

基本箱桁断面まわりの流れのDES

八戸高専 正会員 ○丸岡 晃 八戸高専専攻科 佐々木 浩志 岩手大学 立花 智昭

1. はじめに

DES(Detached Eddy Simulation)¹⁾は, RANS(Reynolds Averaged Navier Stokes) と LES(Large Eddy Simulation) の利点を組み合わせたハイブリッドモデルであり, LES による壁面近傍の格子点数の増加を緩和することができる手法として注目されている. 筆者ら²⁾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 は LES に比べ 3 次元性が顕著に現れないという結果が得られた. これは, オリジナルの DES では RANS の計算領域を大きくとりすぎていることによる. そこで本研究では, DES における計算パラメータを調整し, RANS の計算領域を狭めることを試みた. 2 種類の基本箱桁断面を解析対象として, 種々の乱流モデルと比較することによって, DES の基本箱桁断面まわりの流れに対する適用性を検討した.

2. DES

DES は, 壁面近傍の境界層内部の流れを RANS によって計算し, 壁面から離れた流れを LES によって計算する. Spalart らの提案した DES¹⁾では, RANS に SA(Spalart-Allmaras) モデルを用いていて, 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 $\tilde{d}$ を用いる.

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

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.

昨年度の報告²⁾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.

3. 解析条件

流れ場の解析手法は有限要素法による IBTD/FS 法²⁾である. 解析対象とした基本箱桁断面の形状は, 渡邊ら³⁾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 に示すような断面辺長比 12 の矩形断面に正三角形のフェアリングを付加した断面 1(図-1(a)) と中抜き部を有する断面 2(図-1(b)) である.

表-1 に解析条件を示す. 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 種類である. レイノルズ数は $Re = 5.0 \times 10^4$, 迎角は $\alpha = 0^\circ, 1^\circ$ の 2 ケース, 時間増分は $\Delta t = 0.05D/U$ である. 計算に用いたメッシュは, 文献³⁾で $Re = 1.0 \times 10^4$ の LES に用いたメッシュの壁面法線方向の分割のみをより高いレイノルズ数の計算を行うために最小要素幅 $\Delta y_{\min}$ が $0.0005D$ となるように細分化したものである.

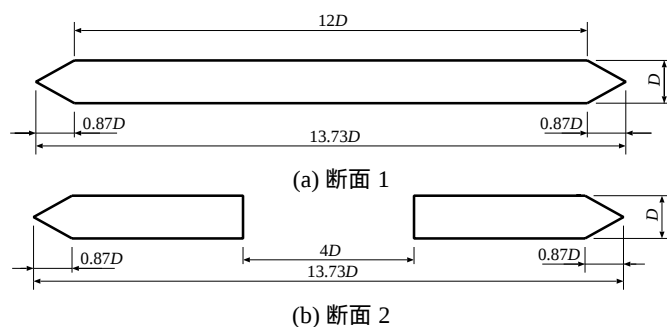


図-1 断面形状

表-1 解析条件

乱流モデル	RANS	LES	DES
軸方向分割幅 Δz	2 次元解析	$0.1D$	$0.2D$
要素分割数 断面 1	41936	41936×64	41936×32
要素分割数 断面 2	48106	48106×64	48106×32

4. 解析結果

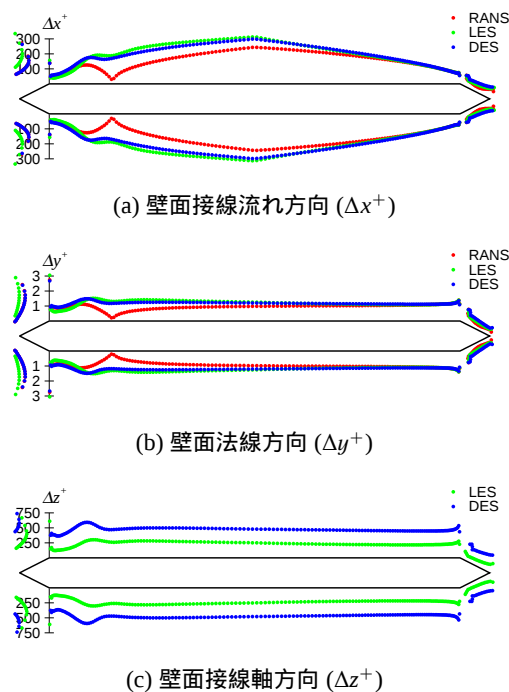
(1) 壁指標による壁面の各要素幅

図-2 に断面 1 における壁面での平均摩擦応力 $\tau_w (= \rho u_\tau^2)$ によって表した壁指標による壁面の各方向要素幅 $\Delta i^+ (= u_\tau \Delta i / \nu)$ (壁面接線流れ方向 Δx^+ (図-2(a)), 壁面法線方向 Δy^+ (図-2(b)), 壁面接線軸方向 Δz^+ (図-2(c))) を示す. (a) の Δx^+ において, LES と DES は $50 \sim 250$ と壁指標による要素分割幅が大きくなっており, 一般に LES で必要とされている分割幅と比較して大きい. それに対し, DES は壁面付近は RANS で解析しているため, 大きな値でも許容できるものと考えられる. ただし, どの程度の値まで許容できるか明らかにされていない. RANS は剥離した後に再付着が生じ, 定常解になっているため, 約 $2D$ の地点で 0 となる. (b) の Δy^+ は, 一般的に 2 以下にするのが望ましい. 局所的に大きくなっている部分は見られるが, どのモデルもほぼ 1 程度に納まっている. (c) の Δz^+ は, LES で 250 程度, DES で 500 程度と倍異なる. これは表-1 より軸方向分割幅 Δz が倍異なることによる.

Key Words: 耐風工学, 数値流体解析, DES, LES, RANS

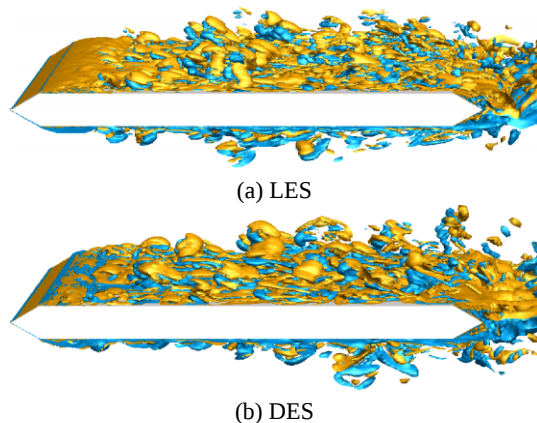
〒 039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1

TEL:0178-27-7304, FAX:0178-27-7316

図-2 断面 1 における壁指標による壁面の各方向要素幅 ($\alpha = 0^\circ$)

(2) 流れ場

図-3 に断面 1 における瞬間渦度分布を示す．DES によっても LES の結果と同様に流れの 3 次元性が生じている．

図-3 断面 1 における瞬間渦度分布 ($\alpha = 0^\circ$)

(3) 空気力係数

図-4 に迎角 0° の抗力係数 $C_{D\alpha=0}$ (図-4(a))、迎角 0° まわりの揚力勾配 $dC_L/d\alpha_{\alpha=0}$ (図-4(b)) およびモーメント勾配 $dC_M/d\alpha_{\alpha=0}$ (図-4(c)) の解析結果と風洞実験結果³⁾の比較を示す．断面 1 では、どの解析結果にも大きな違いは見られないが、断面 2 では、RANS は揚力およびモーメント勾配において実験値と大きくはなれている．LES と DES はほぼ同様の傾向を示し、DES は LES に比べ実験値に近づく結果が得られ、断面形状による空気力特性の変化をより正確にとらえられていると考えられる．LES については、壁面接線方向の分割が不足しているが、DES とほぼ同様の結果が得られている点が興味深い．

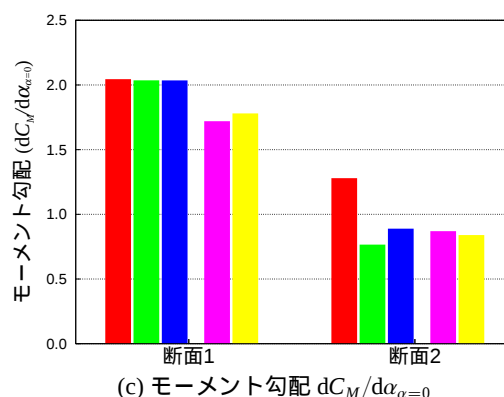
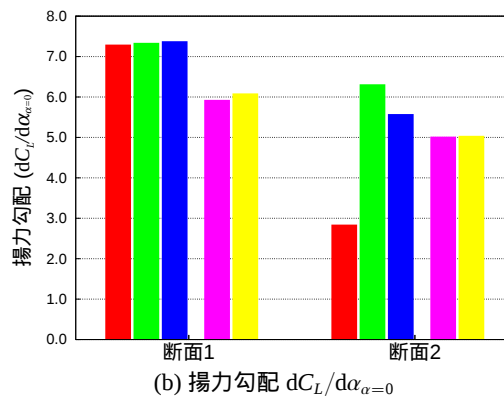
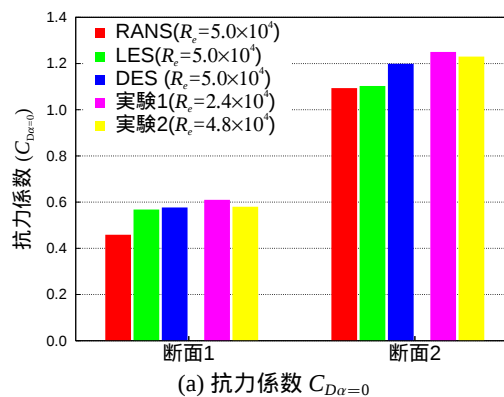


図-4 空気力係数の比較

5. おわりに

本研究では、基本箱桁断面まわりの流れに DES を適用した．流れの 3 次元性を得るために、DES の計算パラメータとして必要になる Δ の定義、 C_{DES} の値に改良を施した．その結果、空気力係数の比較により、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．

謝辞: 本研究は平成 16 年度文部科学省科学研究費補助金 (若手研究 (B) No.15760355) により行われたことを付記し、ここに謝意を表します．

参考文献

- 1) P.R.Spaltart, 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.
- 2) 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概要集, I-618, 2004.
- 3) 渡邊, 丸岡, 井上: フェアリングを有する箱桁断面に作用する静的空気力の数値流体解析による検討, 第 17 回風工学シンポジウム, pp.219-224, 2002.