

(II-7) 砕波による乱れの定義とその構造特性

中央大学大学院 学生員 蛭田 啓久
中央大学理工学部 正会員 服部 昌太郎

1. はじめに

砕波により誘起される低周波性の組織的大規模渦はエネルギーレベルが高く、砕波帯内波動場特性の変動に対して大きな影響を及ぼす。砕波による乱れの構造を解明するには、この組織的大規模渦の乱れ特性を解明する必要がある。砕波によって生成される乱れには様々な時間スケールがあり、大規模乱れの周波数域は波動成分の周波数域とほぼ同じであるため、測定流速データからこの成分を適切に抽出することは難しい。さらに抽出した後、波動成分と乱れ成分の独立性を考えた場合、その独立性が成り立たず相関関係を持つという問題が表れる。

本研究では、乱れの抽出法として低周波性の乱れを比較的適切に分離できると考えられる数値フィルター法を採用し、波動成分と低周波性の乱れ成分がほぼ同じ時間スケールであるために起因する、両者間の相互干渉を考慮してその低周波性の乱れ特性を検討した。なお、数値フィルター法は水面変動と流速変動とのコヒーレンスに基づく分離方法であるため、水面変動に乱れがないと定義している点など改良すべき所はある。

2. 実験方法および実験条件

実験はフラップ式造波装置を備える (20m×0.3m×0.5m) 両面ガラス張り二次元水槽を用い、他端に 1/20 の一様斜面を設置して行った。座標原点は静水汀線とし、岸向き(x)、鉛直上向き(z)を正とする。

水位変動は分圧式波高計、流速変動 (u, w) はレーザドップラ流速計 (二色アルゴン : DISA 社製 : 前方散乱式) を用いてサンプリング間隔 0.005s で、同時測定をした。実験条件を表 1 に示す。

表 1

入射波周期 T_i	1.0 s
入射波波高 H_i	3.0 cm
surf similarity parameter ζ_i	0.33
砕波位置	$x \approx 90\text{cm}$
砕波形式	崩れ砕波

3. 運動方程式

砕波帯における 2 次元の運動を対象とした場合の非圧縮性流体の運動方程式は次式で表せる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uw}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (-P + \tau_{xx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (P + \rho g z) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \quad (2)$$

運動方程式 (1) と式 (2) を z 方向に底面から水面まで積分し、波の周期で時間平均をとる。境界条件を考慮し、式 (2) より求まる圧力項を式 (1) に用いて水平方向の運動方程式を導く。このとき流速成分、水位変動を式 (3) のように平均量、波動と乱れの和に分離する。水平方向流速の平均流は、鉛直方向に一様、波による質量輸送はないとし、式 (4) 式 (5) を定義し、それを用いた。

$$\left. \begin{aligned} u &= U + \tilde{u} = U + u_w + u' \\ w &= \tilde{w} = w_w + w' \\ \eta &= \bar{\eta} + \tilde{\eta} = \bar{\eta} + \eta_w + \eta' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{\bar{\eta} + h} \int_{-h}^{\bar{\eta}} u dz \quad (4) \quad \int_{-h}^{\bar{\eta}} \tilde{u} dz = 0 \quad (5)$$

さらに、平均量の運動は定常、水表面では作用応力はゼロ、粘性係数、底面勾配、波形勾配が微小として、各項のオーダーを比較し簡単化した。その結果が次式である。

$$U \frac{\partial U}{\partial x} = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} - \frac{1}{\rho(\bar{\eta} + h)} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\tau_x^B}{\rho(\bar{\eta} + h)} \quad (6)$$

$$S_{xx} = \frac{1}{2} \rho g \bar{\eta}^2 + \rho \int_{-h}^{\bar{\eta}} (\tilde{u}^2 - \tilde{w}^2) dz \quad (7)$$

ここで、h: 水深 η : 水位変動 u, w: (x, w) 方向の流速 g: 重力加速度 ρ : 流体の密度 τ_x^B : 底面摩擦応力である。上付き ~ は波動成分と乱れ成分の和、上付き - は波の周期平均を意味する。

式 (6) は、平均流には見かけの応力 S_{xx} が影響することを示している。 S_{xx} は波動による radiation 応力と砕波による乱れの効果が含まれ、波動成分と乱れ成分が互いに独立であれば、 $S_{xx} = S_{xx}^w + S_{xx}^l$ となる。しかし、乱れ

キーワード : 数値フィルター法 コヒーレンス radiation 応力

連絡先 : 〒112 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1812 FAX 03-3817-1803

成分中の大規模渦と波動成分の時間スケールがほぼ同一であることから、波動成分と乱れ成分の相関関係を考慮すると、 $S_{xx} = S_{xx}^w + S_{xx}^i + S_{xx}^{wi}$ の関係が成り立つ。 S_{xx}^{wi} の物理的意味は、波動成分と相関が大きい大規模渦による運動量の輸送であるので、以下に、その効果につき検討した。

4. 結果と考察

大規模渦の構造特性を示す一例として、水平方向の流速と乱れのスペクトルを、図1に示す。図より砕波点 (x=90cm) 近くの水面近傍では6 Hz 付近から乱れのエネルギーが急激に卓越しているが、水深方向へその卓越性は低減している。また、水平方向へ低周波数域 (10~100Hz) のエネルギーが高くなることから、低周波数域のエネルギーが移行していると言える。

図2には、平均流に影響を及ぼす見かけの応力の流速成分の水深方向変化を示す。大規模渦による運動量輸送である S_{xx}^{wi} は、波動成分と乱れ成分が相関があることから干渉項とした。干渉項は、高周波数域の乱れ成分より、平均流に与える影響が大きい。また、波動成分と同様な傾向を示していることから、大規模渦は波動成分によって輸送されていると考えられる。図2より鉛直方向積分を行った結果が、図3である。砕波直後よりも、砕波が進行した後に大規模渦を表す干渉項の最大値が現れている。さらに、砕波が進行するに従い、波動成分と干渉項との関係が逆転し、波動成分が大規模渦へと移行していると考えられる。前に述べたスペクトルでのことを考慮すると、波のエネルギーは、波動 → 低周波乱れ → 高周波乱れへ移っていると言える。

5. まとめ

波動成分と乱れ成分が独立でなく、相関性があるものを大規模渦と考え、それらの関係から大規模渦の平均流に与える特性を調べた。砕波により発生する大規模渦は、砕波が進行するに従い波動成分からエネルギーを得て、最大値に達する。その後、波動成分との相関関係より、エネルギーレベルで逆転した時点で、その差のエネルギーが高周波性の乱れのエネルギーへと移行することが分かる。大規模渦の構造特性として、波動成分の依存度が大きく、それが低下すると大規模渦自体が高周波性の乱れとなる。

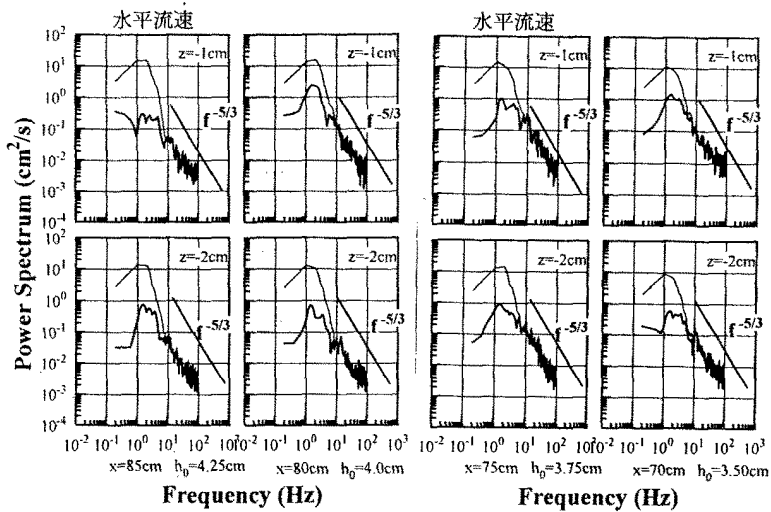


図1 水平流速 ($S_u, S_{u'}$) のスペクトル

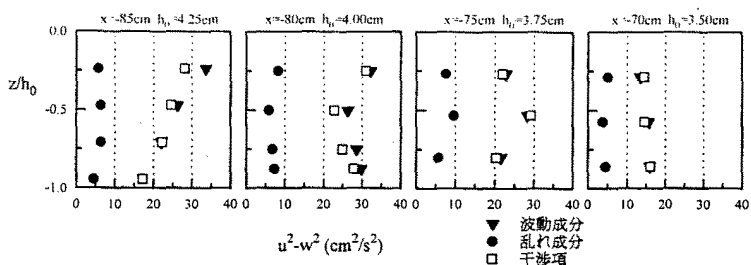


図2 $u^2 - w^2$ の空間分布

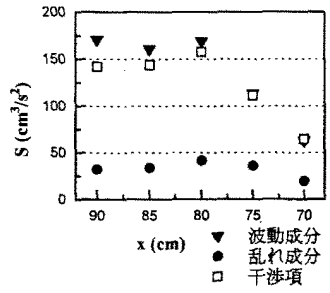


図3 水平方向の応力

<参考文献>

服部昌太郎 (1983) : 砕波による乱れの構造、第19回水工学研究会講義集、B-5, pp1~24
 青野利夫・服部昌太郎 (1984) : 砕波下での大規模乱れ構造に関する実験的研究、第31回 海岸工学論文集、p6~10
 水口 優 (1985) : 海浜流発生メカニズムについて、第21回水工学研究会講義集、B-3, pp1 ~31