

東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の地震応答特性

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○上仲 亮
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 鋤田 泰子

1. はじめに

水管橋は上水道の安定供給において重要な役割を担う土木構造物であるが、道路橋や鉄道橋に比べ耐震化整備が十分でなく、また地震時の動的挙動や地震対策に関する研究も少ない。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、複数の水管橋で被害が確認されており、今後発生することが予測される巨大地震に備え、水管橋の振動特性を把握するとともに、本地震の被害メカニズムを明らかにする必要がある。筆者らは、東北地方太平洋沖地震により被災した那珂川水管橋に着目し、被害メカニズムの解明に向けた研究の一環として、それらの被害状況をまとめるとともに微動観測により本水管橋の振動特性の検討を行ってきた¹⁾。本稿では、引き続き那珂川水管橋を対象とし、固有値解析により地震時の水管橋の振動特性を明らかにする。

2. 那珂川水管橋の概要

那珂川水管橋は、茨城県企業局の県中央水道事務所より水戸市に供給されている用水管路の一部であり、水戸市下国井町と同市飯富町の間を流れる那珂川を横断する橋梁である。1994年に竣工され、形式は単純トラス+3径間連続斜張橋トラス+単純トラスであり、支間長は83.5m+90m+145m+90m+83.5m、全長は492mに及ぶ(図-1参照)。点検用歩廊は橋の全長に渡って下横桁の上部に設置されている。送水管口径914.4mmが2条あり、この鋼管はトラスの下弦材の役割も果たしている。また、本水管橋は水道施設耐震工法指針・解説(1979年版)に基づいて設計されたものである。

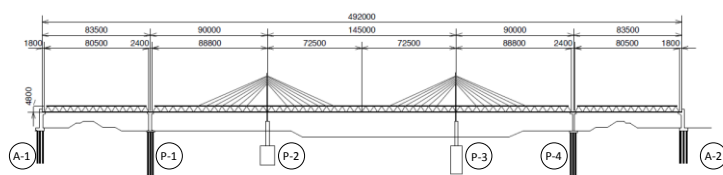


図-1 那珂川水管橋全体図

送水管口径914.4mmが2条あり、この鋼管はトラスの下弦材の役割も果たしている。また、本水管橋は水道施設耐震工法指針・解説(1979年版)に基づいて設計されたものである。

3. 微動観測

振動特性を把握するために、那珂川水管橋において微動観測を行った¹⁾。微動観測当日は、災害復旧工事のために片側の管路が通水されていない状態であった。微動計測による水管橋の振動モードの分析結果を表-1に示す。ここでは、パワースペクトルのピークが明瞭に読み取ることができた振動数を示した。固有振動数の最低次数として橋軸直角方向の0.59Hzが得られており、この振動は中央径間の対称1次振動である。全体の2次振動は中央径間鉛直方向の0.78Hzの対称1次振動が得られた。全体の3次振動は、中央径間の1.17Hzであった。以後の振動モードは中央径間の2次振動もしくは、側径間の振動モードが卓越することがわかった。減衰定数は、3.4~8.5%であり、同タイプの道路橋の減衰定数(2.0~3.0%)と比べて大きい値となった。

表-1 微動観測結果

モード次数	振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	振動 モード
1次	0.59	8.5	橋軸直角
2次	0.78	6.4	鉛直
3次	1.17	—	橋軸直角
4次	1.47	3.4	橋軸直角
5次	1.56	—	橋軸直角
6次	1.66	4.2	鉛直

4. 固有値解析

(1) 解析モデル

解析には、FEM解析のフリーソフトである、OpenSeesを使用した。解析対象である那珂川水管橋の全体系を図-2に示すように三次元骨組み構造でモデル化した。解析モデルの節点数は312

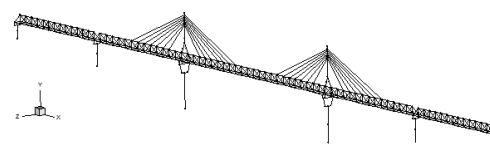


図-2 解析モデル

点、要素数748個であり、上部構造の上下弦材、斜材、主塔、下部構造は梁要素、ケーブルについてはトラス要素でモデル化した。支承はバネ要素によってモデル化し、上下部構造間の相対変位の拘束によって固定支承、可動支承を再現した。伸縮可撓継手はバネ要素でモデル化せず、自由に動く状態とした。また、質量は各節点

キーワード 水管橋, 東北地方太平洋沖地震, 微動観測, 固有値解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1 神戸大学大学院工学研究科 TEL 078-803-6047

に対して集中質量として与えた。なお、本解析モデルには、配水管内部の水重を考慮しており、水重は水が管内に完全に充填されている状態として算出した。

表-2 固有値解析結果（片側管路止水時）

モード 次数	固有振動数		比率 (解析/計測)	方向
	解析(Hz)	計測(Hz)		
1	0.63	0.59	107%	橋軸直角
2	0.85	0.78	108%	鉛直

(2) 解析結果

まず、微動観測時の那珂川水管橋の条件を再現し、2本の配水管のうち片側のみ通水している状態をモデル化し解析を行った。結果を表-2に示す。解析値と計測値の比率が107~108%と概ね一致しており、振動モードも一致していることから、解析モデルは妥当であると判断した。次に、東北地方太平洋沖地震発生時の那珂川水管橋の状況を再現すべく、2本の送水管の両方が通水している状態をモデル化し、固有値解析を行った。固有値解析結果を表-3、固有振動モードを図-3に示す。全体系の1次モードは、0.54Hzの橋軸直角方向対称1次モードであり、全体系の2次モードは、0.74Hzの鉛直方向対称1次モードが得られた。前述したモデルと比較して、固有振動数は、質量が増加した分、僅かに長周期化しており、振動モードが入れ替わっているものも見られた。また、各成分の有効質量比を見ると、鉛直方向では14次の1.68Hz、橋軸直角方向では4次の1.02Hzの振動モードが卓越している。秦ら²⁾は、那珂川水管橋周辺の地震動の評価を行っており、堤内地側と堤外地側でサイト増幅・位相特性が異なることや、推定地震動の加速度応答スペクトルが0.2s以下や0.6~0.7sの短周期帯域においてレベル2の設計入力地震動を上回っていることを明らかにしており、これらの振動モードと短周期成分が卓越する地震動が重なりあったことが今回の被害要因の一つとして考えられる。

5. まとめ

本研究では、那珂川水管橋の被害メカニズムの解明に向けた研究の一環として、3次元のFEMによって固有値解析を行い、水管橋の地震応答特性を明らかにした。以下にその知見を示す。

- 固有値解析の際に、片側の管路の水重を考慮したモデルと両側の管路の水重を考慮したものでは、僅かに長周期化しており、振動モードが入れ替わっているものも見られた。
- 固有値解析によって得られた各成分の主要な振動モードは、いずれも1.0s以下で発生しており、那珂川水管橋周辺の推定地震動において卓越する短周期帯域と重なっており、被害に繋がった可能性がある。今後の課題としては、被害状況を考慮したモデルを作成し、那珂川水管橋のサイト特性を考慮した入力地震動によって時刻歴応答解析を行い、被害メカニズムを解明する予定である。

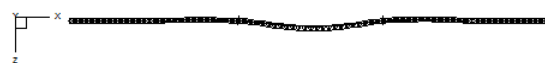
謝辞：本研究の遂行にあたり、茨城県企業局には那珂川水管橋の資料を提供していただいた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 上仲亮，鉢田泰子：微動観測による水戸市那珂川水管橋の振動特性，第54回（平成24年度）土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，2012。
- 2) 秦吉弥，鉢田泰子，野津厚：経験的サイト増幅特性を考慮した2011年東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋での地震動の評価，日本地震工学論文集，2012（投稿中）

表-3 固有値解析結果（両側管路通水時）

固有 モード	振動数 (Hz)	有効質量比		
		橋軸	橋軸直角	鉛直
1	0.54	0.000	0.055	0.000
2	0.74	0.000	0.000	0.042
3	0.99	0.000	0.025	0.000
4	1.02	0.000	0.096	0.000
5	1.21	0.000	0.042	0.000
6	1.21	0.000	0.043	0.000
7	1.29	0.000	0.000	0.000
8	1.29	0.036	0.000	0.000
9	1.35	0.002	0.000	0.001
10	1.49	0.000	0.000	0.001
11	1.60	0.000	0.000	0.082
12	1.63	0.000	0.003	0.000
13	1.67	0.001	0.000	0.039
14	1.68	0.000	0.000	0.095
15	1.91	0.000	0.013	0.000



(a) 1次振動モード（橋軸直角）



(b) 2次振動モード（鉛直）

図-3 振動モード