

I - B 207 斜張橋形式水管橋の非線形動的解析

○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 大和設計^{*3} 正会員 野中 哲也

1. はじめに

道路橋示方書・同解説V耐震設計編（以下、道示V）並びに水道施設耐震工法指針・解説（以下、水道耐震）では、斜張橋のように地震時の挙動が複雑な形式については、動的解析により照査を行なうように規定されている。しかし、水管橋の動的解析は水道耐震改訂後に検討が始められたばかりであり、その適用に当たっては問題点や不明点が十分に解決されているとはいえない。

そこで、本稿では旧水道指針で設計された2つの斜張橋形式水管橋の実橋についての非線形動的解析結果と今後の設計上の課題について報告する。

2. 水管橋の振動実験

水管橋は道路橋と比較し、①死荷重（鋼重700～900kgf/m程度）が軽い、②水管橋の主桁間隔は狭く（通常2～3m程度）、橋軸直角方向（面外）の剛性が低い、等の構造特性がある。そのため道路橋のデータをそのまま適用できず、実橋の水管橋の振動実験を行い、常時微動や強制振動（歩行荷重）、自由振動（屈伸、跳躍）の波形を記録・解析し、固有振動特性（振動数および振動モード）と減衰定数を測定した。³⁾ 測定された加速度波形の例を図-1に示す。



図-1 加速度波形（強制振動）

3. 解析モデル

非線形動的解析を行った斜張橋形式の水管橋の解析モデルを図-2、3に示す。また、表-1に解析に用いた諸元を示す。上部構造と下部構造については実測結果の減衰定数を採用し、地盤の減衰定数は道示Vの参考値を採用した。上部構造の復元力特性は完全弾塑性型のバイリニアモデルとした。

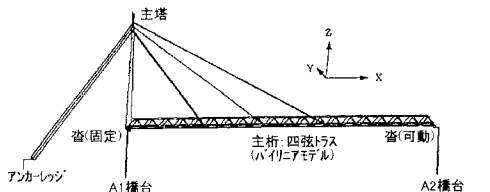


図-2 単径間斜張橋(支間長: 80.0m)

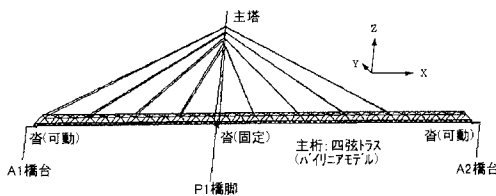


図-3 二径間連続斜張橋(支間長: 46.8+70.2m)

表-1 解析諸元

	単径間斜張橋	二径間連続斜張橋
主桁構造 (鋼管構造)	3次元骨組、多質点系モデル バイリニアモデル	
主塔構造 (鋼製BOX)	3次元骨組、多質点系モデル バイリニアモデル	
下部構造	橋台: 線形モデル アールジ: 線形モデル 杭基礎: パネ	橋台: 線形モデル 橋脚: 線形モデル 杭基礎: パネ
付属品	支(固定、可動)、伸縮可換管	
地盤	II種地盤 ($T_c=0.25$)	I種地盤 ($T_c=0.17$)
入力地震波 修正標準波形	JR 鷹取駅 N-S, E-W (max: 687gal)	JMA 神戸 N-S, E-W (max: 812gal)
数値積分	Newmark ($\beta=1/4$)、時間刻み 0.002 秒	
減衰定数	上部構造: 0.002、下部構造: 0.002 (=: 実測値)	地盤: 0.2

キーワード: 水管橋、斜張橋、耐震設計、非線形、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 FAX.03-3275-6781

※2 〒813-0004 福岡県福岡市東区松香台 2-3-1 TEL.092-673-5671 FAX.092-673-5699

※3 〒889-1403 宮崎県児湯郡新富町大字上富田 3191-1 TEL.0983-33-5581 FAX.0983-33-5584

4. 解析結果及び考察

本水管橋は旧水道耐震に沿って設計が行われており、水平荷重は地震荷重（ $K_h=0.24$ ）より大きな風荷重が採用されている。

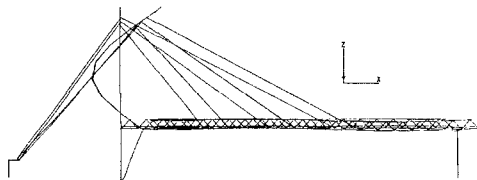
動的解析の結果をそれぞれ図－4、5及び表－2に示す。

固有振動数は解析値と実験値が良く一致しており、解析モデルの妥当性が確認できる。卓越振動モードは下図に示す通り両水管橋とも逆対称であった。

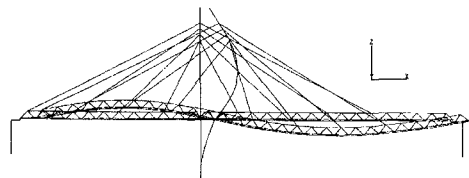
表－2 解析結果

		単径間斜張橋		二径間連続斜張橋	
		橋軸方向入力	面外方向入力	橋軸方向入力	面外方向入力
固有振動数	解析値	4.09 Hz	3.91 Hz	2.10 Hz	1.66 Hz
	実験値	4.18 Hz	3.91 Hz	2.10 Hz	1.76 Hz
	モード	逆対称	逆対称	逆対称	逆対称
最大応答加速度		7.212 gal	8.142 gal	13.679 gal	9.730 gal
	上弦材	弾性域	弾性域	弾性域	弾性域
	下弦材	弾性域	塑性域	弾性域	塑性域
	主塔	弾性域	弾性域	塑性域	塑性域
変位	A 1	F I X	F I X	263mm >55mm*1 >115mm*2	7mm <55mm*1 <115mm*2
	P 1	—	—	F I X	F I X
	A 2	115mm >50mm*1 =115mm*2	21mm <50mm*1 <115mm*2	259mm >55mm*1 >115mm*2	19mm <55mm*1 <115mm*2

表中のアンダーラインは最大応答値、*1は沓、*2は伸縮可撓管の許容値を示す。



図－4 単径間斜張橋



図－5 二径間連続斜張橋

最大応答加速度は、主塔の中間点で発生しており、応答倍率は8～18倍程度となった。応答加速度が大きくなった原因を把握するために、主塔部のみを取り上げ解析実験を行なった。まず、重量を10倍に増し道路橋並とすると応答加速度は3,766gal、さらに減衰定数を10倍にし道示Vの参考値並とすると応答加速度は1,548galに減少することが分かった。

断面力は、両水管橋とも地震波を面外方向に入力した場合に支承部に結合されている下弦材が塑性化している。二径間連続形式斜張橋は、いずれの方向に地震波を入力しても主塔が塑性化している。主塔の塑性化部分は上記の最大応答加速度を発生している部分である。

変位は、両水管橋とも地震波を橋軸方向に入力した場合に沓の許容変位を超えている。さらに、二径間連続形式斜張橋は伸縮可撓管の許容変位量も超えている。なお、沓のモデル化は無限変位のローラーヒンジを与えているため、今後は落橋防止システムを考慮した解析モデルの検討を行なう必要がある。

5. まとめ

今回、斜張橋形式水管橋の上下部一体構造系の非線形動的解析を実施し、その結果を報告した。両水管橋とも許容値を超えている。このような旧基準で設計された水管橋の耐震補強策を検討する際の参考事例を示すことができた。

水管橋の非線形動的解析はこれから研究が進められていく分野であり、この解析を通じて各形式の水管橋の地震時挙動を解析し、動的耐震設計法と静的耐震設計法（震度法、地震時保有水平耐力法）の適用範囲を明確にすることによって合理的な水管橋の耐震設計法を検討していきたい。

なお、本解析は(社)土木学会西部支部「中径間橋梁の耐震性向上に関する研究」委員会（委員長 九州大学工学部 大塚久哲 教授）の活動の一部として行なった。

- 参考文献 1. (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
 2. (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，1997年3月
 3. 白地哲也・水田洋司・竹内貴司・川口周作：振動計測で得られた水管橋の振動特性について，土木学会西部支部講演概要集，pp.144～145，1999年3月