ値である。

表 2 固有値解析結果

固有モード	振動数 Hz	有効質量比		
		橋軸	鉛直	橋軸直角
1	3.36	0.000	0.000	0.758
2	5.37	0.000	0.712	0.000
3	6.20	0.004	0.006	0.004
4	10.15	0.000	0.000	0.000
5	12.05	0.358	0.000	0.003

また、鉛直方向の 1 次振動として $f=5.37\text{Hz}$ という値が得られており、常時微動観測などの結果と似た値となっている。したがって、これらの方向では、各測定の結果が妥当な値を示しているものと考えられる。一方、解析による橋軸方向に関しては、1 次振動の値は $f=12.05\text{Hz}$ という結果が得られており、常時微動などとの結果とは大きく異なる。これは、常時微動などで得られた結果は真の橋軸方向の振動ではなく、ほぼ同じ振動数が得られている橋軸直角方向などの振動が影響したのではないかと考えられる。

5. まとめ

本研究では水管橋に対して常時微動観測及び振動実験を行い、振動特性を調査した。また、固有値解析結果との比較検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- ・ 微小振幅による常時微動観測においても固有振動数は比較的正しく評価できる。
- ・ 減衰定数は実際より小さめの値が得られていることが考えられ、今後更なる検討が必要である。

謝辞：本研究を行うにあたり、金沢市企業局・今村担当課長補佐及び嶋元主査に多大なるご協力を頂いたことをここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 水田洋司 他：水管橋の振動特性，土木構造・材料論文集，第 15 号，pp39-45，1999.12.
- 2) 竹田周平 他：水管橋の振動実験に基づく固有値解析モデル化の検討，土木学会中部支部，2006.3.