

断面辺長比を変化させた時の角柱まわりの流れの構造の検討

○中央大学 学生員 鈴木宏之 中央大学 正会員 平野廣和
八戸高専 正会員 丸岡 晃 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

角柱まわりの流れについては、多くの研究がなされており、辺長比が変化した場合、ストローハル数が辺長比 2.8 付近¹⁾及び辺長比 6.0 近傍²⁾にて不連続的に変化することが指摘されている。また、辺長比 2.8 付近のストローハル数のジャンプの機構については、辺長比 2.0~3.0 において、同時に 2 つのストローハル数が観察され、低周波成分と高周波成分のスペクトルが徐々に入れ替わることでストローハル数の跳びが生じると論じられている。³⁾

そこで、本研究では、辺長比 0.5~4.0 の断面を 3 次元解析することで、ストローハル数が低周波成分と高周波成分のスペクトルが徐々に入れ替わることを確認し、さらに辺長比 2.8 における不安定な流れの構造の把握を目的とする。

2. 解析概要

本数値流体解析には、著者ら⁴⁾が提案している IBTD/FS 有限要素法を適用し、乱流モデルには LES の 1 つの手法である Smagorinsky SGS モデルを採用する。

(a) 支配方程式

構造物周りの風の流れは、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式で以下のように表す。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u + \nabla p - \nu \nabla^2 u = f \quad \text{in } \Omega \quad \dots(1)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad \text{in } \Omega \quad \dots(2)$$

ここで、 u : 流速, t : 時間, f : 外力, p : 圧力, ν : 動粘性係数を表す。

(b) 解析条件及び境界条件

図-1 に解析領域を示し、表-1 に各断面モデル毎の要素分割数を示す。境界条件には、流入境界 Γ_1 で無次元流速である一様流速 1.0, 流出境界 Γ_2 では移流境界条件とする。また、側方 Γ_3 で slip, 物体周り Γ_4 で no-slip とし、断面軸方向の境界 Γ_5 は周期境界条件を用いている。またレイノルズ数 $Re=10^4$ とする。

3. 解析結果

(a) 辺長比毎のストローハル数

図-2 に辺長比 0.5 から 4.0 まで変化させた時の角柱のストローハル数の本解析結果と既往の実験値と解析値を示す。既往の結果と比較すると、ほぼ同様な値が得られ、精度の良い解析結果となっている。ここで、辺長比 0.5~3.0 の低周波側のストローハル数と辺長比 2.6~4.0 の高周波側のストローハル数に関して、それぞれが図-2 に示す近似直線上に値がほぼ分布していることがわかる。

(b) 辺長比 2.8 付近でのストローハル数の遷移

図-3 に辺長比 2.0~3.5 の揚力に対してのスペクトル解析を行った結果を示す。辺長比 2.0 では、安定した

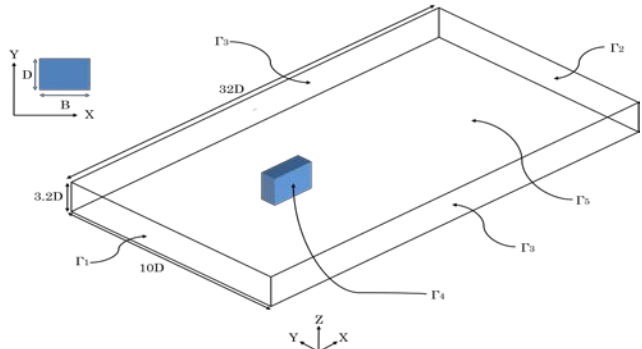


図-1 解析領域

表-1 物体周りの分割数及び節点数

モデル	辺長比	x方向分割数	y方向分割数	z方向分割数	総要素数
①	0.5	50	50	32	20500×32
②	1.0	50	50	32	20500×32
③	1.5	75	50	32	25350×32
④	2.0	100	50	32	30200×32
⑤	2.6	130	50	32	36020×32
⑥	2.8	140	50	32	37960×32
⑦	3.0	150	50	32	39900×32
⑧	3.5	175	50	32	44750×32
⑨	4.0	200	50	32	49600×32

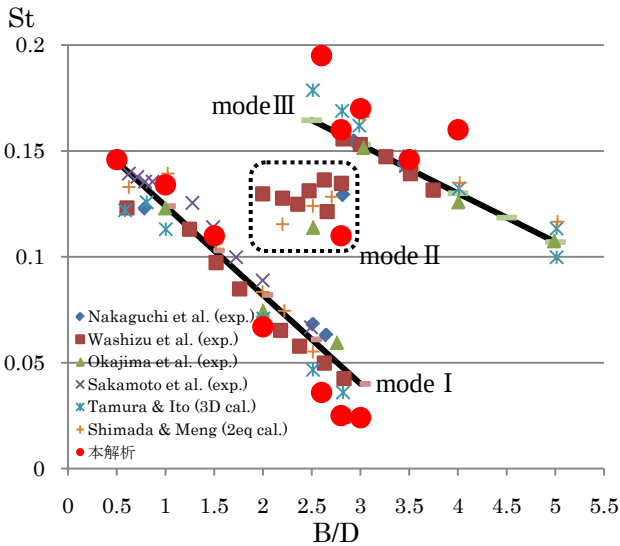


図-2 辺長比毎のストローハル数(既往の結果との比較)

揚力の波形を示しており、一つのスペクトルピークである $St=0.067$ が得られる。これに対して、辺長比 2.6 では、スペクトルに二つのピークがあらわれる。高周波成分側のスペクトルが $St=0.195$, 低周波成分のスペクトルが $St=0.036$ を示している。ここでは、高周波成分のスペクトルが低周波成分のスペクトルに比べ小さくあらわれている。次に辺長比 2.8 では、スペクトルに三つのピークがあらわれる。低周波成分のスペクトル

ルが $St=0.025$, 高周波成分のスペクトルが $St=0.11, 0.16$ を示しており, どれもほぼ同じ大きさとなっている. 辺長比 3.0 では, スペクトルが二つのピークとなり, 高周波成分のスペクトルが $St=0.17$, 低周波成分のスペクトルが $St=0.024$ を示している. ここでは高周波成分のスペクトルが低周波成分のスペクトルよりも大きな値を示している. そして, 辺長比 3.5 では, 安定した揚力の波形を示しており, 一つのスペクトルピークが $St=0.146$ を示している.

(c) 辺長比 2.8 における流れの構造

辺長比 2.6~3.0 の間において, 低周波成分が卓越する周期と高周波成分が卓越する周期の時間的に含まれる割合が徐々に入れ替わり, かつ, スペクトルピーク値が徐々に入れ替わることが得られた. 特にその入れ替わりの課程で, 辺長比 2.8 において中間に第三のスペクトルのピークが生じており, これが不安定な流れを生じている可能性が高い. ここでは辺長比 2.8 に関して考察を行う.

辺長比 2.8 におけるストローハル数は, 図-2 に示すように, 辺長比 1.0~2.0 の延長線付近の値を示す現象(mode I)とストローハル数 0.12~0.14 近傍の値を示す現象(mode II), そして, 辺長比 3.0~5.0 の延長線付近の値を示す現象(mode III)の 3 つの異なった流れが存在している. これは, 岡島ら⁹⁾が実験により指摘していることと一致している. ここで, mode II の流れの特徴は, mode I や mode III に比べて, 流速変動のspan方向の相関性が低くなることである. 本解析で mode I, mode II と mode III のストローハル数が得られたことは, span方向の流速変動も時間的に変化しており, 3 つの mode に対応するストローハル数を得ることができたと考えられる.

(d) 低周波成分と高周波成分が卓越する流れの相違

図-4 には, 辺長比 2.8 における低周波成分が卓越する流れの周期と高周波成分が卓越する周期の揚力が, 正から負と変わる時の圧力分布図を示す. 2 つの図を比較すると, 最終的な巻き込み渦の大きさに相違が観察される. まず角柱先端(剥離点)で生じる巻き込み渦は, 成長過程において剥離せん断層と巻き込み渦が連なった状態となる. ここでは高周波成分が卓越する流れとなるので剥離せん断層と巻き込み渦の分離が早い. そのため最終的な巻き込み渦は成長しない. これに対して低周波成分が卓越する流れでは, 剥離せん断層と巻き込み渦の分離が遅いため, 巻き込み渦が大きく成長すると考えられる. これら 2 つの剥離せん断層と巻き込み渦の分離の発生する過程が異なる流れが存在することで 2 つのストローハル数が存在すると考えられる.

4. おわりに

本報より, 辺長比 0.5~4.0 の断面を解析することにより, 辺長比 2.0~3.0 において, 低周波と高周波のストローハル数の遷移を再現することができた. そして, 複数周期成分が混在する流れとなる辺長比 2.8 における不安定な流れについては, 剥離せん断層と最終的な巻き込み渦の分離時期が異なることで複数の周期成分が現れると説明付けた.

今後は, span方向の相関性を考慮し, mode I ~ III の流れの構造について検討を行う.

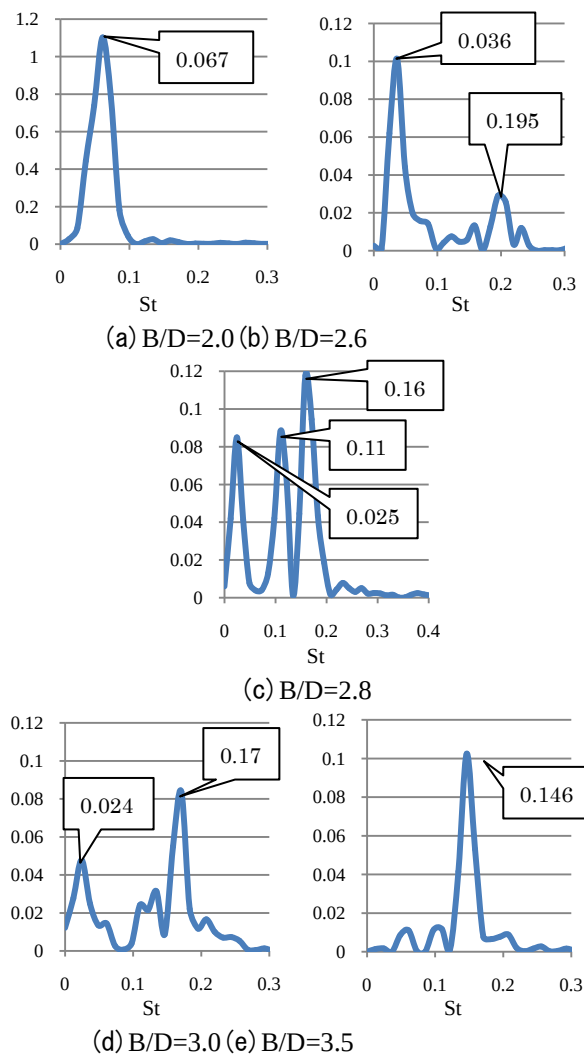


図-3 揚力のスペクトル

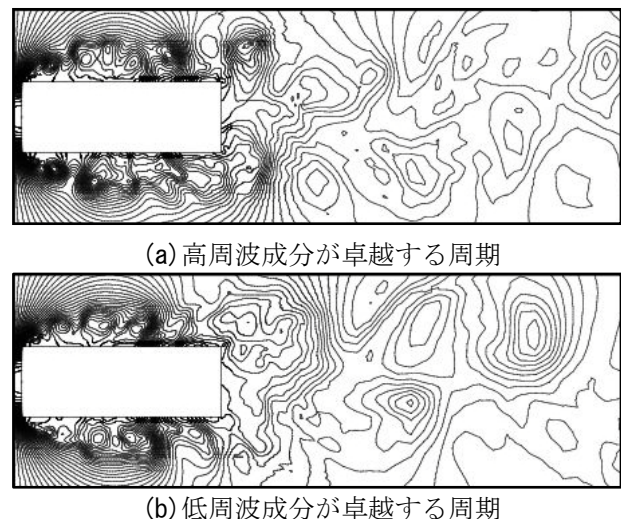


図-4 揚力が正から負へと変わる時の圧力分布

参考文献

- 1) 中口博, 橋本貴久裕, 武藤真理: 矩形断面の柱の抗力に関する実験, 航空学会誌, 16 巻 168 号, pp.1-5(1968)
- 2) 岡島厚: 種々な断面辺長比の矩形柱周りの流れ, 日本風工学会誌, 17 号, pp.1-19(1983)
- 3) 田村哲郎, 伊藤嘉晃: 角柱まわりの流れと空力特性の辺長比による変化, 日本建築学会構造系論文集, 第 486 号(1996)
- 4) 丸岡他: 数値流体解析による断面辺長比 4 の矩形断面の空力応答特性に関する検討, 応用力学論文集 Vol.8, 2005
- 5) 岡島厚, 上野久儀, 易東来, 中村透: 断面比 2-3 の矩形柱周りの流れにおけるレイノルズ数の影響 第 13 回風工学シンポジウム, pp.113-118(1994)