

三次元水平密度噴流の連行係数の評価(其12)

大阪大学工学部 正員 村岡浩爾・中込隆二
大阪大学大学院 学生員 栗本雅裕・広畑彰一

1. まえがき ; 昨年の関西学講においては密度噴流の連行加入現象を支配する各種パラメータについて実験的に述べたが、拡散幅の定義および連行係数の算定に関してはいまなおあいまいで問題点を残している。本報では、計測精度の信頼性の高い流速が半減する点で定義したものをを用いて連行加入量を算出し、等密度噴流の実験結果と比較し密度差の及ぼす影響を検討するとともに、運動量ならびに密度欠損量の流程方向変化の点から考察を行なったので報告する。なお、解析に用いた物理量は前報と同じである。

2. 連行加入量について ; 断面流量は実測した流速分布を積分することにより得られる。確立領域においては流速・濃度分布を正規確率紙にプロットした場合直線となり、鉛直・水平方向ともにガウス分布であることが確かめられ、前報と同一の相似関数形を用いた。また、積分範囲は鉛直方向には局所リチャードソン数の急増大する水深 h_{RE} 、水平方向には噴流軸の流速の2%なる拡散幅 $b_{0.02}$ を用いた。図-1は放流口流量 Q_0 で無次元表示した流量の流程方向変化である。図中の直線はAlbertsonの等密度理論曲線であり、二点鎖線は等密度実験曲線である。同図より $x/B_0 = 8$ での流量は内部フルード数 Fi が大なる程大きく、密度差の影響を顕著に受けることがわかる。密度差が大きい $Fi = 3.3$ の場合においては $x/B_0 < 8$ の領域の初期運動量による連行量が少なく、且つ密度差により鉛直方向の拡がりが増制される結果、等密度の場合より流量は小さくなる。また、 $x/B_0 = 32$ を境にして流量変化は減少する傾向にあるが、これは密度成層により鉛直方向流速分布が剪断流的になると推察されるのに対し、ここではガウス分布を採用しているためであると考えられる。

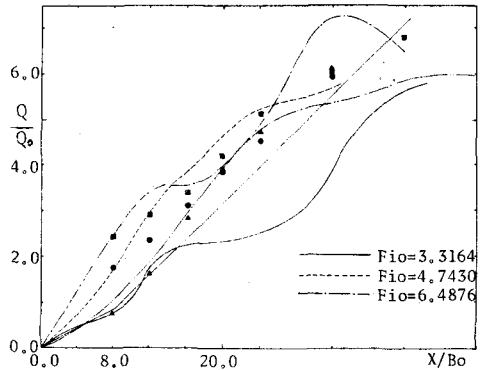


図-1 流量の流程方向変化

連行加入量の算出は相似関数の適用でできる確立領域に限って論議する。すなわち初期運動量による混合が終了したと思われる $x/B_0 = 8$ の流量を基準流量とした。このことは乱れ強さが $x/B_0 = 8$ において最大値をとり以降一様に減衰していく実験結果からその妥当性がわかる。この基準量に噴流軸流速と次式に示す連行係数とから相似関数形を考慮して求めた連行加入量を加算した流量変化を示したのが図中のプロットである。

$$\alpha_4 = db_{42}^*/dx, \quad \alpha_2 = 0.075 \exp(-1.5 Fi Ri) \quad \text{--- (1)}$$

同図より理論値と実験値が $8 < x/B_0 < 4.0$ においてほぼ一致し、 Fi の影響を著明なく反映していることより連行係数の妥当性がうかがわれる。つぎに図-2は水平方向の連行加入

量 Q_1 と鉛直方向の連行加入量 Q_2 との比を示したものである。内部フルード数が小さい程、 Q_1/Q_2 は大きな値を示す傾向にある。これは密度差が大きいほど鉛直方向の拡がりが増大される結果、等密度噴流に比較して水平方向の拡散幅は拡がり水平方向の連行加入量 Q_1 が卓越していると考えられる。 $dh_{RE}/dx \leq 0.0$ とする沖合領域において鉛直方向流入量を計算するのには矛盾があるがこれは前述の剪断流の流速分布の推察と関連した今後の問題点であると思われる。また $x/B_0 = 12 \sim 16$ の範囲で最小値があらわれており、鉛直方向の混合は遷移領域で激しくおこなっていることがわかる。

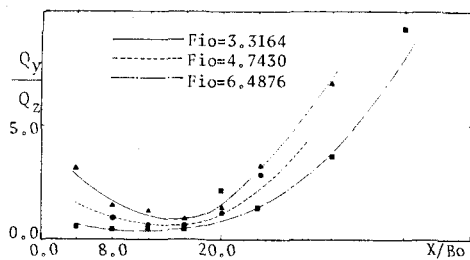


図-2 Q_1/Q_2 の流程方向変化

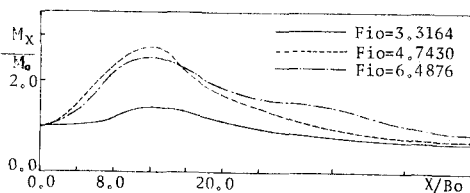


図-3 M_x の流程方向変化

3. 運動量・密度欠損量の流程方向の変化

主流方向の運動量 M_x と密度欠損量 F_D はそれぞれ

$$M_x = \int_0^B \int_0^H \rho \bar{u}^2 dy dz \quad \text{----- (2)}$$

$$F_D = \int_0^B \int_0^H (\rho_w - \rho) \bar{u} dy dz \quad \text{----- (3)}$$

で定義でき、各々を放流口の値で無次元化して流程方向の変化を示したのが図-3, 4 である。

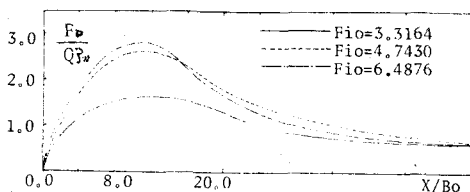


図-4 F_D の流程方向変化

両図では密度欠損量は形成領域終端部で、また運動量はそれよりわずかに遅れた測点で急激な増大を示し、物理概念と矛盾する様相を呈している。これは放流直後における鉛直方向の激しい混合によって巻き込まれた流体が主流方向成分として移流され、この流速を熱線流速計で測定しているためと考えられる。 M_x の保存方程式は圧力項と乱れ応力項の和が(2)式の流程変化に等しいとして得られる。又方向にも密度勾配が存在する流れにおいては圧力の変化 dp/dx は 0 とはならないが、 $x \rightarrow \infty$ においての圧力増加は $\Delta p/\rho a$ オーダーの水面上昇に対応するにすぎなく、 M_x の変化に与える影響は極めて小さい。このことより M_x に与える要因として乱れ応力が考えられるが、境界での剪断応力は運動量を減少させる方向にのみ働き、無視できる。一方直方力 $\bar{u}$ の変化を乱れ強さの変化として考えると、 $x/B_0 = 8$ で特異的な増加を生じ以後減衰することから、 M_x の変化を $\bar{u}^2/dx$ の項で説明できようである。確立領域では M_x , F_D とともにほぼ同じ型態で減少するが x/B_0 の増加と共に減衰率は低下する傾向を示し、密度成層化によって運動量が保存されると共に、静水圧が低下していく現象に対応する。これらの結果と鉛直方向の流速・濃度の分布の遷移より、密度噴流においては流れの確立領域は従来考察されていた範囲より短く、放流口幅の 30~40 倍程度以遠で二次元的な平面噴流へと移行していくと結論づけられる。

本研究を遂行するにあたり適切な助言を賜われ、山田明・榎本亨両教授に謝意を表す。

* : $b_{1/2}$ は流速分布形の面積が $1/2$ となる点で定義した拡散幅であり、今回新たに導入したものである。