

非線型分散波列の砕波とその変形に関する実験的研究

東北大学大学院 学生員 ○永富 政司
東北大学工学部 正員 後藤 智明
東北大学工学部 正員 首藤 伸夫

1. はじめに

日本海中部地震津波のように先端に孤立波状の短周期波が形成された場合、砕波を含めてどのように変形し、遡上に至るかについては防災工学上重要であるにもかかわらず解明されていない。著者らの1人¹⁾は昨年度、3個程度のソリトンが形成された分散波列を $S = 1/75$ の一様斜面に入射させ、各分散波の挙動に着目した実験を行い、分散波2波以降の波高増幅が小さいこと、汀線近くで通常の波高水深比より大きな波が存在すること、後続する分散波が先端に追いつくたびに流速が急増するなどの特性を報告した。本研究は、上記の現象を解明するために分散波列の1波目が砕波した後のエネルギーを消散させながら段波状に変形して行く過程と、その乱れによる不安定な水域を伝播してゆく2波以降の挙動を波高と内部流速の測定より求めた波動量の変化から説明を試みたものである。

2. 実験方法

実験に使用した水路の概略を図-1に示す。便宜上、水路での位置を表すのに水路端からの距離 X を使用する。実験ケースは表-1に示すとおり、斜面のり先 ($X=34\text{m}$) でそれぞれ分散波峰が1個から3個形成された3ケースである。波高の測定には容量式波高計を、流速の測定には径3mmの超小型プロベラ式流速計を用いた。図-2に流測の計測点の位置 (CASE III) を示す。

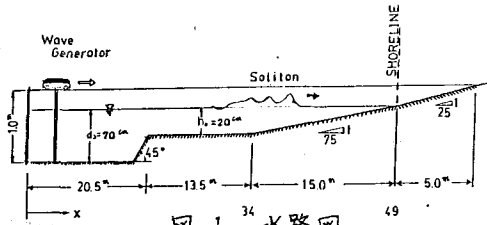


図-1 水路図

表-1 実験条件

ケース	入射波高 (cm) H _{in} H _{ex} H _{av}	波列波高 (cm) H ₁ H ₂ H ₃	砕波水深 h _{cr} h _{ss}	砕波型式
CASE I	5.2 — —	9.4 — —	8.7 — —	Spilling
CASE II	11.5 5.2 —	14.4 7.9 —	13.6 4.0 —	•
CASE III	11.5 6.2 4.9	14.4 9.0 —	13.6 5.3 —	•

● measured point

3. 解析方法

得られた波高、及び流速変動はサンプリング時間100Hzで離散化され、各測定点でのエネルギー、モーメントの時間について積分を行い、さらに鉛直方向に積分して分散波ごとの波動量を算定した。

$$\text{モーメント} \quad \frac{1}{T} \int_0^T \left[\int_{-h}^{\eta} \left(u^2 + \frac{p}{\rho} \right) dz \right] dt \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{エネルギー} \quad \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-h}^{\eta} u \left\{ \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + gz \right\} dz dt \quad \text{--- (2)}$$

ここに u : 水平流速, w : 鉛直流速, η : 水位

ρ : 密度, T : 時間, p : 圧力

ただし p については、本実験のような波高水深比が大きい波の場合、静水圧分布からのずれが無視できなくなるため、後藤²⁾がアーセル数が大きい場合の非線型分散波方程式を導びいた際得た圧力の式を使った。

4. 実験結果

i) 始めに、斜面上の伝播特性から示す。図-3にCASE (III) の波形変化を示した。1波目が砕波し、

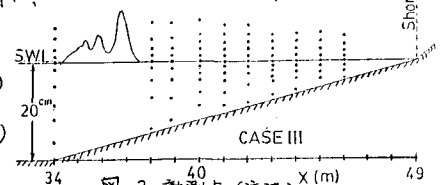


図-2 計測点 (流速)

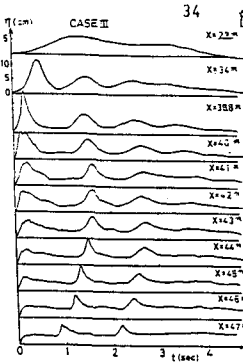


図-3 波形変化

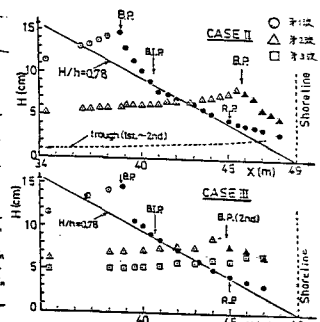


図-4 波高変化

段波状に移行してゆくとオ1波とオ2波の間のtroughが埋められる様子がみてとれる。この段波状の波にオ2波が追いついてくると波高や水深だけでは、オ2波以降の挙動を表せなくなる。たとえば、図-4の波高変化からオ2波、オ3波の波高増幅がオ1波に較べかなり小さいことは明らかである。

ii) 内部流速の測定例を示す。図-5は砕波点、また図-6は分散オ1波が段波に移行し始める位置での水位と流速の時間波形である。砕波点では乱れはほとんど検出されず、砕波がある程度進行すると波頂付近で生成された乱れが相対的後方と鉛直下方に広がり、オ2波以降にも乱れによる変動が及んでいる。

iii) 式(2)より計算したオ1波の砕波後の波動エネルギーの変化を図-7に示す。実測から得られた値を使った孤立波のエネルギーを破線で示したが、かなりの違いがある。また図-8のように縦軸を E/E_b 、横軸を h/h_b をとって両対数で表わすと連行気泡の消滅地点(R.P.)でエネルギー-運動機構が変わるのが直線の折れ曲がりより明らかとなる。

iv) 分散波間での運動量の変化を求める際に、分散波のPeakとtroughを決め図-9に走時曲線を示した。図-10に過剰運動量の変化を示す。各分散波ともほぼオ1波の砕波点までは運動量を保っているが、砕波を発端として、1波目の乱れのレイノルズ応力により急激に運動量を減少する。また、この乱れた場を伝播するオ2波、オ3波も運動量が減少する傾向にある。ただし、オ2波は、 $X=41m$ (B.I.P) 付近で運動量が一時的に増加し、その後もオ3波に較べ減少する変化が緩やかである。これはオ1波からの運動量の補給を受けているためと思われる。しかし、 $X=43m$ を過ぎるあたりで乱れによって運動量が失われる量よりも、段波からの運動量補給が上回るようになると、急激に波高が増幅している。このように砕波後の分散波列の変形には、乱れによる運動量の変化が大きく関与していることが推測できる。

5. 結 言

本研究では、斜面上の非線型分散波列の変形に関して運動量およびエネルギーの変化から若干の考察を試みた。実験のケースが少なく定量的な評価をすることは難しいが、砕波によるエネルギー減衰率と水深変化との間に良い相関のあること、オ1波の砕波による乱れでオ2波の運動量が減少するといったような興味深い結果を得た。今後は、実験の種類を増すことにより、非線型分散波列の変形機構の定量的評価を行っていく必要がある。(謝 辞) 本研究をすすめるにあたって東北大学工学部真野明講師には御指導、御助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

(参考文献) 1) 岩崎・真野・永富・苦米地, 東北大学津波防災研究所報告第一号
2) 後藤, 土木学会論文 第351号, 1984

