

1. はじめに

1983 年日本海中部地震津波では、北秋田海岸においてソリトン分裂が観測された。しかしながら、実用化されている津波計算モデルの多くは、線形長波理論や非線形長波理論（浅水理論）を支配方程式としており、ソリトン分裂を表現することはできない。そこで、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必要がある。本文では、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. 津波計算モデルにおける分散項

計算に組み入れる分散項は 3 次微分形が一般的である。津波のように曲率効果が問題となる多くの場合は、水深勾配が穏やかな場合が多く、分散項中の斜面勾配は無視できることが知られている（長尾(1985)）。したがって、実用的な分散項としては、(A) $\frac{h^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2}$ (B) $\frac{h^3}{3} \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}$ (C) $\frac{D^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2}$ (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 流量フラックスである。

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の非線形性を含む分散関係と(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.2.1 である。図の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。また、横軸は相対波数である。また、 ε は波高水深比である。この図から実用的な 3 次微分形の範囲では(A)の形の分散項が最も高近似式に近いと判断できる。

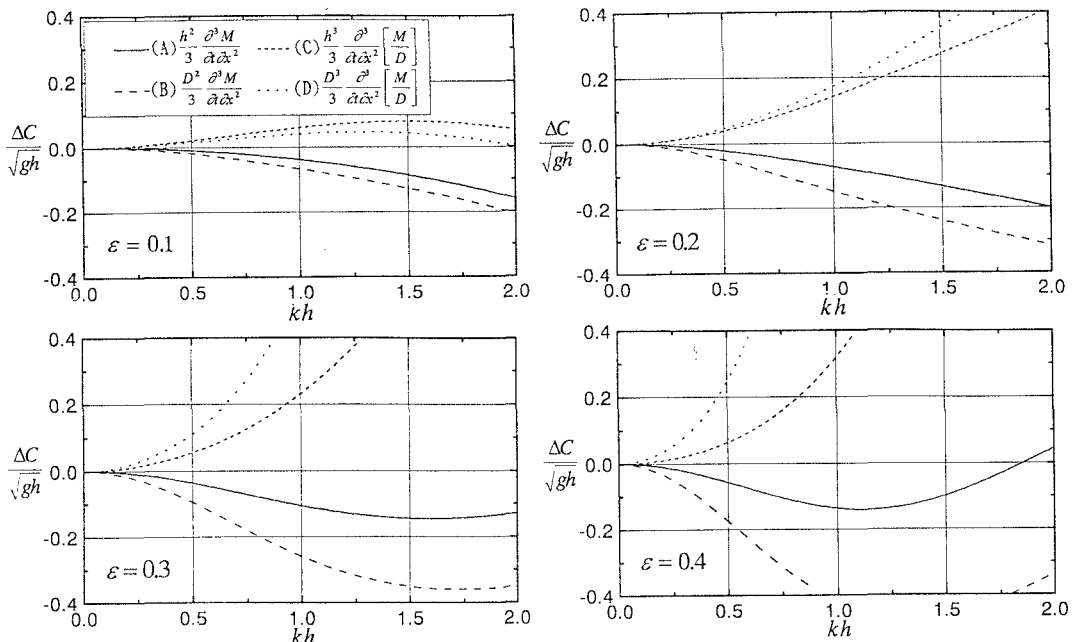


Fig. 2.1 Comparison of dispersion relationship.

3. 計算方法

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段階差分 (Split-operator)

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 Leap-frog 法で計算を行う。1 次元伝播問題では、差分式は、

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

となる。次に、2 段目で分散項を陰的差分式(ADI 法)で計算する。式は、

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

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. 孤立波の1次元伝播計算結果

本計算の精度を検証するため、長尾ら(1985)による孤立波に関する水理実験(斜面勾配 1/20)と比較を行った。Fig.4.1～4.2 にその結果を示す。なお、境界条件は右の表で与えられ、0m から一様勾配斜面が始まっている。

Table 4.1 Terms of initial parameters.		
	Wave height η_0	Water depth h_0
Case01	0.033m	0.30m
Case02	0.067m	0.15m

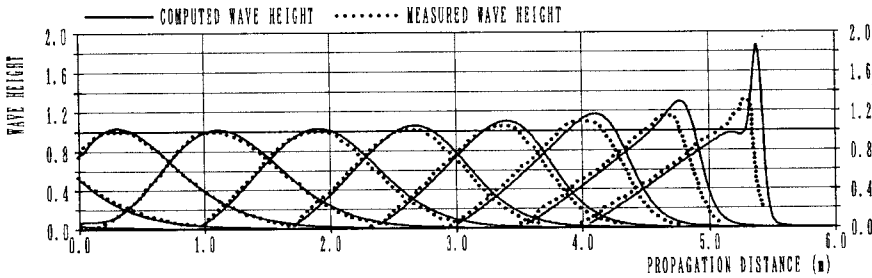


Fig.4.1 Comparison between computed and measured wave profile for Case01.

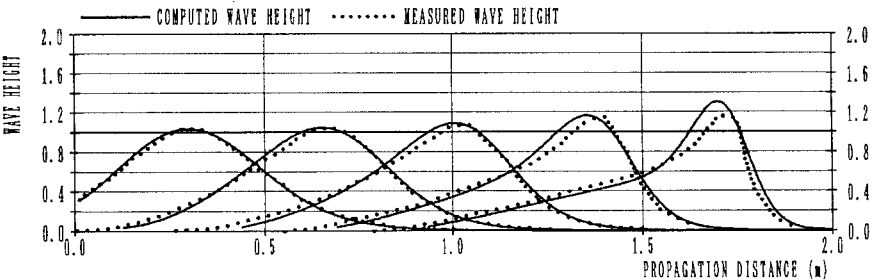


Fig.4.2 Comparison between computed and measured wave profile for Case02.

5. おわりに

Fig. 4. 1～4. 2 より、提案した分散項と計算方法波高水深比及び、相対波数が大きい場合に波高が多少の過大評価となるが、水理実験と非常に良く合い、十分適用可能であることが確認できる。今後は、実用性に向け、さらに検討を行う予定である。

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.