

## II-48

## 粗面乱流域における不規則波底面境界層の特性

東北大学大学院 学生員 ○鈴木 健

東北大学大学院 正 員 田中 仁

東北大学大学院 正 員 山路 弘人

## 1. はじめに

漂砂現象の理解などのため波動下の底面境界層に関する研究は非常に重要であり、これまでに多くの研究がなされてきた。（たとえば日野ら<sup>1)</sup>）しかしその研究の多くは正弦波を対象としており、不規則波を扱ったものは少ない。また、扱ったものに関しても解析的、数値計算に基づく研究であった。そこで本研究では、不規則波動下での実験を行い底面境界層の乱流構造について検討を行った。

## 2. 実験方法

本実験は、その内部の観察が水に比べて容易であることから空気を用いて行われている。実験装置は不規則振動流発生装置と風洞部からなる。駆動部にはサーボモータを使用しており、任意の信号を入力することができる。入力信号は表面波形としてBretschneider・光易型スペクトルを用い、線形波の伝達関数を用いて底面流速の時系列を求めて使用する。12 波程度の不規則波からなる信号を繰り返し入力することにより、流速の位相平均値を求める。風洞は全長 5.0m、縦 20cm×横 10cm の矩形断面を有し、その底面には直径 1.0cm のアルミナビーズを細密に敷き詰めて粗面とした。両側面と上面は滑面とした。風洞中央部において、レーザードップラー流速計を用いて測定する。データは 1/100s 間隔で AD 変換を行い、50 波の平均値から平均流速を求めた。鉛直方向に 20 ヶ所で測定を行い、流速の鉛直分布を得る。

## 3. 結果と考察

## 3. 1. 流速と乱れ強度の時間変化

入力信号と境界層外縁流速、幾つかの高さでの流速波形を図-1 に示す。境界層外縁流速と底面近傍流速では波形が異なることが分かる。位相 B では相対的に振幅が小さくなっており、位相 C においては波形の変化が顕著である。正弦波では境界層内においてもその変動は正弦的であるためこのような現象は見られない。また、流速波形と併せて仮想底面から

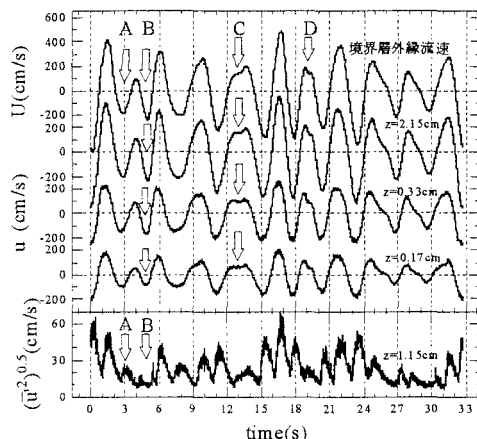
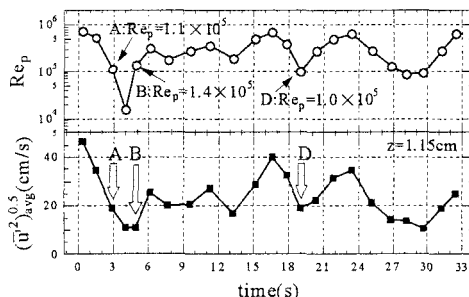


図-1 流速波形と乱れ強度

図-2  $Re_p$  と乱れ強度平均値

高さ 1.15cm における乱れ強度の時間変化を示した。流速変動に連動して乱れ強度も変化している。ただし、位相 B においては主流の大きさに比べ不自然に乱れ強度が小さいことが分かる。

不規則波の峰位相・谷位相それぞれに対して次のようなレイノルズ数  $Re_p$  を定義する。また、乱れ強度平均値を算出し、時間変化を図-2 に示した。 $Re_p$  と乱れ強度平均値は以下の式(1), (2)で示される。

$$Re_p = \frac{U_p^2}{\nu \omega_p}, \quad \omega_p = \frac{\pi}{T_p} \quad (1)$$

$$\sqrt{u'^2}_{avg} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \sqrt{u'^2} dt \quad (2)$$

ここで  $U_p$ : 峰・谷位相の主流流速最大値,  $T_p$ : 峰・

谷位相の継続時間である。  $Re_p$  の増加とともに乱れも増加するが、必ずしも  $Re_p$  の変動に乱れも従うわけではない。図-2 の矢印においては、  $Re_p$  がほぼ同じであるのに乱れは大きく異なっている。直前の波を比較すると乱れの大きいものの中には乱れの大きな波が、乱れの小さいものの中には乱れの小さい波が存在している。このことから乱れはその時点での  $Re_p$  の大小だけでなくそれ以前の波の影響を受けているものと考えられる。このような現象をここでは履歴効果と呼ぶ。同じ波が繰り返される正弦波では見られない現象である。

### 3. 2. 履歴効果と乱流構造の関係

履歴効果の見られる位相 B とそれとほぼ等しい  $Re_p$  の位相 A について時空間分布を乱れ強度、乱れエネルギー生成項、流速鉛直勾配、せん断力について時空間分布を示す。乱れエネルギー生成項、せん断力はそれぞれ次に示す式(3)、(4)で求めた。

$$P = \frac{\tau}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\tau}{\rho} = \int_z^h \frac{\partial(U-u)}{\partial t} dz \quad (4)$$

ここで  $P$  : 乱れエネルギー生成項、  $\tau$  : せん断力、  $\rho$  : 密度、  $u$  : 流速、  $z$  : 仮想底面からの高さ、  $U$  : 主流流速、  $h$  : 主流流速の高さである。

乱れ強度を見ると、位相 A では底面近傍で発生した乱れが上方へ拡散していく様子が確認できる。図-1 において乱れが見られなかった位相 B でも主流がピークを迎える  $t=5s$  付近において乱れ自体は発生している。しかしそれは底面の極近傍であり、位相 A と比べると乱れのピーク位相も乱れの上方向への拡散も位相が遅れていることが分かる。

$Re_p$  がほぼ等しいにもかかわらず、乱れの挙動が異なることは次の様な乱流構造の相違により説明される。乱れエネルギー生成項は流速波形に連動して変化し、底面近傍でもゼロの値をとる。この位相では乱れは発達せずに収束していく。式(3)に示されているとおり、乱れエネルギー生成項は速度の鉛直勾配とせん断力の積で表される。つまり速度勾配または、せん断力がゼロ付近では乱れは発生・発達しない。位相 A は底面近傍において速度勾配とせん断力のゼロの位相はほぼ一致し、乱れエネルギー生成項がほぼゼロになる位相は短い。一方、履歴効果の見られる位相 B では乱れエネルギー生成項がほぼゼロと

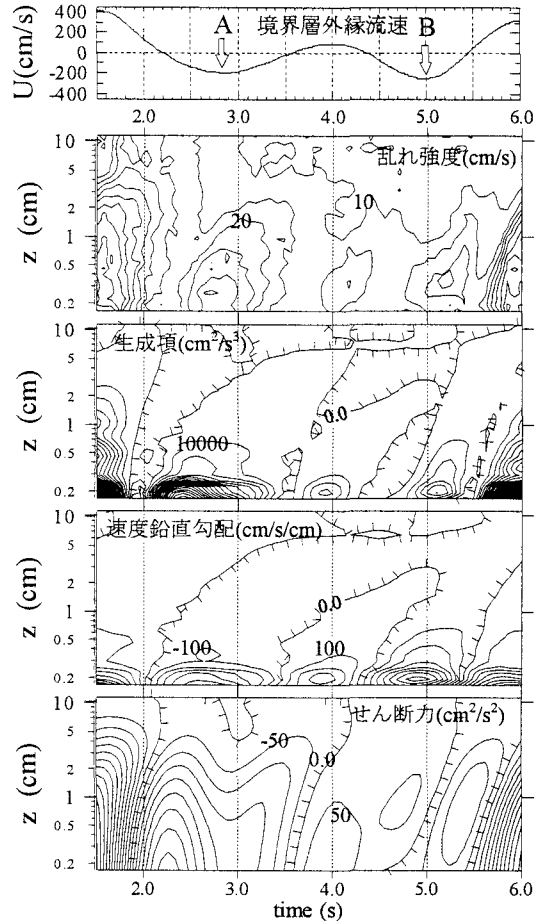


図-3 流速波形と乱れ強度・乱れエネルギー生成項・

流速鉛直勾配・せん断力時空間分布

なる範囲が長くなっている。ここでは速度鉛直勾配のゼロの位相とせん断力のゼロの位相が大きくずれているために乱れの発生しない位相が長く続いたのだと考えられる。そして、次に乱れエネルギー生成項がゼロになる位相は乱れが十分発達する前( $t=5.5s$  付近)に現れ、乱れが急激に収まるために上方へ拡散しないのだと考えられる。

### 4. おわりに

履歴効果が見られる位相の乱れ構造について検討を行った。今後はさらに乱れエネルギーの収支について検討を進めていく。

### 参考文献

- 1) 日野幹夫・柏柳正之・中山哲蔵・原 輝彦(1982) : 交番振動流の乱流構造に関する実験的研究, ながれ vol. 1, pp.181-196.