

II-285 長波に関する大型水槽実験と数値計算の比較

東北大学大学院 学生員○富澤 大
東北大学大学院 学生員 今村文彦
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

津波に関する数値計算の有効性についての研究は、痕跡記録や実験波形などの比較により行われている。ただし、この波形を比較する場合には、装置の規模や測定方法などのために、使用する周期や伝播距離に制限があるのが事実である。本研究では10sec以上の長周期波を造波することが可能な、幅14.75m長さ54mの大型2次元水槽による実験を実施し、数値計算との比較検討する。特に、長距離伝播する場合の波形変化に注目し、実現象と数値モデルによる結果との差が生じる原因について考察する。

2. 実験・計算方法

今回の実験では周期10sec、主峰1波の一山一谷の長周期波を発生させた。造波端より約10mの地点で入力波形を幅方向に50cm間隔で測定した。また、大型水槽は造波端より23.5mまでは水深約50cmの水平床、23.5mから25.5mまでの間は勾配1/10の斜面、25.5m以降では水深30cmの水平床である。

入力波形は波高水深比0.05、水深波長比0.03であるので、分散性は無視できるが移流項は重要であると考えられる。そこで、数値計算の支配方程式として浅水理論を用い、Leap-frog法により差分化した。計算格子間隔の選定基準としては、従来の研究より1波長当りの分割数を30程度以上とされていることにより $DX=50\text{cm}$ に、また、本研究ではさらに $DX=12.5\text{cm}$ 、 25.0cm の場合を加えた3種類の格子間隔で計算を行った。

3. 波形変化及び数値計算との比較

図-1には6地点での波形の時系列変化を示す。太い実線は実験波であり、細い実線は $DX=12.5\text{cm}$ による計算値である。伝播に伴い実験波は、主峰の後に小さな分裂波が生じ、両者の差は大きくなる。

まず、第1波の波高及び波形に関して、実験波形に対する計算波形の差を調べた結果が図-2、3である。波高については、水深50cmでの差は2~3mm程度であり、誤差10%以内である。しかし、水深30cmになると差は大きくなり、最大40%程度の値を示している。また、1/10斜面の前方において、計算値の方が大きい値である場所も生じている。斜面の存在により鉛直加速度が生じ、積分モデルではこの効果を考慮することが出来ないために差が生じた可能性もある。さらに、格子間隔が粗いほど、波高の差が大きくなることも図から分かる。次に第1波の波

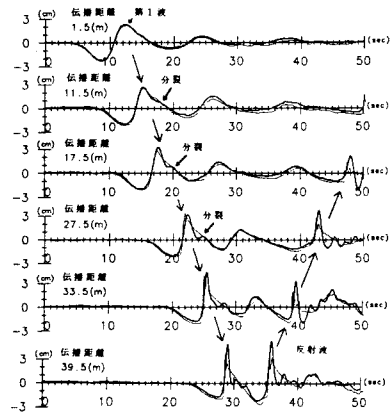


図-1 波形の時系列変化

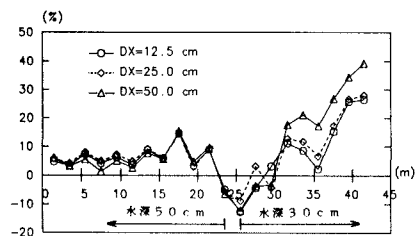


図-2 第1波の最大波高の比

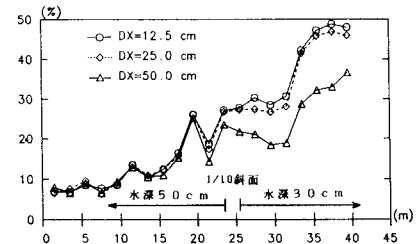


図-3 第1波の波形の差

形について見ると、伝播に伴い差が増加するという傾向は波高の場合と一致するが、格子間隔に対する実験波と計算波の差は傾向を異にする。図-3から明らかに格子間隔が粗いほど、逆に差は小さくなる事が分かる。そこで、この波形の差に関して図-4に表すように、波高ピークの前後の差についてそれぞれ調べてみることにする。特に、図-1から見ても分かるように波高ピークの前では波の前傾化が、後では分裂波が、波形の差に対して問題となる。

4. 前傾化及び分裂波の違い

図-5には波高ピークの前面での波形勾配を示す（定義は図-4に示す）。前傾化は波の有限振幅性により助長され、逆に分散性により抑制される。DX=12.5cm, 25 cm 場合には実験波に比較して波形勾配は大きいことから、分散性の効果が小さいことが推測される。これは図-1に示す波高ピーク後方の波形差を見ても理解できる。さらに、同じ条件であれば、分散性が大きいほど分裂波は顕著に生じるとされる。図-1からも分かるように、実験波には伝播距離9m付近で既に分裂波が生じこれが成長している。これに対し、DX=12.5cmの場合には分裂波はなかなか発生しないため両者の差が大きくなる。図-6には波高ピークの前と後の波形差の変化を示している。ピーク後方での差は伝播に伴い増加していること、また全体の差の中で最も大きいことが分かる。

差分法としてLeap-frog法などの中央差分スキームを採用すると、打ち切り誤差により数値的な分散性が介入する。この分散性は物理的なものと異なり、格子間隔に比例して大きくなる性質を持つ。著者らは物理分散性と数値分散性との関係を表す係数を提案しており、水深30cmでDX=50cmでその値は0.82, DX=25.0cmでは0.39, DX=12.5cmでは0.21となる。この係数は（数値分散項／物理分散項）の比を表すもので、これが1に近いほど、計算結果は分散波理論に近づくことが理解できる。今回の比較においても、DX=50cmの場合、もっとも差が小さいことが示され、数値分散性との関係により波形の差の変化を説明出来そうである。

4. おわりに

以上、大型水槽による実験結果と計算結果の比較を行い、波高及び波形の差について検討した。その結果、波高に関しては格子間隔が粗いほど差は大きくなるが、波形に関しては逆に差は小さくなる事が分かった。この原因は、主に数値分散の効果による説明が妥当であると考えられる。

水深波長比から実験波形には分散性は大きく働かないと判断して、浅水理論による数値計算を行ったが、実際には分裂波が生じ、波形差が大きく出る結果となった。今後、支配方程式として分散波理論を用いた場合の比較検討が必要であり、さらに斜面上での波形差について課題が残されている。

謝辞：本研究を遂行するに当たり（株）東京電力の佐山順二氏には、多大なる協力をして頂いた。ここに謝意を表す。

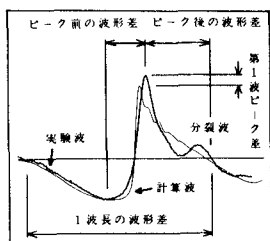


図-4 波形の差の定義

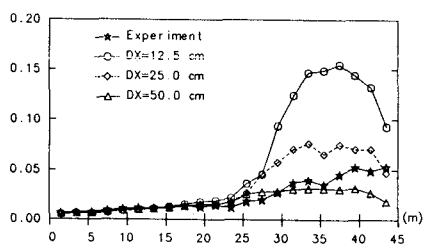


図-5 波形勾配

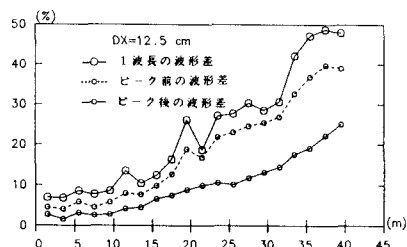


図-6 波高ピーク前後の波形の差