

II-216 密度二層流における界面波の波速の測定

北海道大学工学部 学生員 柏田 昌之
北海道大学工学部 正 員 吉田 静男

1. 序文

成層密度流の中には、河口二層流のようにその密度漸変層が鉛直スケールにくらべ非常に薄く、密度不連続面と考えるような、界面と呼ばれる境界面を有するものがある。そして、そこに発生する波は界面波と呼ばれ、その発生条件などについては過去、数多く報告されている。しかし、発生条件に関して重要な位相速度については、いまだ研究の余地がある。本研究では、界面追尾計とLDAシステムを用いて界面波を測定し、その結果を $\tanh$ 近似の流速分布モデルを用いて得る位相速度の解析結果と比較している。

2. 実験方法

本研究において対象とした淡水塩水小規模河口二層流は、幅50cm、長さ800cm、高さ20cmの8mm厚ガラス製水路を用いて形成された。

従来の研究から河口二層流における界面波は、3種の不安定流れ⁽¹⁾により発生することが分っている。本研究ではこの中のSVAに伴い発生し、伝播する発生初期の界面波(以後Keulegan波と呼ぶことにする)についてのみ扱う。界面波の波速については、図-1で示すような界面追尾式の波高計(界面追尾計)2台を波の伝搬方向に設置し、測定した。この界面追尾計の動作原理は、プローブ先端部の電極が、塩水の電気伝導度を感じし、制御回路により上、下層の中間の伝導度を追尾するようにプローブを上下させ、その移動量を測定するものである。

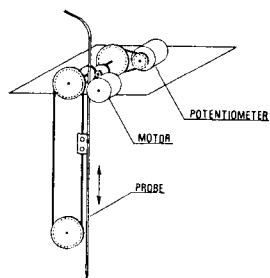


図-1 界面追尾計

流速分布の測定には、多チャンネルLDAシステム⁽²⁾を用いた。方式は非接触、参照光法で、鉛直方向に5点で同時に測定している。

実験条件は上層淡水密度 0.9994 g/cm^3 、下層塩水密度 1.0033 g/cm^3 、淡水流量 $1100\text{ cm}^3/\text{sec}$ 、全水深は9.6cmで、このときの塩水楔先端は河口部より約210cmにある。そして先端より45cm下流にLDA、そこからさらに18.1cm下流に1台目の追尾計、25.4cmに2台目の追尾計をセットし測定した。LDAの各チャンネルの測定点は水底よりそれぞれ、1.4、2.0、3.3、3.9、5.2cmである。その位置での下層厚は1.2cmであり、5チャンネルのすべてが上層部分を測定している。

3. 結果

LDAにより測定された流速データを用い、Keulegan波が発生した時間帯について、6秒毎の瞬間に流速分布を求めると図-2となる。図-2のような流速分布変動は、Keulegan波の発生時にはいつもみられる。この流速分布より図-3の定義に従って

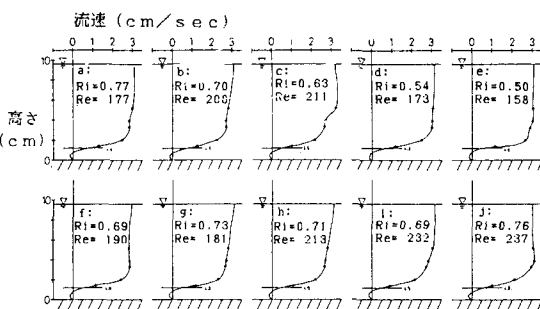


図-2 流速分布

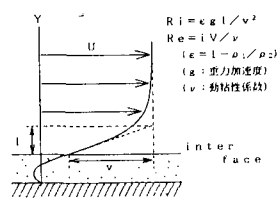


図-3 Ri数、Re数の定義

てRi数、Re数を求めると図-2のeのステージで最小のRi数を得る。このような一時的なhigh shearが、界面波の間歇的発生の原因と考えられる。

次に、界面波の波速と波長の関係を図-4に、波長と上流側追尾計位置での波高との関係を図-5に示す。なお、波長は谷から谷まで、波高は谷から山までの距離である。

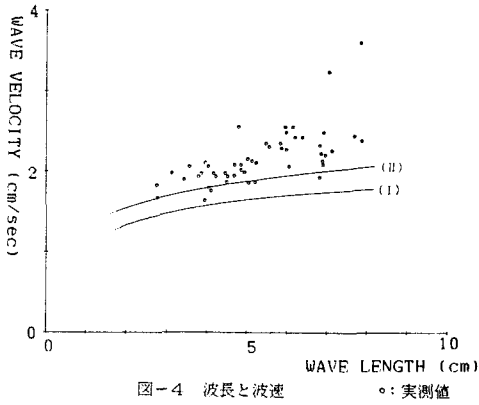


図-4 波長と波速

○：実測値

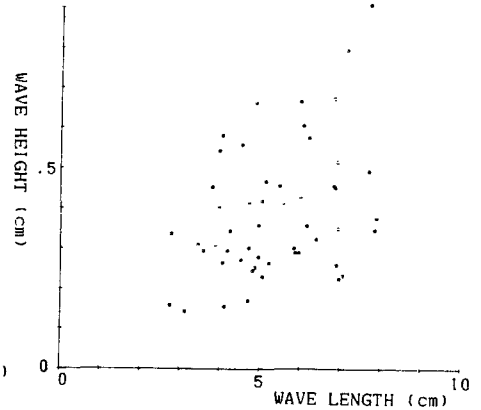


図-5 波長と波高

○：実測値

4. 考察

自然に界面波が発生するような高い Re 数の流れにおける界面波の波速と波長の関係について、過去の結果⁽³⁾を調べると、実測値が非常に散乱し、理論値とあまり一致していない。この原因として、測定誤差や流速分布の変動を無視して理論解析を行ったことなどが考えられ、本研究ではできるだけこれらの問題の除去をはかった。

図-4の実線は、西田・吉田の安定性解析⁽⁴⁾から得る SVA 発生初期の位相速度 (SVA の発生初期には $Keulegan$ 波の波速に等しい) で (I) は最小の Ri 数を示す e の場合で、(II) は最大の Ri 数を示す a の場合である。同図からは $Keulegan$ 波の波長が小さい領域での実測値と理論値がほぼ一致することが、確認できる。しかし、波長が増すにつれて実測値は (I)、(II) の両者よりかなり大きな値を有していることがわかる。しかも (I) と (II) の差異にくらべ実測値の散乱幅の方が大きいことから、流速分布の変動は実測データの散乱の本質的な原因とはなっていないことがわかる。

一方、図-5からは、波長の長い波ほど波高が高くなることが見てとれる。従って上記の差異の原因は、理論において微小振幅波を仮定していることに由来していると思われる。なお、この推論の立証には、有限振幅の $wave\ packet$ に対する理論考察が必要であるが、現在考察中である。

5. 結論

本研究により、次の結論を得た。

- (1) 河口二層流における流速変動は、 $Keulegan$ 波の間歇的発生の原因と考えられるが、その変動が界面波の波速に与える影響は小さい。
- (2) $Keulegan$ 波の波速は、線形安定性解析による理論値にくらべ、波長が短い領域ではよく一致しているが、波長の長い領域では、理論値より大きくなる傾向がみられる。この理由は、波長の長い波ほど波高も高くなることすなわち、波長の長い領域では、もはや微小振幅の近似が適用できないことにあとと推測される。

文 献

- (1) 吉田静男：密度界面波の特性と計測，第4回混相流シンポジウム論文集，PP. 203-224，1985
- (2) 吉田静男・田城徹雄・西田修三・米光 昇：界面波速の発生と流速変動，第29回水理講演会論文集，PP. 431-436，1985
- (3) Andou T., Hanawa K. and Toba Y.: Experimental Study on internal waves in a stratified flow, J. Oceanographical Soc. of Japan, vol. 37, No. 4, PP. 179-192, 1981
- (4) 西田修三・吉田静男：二層流の安定性解析，第29回海岸工学講演会論文集，PP. 550-224，1982