

交通振動実験における橋梁の振動特性推定結果の仮説検定

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎
神戸大学大学院 学生員 ○尾崎 隆弥

神戸大学大学院 正会員 金 哲佑

1. はじめに

我が国の橋梁ストックの中で、高度経済成長期に建設された多くは老朽化を迎えている。地震が頻発する国でもあり、地震による劣化部の健全度が急激に低下する可能性も高い。このような状況の中、橋梁ヘルスマモニタリングは喫緊の研究課題である。通常、構造物においては、部材の損傷や劣化は固有振動数、減衰比や振動モード等の動特性の変化として現れることから、振動モニタリングによる構造物の健全度評価は有効であると報告されている¹⁾。本研究では、橋梁の振動特性のモニタリングに着目している。振動特性の推定には AR モデルを用い²⁾、Eigen system Realization Algorithm (ERA)法により橋梁の振動数、減衰定数を同定する。実橋梁における交通振動データには走行車両による強制振動成分(非定常成分)が含まれており、強制振動データを分離することなく全データを用いた橋梁ヘルスマモニタリングが可能であれば有効であるが、その際、交通量や交通特性の違いによる影響を考慮する必要がある。本研究では、昼夜間で交通量の差が大きく、また固有振動数にも違いが見られる実橋梁における交通振動データにおいて、昼夜間の振動特性の変化に着目する。また、両者のデータを定性的に評価することを目的とし、昼夜間の推定結果について仮説検定を行う。すなわち、1 次的な橋梁ヘルスマモニタリングを想定し、橋梁の交通振動データから卓越振動数およびシステム減衰のパターン変化の定性的評価を試みる。

2. 実験概要

実験は、Fig.1 に示す橋梁の第 3 径間で行う。有線加速度計 4 台(サンプリング周波数 200Hz)を設置し、測点は Fig.2 に示す通りである。計測は 10 分間を 1 セットとし、昼間(16 時~17 時)と夜間(22 時~23 時)に各 3 セット、計 6 セット測定するものとする。例として、測点 No.3 の昼夜間の加速度波形およびフーリエスペクトルを Fig.3 に示す。

3. 振動特性推定

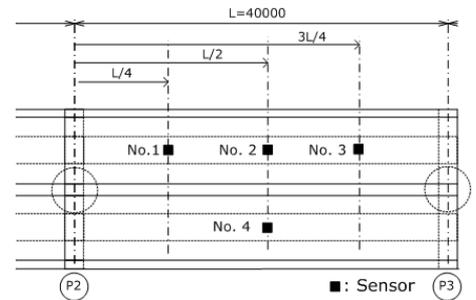
有線加速度計から得られたデータより推定された、昼間と夜間の測点 No.1~No. 4 における振動数とシステム減衰の推定結果を Fig.4、また Table 1, 2 に示す。特に減衰定数は大きくばらついていることが分かる。

4. 仮説検定

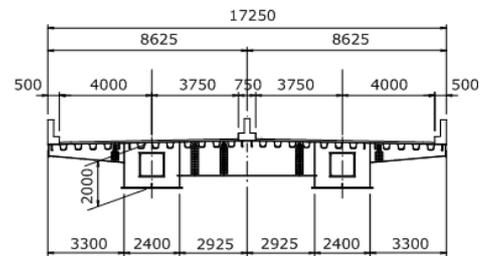
昼夜間における振動特性の推定結果のばらつきを定性的に評価するため、仮説検定³⁾を行う。本実験では特にばらつきが小さい No. 1



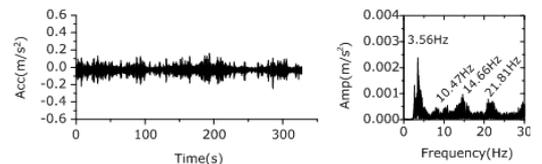
Fig.1 Observation Bridge



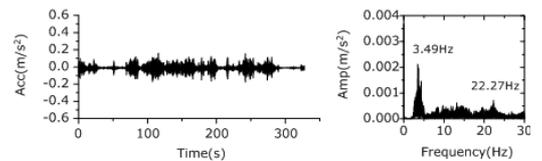
(a) Plan view



(b) Cross sectional view
Fig.2 Observation Point



(a) Day time



(b) Night time

Fig.3. Acceleration and Fourier amplitude measured at No.3

キーワード ヘルスマモニタリング, AR モデル, 仮説検定

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 市民工学専攻 Phone 078-803-6383

第 64 回土木学会年次学術講演会 講演概要 (2009 年 9 月)

～No. 4 の一次固有振動数および減衰定数に着目する. 昼間の平均固有振動数および減衰定数を μ_d , 夜間のそれを μ_n とすると, 帰無仮説 H_1 と対立仮説 H_2 は以下のように表される. $H_1: \mu_d - \mu_n = 0$ $H_2: \mu_d - \mu_n \neq 0$ (1)

つまり, 帰無仮説 H_1 を「昼夜の固有振動数平均および減衰定数平均は同じである」, 対立仮説 H_2 を「昼夜における固有振動数平均および減衰定数平均は同じではない」とし, 振動数, 減衰定数それぞれについて仮説検定を行う. 昼夜の2標本を考慮することから, ①まず両者のデータの対応の有無を検討し, ②次に等分散性の検討(F検定)を行う. ③等分散性があれば併合分散検定, なければウェルチの t 検定により, 母平均の関連性を検討する. その際, 有意水準 $\alpha=0.05$ とし, その時の棄却域 $Z < -1.984$, $Z > 1.984$ を基準とすることで, 前記の3つのステップより仮説検定を進めていく. 振動数, 減衰定数における仮説検定結果を Table 3 に示す. 振動数については, 母分散, 母平均において仮説が棄却されることから, 「昼夜間の固有振動数平均は同じではない」という結論に至る. よって, 交通振動データを用いたヘルスマonitoringを行う際, 交通量や交通特性を考慮する必要があると言える. 減衰定数に関しては, 一般に減衰の推定精度は振動数の推定精度より低いと知られているが⁴⁾, 「昼夜間のデータの対応はないが, 分散, 平均ともに等しい」という結論に至る. つまり, 昼夜間におけるデータには関連性があると言えることになる.

5. まとめ

本研究では, 交通振動データより同定された橋梁の振動特性を, 仮説検定を用い検討することで, 昼夜間のデータからの関連性を定性的に評価した. 振動数に関しては昼夜間のデータの関連性はなく, 減衰に関しては両者の関連性はあるという結果となった. これにより, 交通振動データからのモニタリングを行う際, 交通量の違いなどの状況を考慮する必要があると考える. ただし, 長期モニタリングにより同定結果が統計的に安定する可能性が高いと予想されることから, 長期モニタリングデータからの昼夜の違いを検討する必要があると言え, 今後検討していく予定である.

【参考文献】 1) W. Doebling, et.al.: Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review, Los Alamos National Laboratory report LA-13070-MS, 1996. 2) 川谷, 金, カク, 岡林: 中小スパン橋梁の振動モニタリングに着目した模型走行実験と多次元 AR モデルの適用, 土木学会第 63 回年次学術講演会 概要集, 1-570, pp.1157-1158, 2008.9.3) Helmut Wenzel: Health monitoring of bridges, Wiley, pp.151-185, 2008.4) R.S Pappa, and S.R. Ibrahim: A parametric study of the Ibrahim time domain modal identification algorithm, The Shock and Vibration Bulletin, Bulletin 51, pp.43-72, 1981.

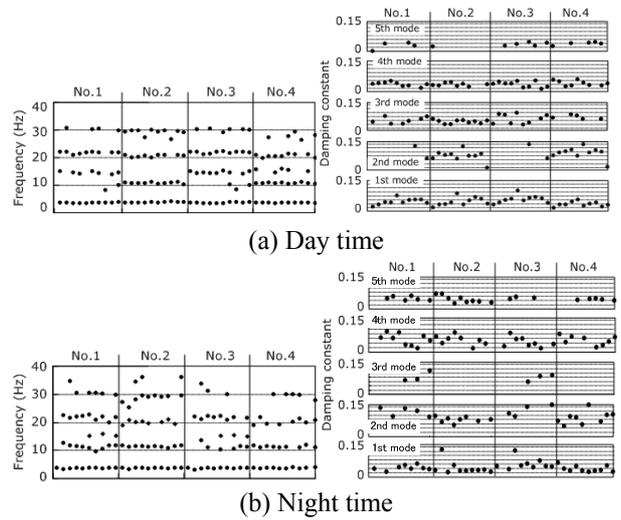


Fig.4 Estimated frequencies and damping constants

Table 1 Frequencies estimated by the AR model

| | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) |
| 1st | 3.58 | (0.13) | 3.74 | (0.15) | 3.60 | (0.18) | 3.64 | (0.08) |
| 2nd | 9.04 | (0.88) | 10.77 | (0.25) | 10.66 | (0.86) | 10.70 | (0.22) |
| 3rd | 14.47 | (0.37) | — | — | 14.62 | (0.38) | — | — |
| 4th | 21.76 | (0.35) | 21.18 | (0.39) | 21.83 | (0.33) | 20.74 | (0.49) |
| 5th | 30.32 | (0.32) | 29.35 | (1.12) | 30.10 | (0.43) | 27.95 | (1.06) |

| | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) |
| 1st | 3.64 | (0.12) | 3.64 | (0.13) | 3.62 | (0.19) | 3.67 | (0.11) |
| 2nd | 11.25 | (0.84) | 11.35 | (0.28) | 11.35 | (1.14) | 11.33 | (0.29) |
| 3rd | 15.43 | (0.44) | — | — | 15.13 | (0.10) | — | — |
| 4th | 21.69 | (0.88) | 20.06 | (0.66) | 21.67 | (0.52) | 20.01 | (0.96) |
| 5th | 30.97 | (1.74) | 28.42 | (1.41) | 31.59 | (1.55) | 29.83 | (0.14) |

Table 2 Damping constants estimated by the AR model

| | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | |
|-----|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) |
| 1st | 0.045 | (0.014) | 0.045 | (0.020) | 0.056 | (0.018) | 0.032 | (0.012) |
| 2nd | 0.094 | (0.032) | 0.073 | (0.018) | 0.101 | (0.008) | 0.089 | (0.017) |
| 3rd | 0.052 | (0.016) | — | — | 0.060 | (0.025) | — | — |
| 4th | 0.035 | (0.010) | 0.044 | (0.009) | 0.033 | (0.014) | 0.035 | (0.017) |
| 5th | 0.033 | (0.007) | 0.033 | (0.008) | 0.034 | (0.008) | 0.021 | (0.021) |

| | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | |
|-----|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) | mean | (SD) |
| 1st | 0.071 | (0.067) | 0.041 | (0.031) | 0.078 | (0.064) | 0.032 | (0.014) |
| 2nd | 0.137 | (0.028) | 0.093 | (0.036) | 0.134 | (0.027) | 0.089 | (0.030) |
| 3rd | 0.081 | (0.001) | — | — | 0.076 | (0.012) | — | — |
| 4th | 0.055 | (0.026) | 0.052 | (0.016) | 0.042 | (0.022) | 0.035 | (0.019) |
| 5th | 0.048 | (0.008) | 0.044 | (0.002) | 0.051 | (0.004) | 0.021 | (0.003) |

Table 3 Hypothesis Testing

| | 棄却域 $Z < -1.984, 1.984 > Z$ | | | |
|------------|-----------------------------|----|--------|----|
| | 振動数 | | 減衰定数 | |
| | 値 | 棄却 | 値 | 棄却 |
| t 検定 | 6.200 | ○ | -2.090 | ○ |
| F 検定 | 5.752 | ○ | 0.584 | × |
| ウェルチの t 検定 | 5.010 | ○ | — | — |
| 併合分散検定 | — | — | 0.000 | × |