

II-346 注入トレーサ法を用いた巻き砕波内部の流速場測定に関する実験的研究

東北大学大学院 学生員 ○片岡暁彦
東北大学工学部 正 員 長尾昌朋
東北大学工学部 正 員 沢本正樹

1. はじめに

本研究では、波形の変形過程と流速分布の時間的変化の測定には注入トレーサ法とVTRを用いた可視化手法が有効であることを利用して、任意の場所、時刻での流速を評価する方法を開発し精度を検討する。さらにこれらのデータより加速度分布、渦度分布を計算により求め、砕波過程の内部機構の考察を行う。

2. 実験方法およびデータ処理

実験装置の概要を図-1に示す。本実験では水路の一端に設置した造波機で孤立波を発生させ、勾配1/20の一樣斜面上で砕波させ、砕波点付近の波形と流速分布をVTRを用いた可視化手法により測定した。トレーサには比重調整した粒径約1mmのポリスチレン球を使用した。波形の測定では水面を鮮明に捉えるためビデオカメラのシャッター速度を1/500sとし、流速の測定ではトレーサの軌跡が適当な長さとなる1/100sとした。時間軸の基準とするために造波機の近くに水面センサーを設置した。図-2にトレーサの軌跡から読み取った流速ベクトルと同時刻での波形を示す。また、同時刻同一場所での記録を重ね合わせることでトレーサの偏在を補正し、測定の精度を向上させる。本実験に用いた孤立波は、斜面法先での水深を15cm、波高を6.2cmとした。砕波点は $x=210\text{cm}$ 、砕波波高は8.0cmである。

任意の場所、時刻(x_0, z_0, t_0)での流速および流速勾配を求めるために以下の式を適用した最小自乗法を用いた。

$$u=A_1+A_2(x-x_0)+A_3(z-z_0)+A_4(t-t_0), w=B_1+B_2(x-x_0)+B_3(z-z_0)+B_4(t-t_0)$$

測定値は(x_0, z_0, t_0)を中心とした半径 $r=3\text{cm}$ 以内の空間に存在するもののみを採用し、かつその個数が10個未満の場合は流速がないものとして処理した。時間は距離との次元を一致させるために波速 $c=144\text{cm/s}$ を乗じてある。計算点における流速および流速勾配は

$$A_1=u, A_2=\frac{\partial u}{\partial x}, A_3=\frac{\partial u}{\partial z}, A_4=\frac{\partial u}{\partial t}, B_1=w, B_2=\frac{\partial w}{\partial x}, B_3=\frac{\partial w}{\partial z}, B_4=\frac{\partial w}{\partial t}$$

として求められる。これをもとに各計算点における加速度($A_4+A_1A_2+B_1A_3, B_4+A_1B_2+B_1B_3$)、渦度(A_3-B_2)を求めた。

3. 誤差の検討

画像データよりトレーサを読み取る際に生じる誤差を2pixelと仮定すると実寸では約1mmに相当する。測定点が10個以上であることを考慮すると流速の誤差は $\pm 3\text{cm/s}$ 程度と推定できる。さらに渦度については、採用する測定値が計算点より半径3cm以内の空間に存在するものとしているので流速誤差を3cmで除して $\pm 1\text{s}$ 程度と推定できる。従って上述の計算法による結果はこの誤差より大きい値において有為である。

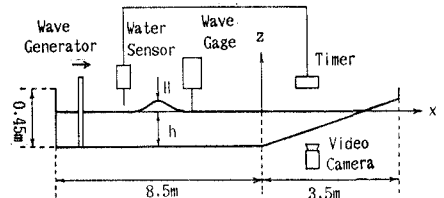


図-1 実験装置

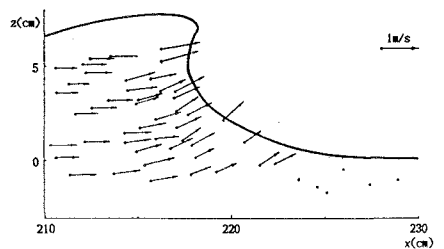


図-2 実験による流速と波形($t=4.12\text{s}$)

4. 実験結果および考察

図-3に上述の補間法で求めた流速分布を示す。(a)は波頂前面が垂直になり、砕波した瞬間の流速分布である。波頂での流速は波速にほぼ一致している。図-4に加速度分布を示す。加速度は、波の前面部では砕波前から重力加速度を越え、その後も突出部においては重力加速度より大きな値となっている。また、砕波した瞬間には進行してくる波のつま先部において強い上昇流が生じていることがわかる。図-5に渦度分布を示す。実線が0以上、破線が0未満を示している。波前面において大きな渦度が存在し、後方になるに従って0に近づく。また(a)~(b)にかけて渦度が波頂前面から斜め後方に徐々に拡散していく様子がわかる。

5. おわりに

可視化手法とビデオカメラを用いた方法により、孤立波の砕波時における波形と流速分布の経時変化の定量的把握が可能となった。重み付き最小自乗法を用いた補間法は異常な補間値を発生せずプログラムが簡単になる利点を持っている。結果についても、誤差を考慮した上でほぼ妥当な値を得ることができた。加速度および渦度分布も計算できるので砕波過程の内部機構を解明するために充分有効な実験方法といえる。ただし、より精度を向上させるためには多くの記録を重ね合わせる必要があるので、画像解析をもとにしたデータ処理の高速化、自動化をする必要がある。

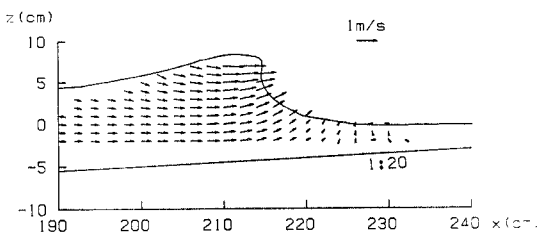


図-3(a)流速分布 (t=4.12s)

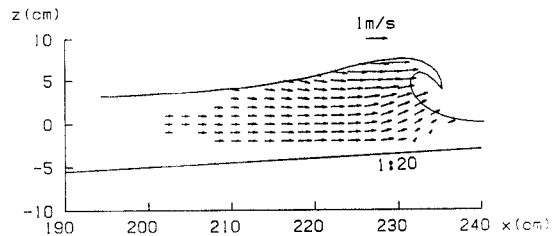


図-3(b)流速分布 (t=4.24s)

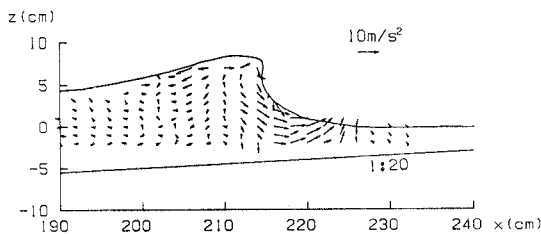


図-4(a)加速度分布(t=4.12s)

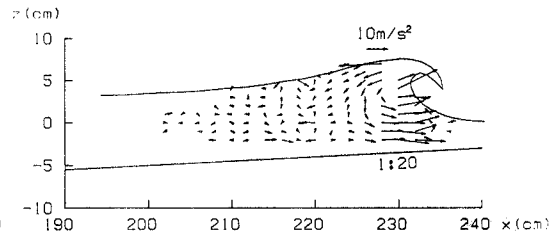


図-4(b)加速度分布(t=4.24s)

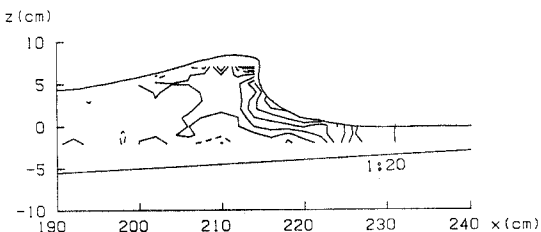


図-5(a)渦度分布 (t=4.12s)

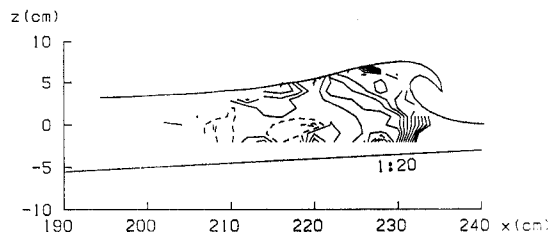


図-5(b)渦度分布 (t=4.24s)