

大阪大学大学院 学生員 ○松岡 弘大  
 大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之  
 株式会社 BMC 正会員 杉崎 光一  
 財団法人鉄道総合研技術研究所 正会員 渡辺 勉

1. はじめに

現在、急速に老朽化が進む社会基盤構造物を適切に維持管理していくことが重要な課題となっており、多くの研究が蓄積されている。これに関して、筆者らは走行列車を用いた振動モニタリングを提案し、実橋梁における列車走行試験や同定手法の開発を行ってきた<sup>1)</sup>。列車走行時の加速度応答から振動特性を把握することで、効率的な橋梁の振動モニタリング、異常検知が可能になると考えられる。これまでに、列車特性が同定結果に与える影響について検討を行い、速度、車両数等による固有振動数のばらつきを大きくとも 10%程度に抑えることが可能であることが明らかになっている。しかしながら実用化に際しては、対象橋梁についてその特性を考慮して選定する必要がある。そこで、本研究では橋長の違う 6 橋の実験解析を実施し、橋長が同定結果に及ぼす影響を明らかにするとともに、振動性状の違いについて考察した。

2. 列車走行実験

対象橋梁の桁形式および橋長を表-1 に示す。橋長 35m から 5m までの開床式鉄道高架橋 6 橋を対象とした。その内訳として、RC 橋が 4 橋、橋長 35m の PC 橋が 1 橋、橋長 6.5m のラーメン橋が 1 橋となっている。その他に、当該橋梁は、床版構造が省かれた開床式となっていることが特徴である。これらの橋梁の概要と加速度計配置を図-1 に示す。加速度計は主桁上とダクト桁上に全 19 台設置し、サンプリング周波数 2kHz で収録した。なお、2kHz 以上の周波数成分は、アンチエイリアシングフィルターを介して除去している。振動計測時間に関しては、列車の通過時間約 30 秒を含む 120 秒と設定した。各橋梁で計測に使用した列車の概要も表-1 に併せて示す。これらの橋梁に対しては、加振条件によるばらつきを抑えるため、走行列車の形式、車両数、通過速度、進行方向

表-1 対象橋梁および通過列車概要

桁形式	橋長[m]	通過速度 [km/h]	車両数
箱桁 (PC)	35	84	19
T 桁(RC)	25	84	19
単版桁(RC)	15	82	20
単版桁(RC)	10	82	20
単版桁(RC)	5	72	20
ラーメン(RC)	6.5 (45)	72	20

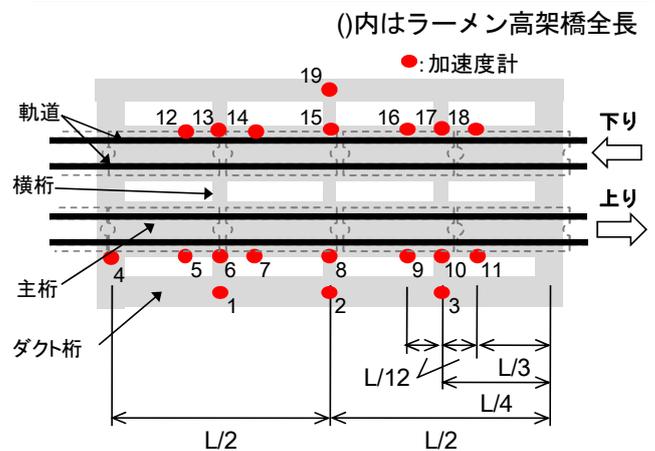


図-1 橋梁概要とセンサー配置

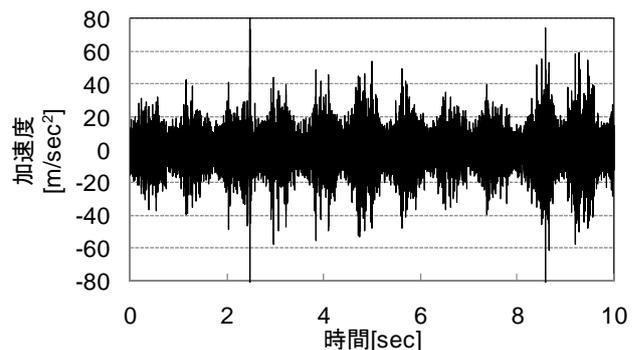


図-2 列車通過時の加速度応答

が同一となるように振動計測を行った。ちなみに列車は、貨物、進行方向は上りとした。また、同表から列車の通過速度が 72km/h~84km/h であり、車両数は 19~20 両であることが読み取れる。

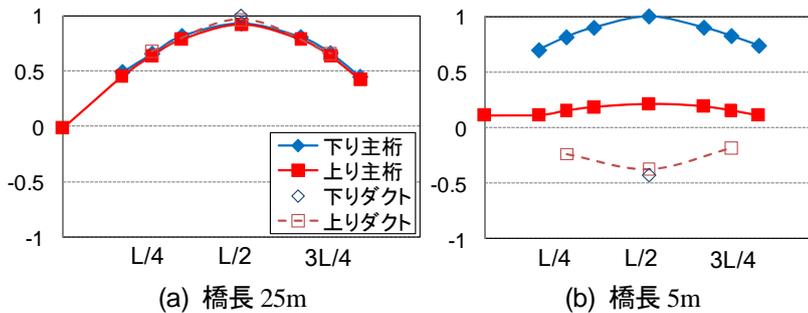


図-4 1次たわみモードの振動モード形

### 3. 振動特性の同定

収録した加速度応答より振動特性（固有振動数，振動モード形）の同定を行った．本研究では走行列車を加振源としているため，これらをホワイトノイズと仮定し，出力のみから同定する手法を用いている．同定した振動モード形は，基準とした計測点に対する相対的なモードであり，以下で示す値は最大値を1に基準化している．同定法の詳細については文献2)を参照されたい．

まず，周波数分解能 0.5Hz 程度を確保するために，収録した加速度応答から 20 秒間切出した．一例として，PC 箱桁橋での計測点 6 における加速度応答（10 秒間）を図-2 に示す． $30\text{m/sec}^2$  程度の振幅で安定していることがわかる．切り出した波形より伝達関数を算出し，振動モード形による同定を行った．同定した各橋梁の 1 次たわみモードの固有振動数を図-3（赤い▲）に示す．なお，図-3 の横軸の部材長パラメータは橋長の逆数を二乗した値 $[\text{m}^2]$ である．また，これらのうち最大および最小を示した橋長 5m（単版桁），橋長 25m（T 桁）の振動モード形を図-4 に示す．

### 4. 振動性状に及ぼす橋長の影響

図-3 より PC 箱桁橋以外では橋長が短くなるにつれ振動数が高くなることがわかる．文献 2)においても橋長の二乗の逆数に比例することが示されており理論的にも整合的であるといえる．PC 箱桁橋が比較的高い固有振動数を示しているのはプレストレスによる断面曲げ剛性の付加による影響であると考えられる．また，ラーメン橋に関しては桁端の境界条件より固有振動数は若干高くなることが予想されたが，今回の結果から確認できない．これらについては，今後，剛性および境界条件を含めた理論式との比較により，詳細に検討する予定である．

橋長が振動モード形に及ぼす影響に関して図-4 より考察する．図中(a)では，すべての桁が同位相方向に同程

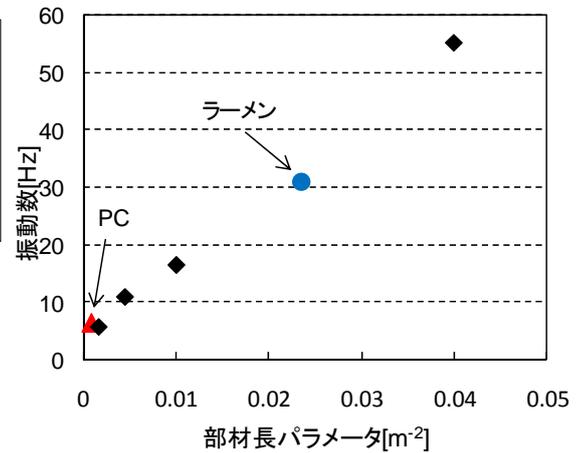


図-3 振動数と橋長の関係

度の振幅を示しており，桁全体としての 1 次たわみモードであるといえる．橋長が 15m および 35m の場合も，同様の傾向を示していた．これに対して，同図(b)では列車が通過している上り主桁の振幅が小さく，下り主桁が最大振幅を示している．さらに，ダクト桁は逆位相となっており，それぞれの部材が 1 次モードで振動している状態であるといえる．これらの傾向は橋長が 10m および 6.5m のラーメン橋でも同じであった．橋長が短くなるにつれ，全体での振動よりも部材ごとに振動が卓越してくることに関しては，橋軸方向に対して橋軸直角方向が相対的に長くなるために，梁部材としてではなく，面構造として複雑な振動性状を示すためであると考えられる．また，列車が通過する上り主桁の振幅が小さくなることに関しては，橋長が短くなるにつれ，桁に対する列車重量が占める割合が大きくなることから通過列車が桁の振動を抑制しているものと考えられる．

今後はさらに，2 次以上のモードについて同定を行い，算出した振動モード形の MAC 値と橋長の関係について検討する予定である．また同時に，高度な同定法を用いて異常検知を行うための指標を検討していく予定である．

### 参考文献

- 1) 松岡弘大，貝戸清之，杉崎光一，渡辺勉；列車走行時の加速度応答を用いた開床式橋梁の振動特性の同定，コンクリート工学年次論文集(投稿中)
- 2) 原田和洋，杉崎光一，貝戸清之，曾我部正道；鉄道橋の動的応答における部材振動性状の簡易同定法，コンクリート工学年次論文集，Vol. 30, No. 3, 2008