

動的振動実験に基づく鋼製水管橋の地震応答特性に関する検討

金沢大学 正会員 ○竹田 周平
 金沢大学 フェロー 北浦 勝
 金沢大学 正会員 宮島 昌克

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、道路橋や鉄道橋以外にライフラインである水管橋にも被害が発生した。これらの地震被害では、地盤の液状化及び側方流動に伴い橋台が移動したことによるもの、支承等が破損したことによるものなどが確認された。その後、これらの被災状況を踏まえて耐震基準¹⁾が見直されることとなった。これらの基準においては水管橋独自の配慮が必要となるが、これらに関する研究事例が少ないことから道路橋示方書に準拠したものとなっている。これまでの研究として、水田ら²⁾は、いくつかの水管橋に着目し実橋による振動実験を行って動的特性を検討し、水管橋の上部構造の減衰定数はパイプビーム形式を除き $h=0.2\%\sim 0.8\%$ の値が得られ、同形式の道路橋に比較し $1/3\sim 1/10$ 程度の小さい値であることを確認している。竹内ら³⁾はこれらの実験結果を基に動的応答解析を行い水管橋の耐震性における問題点を指摘し、既設水管橋の耐震補強方法について検討している。また著者ら⁴⁾も同様に振動実験を行い動的特性について検討し、上部構造の減衰定数が $h=0.6\%$ 程度であることが確認した。しかしながら、これまでの研究は橋梁の形式別に1から2橋程度のサンプル数であり、耐震性を把握するためには十分と言えない状況にある。

本研究は逆三角形ワーレントラス補剛形式水管橋を対象に、動的振動実験で得られた振動特性に基づき動的解析を行い、上部工部材の減衰定数の違いが地震応答特性に与える影響について把握することを目的とした。

2. 解析モデルと解析ケース

解析は全体系を3次元で表し、それぞれの部材を梁及びバネ要素でモデル化した。解析モデルを図-1に示す。水管橋には点検用の歩廊が全区間に渡り設置されていることから、これらも含めモデル化した。解析方向は水平方向（Z方向）の1方向単一加振とし、II種地盤の標準波形（JR鷹取駅構内地盤上NS成分）を用いた。今回の解析では、上部工及び支承等は弾性部材としてモデル化し、非線形の影響は考慮しないものとした。

解析ケースを表-1に示す。これらの解析ケースでは、現行基準の設計地震動である加速度応答スペクトルは $h=5\%$ で設定されていることから、卓越振動数のモード減衰を5%としてRayleigh減衰を設定したCase-1（基本ケース）、動的振動実験より新たに得られた減衰定数で設定したCase-2（実験値ケース）、既往の研究より得られた減衰定数で設定したCase-3（既往研究ケース）の3つとした。またRayleigh減衰の f_2 及び h_2 は、固有値解析で得られた全次数に相当する振動数50Hzと、標準的な加速度相当スペクトルである5%をモード減衰と設定した。

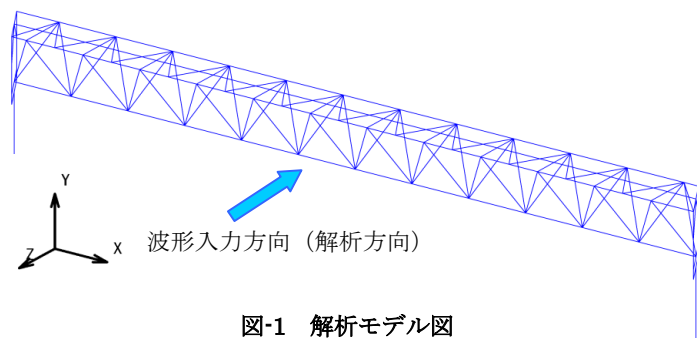


図-1 解析モデル図

表-1 解析ケース一覧

ケース名	減衰モデル	部材減衰定数	卓越振動数及びモード減衰
Case-1	Rayleigh減衰	—	$f_1=3.269\text{Hz}$ $h_1=5.00\%$
Case-2	Rayleigh減衰	$h=0.6\%$	$f_1=3.269\text{Hz}$ $h_1=1.78\%$
Case-3	Rayleigh減衰	$h=0.2\%$	$f_1=3.269\text{Hz}$ $h_1=1.40\%$

キーワード 動的振動実験，減衰定数，動的応答解析

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 TEL：076-234-4654

表-2 最大応答値 (Z 方向)

ケース名	解析方向	着目点	加速度		速度		変位	
			(+) m/s^2	(-) m/s^2	(+) m/s	(-) m/s	(+) m	(-) m
Case-1	Z	スパン中央	45.20	-44.04	2.04	-2.13	0.104	-0.111
Case-2	Z	スパン中央	65.13	-63.88	3.09	-2.98	0.157	-0.155
Case-3	Z	スパン中央	63.47	-64.88	3.10	-3.02	0.158	-0.156

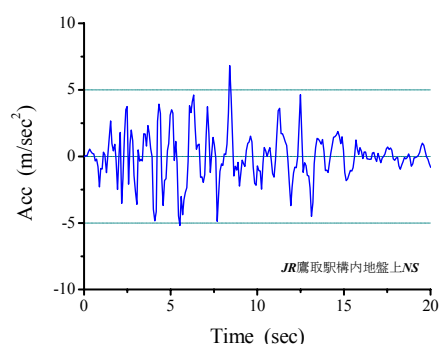


図-2 入力地震波形

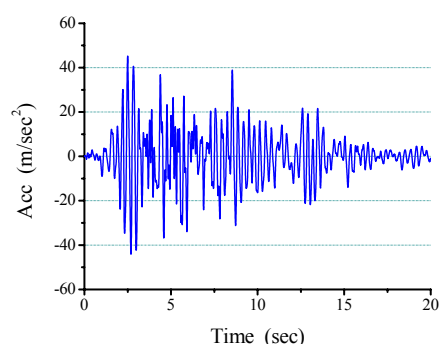


図-3 応答加速度波形 (Case-1)

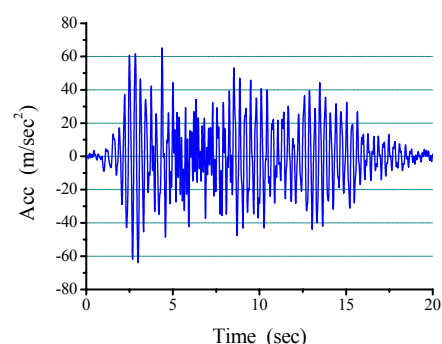


図-4 応答加速度波形 (Case-2)

3. 動的応答解析の結果

時刻歴応答解析で得られた最大値を表-2 に示す。また解析で用いた入力波形を図-2 に、代表的な時刻歴加速度波形を図-3、4 に示す。表-2 より最大加速度は、Case-2、3 共に概ね同じ値が得られているが、これらは基本ケースである Case-1 の約 1.45 倍の応答となっている。また速度と変位についても加速度と同様な傾向が確認され、Case-2、3 は Case-1 よりも約 1.5 倍の応答になることが確認された。また加速度の応答倍率に着目すると、入力加速度の最大値が 687gal であることから応答倍率は Case-1 では 6.5 倍、Case-2・3 では 9.5 倍と非常に大きな応答となった。このように大きな応答になった要因は、水管橋は道路橋と異なり上部構造の剛性が小さいため振動しやすく、かつ上部工部材の減衰定数が小さいためと考えられる。

4. まとめ

逆三角形ワーレントラス型水管橋に着目し、振動実験を行って振動特性や減衰定数を調査し、これらで得た結果により動的応答解析を行った。対象とした橋梁は 1 橋であり今後検討の余地を残しているが、本研究で得られた結果を下記に示す。

- ・ 水管橋は上部工の減衰定数が小さい。このため基準で定められているような $h=5\%$ を基に応答解析した結果と、振動実験で得られた減衰定数を基に解析した結果を比較すると、約 1.5 程度と大きな応答となった。
- ・ 入力加速度の最大値と比較すると、Case-1 では 6.5 倍、その他では 9.5 倍と大きな応答となった。

しかしながら、振動実験で得られた減衰定数は、常時微動や自由振動程度の微変形領域のもので、地震応答特性を評価するにあたりこの減衰定数を適用するかは今後の課題である。

参考文献

- 1) 水管橋設計基準（耐震設計編，WSP064-97）：日本水道鋼管協会，1997 年 9 月。
- 2) 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 1999 年 12 月。
- 3) 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，pp997-1004，2000 年 3 月。
- 4) 竹田周平他：水管橋の動的振動特性に関する実験的研究，第 9 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造に関するシンポジウム，pp273-278，2006 年 2 月。