【59】

氏　名（本　籍）	酒（さか）井（い）　弘（ひろし）（富山県）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	博　甲　第　378　号
学位授与年月日	昭和61年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
審査研究科	工学研究科
学位論文題目	せん断壁乱流の安定性とスペクトル構造

主　査	筑波大学教授	工学博士	柘　植　俊　一
副　査	筑波大学教授	工学博士	椎　貝　博　美
副　査	筑波大学教授	工学博士	吉　沢　能　政

論　文　の　要　旨

この論文は乱流研究に於ける一つの根本的課題，即ち非圧縮性流体の壁乱流はいかなる機構によって発生し，維持されるかについてのものである。この問題は古く前世紀にO. Reynoldsによって提起され，近年，実験的研究によって真実の諸断面が少しづつ明らかになっているが未だに統一的見解を得ていない未解決の問題である。この論文では壁乱流の発生には剪断流の不安定が関わっており，一方その維持には乱流中の非線形縦渦が関わっているとしている。

第1章の第1節には発生機構について，第2節は維持機構についての現在までの研究成果についての概観がなされている。この主題に対して先ず壁乱流は主流剪断流の線型不安定によって発生するのではないかという設問をし，その解答を試みている。この設問は既に1960年代の末にW. ReynoldsとLandahlが行っているが，彼らは計算に用いる剪断流として理論的な根拠の薄い半実験公式を用いており，その計算法も前者は乱流に対しては成り立たないようなスケーリングを用いており，後者は高いレイノルズ数に対して収束しないような数値計算を行っている。彼らは乱流境界層は安定であるという結論を得たが，そのプロセスはこのような理由で信頼度が薄い。そこでこれらの欠点を持たないような基礎方程式（Orr－Sommerfeld方程式）の解法が提案されている。

そのための準備として，第2章で乱流についての擾乱方程式（文献1）の導き方について再述している。この式は線型化することによってOrr－Sommerfeld方程式となる。

第3章はこの方程式の新しい解法について述べる。その中心点はHeisenbergがその古典的解法で見落としていた点，即ち波数展開の第0近似式は解析的に一度積分出来，従って更なるレイノルズ

数展開は本質的に必要ではない，という事実の発見にある。その結果，ほとんど解析的な手法の枠内で固有値と固有関数を求めるような定式化が可能となる。この章の最終節（5節）で，この提案された方法が古典的な層流平板境界層の安定計算に応用され，それが従来の方法では解が得られなかったレイノルズ数領域の解を極めて良い収束度で与えることが示される。

第4章ではこの解法の持つ強力な利点の一つ，即ち解には古典解法に於けるような主流剪断流の二階微分が不必要で一階微分のみがあらわれるという事実を利用して剪断流分布に実験値そのものを用いて，層流から完全乱流に遷移する中間の数段階について安定計算を実行した。その結果，遷移の初期では不安定は増加するものの，完全乱流に近いところでは不安定領域は消失することがわかった。

この結果，乱流の発生は流れの不安定によることが知れたが，その維持については線型安定理論は解決を与えないこともわかった。一方，この研究の進行中にアメリカに於いてP. S. Jang (1984) が上に考察したTollmien－Schlichting波と縦渦が共振をおこすことで乱流が維持される，という理論を提案した。その概要が第4章の最終節（4節）に示されている。

Jangの理論を第2章に概説した方法論の枠組みに取り入れるための準備として，乱流方程式の変数分離パラメタである周波数ωと，エネルギーカスケードを表す非線型合成積分を支配する積分変数Ωの関係を求め，実験と比べる作業が第5章に述べられている。次元解析の結果，

$$\Omega=\ln\{\omega/\omega_0+\sqrt{(\omega/\omega_0)^2+1}\} \qquad (\omega_0\text{はある基準周波数}) \qquad (1)$$

が得られるが，スペクトルが合成積分に対して不変な形$\exp(-\Omega^2/\sigma^2)$，(σはある定数)，をしていなくてはならないことからスペクトルの実測値$S(\omega)$を用いることで，この$\Omega(\omega)$の形が妥当かどうか検証することが出来る。その結果（図5.3）及び（図5.4）は極めて満足すべきものであった。特に図5.4はスペクトルは流れの幾何学的形状，圧縮性の有無を問わず一つの普遍定数($\sigma=2$)と流れの個性に依存する唯一のパラメタω_0を含む普遍形$\exp(-\Omega^2/\sigma^2)$で表されることが知れた。

審　査　の　要　旨

この論文の最も重要な貢献の第一は，「古典的にその解法が研究し尽くされていると思われていたOrr－Sommerfeld方程式に対し，現存のどの方法よりも強力な，且つどの方法よりも際立って解析的な方法を提案したこと」である。これはこの論文をJournal of Fluid Mechanicsに提出した際の次のReferee's commentsの中でも明らかに認識されている。

「The authers have presented a novel piece of work in the stability field that combines clearly defined analytical techniques (and actually simpler than heretofore methods employed) with numerical calculations that lead to quality results with the added benefit of a procedure that allows extremely large values of the Reynolds number.」

その第二は,「Navier－Stokesの方程式でエネルギーカスケードを表す非線型積分が合成型に書けるための積分変数の形を決定したこと」である。その重要な副産物はエネルギースペクトラムを，一つのパラメタω_0を除いて普遍的な関数形に与えたことである。

一方，問題点としては次の点があげられる。ここで提案されたOrr－Sommerfeld方程式の解法について，このプログラムでは中立安定の計算は出来るが増幅率の計算は出来ない。本質的には何の困難も生じないはずであるので汎用性を高めるためにこのプログラムは将来付け加えることが望ましい。

よって，著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。