

シリンダ内の定常旋回流の速度分布に関する研究

Velocity Distribution of Swirl Flow in a Circular Cylinder

西 村 勝 彦*・高 間 信 行*・遠 藤 敏 彦*・吉 識 晴 夫*
Katsuhiko NISHIMURA, Nobuyuki TAKAMA, Toshihiko ENDOH and Haruo YOSHIKI

1. は じ め に

エンジン設計において、シリンダ内のガス流動を知ることは燃焼現象の理解、改善などにとって重要である。

直接噴射ディーゼル機関では、吸気行程でシリンダ内に旋回流を与えることによって出力向上、燃焼改善、排気浄化を行っている。この旋回流を発生するための吸気管の形状は、定常流試験¹⁾などを用いて経験的に決めることが多く、容易な設計法とは言えない。

一方、CFD (Computational Fluid Dynamics) の発展に伴い、エンジン内の流れ場を数値計算する試みが盛んに行われている。計算結果が実験計測を十分予測できるならば、非接触でエンジン内の任意の情報が得られるため設計手段として注目されている。吸気管、バルブ、シリンダを含む3次元形状内の速度分布、燃焼現象、排気ガス成分まで計算されている²⁾が、計算結果を実験計測と比較した例³⁾は少なく、流れ場の速度成分に関する数値モデルの検討でも十分とは言えない。

そこで、本報では定常旋回流の速度分布に着目し、定常流試験を想定した装置のシリンダ内の流れ場の詳細なデータを得るため、熱線流速計で3次元測定し、数値計算を検討するための基礎データを求めた。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図1に示す。測定部のシリンダは、内径： $D=110\text{mm}$ のアクリル製であり、トラバース装置と一体に周方向に回転可能となっている。トラバース装置は、半径方向および軸方向に移動できるため任意の点で測定可能である。流入口は、シリンダ内に旋回流が生じるようにシリンダ中心よりずれた側面の位置に設けてある。流れは、下流側に設けたブローアの吸い込みによってつくられる。流量は空気取り入れ口に設けた丸型ノズルによって測定し、ブローア直前のバルブによって調節した。ノズル後の空気は、整定室、絞り部を通じて流入

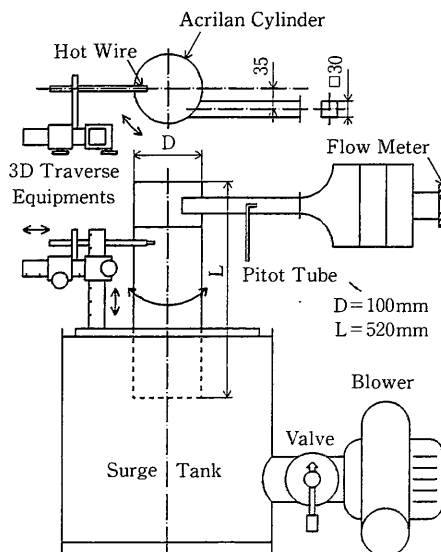


図1 実験装置概略

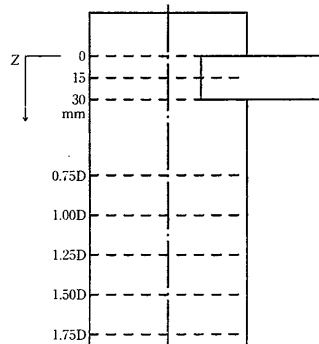
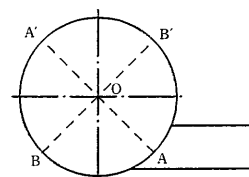


図2 測定断面

*東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

口に入る。時間平均速度成分およびレイノルズ応力成分は、単一傾斜型熱線による方法⁹⁾で測定した。測定断面は図2に示す破線の位置で、流入口の上端部を $Z = 0$ mm とし、下流側に $Z = 0, 15, 30$ mm, $0.75D, 1.00D, 1.25D, 1.50D, 1.75D$ とした。測定点は、直径 AA', BB' 上に27~25点とし、壁面近傍は1 mm 間隔、その他は5 mm 間隔とした。

流量を決める際、流入口での平均速度 U_0 が 15m/s の場合を基準とした。代表長さに D 、代表速度に U_0 を用いた場合、レイノルズ数は約 10^5 になる。これは、同じ内径の実際のエンジンが約 420rpm で運転している場合の吸気行程を時間平均した流れ場に相当する。その他の場合として、エンジン回転数が $600, 800, 1000\text{rpm}$ に相当する流量 (U_0 が約 $21, 28, 34\text{m/s}$ の場合) を用いた。

シリンダ内に熱線流速計を挿入し、周波数解析を行うと数十Hzの顕著な乱れが存在していたため、サンプリング周波数は 100 または 500Hz に決めた。サンプリング数は十分な時間平均成分が得られる 1024 点に決めた。

なお、 $Z = 0 \sim 15\text{mm}$ を上流部、 $Z = 0.75D \sim 1.75D$ を下流部、時間平均速度の半径方向成分を U 、旋回成分を V 、

軸方向成分を W とし、各成分の変動を u, v, w とする。

3. 実験結果および考察

流入口での平均速度 U_0 が 15m/s の場合の実験結果を図3~5に示す。図3は時間平均速度の旋回成分と半径方向成分による速度ベクトルを示す。図4は時間平均速度の軸方向成分を示す。図5はレイノルズ応力成分および乱流エネルギー $k = (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})/2$ を示す。上流部では、流れは噴流の形で流入し、シリンダに衝突しながらシリンダ壁面に沿うように流れている。この現象によってシリンダ内に旋回流が発生している。この噴流による混合領域と流れが衝突している部分では、乱流エネルギーが大きくなっている。また、この旋回流は下流に向かって渦心を移動させながら徐々に減衰している。下流部では乱流エネルギーはほぼ一様な分布となり、渦心付近と壁面近傍で大きな値を示している。時間平均速度の軸方向成分は、旋回流のため壁面近くで大きな値をとり、渦心付近では小さな逆流を生じている。また、渦心を移動する現象と同様に、時間平均速度の軸方向成分についても軸対称性は見られない。

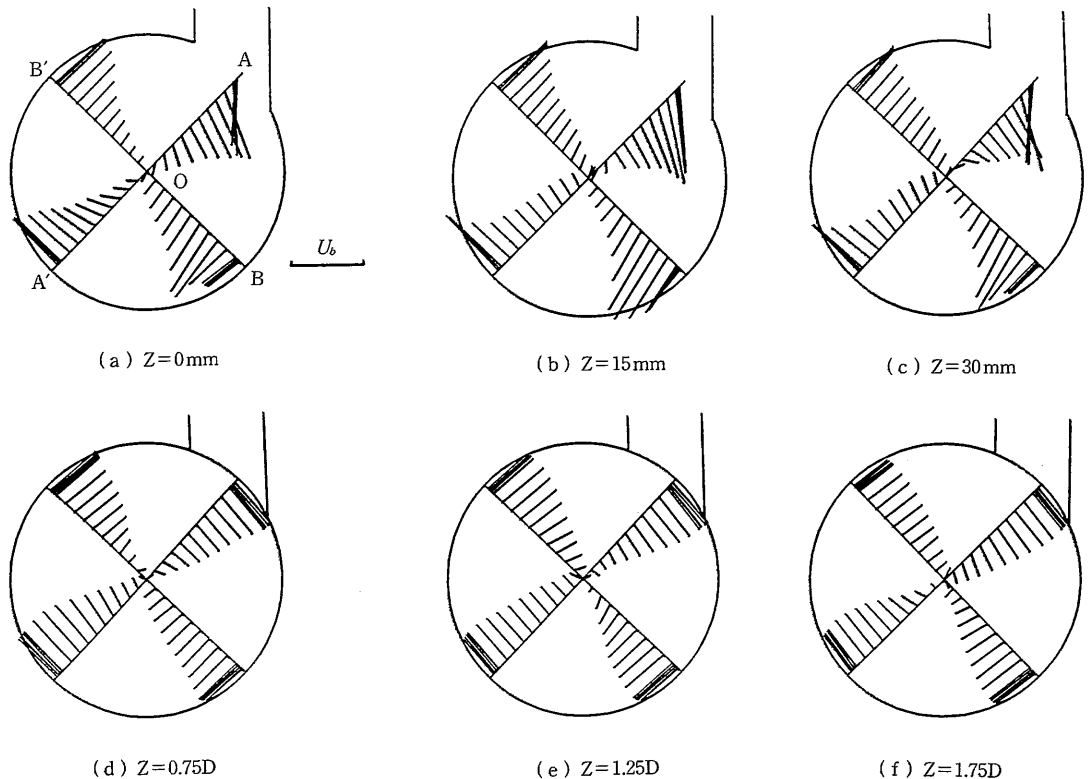


図3 時間平均速度の旋回成分と半径方向成分による速度ベクトル

研 究 速 報

以上の結果から次のことが考えられる。流れの主流は、流入口から上下左右に広がりながら流入している。その流れはシリンダ壁のくぼみによって小さなはく離を伴い直線的に進み、位置Bの付近でシリンダに衝突し、流れは急に曲げられる。そのため流れのほぼ中央にあった速度の最大値は、遠心力および慣性力によって徐々に外側に移動し、位置A'からは壁面近傍が速度の最大値となる。その後、流れは壁の影響を受けながら徐々に減衰し、渦心付近は剛体渦に近い分布になる。

また、上流部の軸方向成分に注目すると、噴流の広がりおよびシリンダ壁への衝突によって流れは上向きに流れるが、シリンダ上部の壁の影響で下向きの流れに変わり下降している。直径AA'の測定断面において、半径OAで上向きに流れ、OA'で下向きに流れている。ここで半径方向成分を考えると、Z=0mmではAからA'に向かって流れZ=30mmではA'からAに向かって流れている。以上よりこの部分にシリンダ軸に対して縦方向の渦が存在していると言える。

このように旋回流と上部からの下降する流れによってシリンダ内にらせん状の主流が存在し、その流れによってシリンダ内全体に旋回流が生じている。各断面においてらせん状の主流が存在し、その流れによって全体の流れが生じているため、軸対称でない流れとなっている。

乱れについては、各成分は小さな値で流入している。これは乱れの少ない流れが流入しておりシリンダ内の乱れに直接影響していないと言える。上流部においては、噴流の速度勾配が大きい部分で $\overline{v^2}$ が支配的であり、また、旋回成分の周方向変化が大きい領域で $\overline{v^2}$ が大きくなっている。位置B'の付近で $\overline{v^2}$ が大きいのは、主流が遠心力および慣性力によって壁面付近に移動させられ、壁面での速度勾配が大きくなるためであろう。また、この部分で軸方向の乱れも存在し、上部から下降する流れと旋回流の合成によるものと考えられる。

下流部において、乱れは渦心付近を除けば $\overline{v^2}$ 、 $\overline{w^2}$ 次に \overline{vw} が支配的である。これは流れに対して主流が存在し各段面において流れが偏っているためであり、軸方向における旋回流の変化および軸方向成分の変化が大きいためであろう。 $\overline{v^2}$ が上部測定断面での値より減衰している理由は徐々に旋回成分が減衰しているからであろう。

流量を変えた場合の実験結果を図6~8に示す。図6は時間平均速度の旋回成分、図7は軸方向成分、図8は乱流エネルギーを表す。横軸はAA'の半径位置を示し、縦軸は U_b で無次元化を行っている。各流量での旋回成分、軸方向成分、半径成分および、乱流エネルギーはほぼ同じ値を示している。このことより、本研究で用いたシリンダ形状では、流量を変えても流れの構造は変わらないこと

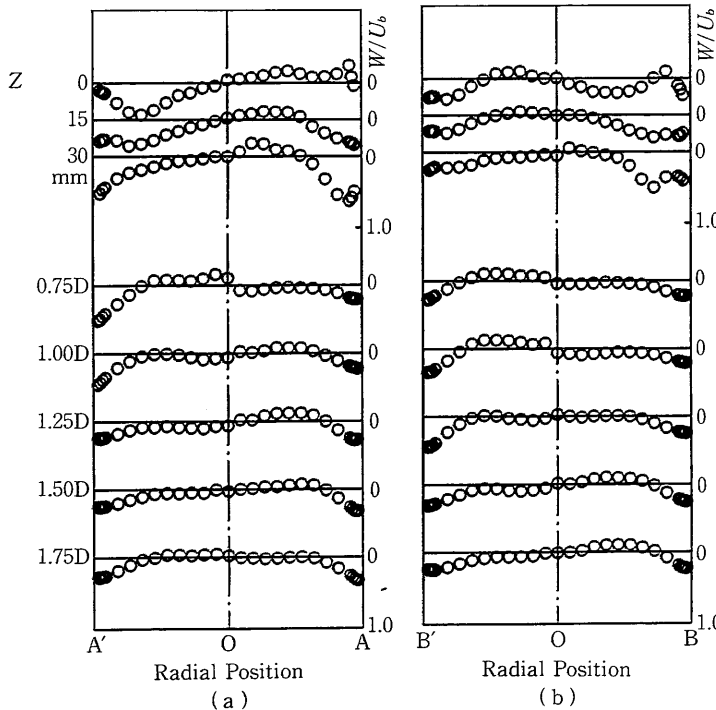


図4 時間平均速度の軸方向成分

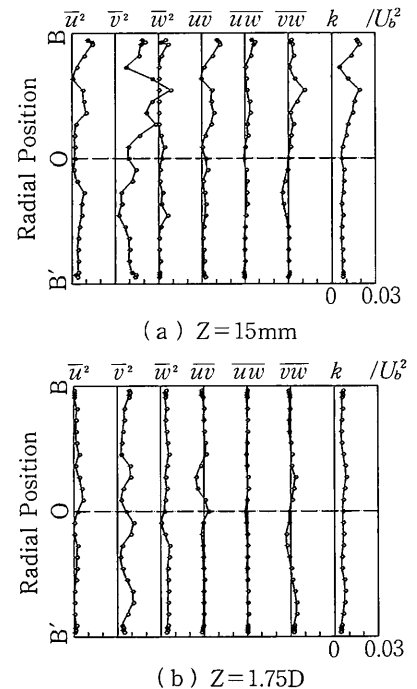


図5 レイノルズ応力成分および乱流エネルギー分布

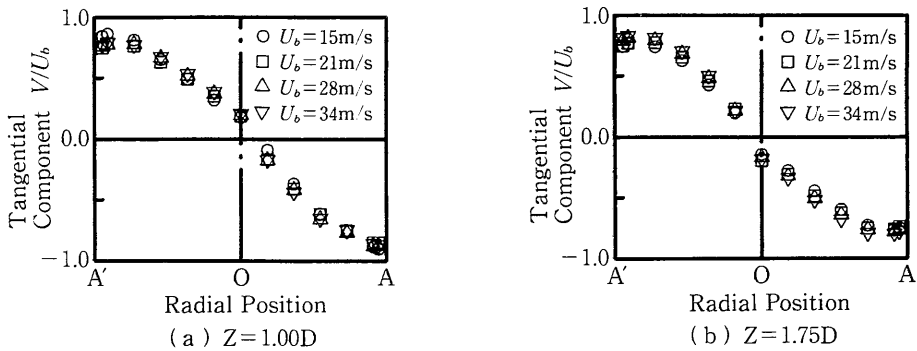


図6 時間平均速度の旋回成分

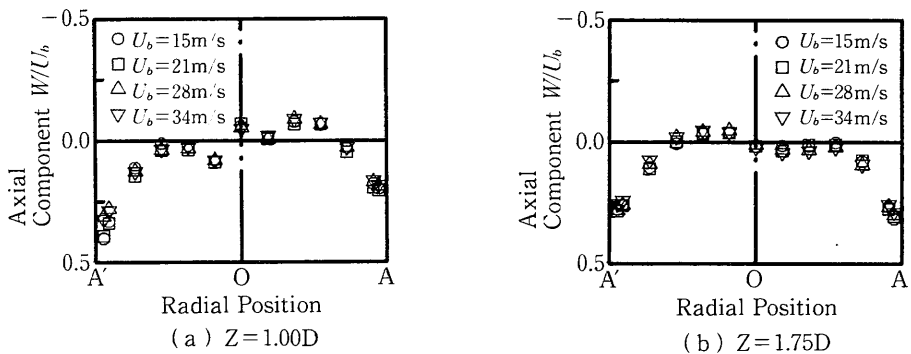


図7 時間平均速度の軸方向成分

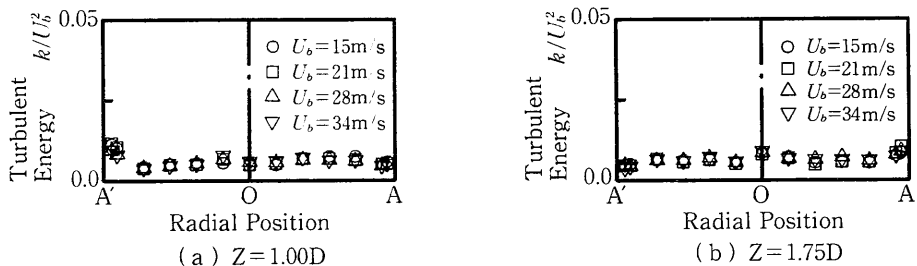


図8 乱流エネルギー分布

が言える。

同様の実験を、音田⁴⁾がスワールメータ⁵⁾を用いて行っており、流量とスワールメータの回転数には比例関係があると報告しており、同様の結果が予測されている。

4. あとがき

シリンダ内の流れ場を熱線流速計を用いて測定し、時間平均速度成分およびレイノルズ応力成分の詳細なデータを得た。今後、この測定データを用いて、数値モデルの検討を行う予定である。

この研究を進めるにあたり有益な御討論をいただいた研究室の皆さんに感謝いたします。なお、本実験装置は

本所試作工場により製作されたものであり、関係各位に感謝いたします。

(1990年9月3日受理)

参考文献

- 1) 自動車工学全書編集委員会：ディーゼルエンジン自動車工学全書5巻 山海堂 1971, 12
- 2) たとえばA.A.Amsden et al., "KIVA" Los Alamos National Labs. Report, LA-10245-MS (1985)
- 3) たとえば内藤ほか：高精度三次元数値計算によるエンジン吸気行程過渡流動の解析, 機論 Vol. 55-515, pp. 1868-1875 (1989)
- 4) 吉識, 鷲尾, 遠藤, 生産研究, 41-6, p. 46, 1989
- 5) 音田：東大船用機械工学科修士論文, 1988