

東北大学工学部 学生員○富澤 大
東北大学大学院 学生員 佐山順二
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

津波の挙動に関する数値計算は数多く行われている。その際、計算に含まれる誤差として、初期波形や支配方程式の誤差、それに数値的な誤差がある。ところが、それぞれの誤差がどの程度計算結果に寄与しているかを判断するのは困難な問題である。そこで本研究は、長周期発生装置を用いた大型水理実験を行い初期波形に関する不明確さを取り除いた後、支配方程式と数値的な誤差の影響を調べる。

2. 実験・計算方法

今回の実験では幅14.75m、長さ54m、高さ0.9mの大型実験水槽を使用した。図-1は水槽の水深を描いたものである。発生させた波は周期10sec 主峰1波で一山一谷のみの2次元伝播性の長周期波であり、図-1では左端から右方向に進行してゆく。造波端より約10mの地点で入力波形を幅方向に50cm間隔で測定している。また、水槽の地形は、x方向23.5m迄は水深約50cmの水平床、23.5mから25.5mまでの2m間は、勾配1/10の斜面、 $x > 25.5$ mでは水深約30cmの水平床である。図中の右下部分には勾配1/10の斜面を斜めに取り付けた。

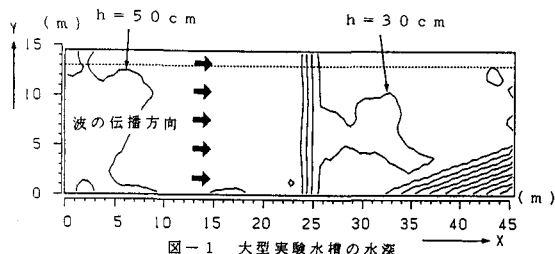


図-1 大型実験水槽の水深

津波の挙動を近似する理論としては線形長波理論、移流項を考えた浅水理論、さらに分散性を考慮した非線形分散波理論が知られている。本論文での数値計算の支配方程式には浅水理論を用いる。(ただし摩擦項は含んでいない) 計算格子間隔による差を検討するために、12.5cm、25.0cm、50.0cm、の3ケースについて行うこととする。従来の研究結果では1波長当りの分割数は30個程度と言われているが、 $DX=50$ cmの場合がそれに対応している。図-2は、各計算格子間隔の時の分割数を示している。差分はLeap-flog法を使っている。

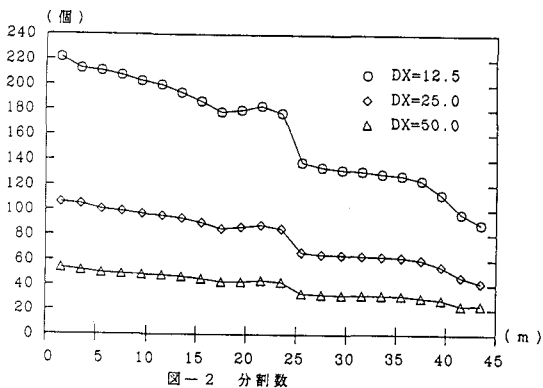


図-2 分割数

3. 実験と計算結果との比較

実験値と計算値の比較をするに当たり、なにを合致しているか否かの判断対象とすれば良いのかと言う問題がある。本研究では一山一谷の波を造波しているから、第1波が最大である。従って、第1波の最大波高、および、第1波の波形を取り上げることにした。

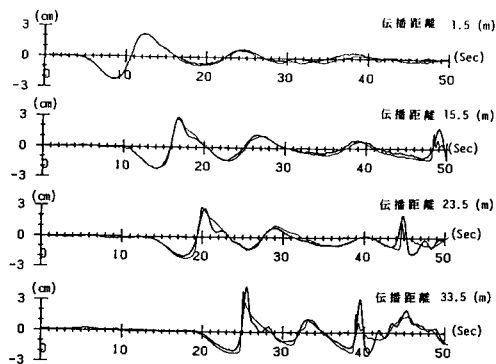


図-3 波高の時系列変化

伝播するにつれての波形の時系列的变化は図-3に示す通りである。太い実線は実験値であり、細い実線は $DX=12.5\text{cm}$ による計算値である。伝播距離 1.5m では、両者の波形は一致している。しかし、実験波形では伝播するにつれて主峰の後に小さな分散波が発生し、両者の差は大きくなる。図-4は実験波による波高水深比とUrsell数を、伝播距離にしたがってプロットしたものである。伝播距離 25.5m からは水深が 30cm と浅くなっているため、両者の値は急激に変化する。

図-5は最大波高の実験値・計算値の差を実験値で割って百分率で表した値である。正の値は計算より実験の波高が大きいことを示す。水深 50cm での波高差は $2\sim 3\text{mm}$ 程度であり、誤差 10% 以下である。しかし、水深が 30cm になると誤差は大きくなる。この原因は分散効果によって実験波の波高も徐々に増大するためである。また、 $DX=12.5$ 、 $DX=25.0$ の場合に比べ、 $DX=50.0$ の場合は波高の差がきわめて大きくなる。図-4、5を比較すると、波高水深比 0.1 以上、波形勾配 0.03 以上から差が急激に増大することがわかる。

図-6は実験値・計算値の第1波波形の差を実験値波形面積で割って百分率で表してある。水深が 50cm の場所での両者の差は格子間隔によらない。ここでは、実験波形のUrsell数は、 100 前後で一定しているのに対し、波形の差は漸増する。造波された波が必ずしもきれいな正弦波でなく、山の背後に小さな攪乱が残っていたことが原因で、これが次第に成長したためである。ついで水深 30cm の所に入ると、 $DX=50.0$ のケースが他の二者に比べて誤差が小くなる。この理由は実験波に含まれている物理分散性と、差分化する際に生じる数値分散性が偶然等しく作用したことによる。実際、 $(\text{数値分散性}) / (\text{物理分散性})$ の平方根を取ってみると 0.82 となり、 $DX=12.5$ 、 $DX=25.0$ の場合の 0.21 、 0.39 よりも $DX=50.0$ は、2つの分散効果はかなり似た効果を出していることがわかる。こういう効果をどう判定すれば良いか現在研究中である。

4. おわりに

本研究では大型水槽による実験を行うことにより、初期波形の推定誤差、海底地形の近似誤差を取り除き、支配方程式と数値的な誤差のみの影響を調べた。その結果、浅海域に浅水理論を用いた津波数値計算は、波長水深比が 0.1 よりも小さく、波形勾配が 0.03 以下ならば十分な精度を持つが、本実験ケースのようにステップ地形などで分散性が大きくなる場合には、きわめて大きな誤差を生じ得ることがわかった。

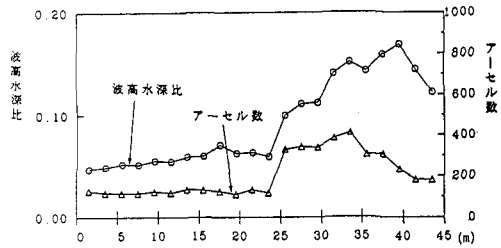


図-4 実験波の波高水深比とUrsell数

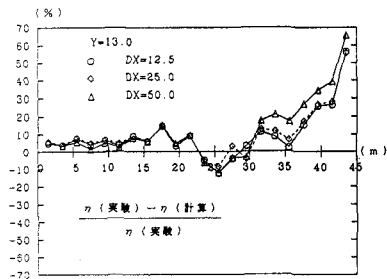


図-5 実験波の最大波高に対する比

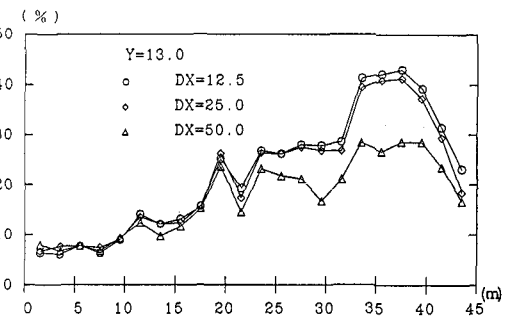


図-6 波形の差

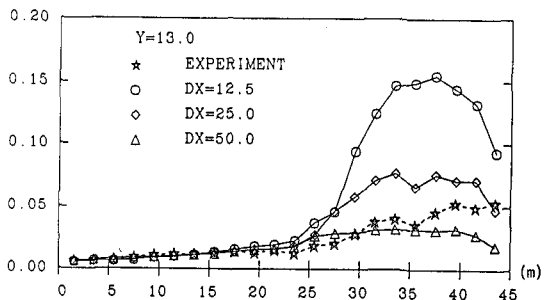


図-7 波形勾配