

## I-A 186

## 並列箱桁橋（撫養橋）の対風応答特性

本州四国連絡橋公団

高月俊治

瀧上・春本・比・J V

正員 尾関一成

本州四国連絡橋公団

正員 貴志友基

日立造船

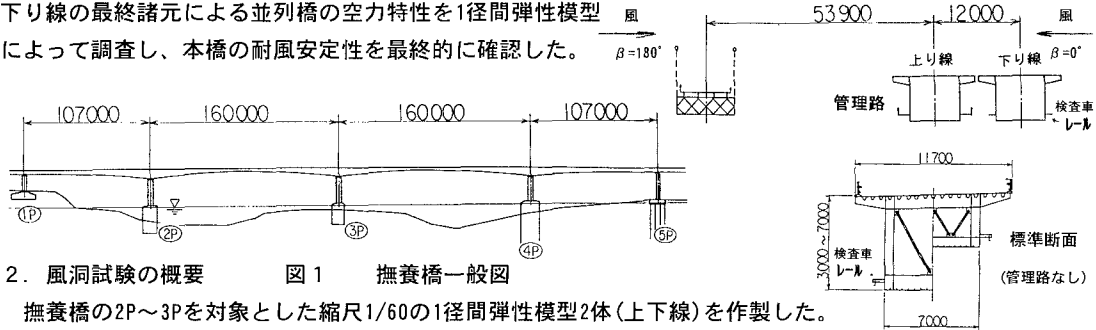
正員 植田利夫

ニチゾウテック

正員 南條正洋

## 1. まえがき

撫養橋は、大毛島～四国本土間の撫養瀬戸に既に架設されている小鳴門橋（4径間トラス補剛吊橋）に隣接した4径間連続鋼箱桁橋（107m+160m+160m+107m）である（図1）。本橋の上り線は既に供用中であるが、平成8年以内に下り線が架設され、2橋並列となる。断面の概要を図2に示す。このように、ごく近接した『並列橋』になると、それまでの単独橋とは空気力学的条件が異なってくると考えられる。撫養橋並列2橋の耐風性に関しては、これまでにバネ支持試験、および1径間弾性模型試験を実施している<sup>1)・2)</sup>。その結果、単独橋および並列橋とも、管理路を兼ねた制振プレートを設置することによってギャロップが抑制される。ただし、その後、下り線の建設にあたり実施した詳細設計では、プラケット端部の断面形状および振動数が当初設計断面に対し若干変更となる。とくに振動数は約9%高くなり、並列2橋の耐風性に影響を及ぼすことも考えられた。そこで、下り線の最終諸元による並列橋の空力特性を1径間弾性模型によって調査し、本橋の耐風安定性を最終的に確認した。



## 2. 風洞試験の概要

図1 撫養橋一般図

撫養橋の2P～3Pを対象とした縮尺1/60の1径間弾性模型2体（上下線）を作製した。1径間模型（長さ約2670mm）の端部影響を防ぐために、長さ約830mmのダミー模型桁を配置しており、全長約4,330mmである。断面中央の剛性棒により、鉛直および水平曲げ剛性を相似させている。本模型を用いた風洞試験で対象とした振動モードは、鉛直曲げ1次モードである。表1に実橋および模型の振動諸元を示す。2橋の振動数比 $k$ （下り線/上り線）の解析値は1.09である。風洞試験では、 $k$ とともに、迎角（ $\alpha$ ）、風向（ $\beta$ ）、乱れ強さ（ $I_u$ ）をパラメータとした。 $\beta$

表1 実橋・模型振動諸元

|     |     | 振動数<br>Hz | 振動数比<br>(下り/上り) | 一般化質量<br>$\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ |
|-----|-----|-----------|-----------------|------------------------------------------------|
| 実橋  | 上り線 | 0.447     | 1.09            | $7.69 \times 10^{-4}$                          |
| 解析値 | 下り線 | 0.488     |                 | $7.05 \times 10^{-4}$                          |
| 模型  | 上り線 | —         | 1.09            | 0.356                                          |
| 所要値 | 下り線 | —         |                 | 0.327                                          |
| 模型  | 上り線 | 3.97      | 1.09            | 0.353                                          |
| 測定値 | 下り線 | 4.32      |                 | 0.326                                          |

は、図2に示すように、下り線が上流側となる風向を $0^\circ$ 、その逆を $180^\circ$ と定義した。なお、対数減衰率 $\delta$ は、上り線での実測値を参考として、2橋とも $\delta=0.06$ を基準とした。境界層乱流は、 $\lambda^+$ 作および粗度ブロックによって発生させた。なお、各模型の動的応答の測定は、レザ変位計各2台を $\lambda^+/2$ および $1/4$ 点に設置して行った。

## 3. 風洞試験の結果

今回対象とした試験の範囲では、並列2橋の応答はどちらも類似のパターンであった。以下では下り線に管理路を設置しない断面形状について、下り線側 $\lambda^+/2$ 点の鉛直たわみ振動の特性について述べる。

①風向・迎角の影響：図3は設計振動数比 $k=1.09$ の応答特性を一樣流・迎角 $\alpha=0^\circ$ について調べた結果である。下り線が上流側となる風向（ $\beta=0^\circ$ ）では、実橋風速45m/s付近でギャロップが発生するが、下り線が下流側となる $\beta=180^\circ$ の場合にはギャロップなどの振動現象はなく、風向による顕著な差が認められる。図中に $\alpha=+3^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$ の結果を併記しているがほぼ同一の応答パターンであり、迎角の影響はほとんどない。なお、図には示さ

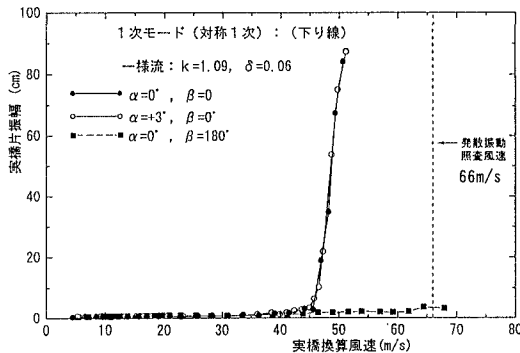


図3 風向・迎角の影響

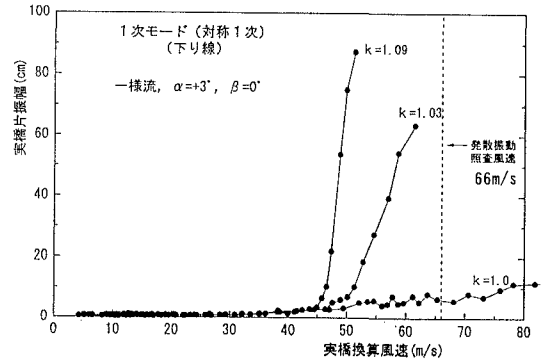


図4 振動数比の影響

れていないが、下り線に管理路を設置した場合にも $\beta=0^\circ$ では設計風速以下で「ギャロピング」の発生が確認されている（ただし、この場合、下り線単独橋では「ギャロピング」は抑制されている）。ここで確認された「ギャロピング」現象は、2橋の振動に位相差があり、一方の振動を拘束すると他方の振動は静止する特性を有している。このことから、近接2物体の自励的な相互干渉振動であると考えられる。②振動数比( $k$ )の影響：図4は、一様流・ $\alpha=+3^\circ$ ・ $\beta=0^\circ$ の条件で振動数比 $k$ の影響を調べた結果である。図示のように、 $k=1$ では「ギャロピング」は発生しない。 $k=1.03$ では1.09の場合より幾分改善されるものの設計風速(55m/s)以下で「ギャロピング」が発生することになる。振動数比 $k$ と「ギャロピング」の発現風速との関係を整理して図5に示す。図中に下り線に管理路を設置した場合の結果を併記している。ただし、図示のように、 $\delta$ および $\alpha$ の設定条件はそれぞれ異なっている。 $k=1$ 近傍での「ギャロピング」発現風速が把握されていないため厳密な評価はできないが、 $k=1$ のごく近傍で相互干渉振動が抑制されるものと思われる。③気流の乱れの影響：下り線に管理路を設置しない断面について、 $\alpha=0^\circ$ ・ $\beta=0^\circ$ および $k=1.09$ の条件で、主流方向乱れ強さ( $I_u$ )を変化させて応答を調べた。図6に結果を示す。図より気流の乱れによって一様流中で見られた「ギャロピング」現象は緩和される傾向となることがわかる。定性的な傾向としては $I_u \leq 7.5\%$ では設計風速近傍で「ギャロピング」の様相を示すが、 $I_u \geq 10\%$ では「フェーディング」の様相が強く現れるものと考えられる。

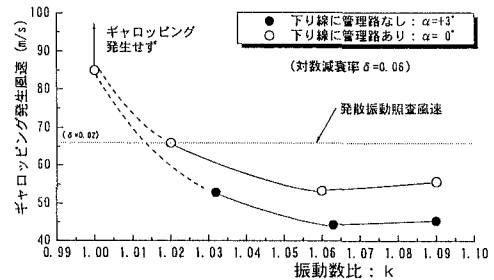


図5 振動数比と「ギャロピング」発現風速の関係

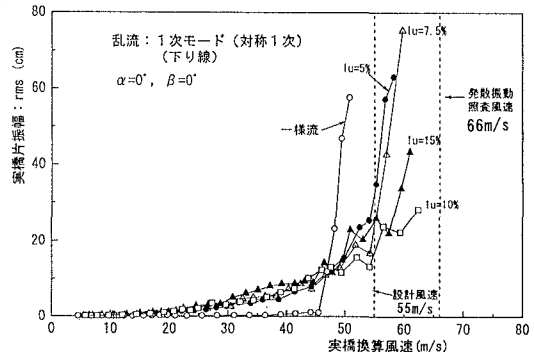


図6 気流の乱れの影響

#### 4. あとがき

2橋が近接して並列設置された場合、2橋の振動数比 $k$ によって耐風性が大きく影響を受けることがわかった。一様流中では、設計値 $k=1.09$ の場合、下り線側からの風向では、下り線に管理路がある・なしにかかわらず照査風速内で「ギャロピング」が発生した。また、 $k=1$ の場合には「ギャロピング」は抑制されること、乱流中では、下り線側に管理路がない場合でも、「ギャロピング」は緩和され、乱れ強さの増加とともに「フェーディング」に移行する傾向であった。なお、下り線工事では、上下線の振動数比を合わせるため中央径間への質量付加を検討した。

- 1) 本州四国連絡橋公団 鳴門工事事務所：撫養橋風洞試験(その1)、昭和57年、(その2)・(その3)、昭和58年
- 2) 同上：撫養橋風洞試験(その4)、昭和59年