

深海砕波へのウェーブレット解析の応用

岐阜大学 学生会員○森 信人[†] 正会員 安田孝志

【1. 緒言】

深海域における砕波現象は、単に波高の上限を与えるだけでなく、波から表面流および表面境界層への水平および鉛直エネルギーの輸送を伴い、海面における大気・海洋相互作用に重要な役割を担っている。しかしながら、深海域における不規則波の砕波については、そのメカニズムや砕波指標等はほとんど明らかにされていない。また、深海域における波浪の表現法としてフーリエ級数を用いた不規則波の表示が広く用いられているが、フーリエ解析は積分核が周期性を持つため、砕波のような場所や時間において局所的に生じる現象に対して有意な情報を与えることができない。そこで、本研究では局所的な積分核を持つウェーブレット解析を用いることにより、不規則波列中の砕波について検討を行う。

【2 正規直交ウェーブレット展開】

本研究では、正規直交ウェーブレット展開を行うに当り、Meyerのアナライジングウェーブレットを用いる。直交ウェーブレット展開および逆変換は、水面変動 $\eta(t)$ に対して次のように表される。

$$\alpha_{j,k} = 2^{-j/2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \tilde{\psi}(2^{-j}\omega_n) \exp(i2^{-j}\omega_n k), \quad \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} 2^{-j/2} \tilde{\psi}(2^{-j}\omega_n) \alpha_{j,k} \exp(-i2^{-j}\omega_n k) \quad (1)$$

ここに、

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \exp(i\omega_n t), \quad \omega_n = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

ここで、 $\alpha_{j,k}$ はウェーブレット係数、 $\psi_{j,k}$ は $\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\psi(2^j t - k)$ ($j, k \in \mathbb{Z}$)と定義される離散的な空間移動 k およびスケール変換 j によって変換されるウェーブレットである。

【3. ショック波に対するウェーブレット解析の応用】

不規則波の解析を行う前に、砕波のモデルケースとして図-1に示すショック面を持つ波形に対してウェーブレット解析を用いることにする。図-2は、このショック波に対するフーリエスペクトルである。これより、ショック面がある場合フーリエスペクトルは f^{-2} のべき則を持つことが分る。しかし、フーリエ解析の結果からはこのショック面がどの時刻 t に存在しているのか？と言う情報は得ることが出来ない。そこで、図-3に、 $j \geq j_s$ である j に対して次式で定義される局所ウェーブレットスペクトル $L_{j,k'}$ を示す。

$$L_{j,k'} = \sum_{k'} |\alpha_{j,k}|^2, \quad (0 \leq k' \leq 2^{j_s}) \quad (3)$$

ここで、 j_s は局所ウェーブレットスペクトルの最小値であり、 $\sum'$ は $(k/2^{j_s} \leq k'/2^j \leq (k+1)/2^{j_s})$ を満たす k についての積分であることを意味する。これより、それぞれのスケール j において、ショック面に対応した時刻にエネルギーが集中していることが明確にわかり、また、ショック面に対応した時刻の局所ウェーブレットスペクトルのエネルギーの峰線の勾配は j^{-1} であり、フーリエスペクトルから得られる f^{-2} に対応している。局所ウェーブレットスペクトルで見られるショック面のエネルギー構造を明確に見るために、図-4に次式で表される正規化した局所ウェーブレットスペクトル(SLW)を示す。

$$M_{j,k'} = \frac{(L_{j,k'} - \mu_j)}{\sigma_j}, \quad (4)$$

ここで、 μ_j 、 σ_j はそれぞれ j におけるSLWの平均および標準偏差である。これより、波形がショック面を持つ場合、ショック面のスケールに応じた大きさを持つSLWが得られることが分かる。

【4. 実験条件】

実験は、2次元水槽(1m × 2m × 65m)内に8台の容量式波高計を設置し、水深0.98mの下でWallops型スペクトルでスペクトルバンド幅 $m = 10$ を初期スペクトルとして与えた不規則波を造波した。サンプリング周波数は100Hz、ピー

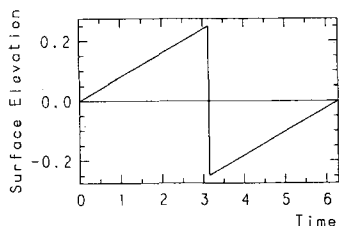


図-1. ショック波の波形

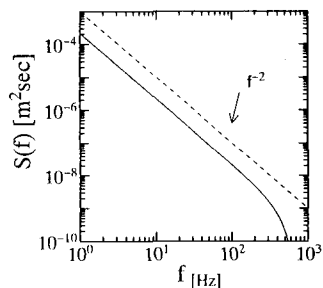


図-2. ショック波のフーリエスペクトル

[†] 日本学術振興会特別研究員

ク周波数 f_p は 1.0Hz であり, $k_p h = 3.99$ と深海波を対象としている。ここでは, 主に, 初期波の持つエネルギー変化させることにより, 砕波が生じる場合 (図-5(a)) と全く生じない場合 (図-5(a)) の 2 種類の時系列データについて行った解析結果を示す。

【5. 解析結果と考察】

図-6 に示すのは, 砕波が生じた場合のフーリエスペクトルである。これより, 高周波において f^{-2} のべき則があり, ショック面が存在することを示している。これに対して, 図-7 に, 砕波および非砕波のケースの局所ウェーブレットスペクトル $j_s = 7$ (約 2Hz に対応) をそれぞれ示す。砕波のケースでは, 部分的に大きなスケールから小さなスケールに向かった大きなピークを持つ峰が存在するのにに対し, 非砕波の場合にはそれほど強くないことがわかる。図-8 に示すのは, 式 (4) で定義した SLW であり, これから砕波と非砕波のケースの違いは顕著であり, 砕波のケースでは高い峰が大きなスケールから小さなスケールまで続いており, これは図-5 に示す波列中の砕波した波の時間と良く対応している。

以上の結果より, 正規化したウェーブレットスペクトルを用いれば, 時間波形中のショック面を検出することができ, 観測データ中の波列の中の個々の波の砕波・非砕波を判断することが可能であることが明らかとなった。

最後に, 本研究は, 科学研究費補助金 (特別研究員奨励費) による研究成果であり, 感謝の意を表す。

【参考文献】 森 信人・安田孝志・山田道夫 (1993) 海岸工学論文集第 40 巻, pp.141-145.

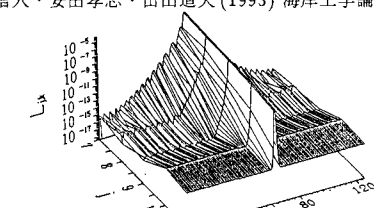


図-3. ショック波の局所ウェーブレットスペクトル

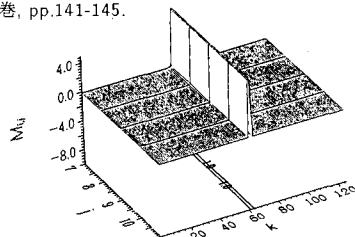
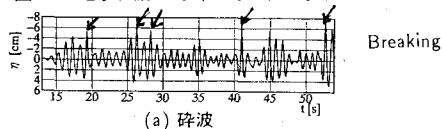
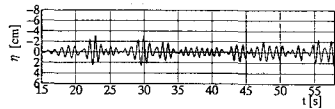


図-4. ショック波の SLW

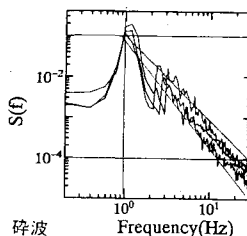


(a) 砕波



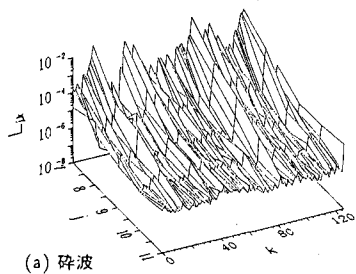
(b) 非砕波

図-5. 観測波形 ($m = 10$)

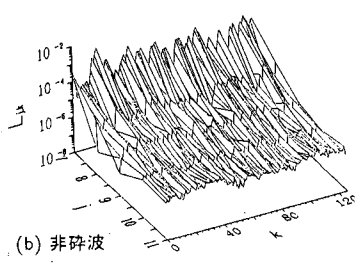


砕波

図-6. 観測波形のフーリエスペクトル

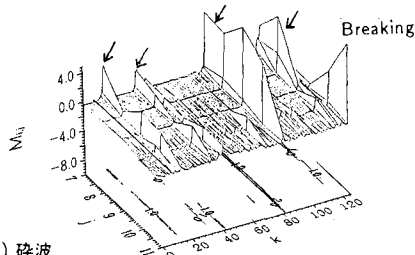


(a) 砕波

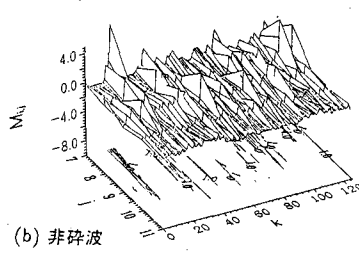


(b) 非砕波

図-7. 観測波形の局所ウェーブレットスペクトル



(a) 砕波



(b) 非砕波

図-8. 観測波形の SLW