

支間中央に補剛アーチを有する桁橋の振動計測

Vibration Measurements of girder Bridge with Stiffening Arch

上原 正* 金原 慎一*
Tadashi UEHARA Shin ichi KIMBARA

Summary

The Ooi sidewalk bridge is a pedestrian bridge made of simple non-composite plate girders. The length of the bridge is 70.0m and its effective width is 2.0m. Its notable feature is stiffening arches between its supporting points. A characteristic of pedestrian bridges is that vibration often creates a sense of uneasiness in pedestrians. With this in mind, we conducted a vibration analysis using a plane model in the design stage. This paper examines the nature of the vibration using measurements collected from the bridge, and verifies the results of the plane analysis.

1. まえがき

大井橋側道橋は、天竜川の支流である水窪川に架かる橋長70.0m（支間69.0m）、有効幅員2.0mの支間中央に補剛アーチを有する単純非合成鉄桁である。本橋の側面図および断面図を図-1、図-2に示す。

本橋は歩道橋であるため、歩行者に不快感を与える振動が問題となる。この問題については、設計の段階で2次元モデルによる数値解析でその振動性状を確認している。しかしながら、本橋は単純桁の一部をアーチで補剛するというあまり例を見ない構造形式であること、および端部の斜角に起因して生ずるであろう橋梁全体の振

れ成分に対する評価がなされていないことから、その振動特性を把握したいと考え、実橋の振動計測を行った。

本報告は、大井橋側道橋の振動計測結果とその解析値との比較検討を記述するものである。

2. 設計時の数値解析結果

本橋設計時の解析モデルを図-3に、解析結果を表-1、図-4に示す。なお、解析条件を決定するにあたり特に考慮している点を以下に挙げる。

- ① 本橋ではB.P沓を使用しており、支点移動を生じるためには約16tの水平力が必要となる。架橋場所を

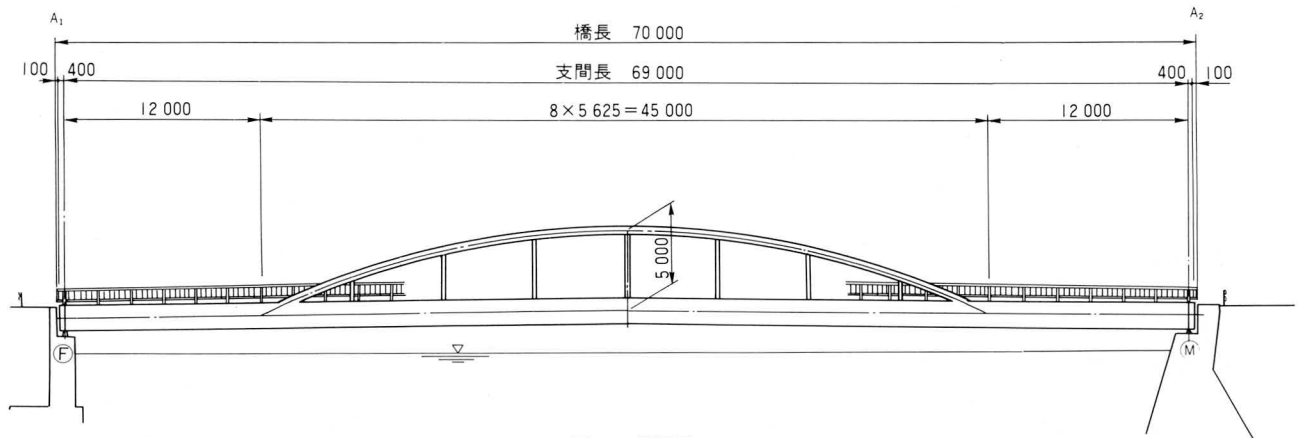


図-1 側面図

* 技術本部設計部設計第三課

表-1 設計時の固有振動数(CYC/SEC)

| モード次数 | 固有振動数 |
|-------|-------|
| 1 | 1.468 |
| 2 | 2.312 |
| 3 | 7.294 |

考慮すれば、歩行者による強制力は微小であり、支点移動は生じないと考え、支点条件（境界条件）は両端ピンとした。

② 本橋は主構とは分離されたコンクリート床版を採用している。しかし、このような小規模でかつ作用荷重の小さい橋梁ではそのたわみ振動における床組としての床版、縦桁の剛性の影響は無視することができないと考え、主桁の剛性はこれら床組構成部材をも含めて算出した(図-5 参照)。なお、鋼とコンクリートとのヤング係数比は15を用いた。

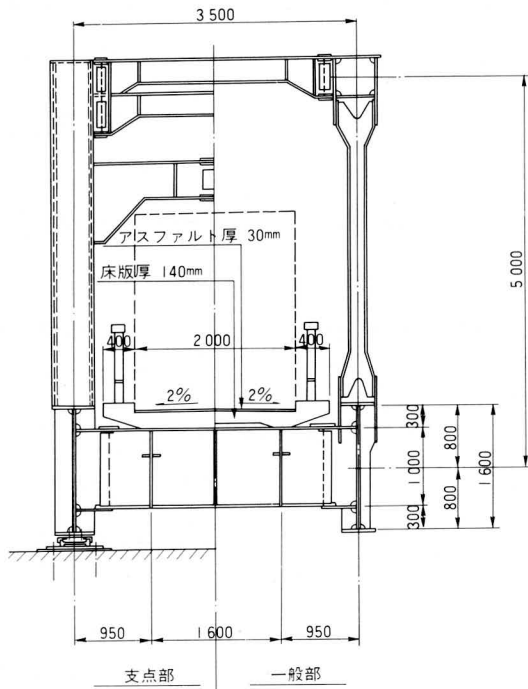


図-2 断面図

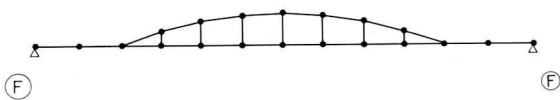
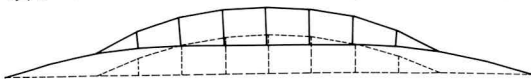
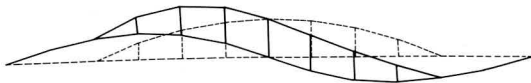


図-3 解析モデル (2次元)

1次モード



2次モード



3次モード

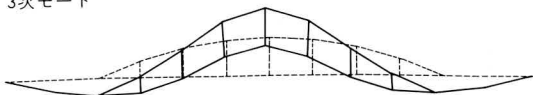


図-4 モード図 (2次元解析)

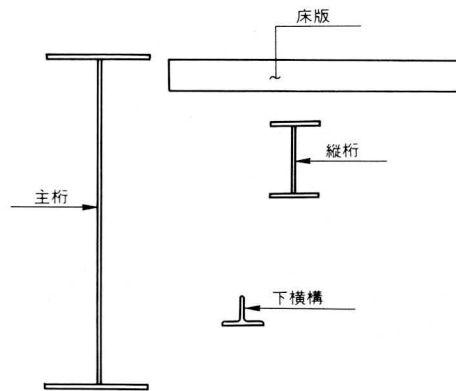


図-5 合成断面

3. 振動計測

(1) 目的

以下に振動計測の目的を列挙する。

- ① 本橋の固有振動数を調べる。
- ② 振動波形より得られた固有振動数と設計時の解析結果を比較することより、解析における本橋のモデル化の妥当性を確認する。

(2) 方法

歩行者や風により発生する微小振動時における加速度を橋体に取り付けた加速度計により測定する。なお、加速度計の取付位置は、主桁上フランジとした。加速度計の配置を図-6に示す。

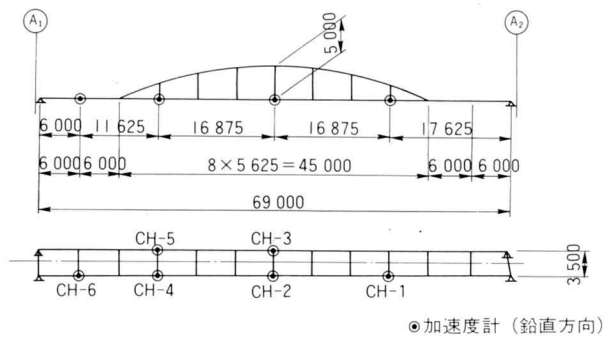


図-6 加速度計配置図

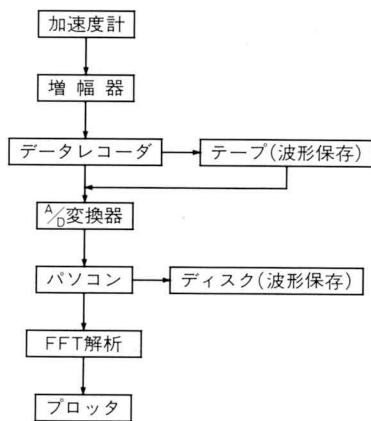


図-7 計測システム

測定された波形は、データレコーダに収録すると同時にA/D変換器を介してパソコンに入力し、高速フーリエ変換 (FFT) を行って、固有振動数を求める。計測システムを図-7に示す。

(3) 結果

計測波形を図-8に、FFT解析結果を図-9に示す。これより以下のことがわかる。

- ① 各々の加速度計の配置とそのFFT解析結果より、本橋の固有振動数は表-2のようになる。
- ② 計測された波形による本橋の固有振動数は、設計時の解析値に比べて1次モードでは大きく、2次モードおよび3次モードでは近い値となっている。

表-2 計測時の固有振動数(CYC/SEC)

| モード次数 | 固有振動数 |
|-------|-------|
| 1 | 1.953 |
| 2 | 2.402 |
| 3 | 7.246 |

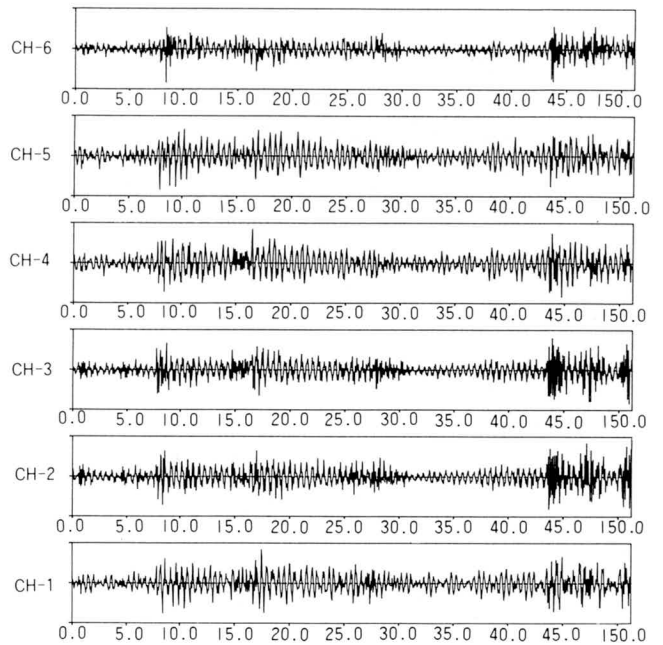


図-8 計測波形

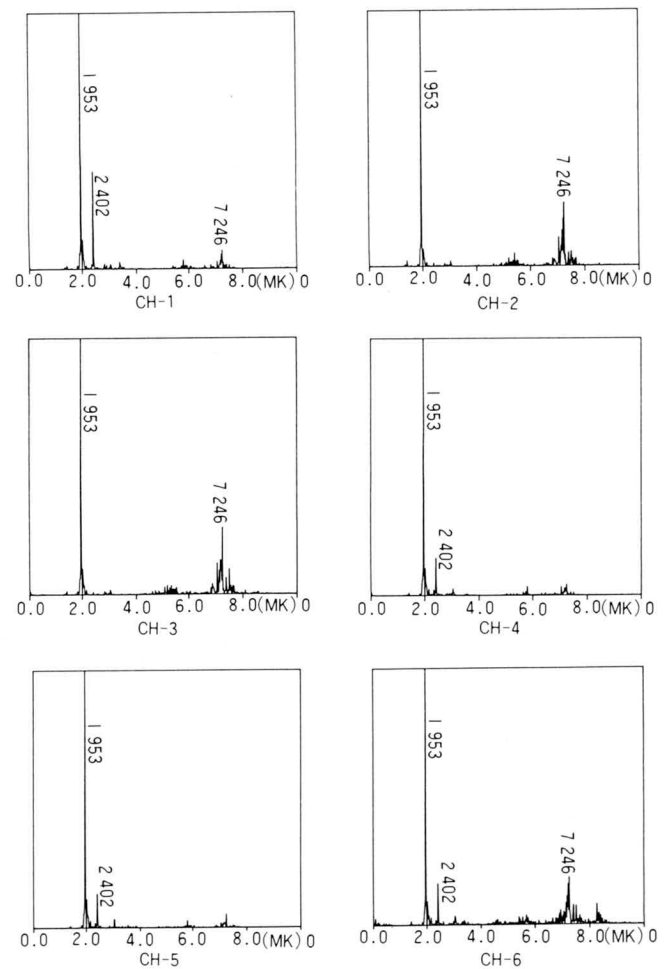


図-9 FFT結果

- ③ 1次モードに対する2次モードおよび3次モードの固有振動数の比率は各々 $2.402/1.953=1.2、7.246/1.953=3.7$ である。

一般に、単純梁の曲げ振動における固有円振動数(ω)および固有振動数(f)は、次式で表わされる。

$$\omega_i = \left(\frac{i\pi}{\ell}\right)^2 \sqrt{\frac{EIg}{w}}, \quad f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$$

ここで i : モード次数
 π : 円周率
 ℓ : 支間長
 E : ヤング率
 I : 断面2次モーメント
 g : 重力加速度
 w : 単位重量

これより、単純梁の曲げ振動における固有振動数は、モード次数の2乗に比例して増加する。すなわち、1次モードに対して2次モードでは4倍、3次モードでは9倍となる。よって、本橋の固有振動数は通常の単純桁とは異なり、モード次数の増加に伴う固有振動数の増加の割合が小さい。

4. 解析値(2次元モデル)と計測値との比較に対する考察

計測結果より得られた本橋の1次モードにおける固有振動数が、設計時の解析値よりも大きな値となり、また2次モードおよび3次モードの1次モードに対する固有振動数の比率が通常の単純桁のそれよりも小さくなっているのは、およそ以下の理由によるものと考えられる。

- ① 本解析では、支承の摩擦力がかなり大きいことから、歩行者による振動では支点の水平移動は生じないものと考え、支点条件を両端ピンとしている。また、解析モデル(図-3)より明らかのように、主桁の骨組線と支承の回転中心との距離を本解析では考慮していない。
- ② 本解析は2次元モデルによるものであり、橋梁端部の斜角の影響などにより生じる3次元的挙動を考慮していない。
- ③ 一般にアーチ橋では、その振動モードが逆対象の場合、アーチリブの剛性は寄与しない²⁾。本橋の場合も中央部(アーチ部)は同様と考えられ、その振動性状は主桁の剛性に依存する。よって、1次モードでは補剛アーチの剛性が評価され、その結果として

固有振動数は大きくなるが、2次モードでは主桁の剛性のみ評価され、1次モードに比べて剛性が低下することになると考えられる。

以上の①~③により、実測波形から得られた固有振動数と設計時の解析によるそれとの間に大きな差があるのは、解析値は2次元モデルから得られたものであり、橋梁端部の斜角の影響による3次元的挙動が評価されていないことと、解析時における支点条件によるものと考えられる。そこで、設計時の解析における諸条件を変更し、振動解析を行い、固有振動数を求めてみる。

5. 3次元モデルによる振動解析

(1) 解析モデルおよび条件

解析モデルを図-10に示す。本解析では設計時のそれに対して以下の条件に変更を加えた。

① 骨組

骨組は主桁、横桁、吊材、横構、支材、橋門構で構成される3次元モデルとした。

② 支点条件

支点条件は両端ピン、一端ピン一端ローラ、両端固定の3種類考えた。また、主桁の骨組線と支承の回転中心との距離を考慮した。

なお、この他に主桁の剛性を変えて数ケース解析を行った(解析結果参照)。

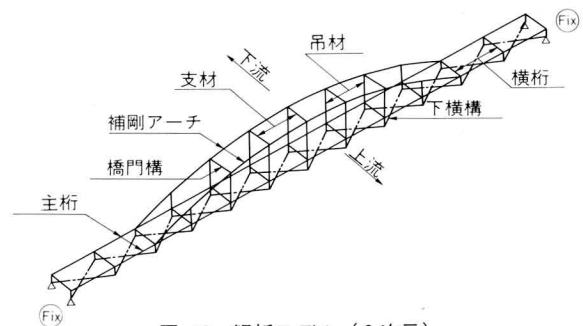


図-10 解析モデル(3次元)

(2) 解析結果

固有振動数を表-3に、モード図を図-11に示す。これより以下のことがわかる。

- ① 支点条件を両端ピンとし、コンクリート床版の合成作用(鋼とコンクリートとのヤング係数比: $n =$

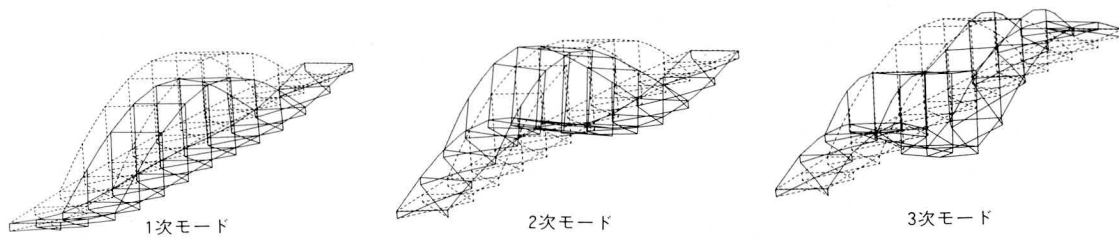


図-11 モード図 (3次元解析)

表-3 3次元モデルによる固有振動数(CYC/SEC)

| | | 1次モード | 2次モード | 3次モード | 支 点 条 件 | | |
|------------------|---|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|--|
| 数 値 解 析 | 鋼 断 面 | 主構造断面のみ | 1.7389 (-10.8%) | 1.9812 (-17.5%) | 6.4900 (-10.4%) | | |
| | | 主構と縦桁断面 | 1.7976 (- 8.0%) | 2.1254 (-11.5%) | 6.7296 (- 7.1%) | | |
| | コン クリ ー ト 合 成 作 用 を 考 慮 | 鋼とコンクリートの 係数比(n=7) | 2.0417 (+ 4.5%) | 2.4552 (+ 2.2%) | 7.5263 (+ 3.9%) | | |
| | | 鋼とコンクリートの 係数比(n=15) | 1.9328 (- 1.0%) | 2.3242 (- 3.2%) | 7.2132 (- 0.5%) | | |
| | | | 1.6920 (-13.4%) | 2.3701 (- 1.3%) | 7.3310 (+ 1.2%) | | |
| | | | 2.6204 (+34.2%) | 3.3426 (+39.2%) | 7.3310 (+11.1%) | | |
| 計 測 値 | | 1.953 | 2.402 | 7.246 | | | |

15) を考慮した解析において、固有振動数は1～3次の全てのモードで計測値とよくあっている。また、 $n = 7$ の場合も計測値に近い値となっている。

- ② 支点条件を一端ピン一端ローラーとし、 $n = 15$ を用いた解析において、固有振動数は計測値と1次モードではくいちがうものの2次および3次モードではよくあっている。

6. 考察

支点条件および主桁剛性を変更し、3次元モデルを用いた解析結果において、支点条件が両端ピンで $n = 15$ を用いた解析値は1～3次の全てのモードで計測値とよくあっている。また、支点条件が一端ピン一端ローラーで $n = 7$ を用いた解析値は1次モードでは計測値とくいちがうものの2次および3次モードではそれとよくあっている。これより、以下のことが推測される。

- ① 一般に振動解析に限らず他の解析についても同様に、床版の剛性は、その橋梁形式が非合成の場合、ほとんど評価されていない。しかしながら、微小振

動を対象とする本橋のような小規模の橋梁においては、床版と主構との合成効果は大きく、本解析では合成桁として評価するのが妥当である。

- ② 支点の水平移動が本橋の固有振動数に与える影響は、最も発現性の高い1次の振動モードにおいて大きく、2次および3次のモードでは小さい。また、本橋の場合、主桁の骨組線と支承の回転中心までの距離は、解析上無視できない。以上のことより、本橋のような小規模橋梁では、その固有振動数は、解析上の支点条件に大きく依存している。

7. あとがき

本報告では、数値解析結果と実橋の計測結果を比較検討した。その結果、本橋は通常の単純桁とは異なった振動性状を有し、特に最も発現しやすいと考えられる1次の振動モードにおいて、アーチの剛性がその振動性状に大きく寄与していることが推測された。また、本橋のような小規模橋梁における振動解析において、特に床版の主構との合成作用の大きいことおよび支点条件が1次の固有振動数に大きな影響を与えることもわかった。以上のことより、今後この種の橋梁の振動解析を行う場合には、そのモデル化(主桁剛性、支点条件)に際して、特に注意を払う必要がある。

<参考文献>

- 1) 吉村虎蔵、平井一男；補剛アーチ橋およびつり橋の動的共通解析(鉛直振動)
- 2) 吉村虎蔵、平井一男；ランガー桁の動的解析