

正方形角柱から発生する空気力と空力音の数値予測

東京大学大学院工学系研究科 学生員 浅川 匡
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 石原 孟
 東京大学大学院工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1. はじめに

橋梁の高欄，送電線等から発生する空力音が時として騒音問題となるが，その対策は試行錯誤的に取られているのが現状である．本研究では構造部材における空力音の発生メカニズムを解明するために広く用いられている正方形角柱を対象とし，迎角を変化させて数値流体計算を行い，正方形角柱に作用する風圧及び空気力を調べ，風洞実験と一致する結果を得た．また空力音の音圧を Curle の式から計算し，これに実験から得られた相関長²⁾を考慮することにより，空力音の定量的な評価を可能にした．

2. 解析方法

本研究では空間的なフィルタリング操作を施した非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を用いて LES 解析を行った．乱流モデルは Smagorinsky 型の渦粘性モデルを採用し，モデル定数は $C_s = 0.032$ とした．数値解析手法は SIMPLE 解法に基づく有限体積法を用いた．時間方向には 2 次精度の陰解法を用い，空間方向には 2 次精度の中心差分により離散化した．タイムステップは変動揚力の周期の 100 分の 1 とした．解析は断面一辺 $D = 1$ cm，高さ $H = 1$ cm の正方形角柱を対象とし，解析領域は一辺 $60D$ の正方形とした．流入口には風速 15m/s の一様流，角柱表面には壁関数，流出口には自由流出，それ以外の境界には slip 条件を設定した．メッシュ分割については，正方形一辺は隅角部が細くなるように 60 分割，スパン方向には 20 分割，半径方向には角柱表面近傍が細くなるように 120 分割とした．総メッシュ数は約 58 万である．

3. 解析結果

3.1 空気力の計算結果

図 1 と図 2 は迎角 0° と 13° における角柱表面の圧力係数の分布を示す．比較のために西村と谷池の実験結果³⁾を用いた．計算結果は迎角 0° と 13° 共に実験

結果に一致している．特に迎角 13° では $x/B = 1 \sim 2$ の側面では流れの再付着による圧力の回復が再現されている．図 3 には平均揚力と抗力係数の計算結果を示す． C_l と C_d 共に実験結果⁴⁾と良く一致している．

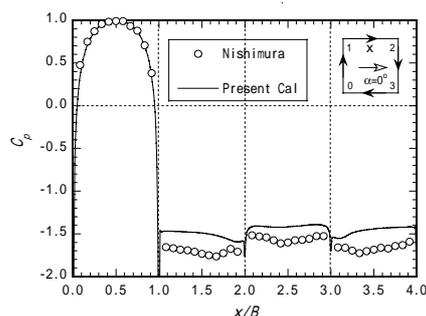


図 1 迎角 0° における平均圧力係数の分布

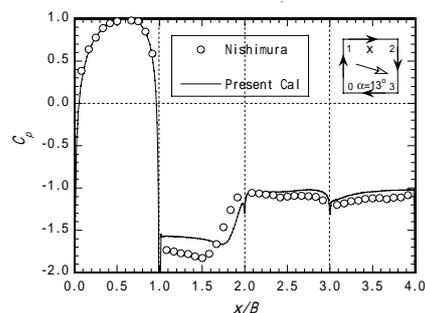


図 2 迎角 13° における平均圧力係数の分布

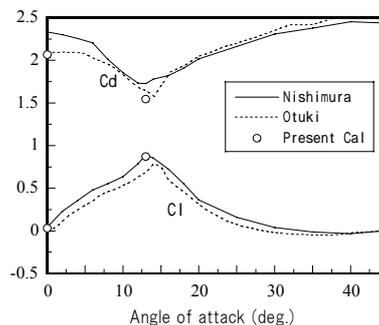


図 3 平均揚力と抗力係数の風向による変化

図 4 と図 5 には，角柱表面の変動圧力の分布を示す．迎角 0° の計算結果は実験結果によく一致しているのに対して迎角 13° 場合は，再付着点付近の値が実験値より大きくなっており，今後更に詳しく調べる必要が

キーワード：風圧，空気力，空力音，LES，角柱

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6096 FAX 03-5841-7454

ある．図 6 と図 7 にはには変動揚力と抗力係数及びストローハル数の計算結果を示す． C_l' と C_d' 及び S_l の計算結果が実験値と良く一致している．特に迎角 13° における変動揚力の急激な減少及びストローハル数の急激な増加が良く再現されている

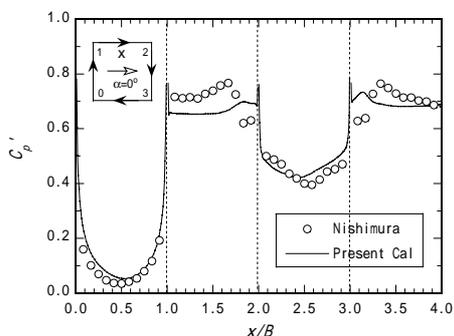


図 4 迎角 0° における変動圧力係数の分布

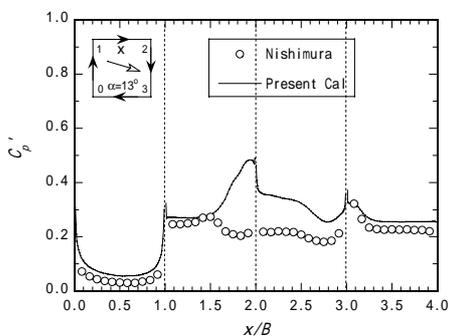


図 5 迎角 13° における変動圧力係数の分布

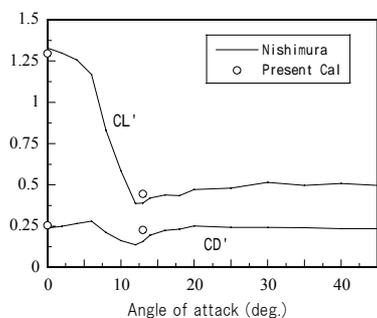


図 6 変動揚力と抗力係数の風向による変化

3.2 空力音の計算結果

次に変動揚力の計算結果から Curle の式により空力音を求める．比較のために中藤の実験結果²⁾を用いた．本研究では計算モデルの高さが 1cm であるのに対して，実験モデルの高さが 180cm であり，その比は 180 倍である．比較のために本研究ではまず，計算モデルの長さにおける音圧を，相関長に対して完全相関と仮定して相関長における音圧に 1 度変換した後，更に相関長を

模型長さに対して完全無相関と考え模型長さにおける音圧に変換した．図 8 に音圧の時系列データの比較を示す．実験値²⁾と良く一致していることが分かる．

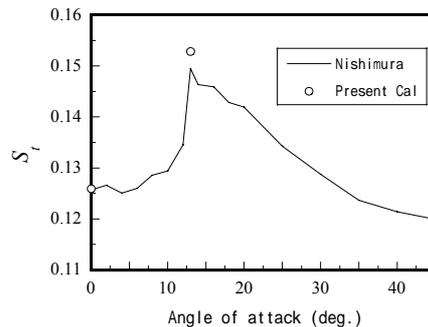


図 7 ストローハル数の風向による変化

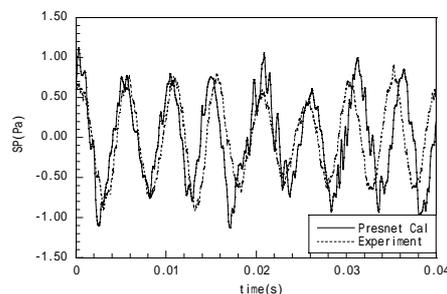


図 8 音圧の時系列データの比較

4. まとめ

本研究では Smagorinsky モデルを用いた LES により正方形角柱から発生する空気力と空力音に関する数値シミュレーションを行い，以下の結論を得た．

- 1) 正方形角柱に作用する風圧及び空気力の数値解析の結果は風洞実験結果とよく一致した．
 - 2) 変動揚力の計算結果から相関長を考慮することにより空力音を定量的に評価することを可能にした．
- 今回空力音の予測では実験結果の相関長を用いたが，今後数値計算例を増やすと共に，相関長を計算できるようにスパン方向に長い解析を行っていく予定である．

参考文献

1) 浅川匡，“正方形角柱から発生する空気力と空力音の数値予測”，東京大学工学部卒業論文，(2001)． 2) 中藤誠二，“矩形柱周りの流れ場と発生する空力音の特性”，東京大学工学系研究科博士論文，(2000)． 3) 西村宏昭，谷池義人，“二次元静止正方形角柱の変動空気力特性”，第 16 回風工学シンポジウム，p255-260，(2000)． 4) 大築志夫，藤井邦雄，鷲津久一郎，大屋昭男，“一様流中におかれた 2 次元静止矩形柱の空気力 3 分力特性と圧力分布について”，第 5 回構造物の耐風性に関するシンポジウム，p169-176，(1978)．