

ランガー水管橋の地震応答について

東北大学工学部 学生員 ○中島章典
 東北大学工学部 正会員 倉西 茂
 東北大学工学部 正会員 矢吹哲哉

1. まえがき

振動問題は最近各方面で取り上げられ、関心が高まっているが、土木工学の分野においても、近年、本州四国連絡橋などの長大構造物の設計においては、耐震性が重要な因子となっている。長大橋などの構造物が、地震時にどのような振動性状を示すかということは、まだまだ不明の点が多い。そこで本研究では、ランガー形式の水管橋としては長大なものである、仙台市三橋地区にかかる広瀬川水管橋をモデルとして、昭和52年6月8日に、宮城県沖を震源として発生した地震(仙台では震度4)によって、この水管橋がどのような振動性状を示したかを解析した。この水管橋は、橋長414m、上部構はランガー桁5連よりなり、下弦材が通水管となっており、その間に、幅1.5mの歩廊が設けられている。この中央主径間101mのランガー桁について、面内振動、面外振動を考え、無限の自由度を有する連続体を、有限要素法を併用して、有限の自由度を有する等価節点-バネ系に置換し、運動方程式を組立て、Newmarkのβ法により、微小変形理論に基づいて動的応答解析を行なった。

2. 解析方法

有限要素法によって、要素の剛性マトリックス、質量マトリックスを作り、全体系に組立てて、そこで振動の運動方程式を立てて、これにNewmarkのβ法を連立させて応答計算を行なった。以下に計算式を示す。

$$(1) \ddot{u}(t+\Delta t) = \left\{ M + \frac{\Delta t}{2} C + \beta(\Delta t)^2 K \right\}^{-1} \left\{ f(t+\Delta t) - C \left\{ \dot{u}(t) + \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}(t) \right\} - K \left\{ u(t) + \Delta t \dot{u}(t) + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) (\Delta t)^2 \ddot{u}(t) \right\} \right\}$$

$$(2) \dot{u}(t+\Delta t) = \dot{u}(t) + \frac{\Delta t}{2} \left\{ \ddot{u}(t) + \ddot{u}(t+\Delta t) \right\}$$

$$(3) u(t+\Delta t) = u(t) + \Delta t \dot{u}(t) + \frac{(\Delta t)^2}{2} \ddot{u}(t) + \beta(\Delta t)^2 \left\{ \ddot{u}(t+\Delta t) - \ddot{u}(t) \right\}$$

\ddot{u} ; 時刻 t ,あるいは $t+\Delta t$ における加速度ベクトル \dot{u} ; 時刻 t ,あるいは $t+\Delta t$ における速度ベクトル
 u ; 時刻 t ,あるいは $t+\Delta t$ における変位ベクトル M ; 質量マトリックス
 K ; 剛性マトリックス C ; 減衰マトリックス
 f ; 外力ベクトル Δt ; 時間ステップ

ここでは、 $\beta = 1/4$ (平均加速度法)とし、外力ベクトル $f = -M\ddot{z}$ (\ddot{z} ; 地震によるケーソン底部の加速度ベクトル)であり、 $\Delta t = 0.01$ 秒として計算した。減衰はないものと考えた。

3. 解析モデル

図1に、面内振動の解析モデルを示す。スパンが101m、ライズが15mであり、一端が可動支承で、もう一端には橋脚ケーソンをつけ、地盤のバネ作用も考慮する。下弦材の通水管は清流と考慮し、質量を付加する。面外振動の解析モデルは、両端にケーソンをつけて考えている。

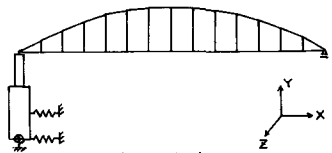


図1 面内振動解析モデル

4. 計算結果

まず、固有値解析を行ない、固有周期と変位モードを求めた。面内振動、面外振動の5次固有周期までを表1に示す。また、変位モードを図2、3に示す。面内振動では、1次固有周期が1.419秒、対称モードとなり、面外振動では、1次固有周期が0.730秒、対称モードとなった。

	面内振動	面外振動
1	1.419	0.780
2	0.730	0.323
3	0.437	0.301
4	0.398	0.224
5	0.371	0.172

表1. 固有周期 (sec)

入かに用いた地震によるケーソン底部の加速度の最大値を表2に示す。応答計算の結果、最大変位は、下弦材の橋軸直角方向で、2.98 μm であった。また、最大応答加速度値は、上弦材の橋軸直角方向で、455.9 galであった。最大応答変位と最大応答加速度を表3,4に示す。次に、下弦材の、可動端から1/4付近の鉛直方向変位応答曲線の周期は、約0.40秒となり、これは面内振動の4次固有周期とたいたい同じであり、この点が最大変位を示す時の全体の振動形を見ると、4次の変位モードに近いことがわかる。同様に、下弦材の中央点の橋軸直角方向変位応答曲線の周期は約0.80秒で、これは面外振動の1次固有周期とたいたい同じであり、この点が最大変位を示す時の全体の振動形を見ると、1次の変位モード

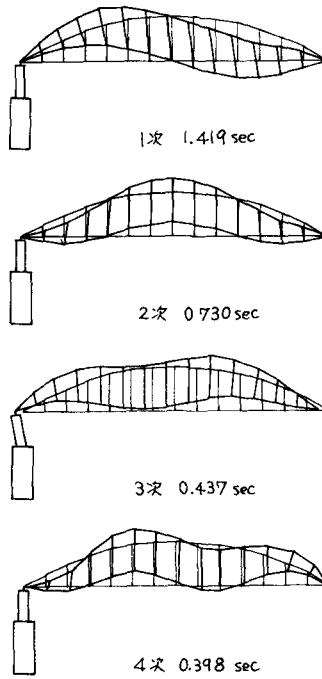


図2 面内振動変位モード

に近いことがわかる。表5には、入力加速度ピークの時間と、応答変位ピークの時間の関係を示す。表からわかるように、橋軸直角方向については、入力加速度ピークの時間と応答変位ピークの時間はかなり近いけれども、鉛直方向および橋軸方向では、入力加速度ピークに比較して、応答変位ピークはかなり遅れて現われている。また、計算した最大応答加速度と実測された最大応答加速度を比較すると、実測値に対して計算値がかなり大きくなっている。これは、本計算では減衰を考えなかったことが、大きく影響していると思われる。求められた応答変位より、各部材の応力度を計算してみると、許容応力度に比較して十分小さいものであった。

5. あとがき

応答計算を行なった結果、面外振動では、1次の固有周期およびモード形が支配的であるのに対して、面内振動では、4次の固有周期およびモード形が支配的であった。また、橋軸方向鉛直方向では、入力加速度ピークより応答変位ピークがかなり遅れて現われるという結果が出た。

参考文献

- 1 小坪清真著「土木振動学」森北出版
- 2 川井忠彦著「マトリックス法振動および応答」培風館
- 3 「三橋水筒橋実地設計」仙台市水道局

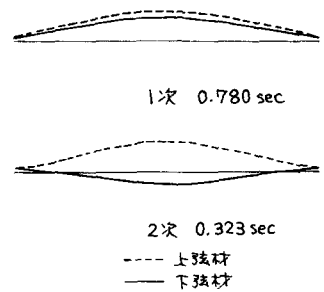


図3 面外振動変位モード

	加速度(gal)
橋軸方向	9.6
鉛直方向	19.3
橋軸直角方向	23.0

表2 入力最大加速度

	下弦材	上弦材
橋軸方向	1.98	1.98
鉛直方向	1.81	1.71
橋軸直角方向	2.98	2.95

表3 最大応答変位(μm)

	下弦材	上弦材
橋軸方向	204.0	210.8
鉛直方向	193.8	314.4
橋軸直角方向	296.3	455.9

表4 最大応答加速度 (gal)

	入力加速度 ピークの時間	応答変位 ピークの時間
橋軸方向	5.42	10.24
鉛直方向	5.93	11.62
橋軸直角方向	4.55	4.97

表5 ピーク時間の比較(sec)