

常時微動による河ノ瀬橋の健全度評価

1090501 山本修司

高知工科大学工学部社会システム工学科

高知市にある河ノ瀬橋では遊間異常が報告されている。この橋の健全度を交通荷重による常時微動から評価することを試みた。振動計測は夏と冬で2回行なった。設計図書を参考に本橋のモデルを作成し、固有値解析を実施した。夏、冬の計測結果の比較、実験値と解析値の比較から健全度を評価した。

振動計測の結果から上り車線橋梁と下り車線橋梁は全く独立な橋梁であることが分かった。また、解析値との比較から上り車線は両端固定に近い状態となっていること、下り車線は単純支持ではないものの、両端固定とまでは言えない中間的な拘束状態にあることが分かった。また、夏冬の測定結果に大きな差はなかった。

Key Words : 常時微動, フーリエスペクトル, 固有振動数, モード

1. はじめに

高知市河ノ瀬町にある河ノ瀬橋は国道56号にかかる橋梁で、1981年に架設された単純非合成鋼箱桁橋である。この橋梁は、2006年に行われた国土交通省四国地方整備局による橋梁点検で、遊間に異常があることが報告されている。報告書によれば、伸縮装置や支承に移動の余裕がなく、橋台の移動がその原因ではないかと推定されている。2006年に、隣接する河ノ瀬交差点の立体化工事に伴い上り車線の橋梁が若干拡張されたが、基本的な状況は橋梁点検時と変わっていない。

橋梁点検の結果、特に異常状態が進行しているようには思われないうえ、ウェブの座屈などの危険な兆候も認められないことから、当面、補修などは行わずに経過を観察することとなった。しかしながら、橋梁の力学挙動にどの程度の異常があるかは明らかにされていない。そこで、本研究では、交通荷重による常時微動を計測し、振動挙動から橋梁の健全度を評価することを試みた。写真1に伸縮装置の遊間、写真2に可動支承の状況を示す。

報告されている異常が遊間異常であることから、温度の影響が考えられるため、夏と冬に計測を行なった。また、構造解析ソフトを用いて固有値解析を実施した。実験値と解析値の比較、また夏と冬の比較から、この橋の健全度を評価することとした。

2. 計測方法

橋台上のスペースに、発電機・パソコン・アンプなどの計測器を設置した。交通規制が不可能なことから、加速度センサーは歩道上に設置した。設置パターンは、CASE1 (両側に3個ずつ)、CASE2 (上り



写真1 伸縮装置の遊間



写真2 可動支承

車線側に7個)、CASE3 (下り車線側に7個) の3ケースとして各ケース10回の計測を行なった。センサーの配置を図1に示す。使用した加速度計はサーボ型である。中央分離帯付近にも加速度計を設置し計測を行なうのが理想ではあるが、交通量が多く危険なため断念した。測定条件は次の通りである。フィルターカットオフ周波数16Hz, スキャンレート200サンプル

ル/秒，サンプル数8192/チャンネル．できるだけ車が通るときを見計らって，計測した．計測の際，ビデオカメラで交通状況の録画も行ない，振動の起振源となった車両の特定に使用した．

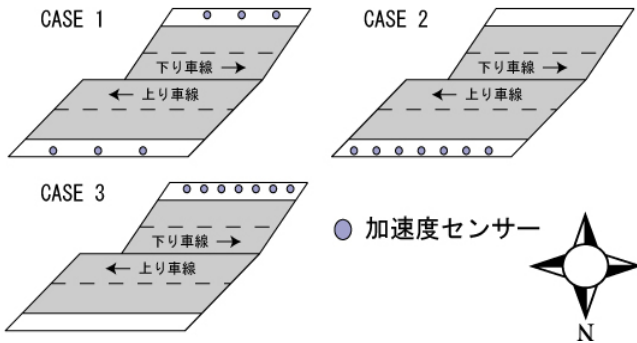


図1 計測 CASE

3. 河ノ瀬橋の振動特性

3.1 振動測定波形

図3，図4にCASE1の例を示す．同じ時刻に測定した波形であるが，両車線で全く違った振動が得られているから，この橋の上り車線と下り車線は独立であると考えられる．よって，以降，CASE1のデータは用いず，CASE2，CASE3だけを解析することとした．

3.2 実測固有振動数

測定で得たデータに較正係数を乗じて加速度に変換した．単位はgalである．測定された加速度波形の例を図5に示す．3ヶ所で10gal程度の加速度が発生しているが，このような振動はほとんどトラックの走行によるものであった．

次に，フーリエ解析を行なった．Excelによるフーリエ解析では4096個のデータまでという制限があるため，8192個のデータを前半，後半の二つに分けて解析した．図6，7にフーリエスペクトルの例を示す．両図とも図5のデータのスペクトルであるが，スペクトルの形状にかなりの相違があることが分かる．これは図5の振動波形の前半と後半で特性が変化しているためで，構造特性は同じでも走行車両によって振動応答特性が変化することを示していると言える．図の3.5Hz付近のピークの形状を見ると，図7ではシャープな単峰形のピークであるのに対して，図6では複数のピークが現れており，複雑な形となっている．これが固有振動を示しているとすれば，当然ながら，図7のスペクトルを用いた方が正確な評価が可能となると考えられる．

そこで，全てのデータからシャープなものだけを取り出しまとめたものを表1に示す．

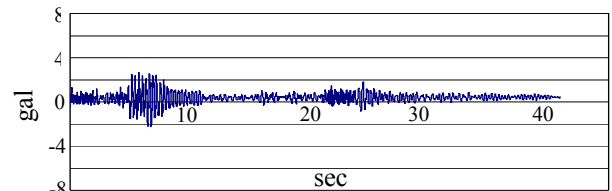


図3 CASE1 (上り車線)

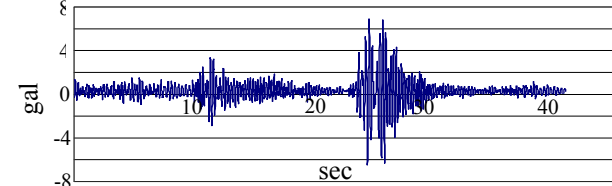


図4 CASE1 (下り車線)

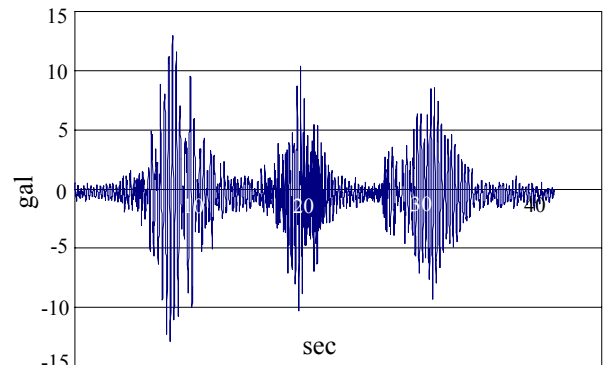


図5 振動波形の例

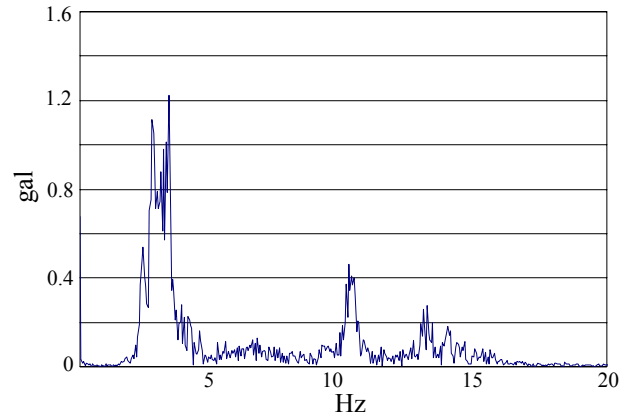


図6 フーリエスペクトル(前半)

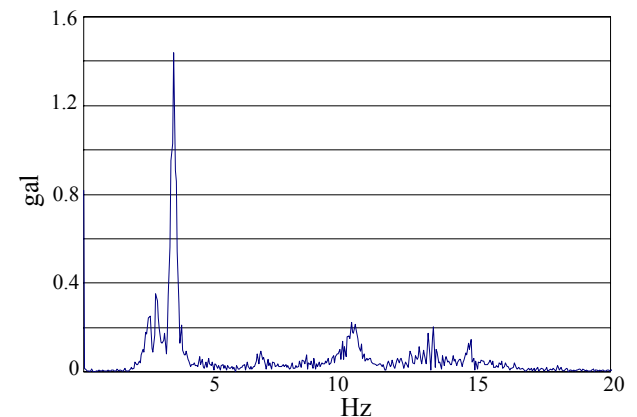


図7 フーリエスペクトル(後半)

表1 実験値 固有振動数

上り車線		下り車線	
夏	冬	夏	冬
3.320	3.418	3.418	3.369
3.369	3.481	3.418	3.565
6.885	6.787	4.541	4.541
7.032	6.787	4.590	4.590
10.254	11.133		
11.084			

単位:Hz

3.3 固有値解析

国土交通省から借用した設計書を元に、構造解析ソフトを用いて骨組みモデルを作成した。横桁に関しては実長と要素長が異なるため、設計書に記載されている等価剛性を用いた¹⁾。本橋は非合成であるため、当初は床板剛性を無視し、質量のみを考慮した解析を行った。その結果、実測固有振動数に比べて解析値が極めて小さなものとなった。従って、非合成橋梁ではあっても、微小振動時には床板剛性の寄与が無視できないものと考えられる。

このため、板要素を用いて床板をモデル化することとした。床板と主桁は仮想的な剛要素で連結した。床板コンクリートのヤング率は、鉄筋の効果を考慮して、 $E_c=3.0 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とした。境界条件は、遊間異常の影響を評価するために、単純支持、および両端固定の2ケースとした。

図8に解析モデルを示す。ただし、骨組みの状況を示すために、図では床板を省略している。

解析から求めた固有振動数をまとめて表2に示す。(モード5以下は省略)

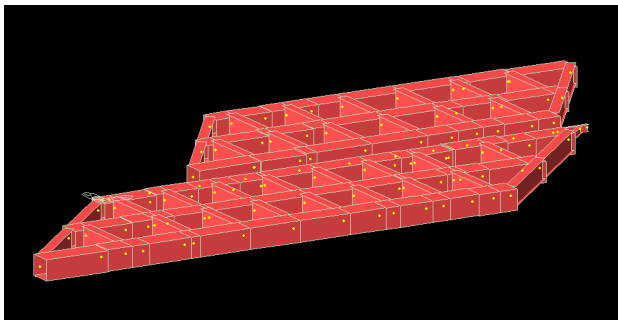


図8 河ノ瀬橋モデル

表2 解析値 固有振動数

	上り車線		下り車線	
	単純支持	両端固定	単純支持	両端固定
モード1	1.957	3.370	2.578	4.440
モード2	2.902	3.810	4.264	5.700
モード3	6.223	7.213	8.164	9.926
モード4	6.459	7.761	10.186	12.206

単位:Hz

3.4 固有振動モード

実験値からモードを求める場合、スペクトルのピーク値からモード縦距を、クロススペクトルの位相から符号を定めるのが一般的であるが、ここでは元

波形にフーリエ逆変換を用いたバンドパスフィルターをかけ、得られた単一振動数の波形から縦距と符号を同時に定める方法を用いた。処理した波形の例を図9、求めたモードの例を図10に示す。

表1によれば、比較的近接した固有振動数が2個ずつセットになっているように見える。上り車線の例で言えば、3.5Hz弱、および7Hz弱に2個ずつのピークが測定されている。図11, 12は解析から得られた上り車線のモード1, 2のモード図である。この図から、モード1はいわゆるたわみ振動、モード2はねじれ振動であることが分かる。本橋はねじれ剛性が低いために、両側の主桁が同方向に振動するたわみ振動と逆方向に振動するねじれ振動の固有振動数が近接したものと推定される。測定は歩道のある側だけで行なったので、得られた固有振動がたわみかねじれかを判定する方法がない。そこで、ここでは、近接した2個の固有振動をセットとして捉え、解析値との比較を行なうこととした。

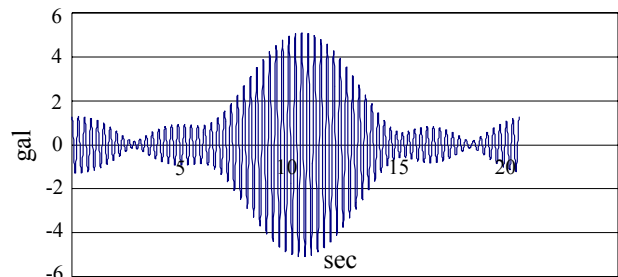


図9 固有振動

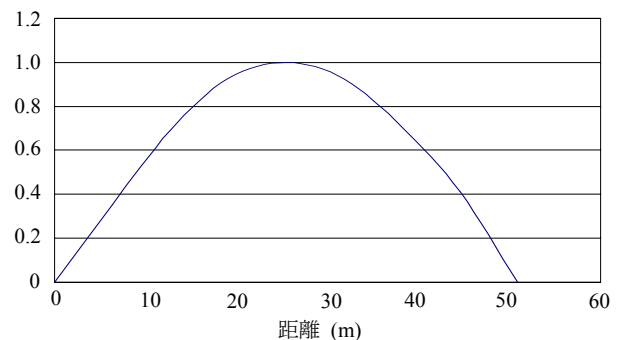


図10 モード図

3.5 固有振動数の比較

表1, 2から、上り車線の固有振動は両端固定に近いと判断できる。しかし、下り車線では測定値は単純支持と両端固定の間となっている。下り車線は単純支持ではないが、両端固定となるまでの拘束ではないという中途半端な状況であると考えられる。

表1によれば、夏冬の測定値には大きな変化はない。

3.6 固有振動モードの比較

上り車線のモード1(2)を図13に示す。モード形状から見ると、実験値はむしろ単純支持に近いように見えないこともない。ただし、単純支持と両端固定時のモードの変化自体が小さいので、モード形状からは拘束度を評価するのは難しいとも言える。モード3(4)の結果を図14に示す。このモードでは境界条件に

よるモード形状の変化はかなり大きく、実験値は明らかに両端固定に近い。よって、上り車線の橋梁はモード形状からも両端固定に近い状態にあると結論される。

下り車線では信頼できるモードが2つしか計測できなかったため、振動数は近接している2つのモードで解析値と実験値の比較を行なった。結果を図15、16に示す。境界条件によらず、実験値と解析値はほぼ同じような値となっており、モード形状から、単

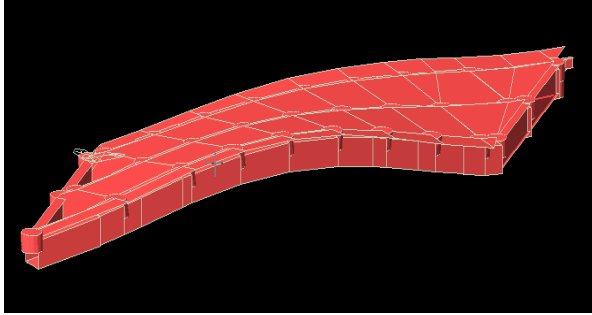


図 11 モード 1 (上り車線)

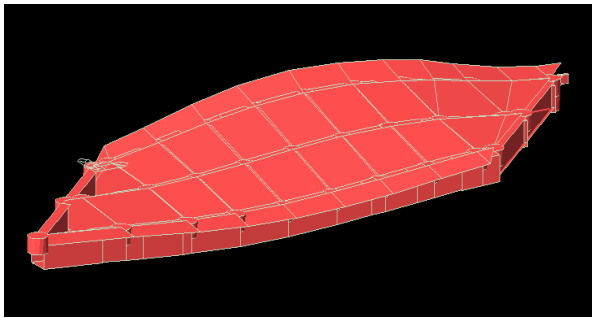


図 12 モード 2 (上り車線)

純支持、両端固定の判断は難しい。

4. 結論

河ノ瀬橋は2本の橋の片側を拡幅して1本にしているが、元々の2本の橋は独立に振動している。

上り車線は固有振動数、モードとも、両端固定の解析値に近い。よって、上り車線は非常に両端固定に近いと判断された。

下り車線の振動数は単純支持と両端固定の間くらいの値となっている。モードにも、拘束の強弱を示すような特徴は現れていない。よって、下り車線に関しては単純支持として完全には機能していないが、両端固定と言えるまでの厳しい状況ではないと判断される。

目視によれば伸縮装置の遊間異常は可動支承側で厳しい。よって、可動支承側では桁上部の伸縮装置を中心とするピンに近い挙動、固定支承側では通常の支承をピンとする挙動をなっているのではないかと想像される。

夏と冬の測定値に大きな差が出ていないことは、遊間異常による拘束がさほど大きなものではないことを示唆しているようにも思われる。

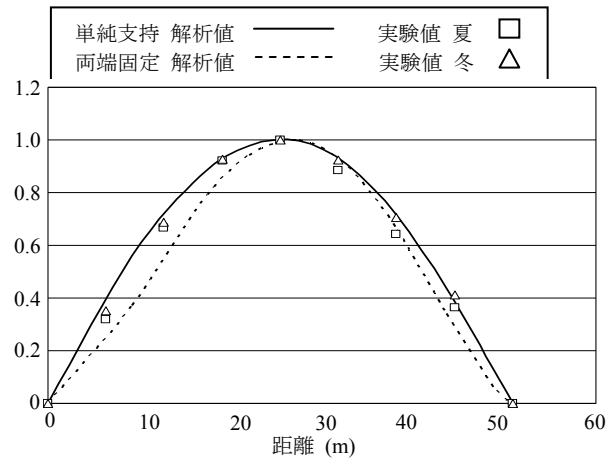


図 13 モード 1 : 実験値 (上り車線)

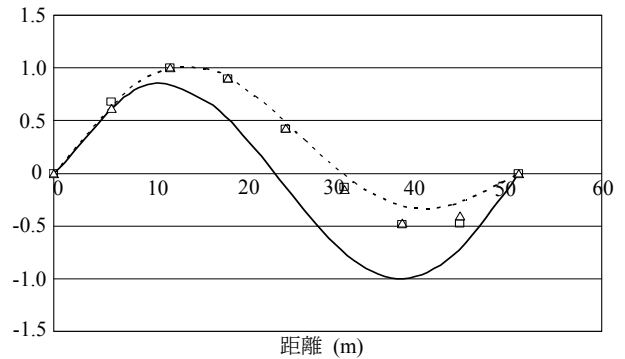


図 14 モード 3 : 実験値 (上り車線)

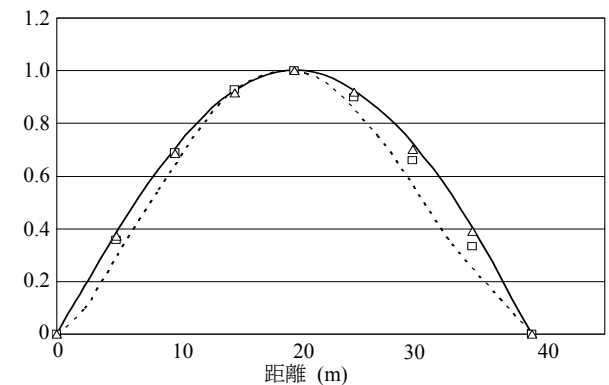


図 15 モード 1 : 実験値 (下り車線)

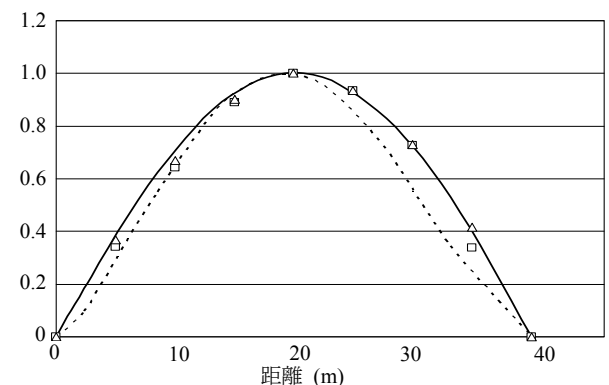


図 16 モード 2 : 実験値 (下り車線)

参考文献

- 1) 河ノ瀬高架橋予備設計業務委託 全体概要報告書 (2004年3月)