

## 4224 振動格子乱流場での気液間相互干渉による乱流特性変化

A Change of Turbulence Characteristic by Bubble-Liquid Mutual Interference in the Oscillating-grid Turbulence

○学 浦野繁幸 (静大院), 石飛正規 (静大院), 正 齋藤隆之 (静大院)

Shigeyuki URANO, Masaki ISHITOBI, Takayuki SAITO

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

This study focuses on a change of turbulence characteristics caused by bubble swarm in the homogeneous isotropic turbulence. The approximately homogeneous isotropic turbulence is generated by oscillating-grid system, and the ten audio speakers are used to precisely control the injection of bubble swarm. The liquid velocity was measured via two LDV probes. Bubble-Liquid interaction and turbulence structure were discussed on the basis of the turbulence intensity and integral scale (calculated by spatial correlation coefficient). As a result, it was confirmed that the vertical turbulence intensity was decreased by the interaction between the bubble swarm and oscillating-grid turbulence, in the range studied. It is conceivable that there are intensive relationships between this phenomenon and integral scale.

**Keywords:** Gas-Liquid Two-Phase Flow, LDV, Oscillating-grid Turbulence

## 1. 緒言

気液二相流は様々な工業分野で広く見られる。機器の運転効率の向上ならびに合理的な装置設計に、その流動構造の解明は必要不可欠であるが、気泡が流れ場に与える影響の定量的な把握は十分とは言い難い。本研究では、気液間相互作用による乱流構造の変化を実験的に解明することを目的としている。振動格子により一様等方性と見なせる乱流場を作り出し<sup>[1]</sup>、その乱流場に制御された気泡群を混入した。LDV 2点計測により液相運動計測を行い、計測結果より空間相関係数を算出し、空間相関曲線から積分長さを導出した。結果から、気泡混入による乱流特性の変化、気泡運動との相互作用について考察する。

## 2. 実験装置および計測方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。矩形ウォータージャケットを備えた、高さ 600mm・内径 149mm アクリル製鉛直円管にて実験を行った。気相には純空気、液相にはイオン交換水を使用した。水深を 580mm とし、LDV 用のトレーサー粒子 (粒径:  $15 \pm 5 \mu\text{m}$ ) を混入した。水槽底中央を座標原点  $(x, y, z) = (0, 0, 0)$  とする。水槽底部に刃面傾斜方向を  $x$  軸方向とした注射針 (TERUMO 製 外径 0.55mm・内径 0.37mm・刃面角度  $12^\circ$ ) を 19 本設置している。気泡個数を制御するため、オーディオスピーカーを応用した気泡発生装置<sup>[2]</sup>を用いて、全注射針から出る気泡を同時に制御し、気泡発生周期を 4Hz とした。振動格子 (材質: SUS304, 格子角棒幅:  $d = 4\text{mm}$ , 角棒間隔:  $M = 18\text{mm}$ ) は  $z = 430\text{mm}$  を振動中心としてストローク 40mm, 周波数 4Hz に設定した。振動中心を  $z' = 0$  とし、鉛直下向きに  $z'$  軸をとる。

液相運動を LDV (TSI 社製後方散乱型) により計測した。本実験では、空間相関測定のため LDV プローブを 2 台使用し、1次元の液相流速を 2 点同時計測 (Focusing Lens: Model 9253-120, Model 9253-350) した。2 点計測は、両光学系を測定点で一致させ、一方を固定点とし、もう一方をそこから鉛直方向 ( $z' = 100 \sim 140\text{mm}$ ) に移動させ、液相速度を計測した。固定点は、 $(x, z') = (0\text{mm}, 100\text{mm}), (27.5\text{mm}, 100\text{mm})$  の 2 点とした。両プローブにおいて、同時に 120s の時系列データをサンプリングする。実験は 3 条件で行い、振動格子乱流場のみを Condition-O, 気泡群のみを Condition-B, 振動格子乱流場に気泡群を付加したときの条件を Condition-OB とする。

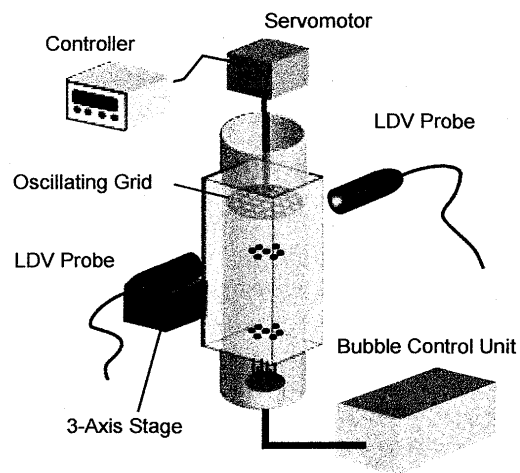


Fig. 1: Experimental setup

Table 1: Anisotropy of Turbulence

	measurement point	$w_{rms} / u_{rms}$
Condition-O	$x = 0, 100 < z' < 130$	1.12
	$x = 27.5, 100 < z' < 130$	1.00
Condition-B	$x = 0, 100 < z' < 130$	1.88
	$x = 27.5, 100 < z' < 130$	1.54
Condition-OB	$x = 0, 100 < z' < 130$	1.44
	$x = 27.5, 100 < z' < 130$	1.48

## 3. 実験結果および考察

本研究で用いた気泡は、扁平楕円体気泡に属す。可視化撮影による 384 個の気泡画像から平均球等価径を見積もると、 $D_{eq} = 2.8\text{mm}$  となった。Table 1 に  $x = 0, 27.5\text{mm}, z' = 100 \sim 130\text{mm}$  における乱れの異方性  $w_{rms} / u_{rms}$  の平均値を示した。なお、予備実験から本振動格子乱流発生装置により、 $x = -40$

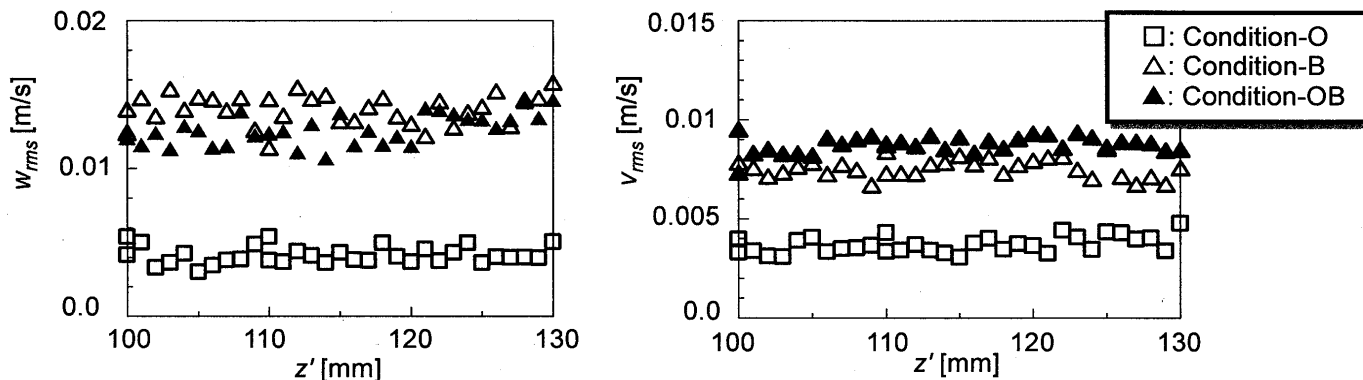


Fig. 2: Profile of standard deviations

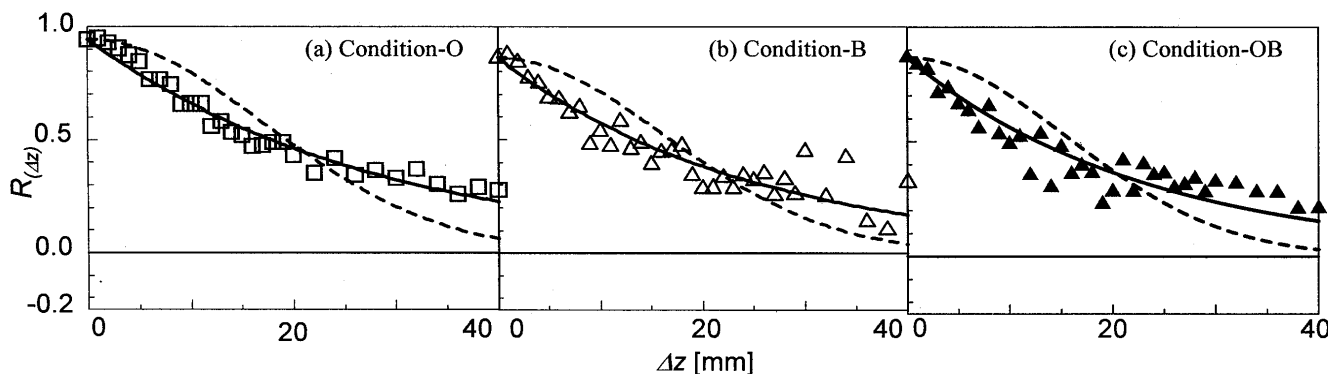


Fig. 3: Spatial correlation coefficient of  $w$  at  $x=0\text{mm}$

~40mm,  $z'=100\sim 180\text{mm}$  の領域で  $0.7 < w_{rms}/v_{rms} < 1.3$  であり、ほぼ一様等方性の乱流場が形成されることを確認している。Condition-O では  $w_{rms}/v_{rms} = 1.12, 1.00$  であり等方性とみなせる乱流場が形成されているのに対し、Condition-OB では  $w_{rms}/v_{rms} = 1.44, 1.48$  となる。つまり、一様等方性乱流場への気泡群混入により、気泡上昇方向の乱れ強さが、水平方向の乱れ強さより大きくなる異方的な乱流変動が生じることが分かる。

Fig. 2 に  $w$  と  $v$  の時間平均した乱れ強さの分布を示す。Fig. 2 より Condition-B, OB の乱れ強さが Condition-O より大きいことが分かる。また、 $w_{rms}$  では Condition-B が Condition-OB よりも大きい値となる。 $w_{rms}$  において、気泡により誘起された液相運動と振動格子乱流が干渉し、乱れ強さが減少したと考えることができる。 $x=27.5\text{mm}, z'=100\sim 140\text{mm}$  の結果からも、同様に  $w_{rms}$  が減少するという結果を得た。この乱れ強さの減少について、空間相関結果から積分長さスケールを算出し考察する。

Fig. 3 に、 $x=0, z'=100\text{mm}$  を固定点とした  $w$  の空間相関係数分布を示す。相関係数は、例えば Belmabrouk<sup>[3]</sup> がモデル化しているように、 $e$  を底とする指数関数により近似されることが多い。Fig.3 中の曲線は以下の関数による。

$$\text{破線: } R_{(\Delta z)} = Ae^{-B\Delta z^2} \quad (1)$$

$$\text{実線: } R_{(\Delta z)} = Ae^{-C\Delta z} \quad (2)$$

ここで  $A$  は、計測された  $R_{(0)}$  の値を用いている。理論上  $R_{(0)}$  は 1 となる。Fig. 3 中のいずれもわずかに 1 より小さい値をとっているのは、計測点が測定体積を持っていることと、同一時刻データの決め方によるものである。Condition-O では両プローブで  $100\mu\text{s}$  以内に得られたデータを同一時刻として取り扱っており、Condition-B, OB ではそれぞれのプ

ローブで得られたデータを線形補間して、同一時刻データを得た。Fig. 3(a) より、式 (2) と実験データがよく一致していることが分かる。Fig. 3(b), (c) においても式 (1) より式 (2) に一致している。乱流場を構成する様々なスケールの渦の平均径として、次式により積分長さが定義される。

$$L_z = \int_0^\infty R_{(\Delta z)} dz \quad (3)$$

実験値との一致が見られた式 (2) と式 (3) より積分長さスケールを算出した。 $w$  の積分長さは、固定点 ( $x=0, x=27.5$ ) について、Condition-OB (20mm, 19mm), Condition-B (21mm, 25mm) となった。これより、気泡により誘起された液相運動と振動格子乱流が干渉し、平均渦スケールが小さくなることで、乱れ強さが小さくなったと考えることができる。この現象について、異なる実験条件や、気泡運動との関係からより深く解明していきたい。

#### 4. 結言

振動格子乱流場に気泡群を混入することにより生じる乱流構造の変化を、LDV による 2 点同時計測から考察した。実験データから、乱れ強さ、空間相関係数、積分長さを算出した。気泡群混入による一様等方性乱流場の異方的な変動と、気泡により誘起された液相運動と振動格子乱流が干渉することによる、 $w_{rms}$  の減少が確認できた。

#### 参考文献

- [1] E. J. HOPFINGER, and J.-A. TOLY: *J. Fluid Mech.*, **78**, 155-175, (1976).
- [2] 仮屋崎侃, 逢坂昭治: *機論 B*, **69**, 674, 2712-2718, (2002).
- [3] H. Belmabrouk, *Flow Measurement and Instrum.*, **12**, 17-24, (2001).