

本四公団向島工事事務所

香川祐次

本四公団向島工事事務所

正会員 岸本良孝

川田・日立・住重・東栄共同企業体

正会員 米田昌弘

1. まえがき 因島大橋は中央径間長770mの3径間単托支持吊橋である。本橋の設計では、完成後のみならず補剛桁架設時の状態に対しても、(1)等価質量、等価質量慣性モーメントの概念を用いる二次元バネ支持試験、(2)非常空気が測定データを利用する三次元応答計算、(3)空力弾性全体模型を用いる三次元風洞実験を実施し、耐風安定性を総合的に検証している。さらに、自然風による常時微動法を用いた実橋の補剛桁架設時での振動試験を実施し、風洞実験にあわせて設定した固有振動数と構造減衰の値とそれらの実測値とを比較して、耐風安定性を確認している<sup>1)</sup>。本文は、実橋の補剛桁架設時振動試験に伴って実施した自然風の超音波風速計による測定結果から得られた、架設現場の補剛桁工での自然風の特徴、および、空力減衰の評価に関する基礎資料を提供するものである。なお、これらに関する測定データは未だ非常に少なく、データの蓄積が急務であるといわれているものである。

2. 測定方法 自然風の測定は、代表的な5ケースの架設ステップでの振動試験に伴って実施された。使用した風速計は超音波風速計(海上電機(株)製作DA-300型)であり、プロジェクタ写真-1に示すように補剛桁の横トラス弦材から上ラテラルに渡されたH鋼梁を介して設置した高さ約9mの仮設タワー上に定着し、橋軸直角水平方向、橋軸方向および鉛直方向の3成分の風速を測定した。なお、補剛桁の形状、勾配が変化することから、各架設ステップにおいて、超音波風速計のレベルの再調整を行った。

測定された風速記録はアナログ・データレコーダに収録され、振動試験の桁、ケーブルの加速度記録と同様に現場事務所内のマイコンでA-D変換された。そして、サンプリング時間間隔0.2sec、データ個数4096個のデジタルデータから自然風の特徴値を算定した。

3. 自然風の特徴 一例として、図-1に示す架設STEP-9の架設状態(昭和58年2月10日)で測定された自然風の特徴値を表-1に示す。また、図-2には、F.F.T.を用いて解析したu方向(橋軸直角水平方向)成分のパワースペクトルを示す。なお、測定された自然風の主流方向が橋軸直角方向に近いことから、図-2には、Davenportが経験的に与えた次式で示される平均流方向のパワースペクトル $S_u(f)$ をone-sided spectrumに変換したものと併記している。

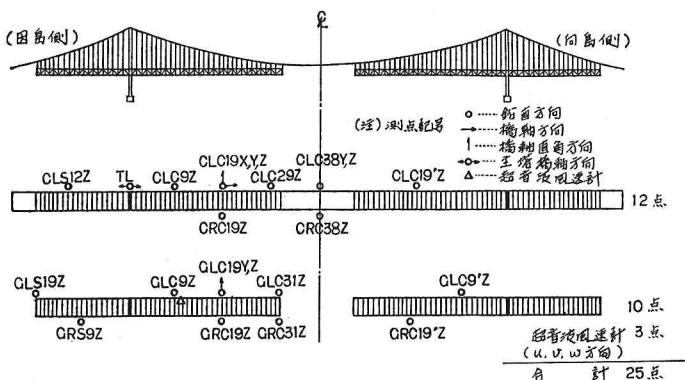


図-1 架設STEP-9の測定位置と名称

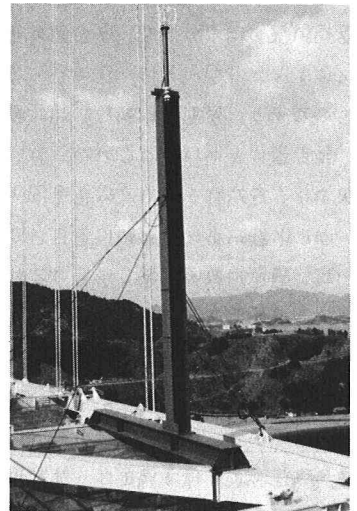


写真-1 超音波風速計

$$f \cdot S_u(f) = 2K L_{10}^2 \frac{X^2}{(1+X^2)^{4/3}}, \quad -\infty < f < \infty \quad (1)$$

ここに、 $k$ は基準高さ10 mで定義した表面摩擦係数であり、波面の立つ開けた水上では0.001~0.002程度の値である。

また、 $U_0$  は高さ  $10\text{ m}$  における基準風速、 $X$  は無次元周波数であり、 $X = f \cdot L / U_0$  によって定義される。 $L$  はスケールを表わす量で、Davenport は  $L = 1200\text{ m}$  としている。

表-1, 図-2より, この場合の風速データについては, 乱れの強さは比較的小さく, また, パワースペクトルは式(1)において  $\kappa=0.002$  とした値に比較的に良く一致していることがわかる。

4. 空力減衰の評価 振動試験では自然風下での析およみ

ターブルの微小振動を測定していることから、ハーフパワー法により算定された対数減衰率には、構造対数減衰率の他に空力対数減衰率も含まれている。この空力減衰の影響を評価するために、STEP-9の架設状態における表-1に示したU方向の平均風速が5.49 m/secの場合と同様にU方向の平均風速が1.90 m/secの場合の両者の場合の風速域について、各々の対数減衰率を算定した。その結果を表-2に示す。また、鉛直曲げ振動については準定常理論に基づいて空力対数減衰率の推定を試み

た。その結果を表-3に示す。他方、ねじれ振動については二次元バネ支持試験の  $V-\delta$  曲線<sup>2)</sup> から空力対数減衰率の推定を試みた。その結果を表-4に示す。

これらの假定結果より、橋軸直角水平方向の平均風速が  $1.90 \text{ m/sec}$  の場合に得られた対数減衰率と構造対数減衰率と考えることができると思われる。なお、得られた空力対数減衰率の値の具体的な評価については、ハーフパワー法の解析精度も含めて今後の検討にゆだねることとする。

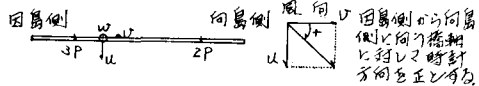
5. あとがき 以上、一例として、

STEP-9の架設状態で測定された自然風の特性和空力減衰の  
評価について若干の考察を行った。今後は、それ以外の架設  
ステップおよび自然風のための追加測定においても有意なデ  
ータが得られていることから、これらについて考察を加えてい  
く予定である。最後に、本測定にあたり常に適切な御指導を  
頂いた土木研究所・成田信之・企画部長に対し、心より御礼  
を申し上げます。

## 表-1 自然風の特性値

| 諸元       | u 方向      | v 方向  | w 方向  | 主流方向 |
|----------|-----------|-------|-------|------|
| 平均風速     | m/s 5.49  | 1.23  | 0.755 | 5.68 |
| 平均風向     | deg —     | —     | —     | 77.4 |
| 平均傾斜角    | deg —     | —     | —     | 7.57 |
| ガストファクター | — 1.46    | 2.40  | 3.12  | —    |
| 標準偏差     | m/s 0.674 | 0.661 | 0.474 | —    |
| 乱れの強さ    | — 0.119   | 0.117 | 0.083 | —    |

注1)  $u, v, w$  方向および風向は下図に示す定義による。



注2) 各相の強度  $I_d = \sigma_d / \sqrt{\overline{U}^2 + \overline{V}^2 + \overline{W}^2}$  ( $d = u, v, w$ )

$$\text{ガストファクター} = X_{\max} / \bar{X} \quad (X = U, V, W)$$

ここで、 $\sigma$ は標準偏差、 $\bar{U}$ 、 $\bar{V}$ 、 $\bar{W}$ は $U$ 、 $V$ 、 $W$ の平均風速、添字 max は最大量であることを示す。

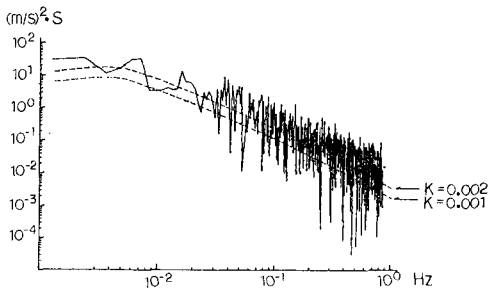


図-2 u方向成分のパワースペクトル

表-2 鉛直曲げ振動とねじれ振動の対数減衰率

|          | 対 称                     |          | 反 称                     |          | 非 対 称                  |          |                        |          |
|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
|          | 鉛直曲げ 対称 1 次<br>5.49 m/s | 1.90 m/s | 鉛直曲げ 対称 1 次<br>5.49 m/s | 1.90 m/s | ねじれ 対称 1 次<br>5.49 m/s | 1.90 m/s | ねじれ 対称 1 次<br>5.49 m/s | 1.90 m/s |
| CL519Z   |                         |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CLC 9Z   | 0.041                   |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CLC19Z   | 0.042                   | 0.037    | 0.024                   | *        |                        |          |                        |          |
| GRC19Z   | 0.046                   | 0.037    | 0.023                   | 0.025    |                        |          |                        |          |
| CLC29Z   | 0.048                   | *        | 0.024                   | *        |                        | 0.011    |                        |          |
| CLC38Z   |                         |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CRK38Z   |                         |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CLC19' Z | 0.038                   | *        | 0.028                   | 0.024    |                        |          |                        |          |
| CLC 9Z   | 0.054                   |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CLC31Z   | *                       |          | 0.025                   | 0.028    |                        |          | 0.013                  | 0.012    |
| CLC19Z   | *                       | 0.045    | 0.024                   |          |                        |          |                        |          |
| GRC31Z   | *                       | 0.036    | 0.025                   | *        | 0.011                  |          | 0.015                  | 0.011    |
| GRC19' Z | 0.038                   |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CLC9' Z  | 0.041                   |          | 0.027                   | *        |                        |          |                        |          |
| CRK19Z   | *                       |          | 0.024                   | *        |                        |          |                        |          |
| GR5 9Z   |                         |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| CL519Z   |                         |          |                         |          |                        |          |                        |          |
| 平 均      | 0.043                   | 0.039    | 0.025                   | 0.026    | 0.011                  | 0.011    | 0.014                  | 0.012    |

(注) 空白はパーズベクトルの成分が小さく対数収束性を算定できなかった場合を示す。また、記号  $\times$  は固有振動数が非常に接近しており、パーズベクトルを若干の振動数に對して分離することが困難であった場合を示す。

表-3 準定常理論による空力対数減衰率の推定

|           | 空 力 对 数 减 衰 率 |           |       |
|-----------|---------------|-----------|-------|
|           | ① 5.49m/s     | ② 1.90m/s | ③ - ② |
| 鉛直曲げ逆対称1次 | 0.021         | 0.006     | 0.015 |
| 鉛直曲げ対称1次  | 0.022         | 0.006     | 0.016 |

表-4 バネ支持試験結果による空力対数減衰率の推定

|          | 空力対数減衰率  |          |       |
|----------|----------|----------|-------|
|          | ①5.49m/s | ②1.90m/s | ③-②   |
| ねじれ逆対称1次 | 0.002    | 0.       | 0.002 |
| ねじれ対称1次  | 0.001    | 0.       | 0.001 |

〈参考文献〉 1) 香川・北畠・前田：因島大橋補剛桁架設時の自然風による第時微動法を用いた振動試験，本稿浸透要集，1983.

2) 本國公團向島工事事務所・川田・日立

2) 本町公団向島工事事務所、川田日正、住重、東武共同企業体編、因島大橋南側新工事期間試験報告書、昭56.10.