

# 高 Reynolds 数流れの 3 次元有限要素シミュレーション

## Three-Dimensional Finite Element Simulations for High Reynolds Number Flows

○ 角田 和彦, 日大生産工, 〒 275-8575 習志野市泉町 1-2-1, E-mail: k7kakuda@cit.nihon-u.ac.jp  
登坂 宣好, 日大生産工, 〒 275-8575 習志野市泉町 1-2-1, E-mail: n7tosaka@cit.nihon-u.ac.jp

Kazuhiko KAKUDA, Dept. MIE, College Indust. Tech., Nihon Univ., Narashino, Chiba 275-8575, JAPAN  
Nobuyoshi TOSAKA, Dept. MIE, College Indust. Tech., Nihon Univ., Narashino, Chiba 275-8575, JAPAN

In this paper, we present a finite element scheme based on the Petrov-Galerkin method using exponential weighting functions for computing three-dimensional incompressible viscous fluid flows at high Reynolds numbers. As the time-marching scheme, we adopt effectively the second-order accurate Adams-Bashforth explicit differencing for both convection and diffusion terms. Numerical solutions for flow over a wall-mounted cube and flow around a circular cylinder are presented, and compared with experimental data and other existing numerical data.

### 1. 諸言

3次元性を有する複雑な流れの挙動の解明には、高い Reynolds 数域での解析が重要となる。その数値解析手法としては、数値解の安定化を図るために上流化法に基づく解析スキームを用いる必要がある<sup>(1)</sup>。本論文では、3次元非圧縮性粘性流れの現象を対象に、指数関数を重み関数とした Petrov-Galerkin 法に基づく有限要素スキーム<sup>(2),(3)</sup>による解析を示す。数値計算例は、有限長角柱周り<sup>(4)</sup>や円柱周り<sup>(5),(6)</sup>の高い Reynolds 数流れを対象とし、得られた数値結果を実験値等と比較し、手法の妥当性を検討する。

### 2. 指数関数型 Petrov-Galerkin 有限要素解析

高 Reynolds 数流れの解析に対しても安定した数値解を得るために、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式に指数関数を重み関数とした Petrov-Galerkin 法に基づく有限要素スキーム<sup>(2)</sup>を適用する。流れの現象を支配する方程式に Fractional Step 分解を適用し、得られた方程式の重みつき積分表現に発散定理を用い弱形式表現を得る。次に、未知関数の要素内補間を行い、時間進行スキームとして 2 次精度の Adams-Bashforth 法を用いる。

### 3. 計算結果

計算結果の一例として、 $Re = 10^5$  での立方体周りの圧力係数の比較を Fig.1 に示す。Fig.2 は、円柱周りの流れに対するストローハル数と抗力係数を実験値と比較している。

### 4. 結言

高 Reynolds 数域での非圧縮性粘性流れの現象に対し、指数関数型 Petrov-Galerkin 有限要素法による解析を展開し、具体的な数値計算例を示してきた。その際、移流項及び拡散項に対し 2 次精度の Adams-Bashforth 法を適用し、時間進行に関する高精度化を図り、圧力に関するポアソン方程式の解法には SCG 法を採用し計算の高速化を図った。

### 参考文献

1. Brooks, A. and Hughes, T.J.R., *Comp. Meths. Appl. Mech. Engng.*, **32** (1982), pp.199-259.
2. 角田・登坂, *建構論*, **439**, (1992), pp.189-198.
3. Kakuda, K., Tosaka, N. and Nakamura, T., *Comp. Fluid Dyn.*, **7** (1996), pp.163-178.
4. I.P. Castro and A.G. Robins, *J. Fluid Mech.* **79**, part 2, (1977), pp.307-335.
5. B. Cantwell and D. Coles, *J. Fluid Mech.* **136**, (1983), pp.321-374.
6. T. Tamura and K. Kuwahara, *Num. Meths. in Fluid Dyn.* 2, (Eds., M. Yasuhara et al), (1989), pp.645-650.

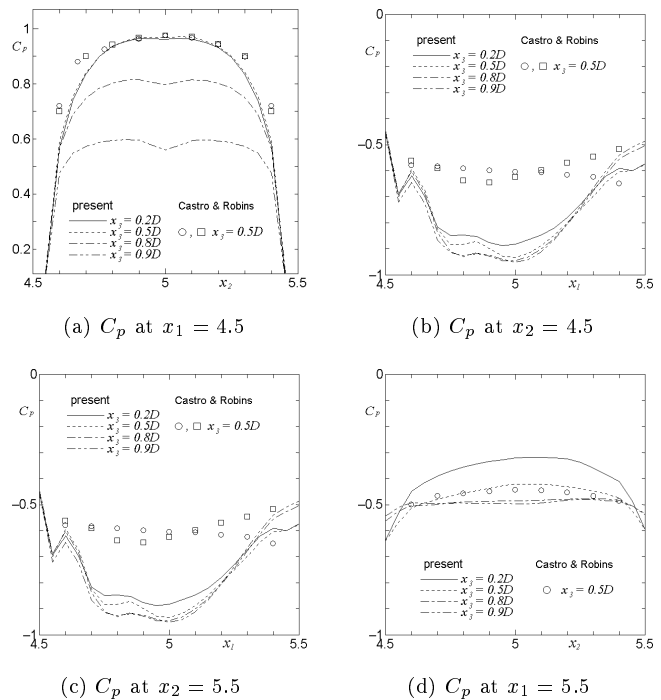


Fig. 1: Pressure coefficients on the cube

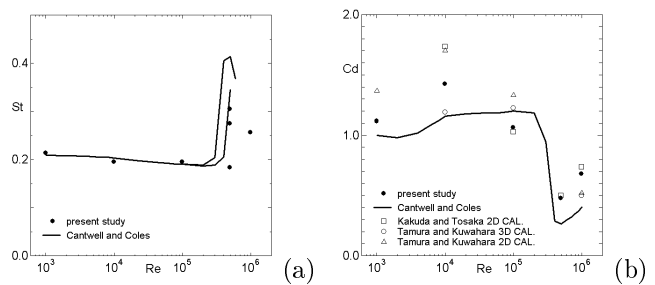


Fig. 2: Flow around a circular cylinder: (a) Strouhal numbers. (b) Time-averaged drag coefficients.