

k- ω SST 乱流モデルを用いた箱桁断面の静的空気力係数導出

東京理科大学 学生会員 ○黒岡 詩織 正会員 金 惠英
フェロー 木村 吉郎

1. 研究目的

土木分野において設計時に CFD の活用が期待されているが、実際の設計に取り入れるためには風洞実験と同等の精度で空気力を評価できることが必須である。本研究では、計算の負荷を軽減するために RANS の k- ω SST モデルを用いた 2 次元解析により箱桁断面の静的空気力係数を算出し、風洞実験結果と比較することで各種計算条件が結果に与える影響について検討する。

2. 実験方法と風力係数の算出

本解析では流体運動を解くにあたり式(1)の質量保存式と式(2)のナビエーストクス方程式を用いる。直交座標系 (x, y, z) を使用し、非圧縮性流体とする。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla(uu) = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2 u \quad (2)$$

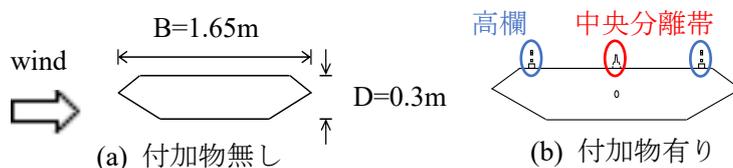
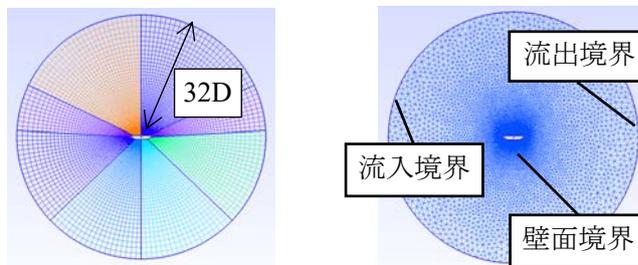


図-1 箱桁断面

p は圧力, ν は動粘性係数, ρ は流体の密度である。図-1(a)に示すように高さ $D=0.3\text{m}$, 幅 $B=1.65\text{m}$ の箱桁断面を対象とし、図-2 に示す半径 $32D$ の円を解析領域とする。迎角は頭上げを正とする。構造格子は半径方向に 95, 周方向に 80 で分割し、非構造格子はプリズム型を用いる。どちらの格子もともに半径方向の進捗率を 1.05 とする。また、レイノルズ数が 2.0×10^4 の流れを考える。境界条件を表-1 のように設定し、非定常解析での時間刻みを 0.001 秒とする。なお、図-1(a)の断面と同じ形状の断面で実施した Šarkić et al.¹⁾による風洞実験結果を用い、圧力測定による結果を比較対象とする。

表-1 境界条件

流入境界	風速 1.0m/s の一様流, 圧力勾配 0
流出境界	速度勾配 0, 圧力を 0 に固定
壁面境界	速度を 0 に固定, 圧力勾配 0



(a)構造格子

(b)非構造格子

図-2 解析領域(2次元)

3. 結果および考察

(1) 構造格子で分割した離散化手法ごとの結果

対象の断面は非定常性の強い流れ場を形成するため、圧力-速度連成手法は PIMPLE 法を用いる。流速と乱流エネルギーを含む移流項の発散の離散化スキームを変化させ、構造格子で分割した断面について静的空気力係数を算出した。スキームは linear(中心差分, 2 次精度), linearUpwind(2 次精度風上差分), upwind(1 次精度風上差分), QUICK(2 次精度), Minmod(2 次精度 TVD), SuperBee(2 次精度 TVD), vanLeer(2 次精度 TVD), vanalbada(2 次精度 TVD),

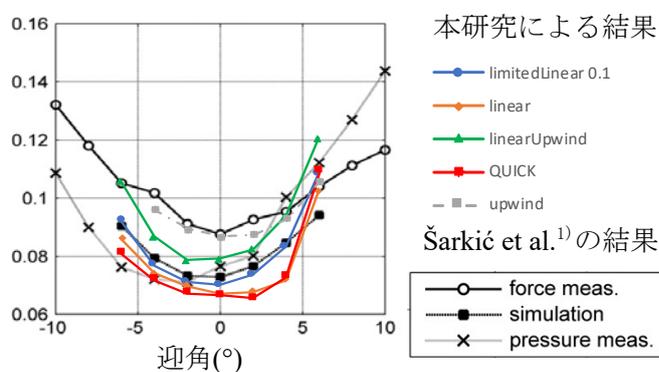


図-3 離散化スキームごとの抗力係数(構造格子)

キーワード k- ω SST 乱流モデル, RANS, CFD, 静的空気力係数, 箱桁断面, 離散化手法

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL 04-7124-1501 FAX 04-7123-9766

UMIST(2次精度 TVD), MUSCL(2次精度 TVD), limitedLinear0.1(線形補間, TVD)の計 11 種類で解析し、すべてのスキームにおいて計算可能であった。図-3 に 5 種類のスキームでの抗力係数結果を示す。数値拡散、数値振動ともに小さな limitedLinear で高い精度の結果が得られた。対して数値拡散の大きなスキームである upwind では低い精度の結果が得られた。

(2) 非構造格子で分割した離散化手法ごとの結果

壁面におけるメッシュサイズを 3 段階で比較した結果を図-4 に示す。壁面でのメッシュサイズが 8mm のとき風洞実験結果と概ね一致した。次にメッシュサイズを固定し、非構造格子で分割した断面について離散化スキームを変化させて解析した。(1)で検討した 11 のスキームのうち図-5 に示す 4 種類のスキームでのみ計算可能であった。これは非構造格子が数値振動の影響を受けやすいことが原因と考えられる。計算が実行できた場合も、構造格子での結果と比較して精度が低い傾向が見られた。非構造格子では linearUpwind を用いた解析において最も高い精度の結果が得られた。

(3) 付加物の有無による抗力係数の比較

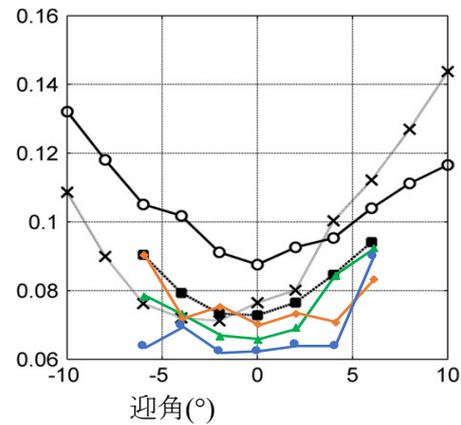
主桁の約 0.5%の断面積の付加物(高欄, 中央分離帯)を加えた図-1(b)の断面について解析する。付加物の有無で抗力係数を比較した結果を図-6 に示す。付加物を加えると迎角が 0°のときに抗力係数が 5 割増加するなど、全ての迎角において値が大きくなった。これは付加物が追加されたことで橋桁の上面の剥離幅が大きくなり、橋桁周りの圧力分布が変化したためであると考えられる。

4. 結論

本研究では RANS の $k-\omega$ SST 乱流モデルを使用して箱桁断面の静的空気力係数を算出した。移流項の離散化スキームやメッシュサイズなど、計算条件の違いが解に影響を及ぼすことを示した。しかし空力特性は断面の形状に依存するため、今後は異なる形状の断面についても検討が必要である。さらに本解析では、主桁の約 0.5%の断面積の付加物を加えた断面についても解析し、細かな付加物も厳密にモデル化する必要があることを示した。

参考文献

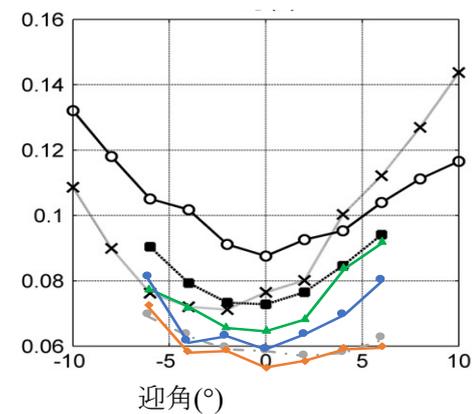
1) Šarkić, A., Fisch, R., Höffer, R. and Bletzinger, K.-U. U. : Bridge flutter derivatives based on computed, validated pressure fields, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 104-106, pp. 141-151, 2



本研究による結果 Šarkić et al.¹⁾の結果



図-4 メッシュサイズごとの抗力係数(非構造格子)



本研究による結果 Šarkić et al.¹⁾の結果



図-5 離散化スキームごとの抗力係数(非構造格子)

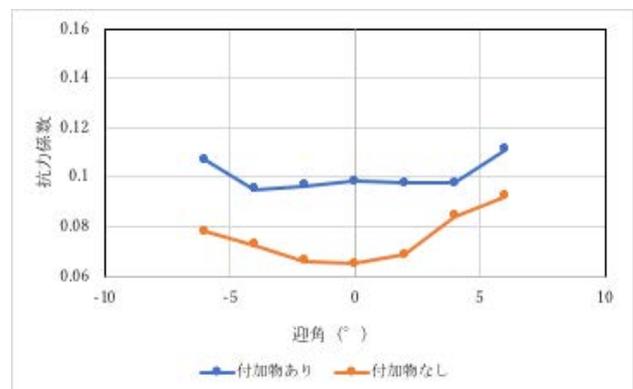


図-6 付加物の有無による抗力係数の比較