

波状壁クエット乱流の乱れ構造に関する実験的研究

小林 和貴 (B4) 村澤 英治 (B5)

卒業研究発表会 2003年2月18日

1 はじめに

繰り返し圧力勾配が作用する波状壁クエット乱流の実験的研究である。この流路は軸と軸受けが偏心状態にあるジャーナル軸受け隙間を2次元展開したモデルであり、乱流潤滑理論に関連している。この流れは局所非平衡流れであり、ベルトレイノルズ数 $Re_b = 5000, 10000$ の条件で平均速度分布、乱流統計量を測定して慣性項、圧力勾配が乱れ構造に及ぼす影響を調べる。

2 実験装置

測定を行う実験装置を Fig.1 に示す。実験装置はそれぞれ全長 5000[mm] スパン方向の長さ 850[mm] である。静止壁はアクリル製で、振幅 $e = 4.5$ [mm] 波長 $\ell = 1400$ [mm] 平均流路高さ $2\bar{h} = 15.14$ [mm] の正弦波形を3波長もっている。移動壁はポリウレタン製ベルトでインバータを介した可変速モータにより駆動される。波状流路における速度分布は、2波長目において1波長を8等分した点でX型熱線を用いて測定をおこなう。

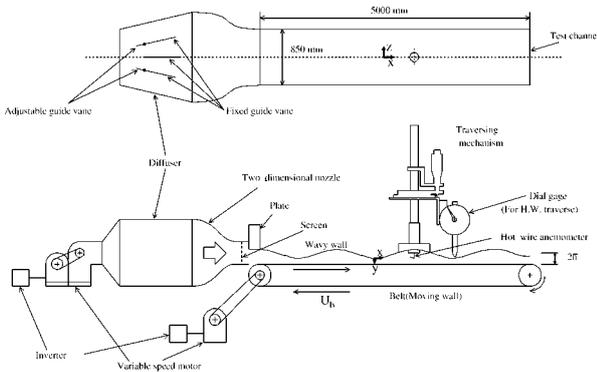


図 1: 波状クエット型乱流実験装置

3 実験条件

本実験はベルトレイノルズ数 $Re_b = 5000$ と 10000 の2つの実験条件で行われる。ベルトレイノルズ数 Re_b は次式で定義される。

$$Re_b = \frac{U_b 2\bar{h}}{\nu} \quad (1)$$

ただし、 U_b はベルト速度、 $2\bar{h}$ はベルト駆動時の平均流路高さ、 ν は動粘度を示す。また、流れ場の周期性を実現するために、 $x/l = 0.0$ と $x/l = 1.0$ の位置の静圧差が0となるように流量を設定する。

4 流れ場の2次元性

側壁の影響が測定を行う領域に及ばないことを確認するため表面タフト法による流れの可視化を行った。その結果、測定領域には側壁の影響がないと言える。

5 壁面せん断応力の評価

壁面せん断応力の定義式は

$$\tau_w = \rho \nu \left. \frac{d\bar{u}}{dy} \right|_{y=0} \quad (2)$$

で表される。ここで ρ [kg/m³] は密度、 ν [m²/s] は動粘度である。壁面せん断応力の評価に用いた方法は、壁面近傍の平均速度と粘着条件を直線で結ぶ方法（1次の方法）、壁面近傍の平均速度分布を2次関数で近似する方法（2次の方法）、壁面の平均速度分布を4次関数で近似する方法（4次の方法）である。さらに圧力勾配を考慮した2次および4次の方法についても考察した。

本年度、いずれの方法を用いても、壁座標で整理した平均速度分布のすべてがほぼ一致するような結果は得られなかった。ただし、壁面近傍の平均速度分布に対し最もよい近似を与えるのは、圧力勾配を考慮した2次の方法であるといえる。

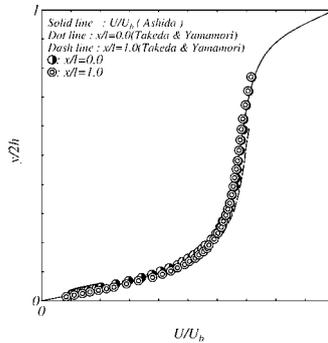


図 2: 流れ方向平均速度分布 ($Re_b = 5000$)

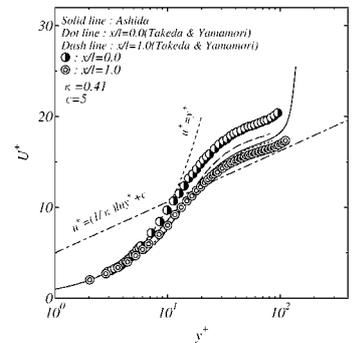


図 3: 壁座標で整理した平均速度分布 ($Re_b = 5000, 1$ 次)

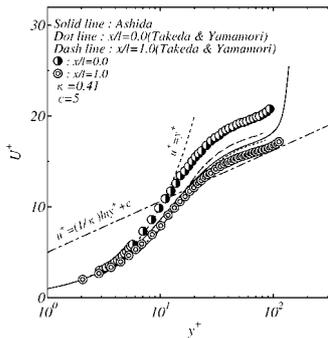


図 4: 壁座標で整理した平均速度分布 ($Re_b = 5000, 2$ 次)

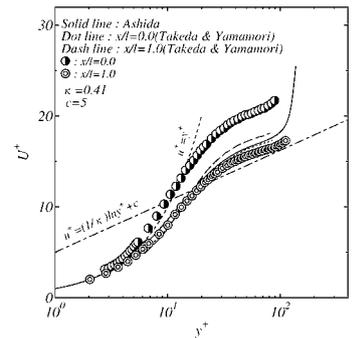


図 5: 壁座標で整理した平均速度分布 ($Re_b = 5000, 4$ 次)

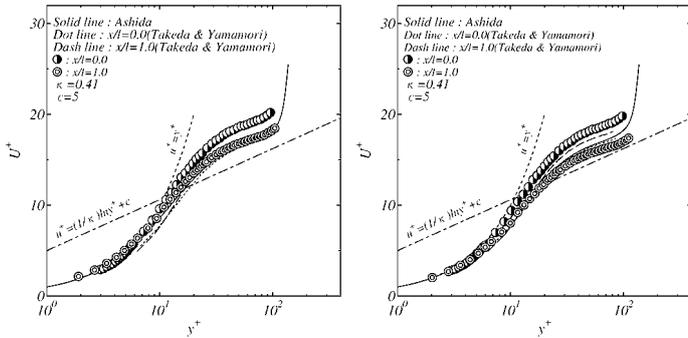


図 6: 圧力勾配を考慮し壁座標で整理した平均速度分布 ($Re_b = 5000, 2次$)
 図 7: 圧力勾配を考慮し壁座標で整理した平均速度分布 ($Re_b = 5000, 4次$)

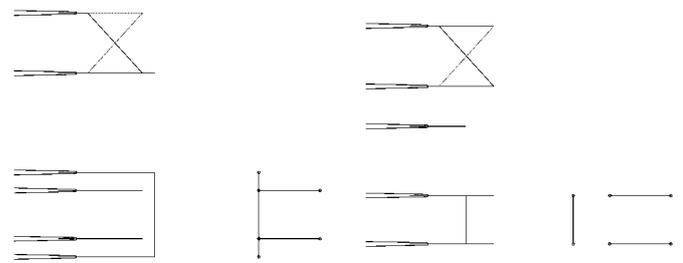


図 8: X-I 型熱線 (変更前)

図 9: X-I 型熱線 (変更後)

6 X-I 型熱線の特徴

X-I 型熱線とは X 型熱線と I 型熱線を組み合わせた熱線である。I 型熱線は壁面近傍の測定に適し、X 型熱線は主流を測定するのに適している。よって X-I 型熱線ではこれらの測定を同時に行うことができ、I 型熱線で得られたデータと X 型熱線で得られたデータを同時に評価できる。

X-I 型熱線は初め図 8 に示す様に、X 型部分と I 型部分の先端が狭いものであった。しかし、I 型部分の影響が X 型部分に及び検定に支障が出たため、X 型部分と I 型部分を離れた状態の X-I 型熱線 (図 9) を用いた。測定では図 9 に示す変更後の X-I 型熱線を用いている。以降、先端の X 型熱線と I 型熱線が近い X-I 方熱線を変更前 X-I 型熱線と呼び、先端を離れた状態のものを変更後の X-I 型熱線と呼ぶ事にする。

図 10, 図 11 に変更前 X-I 型熱線の X 型部分検定グラフを示す。図 10 は変更前 X-I 型熱線の全速度域における検定グラフである。また、図 11 は変更前 X-I 型熱線の低速度域における X-I 型熱線の検定グラフを示す。図 10 より、変更前 X-I 型熱線では形状が $\phi = 0$ の線に対して全く対称でなくなっている。さらに図 11 の低速度域では線が重なってしまい検定結果から流速の算出ができない。変更後 X-I 型熱線では図 12 において形状はかなり X 型熱線単体のものに近い。また低速度域においても図 13 より、先の変更前 X-I 型熱線に比べ形状は分布形状は改善され検定結果から流速を算出する事が可能となった。

また、X-I 型熱線の測定結果を図 14 ($Re_b = 5000$) に示す。これらの図において、X 型部分と I 型部分の測定結果は一致していない事が分かる。

7 まとめ

- 流れの可視化を行った結果、本実験で用いる実験装置は 2 次元的な流れ場が再現できている
- 壁面せん断応力の評価方法について考察を行った結果、壁面近傍の平均速度分布を近似する最も適切な方法は、圧力勾配を考慮した 2 次の方法である。
- X-I 型熱線による測定を行ったところ、よい結果は得られなかった。

今後は I 型熱線および X-I 型熱線の測定を繰り返し行い、測定結果を統計的に処理し、実験結果として信頼性のあるものを得る必要がある。

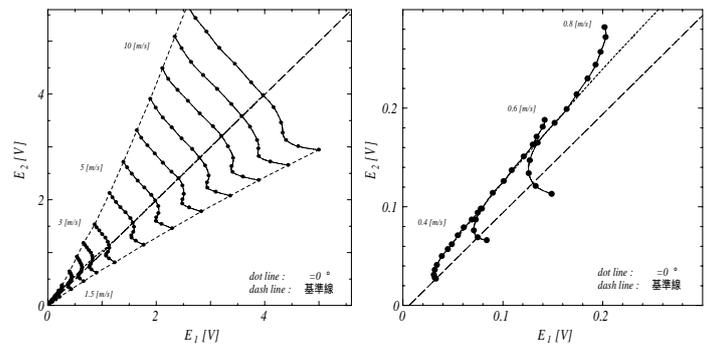


図 10: 変更前 X-I 型熱線検定グラフ (全速度域)
 図 11: 変更前検定グラフ (低速度域)

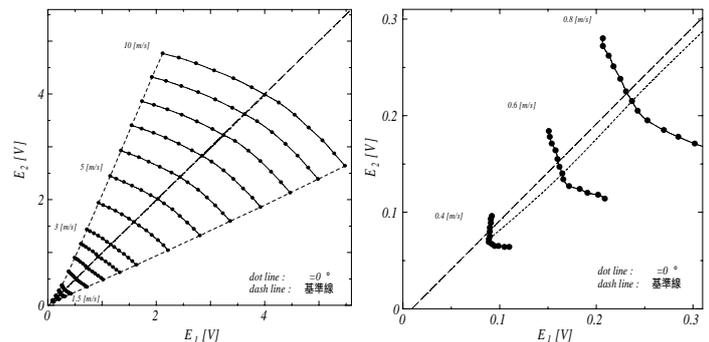


図 12: 変更後 X-I 型熱線検定グラフ (全速度域)
 図 13: 変更後検定グラフ (低速度域)

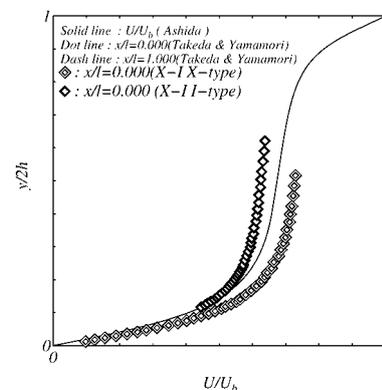


図 14: X-I 型熱線によって得られた平均速度分布 ($Re_b = 5000$)