

## II-225

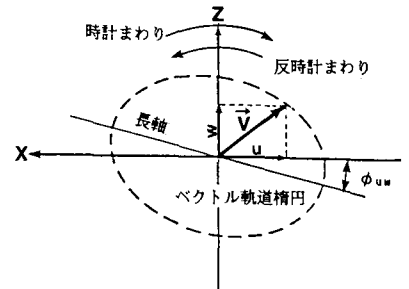
## 単一周期波動場の回転スペクトル解析

中央大学理工学部

小高 巖・青野利夫・服部昌太郎

はじめに 二方向の流速成分により表される流速場の変動は、通常のスカラー時系列のスペクトル解析より、一組のベクトル時系列データを回転スペクトルによって解析する方がより客観的にその状況を把握することが出来る(日野,1977)。青野・服部(1986)は、砕波帯内の流速場に回転スペクトル手法を適用して、周波数空間での波動・乱れ成分の判別と水粒子速度データでの両者の分離法の検討行ってきた。砕波帯内には入射波の高調波周波数域とほぼ同程度の周波数を持つエネルギーレベルの大きい乱れが存在し、この周波数域での波動・乱れ成分の分離は非常に難しい。この問題を解決するため、まず回転スペクトルによって非線型波動場の解析を行い、その解析結果より得られる知見に基づいて砕波帯内流速場の乱れ成分の判別と分離を行うための基礎知識が必要となった。本報は、非砕波浅水波の流速測定データとそれと同一条件でのストークス波5次近似理論の計算流速場とに対して回転スペクトル解析を行った結果を報告する。

回転スペクトル 図-1に示す水平・鉛直方向の水粒子速度成分  $u \cdot w$  をもつ速度ベクトル  $V$  の回転スペクトルは、 $u$  と  $w$  の通常の自己スペクトル( $P_{uu}, P_{ww}$ )とクロススペクトル( $S_{uw} = K_{uw} - iQ_{uw}$ )とによって表すことが出来る。以下に、回転スペクトルの諸量を示す。① 全スペクトル:  $S_t = S_+ + S_-$ , ② 反時計まわりスペクトル:  $S_+ = (P_{uu} + P_{ww} + 2Q_{uw})/4$ , ③ 時計まわりスペクトル:  $S_- = (P_{uu} + P_{ww} - 2Q_{uw})/4$ , ④ 回転係数:  $C_r = -2Q_{uw}/(P_{uu} + P_{ww})$ , ⑤ 速度ベクトル軌道楕円軸の安定性:  $E = \{(P_{uu} + P_{ww})^2 - 4(P_{uu} - K^2_{uw})\} / \{(P_{uu} + P_{ww})^2 - 4Q^2_{uw}\}$ , ⑥ 長軸方向:  $\tan 2\phi_{uw} = 2K_{uw}/(P_{uu} - P_{ww})$ 。回転スペクトルに関しては、日野(1977)「スペクトル解析」を参照されたい。



解析結果 1/20勾配斜面上を進行する浅水変形波の実験データ

を解析に使用した。実験波の諸量は波高  $H=3.36\text{cm}$ , 周期  $T=0.68\text{s}$  (図-1 速度ベクトル軌道と座標系  $f=1.47\text{Hz}$ ), 水深  $h=7.0\text{cm}$ , 流速測定位置:  $z=-3.5\text{cm}$  である。この実験波のアーセル数は  $Ur = 25.5$  で、ストークス波5次近似理論が適用しうる(関根・服部, 1985)。

図-2(a)と(b)は、回転スペクトル、 $S_t, S_+, S_-$ 、図-3は  $C_r, \phi_{uw}, E$ 、および図-4は通常のクロススペクトルより計算されるコヒーレンス  $\gamma_{uw}$  と  $u \cdot w$  間の位相差  $\theta_{uw}$  を、理論と実験とに対してそれぞれ示したものである。図-3と4では、理論は破線、実験は実線で計算結果が示され、またストークス波理論より計算される回転スペクトルの諸量の、実験波の3倍周波数成分までのものが①、②、③で示されている。

図-2の回転スペクトルには、波運動の高調波に対応するスペクトルのピークが認められ(ストークス理論から計算される各高調波成分のパワーが記入されている)、エネルギーのほとんどは破線で示される  $S_+$  の成分が占めている。図-3の  $C_r$  から、高次の高調波成分になるに従って、速度ベクトル軌道(近似的に水粒子軌道)は楕円より円へと移行し( $C_r=0$ : 直線,  $C_r=-1$ : 円)、軌道の長軸方向は水平である( $\phi_{uw}=0$ )。水底付近の流速データの解析結果によると  $C_r \approx -1$ 、長軸方向は水底勾配とほぼ同じとなることが認められた。図-3に示す通常のクロススペクトル解析より得られた  $\gamma_{uw}$  と  $\theta_{uw}$  は、理論では5倍周波数成分まで  $\gamma_{uw}=1$ ,  $\theta_{uw}=\pi/2$  となっている。しかし、実験波では2倍周波数成分までは理論と同じであるものの、それより高周波域では  $\gamma_{uw}$  の低下と  $\theta_{uw}$  の  $\pi/2$  よりずれが認められ、実験波形の非対象性が原因していると考えら

れる。図-2のEは回転スペクトルのコヒーレンスに相当するもので、図-3の $\gamma_{uw}$ とほぼ同一の分布形となる。しかし、 $\theta_{uw}$ の $\pi/2$ よりのずれが見られる水底部付近の実験データでは、基本周波数域での $\gamma_{uw}$ とEの低下と、両者の分布形状に顕著な差が認められた。

おわりに 実験波のデータと実験条件によってストークス波理論より計算された波動場に対してそれぞれ回転スペクトル解析を行い、その比較より回転スペクトルの波運動解析への有効性を確認すると同時に、スペクトルに現れる波動の特徴を捉えることが出来た。この様なデータに基づいて、碎波帯内流体運動場の乱れの解析を更に進めること現在考えている。

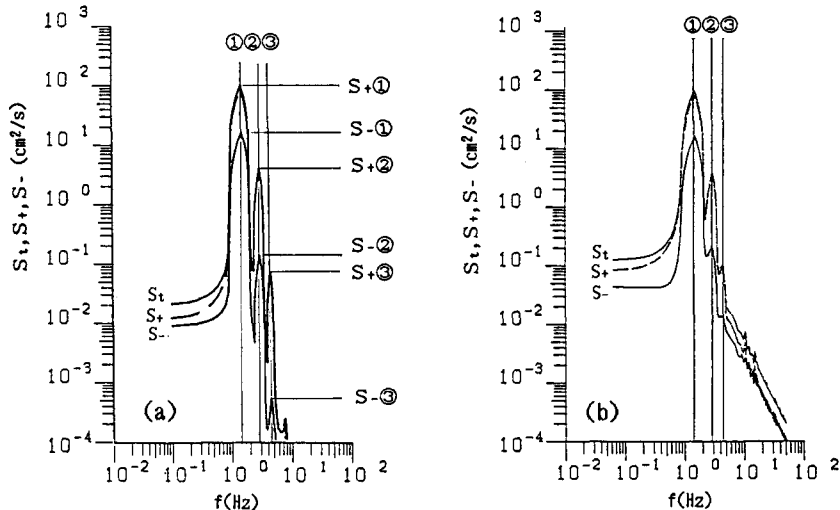


図-2 回転スペクトル $S_t, S_{t+}, S_{-}$ . (a)ストークス波理論（5次近似）、(b)実験波( $H=3.36\text{cm}$ ,  $T=0.68\text{s}$ )

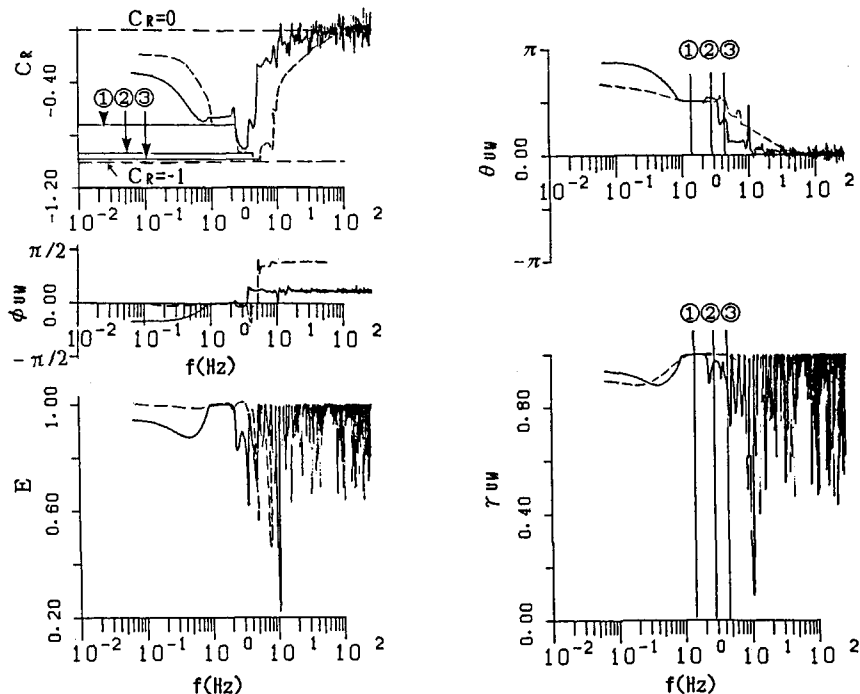


図-2  $C_R, \phi_{uw}, E$

図-3  $\theta_{uw}$ と $\gamma_{uw}$