

# サブワイヤによる吊床版歩道橋の起振について

Excitation of a Stress Ribbon Pedestrian Bridge by Subwires

水田洋司\*<sup>1</sup>、樋渡則章\*<sup>2</sup>、戸塚誠司\*<sup>3</sup>、石原完\*<sup>4</sup>、平井一男\*<sup>5</sup>

Yoji Mizuta, Noriaki Hiwatashi, Seiji Tozuka, Yutaka Ishihara and Itio Hirai

- \*1 工博 八代工業高等専門学校教授 土木建築工学科 (〒866八代市平山新町2627)
- \*2 住友建設(株)九州支店土木営業部長 (〒810福岡市中央区港1丁目3番1号)
- \*3 熊本県熊本土木事務所工務一課第二係長 (〒862熊本市東町3丁目11番63号)
- \*4 熊本大学大学院生 (〒860熊本市黒髪2丁目39番1号)
- \*5 工博 熊本大学教授 工学部土木環境工学科 (〒860熊本市黒髪2丁目39番1号)

A stress ribbon pedestrian bridge was excited by subwires. The subwires are connected to the both sides of the bridge slab through rollers. The bridge vibrates by the uniform force produced by pulling and releasing the subwires manually. One degree freedom system composed of the spring constant calculated from the subwires and the mass attached to one end of the subwires is tuned with the natural frequency of the bridge and easily oscillates the bridge by a small manual force at resonance.

Key Words: stress ribbon bridge, subwire, excitation, natural frequency

## 1. はじめに

橋の振動特性を把握するために行われる振動試験で、橋を加振する方法として起振機を用いる方法、クレーンによる重錘昇降法や衝撃加振法を用いる方法等<sup>(1)、(2)</sup>がある。これらは運搬や取り付けに伴う費用や測定に要する長時間の交通規制、構造物に対する加振力の大きさの問題があり、それぞれの方法で一長一短を持ち、万能な方法はないのが現状である。本研究では、低周波振動数でも容易に大きな加振力を出せるサブワイヤによる吊床版橋の起振を行い、その起振方法と吊床版橋の振動性状について報告する。提案する方法は橋の床版両側面に設置したサブワイヤを引張ったり緩めたりして、橋を加振する方法である。構造物にワイヤを設置して起振させる、いわゆるテンドンメカニズムに基づいた研究は多く発表<sup>(3)</sup>されているが、吊床版歩道橋に多くのローラーを設置し、そのローラーに沿って張ったサブワイヤを引張ったり緩めたりすることによる起振については、ほとんど例が無いようである。このサブワイヤによる起振方法はそのままアーチ橋や吊橋にも適用でき、その原理は著者がすでに発表<sup>(4)</sup>しているが、ここではもっとも容易に実験可能な吊床版歩道橋にローラーを取り付け振動試験を実施した。なお、このサブワイヤによる起振はこれまでのように橋梁の振動性状測定の目的だけでなく、

将来は振動制御の可能性、場合によっては、子供が遊び心により、橋を一定の制限のもとで振動させて楽しむという可能性も含めている。吊床版歩道橋は剛性が非常に小さいために、子供が遊びで跳びはねて橋を振動させ、それが共振することは充分有り得る事であり、そのような危険な遊び行為は起こさせないように注意する必要がある。これに対して、ここで提案しているサブワイヤによる起振力の大きさはサブワイヤを伸縮させるレバーの振幅の大きさを変えることにより任意に調整できるので、予めそのレバーの動きを安全な範囲内に制限しておけば、吊床版歩道橋が危険な大振幅振動を生じることについては気を使う必要はない。

実験では、サブワイヤの伸縮は手動で行っており、小さな手動力で大きな力をサブワイヤに加える工夫をしている。すなわち、伸縮するサブワイヤをばねと考え、このばねとサブワイヤの一端に取り付けた重りとで一自由度振動系を作り、その固有振動数を橋の固有振動数に一致させることにより、大きな力をサブワイヤに発生させ橋を起振させている。サブワイヤに加える加振力の振動数はサブワイヤに取り付けたレバーを電子メトロノームに合わせて手で動かすことにより与えた。この振動試験は高欄、地覆、フェアリングを取り付ける前と後の2回行ったので、これらの要素が振動特性に及ぼす影響についても検討することができた。

## 2. 起振原理

サブワイヤによる一般的な起振方法については著者らがすでに発表<sup>(4)</sup> しているので、ここでは吊床版橋に対する起振の原理と基礎式について述べる。吊床版橋は等分布重量であり、それは軸力(引張り)によって支持され、その形状  $Y(x)$  は放物線形状と考えて差し支えなく、式(1)で表わされる。

$$Y(x) = \frac{4f(L-x)x}{L^2} \quad (1)$$

ここに、 $f$  はサグ量、 $L$  はスパン長である。

図-1の点線で示すサブワイヤは放物線形状の床版に沿って設置されたローラー上に定着され、初期張力  $H_0$  がサブワイヤに作用する状態となっている。モデルとしてローラーは図上で床版上に置かれているが、実際は写真-1に示すように床版両側面に沿って取り付けられている。初期張力  $H_0$  は引張り、緩めの繰り返し力を受けるサブワイヤが、緩めの過程でサブワイヤがたるまないためのものである。ローラーは写真-2に示すような構造であり、サブワイヤの水平方向の動きがローラー上で自由にできるようにになっている。

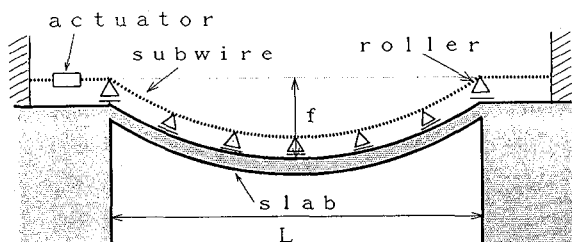


図-1 対称振動のサブワイヤ設置

$H_0$  に対してアクチュエーターで発生させる張力変化  $\Delta H$  は、次式で表されるような等分布外力  $p$  となって床版に鉛直方向に作用する。

$$p = \Delta H \frac{d^2 Y}{dx^2} = \Delta H \frac{8f}{L^2} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta H$  はアクチュエーターの動きに伴って時間  $t$  で変化する、サブワイヤの伸び  $\Delta L$  は  $\Delta H$  に比例するから、式(2)は次式のように変換される。

$$p(t) = \frac{8f}{L^2} \Delta H(t) = \alpha \Delta L(t) \quad (3)$$

ここに、 $\alpha$  はサブワイヤの剛性と放物線形軸力部材の形状によって決まる定数である。

ここではモデルとしてアクチュエーターを使用して説明しているが、実際には手動で  $\Delta H$  の力を発生させている。

このようにサブワイヤの軸力変化が等分布鉛直力となって吊床版歩道橋に作用するため、張力変化  $\Delta H$  が周期的に変化すれば、橋は周期的な強制振動力を受ける。図-1のような状態では対称の力が励起されるので、対称振動モードの振動が発生する。アクチュエーターによって与えられるサブワイヤの張力変化は、 $p \sin(\omega t)$  の等分布調和関数外力で表わせる。ここに、 $\omega$  はアクチュエーターのモーター回転数から決まる円振動数である。

ここで注意を要するのは、サブワイヤの張力変化  $\Delta H$  による等分布周期荷重  $p \sin(\omega t)$  はスパン上に一様に作用するので、振動モードの形によってはローラーの高さ位置の配置に考慮する必要があることである。いま、等分布周期荷重  $p \sin(\omega t)$  によって吊床版橋に発生する  $n$  次の振動モード成分を  $q_n$  とすると、 $p \sin(\omega t)$  による吊床版橋の振動  $y(x)$  は

$$y(x) = \sum_{n=1}^N q_n \Phi_n(x) \quad (4)$$

で  $q_n$  は次式より求められる。

$$q_n + \lambda_n q_n = p \int \Phi_n(x) dx \cdot \sin(\omega t) \quad (5)$$

ここに、 $\Phi_n(x)$  : 正規化した  $n$  次振動モード、 $\lambda_n$  :  $n$  次固有円振動数の2乗 ( $=\omega_n^2$ )

したがって、図-2のような振動モードでは  $q_n$  の大きさが

$$\int \Phi_n(x) dx = (\text{下側(+)部の面積}) - (\text{上側(-)部の面積}) \quad (6)$$

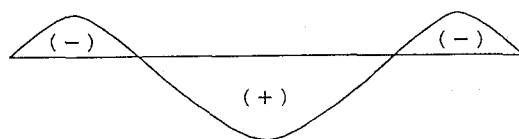


図-2 対称1次振動モード

に支配されるので、下側だけの面積または上側だけの面積の絶対値の大きい区間だけに分布荷重  $p$  が発生するように、橋軸方向に沿ったローラーの高さを式(1)によって配置し(実際には床版に沿った高さとなる)、絶対値の小さい区間には分布荷重  $p$  が発生しないようローラーの高さを直線上に配置することが必要である。ローラーの高さはフェアリングの高さ範囲内 (= 地覆厚 + 床版厚) でしか調整できないが、本橋の場合、対称1次振動に対してフェアリング内での高さ調整は可能であった。

逆対称振動モードは図-1のようなアクチュエーターの位置では励起されないで、図-3のようにスパン中央にアクチュエーターを移動し、作動させることが必要である。このアクチュエーター配置でサブワイヤにより発生

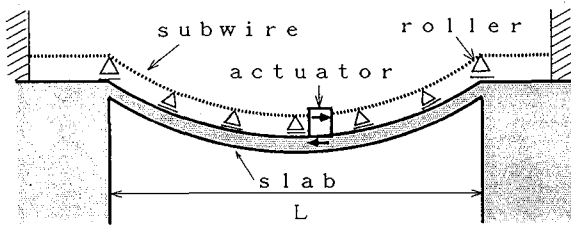


図-3 逆対称振動のサブワイヤ設置

される逆対称等分布力は、例えばスパン中央より右側で、下向きするとき、左側では上向きに作用する。この逆対称振動発生に対しても注意を要する。図-3の位置でアクチュエーターを作用させた場合、アクチュエーターの反力が床版に軸力として作用するために、これによって床版に発生する式(2)の分布荷重と、サブワイヤによって式(2)で発生する分布荷重とが等大逆向きとなり、結果的には橋全体に作用する外力=0となってしまう可能性がある。このトラブルを避けるためには、ローラーの高さを直線状に配置してサブワイヤによる発生外力=0とし、床版に発生する外力だけを残す必要がある。

なお、この実験で床版両側面に配置している2本のサブワイヤに加える $\Delta H$ の力の位相差を $180^\circ$ ずらすことで、ねじり振動を発生させることも可能である。

### 3. 起振装置

#### 3.1 共振力発生機

前述したように、吊床版橋を起振する力は人力であるために、できるだけ小さい力でサブワイヤに大きな張力変化 $\Delta H$ を作用させる必要がある。ここでは図-4に示すような共振力発生機のもとでサブワイヤに $\Delta H$ の力を加えた。ここに、 $M$ はサブワイヤに初期張力を与えるための重りである。いま、質量 $m$ の位置に $P_0$ の力を静的に加えれば、サブワイヤには $(a/r)P_0$ の力が作用する。ここで、サブワイヤに作用させた力 $P$ とその伸び $\Delta L$ とが測定できれば、式(7)、(8)により、サブワイヤのばね定数 $k$ が決定できる。

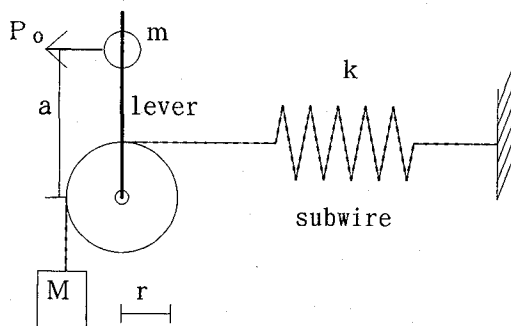


図-4 共振力発生機

$$k = \frac{P}{\Delta L_s} \quad (7)$$

あるいは

$$k = \frac{AE}{L} \quad (8)$$

ここに、 $A$ はサブワイヤの断面積、 $L$ はサブワイヤの長さ、 $E$ はヤング係数。

理論的には式(8)より $k$ が決定できるが、何本かのよられたワイヤからなるサブワイヤの剛性を $A$ 、 $L$ 、 $E$ から正確に計算するのは困難であり、プレテンション操作を何回か繰り返した後、式(7)で決定するのがよいようである。ここではレバーにばね計りを介して力 $P_0$ を加え、このときの質量 $M$ の動きを測定してばね定数 $k$ を決めた(写真-3参照)。この $k$ と質量( $M$ と $m$ )とによる動的な振動系を作れば、その運動方程式は次式で与えられる。

$$\left( \frac{I}{r^2} + M \right) \ddot{y} + k y = 0 \quad (9)$$

この系の固有振動数 $\omega_0$ は

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M_{eq}}} \quad (10)$$

ここで、

$$M_{eq} = \frac{I}{r^2} + M \quad (11)$$

$$I = a^2 m \quad (12)$$

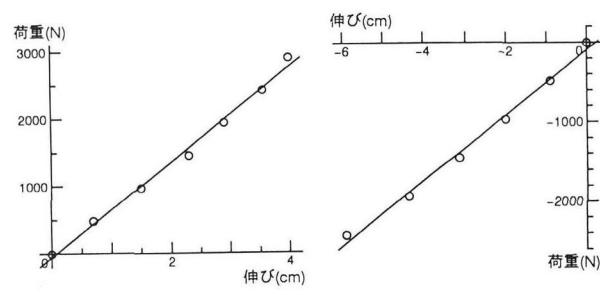
ここに、 $I$ は慣性モーメント、 $M$ はサブワイヤにプレテンションをかけるための質量、 $a$ は $m$ の偏心距離=アームの長さ、 $r$ はホイールの半径、 $y$ は $M$ の動きである。

この固有振動数 $\omega_0$ が吊床版橋の測定しようとする固有振動数に一致するように $a$ を調整すれば、この共振力発生機の共振倍率倍の力が動的にサブワイヤに作用する。この装置では発生する力が調和関数に限定されるが、小さな力で実橋を起振できるパワフルな装置である。実際には、 $P_0=30\sim 50$  N程度の人力でサブワイヤには $\Delta H=2500\sim 3000$  N程度の力を発生させることができた。この $\Delta H$ の大きさは、 $m$ を取り付けているレバーの振幅と力との関係を静的に求めておけば、動的なレバー振幅の測定より容易に決定される。なお、図-5から分かるようにばね定数 $k$ はサブワイヤを引張った時と緩めた時とでその値が異なるため、正確な $k$ の値は決定できないが、質量 $m$ の位置(図-4の $a$ の値)は、橋の固有振動数に合わせてレバーを手で動かしたときに最も軽くレバーを動かせる位置で固定する感覚的手法により決めた。

#### 3.2 サブワイヤのばね定数

写真-1、2のように設置されたサブワイヤ( $\phi 8\text{mm}$ のワイヤロープ)のばね定数の決定は、写真-3に示すような

方法で行った。すなわち、レバーの先端にばね計りを取り付け、ばね計りを引張って力を加えた。この時、作用している力はばね計りで読み、ワイヤの伸びは質量Mが移動する量で読み取り、図-5に示すような荷重-伸び曲線が得られた。図-5より分かるように引張った時のばね定数と緩めた時（引張りの時と反対側にレバーを倒す）のばね定数は異なっており、それぞれ約704N/cmと410N/cmである。緩めた場合にばね定数が小さくなるのはサブワイヤのたるみによるものであろう。3.1で述べたように感覚的に共振力発生機の振動数を橋の共振振動数に一致させる方法をとっているので、サブワイヤのだいたいのばね剛性が判明すればよく、704と410の平均値 557N/cmを目安のばね剛性と考えた。



(a)引張った時 (b)緩めた時  
図-5 サブワイヤの荷重-伸び曲線



写真-1 サブワイヤの設置



写真-2 ローラー



写真-3 サブワイヤのばね定数測定

### 3. 3 ローラーの位置

サブワイヤは写真-1に示すように床版側面に沿って設置しており、これを定着するために写真-2のようなローラーを使用している。ローラーの取り付け位置はサブワイヤの張力変化が確実に床版に鉛直力となって作用するように橋軸方向高さの配置について考慮した。橋軸方向にはサブワイヤの張力がスパン全体に渡って一様になるよう 2.30m間隔に片側33個、計66個を設置した。ローラー取付位置の高さについては前述のような方法で理論解(5)、(6)の対称1次のモード形状を参考にして決定した。このようにローラーの位置を決めると、共振時には対称

1次振動モードが励起される。

図-6にはサブワイヤを引張ったときに、上向きの力が床版に作用する図を示している。

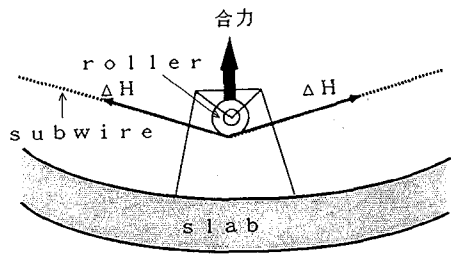


図-6サブワイヤにより床版に作用する力

3. 4 起振力

図-4、写真-3に示すようにレバーの先端に力を加えて起振力を発生させる。レバーに加える力は共振時で30～50N 程度であるが、サブワイヤの張力は2500～3000 N程度である。このサブワイヤ張力の大きさは、前もって静的に較正したレバーの動きとサブワイヤ張力との関係より容易により分かる。レバーが直立の状態からワイヤを引張る方向に力を加えてレバーを倒すと、床版には上向きの力が働く。反対に、ワイヤを緩める方向にレバーを倒すと、床版には下向きの力が働く。この操作を繰り返すと、図-7に示すような調和関数の力が床版に作用する。この力は式(2)より計算され、高欄・フェアリング設置後の対称1次振動( $\omega_1$ )に対して  $p \sin(\omega_1 t) = p \sin(2.68\pi t)$  となる。周期は0.75秒である。

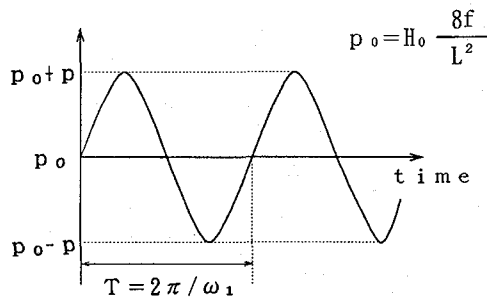


図-7床版に働く等分布周期力

4. 起振実験

吊床版歩道橋の起振実験は地覆、高欄、フェアリングの設置前(Case A)と設置後(Case B)の2回実施した。サブワイヤによる起振の効果以外に設置前後の橋の固有振動数と低次モードの減衰定数を測定し、高欄・フェアリングが固有振動数・減衰定数に及ぼす影響を調べた。

4. 1 振動の計測と波形解析

構造物の振動から固有振動数・固有モード・減衰定数

等を算定するためには、常時微動、サブワイヤによる強制振動や自由振動を計測し記録する装置と記録された波形を解析する装置が必要となる。常時微動はサーボ型加速度計でピックアップし、自由振動や強制振動はひずみゲージ型加速度計でピックアップした。スパンLの橋軸方向に沿った加速度計の設置位置を図-8に示している。サーボ型加速度計は中央点より左側の位置で、L/8間隔にL/2点迄4個設置(図-8の①～④)した。

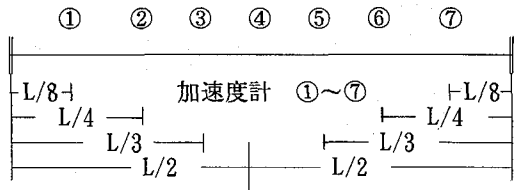


図-8 加速度計の設置場所

検出された強制振動・常時微動の波形に高速フーリエ変換法(Fast Fourier Transform Method)あるいは最大エントロピー法(Maximum Entropy Method)を用いたスペクトル解析を行って固有振動数を算定し、自由振動波形より固有振動数・固有モードを求めた。減衰定数は共振振動後の自由振動から求めた。また、記録波形の波形解析に使用するサンプリング間隔は0.02秒である。

4. 2 振動実験した歩道橋の諸元

振動を測定した吊床版歩道橋の諸元を表-1に記している。また、この橋は両支点から13.5m(スパン長の1/6)の所まで拡張されており、床版両側面に床版厚+地覆厚を直径とする半円形のフェアリング(図-9)が設置されている。図-9に示すようにフェアリングの中に前述したサブワイヤとローラーが設置されている。ローラーの高さは床版厚と地覆厚の範囲内で高さの調節が可能である。共振力発生機(図-4)の諸量は表-2のようにになっている。

表-1 吊床版歩道橋の諸元

|           |                                                 |         |
|-----------|-------------------------------------------------|---------|
| 吊橋        |                                                 | 縄文橋     |
| 所在地       |                                                 | 熊本県菊水町  |
| スパン長      | m                                               | 76.5    |
| 基本サグ量     | m                                               | 2.2     |
| 有効幅員      | m                                               | 1.5     |
| 断面積       | cm <sup>2</sup>                                 | 3475    |
| 換算弾性係数*   | kN/cm <sup>2</sup>                              | 3567.2  |
| 断面2次モーメント | cm <sup>4</sup>                                 | 90000   |
| 初期張力      | kN                                              | 3955    |
| ねじり係数     | cm <sup>4</sup>                                 | 310000  |
| ポアソン比     |                                                 | 0.167   |
| 単位長さの質量   | kg/cm                                           | 0.01303 |
| 備考        | 支点からL/6迄拡張<br>半円形状フェアリング(金属)設置<br>* 文献(6)p761参照 |         |

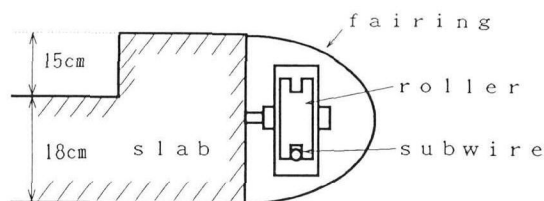


図-9 フェアリングとサブワイヤ

表-2 共振力発生機の諸量

| 記号 | 値          |
|----|------------|
| a  | 150.0 cm   |
| m  | 0.87 kg    |
| r  | 15.0 cm    |
| k  | 557.0 N/cm |
| M  | 40.8 kg    |

#### 4. 3 レバーの設置位置

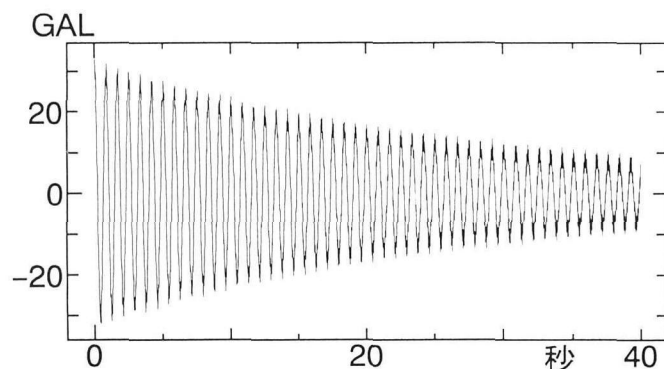
サブワイヤーに力を加えるレバーの設置位置は、支点(写真-3)と L/2点(写真-4)である。支点部分に設置して力を加えると図-1の加振状態となり、対称1次振動モードが励起される。これに対し、L/2点部分にレバーを設置して力を加える場合(図-13 参照)は図-3の加振状態となり、逆対称1次振動モードが励起される。



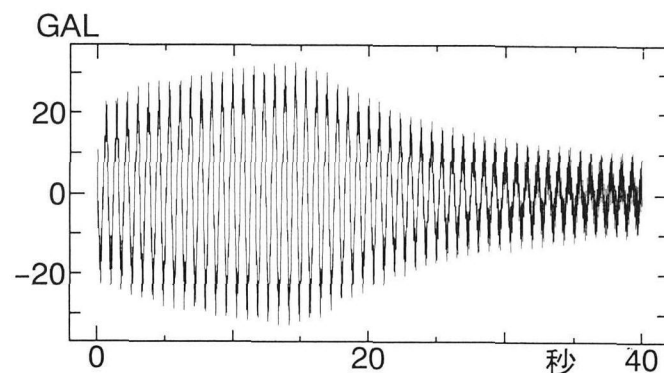
写真-4 L/2点での加振(Case A)

#### 4. 4 支点での加振(対称振動)

支点部分で加振した時のL/2点の加速度波形を図-10に、それらのパワースペクトルを図-11に示している。図-10、11には高欄・フェアリング設置前後の波形とパワースペクトルを示している。これらのパワースペクトルと後述の常時微動波形解析結果(表-3)から対称1次振動が励起されていることが理解できる。また、各測定点の加速度



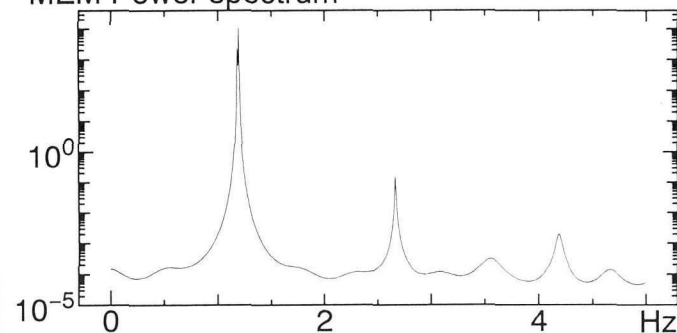
(a)設置前(Case A)



(b)設置後(Case B)

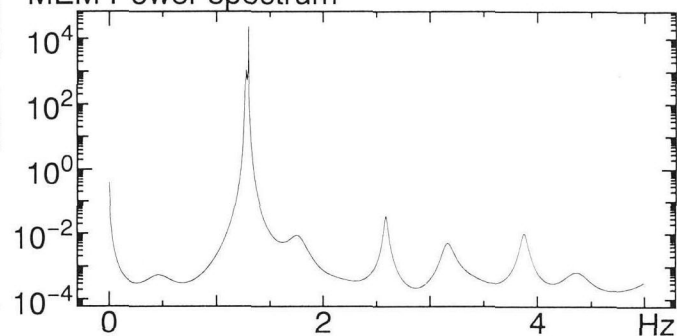
図-10 支点加振時のL/2点の加速度波形

#### MEM Power spectrum



(a)設置前(Case A)

#### MEM Power spectrum



(b)設置後(Case B)

図-11 支点加振時のL/2点のパワースペクトル

波形より得られる対称1次振動の固有モードを図-12に示している。図中の実線は3次元解析で得られた理論値、

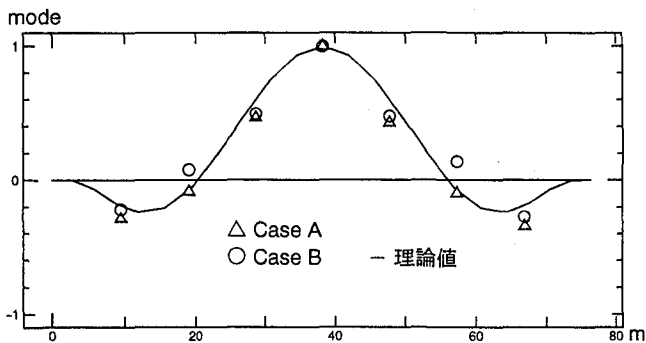


図-12 対称1次振動の固有モード

△印・○印は測定値である。図-10 の加速度波形より得られる対称1次モードの減衰定数は高欄・フェアリング設置前が0.0049、設置後が0.0120である。

#### 4. 5 L/2点での加振(逆対称振動)

図-9に示すように、本橋ではフェアリングがサブワイヤを覆う形で設置されるため、高欄・フェアリング設置後のL/2点部分での加振が不可能となった。理由はフェアリングを貫いてレバーを設置するスペースが取れなかったためである。したがって、L/2点での加振は高欄・フェアリング設置前はサブワイヤによる加振(加振装置の概略図は図-13参照)を、設置後は人力(大人3人)加振を行い、それらのL/4点での自由振動加速度波形を図-14に図示している。紙面の都合上、パワースペクトルは図示していないが、それらと常時微動解析結果(表-3)より、逆対称1次振動の励起されていることが確認できた。また、各測点の加速度波形より得られる逆対称1次振動の固有モードを図-15に図示している。図中の実線は3次元解析で得られた理論値、△印・○印は測定値である。

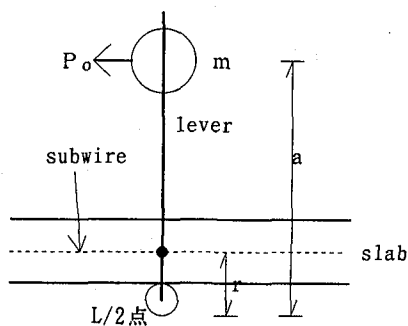
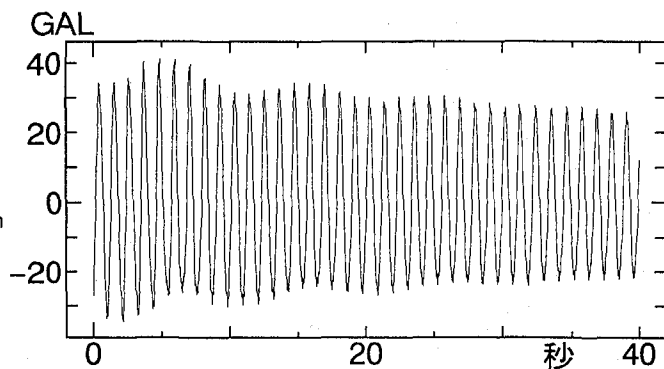


図-13 L/2点での加振装置

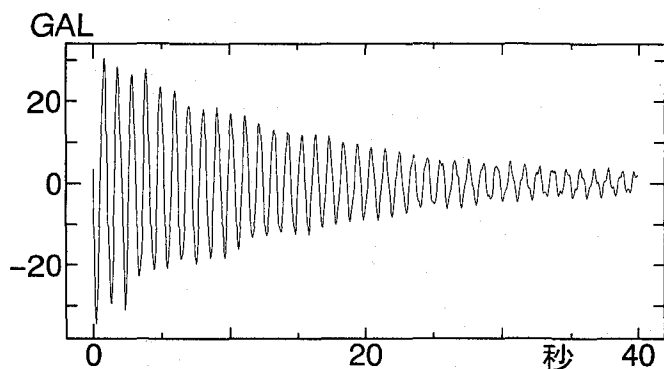
#### 4. 6 高欄・フェアリング設置前後の固有振動数と減衰定数

高欄・フェアリング設置前後の固有振動数を常時微動により測定した結果と自由振動より得られた対称1次振動、逆対称1次振動の減衰定数を表-3に示す。表中の設置後の逆対称1次の減衰定数はL/4点部分で3人が逆対称1次の固有振動数にセットした電子メトロノームの音に合わせて膝の屈伸運動を行って加振し、その後の自由振動波形から求めた。なお、その自由振動はパワースペ

クトルから逆対称1次の振動であることを確かめた。表-3から、高欄・フェアリング設置後は固有振動数・減衰定数共に設置前より上昇していることが分かる。



(a) 設置前 (Case A)



(b) 設置後 (Case B)

図-14 L/2点加振時のL/4点の加速度波形

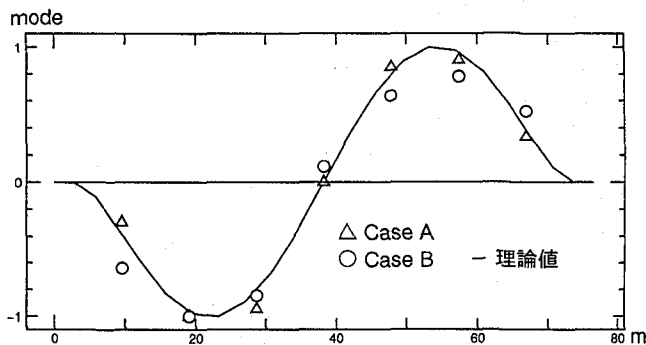


図-15 逆対称1次固有モード

表-3 固有振動数と減衰定数の変化

|    |       |        | Case A | Case B |
|----|-------|--------|--------|--------|
|    |       |        |        |        |
| I  | 固有振数  | 対称 1次  | 1.22   | 1.34   |
|    |       | 2次     | 1.73   | 1.83   |
|    |       | 3次     | 2.70   | 3.15   |
|    | 動数 Hz | 逆対称 1次 | 0.91   | 0.99   |
|    |       | 2次     | 2.00   | 2.33   |
|    |       | 3次     | 3.40   | 4.15   |
| II | 減衰    | 対称 1次  | 0.0049 | 0.0120 |
|    |       | 逆対称 1次 | 0.0016 | 0.0094 |

測定方法→ I : 常時微動、II : 自由振動

## 5. 制振

レバーで加振して振動が大きくなったとき（加速度振幅20gal程度）、更に加振すると振動が大きくなる場合と逆に振動が止まる場合の相反する現象が何度かあった。また、振動が成長した時に途中で加振を止め、位相を90°ずらして加振したが、その時も振動が止まる場合と大きくなる場合の異なる現象が現れた。このように、同じような力を加えるのに振動が成長したり、止まったり全く異なる結果が得られた。この時、レバーに加える力は手動のため振動数を微細に調整することが難しいが、電子メトロノームの音に合わせて加振したので、加振振動数に大きな差はないと考えられる。振動が止まる理由としては、レバーを手で振動させている途中で加振振動数が共振振動数より少しでも大きくなると位相が逆位相となり、共振振幅が正から負に転じるからであろう。これは次の関係式より分かる。等分布周期荷重  $p \sin(\omega t)$  が対称1次の振動数  $\omega_1$  に極めて近い振動数  $\omega$  で作用しているときの  $x$  点の変位  $y(x)$  は

$$y(x) = \frac{\Phi_1(x)}{\omega_1^2 - \omega^2} \times p \int \Phi_1(x) dx \cdot \sin(\omega t) \quad (13)$$

表わされる。この時、 $\omega$  が  $\omega_1$  より少しでも大きくなると  $\omega_1^2 - \omega^2$  が0に近い負の値となり、変位は大きな負の値となる。このため成長した振動の振幅は急激に小さくなっていく。これは励起されている振動に対して負の加振力を加える状態と同じになるからである。一般には、制振方法として速度応答に合わせて力を加える方法（位相を90°ずらして加振する方法）が採られているが、本実験で経験したように、共振振動数より少し大きい振動数で加振して、振動を減衰させることは理論的に可能である。しかし、これをもとにした制振の可能性については今後十分時間をかけて検討する必要がある。

## 6. 結論

本論文ではサブワイヤを用いて吊床版歩道橋を起振する方法について述べた。この方法を用いれば、対称1次振動モードあるいは逆対称1次振動モードの起振を比較的簡単に行うことができる。共振力発生機は30~50N程度の小さい人力でサブワイヤに2500~3000N程度の大きい力を発生させることができた。単にサブワイヤを人力で加振する場合は力が不足し、起振は容易でない。共振力発生機がなければ、このサブワイヤによる起振実験はかなり大がかりなものになるであろう。本実験対象となった橋は予め架設時にローラーを設置してあったが、

ローラーの設置されていない普通の橋の場合には、ローラーを直接床版上に置き、その上にローラーが浮き上がらない程度の重しを載せればよい。ローラーの数が多ければ各ローラーに作用する浮き上がり力は僅かである。本実験の各ローラーに作用する上向きの力は20N程度であり、これはローラーの自重に相当する。

実橋の振動試験中にたまたま発生した大きな減衰振動は、筆者らの経験では全く予測できなかった現象であった。これに対して5. 制振の項では、式(13)に基づいて減衰振動の発生原因を述べ、逆に、この大きな減衰振動を制振方法として利用できないかという意味での可能性について論じた。しかし、この実用性については今後十分に検討する必要がある。

高欄、フェアリングの設置前と設置後について、振動数・減衰定数を比較すると表-3のようになる。設置後にケーブル張力の増加や地覆打設による質量の増加があるものの、高欄・フェアリングの設置により、低次の固有振動数が高くなっていることと低次振動の減衰定数が2.5倍~6倍に上昇していることを考えれば、吊床版歩道橋の高欄やフェアリングは橋の剛性や減衰性能を高め、橋の制振に大きく寄与していることがうかがえる。

謝辞

実橋の測定では熊本大学宮崎、八代高専光永、住友建設緒方・寺山の各氏にお世話になった。また、実験に際して九州産業大学吉村教授、九州東海大学加藤教授、長崎大学岡林助教授、フジエンジニアリング松本部長には貴重な助言を頂いた。記して謝意を表する。

## 〈参考文献〉

- (1) 岡林・原：道路橋振動特性測定における衝撃加振法の適用、構造工学論文集、Vol. 34A、pp731-738、1988年3月。
- (2) 梶川・津村・角本：PC吊床版歩道橋の振動とその使用性、構造工学論文集、Vol. 36A、pp685-695、1990年3月。
- (3) 藤野・ワニツヤイ・パフェコ・アグレ・サズホー：斜張橋のアクティブテンション・ステイフネスコントロール、振動コロキウム PART. B 講演論文集、1991年7月。
- (4) Noriaki Hiwatashi, Yoji Mizuta, et al.: Excitation of Arch and Suspension Bridges by Subwires, Shock and Vibration, Vol. 1, No. 1, pp59-64, 1993。
- (5) 水田・光永・平井・宮崎・樋渡：PC吊床版歩道橋の振動特性について、土木構造・材料論文集、第10号掲載予定、1995年1月。
- (6) 水田・平井・元田・樋渡：吊床版歩道橋の固有振動数の解析方法について、構造工学論文集、Vol. 38A、pp755-763、1992年3月。

(1994年 9月14日受付)