

I-1 基本箱桁断面の数値流体解析におけるDESの適用

八戸高専 学生会員 ○佐々木 浩志*
八戸高専 正会員 丸岡晃

1. はじめに

橋梁断面を対象とした数値流体解析は、乱流モデルを用いるのが一般的である。乱流モデルは大きくわけてLES(Large-Eddy Simulation)、RANS(Reynolds Avaraged Navier Stokes equation)にわけられるが、近年、DES(Detached Eddy Simulation)というLESとRANSを組み合わせた新たな乱流モデルが提案された。DESは、RANSとLESの利点を組み合わせたハイブリットモデルであり、それぞれ得意な領域を解析しているため、計算効率を高めることができる。文献¹⁾の平行平板間流れの解析によって、丸岡ら²⁾の開発した既存の解析手法に、DESの解析コードが適切に組み込まれていることが確認された。さらに、文献³⁾ではDESをフェアリング付き矩形断面まわりの流れに適用し、DESの計算パラメーターを調整することでRANSの計算領域を狭めることを試みた。その結果、DESはLESに比べ断面形状による空力特性の変化をより正確にとらえることができた。

そこで本研究では、DESの適用性をより高める目的で、文献³⁾に引き続き、DESの計算パラメーターを調整し種々の乱流モデルと解析結果の比較を行なった。

2. DES

DESは、壁に付着した境界層内部をRANSで解析し、その外側をLESで解析する方法である。Spalartらの提案したDES⁴⁾では、RANSにSA(Spalart-Allmaras)モデルを用いて、SAモデルで使われている壁からの距離 d の代わりに以下のような $\bar{d}$ を用いる。

$$\bar{d} = \min(d, C_{DES}\Delta), \quad \Delta = \max(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$$

ここで、 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ は計算格子幅、 C_{DES} はモデル定数であり、Spalartらは $C_{DES} = 0.65$ としている。

文献¹⁾では、Spalartらの方法に従い、基本箱桁断面に対してDESを適用したが、オリジナルの方法では、LESに比べ3次元性が顕著に現れないことが確認された。そこで、本研究では、壁面近傍での Δ の値が軸方向分割幅 Δz が壁面接線流れ方向の分割幅より大きい場合に $\Delta = \Delta z$ となり、軸方向分割幅 Δz の設定によって Δ の値が壁面近傍で変わってしまうことを防ぐために、 Δ の定義式から Δz を省き、 Δ を次式のように扱った。

$$\Delta = \max(\Delta x, \Delta y)$$

また、RANSの計算領域を狭めるため、 $C_{DES} = 0.42$ とオリジナルより小さい値を用いた。さらに本研究では、同条件での比較をするため、DES2においてLESと同じ軸方向分割数をとることとする。

3. 解析条件

本研究では流れ場の解析手法に、丸岡ら²⁾の開発した有限要素法によるIBTD/FS(Improved Balancing Tensor Diffusivity / Fractional Step)法を適用する。

対象断面の形状は、渡邊ら⁵⁾によって風洞実験および数値流体解析の行われているものであり、図-1に示す断面辺長比12の矩形断面に正三角形のフェアリングを付加した2種類の基本橋梁断面である。1箱桁断面を図-1(a)、4Dの中抜き部を有する2箱桁断面を図-1(b)とする。

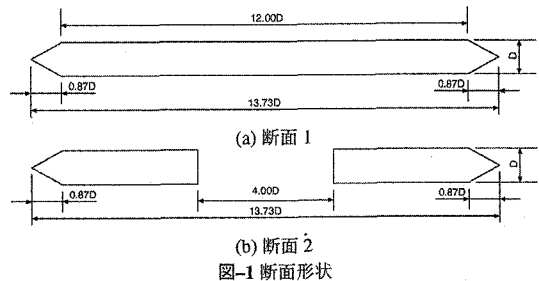


図-1 断面形状

解析条件を表-1に示す。適用した乱流モデルは、RANSのSAモデル、LESのSmagorinskyモデル($C_s = 0.13$)、DESの3つである。設定迎角は $\alpha = 0^\circ$ と $\alpha = 1^\circ$ 、時間増分は $\Delta t = 0.05D/U$ 、レイノルズ数は $Re = 5.0 \times 10^4$ である。また、本研究で用いたメッシュは、より高いレイノルズ数の計算をするため、渡邊ら⁵⁾が用いた $Re = 1.0 \times 10^4$ のLESのメッシュの壁面法線方向の分割($\Delta y = 0.0035D$)を切り直し、細分化したものである。

表-1 解析条件

乱流モデル	RANS	LES	DES1	DES2
レイノルズ数 Re	5.0×10^4	5.0×10^4	5.0×10^4	5.0×10^4
軸方向分割数	-	64層	32層	64層
要素分割幅 断面1	41936	41936 × 64	41936 × 32	41936 × 64
要素分割数 断面2	48106	48106 × 64	48106 × 32	48106 × 64
法線方向要素幅 Δy	0.0005D	0.0005D	0.0005D	0.0005D

4. 解析結果

(1) 流れ場

図-2に迎角 $\alpha = 0^\circ$ における断面1の瞬間渦度分布を示す。DES2においてもLESと同様な流れの三次元性が生じているのを確認できる。また、渦のスケールはLESの方が小規模で複雑な流れとなり、DES2の方は大きい。

* 八戸高専専攻科 建設環境工学専攻 (〒 039-1192 青森県八戸市田面木上野平 16-1, E-mail: h17az03@edu.hachinohe-ct.ac.jp)

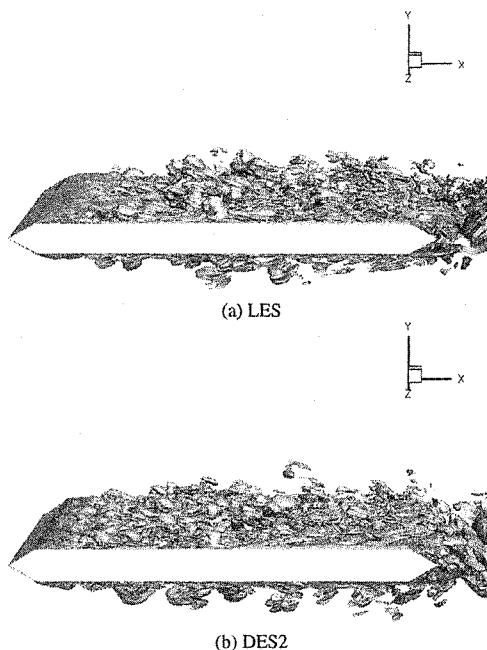


図-4 断面1における瞬間の渦度比較

(2) 空気力係数

図-3(a), (b), (c)に、迎角 $\alpha = 0^\circ$ の抗力係数 ($C_{D\alpha=0}$)、迎角 0° 周りの揚力傾斜 ($dC_L/d\alpha_{\alpha=0}$) 及びモーメント傾斜 ($dC_M/d\alpha_{\alpha=0}$) の解析結果と風洞試験結果⁵⁾の比較を示す。ここで、風洞風速が9m/sの結果が実験1、18m/sの結果が実験2である。

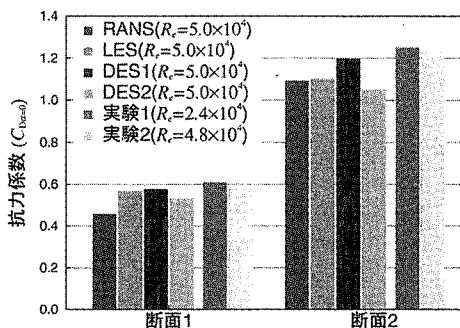
実験1と実験2について、各結果とも同様な傾向を示していることがわかる。渡邊らの報告⁵⁾でもあるように採用した風洞風速域での静的空気力に対するレイノルズ数依存は少ないと考えられる。

全般に、断面1ではLESとDESのどの解析結果も大差がないことがわかる。断面2ではDESはLESに比べ実験値に近づく結果が得られた。しかし、DES2については、その軸方向分割数はDES1の32層からLESと同様の64層に変更し、実験値に近づく結果を期待されたがDES1より悪くなる箇所もみられた。

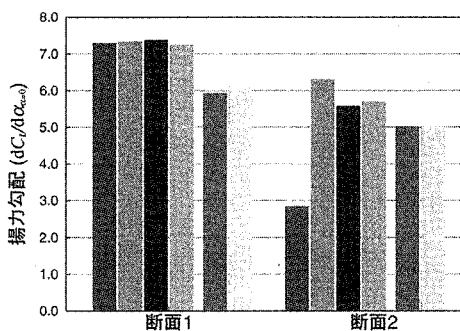
5. おわりに

本研究では、基本箱桁断面におけるDESの適用性を検討した。その結果、1箱桁断面ではLESとDESにあまり違いが見られなかった。しかし、2箱桁断面では種々の乱流モデルによる解析結果と風洞試験結果の比較から、DESは断面形状の違いによる空気力特性の変化をより正確に捉えられることがわかった。

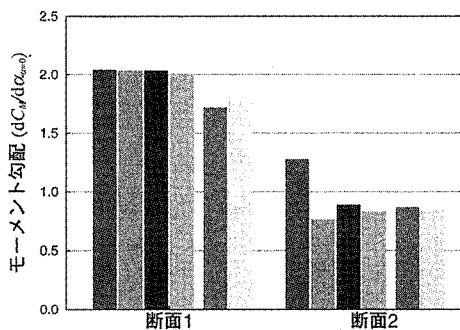
また、DESはLESに比べ、壁付近の流れにおいて少ない



(a) 迎角 0° まわりにおける抗力係数の比較



(b) 迎角 0° まわりにおける揚力傾斜の比較



(c) 迎角 0° まわりにおけるモーメント傾斜の比較

図-5 空気力係数の比較

要素数でも精度よく可視化できるため、更に壁面接線方向の要素幅を大きくすることが可能である。よって、研究コストの少ない解析が可能である。今後、高いレイノルズ数での他の解析断面への適用から、DESの実用性が期待できる。

参考文献

- 丸岡, 清川: 橋梁断面の数値流体解析におけるDESの適用, 第59回土木学会年次学術講演会講演要旨集, I-618, 2004.
- 丸岡, 太田, 平野, 川原: 同次補間を用いた陰的有限要素法による非圧縮粘性流れの解析, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.383-394, 1997.
- 丸岡, 佐々木, 立花: 基本箱桁断面まわりの流れのDES, 土木学会第60回年次学術講演会要旨集, pp.1275-1276, 2005.
- P.R. Spalart, W.H. Jou, M. Strelets and S.R. Allmaras: Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach, First AFOSR International Conference on DNS/LES, Ruston, LA, pp.4-8, 1997.
- 渡邊, 井上: 橋梁断面の耐風設計におけるCFDの活用, 三井造船技報 No.179, pp.8-11, 2003.