

車両走行とハンマー打撃によるコンクリート桁橋の固有振動数の検出容易性

愛媛大学 学生会員 ○近江 明加

愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

愛媛大学 学生会員 Twayana Ratna Prasad

1. はじめに

現在，社会資本のうち高齢化したものの割合が急速に増加しており，戦略的な維持管理・更新が必要とされている¹⁾．維持管理に不可欠な点検・評価の高度化のために、コンクリート桁橋を対象に、定量的な調査として、部材剛性の低下は固有振動数の低下に直結するとの仮説に基づき，橋梁の固有振動数により健全性を評価する研究を実施している²⁾．本論文の目的は，その一環として車両走行とハンマー打撃の2種類の加振方法によって振動測定をおこない，固有振動数の検出容易性を比較してハンマー打撃法の有効性を示すことである．

2. 測定と解析の方法（奈半利川橋の事例）

【測定対象】 四国内にあるコンクリート橋を対象とした．奈半利川橋は支間長が 33.7 m，幅員が 9.5 m の同一構造の 5 径間の直橋である．図 1 に模式平面図を示す．図 2 に第 4 径間(S4)の測定時におけるセンサー配置図を示す．解析は E のセンサーの結果を用いた．

【測定機器】 振動測定には 3 成分の感振器が内蔵された速度計 CR4.5-2S（物探サービ社製），24 チャンネル測定可能な収録装置 GEODAS-12-USB-24ch（物探サービ社製）を用いた．

【車両走行加振】 トヨタ製のハイース（運転手を含む総重量：1.94 t）を使用し，速度を一定に保ち走行させて，走行による振動波形を測定した．レーザーセンサー LV-H67 を 2 台設置して通過車両の桁進入時（退出時）の時刻と速度を検知した．

【打撃加振】 木製かけや（頭部寸法 $\phi 100 \text{ mm} \times 230 \text{ mm}$ ，重量 2.72 kg）を用いて道路面を打撃し，その振動波形を測定した．サンプリング周波数は 200 Hz（一部では 500 Hz）で 120 秒間測定した．実験は全て通行車両の少ない深夜に実施した．

【データ解析方法】 鉛直方向の速度時刻歴を対象に，測定データにドリフト補正をして分析した．図 3 に車両走行とハンマー打撃時の速度時刻歴を示す．走行加振，または打撃加振による振動波形を示す．加振・载荷開始時には広範囲の振動数成分が見られるが，载荷終了から 1 秒後以降は単一振動数の自由減衰振動波形が見られる．自由振動波形からは減衰定数も算定できる．抽出する波形は他の車両等による振動を含まないものに限定し，このような時間帯を 20.48 秒間分抽出してフーリエ変換し，フーリエスペクトルから卓越振動数を読み取り，あらかじめ理論的に想定できる振動数と，異なる打点の結果との比較に基づく振動モードの特定により，固有振動数を特定する．

3. 固有振動数検出容易性の検討

図 4 に車両走行（秒速 16.8 m/s）とハンマー打撃（径間重心打撃）による速度フーリエスペクトルを重ね書きしたものを示す．車両走行のスペクトルはおよそ 0.5 Hz に 1 次卓越振動数が認められる．これは走行車両が

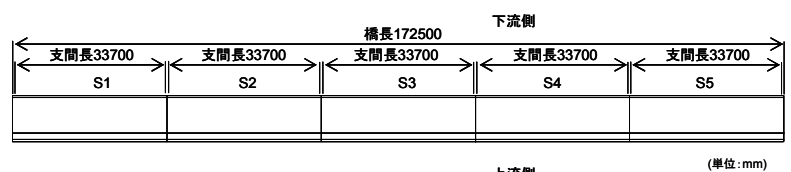


図 1 奈半利川橋の模式平面図

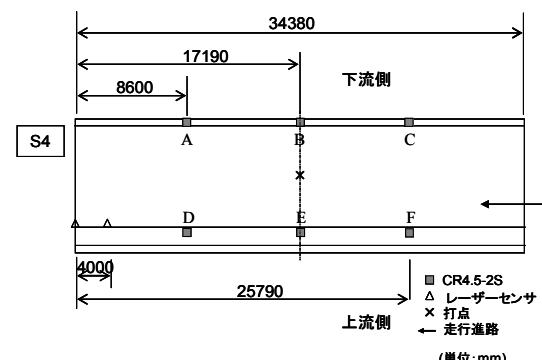
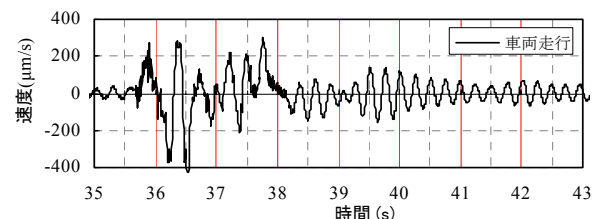
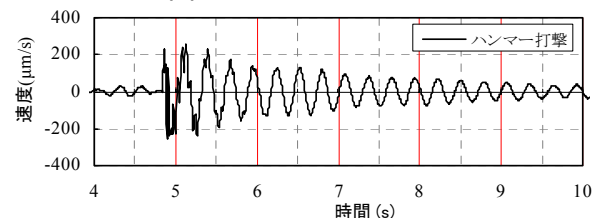


図 2 奈半利川橋第 4 径間におけるセンサー配置図



(a) 車両実験



(b) 打撃実験

図 3 奈半利川橋における車両実験と打撃実験の速度時刻歴

間を約 1 秒で通過したときのたわみ振動である。1～5 Hz の範囲には、5 つの卓越が確認でき、このうち 3.56 Hz の卓越は 1 次曲げ固有振動数であるが単独のスペクトルでは特定は困難である。一方、ハンマー打撃によるスペクトルでは、3.52 Hz に明瞭な 1 次卓越が認められ、特定が容易である。

また、2 次曲げ固有振動数も 18.65 Hz に明瞭に表れている一方、重心打撃であるのでねじれ振動は卓越しない。2 次/1 次の固有振動数比が 5.3 となり、理論的に予想される 4 より大きい。打撃法によるスペクトルと比較して車両走行による 1 次固有振動数は 18.80 Hz であり、いずれも 18.7-8 Hz 付近で卓越した。車両走行、ハンマー打撃とも固有振動数を得たが、車両走行のスペクトルにはピークが多く、偏心载荷によるねじれや車両振動の影響などにより曲げの固有振動数の判別が困難であった。

4. 異なる加振方法による固有振動数の特定精度の検討

図 5 に車両走行実験と打撃実験によって得られた 1 次曲げ固有振動数の比較を示す。図に示す直線は 1:1 の直線である。13 橋の結果では、1 次曲げ固有振動数は両者でほぼ一致している。相関係数は 0.997 であり、極めて高い相関と言える。

また、図 6 に車両走行とハンマー打撃によって得られた 1 次ねじれ固有振動数の比較を、図 7 に 2 次曲げ固有振動数の比較を示す。サンプル数は 1 次ねじれ卓越振動数が 9 橋、2 次曲げ固有振動数が 12 橋である。相関係数はいずれも 1.00 であり、ハンマー打撃法の固有振動数の特定能力の高さが証明された。

5. 結 論

13 の実在橋梁を対象に、ハンマー打撃と車両走行を加振源とする振動測定を行い、それぞれの特徴と固有振動数特定の容易性と精度を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) ハンマー打撃法によるスペクトルでは、1 次曲げ、1 次ねじれ、2 次曲げの固有振動数での明瞭な卓越が認められ、固有振動数の特定が容易である。一方、車両走行法は単独のスペクトルでは固有振動数の特定は困難である。
- (2) 車両走行法とハンマー打撃法によって特定された固有振動数の相関係数は、1 次曲げ、1 次ねじれ、2 次曲げのいずれの固有振動モードに対しても 0.99 以上であり、極めて高い相関であった。このことから、ハンマー打撃法の精度の高さと容易性のいずれも検証できた。

謝辞：本研究は、国土交通省の平成 24 年度道路政策の質の向上に資する技術研究開発研究「コンクリート桁橋の多点同時可搬式振動計測による健全性評価法の実用化研究」(研究代表者：森 伸一郎)の一環として行ったものであり、遂行に当たり協力を戴き、研究成果の発表に対して快諾戴きました四国地方整備局、愛媛県、その他の市町の関係各位に謝意を表します。

参考文献：1) 国土交通省：国土交通白書 2008, p.324, 2008 年 5 月 2) 森, 松村：日本地震工学シンポジウム

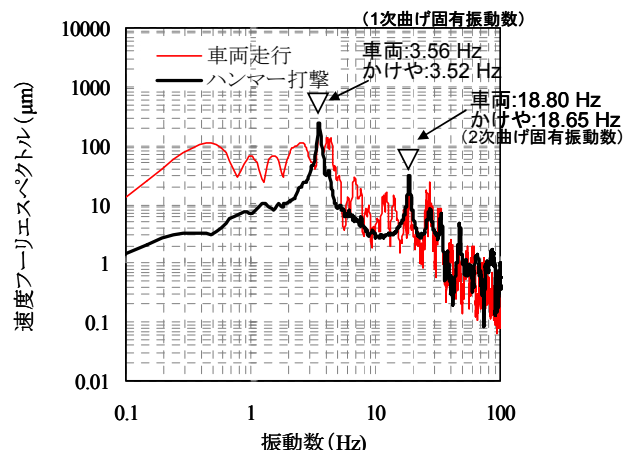


図 4 奈半利川橋における車両走行実験と打撃実験による速度フーリエスペクトル

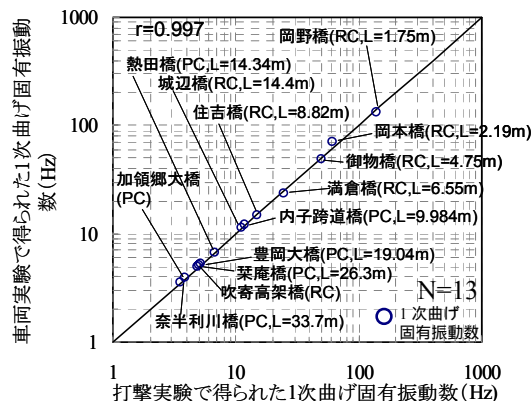


図 5 車両走行実験と打撃実験によって得られた 1 次曲げ固有振動数の比較

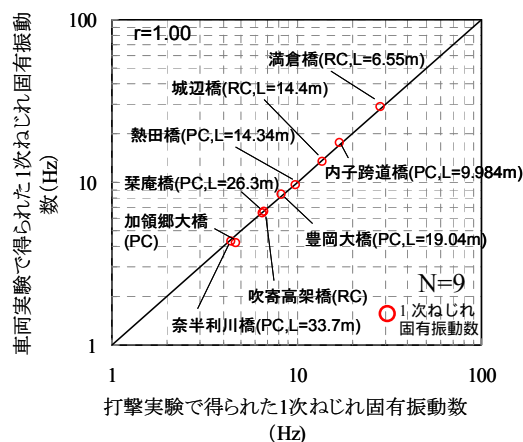


図 6 車両走行実験と打撃実験によって得られた 1 次ねじれ固有振動数の比較

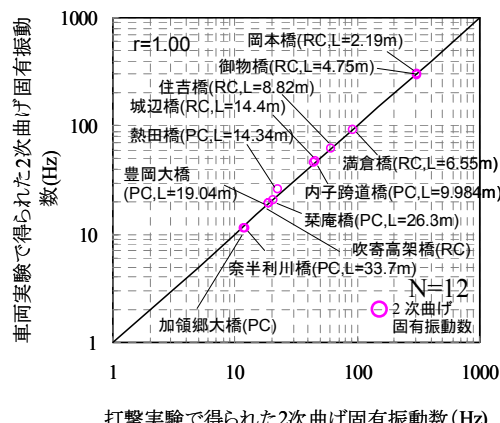


図 7 車両走行実験と打撃実験によって得られた 2 次曲げ固有振動数の比較