

II-269

砕波帯内のスペクトルの空間分布特性に関する実験的研究

中央大学理工学部 正会員 青野利夫

1. まえがき

崩れ砕波と巻き砕波の流速変動のスペクトル解析結果^{1), 2)} から、水平と鉛直流速(u, w)のスペクトル $S_u(f), S_w(f)$ はエネルギー平衡域において

$$\left. \begin{array}{l} \text{崩れ砕波: } S_u(f) \sim f^{-3} \\ S_w(f) \sim f^{-1} \sim f^{-3} \\ \text{巻き砕波: } S_u(f)=S_w(f) \sim f^{-5/3} \sim f^{-3} \end{array} \right\} (1)$$

の関係が認められ、次元解析により Thornton³⁾ が導いた浅海域でのスペクトルの関係式

$$S_u(f) \sim f^{-3}, S_w(f) \sim f^{-1} \quad (2)$$

に近い関係を得た。一方、スペクトルの勾配は空間的に変化することが認められ、これは砕波下で生成する乱れの間欠性が関係していると考えられる。

本研究では、このスペクトル特性の空間変化を砕波形式との関係より検討し、さらに砕波による乱れの間欠性がスペクトル特性に与える影響について検討した結果を報告する。

2. 実験装置及び方法

実験は無反射式造波装置を取り付けた0.30mx0.55mx20mの両面ガラス張りの二次元波動水槽内に1/20勾配斜面と水平床からなる模型海浜地形を設置して行った。実験波の諸量は表-1に示される。水面と流速変動の測定は、崩れ砕波(実験-1)は分圧式波高計とLDV流速計、巻き砕波(実験-2)は容量式波高計とスプリット型熱膜流速計を用いて行った。測定データはサンプリング周波数がそれぞれ200Hz(実験-1)と500Hz(実験-2)で90秒間分をAD変換し、電算処理を行った[詳細は文献1), 2)]。

表-1 実験条件

Exp.	T (s)	H _i (cm)	H ₀ '/L ₀	H _b /h _b	breaker type
1	1.10	4.00	0.018	0.963	spilling
2	1.60	2.88	0.007	0.970	plunging

3. 実験結果

スペクトル解析はFFT法(データ数:8192個)によ

て行い、エネルギー平衡域の勾配は $3f_0 < f < 10f_0$ [f_0 :入射波の基本周波数(実験-1: $f_0=0.63\text{Hz}$, 実験-2: $f_0=0.91\text{Hz}$)]の周波数域で算定した。この周波数域は低周波性の乱れと波動の高調波成分が共存する領域である。

図-1と2(a),(b),(c)は、それぞれ実験-1と2の(a):無次元波高(H_m/H_b)、(b)と(c): $S_u(f)$ と $S_w(f)$ の勾配 $n(S_u(f), S_w(f) \sim f^n)$ の空間分布を示したもので、横軸は砕波点からの無次元距離 x/L_b (L_b :砕波点での波長)、パラメータは無次元水深 z/h_b である。図中には outer region と inner region の境界が示されている。図-1より非砕波領域($x/L_b < 0$)でのスペクトルは $S_u(f) \sim f^{-7}$ 、 $S_w(f) \sim f^{-6} \sim f^{-4}$ であり、同一条件のクノイド波三次近似解のスペクトル解析結果 [$S_u(f) \sim f^{-7}$ 、 $S_w(f) \sim f^{-6}$] とほぼ一致し、実験結果の妥当性が確認された。

図-1と2の(b),(c)より砕波形式によるスペクトルの空間分布特性は以下になる。

I) 崩れ砕波: outer ~ inner region にかけて $S_u(f)$ と $S_w(f)$ の勾配は緩くなり(低周波域から高周波域へのエネルギー伝達)、乱れの強い領域である inner region の $0.2 \leq x/L_b \leq 0.8$ で

$$S_u(f) \sim f^{-3} \sim f^{-4}, S_w(f) \sim f^{-1} \sim f^{-2}$$

となり、 $x/L_b > 0.8$ で勾配は再び急になる(波動性の回復)。また $S_u(f)$ は水底面に近づくほど急勾配になる(乱れのエネルギーレベルの低下)。

II) 巻き砕波: outer region と inner region での $S_u(f)$ と $S_w(f)$ の勾配の空間分布の傾向は、崩れ砕波とほぼ同様であるが、 $0.2 \leq x/L_b \leq 0.8$ で

$$S_u(f) \sim f^{-2} \sim f^{-4}, S_w(f) \sim f^{-5/3} \sim f^{-3}$$

となり、乱れの強い領域で勾配は崩れ砕波と異なる。

崩れ砕波と巻き砕波のスペクトル勾配の空間分布の傾向がほぼ同一であることから、乱れの強度が異なるにも関わらず、流速場構造の空間変化特性は基本的に変わらない。

式(2)のスペクトルと、構造が異なるスペクトルの重畳を原因とすると、inner regionでの砕波形式による勾配の変化は、式(2)との偏差を考えることによ

りある程度説明しうる。図-1 と 2 の (b),(c) の右側の縦軸は、 $S_u(f)$ と $S_w(f)$ の勾配と式(2)の勾配との偏差を示したものである。崩れ砕波は $0.2 \leq x/L_b \leq 0.8$ の領域で、若干のずれは認められるものの $S_u(f)$ の水底面付近を除いて $S_u(f)$ と $S_w(f)$ は共に式(2)に近い勾配を示す。一方、巻き砕波は $0.2 \leq x/L_b \leq 0.8$ の領域で、 $S_u(f)$ の勾配は水面近傍で正の偏差を持ち、 $S_w(f)$ の勾配は崩れ砕波に比較して式(2)からの偏差が大きくなる。これより巻き砕波の水面近傍での $S_u(f)$ にはエネルギー平衡域が存在せず、線形波理論に基づく式(2)の関係ではこの乱れの生成域の構造を説明できない。このことは砕波形式によって乱れの生成過程が大きく異なることを示している。 $S_w(f)$ の勾配について考えると、木田⁴⁾は一様等方位の二次元と三次元の乱流に間欠性が存在する場合、乱れの間欠性の効果は勾配の絶対値の増大となって現れることを理論的に示した。エネルギー平衡域は波動と乱れの共存する周波数域であるため直接の比較はできないが、式(2)には間欠性の効果が含まれていないこ

と、また $S_w(f)$ は波動流速成分のエネルギーレベルが $S_u(f)$ に比較して低く、砕波による乱れの影響をより強く受けることから、両砕波形式で見られる $S_w(f)$ の式(2)からの偏りには乱れの間欠性による効果が強く含まれる。また、乱れの間欠性の影響は巻き砕波に強くみられる。

4.あとかき

砕波帯内の流速スペクトル特性の空間変化について検討を行った結果、砕波形式による流速場構造の空間変化傾向がほぼ同一であること、inner regionで崩れ砕波は式(2)と同様の関係にあること、巻き砕波は水面近傍で式(2)の関係が成立せず、崩れ砕波に比較して砕波による乱れの間欠性の影響を強く受けることが明かとなった。

[引用文献] 1)青野・服部:中央大学理工学部紀要第26巻,pp.77-127,1983. 2)青野・服部:中央大学理工学部紀要第29巻,pp.171-217,1986. 3)Thornton,E. B.: Jour. Phys. Oceanography, Vol. 7, pp.137-140, 1977. 4)木田:数理科学, No. 233, pp.39-44, 1982.

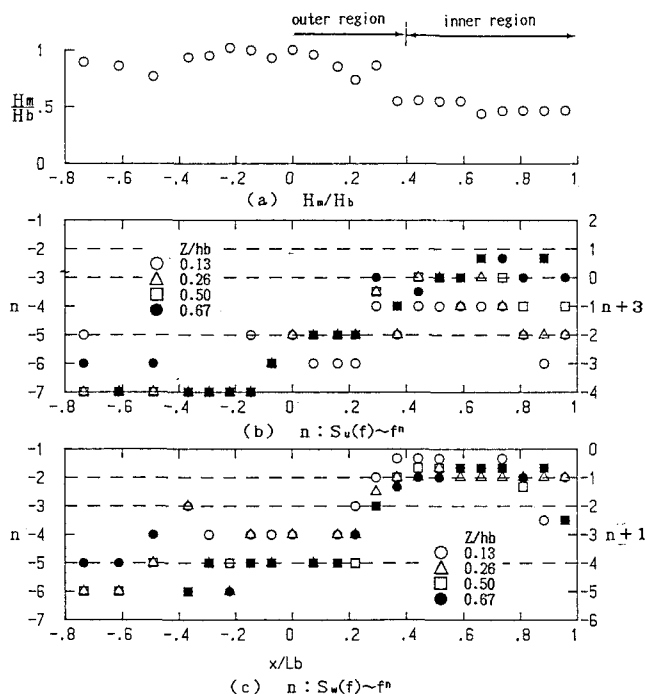


図-1 H_m/H_b と $S_u(f)$ 、 $S_w(f)$ の勾配 n の空間分布(実験-1)

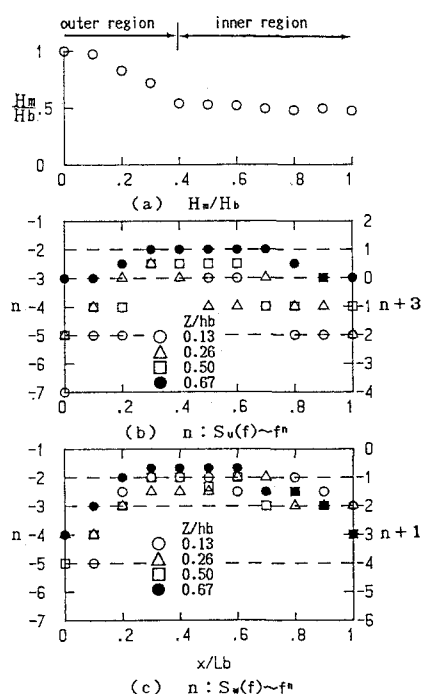


図-2 H_m/H_b と $S_u(f)$ 、 $S_w(f)$ の勾配 n の空間分布(実験-2)