

高追従性能浮子を用いた砕波帯表面流動場の測定

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

砕波帯の流動場の測定は、従来レーザー流速計や可視化を用いて行われてきたが、その測定範囲は前者において気泡を含まない領域、後者において例えば河西ら(1995)では水表面を除いた領域に限られていた。したがって、砕波帯の表面流動場を精度良く解明することは、砕波の変形機構を解明する上で大きな意味を持つといえる。しかしその測定方法については、表面付近に浮遊させたトレーサ粒子の速度を計測するPTV(Particle Tracking Velocimetry)以外適当である方法が存在しないというのが現状である。この方法の場合、トレーサ粒子が波の運動にどのように追従するのかが、測定精度を決定する重要な鍵となる。そこで本研究では、波の運動に対するトレーサ粒子の追従性能を調査するため、まず砕波帯外の波に対して3種類のトレーサ粒子を用いた実験を行った。そして、追従性能のより高いトレーサ粒子を用いた実験により、砕波帯内の表面流速を測定した。それにより砕波帯の表面流動場の検証を行った。

2 トレーサ粒子の追従性能

実験水路側面を図1に示す。実験水路は全長25m、幅0.8m、高さ0.5mであり、水路内には1/30の様な勾配を持つ。波の周期は2.0s、砕波型式は崩れ波砕波、砕波点水深 h_b は0.12mである。図中に示すNo.1~10は、表面流速を測定する砕波帯内の点を表し、30cm間隔に存在する。斜面延長時の水表面との交点を原点とする。図中に示す測点11は砕波帯外に存在する点であり、トレーサ粒子の波に対する追従性能を評価するための地点である。

トレーサ粒子が振動流中に存在し、流体の運動速度とトレーサ粒子の運動速度をそれぞれ u 、 U とすると、式(1)のような運動方程式が成立する。

$$(M + M') \frac{dU}{dt} = D, \quad D = \frac{1}{2} \rho A_x C_D |u - U| (u - U) \cdots (1)$$

M はトレーサ粒子の質量、 M' は仮想質量、 D は抗力、 ρ は流体の密度、 C_D は抵抗係数、 A_x はトレーサ粒子運動方向への水没部分の投影面積を表す。

実験には3種類のトレーサ粒子を用いた。これらを便宜上トレーサ1号、2号、3号と呼ぶことにする。1号は発泡ス

チロールからできており、粒子1つ1つの質量のばらつきが大きいのが欠点である。2号はプラスチック製であるので、粒子1つ1つの質量はほぼ均一である。しかし、密度調整が難しいというのが欠点である。3号は、プラスチック製の球状外殻の中に水を封じ込めた構造をしている。この外殻の比重は水の比重に近く、そのためトレーサ粒子の比重を水の比重に近づけることが可能である。

測点11で容量式波高計を使用して、水面変位 η を測定する。得られた η のデータをDean(1965)のStream Function Theoryに用い、表面流速 u_{st} を算出する。

トレーサ1号を用いた実験による表面流速を U_1 、同2号を用いた実験による表面流速を U_2 、同3号を用いた実験による表面流速を U_3 とする。 u_{st} 、 U_1 、 U_2 、 U_3 の比較を図2に示す。中でも U_3 がより u_{st} との位相差が小さく、かつ u_{st} の波峰速度の大きさに近いことがわかる。これにより、3者のトレーサ粒子の中で最も追従性能が高いものは、トレーサ3号であるといえる。

ここで言葉の定義をしておく。流体の最大速度を u_{max} 、トレーサ粒子に関する最大速度を U_{max} と定義したとき、 U_{max}/u_{max} で表現される値を、速度の増幅率と呼ぶことにする。また、流体の最大速度が発生した時間から、トレーサ粒子の最大速度が発生した時間の差(位相の差)を、遅れ時間と呼ぶことにする。式(1)に各トレーサ粒子のパラメータ、 u としてsin波形をそれぞれ入力し、この波の周期を0.1s~100sの範囲で変化させ、各トレーサ粒子の運動速度 U を計算する。そして、0.1s~100sの運動周期における各トレーサ粒子に対する増幅率と遅れ時間を計算する。遅れ時間は無次元位相 $1/T$ で表されている。この理論的な増幅率、遅れ時間と、 U_1 と u_{st} 、 U_2 と u_{st} 、 U_3 と u_{st} から得られる実験的な増幅率、遅れ時間とを図3で比較する。トレーサ3号の実験からの増幅率は、理論的な増幅率よりも大きく、トレーサ3号の実験からの遅れ時間は、理論的な遅れ時間よりも小さくなる。言い換えれば、トレーサ3号を用いた実験により得られた表面流速 U_3 は、理論的な表面流速 u_{st} に数値

的だけでなく、性質的にも非常に近い表面流速であるといえる。

3 砕波帯の表面流速

追従性能の高いトレーサ 3 号を用いて、砕波帯の表面流速 U を測定する。図 3 からの U を増幅率 0.968 で U を割り、無次元位相 t/T で 0.0134 だけ U の位相を早めることにより、砕波帯の表面流速 u を計算した。

4 無次元流速と無次元水位

各測点での水面変位 η から波 1 周期の波速 $c = \sqrt{g(h + \eta)}$ と平均水面変位 $\bar{\eta}$ とを求め、表面流速に普遍性を持たせるために、 u を同位相での c で割り無次元化する。この無次元化した表面流速を無次元流速 u^* とする。 $\bar{\eta}$ を用いて、見かけの水面変位 $(\eta - \bar{\eta})$ と、見かけの水深 $(h + \bar{\eta})$ とを計算し、 $(\eta - \bar{\eta})$ を $(h + \bar{\eta})$ で割り無次元化する。この無次元化した水面変位を無次元水位 η^* とする。各測点での u^* と η^* との比較を図 4 に示す。砕波点に近い測点 9 や測点 10 では、 u^* と η^* との大きさに非常に近い相関があることがわかる。各測点での $t/T = 0.8 \sim 1.0$ の流速の立ち上がり部に注目してみると、どの測点においても水面変位の立ち上がりの方が早く、そのすぐ後で流速が立ち上がることがわかる。砕波帯内での表面流速は、必ずしも進行波のように水面変位と流速の位相が一致するとは限らないことを意味している。

5 結論

追従性能の高いトレーサ粒子を用いることにより、砕波帯内の表面流速を測定することができた。砕波帯点に近い測点では、水面変位を測定することで表面流速をある程度予想することが可能ながわかった。

参考文献

- Dean, R.G. : Stream function representation of nonlinear ocean waves, Jour. Geophysical Res., Vol.70, No.18, pp.4561-4572, 1965.
- Svendsen, I.A. : Wave heights and set-up in a surf zone, Coastal Eng., 8: 303-329, 1984.
- 河西義人・真野明: 可視化による砕波帯の流速測定と修正段階モデルの提案, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.121-125, 1995.

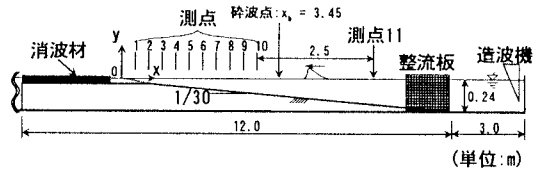


図 1 実験水路側面図

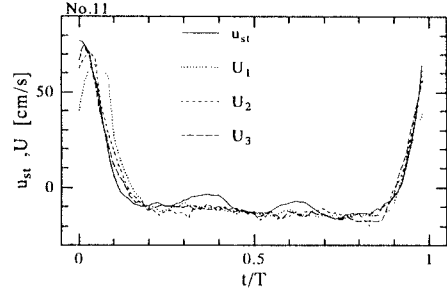


図 2 測点 11 での u_{st} , U_1 , U_2 , U_3 の比較

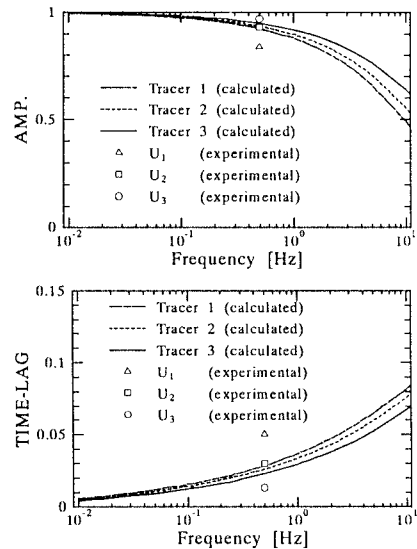


図 3 AMP.と TIME-LAG

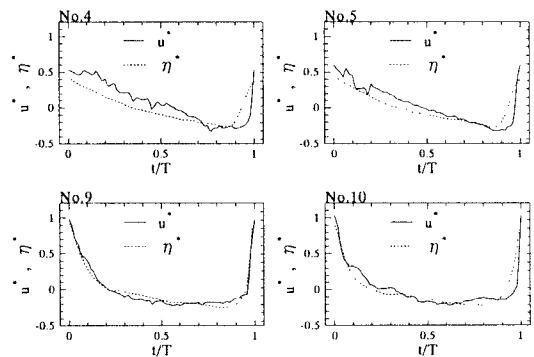


図 4 各測点での u^* と η^*