

平行平板間クエット乱流の直接数値シミュレーション

DNS of the turbulent plane Couette flow

- 羽根 将吾, 東理大院, 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641, E-mail: a7501101@rs.noda.tus.ac.jp
 塚原 隆裕, 東理大院, 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641, E-mail: a7599109@rs.noda.tus.ac.jp
 河村 洋, 東理大, 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641, E-mail: kawa@rs.noda.tus.ac.jp
 Syougo HANE, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba, 278-8510
 Takahiro TSUKAHARA, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba, 278-8510
 Hiroshi KAWAMURA, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba, 278-8510

A series of DNSs of the turbulent plane Couette flow was performed with various box lengths, $L_x = 44.8h, 64h$ and $96h$, where h is the channel height. The Reynolds number $Re_w (= U_w h / \nu)$ of 8600 was chosen, where U_w is the relative wall speed between the top and bottom walls and ν the kinematic viscosity. In the core region, the meandering of the large-scale structure has been observed. In the largest box-size ($L_x = 96h$), the box length is long enough to capture three wavelength of the large-scale structure. Both of the two-point correlation coefficient and the pre-multiplied energy spectra show that the large-scale structure exhibits with a wavelength of $32h$ in the streamwise direction and a spanwise spacing of $2.5h$.

1. 緒言

近年のコンピュータの発達に伴い、乱流の直接数値シミュレーション (DNS) が広く実施されてきている。特に、平行平板間乱流としてクエット乱流（上下壁面の相対運動によって駆動される流れ）はカノニカル（規範的な）乱流であり、DNS が広く行われてきた⁽¹⁾⁽²⁾。クエット乱流の主な特徴として、平行平板間を埋め尽くす大規模な高速・低速領域が現れ、他のカノニカル乱流と比べて流れ方向に非常に伸びた大規模構造を持つことが報告されている。しかし、クエット乱流の大規模構造を十分に捉えうるほどの長い計算領域を用いた DNS はあまり例がない。

そこで本研究では、平行平板間クエット乱流における DNS を、世界最大規模の計算領域を用いて、大規模構造を十分に捉えることを目的としている。

2. 計算条件

レイノルズ数は $Re_w = U_w h / \nu = 8600$ としている。摩擦レイノルズ数は $Re_\tau (= u_\tau h / 2\nu) = 126$ に相当する。 U_w は壁面相対速度、 h はチャネル全幅、 ν は動粘性係数である。計算領域は最大で $L_x \times L_y \times L_z = 96h \times h \times 12.8h$ 、格子点数は $N_x \times N_y \times N_z = 2048 \times 96 \times 512$ とした。

3. 解析結果

図 1 に本計算から得られた低速・高速領域の瞬時速度場を、図 2 にチャネル中央における流れ方向の二点速度相関を示す。 $L_x = 44.8h(M)$ では、 $L_x/2$ で負のピークをとり、流れ方向に大規模構造を一波長分捉えられている。これは u の大規模な低速領域と高速領域が流れ方向に交互に存在する準秩序的な構造を示している。しかし、まだ相関が計算領域の半分でゼロに漸近しておらず、周期境界の影響が無視できないと考えられる。流れ方向の計算領域を $L_x = 64h(L)$ に拡大すると、相関はゼロに漸近していることが分かる。流れ方向の相関は正から負そして正という変化を示しており、大規模構造を二波長分捉えたことが分かる。さらに拡大した $L_x = 96h(XL)$ では大規模構造を三波長分捉えられており、計算領域を十分に確保できているといえる。

4. 謝辞

本研究のうち、最大の計算は九州大学情報基盤センターとの共同研究による。他は東北大学情報シナジーセンターハイブリッドシステムを利用した。

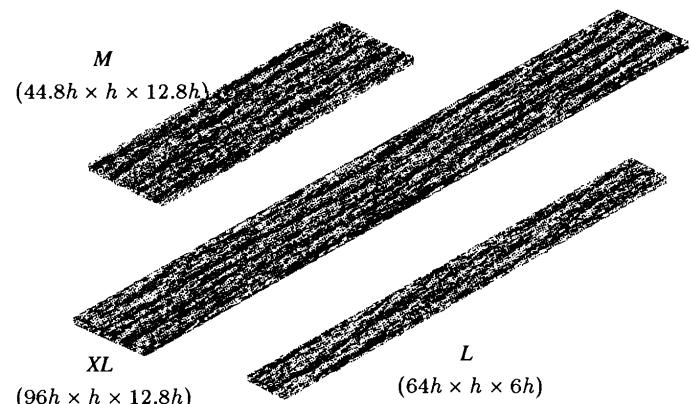


Fig. 1 Iso-surfaces of the streamwise velocity fluctuation (gray; $u'^+ > 3.5$, black; $u'^+ < -3.5$). Direction of the mean flow is from bottom-left to top-right.

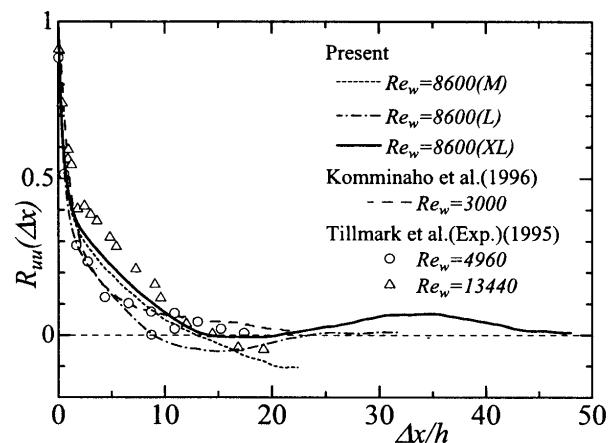


Fig. 2 Streamwise two-point correlation coefficient R_{uu} of the streamwise velocity fluctuation u' ($y/h = 0.5$).

参考文献

- Lee, M. J., Kim, J., Turbulent Shear Flows 8 (1991), pp.5-3-1, 5-3-6.
- Komminaho, J., Lundbladh, A. and Johansson, A. V., J. Fluid Mech. 320 (1996), pp.259-285.