

砕波帯での表面付近の流動場

東北大学大学院 学生員 ○北條鉄也

東北大学大学院 正 員 真野 明

1. 研究目的

砕波帯の表面流速を測定するために、水表面にトレーサ粒子を浮遊させ、これらの運動を通常のビデオカメラにより撮影する方法を採用してきた(北條・真野, 1996)が、ここでトレーサ粒子の波への追従性つまり、そのトレーサ粒子自体が波の運動をどれほど反映しているのかが問題となってきた。これを調べるために、まず比較的取り扱いやすい砕波帯の外の波に対しての実験を行い、トレーサ粒子の追従性を調べた(北條・真野, 1997)。本研究では、砕波帯でのトレーサ粒子の波への追従性を調査し、砕波帯での表面付近の流動場の考察を行う。

2. 実験的検討

実験に用いる水槽の概要図を図1に示す。水槽の一端に設置された造波機の上下運動により、波が発生し伝播してゆく。水槽には底面に勾配 1/30 の斜面が設置されている。整流板を通過し整形された波は、この斜面上を進行し、ある地点において碎ける。表面流速の測点は、水槽中の No. 1 から 10 の地点である。No. 1 は汀線から 30 cm の地点であり、各測点の間隔は 30 cm である。扱う波の周期 T は 2.0 s であり、砕波点水深 h_b は 0.12 m である。

測点においてトレーサ粒子を水面に浮遊させ、測点上方よりトレーサ粒子の運動をビデオカメラで撮影し、トレーサ粒子の移動距離を求め撮影時間間隔からトレーサ粒子の速度 U を求める。ビデオカメラからの垂直同期信号および水面センサーに触れる波の位相をタイミングコントローラーで制御することで、撮影のタイミングを取った。

3. 表面流速の理論値との比較

まず、容量式波高計を用いて静水面からの水面変位データをとる。このとき 30 波分のデータを取り、これらを位相毎に平均した水面変位 η を求める。次に、水表面に浮遊するトレーサ粒子の水平方向の運動方程式を式(1)で表す。

$$M \frac{dU}{dt} = D - M' \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

M はトレーサ粒子の質量、 U はトレーサ粒子の運動速度、 D は抗力、 M' は付加質量(added mass)を表す。トレーサ粒子が受ける抗力 D は式(2)で表される。

$$D = \frac{1}{2} \rho A_x C_D |u - U| (u - U) \quad (2)$$

ρ は水の密度(= 1.0 g/cm³)、 C_D は抵抗係数(= 0.4)、 A_x はトレーサ粒子運動方向への水没部分の投影面積、 u は水の運動速度を表す。付加質量 M' というのは、トレーサ粒子が押しのけた水の質量に付加質量係数 c_M を乗じた形で表される。ここでは c_M は 0.25 を用いた。

3.1 Stream Function Theory との比較

測点において、Dean(1965)の Stream Function Theory を適用し、水面変位 η から表面流速 u_{st} を算定する。各測点における U と u_{st} との比較を図2に示す。縦軸は U と u_{st} 、横軸は時間位相 t を周期 T で割った無次元位相である。無次元位相の原点は水面変位 η の頂点の位置を示す。汀線付近の測点では、波の立ち上がり部において水の方がトレーサ粒子よりも時間的に早く立ち上がり、両者の位相差は大きなものとして認められるが、測点が砕波点に近づくにつれ、この位相差は小さくなってゆく。この位相差の原因は、おそらく実験水槽での反射波や戻り流れが、汀線付近であるほど大きく影響するためであると考えられる。

次に、水の運動速度として u_{st} を採用し、トレーサ粒子速度 U_{st} をルンゲ・クッタ法を用いて算定し、理論的なトレーサ粒子の動きを確かめる。各測点における U と U_{st} との比較を図3に示す。砕波点付近の測点では、波峰において両者の大きさはよく一致している。しかし、測点が汀線に近づくにつれ、波峰での流速に大きな差が生じている。Stream Function Theory が適用できるのは、取り扱う波が進行波の場合であるので、段波形状を示すような汀線付近の波にはこの理論は適用できず、流速の差が大きくなると考えられる。つまり、砕波帯内全体で Stream Function Theory を用いてトレーサ粒子の応答を計算しても、すべてが正確であるとは限らないといえる。

4. 結論

- ・汀線付近では反射波や戻り流れの影響が顕著であり、このためトレーサ粒子と水との位相差が大きくなる。
- ・Stream Function Theory が適用できるのは進行波の場合であり、進行波以外へ適用した場合のトレーサ粒子の応答計

算は砕波帯内全体において正確であるとは限らない。

参考文献

北條鉄也・真野明(1996)：粒子追跡法を用いた砕波帯の表面流速測定，海岸工学論文集，第43巻，pp.46-50

北條鉄也・真野明(1997)：水表面に浮かべたトレーサ粒子の追従性に関する検討，東北地区災害科学研究，第34巻，印刷中。

Dean, R.G.(1965)：Stream function representation of nonlinear ocean waves, Jour. Geophysical Res., Vol.70, No.18, pp.4561-4572

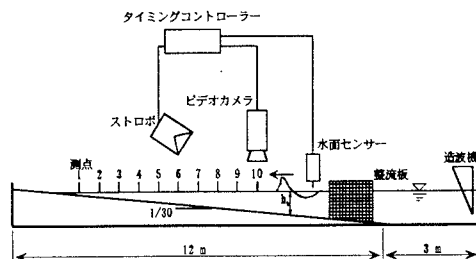


図1 実験水槽

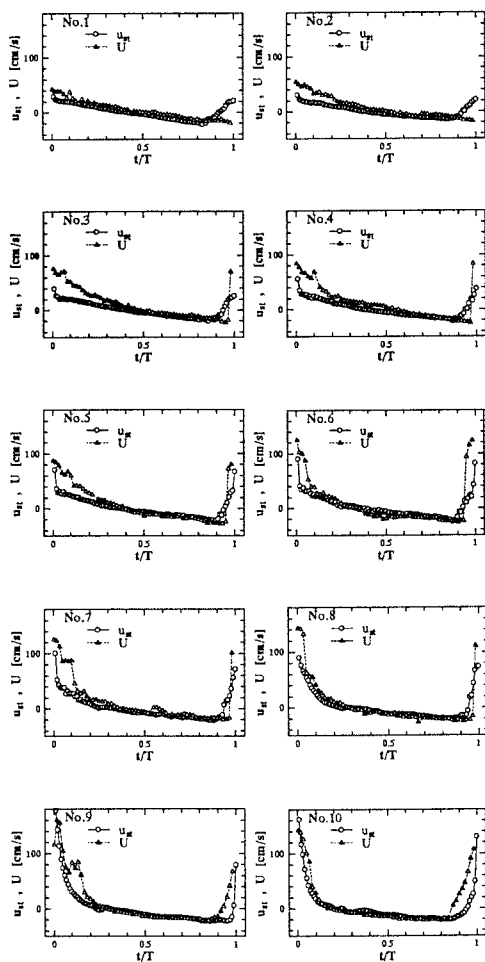


図2 u_{st} と U との比較

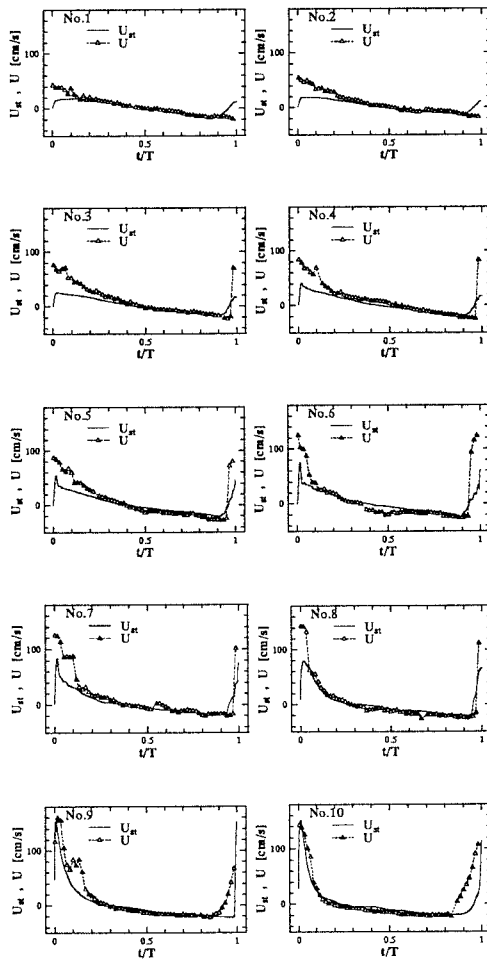


図3 U_{st} と U との比較