

水平板による波の分裂に関する基礎的研究

九州大学 正会員 小島 治幸 東和大学 正会員 井島 武士
九州大学 学生員 ○長野 敦

1. はじめに 水面波が、深い所から浅い場所に侵入すると、波の一つの峰がいくつもの山をもった波に分裂する。これをソリトン分裂といい、波の非線型問題として多くの研究者によって主に物理的な観点からその現象の解明が行われてきた。この現象は、波の進行方向にある程度の長さをもった水平板等により浅海域を設けることによって、起こることが知られており、これを工学的な観点からみると、ある波長の波を強制的に短波長の波に分裂することであり、それらの波が海岸・港湾構造物あるいは海浜にどのような影響を及ぼすか興味深い問題である。特に、波長を短くすることにより、構造物に対する波力を軽減する効果が期待され、また透過性の構造物に関しては長い波長の波に対する遮断効果が望めないという欠点を補う方法として短い波長の波に分裂させたのち個々の波を効果的に消波することが考えられ、新たな沿岸の防災方法となりうる可能性がある。そこで本研究は、二次元水理実験により、無限に長い水平板における波の分裂現象を解明すること、有限長の水平板における分裂後の波が再び深海域を進行するときの挙動とその波が直立壁体に作用する波力について明らかにすることを目的とする。

2. 水理実験の方法と条件 実験は、図-1に示すような二次元水路(長さ28m、幅0.3m、深さ0.5m)を用い、水深を $h=0.38\text{m}$ として、天端上水深 $h_s=0.1\text{m}$ となるように水平板を設置した。水平板は、水路の端まで延ばして無限長の水平板と仮定したものと長さを水深の10倍とした有限長の水平板の二種類を用いた。この水路に、規則

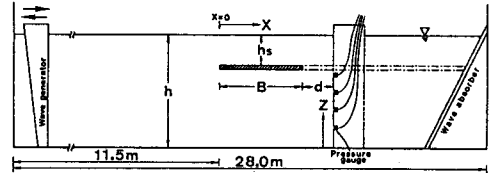


図-1 実験装置

波を発生させ、次の3点について測定を行った。(1)水平板上で発生するソリトン波の個数を調べるため、入射波の相対水深 h/L を0.06~0.235の間で変化させ、各々につき波高を $H_0=1.5\sim3.5\text{cm}$ を変え、板上の2.5m間隔の5本の容量式波高計で水面変位を測定した。このとき、アーセル数は $Ur=12\sim390$ となる。(2)分裂波の進行状態を調べるため、無限長と有限長の水平板において $h/L=0.07, 0.1, 0.137$ の3種類の波について水平板の端より x 方向に測点間隔0.2mで水面変位を計測し、サンプリング間隔50msで記録した。(3)直立壁体に作用する分裂波の波力を調べるため、図-1のように水路に直立壁を設け、それに5cm間隔で設置した圧力センサーにより波圧を $d/h=2.5, 8, 10$ の位置で測定した。

3. 結果と考察 深海域から入射してきた水面波が水深の浅い水平板上を進行するときにかかる波の分裂個数を調べた結果が図-2である。これは、横軸に $x=0.2\text{m}$ での波高と水平板上の水深の比(H/h_s)を、縦軸に相対水深(h_s/L_s)を取り、Galvin¹⁾の一樣水深の水路で発生する波についてその2つのパラメータによって分類された結果の上に図示したものである。ソリトン波においては、分裂波の発生個数を分ける境界線を示しており、実験で得られた結果はその分類とよく一致している。従って、水深の急変をもたらす水平板においても、その上での分裂状況は一樣水深の場合とほぼ同様で、Galvinの与えた分類に従う。

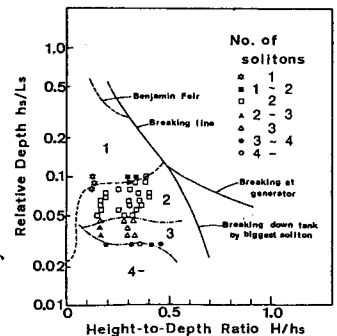


図-2 ソリトン波の発生個数

各測点で計測された時間波形を調和解析し、基本周波数およびその2倍、3倍周波数の振幅を A_1, A_2, A_3 としてそれらの場所的な分布を主峰と二次波峰の波高分布とともに図-3に示す。図-3(a)に無限長水平板の、図-3(b)に有限長水平板の結果を示しており、波高、振幅ともそれぞれ入射波の波高と振幅により無次元化されている。無限長水平板における結果の特徴として、主峰が2次波峰や3次波峰を追い越す(図では2倍や3倍周波数の振幅が最も小さくなる)とき2つの波峰が重なるにもかかわらずそこでの波高が追越し点の前後のそれよりも低くなること、波高と各成分波の振幅が再帰距離を波長として場所的に繰返して同じ形になっていること等、ソリトン波の性質をよく表してい

る。また、各成分波の振幅が場所的に変動することより、ソリトン波が進行する課程において各成分波間でエネルギーのやり取りが行

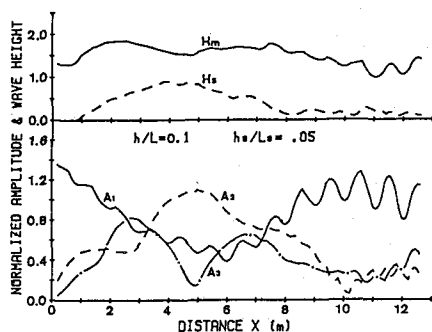
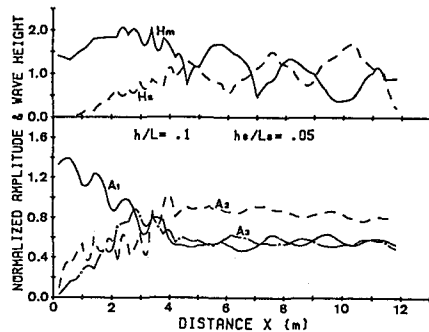


図-3 (a)波高と各成分波の振幅の分布



(b)波高と各成分波の振幅の分布

考えられる。一方、分裂した波が再び深海域を進行すると、浅海域の場合と異なり、各成分波の振幅は場所的に多少の変動はするもののほとんど一定である。ところが主峰や二次波峰の波高は、場所に関して周期的に変動している。これらの結果は、分裂した波の各成分波がそれぞれの周波数に対応する位相速度で独自に進行し、各成分波の位相が合う場所では主峰の波高が増大し、位相がずれるにしたがって減少するといった現象が起こっていることを示唆している。また図-3(b)の場合のように、水平板の背後で2倍周波数の振幅が1倍のそれより大きくなることは、入射波をその波長より短波長の有義波に変換する可能性をも示唆している。

図-4は、 $d=5.8h$ のところに設置した直立壁に作用する波圧の時間波形をフーリエ解析して得られる基本周波数(P_1)および2倍(P_2)、3倍(P_3)、4倍(P_4)周波数の振幅を入射波高で無次元化した波圧の鉛直分布を示す。白抜きのマークは水平板のない完全重複波の波圧を、黒塗のマークは水平板のある場合の波圧を表している。図中の各曲線は、各成分波の周波数に対応する微小振幅波の完全重複波における波圧分布の理論値であり、水平板のある場合は、 $z/h=0.59$ での測定値を基準として求めている。水平板よりある距離はなれると、各成分波の測定値は理論値の分布とよく一致し、分裂した波が深海域を進むとき各成分波が各々独立した微小振幅波として存在することがこのことから立証される。図-5は、各水深の波圧を積分して求めた近似的な波力を、完全重複波の波力で無次元化し、 h/L を横軸として図示したものである。各水深の波圧は、時間波形より造波板からの再反射の影響がない10~20波を選び、個々の波の最大値を求めそれを大きい順から3~5波程度を平均して決めた。水平板がある場合、波力は相対水深により変化している。これは、測定位置で各成分波の位相が合い水面変位がそれらの振幅を足合わせたようになるとき、波力は最大になり位相がずれるにしたがい減少すると考えられる。実験を行った範囲では、入射波を分裂させその波長を短くすることにより完全重複波の波力を最大60~70%に低減することが可能である。

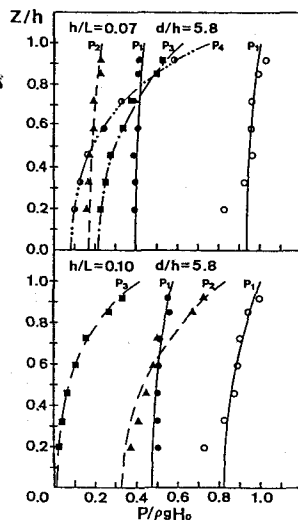


図-4 波圧の鉛直分布

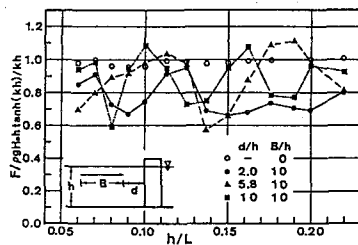


図-5 分裂波の波力

4. まとめ (1)規則波が水深の浅い水平板上を進行するときGalvinの与えた分類に従う個数のソリトン波が発生し、波高の大きいソリトン波は波速が早い小さいソリトンを追い越す現象が起こり、再帰現象が見られる。(2)分裂波が再び深海域を進むときは、それを構成する成分波がそれぞれの周波数に対応する位相速度で独自に進行する。その時の波形は見かけ上入射波の波長より短い波長をもつ。(3)直立壁に作用する分裂波の波力は、入射波の周期によって変動するが、完全重複波の波力の最大60%程度に低減することが可能である。今後は、水平板の長さによる効果や不規則波について調べる予定である。

参考文献: (1) Galvin, C.J., "Wave Breaking in Shallow Water," Waves on Beaches, 1972