

斜面上の碎波変形過程の内部特性と

その数値計算モデル

熊本大学 正 員 滝川 清

熊本大学 学生員 ○有元 光久、瀬之口 春雄、古田 秀樹

1. まえがき 碎波に関する従来の研究ではマクロ的な立場に立ち、外部諸量に着目してその特性の解明が成されてきた。また、近年になって測定器機の発達に伴い、内部諸量の測定を試み、多くの知見が得られつつある。実験と平行してコンピュータによりN-S方程式の数値解を求め、内部特性を解明しようとする試み⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾もある。しかし、波動から流れへと遷移する碎波過程においては、現象的に不安定で、様々な乱れを含み確実な数値解析手法は確立されていない。

本研究は、実験によって碎波帯内の流速場、渦度、歪み度等を求め、それらにより内部特性を考察する。さらに碎波に伴う乱れをレイノルズ応力として評価し、数値モデルを推定してSMAC法により解析を行いその妥当性を検討するものである。なお数値計算の初期条件としては滝川のFEM解析の結果⁽⁴⁾を用いる。

2. 実験方法 碎波帯内の内部諸量の把握のため、流速の測定を2成分電磁流速計(東京計測株式会社製)を用いて行った。測定対象とした波の条件は表-1に示す通りで、典型的な巻き波型碎波で、測定範囲は第1突っ込み点より沖側4cmから岸側50cm、静水面より上方10cmから下方18cm~22cmまでとし、鉛直、水平方向に2cmつつ計444点を30波分測定した。実験の詳細は、図-1に示す。

表-1. 実験ケース

斜面勾配	T (sec)	h _b (cm)	H _b (cm)	H ₀ /L ₀	碎波形態
1/20	2.08	27.5	25.5	0.0283	PL

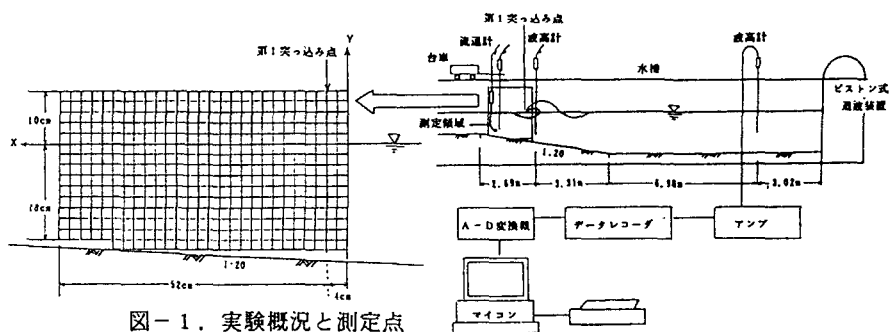


図-1. 実験概況と測定点

3. 解析結果 実験で得られた約30波分の流速データより位相平均流速を求めた。その結果を図-2に示す。また各格子点上での流速を元に、渦度、歪み度を差分法で求めた図を図-3、4に示す。なお渦度 ω および歪み度 γ の定義はそれぞれ $\omega = (\partial u / \partial y - \partial v / \partial x)$ 、 $\gamma = (\partial u / \partial y + \partial v / \partial x)$ とした。

波頭が突っ込み点より沖側にある(a)では、底面付近でのみ歪みがあることがわかる。波頭が突っ込み点に到達し、波頭前面の流体塊と混合し始める(b)では平均トラフ面上方で比較的大きな歪みが生じている。波頭が第1突っ込み点を通過する(c)では波峰後方にも比較的大きな歪みが残っている様子が伺える。それらの分布に関しては正值と負値が混在する複雑な現象となっている。

全般的な傾向としては、トラフ面よりも下方では渦度、歪み度があまり現れていない。これはビデオでの観察によると、第1突っ込み点で波頭がその前面に衝突し下方へ乱れが伝達される前に後方からの流体に押されて岸側へ移動している様子が伺えた。従って測定範囲を岸側へ広げれば下方での乱れの様子も観測できるものと思われる。

歪み度は流体に働くせん断力と密接に関わっているものと考えられるので、(b)から(c)の間のトラフ面より上方の流体には、複雑なせん断力が働き、それによって碎波時のエネルギー損失が起こり流体塊の拡散が顕著に起きていると思われる。

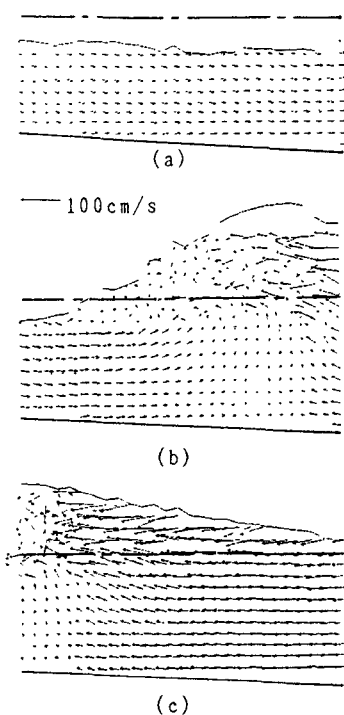


図-2. 位相平均流速

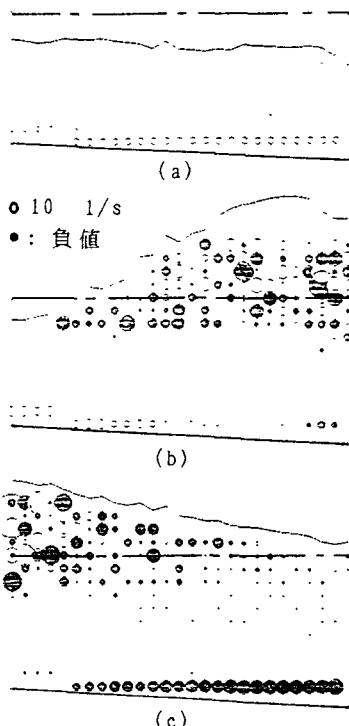


図-3. 渦度(ω)の分布

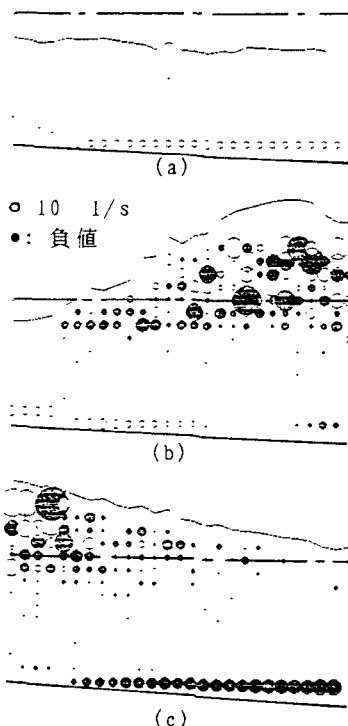


図-4. 歪み度(γ)の分布

4. 数値モデルの推定 N-S方程式中の流速 u 、 v を時間平均流速 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ と考えた場合に、式中の非線形項より実際の流速 u 、 v と平均流速の偏差 $u' = u - \bar{u}$ 、 $v' = v - \bar{v}$ を含む $u'v'$ 、 $u'u'$ 、 $v'v'$ いわゆるレイノルズ応力項が現れてくる。それらを $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ で表現しようと様々な提案がなされている。境界層付近では流速の空間勾配と渦動粘性係数 ν_T で表現し、さらに ν_T を壁面からの距離で表現しようとするプラントルの混合距離理論はあまりにも有名である。しかしながら、砕波においてこのような表現は妥当なものかは疑わしいし、実際の研究においてもその数値モデルは数少ない。

そこで今回は、先に示した渦度と歪み度をその手がかりにモデルの推定を行う。砕波における混合距離に当たるものとして、波高やボア高さ等が考えられるがここでは渦度が関係するとして、流速と渦度により混合長を、また歪みがエネルギー逸散に関係するとして数値モデルを表す。

例えばプラントルの混合距離理論で混合長を渦度に依るものとしたとき、

$$-\rho u'v' = \nu_T \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = (\kappa l)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x}\right)^2} \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \quad \text{ここで } l \propto \frac{\bar{u}}{\omega} \text{ 或は } l \propto \frac{A \cdot \omega}{\bar{u}}$$

例えば歪みの時間変化が乱れに關与するとしたとき、

$$-\frac{\partial}{\partial x}(u'v') = \kappa l \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad \text{ここで } l \text{ はさきに述べた渦度による混合長で、} \quad \kappa \text{ は定数である。}$$

このようなモデルをSMAC法に取り込み解析を行う。

5. おわりに 本研究では破砕帯内の流速場測定により、内部特性に若干の考察を加え数値モデルの提案を行うものである。砕波の内部特性および数値モデルによる解析結果の詳細は、講演時に報告する予定である。なお本研究は、平成2年度文部省科学研究費補助金による研究の一部であることを記し、謝意を表す。

<参考文献> (1)酒井、水谷：斜面上の巻き波型砕波の砕波後の運動機構の数値解析、第34回海岸工学論文集, pp71~75, 1987, (2)山田 文彦：斜面上の砕波変形機構の数値解析昭和63年度土木学会西部支部研究発表会論文集, (3)加行 孝：斜面上の砕波変形過程の内部特性について、平成元年度土木学会西部支部論文集, (4)滝川、岩垣：有限要素法による斜面上の波の砕波変形と内部機構の解析、第30回海岸工学論文集, pp. 20~24, 1983.