

乱れ特性に及ぼす水表面の効果

九州大学工学部 学生員 ○ 遠藤 悟
正 員 小松 利光
正 員 柴田 敏彦

1. はじめに

最近のコンピューターの発達と数値計算法の改良により乱流モデルを用いた流れの数値シミュレーションが実用面でも活発に行われるようになってきた。しかしながら水表面付近における乱れ特性がまだそれ程明らかにされていないため、水表面での境界条件が精度向上に対する大きな妨げとなっているのが現状である。ここではせん断流がなくて比較的単純な乱れ場である振動格子乱流を用いて水表面が乱れ特性、とりわけ乱れの強さや乱れのスケールに及ぼす影響について測定を行い考察を加えた。

2. 実験装置及び方法

実験装置を図-1に示す。水槽は25cm×25cm、×60cm(高さ)の亚克力製で、ストローク6cm、振動数4Hzで格子を鉛直に振動させて乱れを発生させた。

乱れの測定にはFLV(Fiber laser velocimeter)とLDV(Laser doppler velocimeter)を用いて同時測定を行なった。

先の研究¹⁾より平均流速がなく水表面が動揺しない程度の乱れの場合は水表面は壁面とほぼ同様の効果を乱れに及ぼすことが明かにされている。従って今回は測定上の理由から、水表面の代わりに板面を利用して乱れの空間スケールに及ぼす影響を測定した。

実験は2つに分けられる。実験-Iは水平方向乱れ u の水平空間スケールを板面近くで測定するため、測点を振動格子中心からの距離 z に設定し、水中に亚克力板を測点から Δz 離して水平に設置し、LDVとFLVの水平距離 Δx を0cmから12cmまで1cm間隔に変化させて u の同時測定を行なった。 Δz は0.2cmから6.5cmまで変化させている。この一連の測定を $z=10.0\text{cm}, 12.5\text{cm}, 15.0\text{cm}$ の3種類行なった。

実験-IIは鉛直方向の乱れ w の鉛直方向の空間スケールに及ぼす水表面の影響を測定するために行なったものであるが、同時測定の測点を鉛直方向に2点とすると、振動格子からの距離が各測点で異なるため正しい空間スケールの測定が出来ない。そこで便宜的に亚克力板を水中に鉛直に挿入し、FLVを板から Δx (Δz)だけ離れた点に設置し、LDVをFLVから1cm間隔で水平方向に移動させて u (w)の2点の同時測定を行なった。一連の測

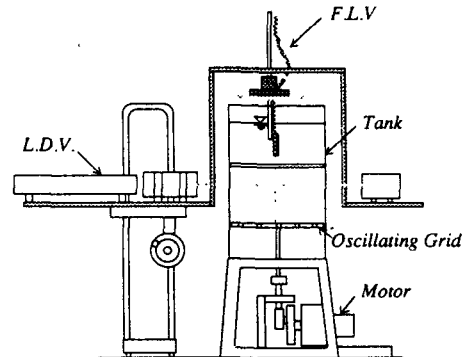


図-1 振動格子実験装置

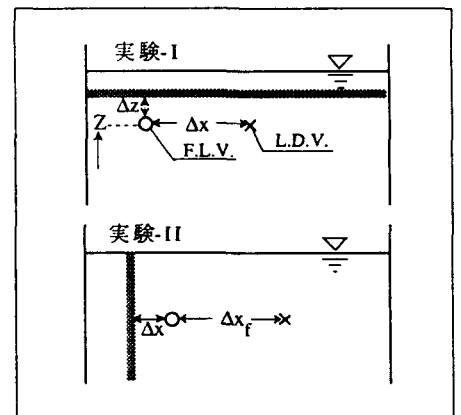


図-2 測定方法

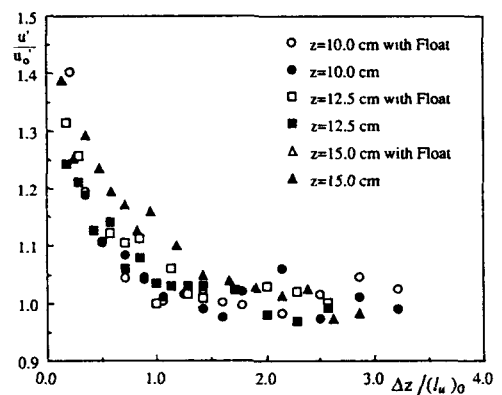


図-3 u の乱れ強度

定終了後 Δx を変化させて(0.5mm~7cm)同様の測定を行なった。 z は実験-Iと同様 $z=10.0\text{cm}, 12.5\text{cm}, 15.0\text{cm}$ である。

3. 実験結果及び考察

u, w の乱れ強度に及ぼす水表面の影響を図-3, 図-4に示す。添え字の0は水面の影響がない場合の乱れの諸量を表す。水平方向の乱れ強度 u' は水表面からの距離が水平方向の空間スケールの1.5倍程度付近から水表面の影響を受け始め、水表面に近付くにつれて急激に増加する。一方、鉛直方向の乱れ強度 w' は u の水平方向スケール程度の距離から影響を受け、水表面に近付くにつれ抑えられて急激に減少し零に近付く。図-5, 図-6に u, w のタイムスケールを示す。 u のタイムスケールはほとんど変化しないが、水表面付近でわずかに減少傾向がある。 w のタイムスケールは水表面に近付くにつれ直線的に減少して零に近付いている。

今回の測定により得られた u の水平方向, w の鉛直方向の空間スケールをそれぞれ図-7, 図-8に示す。 u の水平空間スケールはタイムスケールと同様あまり大きな変化は見られないが水表面付近でわずかに減少している。一方、 w の鉛直方向空間スケールは水表面に近付くにつれて減少傾向を示し、タイムスケールと定性的には一致している。

4. むすび

以上の実験結果から、乱れエネルギーは鉛直方向の $\overline{w^2}$ が水表面の存在により抑え込まれて減少する分、水平方向の乱れエネルギー $\overline{u^2}$ に変換されて、 $\overline{u^2}$ は急激に増加し非等方性が大きくなることが分かった。乱れのスケールは u に関してはタイムスケール, 空間スケール共にほとんど変化せず水表面のごく近傍のみわずかに減少する。一方 w は時間、空間スケール共に急激に減少し水表面で零となるため、渦のスケールは比較的球体に近い形から水表面に近付くにつれ横幅はあまり変わらないが、高さが押え込まれて扁平な形に変形するものと思われる。

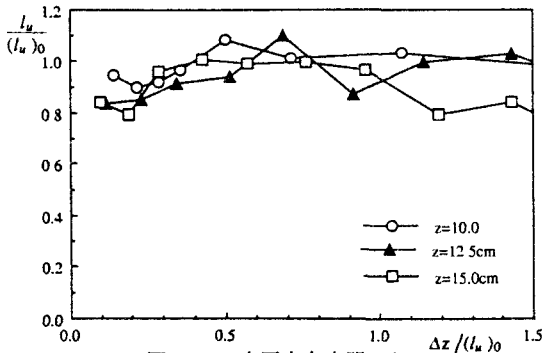


図-7 u の水平方向空間スケール

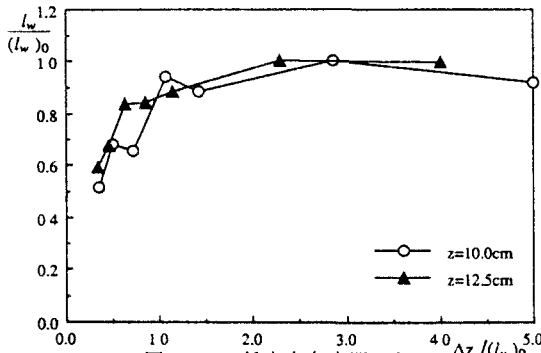


図-8 w の鉛直方向空間スケール

参考文献

1. Chayayi B., Komatu T., Shibata T.: Influence of Free Surface on Turbulent Characteristic, 土木学会西部支部研究発表会, 1991年3月
2. Brumley, B. H. and Jirka G. H.: Near surface turbulence in a grid stirred tank, J. Fluid Mechanics, Vol. 183, 1987.
3. 浦勝, 小松利光, 松永信博: 振動格子の乱れによる密度界面の変動特性と連行現象, 土木学会論文集 第345号/II-1, 1987年

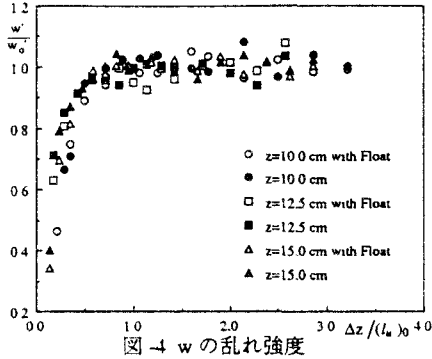


図-4 w の乱れ強度

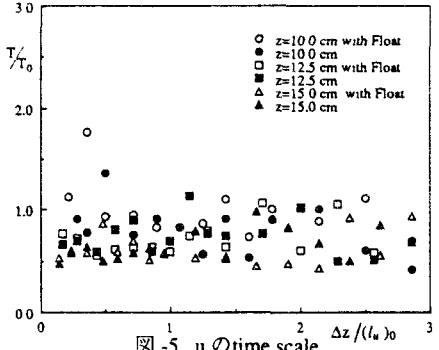


図-5 u のtime scale

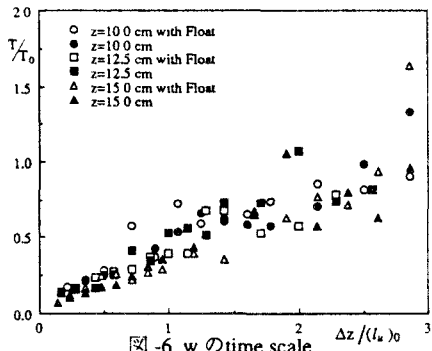


図-6 w のtime scale