

数値流体解析による断面辺長比 2:1 矩形柱の風の傾斜角による空力特性

中央大学 正員 平野廣和
八戸高専 正員 丸岡 晃

1. はじめに

最近、耐風工学の分野において盛んに数値流体解析の研究が行われるようになってきた。静的空気力を求める問題のみならず、動的な応答を扱って非定常空気力を求める問題や実際の橋梁断面に近い断面を扱った研究も行われている。しかし、剥離・再付着を伴う Bruff な断面での非定常空気力を求める問題では、無次元風速が比較的低い所では風洞実験と一致を見易いが、高風速になるにつれて風洞実験と結果が大きく異なる研究が多く発表されるに至っている。この一つの原因としては、高風速側になるにつれて実質的に静的な問題に近づいて行くので、静的な流れ場及び空気力の迎角変化が忠実に再現できていないことによると考えられる。

そこで、本報では長辺と短辺の長さの比が 0.5 の矩形断面モデルを用い、種々の風の傾斜角の基での静的空力特性に関する数値流体解析を行い、風洞実験¹⁾で得られている結果との比較により流れの場が忠実に再現できる否かを検討するものである。ここで対象とした断面は、風の傾斜角により完全剥離型から再付着型、非定常再付着型へと流れのパターンが変化するなど、剥離点位置が前縁から後縁へと変化する一つの境界も含むものであり、静的空力特性が様々に変化することが指摘されている。

2. 解析条件

図-1 に 2 次元平面の解析領域を示す。断面の長辺が風に対して垂直となる傾斜角を $\beta = 0^\circ$ とし、反時計回りに回転させる方向を正の角度とする。図-2 に傾斜角 $\beta = 23^\circ$ における矩形周辺の要素分割図示す。乱流モデルには、LES における Smagorinsky SGS モデルを適用し、解析手法には有限要素法の解析手法である IBTD/FS 法を適用する。解析に用いた各パラメータを表-1 に示す。計算は 3 次元領域で行い、軸方向長さ $3.2D$ を 64 分割、傾斜角 β は $0^\circ, 20^\circ, 23^\circ, 25^\circ, 27^\circ, 45^\circ, 84^\circ, 88^\circ, 90^\circ$ の 9 ケースを実施した。

表-1 解析パラメータ

Reynolds 数 Re_D	24000
Smagorinsky 定数 C_s	0.1
時間増分 Δt	$0.025D/U$
軸方向分割幅 Δz	$0.05D$
総接点数	11230×64
総要素数	11100×64

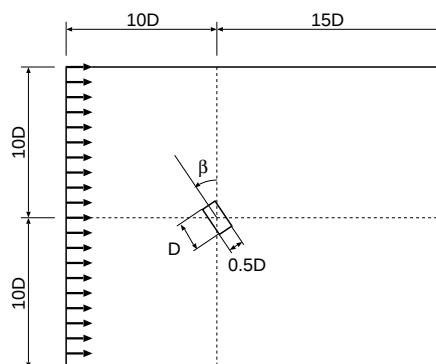


図-1 2次元平面の解析領域

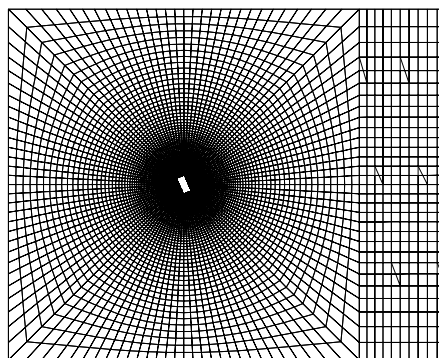


図-2 矩形周辺の要素分割図 ($\beta = 23^\circ$)

3. 解析結果と考察

図-3 は、風洞実験結果と解析結果の抗力係数 C_D の変化の比較を示すものである。 $\beta = 0^\circ \sim 45^\circ$ においては、解析結果の方が値がやや大きく、また $\beta = 80^\circ \sim 90^\circ$ ではやや小さい傾向を示している。図-4 は、風洞実験結果と解析結果の揚力係数 C_L の変化の比較を示すものである。両者の結果に大差は見られない。また、風洞実験で示されている $\beta = 23^\circ$ でのピークを数値解析でも再現している。図-5 は、風洞実験結果と解析結果のストローハル数 St の変化の比較を示すものである。風洞実験結果よりも解析結果の方が若干値が低い傾向を示しているが、解析結果においても風洞実験結果ほど顕著ではないものの $\beta = 23^\circ$ ならびに $\beta = 88^\circ$ 付近での最大・最小のピークを再現できている。ところで、風洞実験結果では $\beta = 88^\circ$ でストローハル数が 2 成分表れたが、解析結果では低い方の成分を再現するのみであった。但し、傾斜角のわずかな変化によりこの付近でのストローハル数の急変を捕らえることができているので、この付近での流れの変化があることを裏付ける結果となっている。図-6 には、 $\beta = 0^\circ$ の C_D の時刻歴を示す。これによると平均値よりも高いモードと、低いモードの両者があり、比較すると高いモードの頻度の方が多いことがわかる。この傾向から、

Key Words: 矩形断面、数値流体解析、静的空気力、傾斜角変化
〒192-0393 八王子市東中野 742-1 TEL & FAX 0426-74-4170

解析結果の方が風洞実験結果よりも C_D の値の方が高くなることになったと推測される。

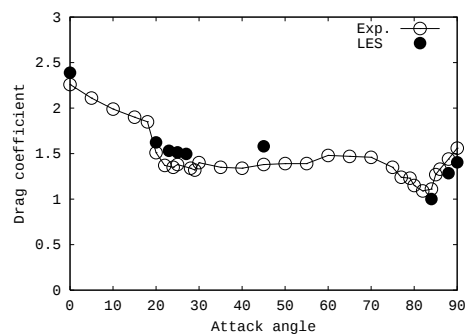


図-3 風洞実験結果と解析結果の抗力係数 C_D の変化の比較

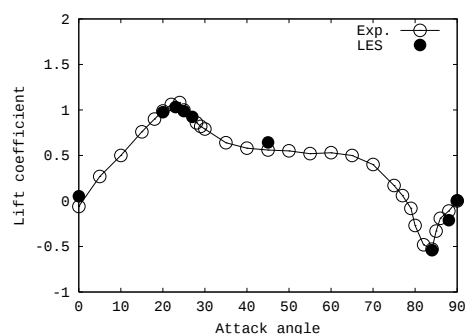


図-4 風洞実験結果と解析結果の揚力係数 C_L の変化の比較

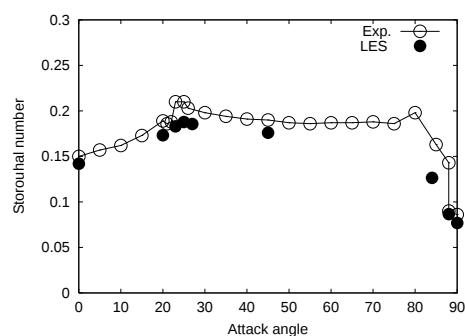


図-5 風洞実験結果と解析結果のストローハル数 S_t の比較

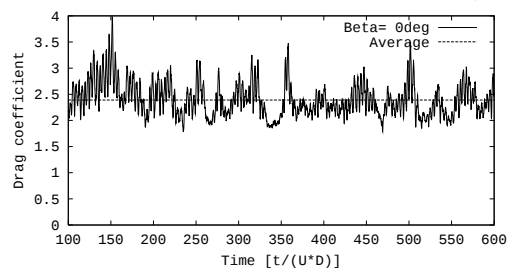


図-6 $\beta=0^\circ$ の抗力係数 C_D の時刻歴

図-7 は、各迎角における時間平均流線。 $\beta = 0^\circ$ では剥離点位置は矩形上部、下部とも前縁端に固定しており、再付着せずに完全剥離の流れの状態となっている。これが $\beta = 23^\circ$ になると、上部では断面前縁から発達した剥離せん断層が、断面後縁部分に再付着している。また下部では前縁で剥離後、大きく離れる傾向を示している。さらに矩形断面上部では流線の間に剥離バブルが見られ、この部分が負圧となっていることから、揚力が $\beta = 23^\circ$ でピークを示すと思われる。 $\beta = 23^\circ \sim 45^\circ$ においては、角度が大きくな

るに従って徐々に剥離バブルが小さくなっていくために負圧が減少し、これにより揚力も小さくなっていくと考えられる。 $\beta = 45^\circ$ となると、上部では流線が矩形上部に付着したままの状態となる形を示している。 $\beta = 45^\circ$ で剥離バブルが無くなり流線が角柱に付着するため、揚力がここで小さくなると推測される。 $\beta = 84^\circ$ になると断面下部では、断面前縁から発達した剥離せん断層が断面後縁部再付着していることがわかる。これは $\beta = 23^\circ$ の断面上部で見られたことと同じ現象である。 $\beta = 90^\circ$ では、剥離点位置が完全に前縁の両端に移動している。 $\beta = 84^\circ$ と $\beta = 90^\circ$ の流れの違いが、ストローハル数のジャンプを生じさせた要因と考えられる。一方、循環領域を見ると、角度が大きくなるに従い、上部の循環領域は徐々に広がっていき、また下部は徐々に狭められていく傾向を示している。

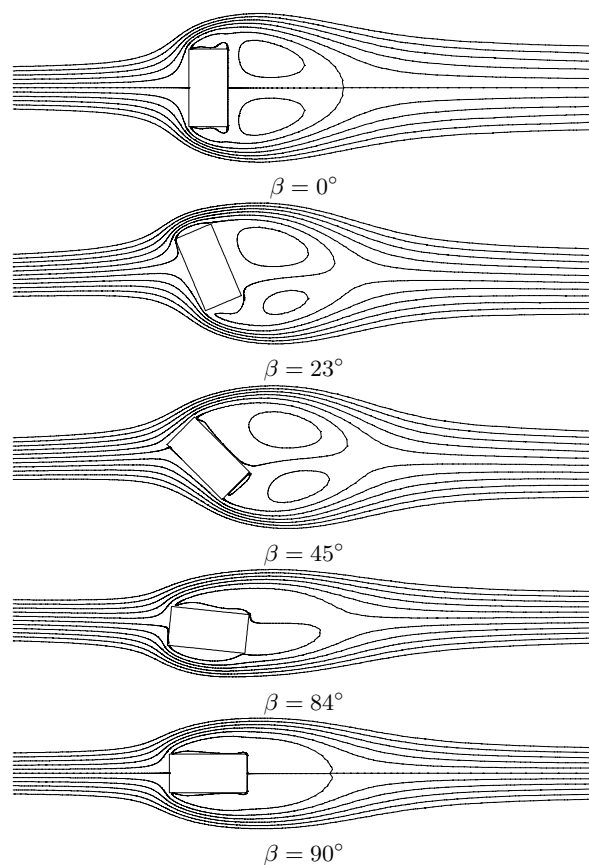


図-7 時間平均流線の変化

4. おわりに

本報では、風の傾斜角の違いにより流れの状態が変化する矩形柱断面の静的空気力特性を数値流体解析によりほぼ再現することができた。詳細な解析を行えば、現象を忠実に再現できることが判った。本研究の一部は、(財) 鹿島学術振興財団の研究助成の給付を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 松本, 白土, 島原, 石崎: 風の傾斜角による断面辺長比 2:1 角柱の空力特性, 第15回風工学シンポジウム, PP.287-292, 1998.