

水管橋の振動実験に基づく固有値解析モデル化の検討

○金沢大学大学院 正会員 竹田 周平
 金沢大学大学院 学生会員 林 友弥
 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

水道施設のなかでも重要施設である水管橋の耐震基準は、大地震時の動的挙動に関する既往の研究事例が少ないことから、道路橋示方書・同解説に準じたものとなっている。しかしながら水管橋は、道路橋と比較して幅員が狭いこと、橋軸直角方向の剛性が小さいこと、自重が軽いこと、鋼材による溶接接合構造であることなど、構造特性に大きな違いが見られることから、水管橋独自の配慮が必要となる。特に、実橋による振動実験により振動特性を検討された研究事例は少ない。そこで本研究は、三角形トラス形式水管橋を対象に、常時微動等の振動実験で得られた結果と固有値解析の結果との比較を試みた。これらの比較検討結果より常時微動観測レベルの振幅に着目し、数値解析に最適なモデル化について考察を行った。

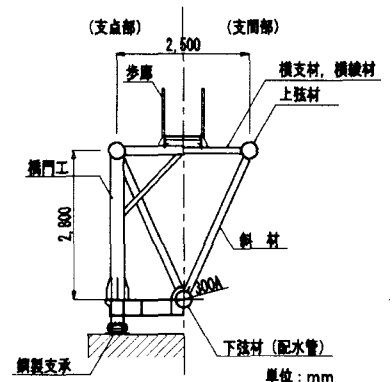


図-1 上部工の断面図

2. 対象となる水管橋の概要

本研究で対象とした水管橋は、支間長 $L=35.1\text{m}$ の単純トラス形式水管橋 A 橋である。上部工の断面図を図-1 に、水管橋の側面図を図-2 に示す。図-1 より上部工の上弦材間隔は $B=2.5\text{m}$ で、上下弦材の間隔は $H=2.8\text{m}$ である。上部工の材質は、上下弦材・斜材・横支材・横綾材・橋門工ともにステンレス鋼で、支承条件は鋼製支承による固定可動構造である。下部工は逆 T 式橋台で、杭基礎により支持された構造である。

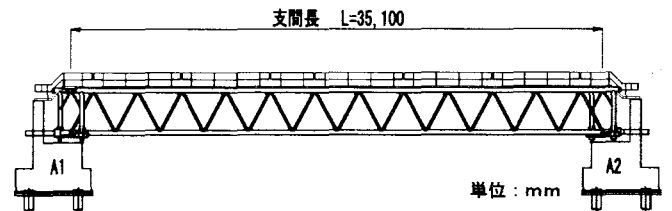


図-2 水管橋の側面図

3. 固有値解析

固有値解析のモデル化は、橋梁全体を 3 次元骨組み構造とした。解析モデルを図-3 に示す。部材モデルでは、上下弦材・橋門工は梁要素、斜材・横支材・横綾材は軸力要素、可動支承部は水平バネ要素でモデル化した。また下部工は梁要素、杭基礎は SR バネモデルとした。固有値解析は Householder 法を用い、有効質量比が累計で約 100% となる 30 次まで求めた。また質量モデルは節点に集中質量として与え、全体座標系 XYZ の全ての方向に対して自由度を設定した。

今回の振動実験¹⁾は常時微動や人力による自由振動や強制振動の比較的振幅の小さい振動を対象に実施されており、この振幅での振動特性は可動支承の境界条件や下

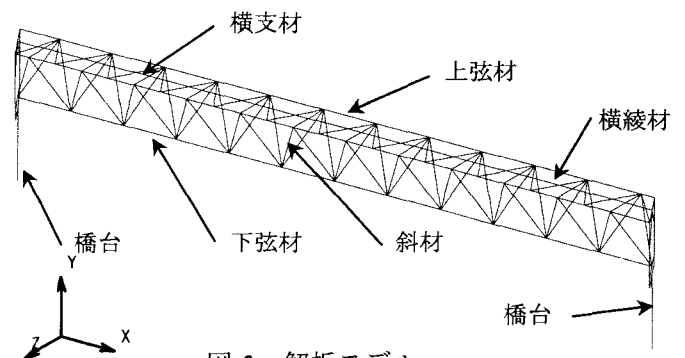


図-3 解析モデル

表-1 検討ケース

検討ケース	可動支承条件	下部工剛性	基礎剛性
Case-1	可動(摩擦なし)	純断面	SRバネ
Case-2	固定	純断面	SRバネ
Case-3	固定	$EI=\infty$	剛結合

表-2 固有値解析の結果

(a) Case-1 固有値結果					
固有モード	振動数 Hz	有効質量比			
		X	Y	Z	
1	3.27	0.000	0.000	0.120	
2	4.12	0.012	0.066	0.000	
3	6.12	0.003	0.000	0.016	
4	6.70	0.453	0.004	0.000	
5	7.54	0.004	0.000	0.016	

(b) Case-2 固有値結果					
固有モード	振動数 Hz	有効質量比			
		X	Y	Z	
1	3.27	0.000	0.000	0.120	
2	4.84	0.000	0.070	0.000	
3	6.12	0.002	0.000	0.016	
4	7.28	0.934	0.000	0.000	
5	7.54	0.001	0.000	0.017	

(c) Case-3 固有値結果					
固有モード	振動数 Hz	有効質量比			
		X	Y	Z	
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	

部工や基礎工のモデル化が卓越振動数に与える影響が大きいことから、3つの検討ケースについて数値解析を試みた。固有値解析における支承境界条件と下部工の剛性の検討ケースを表-1に示す。純断面は全断面有効の剛性を表している。なおこれらの数値解析はDYNA2Eを使用した。

表-3 振動実験結果 (1次モード)

	常時微動	自由振動	強制振動
水平方向	3.37	3.32	3.24
鉛直方向	5.20	5.17	5.16

(Hz)

4. 振動実験による固有値解析の検証

(1) 固有値解析の結果

固有値解析の結果を表-2に示す。また図-4に固有モード図を示す。表-2より鉛直方向(Y方向)の卓越振動数は、Case-1, 2, 3それぞれ $f=4.11\text{Hz}$, $f=4.84\text{Hz}$, $f=5.37\text{Hz}$ であり、約30%程度の違いが確認された。これに対して水平方向(Z方向)の卓越振動数は、Case-1, 2, 3それぞれ $f=3.27\text{Hz}$, $f=3.27\text{Hz}$, $f=3.36\text{Hz}$ であり、約3%程度の違いであった。これらの結果より、鉛直方向の振動数に大きな差が発生した要因は、可動支承の境界条件と下部工の剛性の違いによる影響と考えられる。

(2) 振動実験と固有値解析の比較

振動実験¹⁾の結果を表-3に示す。表-3より水平方向の卓越振動数は $f=3.37\sim 3.24\text{Hz}$ 、鉛直方向の卓越振動数は $f=5.20\sim 5.16\text{Hz}$ であることが確認できる。これらの振動実験の結果と固有値解析の結果を比較すると、水平方向は概ね実験と解析で近い値が得られていることに対し、鉛直方向ではCase-1では約26%、Case-2では約7%、Case-3では約3%の差となり、Case-3のみ実験値に近い結果を得ることが確認された。

5. まとめ

本研究では、固有値解析における可動支承の境界条件や、下部工の剛性が卓越振動数に及ぼす影響について検討を行った。これらの検討で得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 常時微動観測や人力による強制振動等の振幅における振動特性評価では、支承の境界条件と下部工の剛性評価が大きく影響する。
- ・ このような振幅の小さい場合では、可動支承を固定条件とし下部工の剛性を $EI=\infty$ 、基礎工を剛結とすることで振動特性を評価することが可能である。

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御協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林, 竹田, 北浦, 池本：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, 土木学会中部支部, 2006.3.

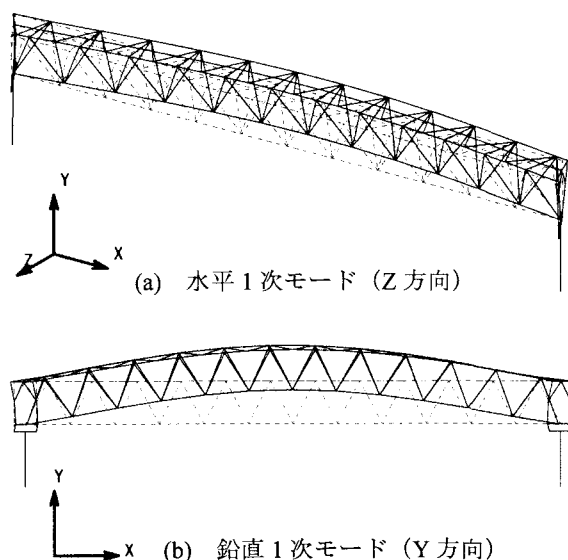


図-4 固有モード図