

津波ソリトン波列の陸上遡上シミュレーションの新モデルの提案

防災技術コンサルタント 正会員 千田健一

1. 研究の目的

東北地方太平洋沖地震津波では、宮城県名取川河口付近に津波がソリトン波列となり来襲し、陸上に遡上する状況が航空機から中継され、その脅威が改めて認識された。本研究は、非線形分散長波モデルを用い、津波のソリトン分裂から陸上遡上までを一貫して計算できる新しいシミュレーションモデルを開発・提案し、既往の研究と比較して精度を検証する。

2. 研究内容 (1) CIP 法を用いた新しいシミュレーションモデルの提案： ソリトン分裂を再現する非線形分散長波式は、既往研究から、アーセル数が高い場合の精度が実証されている。下記後藤・藤間・首藤の式¹⁾を用いた。以下、連続の式 (1) 運動の式 (2) を示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (1) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{D^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 η は、波高、 M は、 x 方向の線流量、 D は、全水深、 g は、重力加速度。

シミュレーションモデルの開発に際しては、津波シミュレーション分野で最も信頼性の高い東北大モデルを基本モデルとし、支配方程式に分散項を付加して非線形分散長波に拡張した。その際、移流項は、3 次精度の CIP 法により差分化し、誤差を抑制した^{2) 3)}。分散項は、空間方向に 2 次精度の中央差分を用いた。水と陸の境界での波の先端処理は小谷ら (1998) の方法に従った。なお、本検討では、運動量損失 (摩擦損失、砕波) は無視した。

(2) 一次元計算によるソリトン分裂シミュレーション精度の検証： 提案モデルの計算結果を後藤、藤間、首藤および Mei 等と比較した。同研究の数値計算水路形状は、図-1 に示すように、水平床と 1/20 の一様勾配を組み合わせたものである。入射波条件は、 $x/h_1=10.0$ に波峰を持つ波高水深比 0.12 の孤立波である。ここに、 x

は水平方向距離、 h_1 は孤立波の波高である。当モデルのシミュレーション結果は、既往シミュレーション・既往水理実験とほぼ一致した。

(3) ソリトン分裂から陸上遡上に至るまでの浅水方程式モデルと当モデルの比較： 当研究の非線形分散長波式による計算結果と従来の浅水理論による計算結果を比較した。水路形状は、図-2 のように沖合で勾配 1:20、汀線部で 1:10 の一様斜面のモデル地形とした。結果を図-3 に示す。計算開始から 30 秒までは、両モデルの差はわずかである。

50 秒後当モデルではソリトン分裂により波嶺が 2 つとなり、ピーク水位が、浅水モデルにくらべ高くなる。60 秒では、当該モデルでは複数のソリトン波列に分裂して陸上に遡上している。以上のことから、当モデルは、浅水理論では計算困難であった津波によるソリトン分裂による波高増幅・陸上遡上を安定に行うことができる。

(4) 陸上遡上先端部の浅水方程式モデルと当モデルの比較： 図-4 に示すように $t=68$ 秒後の遡上高では、浅水理論に比べ当モデルの遡上高が高い。

これは、岩瀬ら (2005) の指摘のとおり、ソリトン分裂によって波高が高くなり波嶺へのエネルギーが集中し、遡上流を加速した結果と考えられる。

3. 主要な結論 (1)移流項に CIP 法を用いた新しい非線形分散長波シミュレーションモデルを提案した。(2)提案モデルによりソリトン分裂を一次元でシミュレーションし、既往研究・実験と比較したところ、再現性は良好であった。(3)同モデルは従来モデルと同様に津波遡上計算が可能である。

(4)ソリトン分裂した津波の遡上高は、浅水理論で計算されるそれに比べて高くなることがある。

キーワード 津波 ソリトン分裂 非線形分散長波 CIP 法 津波シミュレーション

連絡先 (住所・電話・FAX) 株式会社 防災技術コンサルタント

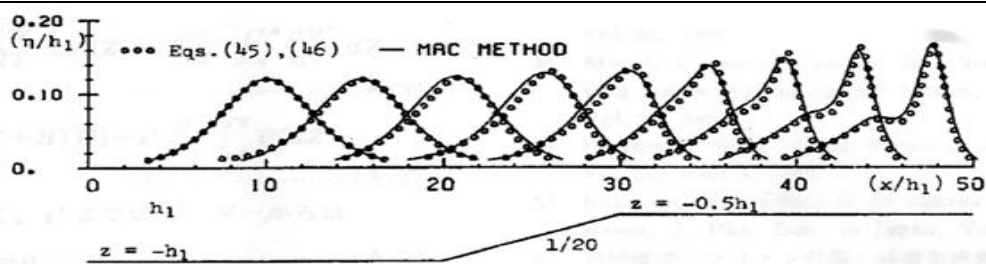


Fig. 4 Comparison of numerical results for a deformation of solitary wave propagating over a slope onto a shelf of smaller depth.

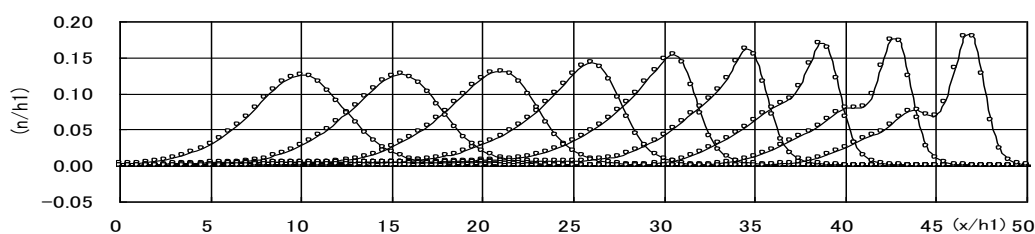


図-1 既往のソリトン分裂シミュレーション研究（上段）と当モデル（下段）の比較

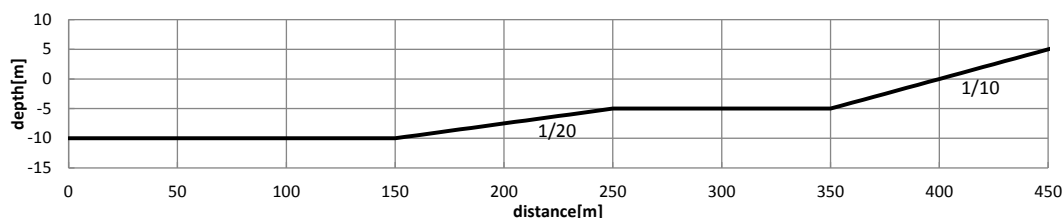


図-2 ソリトン分裂から陸上遡上シミュレーションに用いる地形モデル

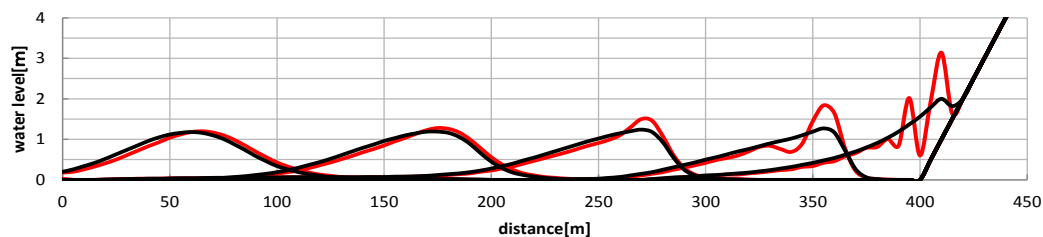


図-3 ソリトン分裂から陸上遡上の浅水方程式モデル（黒）と当モデル（赤）の比較

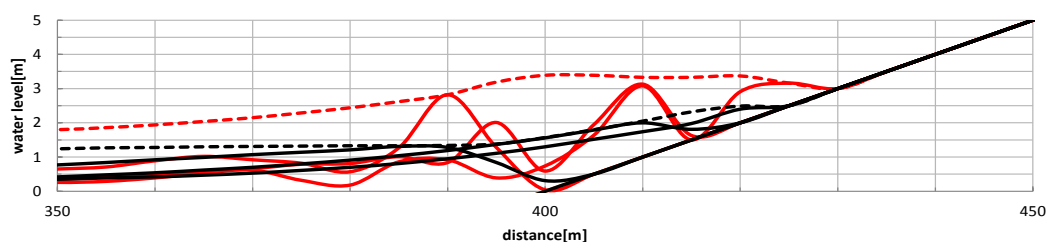


図-4 陸上遡上先端部の浅水方程式モデル（黒）と当モデル（赤）の比較

参考文献

- 1) アーセル数が大きい場合の非線形分散波の方程式
後藤智明、首藤伸夫等 土木学会論文集 第 351 号/II-2, PP193-210, 1984
- 2) 一次元非線形分散波の方程式を用いた CIP 法による河川を遡上する津波の数値計算
千田健一等 平成 20 年度 (2009) 土木学会 東北支部研究発表会 II48 P189-19 (CD_R)
- 3) 二次元非線形分散波の方程式を用いた CIP 法による河川を遡上する津波の数値計算
千田健一等 平成 20 年度 (2009) 土木学会 東北支部研究発表会 II49 P191-19 (CD_R)