

ランガー形式水管橋の地震時動的挙動

○新日本製鐵¹ 正会員 川口 周作 新日本製鐵¹ 正会員 竹内 貴司
九州産業大学² 正会員 水田 洋司 九州産業大学² 学生員 金子 英孝
九州大学大学院³ フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

水道施設耐震工法指針・解説（以下、水道指針）¹⁾では、道路橋示方書・同解説 耐震設計編（以下、道示）²⁾に準じ、動的解析による安全性の照査が必要な水管橋を、固有周期の長い橋、斜張橋、吊橋等のケーブル系の橋、特殊な形状・構造や新形式の橋としている。道示では、上記～に加えてアーチ橋等も対象にしている。ランガー形式水管橋の採用事例は多いが、動的挙動については、未解明な部分が多い。

本稿では旧水道指針で設計されたランガー形式の実水管橋を用いた振動実験と非線形動的解析、線形静的解析の結果について報告する。

2. 振動実験

ランガー形式水管橋の振動特性を把握するために、実橋を用いて振動実験を行なった。実験はサーボ型加速度計を用いて常時微動、自由振動、強制振動の加速度波形を計測し、波形解析（FFT、パワースペクトル）により固有振動数、減衰定数を求めた。加振方法は成人男性2名の跳躍による人力加振で得られた最大加速度は、140galであった。

振動モードは、格点に設置した加速度計の自由振動振幅から描いた。

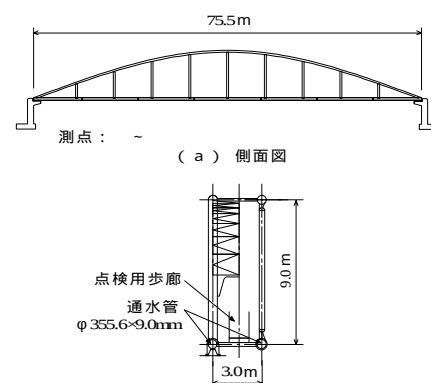


図1 水管橋の概略図

表1 水管橋の諸元

支間長	75.5m
主構幅員	3.0m
ライズ	9.0m（ライズ比0.12）
通水管	φ355.6mm（下弦材2本）
空水時全重量	548kN（7.3kN/m）
通水時全重量	740kN（9.8kN/m）
橋台高	7.5m
基礎形式	杭基礎

表2 固有振動数 (Hz)

実験値	橋軸		鉛直		面外水平	
	1	2	1	2	1	2
常時微動	1.01	2.34	1.01	1.53	1.28	2.34
自由振動	-	-	1.00	1.54	1.27	2.34
強制振動	2.27		2.49		2.35	

3. 実験結果と固有値解析

振動実験の結果を表2に示す。最低固有振動数は鉛直逆対称1次モードであった。続いて面外水平対称1次モード、鉛直対称1次モードとなった。

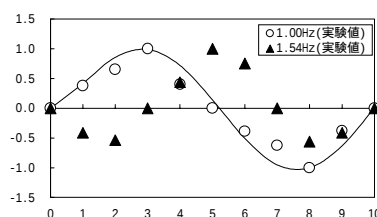


図2 鉛直振動モード
自由振幅から求めた鉛直振動モードを図2に示す。

減衰定数は常時微動、自由振動とも0.006～0.007であり、振幅の差による大きな違いはみられなかった。

固有値解析の結果を表3に示す。各モード毎の固有振動数は、実験値と解析値がほぼ近い値となったが、2次と3次モードの順番に違いがみられた。

表3 固有値解析

モード	固有振動数 (Hz)	上段：刺激係数、下段：有効質量比		
		橋軸	鉛直	面外水平
1	0.941	-3.22E-01	8.67E-03	2.55E-09
		2.16E-03	1.48E-06	1.27E-19
2	1.475	-4.64E-02	2.10E-01	4.54E-08
		4.21E-05	8.65E-04	4.05E-17
3	1.510	3.69E-06	-3.35E-06	2.60E+00
		2.67E-13	2.20E-13	1.32E-01

4. 設計条件

ランガー形式の耐震設計において、動的解析による照査が必要であることを検討するために、非線形動的解析
キーワード：水管橋、振動実験、耐震設計、動的解析

連絡先： 1 〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 Tel.03-3275-5720
2 〒813-0004 福岡県福岡市東区松香台 2-3-1 Tel.092-673-5671
3 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 Tel.092-642-3236

と静的解析の比較を行なった。動的解析に用いる入力地震波は、実橋の架設地点の地盤種別が土質データより種地盤となることから、神戸海洋気象台のN S波（max.812gal）とE W波（max.766gal）を用いた。また、静的解析に用いる等価水平震度（ k_{he} ）は、静的解析による固有周期が0.15秒となることから道示Vに従い $k_{he}=0.56$ 、地域別補正係数（ c_z ）は、 $c_z=1.0$ とした。

5. 解析結果と考察

解析結果を表4に示す。動的解析における最大応答加速度時の変形図並びに静的解析の変形図を図3に示す。

変形は、橋軸方向に加震すると逆対称1次モードとなり、振動実験・固有値解析の最低時モードと同じになった。面外水平方向に加震した場合の変形は、対称1次モードとなり、振動実験の2次、固有値解析の3次と同じとなっている。

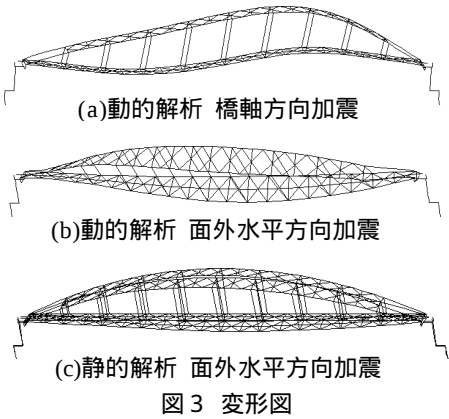


図3 変形図

表4 解析結果

		加震方向	動的解析	静的解析
主構応力	橋軸	橋軸	弾性域	弾性域
	面外水平	面外水平	塑性域 ¹	弾性域
主構変位 mm	橋軸	橋軸	0.1 ² 、83.9 ³	——
	面外水平	面外水平	453 ² 、64.5 ³	103 ² 、33 ³
沓反力 kN	鉛直	橋軸	F:45.5、M:40.7	——
		面外水平	F:628、M:244	F:41.0、M:84.2
	橋軸	橋軸	F:128	——
		面外水平	F:3924	F:995
	面外水平	橋軸	F:11.9、M:5.79	——
		面外水平	F:530、M:251	F:105、M:62.8
支承部変位 mm	橋軸	橋軸	6.7	——
	面外水平	面外水平	20.4	2.4
応答加速度 gal	橋軸	橋軸	1063	——
	面外水平	面外水平	4041	0.56×980=549

1：通水管、アーチリブ他、 2：面外水平方向、 3：鉛直方向
F：固定沓、M：可動沓

応答加速度は面外水平方向に4041galとなり、応答倍率で5.3倍、静的解析に用いた加速度の7.4倍になっている。動的解析の固定側の沓反力は静的解析と比べ、橋軸・面外水平方向は3.9～5.0倍となったが、鉛直方向は15.3倍になった。これはアーチリブの中央部にて大きな加速度が発生し、上下流の支点に揚力と圧縮力が交互に働くことにより、鉛直方向沓反力が大きくなったものと推定される。

部材力は、静的解析と動的解析の橋軸方向加震では弾性域に収まるものの、面外水平方向加震では通水管（下弦材）やアーチリブ他に塑性化部材がみられた。

この水管橋は、旧水道指針に従って設計が行われており、地震荷重（ $k_h=0.14$ ）より大きい風荷重が採用されている。この風荷重は、地震荷重に換算すると $k_h=0.48$ に相当し、静的解析に用いた等価水平震度の86%となっている。そのため静的解析では、部材力が弾性域に収まったものと考えられる。

これまで水管橋の耐震設計は、静的解析によって行われ、宮城県沖地震や兵庫県南部地震においても水管橋の主構部が大きく損傷することは無く、支承部の損傷が多くみられている。今回の動的解析は、これら水管橋の震害に近い傾向を示した。

6. まとめ

今回、ランガー形式水管橋の振動実験を踏まえて、非線形動的解析と線形静的解析を実施した。その結果は、本水管橋の減衰定数は0.006と小さい、動的解析の応答倍率は5.6と大きい、動的解析の沓反力は静的解析を上回り、鉛直方向は15.3倍と大きい、動的解析の部材力は静的解析より大きくなった。水管橋の低減衰の影響等については、さらに検討を進めていく。

今後は、既設水管橋の耐震診断や新設水管橋の耐震設計を通じて、大きな地震動に対する耐震設計の経験を蓄積するとともに、他形式の水管橋の地震時動的挙動についても検討を行い、最適な水管橋の耐震設計法に取り組む予定である。

参考文献）1.（社）日本水道協会、水道施設耐震工法指針・解説、1997年3月
2.（社）日本道路協会、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、平成8年12月
3. 水田洋司他、水管橋の振動実験、土木構造・材料論文集 第15号、pp.39～45、1999.12
4. 竹内貴司他、三角トラス、ランガー形式水管橋の地震時動的挙動、構造工学論文集 Vol.46A、pp.997～1004、2000.3