

(I-72) 乱流モデルを用いた2次元正方形角柱周りの流れの数値解析

日本大学大学院 学生会員 ○長谷部 寛
日本大学理工学部 正会員 野村 卓史

1. はじめに

橋梁の耐風工学の分野において、橋梁断面の空力特性を数値流体解析により評価する研究が数多く報告されている¹⁾。乱流解析にはいくつかの手法がある²⁾が、実務の面から考えると乱流モデルを用いることが1つの有力なアプローチとされている。そこで本研究では、2次元正方形角柱を解析対象とし、有限要素法を用いたRANSによる解析を行った。既往の計算結果との比較を行い、有限要素法による乱流解析における問題点を把握することを目的とした。

2. 解析方法

乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデルを用い、時間方向の離散化に関してはPredictor-Corrector法³⁾を用いた。空間方向の離散化にはSUPG法に基づく有限要素法⁴⁾を用い、流速・乱流エネルギー・散逸率を要素内双線形分布、圧力を要素内一定として離散化した。表-1に解析条件、図-1に物体周辺の要素分割図を示す。

表-1 解析条件

角柱辺長	D=15cm
Reynolds 数	22000
時間増分	0.0015D/U
解析領域	$\pm 6.5D \times 26D$
総節点数	4246
総要素数	4128
最小要素幅	0.0133D

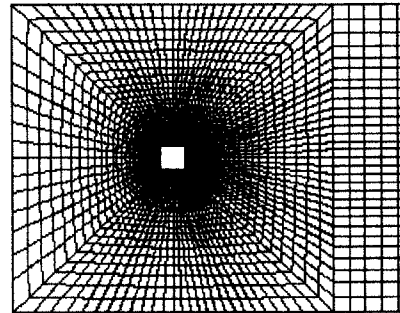
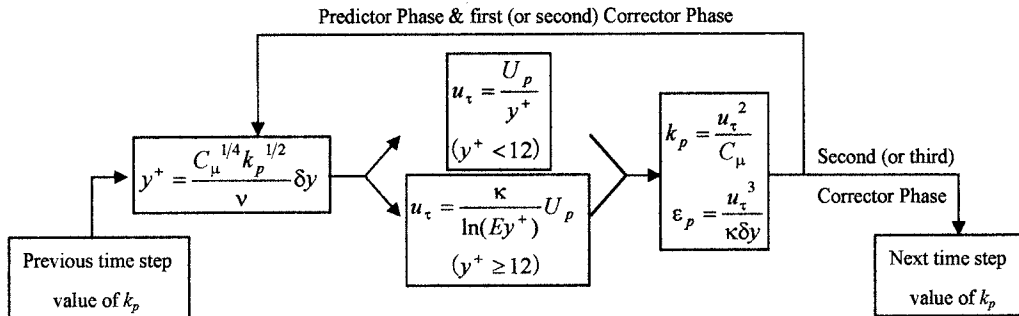


図-1 物体周辺要素分割図

なお壁面境界条件には壁関数法¹⁾を用い、図-2のアルゴリズムによって境界値を算出した。



U_p : 壁面接線方向流速 k_p, ϵ_p : 壁面節点における乱流エネルギー、散逸率 ν : 動粘性係数
 C_μ : モデル定数(=0.09) κ : カルマン定数(≈ 0.4) E : 積分定数(≈ 9.0) δy : 仮想壁面厚さ

図-2 壁関数法を用いた境界値の算出手順

このアルゴリズムで計算した結果、時間ステップの間で境界値の振動が起こることがわかった。そこで
 キーワード: 有限要素法、 $k-\epsilon$ モデル、正方形角柱、壁関数

連絡先: 〒101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 Tel/Fax 03-3259-0411

Predictor-Corrector 法の反復計算回数を2回から3回に増やし、時間ステップ間での振動が起こらないようにした。振動が収まった様子を図-3に示す。

3. 解析結果と考察

今回は加藤¹⁾の結果を比較対象として、衝突領域での乱流エネルギーの分布を捉えられているか検討した。その結果が図-4の破線である。加藤の計算よりも乱流エネルギーを過大に評価してしまった。

この原因を検討したところ、 k 方程式の生産項[式(1)]を数値積分(積分点 2×2)する際、積分点で評価される流速勾配が1つの要素内で正・負両方の値を取ってしまうことがあり、結果として流速勾配の2乗で計算される生産項(節点値)が過大評価される、ということがわかった。

$$P_k = \frac{1}{2} \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2 = \nu_t \left\{ 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad \dots (1)$$

そこで流速勾配を計算する際、次のような処理を施した。まず要素内での流速勾配の振動を防ぐため、 2×2 積分点で評価していた流速勾配を 1×1 積分点で評価した。次に要素間での振動の影響を抑制するために、流速勾配の節点値は、周辺の要素代表値の流速勾配を要素面積を重みとして重み付き平均した値とした。図-5が今回行った処理を模式的に表したものであり、また式(2)が流速勾配の節点値を算出する際に用いた計算式である。

$$\phi_{Node} = \frac{\sum_{i=1}^4 (\phi_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^4 A_i} \quad \dots (2)$$

A_i : 要素面積 ϕ_i : 流速勾配の要素代表値 ϕ_{Node} : 流速勾配の節点値

4. 改良後の結果とまとめ

上記の改良を行った結果を再び加藤の計算と比較した。それを図-4の実線で示す。加藤の計算とほぼ一致した乱流エネルギーの分布が得られた。今後は他のモデルの導入、橋梁断面での解析を行っていく予定である。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、日本鋼管株式会社の加藤真志氏、村上琢哉氏から御助言、貴重なデータを頂きました。ここに記して深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 加藤 真志: 修正2方程式乱流モデルによる角柱の基本空力特性に関する研究, 名古屋大学学位論文, 1997.
- 2) 数値流体力学編集委員会編: 数値流体力学シリーズ3 乱流解析, 東京大学出版会, 1995.
- 3) 数値流体力学編集委員会編: 数値流体力学シリーズ4 移動境界流れ解析, 東京大学出版会, 1995.
- 4) 日本数値流体力学有限要素法研究委員会編: 有限要素法による流れのシミュレーション, シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社, 2000.

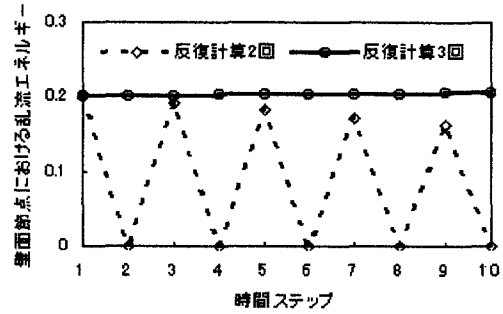


図-3 反復回数の違いによる境界値の振る舞い

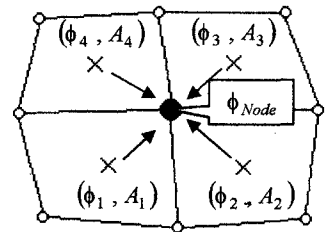


図-5 流速勾配補正の模式図

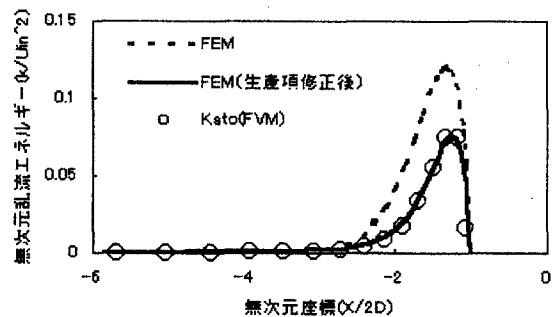


図-4 解析結果の比較