

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 福地 次雄

各種水路の流れの流速分布を工学的精度で把握するという視点は、現代水理学における重要課題の一つであり、これまで多くの実験と数値解析が行われてきたが、乱流問題の困難性から未だ一般的な解析手法が確立しているとは言い難い。本論文では、Prandtl の混合距離モデルを一般化するという視点から円管乱流及び二次元乱流の流れ場解析にアプローチしている。以下、本論文で新規に提案された理論とその検証過程について述べる。

<調和混合距離>

本論文の核心となる概念は、Prandtl の混合距離を一般化した調和混合距離の概念である。調和混合距離には D_1 : 一次元的定義、 D_2 : 二次元的定義、 D_3 : 三次元的定義の三種の定義が存在して $D_1 \subseteq D_2 \subseteq D_3$ という包含関係が成立し、壁面近傍において全ての定義は Prandtl の混合距離の定義に帰着する。調和混合距離のこのような定義は、混合距離概念の一般化という本論文のテーマに沿うものとなっている。

<滑面円管の流れ>

この種の幾何的定義の成否は実験との対応において検証されなければならない。調和混合距離の定義については、滑面円管乱流の Nikuradse の混合距離に関する実験結果と比較対照され、「十分に発達した流れの混合距離はレイノルズ数の増大に伴いある極限形式を持つ。それが壁面からの調和平均距離に比例する調和混合距離によって表現される。」という基本仮説の妥当性を立証するものとなっている。

滑面円管流れ流速分布計算の基礎式は混合距離モデルと van Driest の壁面近傍における混合距離補正という二つの仮定に立脚しており、この基礎式が、レイノルズ数、 $Re \rightarrow \infty$ の過程で壁面近傍の流れが“壁面近傍収束式”に収束するとしたことが新規な提案で、本モデルにおけるカルマン定数の意味を鮮明に示すものとなっている。流速分布の計算では、Nikuradse の実験データと近年のプリンストン大学スーパーハイプの実験データ(PSP-data)が解析され、調和混合距離の概念が十分に成立することが検証されている。PSP-data の解析の過程で、Izakson(1937) と Millikan(1938) が提唱した Overlap layer において成立する対数則という概念が吟味され、解析結果は彼らの理論に整合するものとなっている。本論文ではこの対数則は内部対数則と定義され、Prandtl の壁法則に厳密に対応するものとなっており、さらに速度欠損対数則についても検討し、外部対数則及び位置対数則の概念を提案しているが、これはカルマンの速度欠損則との関係で重要な知見であると判断される。

<滑面円管流れ解析の応用>

滑面円管の流れが調和混合距離モデルにより高精度で解析されたことに伴い、種々の応用的な問題について検討している。このうち重要な着想は対数平均流速式で、次元解析での抵抗則の表現が、①指数型平均流速公式の粗度における評価及び②Darcy-Weisbach 公式

を基礎とした摩擦係数の評価、の二つの意味で合理的かつ高精度の表現が可能になったと判断される。

<粗面円管の流れ>

粗面円管の流れについて二つの解析手法が示されている。①分子粘性項を無視して解析する手法と②粗面円管流れの基礎式を全面的に数値解析する手法の二つである。①の手法で Nikuradse (1933)の粗面円管流れの実験結果が解析されているが、基本パラメータの同定において多くのスキャッターが発生している。粗面円管の流れについては、実験的にも数値計算上も多くの問題があるが、工学的重要性からみて今後高精度の実験と解析が望まれる。このとき、本論文で提案された基礎式は、その成否は将来の問題としても、十分に参考に値するものであると思慮される。

<二次元の流れ>

二次元流れでは、滑面円管流れからの演繹として①平行壁間の流れ、②Couette の流れ及び③二次元開水路流れで数値計算が行われの解析解が求められている。二次元流れに関する本論文での論証は現在のところ他の乱流モデルでは不可能である。特に二次元開水路の流れでは、Nezu and Rodi(1986)の実験結果が解析され、数値解析上妥当な結果となっている。さらに非対称平行壁間の流れが時間進行法により解析されているが、調和混合距離モデルの三次元流れ解析への発展を示唆するものとなっている

<新しい径深の定義>

著者は二次元調和混合距離の幾何的特徴に着目して、新しい径深の定義-調和径深-の概念を提案し、円管の流れの水理特性曲線について検討している。Camp の水理曲線が良好に計算され、またパラメータの調整によってこの方法は従来の径深をも表現することが明らかにされた。これは、非満流円管の流れ及び複断面流れなどの等流計算する場合に、理論上払拭し得ない従来の径深の矛盾を解決する端緒として重要である。

以上、等流の問題は水理学の基本として前世紀から今日にいたるまで精力的に研究されてきたが、本論文により壁面剪断乱流との関わりで流体力学と水理学との最も基本的な部分での統一という方向が示され、新たな研究領域が開発されつつあり、学術上寄与するところが大きい。よって、審査員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。