

II-133

波動場の画像解析への Mass-consistent モデルの適用に関する研究

熊本大学 工学部 正員 ○山田 文彦、滝川 清

熊本大学 工学部 学生員 柿木 哲哉、白木原 圭太

1. はじめに： 砕波限界などの重要な要因となる波動場の内部諸量（渦度、歪み度など）を算定する場合、点計測のレーザー流速計では多大な労力を必要とする。これに対して、画像解析は流速の空間分布が容易に得られ、また最近では、砕波による気泡混入後の解析例¹⁾も報告されており、非常に有効な手法といえる。ところが、従来の研究においては、計測精度の向上のみに関心が集中し、得られた流速場が質量保存則をどの程度満足しているかについては、ほとんど議論されていない。このため、内部諸量の算定に質量保存則を満足しない流速場を用いる可能性があり、内部特性を議論する上で問題が残る。本研究は、画像解析で得られた流速場の発散($D = \nabla \cdot \mathbf{u}$)を空間的に調べるとともに、その流速値を最良推定値とし、Mass-Consistent（マスコン）モデル²⁾により、質量保存則を満たすように流速を補正し、その精度を定性的・定量的に検証した。

2. 可視化実験の概要： 実験には、長さ 30.0m、幅 50.0cm、深さ 80.0cm の片面ガラス張り 2 次元造波水槽を用い、水中にトレーサ（ポリスチレン樹脂球、比重 1.04）を投入し、側方よりデジタルビデオカメラで撮影した（図-1）。画像解析には、流れの可視化システム（Current, カノマックス社製）を用い、計測手法としては濃度相関法を用いた。自由表面が存在すると、マスコンモデルにおける境界条件等の検討が別途必要となるため、まず底面境界層付近の波動場を対象に画像解析を行った。マスコンモデルの適用性および有効性を確認した後、自由表面を含む砕波直前の波動場の解析を行った。実験条件は、1)一定床上にモルタル製砂澱を設置し、水深 45.0cm、周期 2.0 秒、入射波高 11.5cm（非砕波）、2)水槽内に 1/20 勾配の斜面を設置し、水深 48.0cm、周期 2.0 秒、入射波高 18.5cm（巻き波砕波）で行った。さらに両ケースとも、精度検証のためレーザー流速計により流速の鉛直分布を測定した。

3. 波動場の画像解析へのマスコンモデルの適用： マスコンモデルは、風系推定モデルとして提案されたもので、質量保存則を満足するように観測で得られた風速場を変分法により修正する方法である。この手法を画像解析に適用するにあたっては、1) マスコンモデルは 3 次元場を対象としているが、現状の画像解析は鉛直 2 次元である、2)自由表面の認識とその取り扱い等の問題点が存在する。1)に対しては、座標系と格子（セル）の分割数などを適切に選択することで対応した。具体的には、水平方向に x 軸、鉛直方向に z 軸、水槽の奥行き方向を y 軸とし、y 軸方向のみ 1 セルの分割数で、その方向には流速補正を行わないことで 2 次元的に取扱った。なお、今回は、x 方向に 48 分割、z 軸方向に 40 分割とし、セル幅は 0.25cm、0.25 cm、y 軸方向は水路幅の 50.0 cm とした。2)に対しては、画像解析で得られた境界座標値より、分割したセルに固有の属性（障害物、液体、自由表面、気体）を持たせ、自由表面の認識、境界条件の設定を行った。図-2～7 に画像解析結果（マスコンモデルによる補正結果を含む）を示す。

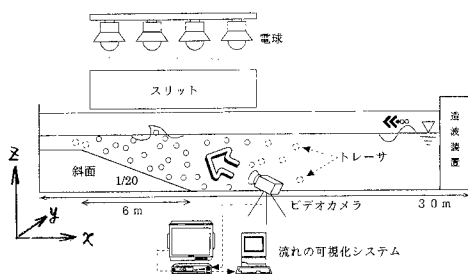


図-1 可視化実験の概要

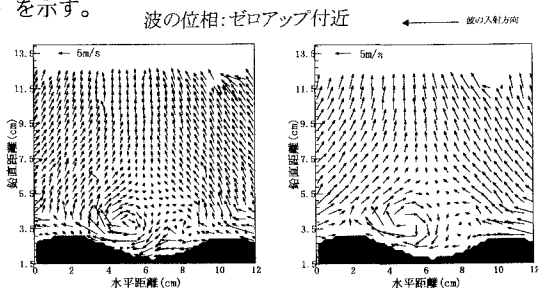


図-2 画像解析による流速分布（底面境界層付近）

キーワード： 流れの可視化、画像解析、Mass-consistent モデル、発散、内部特性

〒860-8555 熊本市黒髪 2 丁目 39-1 TEL: 096 - 342 - 3546, FAX: 096 - 342 - 3507

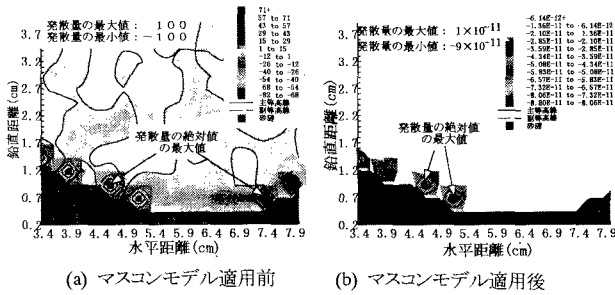


図-3 流速の発散の空間分布(底面境界層付近)

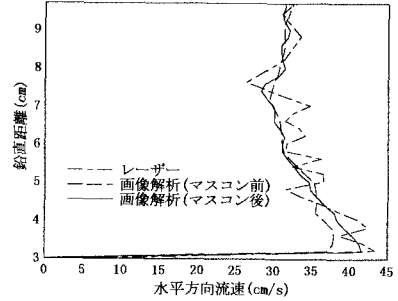


図-4 水平流速の鉛直分布(底面境界層付近)

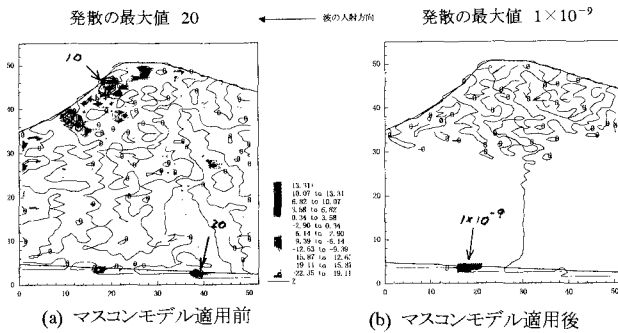


図-5 流速の発散の空間分布(巻き波砕波直前)

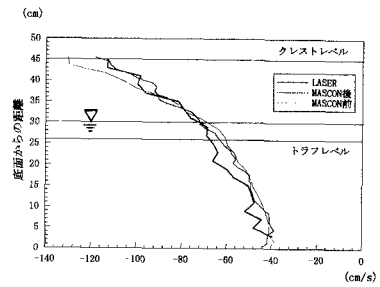


図-6 水平流速の鉛直分布(巻き波砕波直前)

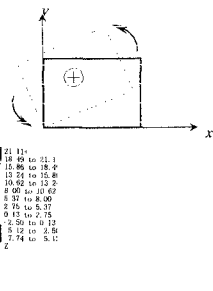
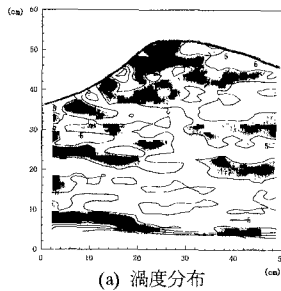


図-7 内部諸量の空間分布(巻き波砕波直前)：マスコンモデル適用後

4. 結論： 本研究で得られた結論を要約すると以下のとおりである。

- 画像解析による流速場の発散を空間的に調べた結果、流体内部に比較して底面境界や自由表面付近において質量保存則が満足されにくいことが分かった。(図-3(a)、図-5(a))
- マスコンモデルを画像解析に適用しても、流況の定性的な性質は大きく変化しない。(図-2)
- マスコンモデルの適用により、流速場の発散を最大で $1.0 \times 10^{-9} \sim 10^{-11}$ 程度に押さえることができ、解析領域全体で質量保存則をほぼ満足できることが分かった。(図-3(b)、図-5(b))
- マスコンモデルを適用した画像解析結果は、レーザー流速計の結果と比較しても定量的に高い精度を有することが分かった。(図-4、図-6)
- 巻き波砕波直前では、回転方向の異なる渦度が水表面付近に存在すること、および非ポテンシャル領域とポテンシャル領域の混在が確認できた(図-7(a))。また、水表面の切立つ付近に岸向きの大きなせん断力が働き、水表面および底面付近以外ではせん断力はほとんど作用していないことが分かった(図-7(b))。

参考文献 1) 長尾ら (1997):海岸工学論文集、vol. 44(1), pp.116-120

2) C. A. Sherman (1978) : J. of Applied. Meteorology., Vol. 17, pp.312-319