

第 I 部門

列車走行時の加速度応答を用いた振動特性の同定における信号処理がおよぼす影響

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

1. はじめに

振動モニタリングを継続的に実施し、得られる振動特性の相対的な変化に基づいて、社会基盤施設の異常を早期に検知することができれば、維持管理の効率性は飛躍的に向上する。これまでに筆者らは、毎日定刻に、ほぼ均一な速度と荷重を持つ列車が走行する鉄道橋に着目し、走行列車荷重を利用した振動特性の同定法の提案を行った。また、この手法により、列車種別によって同定結果のばらつきに違いがあること、および従来から実施されているインパルスハンマー試験では励起できないモードを同定できることなどを明かにしてきた¹⁾。上記の手法では列車通過時の加速度応答を用いている。列車通過時に計測される加速度応答は当然ながら自由振動ではなく、列車進入前、列車通過時、および列車退出後で構成される複雑なものとなる。これに伴い、振動特性に関しても計測時間内で変化することが予想され、選定される解析対象区間によっては振動特性が変化することが考えられる。異常による振動特性の変化を検知するためには、このような信号処理によるばらつきを極力小さくすることが求められる。そこで、本稿では実橋梁における列車通過時の加速度応答を用いて、振動特性の同定における対象区間の変化が及ぼす影響について分析する。

2. 計測データと同定手法

振動特性の同定に用いた加速度応答は、橋長 25m の開床式コンクリート T 桁橋を特急列車が通過した時のものである。当該橋梁は、床版構造が省かれた構造形式を有していることが特徴である。こ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。通過列車は、下り方向へ向かう 6 両編成の特急であり、その通過速度は 135km/h であった。同定に用いた加速度応答の一例を図-2に示す。

本稿では、列車通過時の橋梁の加速度応答を用いているために、入力応答は未知である。したがって列車による加振をホワイトノイズと仮定し、橋梁の加速度応答のみから振動特性を同定する手法を用いた。この場合、複数の計測点の中から基準点を選定する必要がある。本稿では試行錯誤により計測点 12 を基準点とし、各計測点の基準点に対して求めた伝達関数から、固有振動数、振動モード形の同定を行った。同定法の詳細については文献 2) を参照されたい。

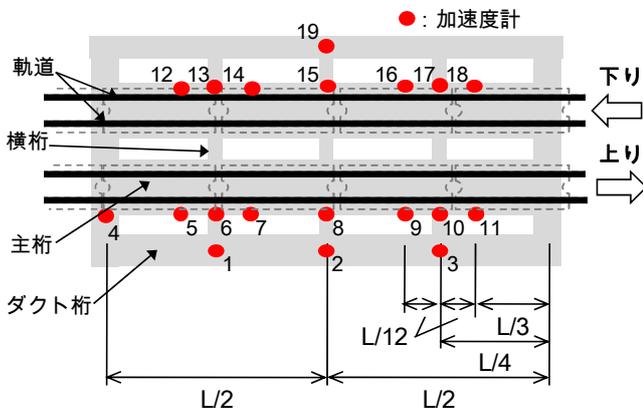


図-1 橋梁概要と計測点配置

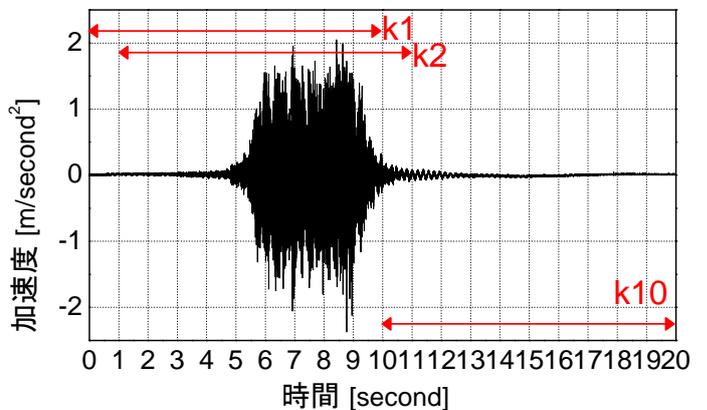


図-2 列車走行時の加速度応答

表-1 各切出し区間での同定結果一覧

	1次 たわみ	1次 ねじれ	2次 たわみ	2次 ねじれ	3次 たわみ	3次 ねじれ	4次 たわみ	4次 ねじれ	5次 たわみ	5次 ねじれ
k1	5.5	8.9	20.4	26.2	41.9	45.1	77.3	73.4	95.9	106.1
k2	5.4	9.1	21.2	26.3	41.9	45.1	77.3	64.3	95.9	106.1
k3	5.5	8.8	21.2	26.3	41.9	45.1	77.3	64.3	95.9	106.1
k4	5.5	8.8	20.5	26.3	41.9	45.1	77.3	64.3	95.9	106.1
k5	5.5	8.9	21.2	26.3	41.9	45.1	77.3	64.3	95.9	106.1
k6	5.5	8.8	19.3	25.1	41.9	46	77.3	73.4	95.9	107.6
k7	5.2	9.1	19	26.3	41.9	42.6	×	73.2	88.6	111.4
k8	5.2	8.8	18.8	31.8	41.9	46	77.2	73.2	86	104.1
k9	5.6	×	×	×	48.8	57.8	×	×	×	104
k10	5.6	×	21	24.2	48.6	59	71.2	×	80.3	101.1

[Hz]

3. 加速度応答の使用区間と同定結果

10秒間を基本単位として、計測した加速度応答を切り出して同定を行う。切出し時間は周波数分解能 0.1Hz を確保するように定めた。この10秒間の切出し区間の開始位置を1秒ずつ変化させ、全10区間の加速度応答に対して同定を行った。切出し区間の概念図を図-2中に示す。なお、便宜的に各区間を切り出した順に k1～k10 と記載している。

2. の手法により同定した各区間の固有振動数一覧を表-1に示す。1次たわみモードから5次ねじれモードまでの同定を行った。表中の×は同定できなかったモードを示す。列車通過後の応答が大半を占める区間 k7～k10 にかけて、同定できなかったモードがあることがわかる。

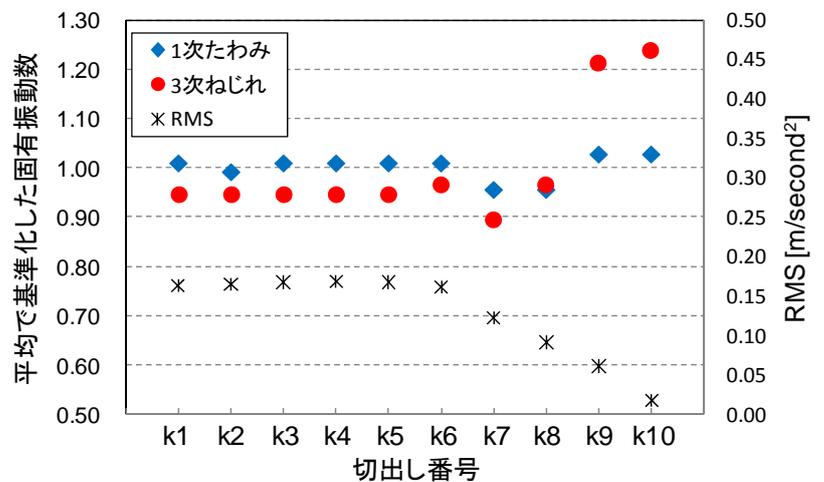


図-3 切出し区間が RMS および同定結果に及ぼす影響

また、同定するモードによって変化に違いがあり、1次たわみモードのように比較的安定して同定されるモードと、3次ねじれモードのように変動の大きいモードが確認できる。これらの2つのモードを各区間の RMS とともに図-3に示す。なお、図中の固有振動数は平均が1となるよう基準化したもの、RMS は列車が通過した下り主桁の全計測点の平均を示す。RMS が安定している k1 から k6 の区間においては、どちらのモードも同定結果が安定しており、表-1からこの傾向は全てのモードに対して共通であることがわかる。さらに、同図より、RMS が安定する区間を振動モニタリングに用いることで、切出し区間によるばらつきを抑制可能であることも見て取れる。したがって、本モニタリング手法の実用化を見据えたときには、RMS 値を1つの指標として採用することで、計測開始および終了の自動化を図ることが可能であると考えられる。

今後はさらに長い計測時間を対象に同様の解析を行うとともに、RMS が小さくなっている k7 から k10 において固有振動数がばらつく原因について検討する予定である。

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