

◎大嶋拓也 (新潟大・工), 関根秀久, 寺尾道仁 (神奈川大・工)

## 1 はじめに

気流中の柱状物体から発生する空力騒音数値予測について, 既報 [1] で物体スパン方向の一部の数値解析結果からの全体放射音圧推定法を提案した. 本推定法においてはスパン方向二点間の物体表面変動圧力のコヒーレンス実部が二点間距離に対してガウス分布関数に従うと仮定されている. 実現象における本仮定の妥当性および数値解析における再現性の検討を目的として, 同一のレイノルズ数における風洞実験および数値解析を行った.

## 2 実験および解析方法

**理論** 柱状物体周り流れによる物体表面からの空力音の強度は, 物体表面上のスパン方向に  $\xi$  離れた 2 点  $x_3$ ,  $x_3 + \xi$  間のある周波数における複素変動圧力  $p(x_3)$ ,  $p(x_3 + \xi)$  のコヒーレンス関数  $\mu(x_3, x_3 + \xi)$  のスパン方向平均値  $\gamma(\xi)$  実部から算出される (詳細は文献 [1] 参照).

$$\gamma(\xi) = \frac{1}{a - \xi} \int_{-a/2}^{a/2 - \xi} \mu(x_3, x_3 + \xi) dx_3, \quad (1)$$

$$\mu(x_3, x_3 + \xi) = \frac{\langle p^*(x_3)p(x_3 + \xi) \rangle}{\sqrt{\langle |p(x_3)|^2 \rangle} \sqrt{\langle |p(x_3 + \xi)|^2 \rangle}}. \quad (2)$$

$a$ : 測定・解析部スパン,  $\langle \rangle$ : アンサンブル平均  
 $\gamma(\xi)$  をガウス分布  $e^{-\frac{\xi^2}{2l^2}}$  に適合させたとき, 推定された  $l$  の値を変動圧力の相関長さとして定義する.

**実験方法** Fig. 1 に吹き出し口・試験体周辺の模式図および試験体詳細を示す. 文献 [2] を参考に, 主流に対し迎え角  $0^\circ$  に設置した断面辺長  $L = 14\text{mm}$ , 長さ  $500\text{mm}$  のアルミニウム製正方形断面角柱の主流と平行な面に, スパン方向に  $7\text{mm}$  ( $0.5L$ ) 間隔で直径  $1\text{mm}$  の表面圧力検出口を 12 箇所設け, それぞれの検出口の変動圧力を試験体内のマイクにより検出する. 吹き出し口風速  $U$  は  $7\text{m/s}$  とした. なお 12 点の圧力検出口では Eq. (1) のスパン方向平均を有効に行うには不足であるため,  $\mu(x_3, x_3 + \xi)$  の  $x_3$  に対するエルゴード性を仮定し Fig. 1b の左端圧力検出点を基準とする  $\mu(x_3, x_3 + \xi)$  を  $\gamma(\xi)$  として扱った [3].  
**数値解析方法** 実験における  $U$  および  $L$  に対応するレイノルズ数  $Re = 6.47 \times 10^3$  の角柱周り流れの標準 Smagorinsky モデル LES による流体解析を行なった. 解析手法および解析条件は既報 [4] および Fig.

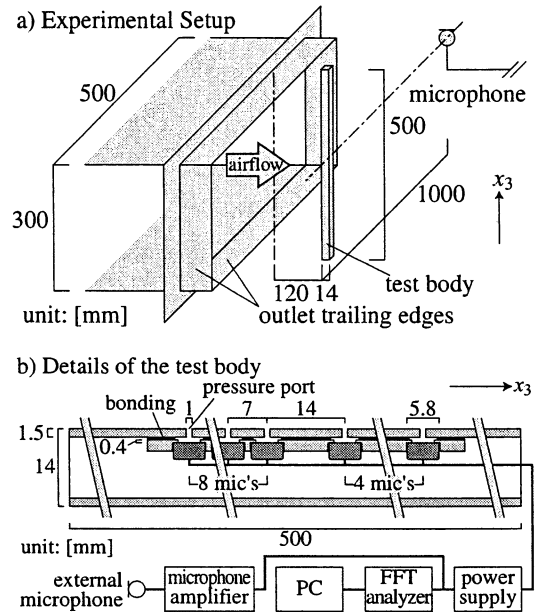


Fig. 1: a) Schematic diagram of experimental setup and b) details of the test body.

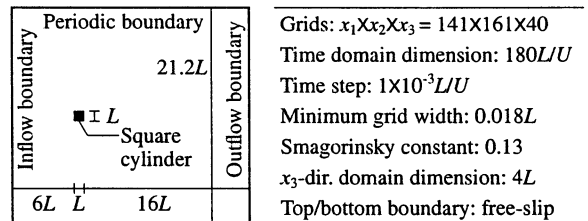


Fig. 2: Geometry of computational domain (left) and computational conditions (right).

2 に示す. 変動圧力  $p(x_3)$  には検出口径内の 3 格子点の平均値を用いた. 数値解析においては Eq. (2) のアンサンブル平均を時間方向に行なう解析時間ステップ数の確保が困難であるため, 流れ場の時空間的な統計的一様性を仮定して  $x_3$  方向にアンサンブル平均操作を行い Eq. (1) の平均操作を省略した.

## 3 結果

**コヒーレンス関数実部** Fig. 3a にはスパン方向距離  $\xi$  の  $L$  による基準化値  $\xi/L$  およびストローハル数  $St$  に対して  $\gamma$  の実部  $\text{Re}(\gamma)$  の実験値をプロットした. 全ての周波数で  $\xi/L$  の増大に伴い  $\text{Re}(\gamma)$  が減少している. また  $St = 0.122$  において Kármán 周波数

\*Investigation on coherence of surface pressure on a cylindrical body for prediction of aeroacoustic noise: comparison between computational and experimental data

OSHIMA Takuya (Fac. of Eng., Niigata Univ.), SEKINE Hidehisa, TERAOKA Michihito (Fac. of Eng., Kanagawa Univ.)

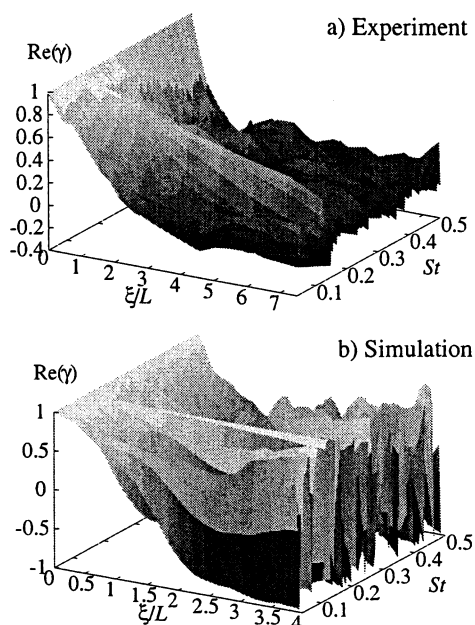


Fig. 3:  $\text{Re}(\gamma)$  versus  $\xi/L$  and  $St$  (note the differences in scalings of  $\xi/L$ - and  $\text{Re}(\gamma)$ -axes).

に対応する強い相関が見られる。一方, Fig. 3b に示す数値解析結果では, 概ね  $\xi/L \leq 2$  の領域では実験結果と同様な  $\xi/L$  の増大に伴う  $\text{Re}(\gamma)$  の減少が見られるものの, アンサンブル平均回数が特に減少する  $\xi/L > 2$  の領域では不安定な振動となっている。ただし Kármán 周波数に対応する  $St = 0.139$  においては  $\xi$  の全域にわたって強い相関が見られる。

**ガウス分布に対する適合結果** Fig. 4 には Kármán 周波数とその倍音および  $St = 0.5$  における  $\text{Re}(\gamma)$ , および非線形最小二乗法により  $\text{Re}(\gamma)$  に最も良く適合するよう推定された相関長さ  $l$  によるガウス分布の関数形を  $\xi/L$  に対してプロットした。数値解析については上記の  $\gamma$  の振動の問題から,  $\xi/L \leq 2$  の領域のみを推定に使用した。推定された  $l/L$  の値も図中に示す。Kármán 周波数の倍音においては実験および解析ともガウス分布と若干異なる結果となったが, その他は実験・解析ともに, ガウス分布の関数形とよく一致している。しかしながらカルマン周波数におけるピークは実験値で  $l/L = 4.92$  に対し数値解析では 19.8 となり, 数値解析の方が実験値より非常に相関が強い結果となった。原因としては数値解析では主流が完全な一様流であったのに対し実験では速度変動が含まれること, 数値解析は上下端が free-slip 境界条件により閉じられているのに対し実験ではオープンであるためスパン方向の速度乱れ成分が生じやすいことが考えられる。

**相関長さ** Fig. 5 には Fig. 4 と同様にして推定された  $l/L$  の値をストローハル数に対して示す。Kármán

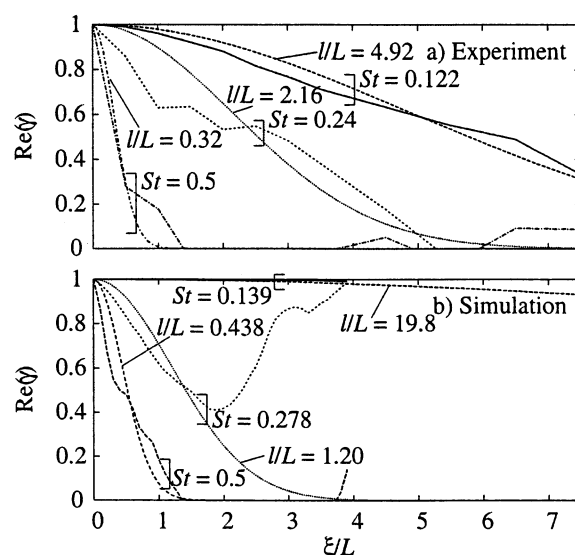


Fig. 4:  $\text{Re}(\gamma)$  plotted against  $\xi/L$  at representative Strouhal numbers and their curve-fitted Gaussian functions. Estimated values of  $l/L$  are indicated in the figure.

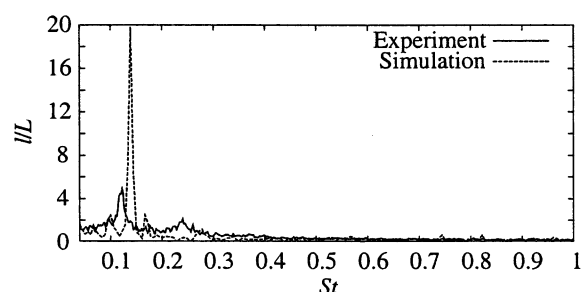


Fig. 5: Comparison of coherent lengths between experiment and simulation.

周波数以外では実験および解析ともに  $l/L$  が概ね 1 以下となりよく一致している。

#### 4 まとめ

柱状物体周り流れによる物体表面変動圧力のスパン方向のコヒーレンスに関して, 同一レイノルズ数での風洞実験および数値解析により比較検討した。コヒーレンス関数のスパン方向平均値についてはピークストローハル数が両者間で概ね一致し, スパン方向の 2 点間距離に対してガウス分布の仮定が概ね妥当と確認された。しかしながら相関長さの推定結果には Kármán 周波数で大幅な差が見られ, その原因についてはさらなる検討が必要である。

謝辞 神奈川大学 2002 年度卒論生・丸橋豊志君の協力に感謝する。  
参考文献 [1] 大嶋拓也ほか, 日本音響学会 (秋季) 講演集 II, pp. 783–784, 2001. [2] 飯田明由ほか, 日本機械学会論文集 (B 編), 61-592, pp. 4371–4378, 1995. [3] 日野幹雄, スペクトル解析, 朝倉書店, p. 79, 1977. [4] T. Oshima et al., Proc. inter.noise 2000, Volume 4, pp. 2359–2362, 2000.