## DES による矩形断面の動的空力特性の一考察

徳島大学大学院 学生会員

田高 真人 八戸工業高等専門学校 正会員 丸岡 晃

### 1. はじめに

筆者ら<sup>1)</sup>は,近年,土木分野の数値流体解析に取り入れられている3次元ベースのDES(Detached Eddy Simulation)<sup>2)</sup>

により, 断面辺長比4の矩形断面における動的空力特性を求め, 2次元ベースの RANS(SA モデル)を組み込んだ数値流体解析による計算結果<sup>3)</sup>および松本らの風洞試験結果<sup>4)</sup>と比較した.その結果, 図–1より, 風洞試験, RANS と同様に, DES においてもたわみ・ねじれの特定無次元風速域に渦励振が発現することを確認した.さらに,風洞試験結果にて報告されている空力干渉部(たわみ無次元風速 $Ur_y = 11.0$ 付近, ねじれ無次元風速 $Ur_{\theta} = 10.0$ 付近)での定常振幅の変化が, RANS では確認されなかったが DES において確認された.これより, RANS よりも DES において良好な結果が得られることを確認した.

以上より,本研究では,DES による解析結果に基づき, 風洞試験結果における空力干渉部に対応する無次元風速域 での振動応答およびスペクトル解析をおこない,特異な動 的空力特性が発現した原因を考察する.



図-1 たわみ・ねじれの定常振幅<sup>1)</sup>

# 2. DES

DES は壁に付着した境界層内部は RANS で解き,外側の 壁から剥離した流れは LES で解く方法である.DES のベー スとなる SA(Spalart–Allmaras) モデルは,渦粘性に関連し た量である  $\tilde{v}$  に対する以下の方程式で表される.

$$\frac{D\tilde{\nu}}{Dt} = c_{b1}\tilde{S}\tilde{\nu} - c_{w1}f_w \left[\frac{\tilde{\nu}}{d}\right]^2 + \frac{1}{\sigma} \left[\nabla \cdot \left((\nu + \tilde{\nu})\nabla\tilde{\nu}\right) + c_{b2}(\nabla\tilde{\nu})^2\right]$$
(1)

ここで, $\tilde{S}$  は渦度の大きさを表す量, $\tilde{v}$  は粘性の次元をもつ 変数,d は壁からの距離, $f_w$  は減衰関数, $c_{b1}$ , $c_{b2}$ , $c_{w1}$ , $\sigma$ はモデル定数であり $\tilde{v}$  にある減衰関数をかけると渦動粘性 係数 $v_t$ となる.

DES ではこの 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.

$$\tilde{d} = \min(d, C_{\text{DES}}\Delta)$$
,  $\Delta = \max(\Delta x, \Delta y)$  (2)

ここで, $\Delta x$ , $\Delta y$ は計算格子幅,モデル定数である $C_{\text{DES}}$ は 0.65 である.壁近くの領域では $\tilde{d} = d$ となり RANS で,壁 から離れた領域では $\tilde{d} = C_{\text{DES}}\Delta$ となり一種の1方程式型の SGS モデルで解析することになる.

#### 3. 解析手法

検討断面は、断面辺長比4の矩形断面<sup>1),3)</sup>である.また、数 値流体解析手法は3次元の有限要素法によるIBTD/FS法<sup>5)</sup>を 採用し、乱流モデルのDES およびALE 法を適用している. さらに、本研究ではたわみ・ねじれ1自由度に着目した自由振 動解析をおこない、振動応答を算出している.解析パラメー 夕を表–1に示す.ここで、レイノルズ数、時間増分、解析 領域、構造減衰率、スクルートン数は文献<sup>3)</sup>に準ずる.また、 無次元風速は、風洞試験結果<sup>4)</sup>にて報告されている空力干渉 部に準じ、たわみ無次元風速 $Ur_y = 11.0$ 、ねじれ無次元風速  $Ur_q = 10.0$ を解析する.さらに、軸方向分割幅 $\Delta z = 0.2D$ 、 軸方向分割数が16、最小要素幅 $\Delta y_{min} = 0.0005D$ 、総要素 数 14282×16、総節点数14048×16 としている.

表-1 解析パラメータ

レイノルズ数 Re	50000	総要素数	$14282 \times 16$
無次元風速 Ury	11.0	総節点数	$14048 \times 16$
無次元風速 $Ur_{\theta}$	10.0	解析領域 X	$-14D \sim 26D$
時間増分 ∆t	0.05U/D	解析領域 Y	$-12D \sim 12D$
軸方向分割幅 $\Delta z$	0.2D	構造減衰率 $\delta_{Ny}, \delta_{N heta}$	1%
軸方向分割数	16	スクルートン数 $Sc_y$	5.0
	0.0005D	スクルートン数 $Sc_{\theta}$	10.0

 $Ur_y = U/(f_yD), Ur_\theta = U/(f_\theta D)$  $Sc_y = 2m\delta_{Ny}/(\rho D^2), Sc_\theta = 2I\delta_{N\theta}/(\rho D^4)$ 







図-2 たわみの時刻歴とスペクトル (Ury = 11.0, S cy = 5.0)

#### **4.** 解析結果と考察

図-2,図-3にたわみ無次元風速 $Ur_y = 11.0$ ,ねじれ無次 元風速 $Ur_{\theta} = 10.0$ の自由振動解析による振動応答の時刻歴 を示し,横軸は時間,縦軸は空気力係数・変位を表してい る.さらに,たわみ無次元風速 $Ur_y = 11.0$ の時間 $660 \sim 880$ , ねじれ無次元風速 $Ur_{\theta} = 10.0$ の時間 $600 \sim 800$ における空 気力をスペクトル解析し,その結果を示す.

図-2(a) において,自由振動へ移行後,揚力係数 $C_L$ は, 時間 300 程度まで減少している.時間 300~360 程度まで は負の値で変化し,時間 360~410 程度まで増加を示し,そ の後はほぼ定常の変化となっている.このとき,自由振動 へ移行後すぐの波形と,時間 410 以降の波形は周波数成分 が異なっている.たわみ変位y/Dは,時間 400 程度まで減 少を示し,時間 400 以降は小さい範囲で振動を示している. 図-2(b)より,周波数成分を確認すると,ストローハル数*St* と非常に近い値において発達している.また,たわみ無次 元風速 $Ur_y = 11.0$ における固有振動数が約 0.091 であるが, 明確に確認できなかった.以上よりカルマン渦が空気力に 影響をおよぼしていると考えられる.

図-3(a) において,空力モーメント係数 C<sub>M</sub> は,解析範囲 において減少,増大を繰り返す.ただし,時間 700 以降に おいてその周波数が変化したと考えられる.ねじれ変位  $\theta$ は,時間 700 まで減少,増減を繰り返し,時間 700 以降は 急激な減少,非常に小さい値で定常振動に移行する.これ



(a) 空力モーメント係数  $C_M$  とねじれ変位  $\theta$  の時刻歴



(b) 空力モーメントにおけるスペクトル解析結果

図-3 ねじれの時刻歴とスペクトル ( $Ur_{\theta} = 10.0, Sc_{\theta} = 10.0$ )

は,空力モーメント係数  $C_M$  の時間 700 以降における周波 数の変化に対応する.図–2(b)より,周波数成分を確認する と,たわみ無次元風速  $Ur_y = 11.0$ と同様に,ストローハル 数 St と非常に近い値において発達が確認でき,ねじれ無次 元風速  $Ur_{\theta} = 10.0$ における固有振動成分 0.1 での発達が明 確に確認できなかった.これらより,カルマン渦が空気力 の変化に影響をおよぼし,これが時間 700 以降の変位の急 激な減少につながったのではないかと考えられる.

#### 5. おわりに

DES を適用した数値流体解析により,断面辺長比4の矩 形断面の動的空力特性の検討をおこなった.その結果,た わみ・ねじれの特定無次元風速域においてカルマン渦が空 気力に影響することが予測された.

謝辞:本研究は平成17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) 丸岡,田高:振動する矩形断面まわりの流れの DES,第 55 回理論応用 力学講演会講演論文集,pp 515-516,2006.
- 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.
- 田高, 天間, 丸岡: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), pp 783–792,2005.
- 4) 松本,八木,玉置,坪田,李,大窪:1:4 矩形断面の空力振動における 渦に起因した干渉現象,第18回風工学シンポジウム,2004.
- 5) 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.42A pp.383–394, 1997.