

## 1 はじめに

気流中の柱状物体から発生する空力音の数値予測について、既報 [1,2] 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、モデル化の妥当性を示した。一方、同様な目的の推定法として加藤らによる式 [3] が提案されている。本報では実験解析によって筆者らの提案式および加藤らの式による推定精度の比較を行う。

## 2 推定手法

**提案式** 周波数  $f$  における角柱状物体表面にかかる変動圧力と物体表面の単位法線ベクトルの積  $P$  を音源とする受音点音圧  $p(x)$  は以下となる [1]。

$$\langle |p(x)|^2 \rangle = \left( \frac{fL}{2c_0 r^2} x_i \right)^2 \langle |P_i|^2 \rangle > h(b, l_i), \quad (1)$$

$$h(b, l_i) = 2l_i^2 \left( e^{-\frac{b^2}{2l_i^2}} - 1 \right) + \sqrt{2\pi} b l_i \operatorname{Erf} \left( \frac{b}{\sqrt{2} l_i} \right)$$

ただし、 $\langle \rangle$ : アンサンブル平均,  $i$ : 空間座標の3成分,  $x$ : 音源代表点を原点とする受音点位置,  $b$ : 全スパン,  $c_0$ : 音速,  $L$ : 断面辺長,  $l_i$ :  $P_i$  の相関長さ,  $r = |x|$  である。  $l_i$  は解析スパン  $a$  内のスパン方向2点間の周波数  $f$  における  $P_i$  のコヒーレンス実部  $\operatorname{Re}(\gamma)$  から、既報 [1] の手法により推定する。

**加藤らの式** まず  $|\gamma|$  が 0.5 となる距離を等価相関長  $L_C$  とする。解析スパン全域で  $|\gamma|$  が 0.5 を超える場合は、スパン方向距離に対する直線的な減衰を仮定し、補外により  $L_C$  を求める。さらに次式によって受音点における音圧レベル  $\operatorname{SPL}(f)$  を算出する。

$$\operatorname{SPL}(f) = \operatorname{SPL}_s(f) + \begin{cases} 10 \log_{10}(b/a) & (L_C \leq a) \\ 20 \log_{10}(L_C/a) & (a \leq L_C \leq b) \\ 20 \log_{10}(b/a) & (b \leq L_C) \end{cases} \quad (2)$$

ここで  $\operatorname{SPL}_s(f)$  は、解析領域の圧力変動から Curle の式により直接求められる音圧レベルである。

## 3 実験方法

数値解析では計算機資源の制約上全スパン  $b$  の確保が困難なため、実験解析により両手法の比較を行った。

Fig. 1 に低騒音風洞吹出し口・試験体周辺の模式図および試験体詳細を示す。マイク付きの圧力検出口を設けた  $L = 14$  mm の正方形断面角柱試験体を

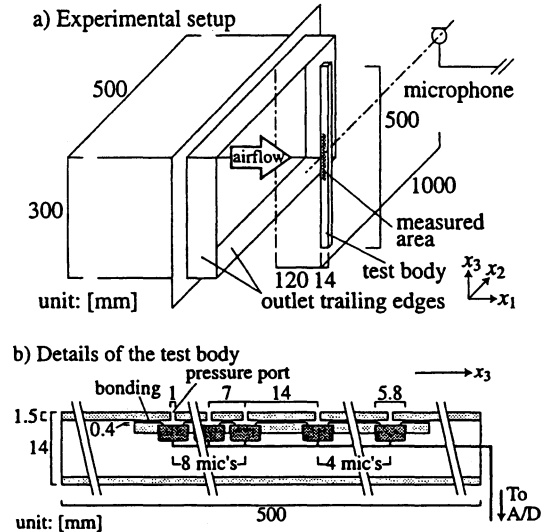


Fig. 1: a) Schematic diagram of experimental setup and b) details of the test body.

迎え角  $0^\circ$  に設置し、受音点を角柱中心から  $x_2$  方向に 1 m の点に設けた。本受音点の音圧に寄与する  $x_2$  軸に垂直な面上の変動圧力を測定した。受音点音圧推定には対向面上の変動圧力とのコヒーレンスも考慮する必要があるが、モデル化および実験上の煩雑さを避けるため完全逆相関を仮定した。スパン  $b$  は吹出し口高さの  $0.3$  m ( $= 21.4L$ )、吹出し口風速  $U$  は  $7$  m/s (レイノルズ数  $Re = 6.47 \times 10^3$ ) とした。

## 4 結果

**両式の比較** Fig. 2 には受音点音圧の実測値, Eq. (1) による推定値, および Eq. (2) による推定値を示す。両式ともにストローハル数  $S_t = 0.12$  の Kármán 周波数付近では実測値より低く、高周波域では高く推定する傾向にあるが、Kármán 周波数の倍音付近を除けば提案式の方が実測値に近い。

提案式で高周波域に散見されるディップの一つである、 $S_t = 0.8$  におけるスパン方向距離  $\xi$  に対するコヒーレンスの実測値およびパラメータ推定値を Fig. 3 に示す。直近 (図中 ↑ 印) の圧力検出口間のコヒーレンス実部  $\operatorname{Re}(\gamma)$  が負となった場合、非常に短い  $l_2$  が推定されることがディップの原因とわかる。

**解析スパンによる推定値の変動** 圧力変動検出マイクのチャンネル数を変更することで、 $a$  を  $1.5L$  および  $7.5L$  とした場合の音圧レベル推定値の変化を Fig. 4 に示す。加藤らの式では  $a$  の値によって推定値が変

\*Total sound pressure estimation technique for aeroacoustic sound radiation problem from a cylindrical body: comparison against Kato's technique by experimental analysis.

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

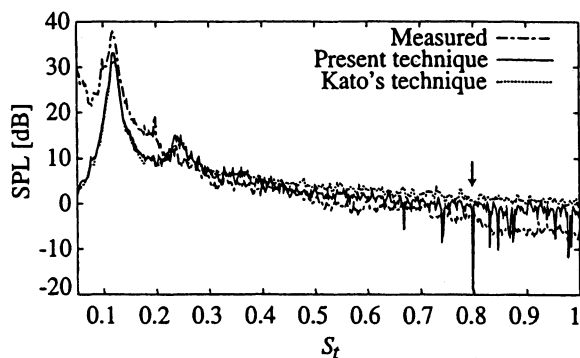


Fig. 2: SPLs estimated by the present technique and Kato's technique ( $a = 7.5L$ ).

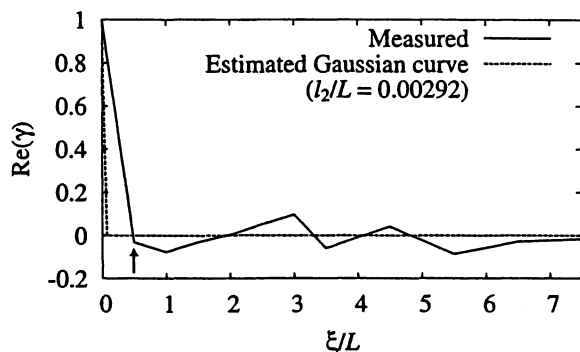


Fig. 3: Measured  $Re(\gamma)$  and its curve-fitted Gaussian function at  $St = 0.8$  (indicated by ↓ in Fig. 2).

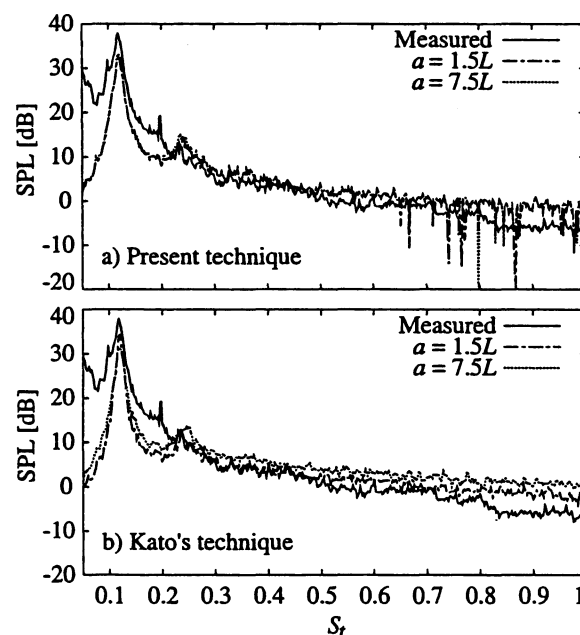


Fig. 4: Comparisons of estimated SPLs by the present and Kato's techniques against different  $a$ .

動するのに対し、提案式では Kármán 周波数付近での 1 dB 程度の変動を除き、ほぼ同一の結果が得られている。すなわち、数値流体解析において正確な圧力変動が得られれば、短い解析スパンでも良い推定値が得られることを示している。

加藤らの式による音圧レベル推定値は、 $a$  の減少に伴い Kármán 周波数付近で増加する傾向にある。こ

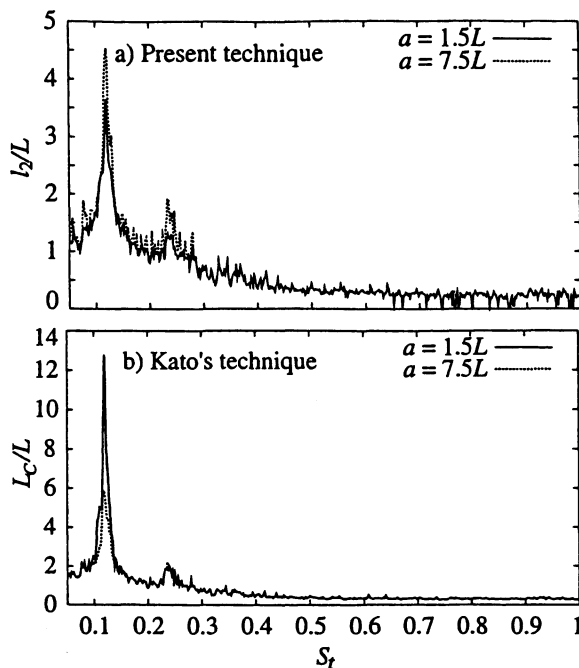


Fig. 5: Comparisons of estimated coherent lengths by the present and Kato's techniques against different  $a$  (note the difference in vertical scales).

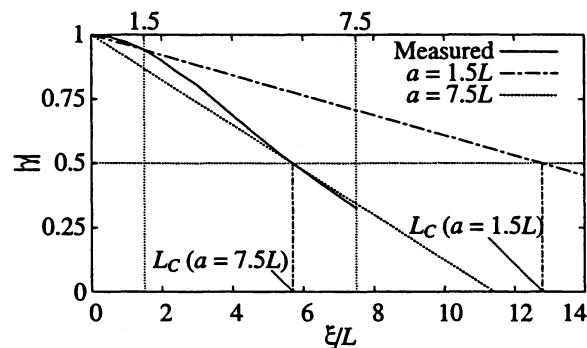


Fig. 6: Estimated  $|\gamma|$  by Kato's technique when  $a = 1.5L$  and  $a = 7.5L$ .

れは Fig. 5b に示すように、 $a = 1.5L$  時に Kármán 周波数付近で  $L_C$  の推定値が大幅に増加するためと説明される。それに対し提案式で推定される  $l_2$  (Fig. 5a) は、やや低下するものの変動幅は小さい。

Fig. 6 には Kármán 周波数における  $\xi$  に対する  $|\gamma|$  の推定結果を示す。  $|\gamma|$  の実測値は  $\xi/L$  が 0 に近い領域ではほとんど減衰しないため、 $a = 1.5L$  時は  $L_C$  を過大に見積ることがわかる。

## 5 まとめ

提案式と加藤らの式を比較した結果、本提案式は高周波域でディップを生じやすい傾向があるものの、全般的には高精度かつ解析スパンの変動に対しても安定した推定結果となった。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金の援助により行われた。  
参考文献 [1] 大嶋拓也ほか, 日本音響学会 (春季) 講論集 II, pp. 873-874, 2003. [2] 大嶋拓也ほか, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, pp. 27-28, 2003. [3] 加藤千幸ほか, 日本機械学会論文集 (B 編), 60-569, pp. 126-132, 1994.