

## 架設時長大 PC 斜張橋のガスト応答に関する研究 — 静的空気力と非定常空気力の評価 —

清水建設 正会員 ○清水 和昭      清水建設 正会員 伊藤 靖晃      清水建設 正会員 中島 穰  
清水建設 正会員 小林 秀人      清水建設 非会員 酒井 佑樹

**1. はじめに** 張出し施工を行う長大 PC 斜張橋では架設時の耐風安定性の確保が重要な課題の 1 つである。特に中間橋脚がない場合には、完成時と比較して架設時の耐風安定性が低下することも懸念され、渦励振や鉛直方向のガスト応答に関する照査が必要である。本研究は部分模型による照査が困難であるガスト応答に着目し、弾性模型実験結果とガスト応答解析結果の比較により、ガスト応答解析の精度検証を行うことを目的とする。本研究では、まず静的空気力係数および非定常空気力係数の測定を行い、ガスト応答解析と弾性模型実験による風洞実験結果の比較を行うための基礎データを収集する。

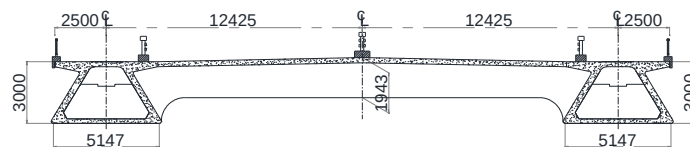


図 1. 対象としたモデル橋梁の桁の断面図



図 2. 模型および高欄の設置状況

## 2. 実験手法

**2.1 モデル橋梁の諸元と実験条件** 対象とした橋梁は、図 1 に示す幅員 30m、桁高 3m の二主桁断面を有する。部分模型は縮尺 1/100 とし、長さ 1000mm とした。図 2 に示すように仮設の高欄と端板を取り付けた。風洞実験は清水建設技術研究所の回流式小型風洞にて実施した。測定部は高さ 900mm、幅 1100mm であり、幅 880mm、長さ 1000mm の導流壁を風洞両壁から 30mm 離して設置した。風洞外部に設置したアングルコントローラー兼強制加振装置(清水建設, DW289)により、模型の迎角制御および強制加振を行う。

**2.2 静的空気力測定** 静的空気力測定は表 1 に示す条件で計測を行った。ロードセル(日章電機, LMC-3501A-50N)で支持した模型に作用する空気力を、直流型増幅器(同, DSA-100)を通し、データロガー(Graphtec, GL7000)により計測した。模型に作用する空気力は次式で定義される抗力(Drag)、揚力(Lift)およびモーメント(Moment)の各空気力係数として評価した。

表 1. 静的空気力係数の測定条件

| ケース | 風洞条件 | 迎角          | 風速              |
|-----|------|-------------|-----------------|
| 1   | 一様流  | -15 度～+15 度 | 5.0m/s, 7.5m/s  |
| 2   | 乱流   | (1 度毎で計測)   | 5.0m/s, 10.0m/s |

$$C_D = \frac{Drag}{\frac{1}{2}\rho U^2 DL} \quad C_L = \frac{Lift}{\frac{1}{2}\rho U^2 BL} \quad C_M = \frac{Moment}{\frac{1}{2}\rho U^2 B^2 L} \quad (1)$$

ここに  $C_D$ : 抗力係数,  $C_L$ : 揚力係数,  $C_M$ : モーメント力係数,  $\rho$ : 空気密度,  $U$ : 平均風速,  $B$ : 桁幅,  $D$ : 桁高,  $L$ : 模型の長さである。

**2.3 非定常空気力測定** 非定常空気力の測定は一様流中および乱流中に行った。強制加振装置により鉛直たわみおよびねじれの各一自由度で模型を調和振動させ、橋桁に作用する非定常空気力を測定した。モーターの加振周波数は約 2Hz とし、加振振幅は鉛直たわみで 10mm、ねじれで 2.29 度とした。模型の変位と空気力の位相差測定のため、空気力の計測と合わせてレーザー変位計(キーエンス IL-300)により変位の計測も行った。模型に作用する非定常空気力は、Scanlan<sup>1)</sup>による非定常空気力係数を用いて次式のように定義した。

$$Lift = \rho b^2 \omega_F H_1^* \dot{\eta} + \rho b^3 \omega_F H_2^* \dot{\phi} + \rho b^3 \omega_F^2 H_3^* \phi + \rho b^2 \omega_F^2 H_4^* \eta \quad (2)$$

$$Moment = \rho b^3 \omega_F A_1^* \dot{\eta} + \rho b^4 \omega_F A_2^* \dot{\phi} + \rho b^4 \omega_F^2 A_3^* \phi + \rho b^3 \omega_F^2 A_4^* \eta \quad (3)$$

キーワード 静的空気力, 非定常空気力, ガスト応答, 強制加振, 斜張橋

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 社会システム技術センター TEL 03-3820-6989

ここで,  $H_1^* \sim H_4^*$ ,  $A_1^* \sim A_4^*$ : 非定常空気力係数,  $\rho$ : 空気密度,  $b$ : 半幅員 ( $=B/2$ ),  $\omega_F$ : 加振円振動数,  $\eta$ : 鉛直たわみ変位,  $\phi$ : ねじれ変位である.

### 3. 実験結果

**3.1 気流条件** 各空気力測定は一樣流中および格子乱流中にて実施した. 一樣流中および乱流中の主流方向成分の乱れ強度はそれぞれ 1.0%以下, 11.0%であり, 模型位置において空間的に概ね一樣な分布となること, および乱流性状に対するレイノルズ数依存性がないことを確認した. 図3に実スケールに換算した変動風速のパワースペクトルを示す. 主流成分および鉛直成分のパワースペクトル形状は ESDU74031<sup>2)</sup>のスペクトルとよく一致した.

**3.2 静的空気力係数** 一樣流中および乱流中での静的空気力係数の測定結果を図4に示す. 各空気力係数は風速によらずほぼ一致し, レイノルズ数効果は確認されなかった. 揚力係数勾配は一樣流中で 10.24, 乱流中で 7.88 であった. 平板の揚力係数勾配は  $2\pi$  であることが知られており<sup>3)</sup>, 平板より大きな揚力係数勾配となった.

**3.3 非定常空気力係数** 一樣流中および乱流中での非定常空気力係数の測定結果を図5および図6にそれぞれ示す. 一樣流中では  $A_2^*$ が低風速域で正となることが確認された. 一方, 乱流中では  $A_2^*$ は0付近でほぼ一定であり, 一樣流中と比較して小さな値となった.  $A_2^*$ はねじれ空力減衰として作用することから, 少なくとも一樣流中では低風速域でねじれフラッターが発生することが懸念される. 一方, 鉛直ガスト応答において空力減衰項として作用する  $H_1^*$ の絶対値は一樣流中と比較して乱流中の方が小さな値となった. ガスト応答解析の空力減衰の評価に一樣流中の非定常空気力係数を用いた場合には, 空力減衰の過大評価となる可能性があり注意を要する.

**4. まとめ** ガスト応答解析により架設時長大 PC 斜張橋のガスト応答を評価するため, 一樣流中および乱流中において静的空気力係数と非定常空気力係数を測定した. 揚力係数勾配は平板と比較して大きな値となることが確認された. 乱流中の  $H_1^*$ の絶対値は一樣流中と比較して小さな値となることが確認された.

**参考文献** 1) Scanlan&Tomko, Airfoil and Bridge Deck Flutter Derivatives, J. of the Engineering Mechanics Division, 1971. 2) ESDU74031, Characteristics of Atmospheric Turbulence near the Ground, 1974. 3) Fung, An Introduction to the Theory of Aeroelasticity, 1955.

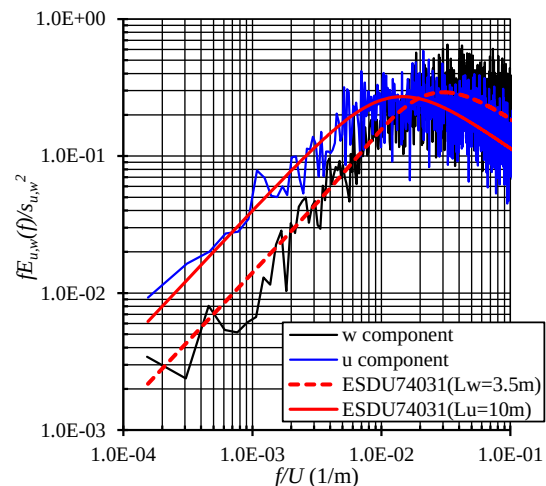


図3. 変動風速のパワースペクトル

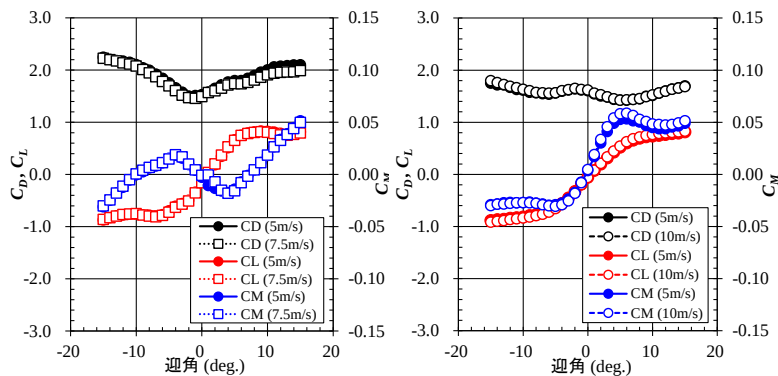


図4. 静的空気力係数 (左: 一樣流, 右: 乱流)

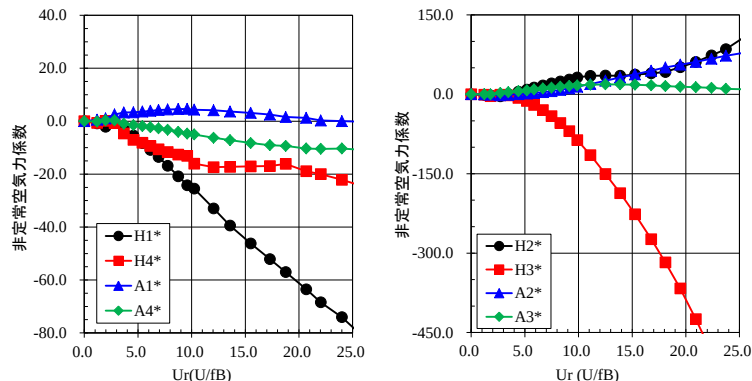


図5. 一樣流中の非定常空気力係数

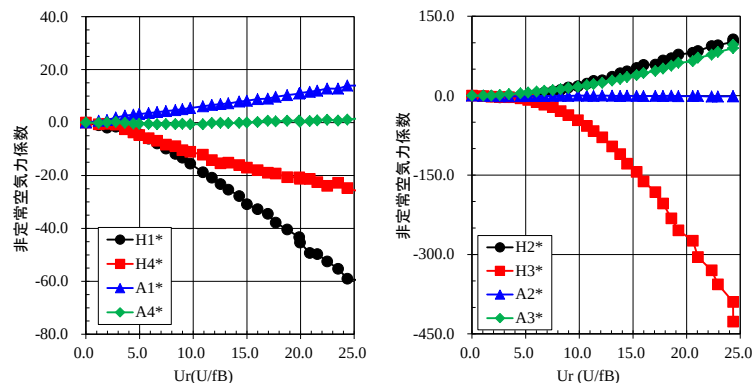


図6. 乱流中の非定常空気力係数