

II-65

トレーサ追跡法を用いた巻き砕波の内部流速場測定

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

砕波機構を解明する場合、砕波前後での流速分布の時間変化を測定することが重要である。本研究は、可視化画像をもとに異なった時刻での同一トレーサを追跡することにより、砕波時の流速分布の経時変化を測定し、任意の場所、時刻での流速を評価する方法を開発し、その結果について考察を加える。

2. 実験方法

実験には、勾配1/20の斜面を設置したアクリル製水路を用いた。斜面上で孤立波を砕波させ、流速分布をVTRを用いた可視化手法により測定した。座標は静水面斜面法先を原点とし、岸向きをx軸、鉛直上向きをz軸とした。また、沖側に設置した水面センサの信号を時間軸の原点とした。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用いた。ビデオカメラのシャッター速度を1/60sとし、この間に4ms間隔で4回ストロボを発光させ、1フレームに異なった時刻での同一粒子を4点記録した。本実験に用いた孤立波は斜面法先での水深を15cm、波高を6.4cmとした。砕波点は $x=210$ cm、砕波波高は8.0cmである。

3. 画像処理

画像処理の手順を図1に示す。VTR画像は256×240画素、256階調に数値化され、判別分析法と部分画像分割法を利用して求めたしきい値を用いて2値化処理を行い、背景とトレーサ粒子を分離した。さらに水表面、底面の乱反射とトレーサ粒子の判別については、連結成分30画素以下をトレーサ粒子として抽出した。図2にVTR画像と図3に2値化画像と抽出したトレーサ粒子を示す。

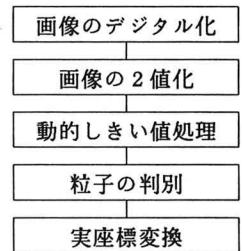


図1 画像処理手順

4. トレーサ粒子の追跡

図4にトレーサ粒子の追跡法概念図を示す。

①トレーサを一つ選び（A粒子）、その点を中心に Δt 秒間にA粒子が移動可能な範囲を半径 $R1$ の領域として定める。②半径 $R1$ 内にあるトレーサのすべてをA粒子の移動先と仮定する。この中から一つを選び出し（B粒子）、速度ベクトル V_{AB} が求められる。 V_{AB} を参考にB粒子の移動先を推定し、その点を中心に半径 $R2(<R1)$ の領域を定める。③同様に半径 $R2$ 内の領域にC粒子を選ぶ。速度ベクトル V_{BC} を求め、さらにそれまでの粒子の移動履歴より加速度 α も求める。C粒子の移動先を推定し、その点を中心に $R2$ と同様に半径 $R3(\leq R2)$ の領域を決める。この領域内の全てのトレーサをC粒子の移動先と仮定する（D粒子）。全ての粒子に対し以上の手順を繰り返してトレーサの移動経路を決定する。

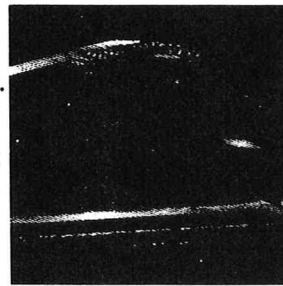


図2 VTR画像

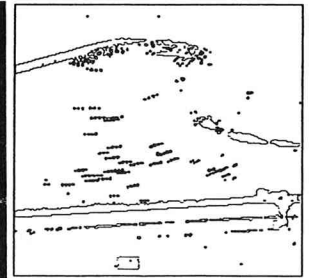


図3 2値化画像

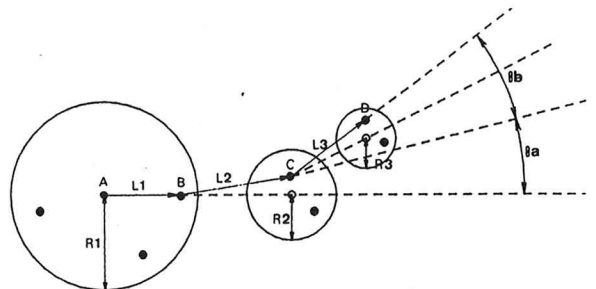


図4 トレーサ粒子追跡法

5. 流速の算定及び結果

画像データより得られた流速データから任意の場所、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線形補間を行なった。

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

係数 $A_1 \sim A_4, B_1 \sim B_4$ は最小自乗法を用いて計算点毎に決定した。測定値は計算点 (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。

図5に上述の補間法により求めた流速分布とその時刻に対応するVTR画像を示す。(a)が砕波前、(b)が砕波した瞬間、(c)が砕波後の流速分布である。いずれの図においても明らかに誤りとみられる速度ベクトルが存在するが、全体としては妥当な値を示している。波頂部の水粒子の水平方向速度は砕波点に近づくにつれ、波速にはほぼ等しくなる。

6. おわりに

本研究による画像処理システムは、流れに注入したトレーサ粒子を自動的に抽出、追跡し、内部流速場の経時変化の定量的把握を可能とした。さらに補間操作により、砕波点付近ではば妥当な値を得ることができた。

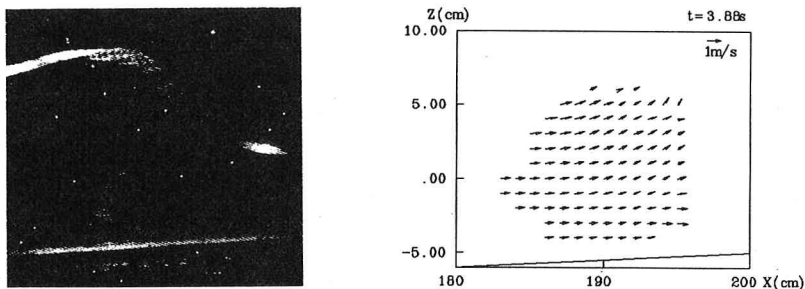


図5 (a) VTR画像と流速分布($t=3.88\text{s}$)

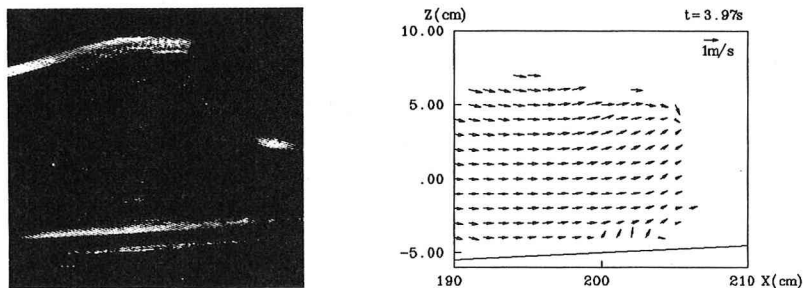


図5 (b) VTR画像と流速分布($t=3.97\text{s}$)

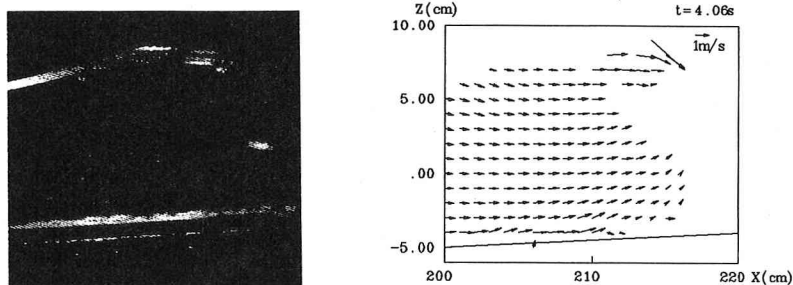


図5 (c) VTR画像と流速分布($t=4.06\text{s}$)