

AT車用オイルストレーナーにおける内部流れの測定

五十嵐 薫*¹・円能寺 久行*²・飯島 敏雄*²

Measurement of Internal Flow in Oil Strainer for AT Automobile

by

Kaori IGARASHI*¹, Hisayuki ENNOJI*² and Toshio IJIMA*²

(Received on Mar. 31, 2009 and accepted on May 25, 2009)

Abstract

Experiment and numerical analysis were carried out in order to clarify flow in the oil strainer of automatic transmission (AT) automobiles. The flow field was shifted in water flow of Reynolds number at which the oil strainer is used actually. The velocity distribution was measured in many cross sections of the oil strainer by LDV and PIV in the experiment. The measured velocity distribution was then compared with the results of numerical analysis. The findings proved that sufficient space is ensured for detour round the flow, even if any part of wire gauze is choked up in the oil strainer for the AT automobile. These results clarify that automobile oil strainers maintain their filter function over long time.

Keywords: Automobile, Automatic transmission, Oil strainer, internal flow, LDV, PIV, CFD

1. 結論

現在生産されている乗用車の95%以上がAT(Automatic Transmission)車である。ATではエンジンからの出力がトルクコンバーターを介して変速されるが、トルクコンバーターの作動油であるATF(Automatic Transmission Fluid)には運転時間の経過とともにスラッジ(オイルの劣化物・金属摩耗粉等)が混入され、それを濾過しなければ故障の原因となる。その濾過装置がオイルストレーナーであり、その内部には目の細かい金網が張られていて、それによりスラッジを濾過するようになっている。しかし、そのオイルストレーナーは金網の目が非常に細かいため目詰まりが懸念されており^{1)~3)}、それを予防するためには内部の流れを十分把握して設計することが必要である。しかし、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⁴⁾。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を対象とした研究が行われているが^{5)~8)}、それらの結果からオイルストレーナー内の流れを把握することは困難である。

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、そのストレーナー内部における流れ特性を実験的および数値解析的に調べる。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ため、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ける水の流れ場で実験や解析を行う。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(Laser Doppler

Velocimetry)とPIV(Particle Image Velocimetry)によって測定する。またCFDによる数値解析も行い、その結果を測定された流速分布と比較することによって測定値の妥当性を検討するとともに、オイルストレーナー内部における流れを実験的および解析的に明らかにする。

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をFig.1に示す。このモデルは実際に使用されている典型的なオイルストレーナーに基づいて設計され、透明なアクリル樹脂で製作されている。モデルの内部寸法はX, Y, Z方向にそれぞれ145mm, 36mm, 145mmである。Y=18mmの断面に濾過用金網(#200)が張ら

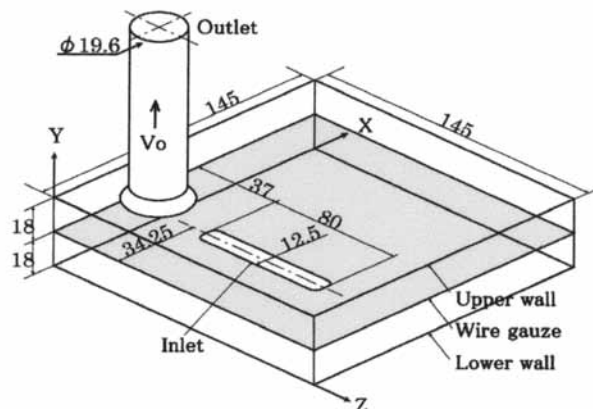


Fig.1 Oil strainer model

* 1 工学研究科機械工学専攻

* 2 動力機械工学科 教授

れている。その金網(#200)は、綾織でステンレス製である。線径は0.05mm、ピッチは0.125mm、そして目開きは0.0075mmである。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に考慮して図のように偏らせてある。このように偏らせると流入口から流出口へ向かう流体は金網を斜めに通過し、金網に付着したスラッジを網面に沿って押し流すため目詰まりしにくい。それは網戸や壁面に付着した粉塵を水噴流によって洗い流す様子を想像すると容易に理解できる。

2.2 実験装置

Fig.2に実験装置を示す。タンク1の水はタンク2へ入り、そこからオイルストレーナー内に吸い上げられ、ポンプに吸い込まれて行く。ポンプの吐出側には流量調節弁と流量測定用オリフィス板が取り付けられている。オイルストレーナーのまわりにはレーザーシートの光源、LDVのプロープ、高速度 CCD カメラが設置できるようになっている。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を測定可能である。また、PIVではレーザーシートによって照射された粒子群を側面から高速度 CCD カメラで撮影し、データを記録する。LDVにおけるレーザー光の散乱粒子には平均粒径 $5\mu\text{m}$ の東レ製ナイロンパウダー、PIVにおける散乱粒子には平均粒径 $50\mu\text{m}$ のKANOMAX製オルガソールを使用する⁹⁾。なお、上述したように金網の目開きは $75\mu\text{m}$ なので、散乱粒子によって目詰まりすることはない。

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と表す。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垂直に設定されるので、壁面および網面の近くの流速は測定できない。従って、本実験では速度成分Vの分布は下部壁と金網との中間($Y=9\text{mm}$)、および金網と上部壁との中間($Y=27\text{mm}$)の断面において測定する。

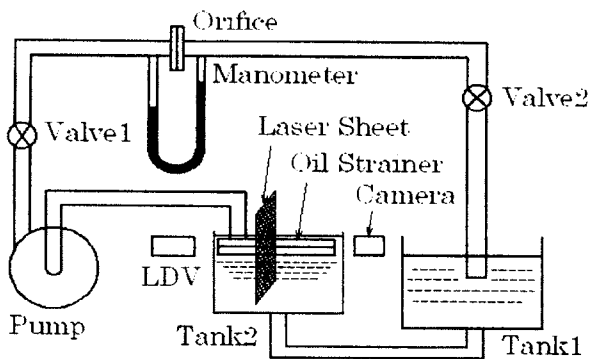


Fig.2 Experimental apparatus

実験条件としてオイルストレーナーの流出管 (Fig.1参照)における平均流速を $V_0=1.0, 0.69$ および 0.083m/s とする。このとき、オイルストレーナー内部断面 ($X=Z=145\text{mm}$)における流体直径と平均速度を用いたレイノルズ数はそれぞれ $Re=2080, 1430$ および 170 である。なお、レイノルズ数は $Re = v \times 4m/\nu$ で求められ、流体直径 $4m$ は流体平均深さ $m = A/S$ から求められる。ここで、断面積 $A = 0.145 \times 0.145 [\text{m}^2]$ 、ぬれ縁長さ $S = 0.145 \times 4 [\text{m}]$ である。また、 v はオイルストレーナー内部断面における平均流速、 ν は流体の動粘度である。

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三次元非定常・非圧縮性・粘性流体に対する質量保存式、運動量保存式であり、外力は働かないものとする。これらの基礎方程式を数値的に解くために、汎用の三次元熱流体解析コード CFD2000 (Adaptive Research 社)を用いる。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ている。境界条件として、流入口には4章で述べる実験結果に基づいて一様速度分布を与え、流出口には相対圧力 $0.0[\text{Pa}]$ を与えた。金網(#200)は多孔質体と仮定し、その透過係数は金網に対する透過係数 K の実験式¹⁰⁾から算出した。その実験式は $K=6(1-\beta)\beta^2R_{ew}^{-1/3}$ である。ここで、 $\beta=(1-d_w/\ell_w)^2$ 、 $R_{ew} = v_r d_w/\beta\nu$ であり、 d_w は金網の素線径、 ℓ_w は金網のピッチ、 v_r は金網への近寄り速度、そして ν は流体の動粘度である。次に、格子間隔は壁面や金網の近傍で等比級数的に細かくした。

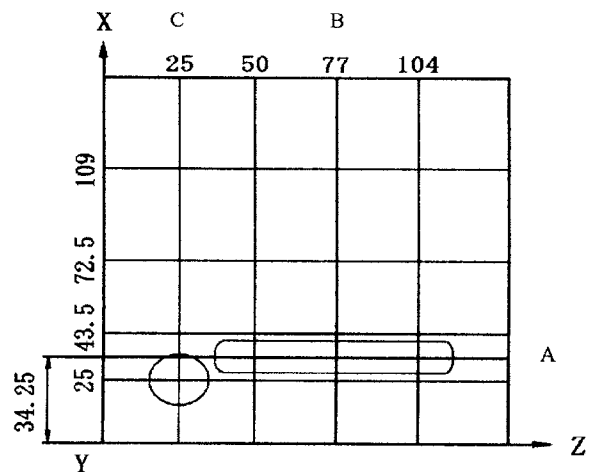


Fig.3 Cross section for measurement of flow velocity distribution

4. 実験結果および考察

実際のオイルストレーナーは当然金網つきであるが、ここではストレーナー内部流れにおよぼす金網の影響や速度分布測定結果の妥当性の検討などを行うため、網つ

きモデルと金網を取り外した網なしモデルの二種類のモデルについて LDV, PIV による流れの測定および CFD による数値解析を行った。また, Fig.3 に示すような多くの断面における流れの測定を行ったが, ここでは Fig.3 中に示す A, B, C の代表的な断面における流れの測定や数値解析結果について述べる。

4.1 網つきモデルの断面 A における速度分布と流れパターン

Fig.4 は網つきモデルの断面 A の Y=9mm(金網下部)および Y=27mm(金網上部)における無次元速度分布 (V/V_0)

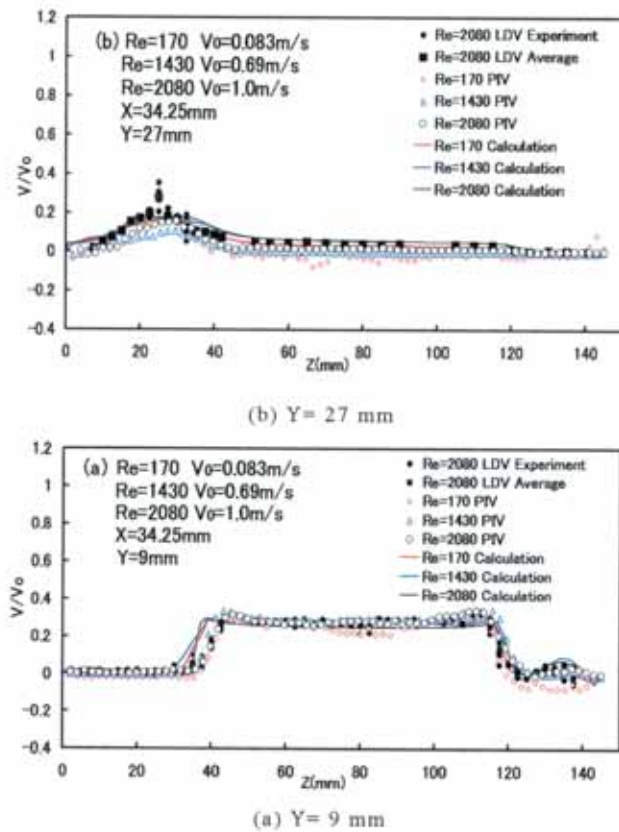


Fig.4 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer with wire gauze

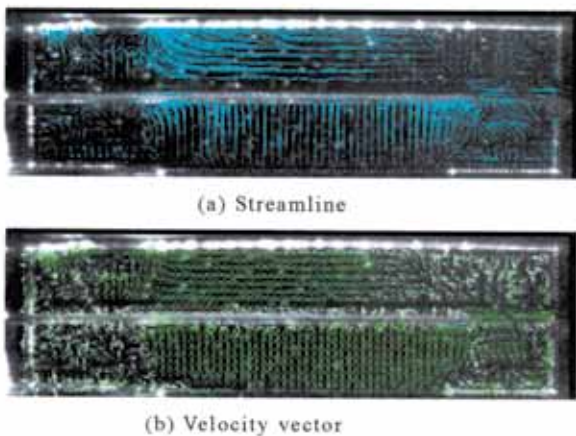


Fig.5 Flow pattern on cross section A in oil strainer model with wire gauze

を Z 座標に対して示したものである。ここで V は Y 方向速度成分であり, V_0 は円形の流出口における平均速度である。図中には $Re=2080$ において LDV で 1 点あたり 5 回ずつ測定された速度(Experiment)とそれらの平均値(Average), $Re=170, 1430, 2080$ において PIV で測定された速度, およびそれらと同じ Re 数において CFD で計算された速度(Calculation)が示されている。Fig.5 は Fig.4 の速度分布の断面と同じ断面 A において PIV で得られた流れパターンを流線と速度ベクトルで示したものである。これらの図より流入口から流入した流れがほぼ一様流で上昇し, 金網を通過して流出口へ向かって流れている様子がわかる。Fig.4(a)は $Y=9\text{mm}$ (金網上部)における無次元速度分布 (V/V_0) を示している。LDV で 1 点あたり 5 回ずつ測定された速度はばらつきが小さく, 平均値で十分表されている。これは流れが金網によって整流され, 速度変動が小さいためと考えられる。その速度変動が小さい様子は Fig.5 の流れパターンからも観察される。また, PIV および CFD によって得られた無次元速度分布はいずれのレイノルズ数の場合にもほぼ一本の線に揃っており, LDV によって測定された平均速度分布ともよく一致している。従って, これらの速度分布はレイノルズ数に対して相似と言える。また, これらの速度分布は流入口 ($Z=37\sim 117\text{mm}$) の上方で大きく, ほぼ一様分布となっている。これは Fig.5 の流れパターンより, 流入口からの流れが噴流となって上昇しているためと考えられる。従って, 本研究で使用したオイルストレーナーモデルのように矩形の流入口と円形の流出口というように流入口と流出口の形状や寸法が異なったりそれらの配置が偏ったりしていても流入口における速度分布はほぼ一様分布になることがわかる。

Fig.4(b)は $Y=27\text{mm}$ (金網上部)における無次元速度分布 (V/V_0) を示している。LDV で 1 点あたり 5 回ずつ測定された速度は円形流出口の中心 ($Z=25\text{mm}$) で変動が見られるが, それ以外の点では変動が小さい。これは金網によって流れが整流されているためと考えられる。また, LDV, PIV および CFD によって求められた速度分布はほぼ一本の曲線に揃っていると見ることができる。この断面における速度分布は流出口 (中心 $Z=25\text{mm}$) 付近で大きい, それより離れた Z 座標では小さいことがわかる。この部分の流れを Fig.5 の流れパターンで観察すると, 流出口付近で速度が大きいのは流出口に吸い込まれる流れのためであり, $Z=50\text{mm}$ 以上の位置で Y 方向速度成分 V が小さいのは金網を通過した流れがほぼ水平に流れて流出口に向かって流れているためであることがわかる。このように Fig.4 の速度分布は Fig.5 の流れパターンとよく対応しており, 妥当であることを確認できる。

4.2 網なしモデルの断面 A における速度分布と流れパターン

Fig.6 は網なしモデルの断面 A の $Y=9\text{mm}$ (金網下部に相当)および $Y=27\text{mm}$ (金網上部に相当)における無次元速度

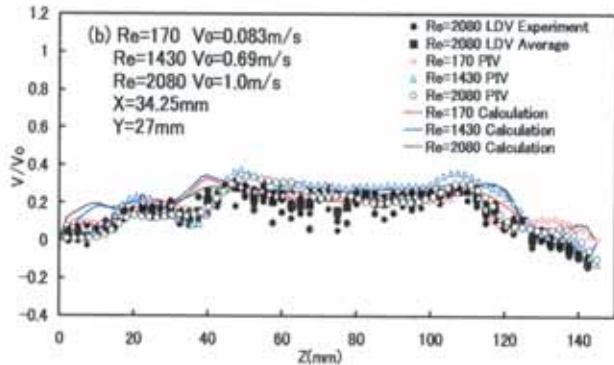
分布 (V/V_0) を Z 座標に対して示したものである。図中には Fig.4 の場合と同様に LDV, PIV および CFD によって得られた速度分布が示されている。

Fig.7 は Fig.6 の速度分布の断面と同じ断面 A において PIV により得られた流れパターンを示している。この場合には金網がないため流入口からの流れは噴流となって直進し、直接上壁に衝突している様子が観察される。

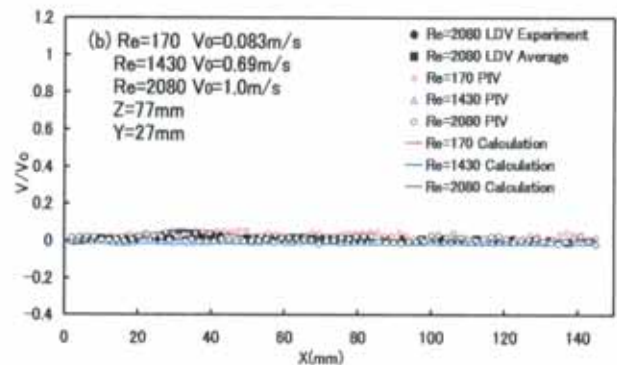
Fig.6 (a) の $Y=9\text{mm}$ (金網下部に相当) では流入口 ($Z=37\sim 117\text{mm}$) の上方で流速が大きく、やはりほぼ一様速度分布となっている。これは Fig.7 の流れパターンから見られるように流入口からの流れが一様流となって直進

しているためと考えられる。Fig.6 (b) の $Y=27\text{mm}$ (金網上部に相当) では LDV で 1 点あたり 5 回ずつ測定された速度がばらついている。これは金網のないモデルであるため流れが整流されないことによるものと考えられる。また、流入口 ($Z=37\sim 117\text{mm}$) の上方では $Y=27\text{mm}$ までほぼ一様速度分布を保持しているものの、速度変動が激しくなっている。それは網なしモデルのため流れが整流されないためであり、Fig.7 の流れパターンからも変動の激しい様子が観察される。

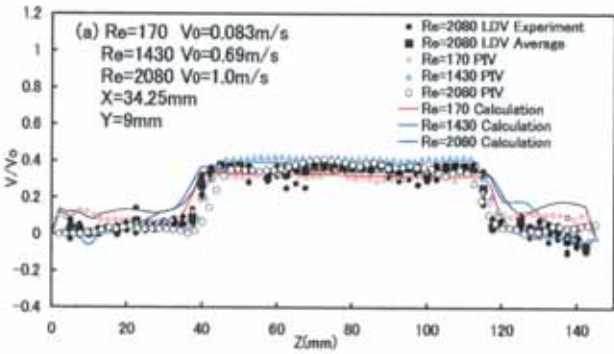
Fig.6 の網なしモデルの速度分布を Fig.4 の網つきモデルの速度分布と比較すると、網つきモデルの場合には



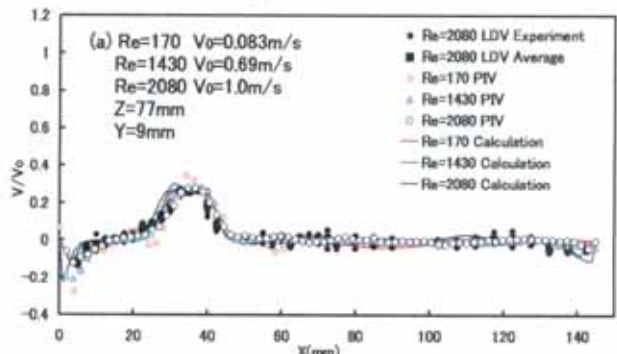
(b) $Y=27\text{ mm}$



(b) $Y=27\text{ mm}$



(a) $Y=9\text{ mm}$



(a) $Y=9\text{ mm}$

Fig.6 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer without wire gauze

Fig.8 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer with wire gauze



(a) Streamline



(a) Streamline



(b) Velocity vector



(b) Velocity vector

Fig.7 Flow pattern on cross section A in oil strainer model without wire gauze

Fig.9 Flow pattern on cross section A in oil strainer model with wire gauze

流れが金網によって整流されるため速度変動が小さく、特に $Y=27\text{mm}$ の金網上部における速度分布は金網の有無によって非常に異なることがわかる。

4.3 網つきモデルの断面 B における速度分布と流れパターン

Fig.8 は網つきストレーナーモデルの断面 B ($Z=77\text{mm}$) の $Y=9\text{mm}$ (金網下部)および $Y=27\text{mm}$ (金網上部)における無次元速度分布 (V/V_0) を X 座標に対して示したものである。Fig.9 は Fig.8 の速度分布が得られた断面と同じ断面 B において PIV により求められた流れパターンであ

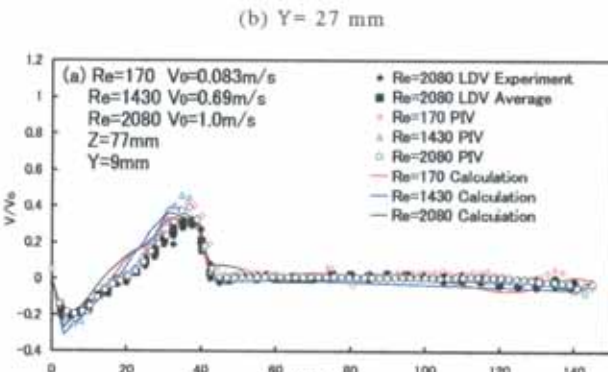
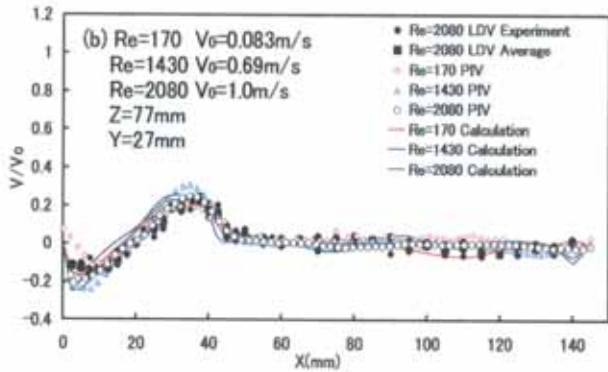


Fig.10 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer without wire gauze

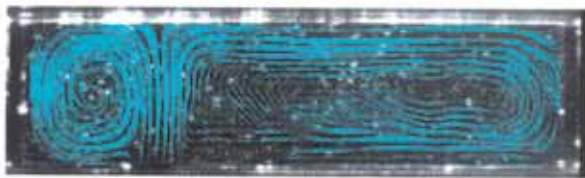


Fig.11 Flow pattern on cross section A in oil strainer model without wire gauze

る。この流れパターンより流入口から流入した流れは噴流となって金網に衝突し、網面に沿って左右に広がりながら金網を通過している。このとき、金網下部の左右空間に旋回流を生じていることが観察される。その旋回流は左側では空間が狭いため高速回転しているが、右側では空間が広いいため緩やかに回転していることがわかる。

Fig.8 (a)の $Y=9\text{mm}$ では、流入口 ($X=28\sim 40.5\text{mm}$) の上方で流速が急激に大きくなっているが、これは Fig.9 の流れパターンで見られるように流入口から流入した流れが噴流となっている部分である。また $X=10\text{mm}$ 付近で $V/V_0=0.0$ となり、その左右で負と正の速度になっているが、Fig.9 の流れパターンよりこの部分では強い旋回流を生じているためであることがわかる。また、 $X=50\text{mm}$ 以上の位置で速度 V/V_0 が非常に小さくなっているのは流れパターンから見られるようにこの付近の流れは旋回流中の水平流れの部分であるためである。また、Fig.8 (b) の $Y=27\text{mm}$ (金網上部)では全線上で速度 V/V_0 が非常に小さくなっているが、それは流れパターンからも見られ、妥当であることを確認できる。ここでの流れは Fig.3 から Fig.9 の紙面に直角に奥の方へ水平に流れて流出口へ向かっているため V が小さいものと考えられる。

4.4 網なしモデルの断面 B における速度分布と流れパターン

Fig.10 は網なしモデルの断面 B ($Z=77\text{mm}$) における無次元速度分布 (V/V_0) を示している。また、Fig.11 は Fig.10 と同じ断面において PIV により得られた流れパターンであり、流入口から流入した流れが噴流となって上昇し、網がないため上壁に直接衝突し、壁面に沿って左右に広がり、空間全体に旋回流を形成している。その旋回流は左側では空間が狭いため小さな半径で高速回転しているが、右側では空間が広いため低速回転となっている。Fig.10 には LDV, PIV および CFD で得られた速度分布が示されているが、いずれも比較的良好に揃っている。

また、Fig.10(a)の $Y=9\text{mm}$ における速度分布と Fig.10(b) の $Y=27\text{mm}$ における速度分布は $X=0\sim 41\text{mm}$ の間で速度の大きさが多少異なっているが、全体的に似た形の分布となっている。しかし、これらの速度分布を Fig.8 の網つきモデルの速度分布と比較すると、 $X=0\sim 41\text{mm}$ の間で著しく異なり、Fig.10 の網なしモデルの絶対速度が大きくなっている。この部分の流れを Fig.11 の流れパターンで観察すると、この場合には網がないため流入口から流入した流れは Fig.9 の網つきモデルの場合より高速の噴流となって上壁に衝突し、噴流の左右空間に明瞭な旋回流を形成しているが、その旋回速度は Fig.9 の網つきモデルの場合より大きい。そのため Fig.10(a)の $X=0\sim 41\text{mm}$ における絶対速度は Fig.8 の網つきモデルの場合より大きくなったものと考えられる。

また Fig.10(a)および Fig.10(b)とも $X=41\text{mm}$ 以上では非常に小さい速度になっている。この部分の速度は Fig.11 の流れパターンにおいて噴流部より右側の空間で上下壁に平行な

水平流れの Y 方向速度成分(V)であるためと考えられる。

4.5 網つきモデルの断面 C における速度分布と流れパターン

Fig.12 は網つきモデルの断面 C における無次元速度分布 (V/V_0) を示している。この断面 C は Fig.3 に示すように円形流出口の中心 ($X=25\text{mm}$) を通る XY 面である。その速度分布の断面と同じ断面における流れパターンが Fig.13 に示されている。

Fig.12(a) は金網下部である $Y=9\text{mm}$ における速度分布 (V/V_0) であり、流出口 ($X=15.2\sim 34.8\text{mm}$) の下方で多

少大きくなっているが、全体的に小さい。これは Fig.13 の流れパターンによると、金網下部の断面では流出口の下方では Y 方向流れが観察されるがそれより右側に離れた断面では速度が非常に小さいことから確認できる。

また、Fig.12(b) は金網上部である $Y=27\text{mm}$ における速度分布 (V/V_0) であり、速度は流出口 ($X=15.2\sim 34.8\text{mm}$) の下方で大きく、 $X=50\text{mm}$ 以上では小さくなっている。この部分の流れを Fig.13 の流れパターンで観察すると、金網上部の断面では大きな速度で流出口に吸い込まれる流れが観察されるが、流出口より右側の部分では水平流れで流出口に向かっていて Y 方向速度成分 V は小

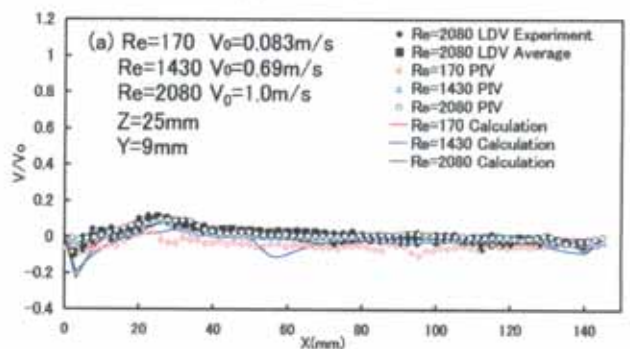
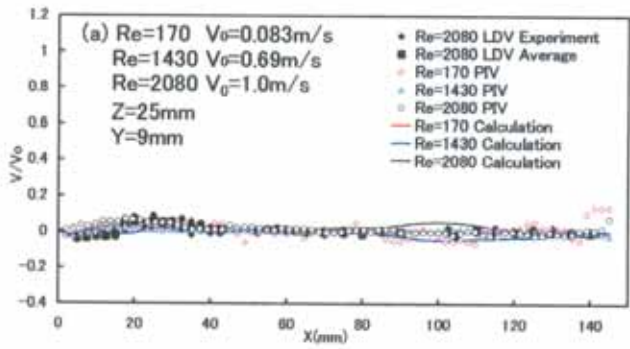
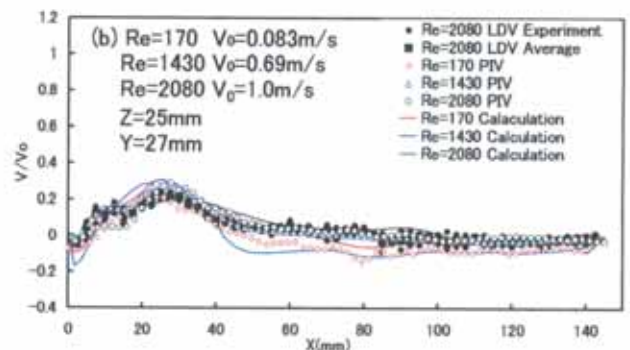
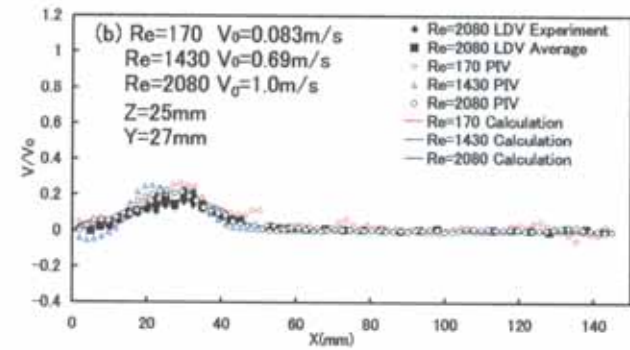


Fig.12 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer with wire gauze

Fig.14 Distribution of flow velocity V/V_0 on cross section A for oil strainer without wire gauze

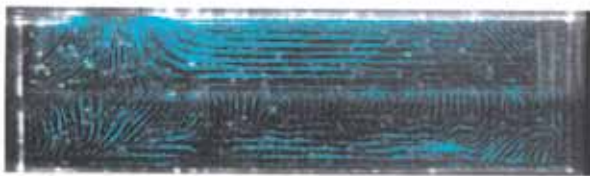


Fig.13 Flow pattern on cross section A in oil strainer model with wire gauze

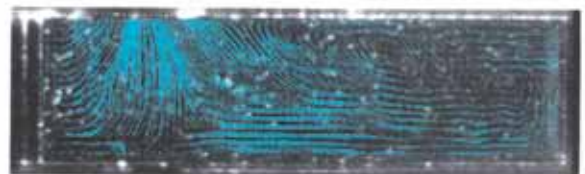


Fig.15 Flow pattern on cross section A in oil strainer model without wire gauze

いと考えられる。これらのことより、Fig.12 の速度分布の測定値および計算値は妥当であることを確認できる。

4.6 網なしモデルの断面 C における速度分布と流れパターン

Fig.14 は網なしモデルの断面 C における速度分布 (V/V_0) を示している。また、Fig.15 は同じ断面 C における流れパターンである。この流れパターンよりこの断面の流れは空間内の流体が上壁に開けられた流出口に向かって吸い寄せられている流れであることがわかる。

Fig.14(a) の $Y=9\text{mm}$ および Fig.14(b) の $Y=27\text{mm}$ における速度分布は流出口の中心 ($X=25\text{mm}$) で最大速度を示し、 $X=40\text{mm}$ 以上では緩やかな右下がりの速度勾配となっている。これは Fig.15 の流れパターンにおいて流出口の下方で速度が大きくなっていること、また流出口から離れた位置では流体が徐々に流出口に向きを変えながら流れていることから理解できる。また、Fig.14(a) の速度分布よりも Fig.14(b) の速度分布の方が全体的に大きな速度となっているが、これは Fig.15 の流れパターンにおいて流出口に近い断面ほど Y 方向速度成分が大きくなっていることから確認できる。

また、Fig.14 の網なしモデルの速度分布は Fig.12 の網つきモデルの速度分布に比べて全体的に速度が大きく、速度変動も激しい。これは網つきモデルの場合のように金網によって整流されないためと考えられる。そのような速度の大きさや速度変動の相違は Fig.15 の網なしモデルの流れパターンを Fig.13 の網つきモデルの流れパターンと比較することによって確認できる。

5. 結論

流入口（矩形）および流出口（円形）の形状・寸法が異なり、両口の配置が偏った複雑な構造を有するオイルストレーナーの内部流れを明らかにするため LDV と PIV による測定、および CFD による数値解析を行った。それらの結果は次のようにまとめられる。

(1) LDV、PIV および CFD によって得られた無次元速度分布 (V/V_0) は網ありストレーナーの場合、金網によって流れが整流されて速度変動が小さく、いずれの断面においてもかなりよく一致する。しかし、網なしストレーナーの場合には整流されないため速度変動が激しく、流入口の上方におけるそれらの速度分布には多少誤差を生じる。また、そのような一本の線上における速度分布のみでは理解困難な流れの現象が PIV による断面全体の流れの可視化によって明らかになった。

(2) 各断面上の無次元速度分布は網なしストレーナーの流入口上方断面を除けば金網の有無に関わらず $Re=170\sim 2080$ の範囲でレイノルズ数 Re に対して相似分布を示す。

(3) 流入口における速度分布は流入口と流出口の形状や配置および金網の有無などに関わらず一様速度分布となることが明らかになった。

(4) 網ありストレーナーモデルの金網下部では矩形の流入口から噴流となって流入した流れが金網に衝突して網面に沿って広がり、噴流の両側の空間に回転方向が逆の旋回流を形成し、旋回しながら金網を徐々に通過する。その旋回流の網面に沿う部分の流れは網に付着したスラッジを洗い流す作用もすると考えられる。また金網上部では網を通過した流体が狭い空間を通過して流出口へ吸収されるため水平流れとなり、垂直方向速度成分は小さい。

(5) 網なしストレーナーモデルでは矩形流入口から流入した噴流が上壁に衝突してその壁面に沿って広がり、噴流の両側の空間を旋回しながら流出口に吸収されるため速度変動が激しい。

(6) 網ありストレーナーでは流入口からの噴流が金網に衝突する部分で目詰まりしやすいと考えられるが、本研究で用いたオイルストレーナーモデルはその部分が目詰まりしても流れが迂回できるほど十分に広い空間が確保されているので濾過装置としての機能を維持できる。

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), pp. 354.
- 2) 大車林-自動車情報辞典, 三栄書房, (2004), pp.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: 金網ウィックの浸透率, 日本機械学会論文(B 編), 52-479, (1986), pp.2612-2618.
- 6) 小佐井博章, 井村英昭, 池田勇二: 金網ウィックの浸透係数, 日本機械学会論文集(B 編), 56-521, (1990), pp.161-167.
- 7) 小佐井博章, 井村英昭, 池田勇二: 金網ウィックの有効細孔半径, 日本機械学会論文集(B 編), 56-521, (1990), pp.168-174.
- 8) 野田英彦, 吉岡啓介, 浜武俊朗: 金網ウィ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), pp.223-228.
- 9) 技術資料 流体計測法, 日本機械学会編, (1986), pp.142-157.
- 10) 機械工学便覧, 日本機械学会編, (1987), pp.A5-85.