

中央大学 工学部 正 青野 利夫

中央大学 工学部 正 服部昌太郎

1. まえがき 砕波下の乱流構造の解明に当って、乱れ成分の分離法が重要な問題となっている。著者らは、水面変動(η)と無相関な流速成分を乱れと定義し、 η と流速とのコヒーレンスを周波数特性とする数値フィルタ法により流速変動の乱れ成分の分離を行ってきた。その際、 η と水平流速(u)とのコヒーレンス($r_{\eta u}$)に較べて、 η と鉛直流速(w)のコヒーレンス($r_{\eta w}$)が砕波帯内において低周波側で大きく低下するため、 w に対しても $r_{\eta u}$ を周波数特性として用いざるを得なかった¹⁾。このコヒーレンスの低下原因として位相変化などが挙げられているが、本研究では水面変動の乱れ成分によって、 $r_{\eta w}$ の低下がおこると考えて、乱れ成分の分離を行、た結果を報告する。

2. 乱れによるコヒーレンスの低下 η と w のコヒーレンス $r_{\eta w}^2$ は、(1)式で与えられる。

$$r_{\eta w}^2(f) = |S_{\eta w}(f)|^2 / S_{\eta}(f) \cdot S_w(f) \quad (1)$$

ここで S_{η} 、 S_w は、水面変動及び鉛直流速のパワースペクトル、 $S_{\eta w}$ はクロススペクトルである。今、 S_{η} と S_w を波動成分(S_u 、 S_w)と乱れ成分($S_{\eta'}$ 、 $S_{w'}$)に分離し、両成分は無相関であると仮定すると、次式の様に表わされる。

$$S_{\eta}(f) = S_u(f) + S_{\eta'}(f) \quad , \quad S_w(f) = S_w(f) + S_{w'}(f) \quad (2)$$

したがって、次式(3)が導かれる²⁾。

$$r_{\eta w}^2(f) = r_{uw}^2(f) / \left[1 + \underbrace{S_{w'}(f)/S_w(f)}_{(a)} + \underbrace{S_{\eta'}(f)/S_u(f)}_{(b)} + \underbrace{\{S_{\eta'}(f) \cdot S_{w'}(f)\} / \{S_u(f) \cdot S_w(f)\}}_{(c)} \right] \quad (3)$$

ここで、式(3)分母中の各項は、コヒーレンスの(a)流速の乱れによる低下、(b)水平変動の乱れによる低下、(c)流速と水面変動の乱れの相互作用による低下をそれぞれ意味する。(3)式より乱れによるコヒーレンスの低下の評価を行うが、この場合当然ながら数値フィルタ法によるデータは使用できないため、位相平均法によって得られたデータを使用して式(3)分母中の各項を評価することを行う。使用したデータ及び解析方法は文献³⁾と同じものである(周期1秒、入射波高2.97cm、崩れ砕波)。表-1は、波面崩壊の影響が水底面付近にまで達し、 $r_{\eta w}$ の低下が最も顕著に現われる $x/L_b = 0.5$ 、 $z/h_b = 0.4$ での低周波域に着目して、各項の評価を行った結果を示したもので、また図-1は同一測定での $r_{\eta u}$ と $r_{\eta w}$ (●印:実験値、実線:周波数特性)である。表-1より、 $S_{w'}/S_w$ の項が最も大きく、位相平均法で問題となる乱れ成分への波動成分の漏れを考慮しても低周波側で鉛直流速は波動成分と乱れ成分がほぼ同程度の規模で存在していることがわかる。著者らは、波動成分と乱れ成分の両成分を包含した水面変動を基準に流速の乱れを分離してきたが、表-1より砕波帯内では、水面変動の乱れ成分によるコヒーレンスの低下が比較的大きく水面変動と流速変動間の乱れの相互作用による低下と合わせて無視できないことがわかる。表-1より、 $r_{\eta w}$ は(3)式で求めた

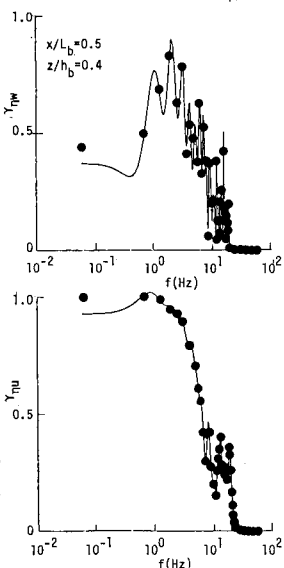
表-1

f(Hz)	(a)	(b)	(c)	$r_{\eta w}^*$	$r_{\eta w}^{**}$
1	1.0	0.2	0.2	0.65	0.66
2	0.5	0.3	0.15	0.72	0.80

* (3)式から計算した結果

とを考えると、磯部⁴⁾が指摘した波動成分

** 測定値

図-1 $r_{\eta u}$ 、 $r_{\eta w}$ と周波数特性

の入出力間の各周波数成分ごとの振幅と位相のばらつきによるコヒーレンスの低下は、砕波帯内では、低周波域での乱れによるものと考えられる。

3. $\delta\eta_u$ と $\delta\eta_w$ の低下防止 コヒーレンスの低下原因を流速の乱れ成分のみにするためには、(3)式で(a)以外の(b)と(c)の項を除去する必要がある。そこで波動成分と乱れ成分が互いに無相関であることを考えれば、流速変動の乱れの影響が、 $\delta\eta_w$ に較べて相対的に低い $\delta\eta_u$ を周波数特性として設計した数値フィルタによって水面変動の波動成分(H)の時系列を取り出し、このHと流速とのコヒーレンス($\delta\eta_u$, $\delta\eta_w$)を新たに計算すればよい。図-2は、この手法の流れ図を示したものである。また図-3には、上記の手法で分離したHと η' の時系列データの一例が示されている。

図-4は、この手法による $\delta\eta_u$ と $\delta\eta_w$ の計算例である。図-1との比較より、1 Hz 付近では、 $\delta\eta_u$ は $\delta\eta_w$ との違いがほとんど見えないが、 $\delta\eta_w$ については $\delta\eta_u$ より、相関が高くなっており、水平変動の乱れを除去した効果が明瞭に認められる。

図-5は、 w のパワースペクトル(S_w)と、図中に示した式によって求めた w' のパワースペクトル($S_{w'}$)を示したもので、(i)はコヒーレンスに $\delta\eta_u$ を使い、(ii)は $\delta\eta_w$ を用いている。 $S_{w'}$ の低周波側での傾向を見ると、(i)に較べて(ii)は $S_{w'}$ のパワーが明らかに大きくなっており、また S_w と同様に $-5/3$ 乗に従う周波数特性が現われている。これは可視化などによつて認められた大規模な3次元性の強い乱れ構造⁵⁾の存在を裏付けるものと考えられる。

4. 結論 砕波帯内で顕著に見られる水面変動と鉛直流速間のコヒーレンスの低下は、面変動成分のもつ乱れが主たる原因であることが示された。また水面変動の波動成分を $\delta\eta_u$ を周波数特性とする数値フィルタによって取り出し、 $\delta\eta_u$, $\delta\eta_w$ を求めた結果コヒーレンスの低下防止に対して有効であることが示され、低周波側での砕波による大規模な3次元乱れ構造の解明に可能性を与えるものと考えられる。

[引用文献] 1) 青野・服部(1983), 第30回海講演文集, pp25~29. 2) Bendat, J.S. and A.G. Piesol. (1971), Random Data, W.I., 3) 青野・大橋・服部(1982), 第29回海講演文集, pp159~163. 4) 磯部(1982), 横浜国立大学水理研究室報告, YNU-HY-82-4. 5) 青野・服部(1983), 中央大学理工学部紀要, 第26巻, pp77~127.

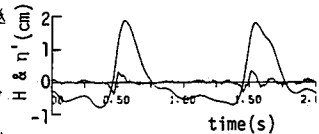


図-3 水面変動の波動・乱れ成分の分離結果

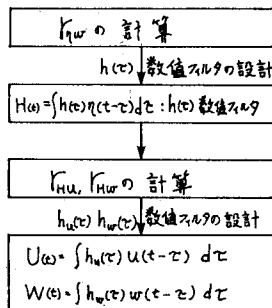


図-2 改良した数値フィルタの流れ図

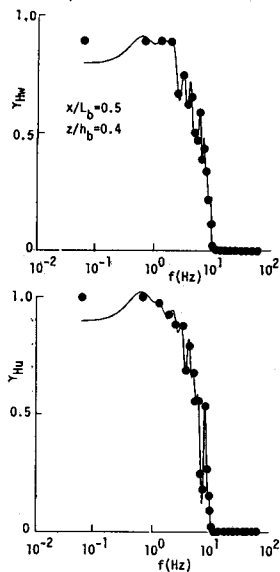


図-4 改善された $\delta\eta_u$ と $\delta\eta_w$ と周波数特性

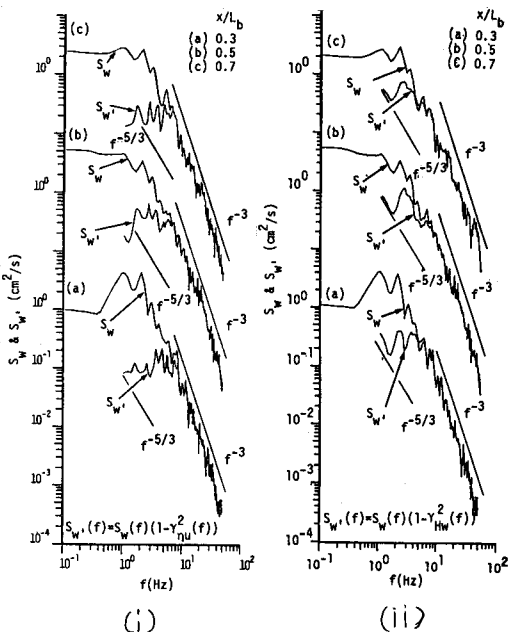


図-5 S_w , $S_{w'}$ の計算結果例]