

ステップ上の砕波後の波動エネルギーの変化に関する実験的研究

名古屋大学工学部 正会員 岩田 好一朗

名古屋大学大学院 学生員○富田 孝史

名古屋大学工学部 学生員 加藤 敬

1. はじめに： 砕波帯やそれ以浅の海域における海浜流や底質の移動などを精度よく予測するためには、砕波後の波動エネルギーの変化特性を把握していることが重要である。波動エネルギーは位置エネルギーと運動エネルギーから構成されるが、これらの工学的な問題に対しては運動エネルギーが重要な役割を果たしていると考え、著者らは一様傾斜面上における波動エネルギーの変化特性を位置と運動エネルギーに分けて検討してきている¹⁾。本論は、一様水深域における砕波後の波動エネルギーの変化特性を明らかにする目的から、ステップ地形を対象にして詳細な水理実験を行い、とくに位置と運動エネルギーの低減過程における相互関係について検討した。

2. 水理実験： 実験は名古屋大学工学土木工学科の二次元造波水槽(長さ25m, 幅0.7m, 高さ0.95m)で行われた。水槽内には、砕波が発生しやすいように前面に1/30勾配一様傾斜面を有した水平床(ステップ地形)ならびに水槽の片端に消波装置を設置した。本論では、

表-1 実験諸元

実験条件	水深	波の周期	発生波高
砕波の有無	h(cm)	T(s)	H(cm)
plunging形砕波	15.0	1.1	8.8
非砕波	21.1	1.0	10.1

plunging形砕波を対象とし、水平床上の一様水深域で砕波するように発生波ならびに水深を決定した。さらに比較のために、限界波形勾配近傍の非砕波の実験も行った。これらの実験条件は表-1に示す。実験では、水位変動を電気容量式水位計で計測し、水粒子速度の計測には、波の谷から峰までの領域においても使用可能なキャンティレバー式流速計を使用し、さらに波の谷以下の領域では電磁流速計も併用した。これらの計測機器は水槽上部に設置された台車に取り付けた。計測領域は、水平方向には砕波点前から砕波後の波再生領域まで、鉛直方向には底面近傍から波頂部近傍までとし、目視による砕波点がほぼ一定の位置になってから計測を始めた。

位置エネルギー E_P 、運動エネルギー E_K およびエネルギー流束 F は、それぞれ次式によって定義した。

$$E_P = \int_0^\eta (\rho g z) dz \quad (1) \quad E_K = \int_{-h}^\eta \frac{\rho}{2} (u^2 + w^2) dz \quad (2)$$

$$F = \int_{-h}^\eta u \left\{ \frac{\rho}{2} (u^2 - w^2) + \rho g \eta \right\} dz \quad (3)$$

ここに、 z は静水面から上向きの鉛直軸、 η は水位変動、 u および w はそれぞれ水平および鉛直方向の水粒子速度、 h は静水深、 ρ は水の密度、 g は重力加速度であり、 $\overline{\quad}$ は時間平均を示している。波動エネルギー E_T は位置エネルギーと運動エネルギーの和で定義した。エネルギー流束の定義式には2次のオーダーの圧力を使用している。

3. 結果およびその考察： まず、砕波後の波高の変化を図-1に示す。縦軸は砕波点における波高で無次元化した波高であり、横軸は砕波点からの無次元距離 $X/\sqrt{gh}$ である。ここに、 x は砕波点からの距離、 T は発生波の周期である。同図より、砕波後の波高は変動はあるが、 $X/\sqrt{gh} = 0, 0.6, 1.3$ 付近で増大し、 $X/\sqrt{gh} = 0.4, 0.9$ 付近では顕著に減少している。このことから、水槽内には $1.3T\sqrt{gh}$ 程度の波長の部分重複波が形成されていたと考えられないこともない。

図-2は、plunging形砕波の場合の砕波後のエネルギー変化を示したもので、横軸は砕波点からの無次元距離であり、図中の○、△および■印は、それぞれ砕波点における波動エネルギーで無次元化された波動エ

エネルギー、位置エネルギーおよび運動エネルギーである。また、P.P.は波の突っ込み点を示している。波動エネルギーは、砕波点から波の突っ込み点付近($X/T\sqrt{gh} \approx 0.4$)までにおいて著しく減少しており、この領域で砕波点の波動エネルギーの約40%減少している。その後は、変動はあるものの緩やかな減少傾向にある。この波動エネルギーを位置と運動エネルギーに分けて議論する。位置エネルギーの変化は、波高の変化と同様に全体的には減衰振動している。振動する間隔は約 $0.64T\sqrt{gh}$ であり、図-1で示された部分重複波の影響が現れたものとも考えられる。しかし、この振動は $X/T\sqrt{gh} = 2$ 以降はほとんどなくなりごく緩やかな低減を示す。また、 $X/T\sqrt{gh} = 0.6$ と1.3における波動エネルギーの増大には、この振動する位置エネルギーが大きな原因になっている。

一方、砕波後の運動エネルギーは、位置エネルギーよりも大きくなっている。この変化は、位置エネルギーほど顕著ではないが減衰振動の傾向を示している。とくに、砕波点から突っ込み点までは緩やかに減少するのに対し、その後は位置エネルギーが増大している点まで顕著に減少する。そして、位置エネルギー減衰振動の谷の部分では運動エネルギーは増大し、峰の部分では減少している。このため、これら二つのエネルギーの和で表される波動エネルギーの変化には顕著な振動はみられない。

また、 $X/T\sqrt{gh} \approx 2.8$ は実験の観察より波の再生領域であった。この領域では、斜面上の実験結果より位置と運動エネルギーはほぼ一致することが予想されていたが、運動エネルギーは位置エネルギーの1.3倍もある。この結果については今後検討する必要があると考えている。

つぎに、砕波後のエネルギー流束の変化を図-3

に示す。縦軸は砕波点におけるエネルギー流束 F_b で無次元化したエネルギー流束であり、横軸は砕波点からの無次元距離である。エネルギー流束は波動エネルギーと同様に変動はあるが、 $X/T\sqrt{gh} \approx 0.4$ まではほぼ直線的に減少し、ここで砕波点におけるエネルギー流束の40%ほど失っている。その後は、緩やかに減少している。ただし、 $X/T\sqrt{gh} \approx 2.8$ におけるエネルギー流束の増大は運動エネルギーとともに再検討する必要がある。

4. おわりに： 本論は、ステップ地形上の砕波後のエネルギーの変化を明らかにするために行った水理実験の結果をもとに、砕波後の位置と運動エネルギーについて検討を加えた。実験では、水槽内に部分重複波が発生しているとも考えられ、このため砕波後の位置と運動エネルギーの変化は減衰振動し、とくに位置エネルギーにその影響が顕著にみられた。今後、さらに砕波現象を詳細に調べ、気泡連行の影響などについて検討を加えるとともに、非砕波の実験結果との比較検討を行う予定である。

参考文献：1) 岩田・富田・石井：砕波後の位置と運動エネルギーの低減過程，海岸工学論文集，第37巻，pp. 46-50，1990。

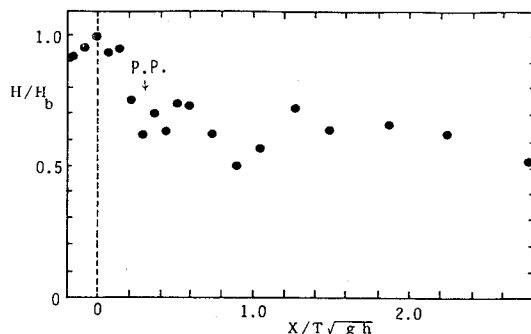


図-1 波高の変化($H_b = 10.9 \text{ cm}$)

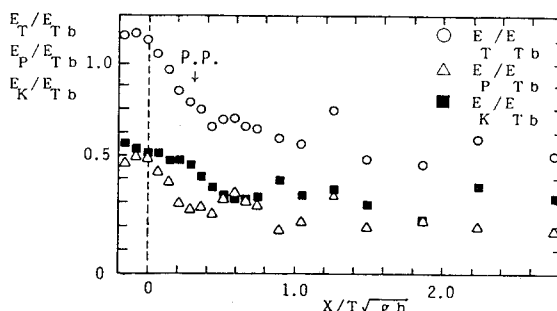


図-2 エネルギーの変化($E_{Tb}/\rho = 9.80 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{s}^2$)

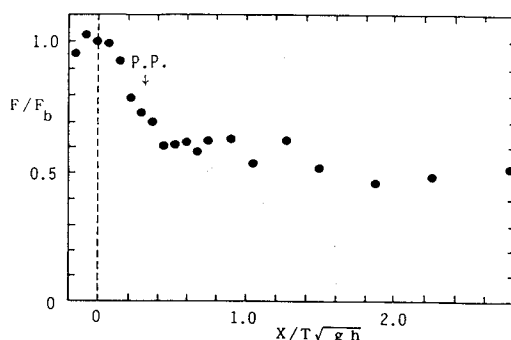


図-3 エネルギー流束の変化
($E_{Tb}/\rho = 9.80 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{s}^2$)