

# 自動車用オートマチックトランスミッションの オイルストレーナーにおける流れ特性

松浦将平\*<sup>1</sup>・円能寺久行\*<sup>2</sup>・飯島敏雄\*<sup>2</sup>

## Flow Characteristics in an Automatic Transmission Oil Strainer for Automobile

by

Shohei MATSUURA, Hisayuki ENNOJI and Toshio IJIMA

(Received on Sep. 30, 2006, accepted on Jan. 24, 2007)

### Abstract

The flow in an automatic-transmission oil strainer for an automobile was studied experimentally and analytically. Water was used instead of the automatic-transmission fluid (ATF) as the fluid in the oil strainer, and an experiment and a numerical simulation were carried out in the range of practical Reynolds numbers. In the experiment, the velocity distributions in many cross sections of the oil strainer were measured in detail by laser Doppler velocimeter (LDV). In the numerical analysis, the computational fluid dynamics (CFD) code was used, and the velocity distribution, velocity vector, streamline, and pressure distribution were obtained. As a result, the validity of the experimental and analytical results was confirmed, and the flow characteristics in the oil strainer were clarified.

**Keywords:** Oil strainer, Flow characteristics, Automobile, Transmission, LDV, CFD

## 1. 緒言

現在では、多くの乗用車が AT 車 (Automatic Transmission Automobile) である。AT 車ではエンジンの出力が ATF (Automatic Transmission Fluid) を媒体として変速され、車輪へ伝達される。その ATF には運転時間の経過とともにスラッジ (オイルの劣化物や金属磨耗粉等) が混入されるので、ATF を濾過しなければトランスミッションに故障を生じる。その濾過装置がオイルストレーナーである。

オイルストレーナーはその内部に張られた金網によって ATF を濾過するが、その金網の目詰まりが懸念されている<sup>1)~3)</sup>。その目詰まりを予防するためにはオイルストレーナーの内部における流れを十分に把握した上で設計することが必要である。

一般にオイルストレーナーは、オイルパン内の狭いスペースに収めるため外形が複雑であり、金網の前後における空間が狭く、しかも流入口は矩形、流出口は円形というふうに形状が異なっており、流入口と流出口の配置も偏っている。従って、オイルストレーナーの内部流れの測定は困難である。このような理由により、オイルストレーナー内の流れに関する研究報告は非常に少ない<sup>4)</sup>。金網を通過する流れに関する研究では、ダクト内に張られた金網によって生じる圧力損失が主に測定されている<sup>5)~8)</sup>。しかし、それらの結果からオイルストレーナーにおける内部流れを理解することはできない。

そこで本研究ではオイルストレーナーのモデルを作成し、その内部における流れ特性を実験的および数値的に調べる。しか

し、オイルの流れ場では流速や圧力の測定が困難である。従って、本研究では、レイノルズの相似則を利用して、オイルストレーナーが実際に使用されるレイノルズ数の範囲内において、水の流れ場で実施した。実験ではオイルストレーナー内の多くの断面上における流速分布を LDV によって測定した。また、CFD による数値解析を試み、測定された流速分布と比較した。その結果、オイルストレーナー内部における流れ特性が実験的および解析的に明らかにされた。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 オイルストレーナーモデル

本研究で使用するオイルストレーナーモデルが Fig.1 に示されている。このモデルは実際に使用されている典型的なオイル

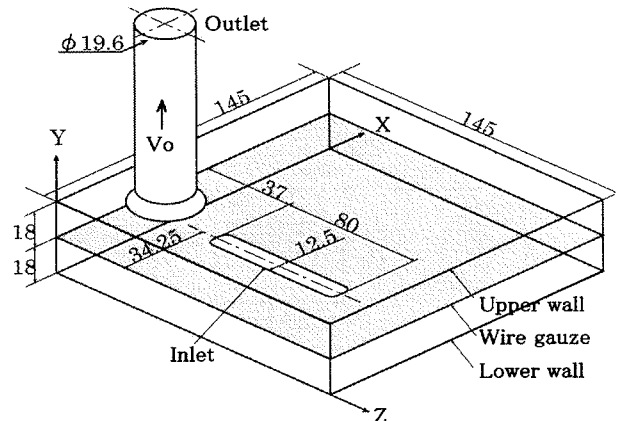


Fig.1 Oil strainer model

\* 1 工学研究科機械工学専攻博士課程前期

\* 2 工学部動力機械工学科教授

ストレーナーの形状や寸法に基づいて設計されたものであり、透明なアクリル樹脂で製作されている。X, Y, Z方向に対するそのモデルの内部寸法はそれぞれ 145mm, 36mm, 145mm である。濾過用の金網は #200 であり、それは Y=18mm の断面に張られている。流入口は矩形 (12.5mm×80mm)、流出口は円形 (直径 19.6mm) であり、流入口と流出口の配置は金網が目詰まりしにくいよう図中に示すように偏らせてある。

### 2.2 実験装置

Fig. 2 に実験装置が示されている。タンク 1 に供給された水はタンク 2 からオイルストレーナー内に吸い上げられ、それを通過した後にポンプに吸い込まれる。ポンプ吐き出し側には流量調節弁と流量測定用オリフィスが取り付けられている。またオイルストレーナーの近くにはトラバース装置に載せられた LDV (Laser Doppler Velocimeter) のプローブが設置されている。本実験で使用される LDV の諸元は Table 1 に示されている。この LDV には周波数シフターが取り付けられているので正負の速度測定が可能である。流速測定におけるレーザー光の散乱粒子には平均粒径 5 μm のナイロンパウダーが用いられる<sup>9)</sup>。

### 2.3 実験方法

Fig.3 にオイルストレーナーモデルにおける流速分布の測定断面を示す。X, Y, Z 方向の速度成分はそれぞれ U, V, W で表す。速度成分 V の分布は、図中に実線で示された 11 の断面上で測定する。ただし、LDV による速度成分 V の測定では、2本のレーザービームで作られる面が上下壁および金網に対して直角に設定されるので、壁面および金網の近くでは速度成分 V を測定することができない。従って、本実験では速度成分 V の分布は金網と下部壁との中間 (Y=9mm)、および金網と上部壁との中間 (Y=27mm) の断面において測定される。また速度成分 U の分布は Fig.3 に示されている 9 点 (a<sub>1</sub>~c<sub>3</sub>) において測定される。ただし、本論文では紙面が制限されているので、X=34.25mm, Z=77mm および a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub> の断面における測定結果のみが示される。

実験条件としてオイルストレーナーの流出管における平均流速が V<sub>0</sub>=1m/s とされる。このとき、オイルストレーナー内部断面 (X=Z=145mm) における流体直径と平均速度および水の動粘度を用いたレイノルズ数は Re=1200 である。

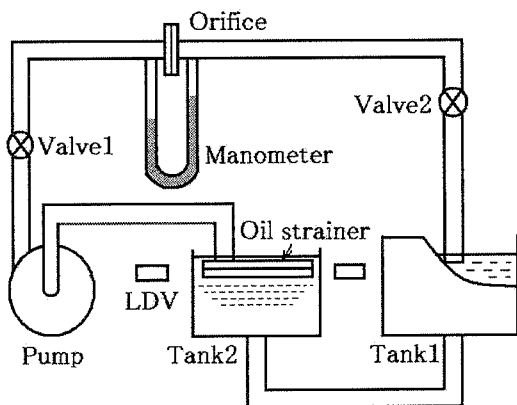


Fig.2 Experimental apparatus

## 3. 数値解析

解析モデルは Fig.1 に示したものと同一である。解析に使用する基礎方程式は非圧縮性・粘性流体の三次元流れに対する質量保存式、運動量保存式であり、外力は無視される。これらの基礎方程式を数値的に解くために、三次元熱流体解析コード CFD2000 (Adaptive Research 社) が用いられる。この解析コードでは基礎方程式の離散化に有限体積法が使用される。入口には 4.1 節で述べる実験結果に基づいて一様速度分布が与えられた。また、出口には相対圧力 0 (Pa) が与えられた。金網は多孔質体の平板と仮定され、その透過係数  $K=1.12 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  が与えられた。この透過係数は金網に対する圧力損失の実験式<sup>10)</sup> から得られたものであり、それは参考文献<sup>8)</sup> における値とほぼ等しい。金網近傍における計算格子は等比級数的に細かく配置された。

Table 1 Measurement condition of LDV

Light source	He-Ne laser
Wave length	632.8 [nm]
Focal length	152.5 [mm]
Beam cross angle	10.91 [deg]
Fringe spacing	3.327 [μm]
Beam spacing	30 [mm]
Frequency shift	0.5 [MHz]
Sampling time	0.06 [s]
Coincidence window width	0.2 [s]
Measurement volume	0.034 [mm <sup>3</sup> ]

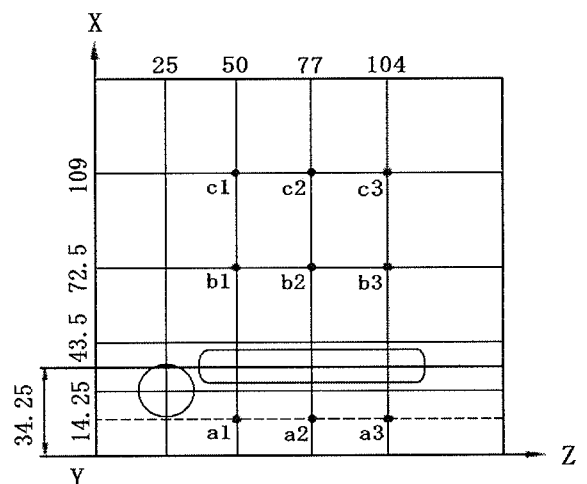


Fig.3 Cross sections for measurement of flow velocity distribution

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 V 速度分布

Fig.4 および Fig.5 は Fig.3 の X=34.25mm (矩形流入口の中心) を通る Y-Z 断面のそれぞれ Y=9mm (金網下部) および Y=27mm

(金網上部)の線上においてZ方向に測定された速度成分Vの分布を示している。実験値は各点で5回ずつ測定された5つの値で示されているが、これらの値のばらつきは小さい。従って、それらの速度は平均値でも十分な精度で表すことができる。

また、Fig.4のZ=37~117mmにおける速度分布は矩形流入口(Y=0)の垂直上方(Y=9mm)における分布であるが、実験値はその部分でほぼ一様分布となっている。このようにY=9mmにおいてはほぼ一様であることから、流入口(Y=0)における速度分布はさらに一様と考えられる。そのことを実験的に確認したいところであるが、2.3節の実験方法で述べたようにLDVでは流入口におけるV速度成分の分布は測定できない。従って、流入口(Y=0)における境界条件として一様速度分布を仮定して数値解析を行ってみた。その計算結果から得られたY=9mmにおける速度分布が同図中に実線で示されているが、それは実験値とよく一致していることから、やはり流入口では一様速度分布と考えることができる。すなわち、オイルストレーナーでは流入口と流出口の形状が異なり、またそれらの配置が偏っているにもかかわらず、流入口における速度分布は一様といえる。

Fig.5のY=27mmにおける速度分布は流出口の中心(Z=25mm)で最大となっているが、これは流出口に吸い込まれる流れであるためと考えられる。しかし、その流出口から遠い領域では速度が非常に小さい。これらの結果は図中の計算結果ともよく一致している。

Fig.6およびFig.7はZ=77mmを通るX-Y断面のY=9mm(金網下部)およびY=27mm(金網上部)の線上において測定された速度成分Vの分布が示されている。Fig.6のX=28~40.5mmが矩形流入口の垂直上方の位置に相当し、この部分の速度分布はやはり一様となっている。また、その速度分布はX=15mm付近でV=0となり、その点の左右で正負に変化していることから、ここでは左巻きの旋回流を生じていると考えられる。X=50mm以上では各点で5回ずつ測定されたデータがばらついており、ここでは速度変動が激しいと考えられる。次に、Fig.7のY=27mmにおける速度成分Vの分布はX=25mmを中心とする円形流出口付近で若干大きくなっているが、全体的に非常に小さいことがわかる。これらのFig.6およびFig.7における速度分布はやはり実線で示された計算結果とよく一致していると思われる。

#### 4.2 U速度分布

Fig.8, Fig.9, および Fig.10は、それぞれ Fig.3 中の a 2, b 2, c 2 の垂直線上における速度成分Uの分布を示している。3つの図のいずれにおいても、金網はY=18mmの位置(図中の破線)に張られている。しかし、ストレーナー内の流体は流出口からポンプで吸引されているため金網も吸引されて曲面となるので、金網から約3mm以内の位置にはレーザー光を入射することができない。そのため、金網近傍における速度は測定されていない。しかし、測定された部分の速度分布は数値計算結果とよく一致している。従って、金網近傍の速度は計算結果で十分予測されていると考えられる。いずれの図においても金網下部では金網に沿う流れの速度が最も大きくなっている。また、その速度分布は断面の中央部でU=0となり、その点より上部と下部で流れ方向が逆になっている。従って、金網の下部では旋回流が生じていると考えられる。また、各図の金網の上部にお

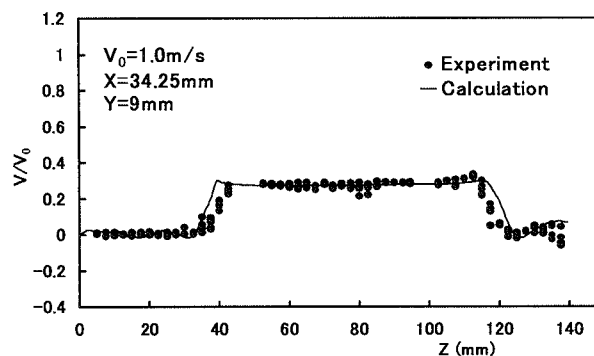


Fig.4 Distribution of velocity component  $V/V_0$  on line Z at  $X=34.25\text{mm}$  and  $Y=9\text{mm}$

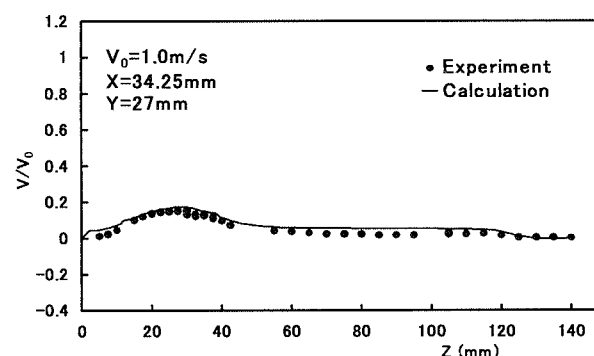


Fig.5 Distribution of velocity component  $V/V_0$  on line Z at  $X=34.25\text{mm}$  and  $Y=27\text{mm}$

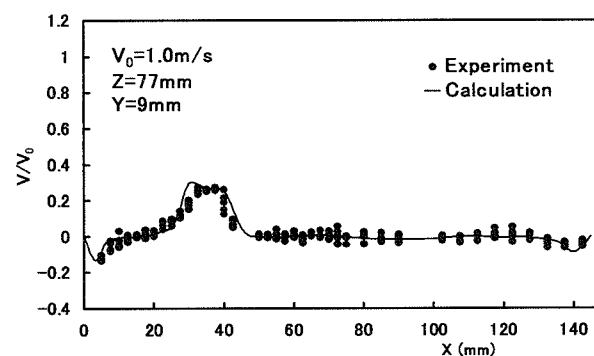


Fig.6 Distribution of velocity component  $V/V_0$  on line X at  $Z=77\text{mm}$  and  $Y=9\text{mm}$

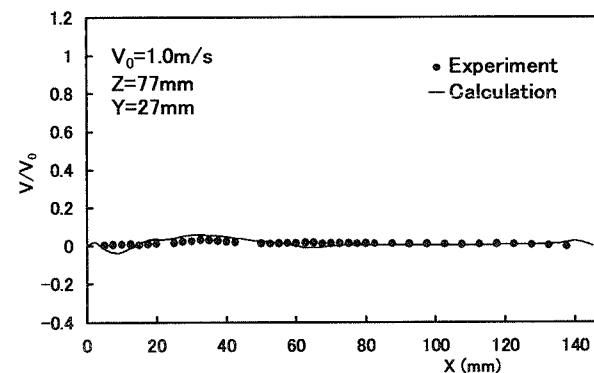


Fig.7 Distribution of velocity component  $V/V_0$  on line X at  $Z=77\text{mm}$  and  $Y=27\text{mm}$

ける速度は、出口に近い a 2 断面 (Fig.8) では少し大きい、出口から遠い b 2 (Fig.9), c 2 (Fig.10) における線上では非常に小さいことがわかる。

### 5. 数値解析結果および考察

#### 5.1 X および Z 断面における速度ベクトル分布

Fig.11 は  $X=34.25\text{mm}$  (矩形流入口を中心) を通る Y-Z 断面における速度ベクトルを示している。この速度ベクトルは複雑さを避けるため計算メッシュより少ない数で示されている。速度ベクトルの大きさの基準は流入口における  $V/V_0=0.3$  である。この図の断面は Fig.4 および Fig.5 の断面と同じである。これらの速度ベクトルは  $Y=9\text{mm}$  における流入口上部で一様、および

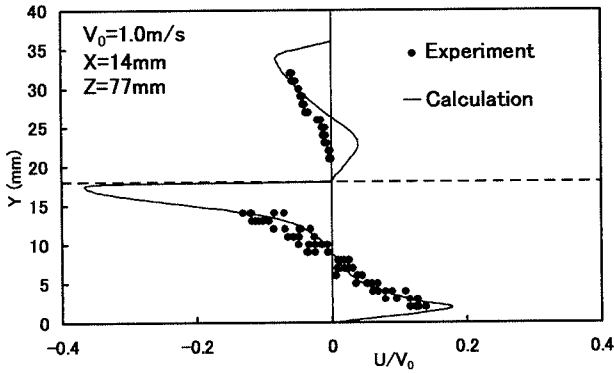


Fig.8 Distribution of velocity component  $U/V_0$  on line Y at  $X=14\text{mm}$  and  $Z=77\text{mm}$  (a2 point in Fig.3)

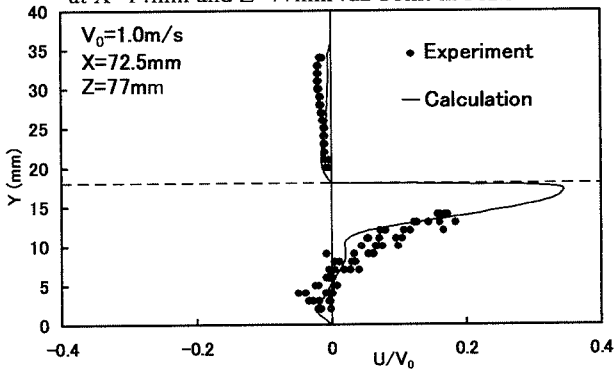


Fig.9 Distribution of velocity component  $U/V_0$  on line Y at  $X=72.5\text{mm}$  and  $Z=77\text{mm}$  (b2 point in Fig.3)

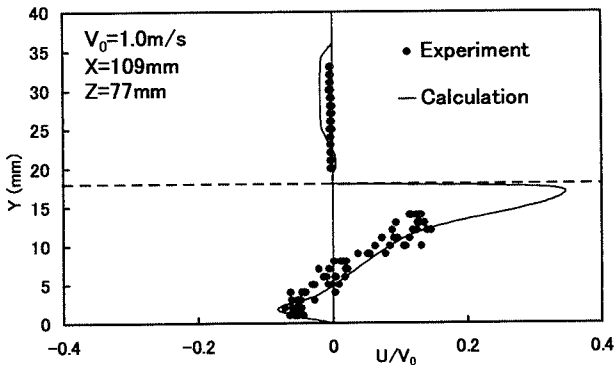


Fig.10 Distribution of velocity component  $U/V_0$  on line Y at  $X=109\text{mm}$  and  $Z=77\text{mm}$  (c2 point in Fig.3)

$Y=27\text{mm}$  における流出口下部で最大となっており、Fig.4 および Fig.5 で見られた分布とよく対応している。Fig.12 は  $Z=77\text{mm}$  (ストレーナー中心) を通る X-Y 断面における速度ベクトルを示している。流入口からの流れは金網に衝突し、金網に沿って高速で広がっている。その流れによって金網下部に旋回流が形成されている。金網の上部における流速はこの断面では非常に小さい。この断面は Fig.6 および Fig.7 の断面と同じであり、 $Y=9\text{mm}$  および  $27\text{mm}$  の線上における速度分布は Fig.6 および

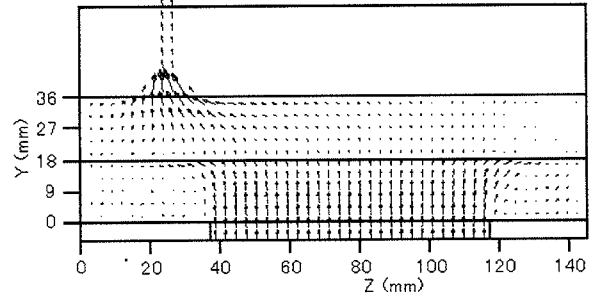


Fig.11 Velocity vectors on vertical section Y-Z at  $X=34.25\text{mm}$

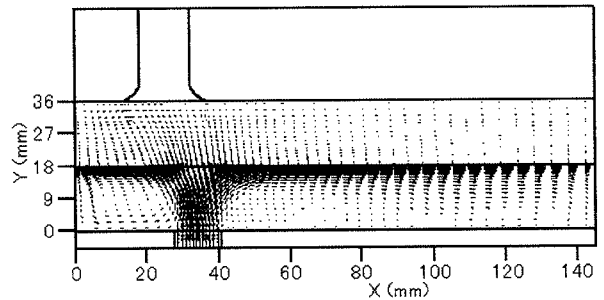


Fig.12 Velocity vectors on vertical section Y-X at  $Z=77\text{mm}$

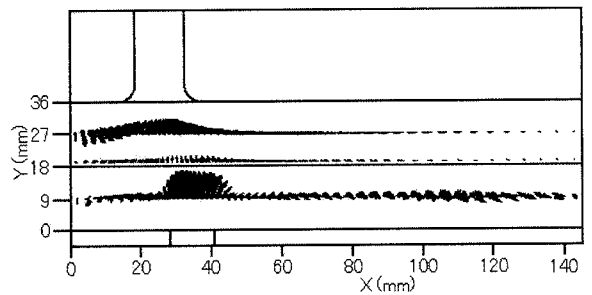


Fig.13 Overall velocity vectors on horizontal section X-Z at each Y (+Z view)

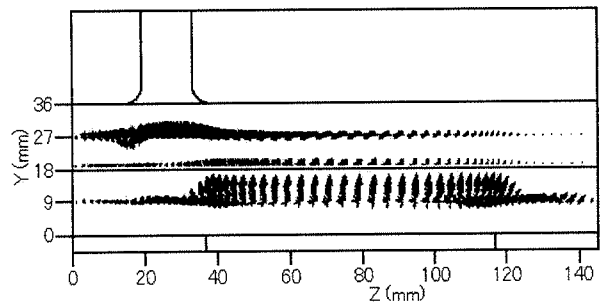


Fig.14 Overall velocity vectors on horizontal section X-Z at each Y (-X view)

Fig.7の速度分布とよく対応している。また、Fig.12の断面は、Fig.8～Fig.10の断面とも同じであり、 $X=14\text{mm}$ 、 $72.5\text{mm}$ 、および $109\text{mm}$ における速度分布はFig.8～Fig.10の図における速度分布とよく対応している。それらの図で予想された金網に沿う高速流れおよび金網下部における旋回流をFig.12で明確に観察することができる。

### 5.2 Y断面における速度ベクトル分布

オイルストレーナー内における全体的な流れを観察するため、代表的な3つのY断面上における速度ベクトルがFig.13およびFig.14に示されている。これらの図はそれぞれ+Z方向および-X方向から見た速度ベクトルを示している。この2つの図から、オイルストレーナー内における三次元的な流れを想像することができる。金網の下部では、矩形流入口の上部における速度ベクトルが非常に大きく、しかもほぼ一様な分布になっている。金網を通過することによって流れは整流され、金網通貨直後の速度ベクトル分布は全体的に一様となっている。しかし、入口上部での速度ベクトルがまわりのそれらよりも多少大きい。金網上部では金網に沿って広がった流れが再び出口に集められるため $Y=27\text{mm}$ における速度が流出口下部で大きくなっている。これらの速度ベクトルはFig.4～Fig.7における速度分布の実測値とよく対応している。

以上のことから、オイルストレーナーを通過する流れの速度は流入口および流出口の近くの領域で大きく、それらから遠い領域では非常に小さいことがわかる。

### 5.3 レイノルズ数による速度分布の相違

以上のように実験結果と解析結果はよく一致し、数値計算の有効性が確認された。従って、ストレーナー内部流れのレイノルズ数による変化を数値解析によって調べた。その計算結果をFig.15～Fig.18に示す。これらはFig.4～Fig.7に示した実験結果と同じ断面上の速度分布である。レイノルズ数はオイルストレーナーが実際に使用される $Re=1200$ 以下の3種類について示されている。

Fig.15およびFig.16は $X=34.25\text{mm}$ のY-Z断面上の $Y=9\text{mm}$ および $Y=27\text{mm}$ の線上における速度分布である。速度比( $V/V_0$ )は矩形流入口( $Z=37\sim 117\text{mm}$ )の両側の速度の小さい領域ではレイノルズ数によって多少異なっているが、矩形流入口上部の速度の大きい領域ではいずれのレイノルズ数の場合にもかなりよく揃っている。

次に、Fig.17およびFig.18は $Z=77\text{mm}$ (ストレーナーの中心)のY-X断面上の $Y=9\text{mm}$ および $Y=27\text{mm}$ の線上における速度分布を示している。いずれのレイノルズ数における速度分布もかなりよく揃っていると見ることができる。

## 6. 結言

矩形流入口、円形流出口および金網を有するオイルストレーナーモデルの内部流れが実験的および数値的に研究された。狭い空間における速度分布がLDVによって測定された。また、数値解析が行なわれ、実験結果と比較された。それらの結果は次のようにまとめられる。

- (1) オイルストレーナーの断面上の各点で5回ずつ測定された速度のばらつきは非常に小さい。従って、各断面における速度分布は平均速度で表すことができる。

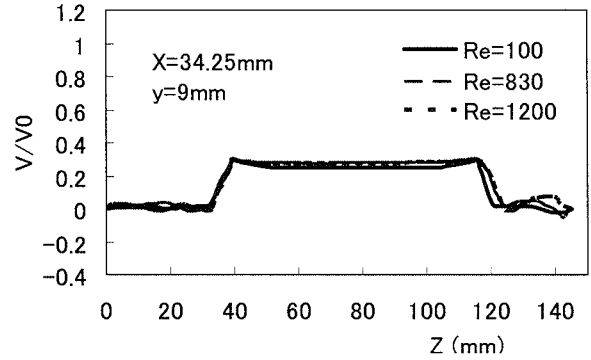


Fig.15 Change of velocity distribution in section ( $X=34.25\text{mm}$ ,  $Y=9\text{mm}$ ) by Reynolds number

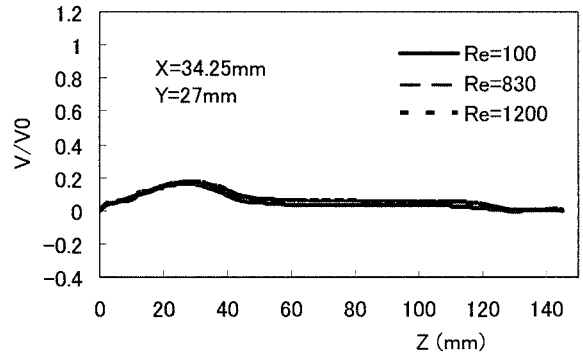


Fig.16 Change of velocity distribution in section ( $X=34.25\text{mm}$ ,  $Y=27\text{mm}$ ) by Reynolds number

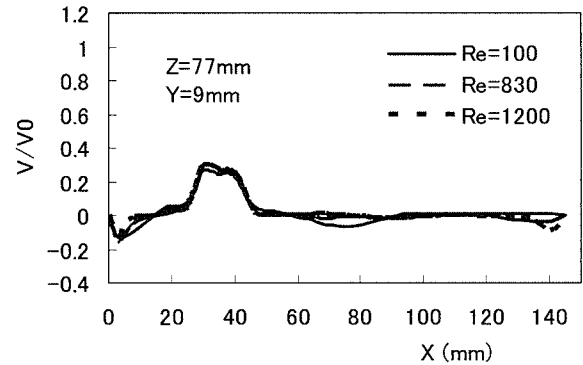


Fig.17 Change of velocity distribution in section ( $Z=77\text{mm}$ ,  $Y=9\text{mm}$ ) by Reynolds number

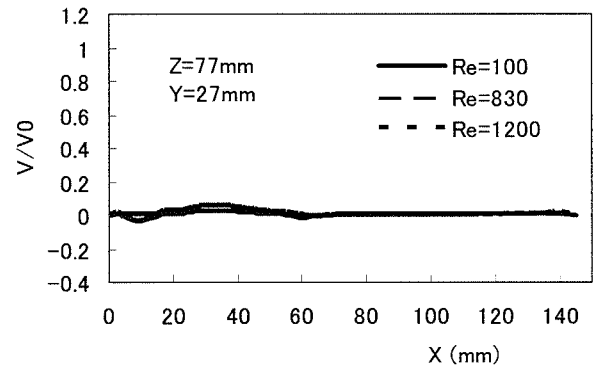


Fig.18 Change of velocity distribution in section ( $Z=77\text{mm}$ ,  $Y=27\text{mm}$ ) by Reynolds number

- (2) オイルストレーナーでは、流入口と流出口の形状が異なり、またそれらの配置が偏っているが、流入口上方における速度の測定結果および数値解析結果より、流入口における速度分布は一様であると考えられる。
- (3) 数値解析の結果は各断面において測定された速度分布とよく一致した。従って、この解析解はオイルストレーナーの流れを十分再現していると認められる。(4) 流入口から流入した流れは金網に衝突し、その面に沿って放射状に広がる。その流れによって金網下部には三次元的な旋回流が形成される。金網を通過する流れは整流され、その後出口に向かって流れる。
- (5) オイルストレーナー内における流速は流入口と流出口を直線的に結ぶ領域とその周辺の領域で大きく、それらから遠い領域では非常に小さい。従って、オイルストレーナーを通過する流れは流入口から流出口に向かう流れが主流であり、主流部分の金網がオイルの汚れ等により目詰まりを起こしても、流れが迂回できる部分が多く確保されているため、濾過装置としての性能を維持できる。
- (6) 今回CFD解析したレイノルズ数の範囲 ( $Re=100\sim 1200$ ) では、オイルストレーナー内部の流れはレイノルズ数に殆んど影響されないことが明らかになった。

## 参考文献

- 1) 自動車年鑑ハンドブック, 日刊自動車新聞社, (2004), 354.
- 2) 大車林-自動車情報辞典, 三栄書房, (2004), 124.
- 3) 石神輝男, AT車のすべて, 鉄道日本社, (1997), pp.32-35.
- 4) 福田, 円能寺, 飯島, 自動車用オイルストレーナーにおける流動現象, 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集, 2004-10, pp.555-556.
- 5) 池田義雄: 金網ウイックの浸透率, 日本機械学会論文(B編), 52-479, (1986), 2612-2618.
- 6) 小佐井博章, 井村英昭, 池田勇二: 金網ウイックの浸透係数, 日本機械学会論文集(B編), 56-521, (1990), 161-167.
- 7) 小佐井博章, 井村英昭, 池田勇二: 金網ウイックの有効細孔半径, 日本機械学会論文集(B編), 56-521, (1990), 168-174.
- 8) 野田英彦, 吉岡啓介, 浜武俊朗: 金網ウイックの透過率に関する実験的研究, 日本機械学会論文集(B編), 57-542, (1991), 223-228.
- 9) 技術資料 流体計測法, 日本機械学会編, (1986), 142-157.
- 10) 機械工学便覧, 日本機械学会編, (1987), A5-85.