

非線形分散波理論を用いた津波の数値計算に関する基礎的研究

東海大学工学部 正会員 岩瀬浩之*

アルファ水工コンサルタンツ 正会員 見上敏文**

東海大学工学部 正会員 後藤智明*

1. はじめに

現在、海岸保全調査などに利用されている津波計算は、線形長波理論や浅水理論を支配方程式としており、津波のソリトン分裂を表現することが困難である。本文では、波形曲率効果を含む非線形分散波理論を支配方程式とした津波計算モデルを開発する初段階として、実用的かつ適切な分散項の形と計算アルゴリズムについて検討した結果を報告する。

2. 支配方程式に関する考察

モデルに組み入れる分散項は、計算の関係上、3次微分形までとする。津波の伝播を考える場合、曲率効果が問題となる多くの場合は、水深勾配が緩やかな場合が多く、分散項中の斜面勾配は無視できる(長尾, 1985)。したがって、実用的な分散項として、(A) $\frac{h^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2}$ (B) $\frac{D^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2}$ (C) $\frac{h^3}{3} \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}$ (D) $\frac{D^3}{3} \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}$ の形が考えられる。ここで、 h は静水深、 D は全水深、 u は断面平均流速、 M は流量フラックスである。

Fig.1 は、水平床における各種有限振幅波理論式の分散関係を示したものである。縦軸は波速を線形長波の波速で除した無次元波速、横軸は相対波数であり、 $\epsilon = \eta/D$ である。藤間ら(1986)によって導かれたアーセル数が大きい場合の非線形分散波理論の高次近似式を含む分散関係と(A)~(D)の分散項を考慮した運動式の分散関係を調べたものが Fig.2 である。縦軸は両者の波速に関する差 ΔC を線形長波の波速で除した無次元波速差である。Fig.2 から、今回検討した範囲では、(A)の形の分散項が最も高近似式に近いと判断できる。

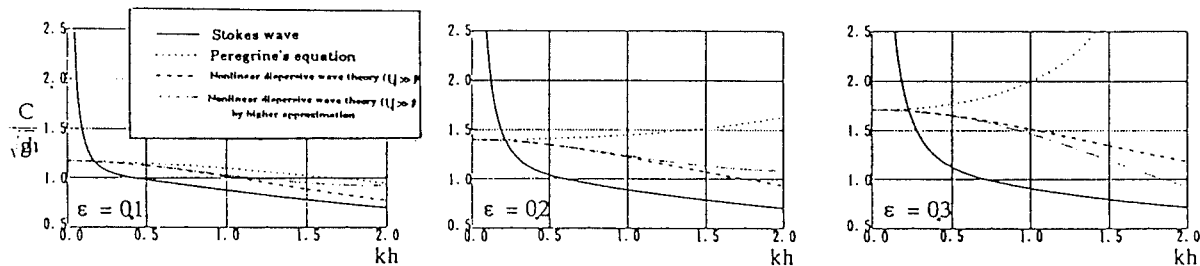


Fig.1 Dispersion relation of finite amplitude wave theories.

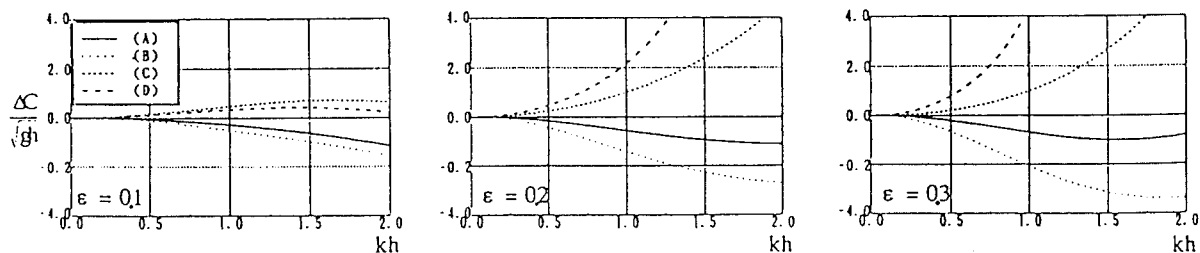


Fig.2 Difference of wave celerity among nonlinear dispersive wave models ((A)~(D)).

キーワード：津波、数値計算、非線形分散波理論、分散関係、2段階混合差分法

* 〒295-12 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

** 〒108 東京都港区三田 4-15-35 TEL 03-5445-6543 FAX 03-5445-6545

3. 数値計算方法に関する考察

非線形分散波理論式を実用的な数値計算に組み入れるには、分散項計算の安定性、計算領域の結合、陸上遡上といった難点が存在する。そこで、これらの難点を克服可能な計算スキームとして、2段階混合差分法を提案する。すなわち、運動の式の計算において、1段目に非線形長波理論として以下の式を陽差分法で計算を行う。1次元伝播問題では、差分式は、

$$\frac{1}{\Delta t} \left[M_{i+1/2}^{\cdot} - M_{i+1/2}^{n-1/2} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) \Big|_{F.D.} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \Big|_{F.D.} = 0 \quad (1)$$

となる。次に、2段目で分散項を陰的差分法で計算する。式は、

$$\frac{1}{\Delta t} \left[M_{i+1/2}^{n+1/2} - M_{i+1/2}^{\cdot} \right] = -\Delta x \left[\frac{M}{D} \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \right]_{F.D.} - \frac{\Delta x^2}{24} \left\{ 1 - gD \left(\frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 \right\} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2} \Big|_{F.D.} + \frac{h^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2} \Big|_{F.D.} \quad (2)$$

となる。ここで、右辺第1、第2項は線形および非線形項の打ち切り誤差の第1近似を打ち消すために考慮した項であり、2段目の計算で陰差分法を用いているため、このような計算の高精度化が可能となる。

4. 数値計算例

Fig.3は、Fig.4の様な水底地形の海域に孤立波を伝播させたときの浅水理論と非線形分散波理論の計算結果の比較である。本研究で提案したモデルでソリトン分裂および陸上遡上が計算できていることが確認できる。また、浅水理論に比べ約1.5倍高い遡上高が得られる。Fig.5は経時変化に関して水理実験結果と比較したものである。図から、実験値に比べ計算値がやや遅れるものの全般的に良く一致しており、本モデル妥当性が確認できる。

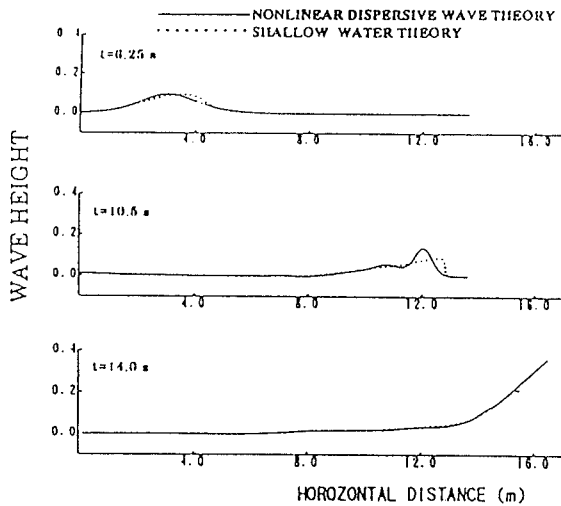


Fig.3 Computed profiles by shallow water and nonlinear dispersive wave theory.

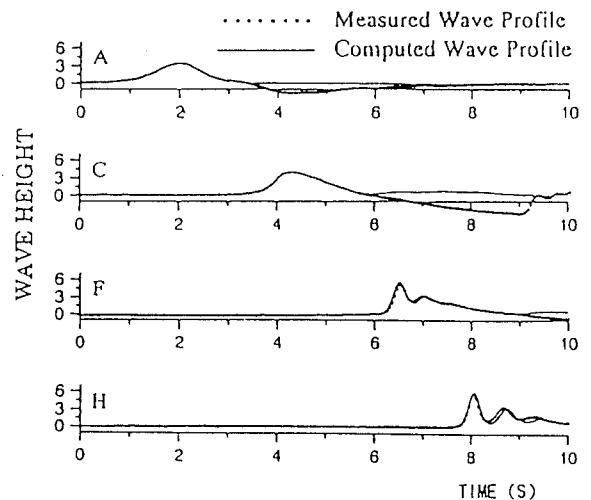


Fig.5 Comparison between measured and computed wave profile.

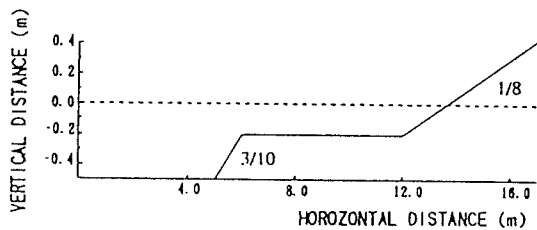


Fig.4 Bottom distribution.

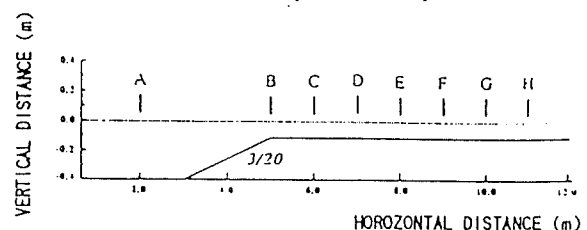


Fig.6 Experimental configuration.

5. おわりに

今後、実用化に向け、砕波を考慮した支配方程式の検討および実海域に関する数値計算を行う必要がある。
参考文献

- 1)長尾昌朋・後藤智明・首藤伸夫:非線形分散波の数値計算,第32回海岸工学講演会論文集,pp.114~118,1985.
- 2)藤間功司・後藤智明・首藤伸夫:非線形分散式の精度の検討,土木学会論文集,第369号/II-5,pp.223~232,1986.