

代数的応力モデルによる安定成層せん断流の乱流解析

大阪大学工学部 正 員 室田 明

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

大阪大学大学院 学生員 藤崎 豊

大阪大学大学院 学生員○中辻陽一

1. まえがき

安定成層せん断流は、その上下を自由水表面と密度境界面という二つの境界面に挟まれた流れである。それは、自由な乱れ特有のせん断効果と密度差による成層安定効果が共存している流れでもある。このような流れを数値計算する場合の問題点として、自由水表面の取り扱い、乱れや乱流輸送の表現、境界条件などが挙げられる。第43回年講では水表面による乱流の減衰効果について、そして、第33回水講では ε 方程式中の浮力生成項の乱流輸送に及ぼす貢献について論じた。本研究では、代数的応力モデルを表層密度噴流に適用した数値計算結果と実験結果との比較から、乱れや乱流輸送に及ぼす成層安定効果を明確にする。

2. 代数的応力モデル

本研究では代数的応力モデル (ASM) を用いる。このモデルはレイノルズ応力モデルの特性を残しながら各乱流諸量の輸送方程式を代数的に簡略化したモデルである。つまり、長さスケールと速度スケールを決定するために乱れエネルギー k と粘性消散率 ε の二つの輸送方程式を解き、それを用いて各乱流諸量を代数式より求めることにより基礎方程式系を完結させることができる。このモデルは $k-\varepsilon$ 方程式モデルにおいて考慮し得ない非等方性の強い流動場を計算できるという特徴がある。なお、平均流れ場の計算法は室田・中辻(1986)に、乱流計算の境界条件は室田等(1989)に倣った。

3. 数値計算結果

図-1、図-2は表面流速 U_s 、表面浮力 B_s 、半値半幅 $H_{0.5}$ の流下方向変化を示す。計算結果は密度フルード数 F_d の相違による成層せん断流の流動形態による違いを良好に再現している。計算結果は中辻(1984)およびChu-Baddour(1984)の実験結果とほぼ一致しており、室田・中辻(1986)の0方程式乱流モデルの計算結果と比較して予測精度が格段に良くなったことがわかる。

図-3は連行係数 $Ve/\bar{U}$ と層平均リチャードソン数 $Riu (= \bar{B}Hu/\bar{U}^2)$ の関係を示す。連行速度 Ve は断面積分した表層流量の流下方向変化率、 $\bar{B}$ 、 $\bar{U}$ はそれぞれ水表面から無流面まで断面平均した浮力および流速、 Hu は水表面から無流面までの水深である。 Riu の増大は浮力効果が勝り、成層安定度が増大することを意味する。同図に示されるように、 Riu の増加に伴って周囲水の表層噴流への連行加入が抑制されているのがわかる。また、計算値は中辻(1984)およびEllison-Turner(1959)の実験値と合致している。以上の比較からASMを用いた数値計算結果は、水表面における平均量や鉛直方向の拡がり、さらに連行係数 $Ve/\bar{U}$ と層平均リチャードソン数 Riu との関連について、流れを良好に再現できていることがわかった。

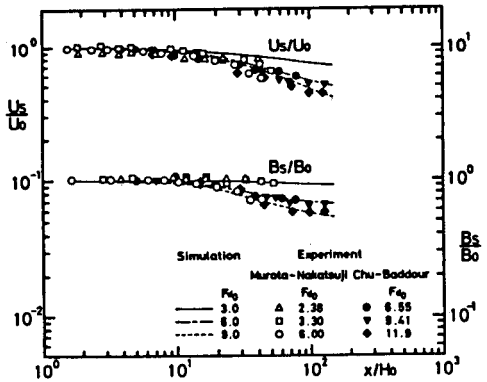


図-1 水表面流速と浮力の流下方向変化

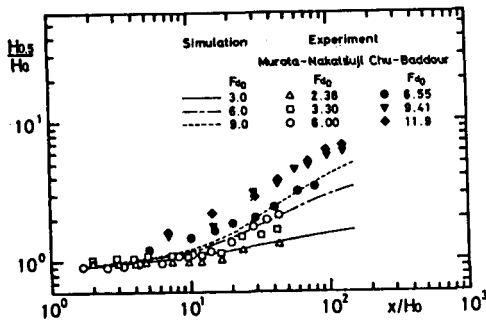


図-2 半値半幅の流下方向変化

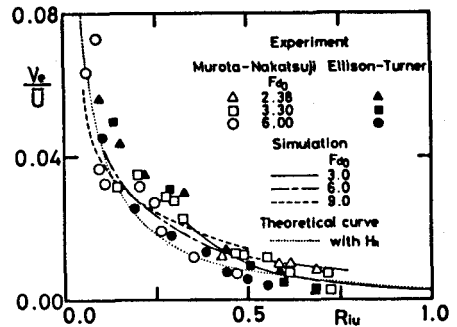


図-3 $V_e/\bar{U}$ と Ri との関係

一方、図-4、図-5は、非等方性度 $\overline{w^2}/\overline{u^2}$ 、レイノルズ応力 $\overline{uw}/\overline{u'w'}$ と勾配型リチャードソン数 Ri との関係を示す。上図は計算結果であり、下図は小森等(1980)実験結果である。両者とも相当な散乱状態にあるが、平均した最適曲線の絶対値ならびに、その Ri との関係は両者で合致している。 Ri の増加、つまり局所的な安定成層度の増加により鉛直方向の乱れ変動が抑制され、 $\overline{w^2}/\overline{u^2}$ が減少すると同時に u と v の相関も弱くなり鉛直方向の乱流輸送が抑えられる傾向にある。

図-6は渦動粘性係数と渦動拡散係数の比である乱流プラントル数の逆数 Γ_t/ν_t と Ri との関係を示す。この計算値の上限と下限は、それぞれMunk-Anderson(1948)とLaunder(1975)の理論式で与えられることになり、成層安定度の増加とともに、 Γ_t/ν_t の値が減少する傾向を示している。すなわち、強安定成層状態になれば物質の乱流拡散は運動量の乱流輸送に比較して小さくなるという特異な傾向を示す。以上の比較から、ASMは乱流輸送の Ri への依存性をほぼ良好に再現していることがわかった。

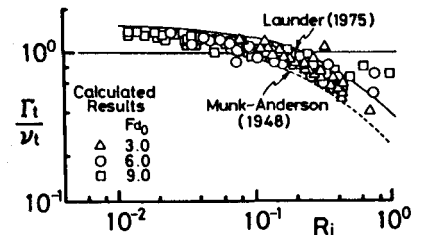


図-6 Γ_t/ν_t と Ri との関係

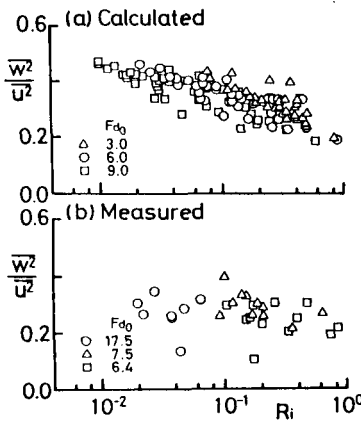


図-4 $\overline{w^2}/\overline{u^2}$ と Ri との関係

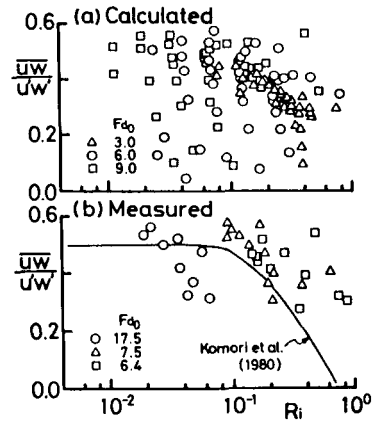


図-5 $\overline{uw}/\overline{u'w'}$ と Ri との関係

参考文献 1)Chu-Baddour(1984):J.Fluid Mech.,Vol.138, pp.353-378. 2)Ellison-Turner(1959):J. Fluid Mech.,Vol.6, pp.423-448. 3)小森・植田・荻野・水科(1980):国立公害研究所研究報告、第17号、pp.73-88. 4)Launder(1975):J.Fluid Mech.,Vol.67, pp.569-581. 5)Munk-Anderson(1948):J. Marine Res.,Vol.7, pp.276-295. 6)室田・中辻(1986):土木学会第30回水理講演会論文集、pp.715-720. 7)室田・中辻・藤崎(1989):土木学会第33回水理講演会論文集、pp.583-588. 8)中辻(1984):大阪大学学位論文、104pp.