

## PS I-13 振動測定に基づく橋梁下部工特性の判定

名古屋大学 正 加 藤 雅 史  
中部復建㈱ 正 田 中 信 治

### 1. まえがき

近年、橋梁の診断が重要な課題となっており、維持管理を合理的に行うためには、老朽化や地震等による損傷の程度を評価・判定するとともに、補修・補強による効果の確認をする技術の確立が必要である。こうした橋梁の診断調査の方法の1つとして、振動測定による方法が考えられ、研究が進められている。

本文では下部工を対象として、振動測定に基づく供用中の橋梁の下部工特性の判定について述べる。

**2. 下部工の一般的振動特性** 筆者らは、上部工を有しない下部工単体での振動特性について、多くの振動実験結果を統計分析することによって、下部工の一般的振動特性を把握した。その結果として、橋脚の水平方向基本振動数の推定式として次の2式を提案した（土木学会論文報告集No.338）。

$$\left. \begin{aligned} F &= 10^a PL^{-0.783} FL^{-0.187} \\ \alpha &= a + b \\ a &= 1.706 \\ b &= \begin{cases} -0.117 & (\text{杭基礎の場合}) \\ 0.0 & (\text{その他の基礎の場合}) \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} F &= 10^{a-0.018K} PL^{-0.880} FL^{-0.183} \\ K &= \frac{(\text{振動直角方向橋脚厚})}{(\text{振動方向橋脚厚})} - 1.0 \\ \alpha &= a + b \\ a &= 1.841 \\ b &= \begin{cases} -0.070 & (\text{杭基礎の場合}) \\ 0.0 & (\text{その他の基礎の場合}) \end{cases} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

ここで、Fは基本振動数（Hz）、PLは橋脚長（m）、FLは基礎長（m）である。

式（1）、（2）は橋脚が単体で存在する場合であるが、これに上部工が架けられて全橋構造となった場合、振動実験による比較では固有振動数は少し低下することも報告されている。そこで、式（1）、（2）の信頼性を確かめ、上部工のある場合の橋脚の固有振動数を調べるために、杭基礎の4連のPC単純T桁橋（A橋梁）で橋梁完成時に橋脚を対象とした振動測定を行った。その結果は表-1に示すように、橋軸方向の固有振動数は約4 Hzであり、式（1）、（2）による計算値は実測値に近い値となった。したがって、上部工のある橋脚の固有振動数も、おおよそは式（1）、（2）で推定できると言えよう。

**3. 下部工特性の判定例** 対象とした橋梁は図-1の曲弦

表-1 A橋梁の橋脚橋軸方向固有振動数

| 橋 脚 名 |      | P <sub>1</sub> 橋脚 |         | P <sub>2</sub> 橋脚 |         |
|-------|------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| 実 測 値 |      | 4.13 Hz           |         | 4.03 Hz           |         |
| 推 定 値 | 式（1） | 橋脚長<br>7.90m      | 4.14 Hz | 橋脚長<br>7.90m      | 4.15 Hz |
|       | 式（2） | 基礎長<br>27.50m     | 5.01 Hz | 基礎長<br>27.50m     | 5.02 Hz |

ワーレントラス3連と単純桁よりなる道路橋（B橋梁）で、完成後40年以上経過していた。そこで、井筒基礎を有する橋脚の特性すなわち健全性を調査するために、橋脚天端等で振動測定を行った。得られた固有振動数は表-2の実測値の欄に示すようである。橋脚長、基礎長を用いて式（1）、（2）により推定した結果が表-2の推定値Aである。3橋脚とも実測値2～3 Hzに対し、推定値Aは7～8 Hzと高くかけ離れた値となる。同時に実施した地質調査によれば、上部の層厚約2.3 mはN値がほとんど0の沖積層である。そこでこの2.3 mの層は無いものと

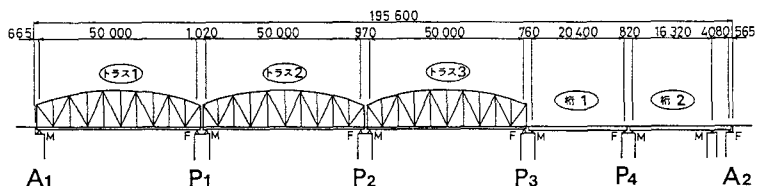


図-1 B橋梁の一般図

しかし、地震時に基礎側面の地盤に抵抗力を期待できないため、この点は上部工で考慮する必要がある。

4. 下部工補強効果の判定例 対象とした橋梁は図-2に示す曲弦ワーレントラス3連よりなる鉄道・道路併用橋（C橋梁）であり、建設後60年以上を経過している。今後更にこの橋梁を使用するために、橋軸直角方向に2本の円形橋脚を上部だけ簡単な鋼トラスでつないだ、見た目にも弱小である橋脚を、一体の小判型にする補強工事が行われている。そこで、補強前とP1橋脚の補強が行われた段階（一部補強後）で振動測定を実施し、補強前後の振動特性を比較することにより補強効果の判定を行った。まず補強した橋脚の振動変位が補強前に比して非常に小さくなり、それまで橋脚自身がかかなり振動で揺れていたものが、橋脚補強によりほとんど揺れなくなった。次に表-3に示す実測固有振動数と振動モードからも下記のような顕著な差が現れ、補強効果が確認された。

a) No. 1 の振動は、補強前には橋脚をも含めた全橋が振動する面外 1 次の対称モードであった。しかし、一部補強後にはこのような全橋で振動するモードではなく、トラス①～③がそれぞれ面外 1 次で振動する振動モードとなった。

b) No. 2 の振動は、補強前には橋梁全体が逆対称モードで振動する面外 2 次振動であった。しかし、一部補強後には  $P_1$  橋脚が補強されてほとんど振動しなくなり、弱いままの  $P_2$  橋脚がトラス②、③と一緒に振動するモードの面外振動となっている。

c) No. 3 の振動は、補強前には橋脚が弱いので橋脚もトラスとともに橋梁全体が一体となって橋軸方向に振動するモードとして測定された。しかし一部補強後には対象とした振動数範囲内にはこれに類似した振動モードは現れなかった。

| 橋 脚 名    |      | P <sub>1</sub> 橋脚 |         | P <sub>2</sub> 橋脚 |         | P <sub>3</sub> 橋脚 |         |
|----------|------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| 実 測 値    |      | 2.34 Hz           |         | 2.60 Hz           |         | 2.65 Hz           |         |
| 推定値<br>A | 式(1) | 橋脚長<br>5.00m      | 7.88 Hz | 橋脚長<br>5.00m      | 7.92 Hz | 橋脚長<br>4.73m      | 8.03 Hz |
|          | 式(2) | 基礎長<br>25.30m     | 7.86 Hz | 基礎長<br>24.50m     | 7.90 Hz | 基礎長<br>28.77m     | 7.84 Hz |
| 推定値<br>B | 式(1) | 橋脚長<br>26.00m     | 3.02 Hz | 橋脚長<br>26.00m     | 3.14 Hz | 橋脚長<br>26.00m     | 2.72 Hz |
|          | 式(2) | 基礎長<br>4.30m      | 2.55 Hz | 基礎長<br>3.50m      | 2.64 Hz | 基礎長<br>7.50m      | 2.24 Hz |

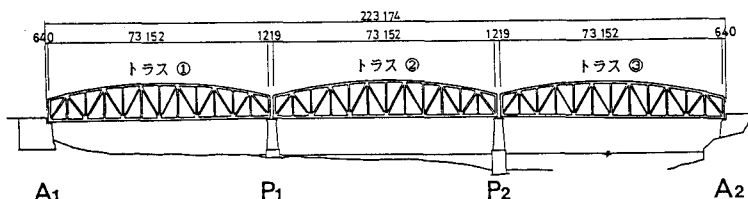
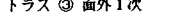
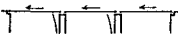


図-2 C桥梁の一般図

表-3 C橋梁の橋脚補強前後の振動特性

| No | 補強前 振動測定結果 |                                                                                                | 一部補強後 振動測定結果                                                                                    |            |
|----|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    | 固有振動数      | 振動モード                                                                                          | 固有振動数                                                                                           | 振動モード      |
| 1  | 2.19 Hz    | 全橋 面外1次<br> | 2.42 Hz<br> | トラス ① 面外1次 |
|    |            |             | 2.23 Hz<br> | トラス ② 面外1次 |
|    |            |                                                                                                | 2.49 Hz<br> | トラス ③ 面外1次 |
| 2  | 3.30 Hz    | 全橋 面外2次<br> | 3.13 Hz<br> | 全橋 面外      |
| 3  | 4.93 Hz    | 全橋 橋軸水平<br> | (対象振動数内に無し)                                                                                     |            |