

## 女神大橋主塔の振動実験による動特性の評価

|         |      |      |         |     |      |
|---------|------|------|---------|-----|------|
| 長崎大学工学部 | 学生会員 | 日吉直久 | 中国・福州大学 | 非会員 | 呉慶雄  |
| 長崎大学工学部 | フェロー | 高橋和雄 | 長崎県     | 正会員 | 北原雄一 |
|         |      |      | 長崎大学工学部 | 正会員 | 中村聖三 |

### 1.はじめに

女神大橋の完成形の主塔では、風洞試験において風速 33m/s 付近で渦励振の発生が懸念され、主塔頂部付近に、渦励振の抑止を目的とした制振装置(TMD)<sup>1)</sup>が設置されている。女神大橋が完成状態となったことから、女神大橋の主塔を人力加振し、主塔の振動特性(固有振動数、減衰および振動モード)を実測するとともに、固有振動数については、解析値と比較する。本論文では、女神大橋の振動実験と計測結果を報告する。

### 2.実験対象橋梁と制振装置(TMD)

#### 2.1 女神大橋の概要

女神大橋は、主要地方道長崎南環状線(長崎市大浜道から新戸町までの約 5 km)が長崎港を横断する位置にかかる橋長 880m の長大橋で、中央径間長は日本では 6 番目の斜張橋となる。本橋の橋梁形式は 3 径間連続鋼斜張橋である。中央径間 480m、側径間 200m。主塔形状は H 型で高さ 170m、主桁は扁平箱桁である。女神大橋の 3P 主塔側面図を図 - 1 に示す。

#### 2.2 制振装置(TMD)の概要

女神大橋主塔に設置されている TMD の主要諸元を表 - 1 に示す。3P 主塔には N 塔頂部、S 塔頂部付近に各 1 台設置されている。TMD 設置位置を図 - 1 に示す。

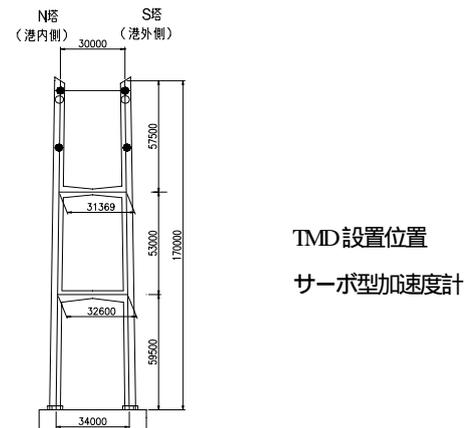


図 - 1 3P 主塔及び計測点 (単位 : mm)

### 3.人力加振による振動実験

#### 3.1 実験の概要

制振装置の非作動時と作動時の 2 ケースの振動実験を行い、減衰の大きさの比較から制振装置の効果を確認する。また、固有振動数の計測結果から実験値と解析値の比較を行う。

#### 3.2 実験方法

加振方法は人力加振で行った。加振人員が同じ動きができるように相互に肩を組んだ。主塔の加振は主塔の FEM の解析値 0.923Hz に合わせて上半身を橋軸直角方向に繰り返し移動することで行った。各主塔に設置されているオシレータの波形に合わせて加振を行った。オシレータはあらかじめ主塔の固有振動数に合わせた。この体重移動は主塔の応答が大きく成長するまで続けた。制振装置の非作動時には加振人員は 20 人とし、3P 主塔の N 塔側頂部および S 塔側頂部に各々 10 人を配置した。S 塔と N 塔では上半身を逆方向に移動した。制振装置作動時には加振人員を 30 人とし、3P 主塔の N 塔頂部だけを加振した。

主塔振動を計測するサーボ型加速度計を主塔に配置し、橋軸直角方向加速度を計測した(図 - 1 参照)。制振装置の非作動時、作動時にそれぞれ 3 回の加振実験を行った。

表 - 1 TMD の諸元

| TMD 名     |    | TMD - C1           |
|-----------|----|--------------------|
| タイプ       |    | 単振子式               |
| 台数        | 台  | 4                  |
| 装置質量      | t  | 6                  |
| 重錘質量      | t  | 3                  |
| 設計振動数     | Hz | 0.90               |
| 振動数比の許容範囲 |    | ± 10%              |
| 設計減衰定数    |    | 0.35               |
| 減衰定数の許容範囲 |    | ± 5% (0.33 ~ 0.37) |
| 振子長さ      | m  | 1.1                |
| 設計最大振幅    | m  | 0.20               |

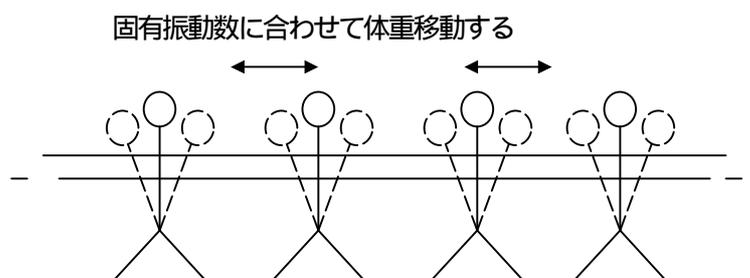


図 - 2 加振方法

4.固有振動特性の推定

図-3は、人力加振による3回目の制振装置の非作動時と作動時のN塔頂部の橋軸直角方向加速度の波形と制振装置のダンパー変位である。図-3から制振装置の作動時と非作動時を比較すると、作動時のほうが早く加速度が減衰し、TMDの効果が見られている。

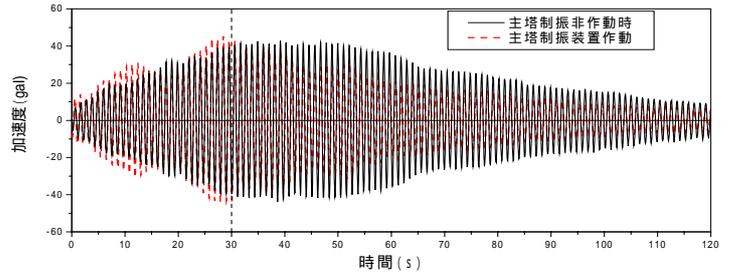
固有振動特性を求めるために、図-3に示している点線の時間、人力加振を始めて30秒後の自由振動の波形から計算を行った。

まず、FFT法を用いて、スペクトル解析を行った結果を図-4に示す。図-4から、主塔の面外卓越振動数は0.927Hzである。

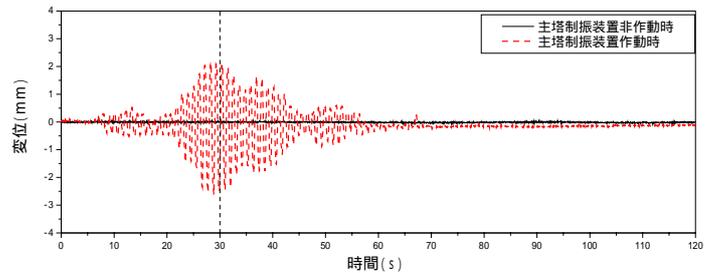
次に、Subspace法を用いて、制振装置の作動時と非作動時の3回の実験結果の波形データからそれぞれ固有振動数、減衰定数およびモード形状を求める。固有振動数および減衰定数の結果を表-2に示す。

表-2より、振動数は制振装置の非作動時、作動時共に平均値0.927HzとなりFFT法で出した結果である0.927Hz一致している。制振装置作動時の対数減衰率は0.030となり設計計画値0.026を満足している。

表-3にFEMによる解析理論値とSubspace法による計測値の3P主塔の固有振動数の比較を示す。解析値と計測値が一致しており、FEMによるモデル化が適切に行われている。



(a) N塔頂部橋軸直角方向加速度



(b) TMDダンパー変位

図-3 計測波形

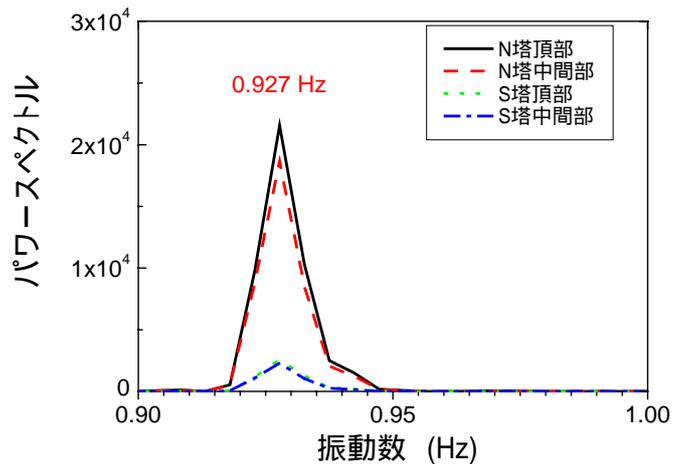


図-4 FFT法によるスペクトル

表-2 人力加振によって得られた固有振動数と減衰定数

| 制振装置の状態 | 項目       | 1回目   | 2回目   | 3回目   | 平均値          |
|---------|----------|-------|-------|-------|--------------|
| 非作動時    | 振動数 (Hz) | 0.925 | 0.928 | 0.927 | <b>0.927</b> |
|         | 減衰定数     | 0.003 | 0.004 | 0.003 | <b>0.003</b> |
|         | 対数減衰率    | 0.019 | 0.022 | 0.020 | <b>0.020</b> |
| 作動時     | 振動数 (Hz) | 0.927 | 0.927 | 0.927 | <b>0.927</b> |
|         | 減衰定数     | 0.005 | 0.005 | 0.005 | <b>0.005</b> |
|         | 対数減衰率    | 0.030 | 0.031 | 0.029 | <b>0.030</b> |

表-3 FEMによる解析値と計測値の振動数の比較

| 手法  | 振動数 (Hz) |
|-----|----------|
| 解析値 | 0.923    |
| 計測値 | 0.927    |

5.まとめ

実験結果から制振装置の作動時の対数減衰率は設計計画値の必要トータル減衰0.026をクリアし、制振装置の効果が検証された。また、固有振動数の解析値と計測値が一致することにより、主塔を含めた解析モデルの妥当性が明らかになった。

参考文献 1) 谷田宏次, 久保喜延: 構造物の耐風工学, 東京電気大学出版局, 第9章, pp.337-370