

津波発生初期及びエッジ層内での非線形性、分散性の寄与について

Nonlinear and dispersion effect on wave trapping at the inception of Tsunami generation.

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 仙庭真司
 北海道大学大学院工学研究科 正員 渡部靖憲
 北海道大学大学院工学研究科 正員 佐伯 浩

1. はじめに

防災上の観点から津波の到達時間及び波高の予測について、古くから数多くの研究がなされてきた(今村ら)。沿岸域に周期的に襲来する津波は、沿岸域に捕捉されたトラップモードの波が沿岸方向に変動することにより出現する。一般に津波は、分散性が小さく、波高と比べ波長が非常に長いので、線形長波方程式が津波伝播予測に利用されることが多かったが、非線形性はバイハーモニックのトラップモードを発生させ、捕捉波の伝搬に強い影響を与えると考えられる。

また、波の分散性は、圧力分布が静水圧近似から逸脱する状況、すなわち鉛直流速が無視しえない領域で考慮する必要がある。特に、海底勾配が大きく変化する沿岸域では、その効果が顕著に表れる可能性があり、前述のトラップモードの分散性からの寄与を明らかにする必要がある。さらに、津波の発生因をプレート型地殻変動に限定すると、地殻の鉛直変位に応じて発生する底面での鉛直流速の発生は、初期津波生成過程に大きな影響を与え、特に同一の地殻変位においても先駆波高を低減する可能性がある。

弱非線形弱分散性を有する波動方程式モデルとして Boussinesq タイプの方程式(例えば Peregrine, 1967)が広く用いられ、分散性の修正(Madsen, 1991)や回転流速の寄与項の付加(Veeramony&Svendsen, 2000)等種々のバージョンが開発されている。Nwogu(1993)は、Euler式を基礎方程式とした Boussinesq 型方程式を誘導し、分散性の修正について議論している。

本研究では、海底の時間変動を底面境界条件として与え、Nwogu(1993)と同様な方法により、新たな Boussinesq 型方程式を誘導し、海底変位と生成波形との関係を調査すると共に、長波方程式との比較を行う。また、矩形海底隆起を通過する津波について、両方程式に対するトラップモードの違いを比較し、その非線形性及び分散性の寄与について考察を行う。

最後に、平成15年9月26日に発生した2003年十勝沖地震津波を例に、両波動モデルにおける再現計算の差異について考察を行う。

2. 計算方法

線形、非線形長波方程式、Boussinesq 型波動方程式を支配方程式として採用する。

長波方程式は、

$$\frac{Du}{Dt} = -g\nabla\eta \quad (1)$$

$$\frac{D\eta}{Dt} + \nabla \cdot (hu) + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここで、uは水平方向流速、gは重力加速度、ηは自由水面からの水位、hは水深である。

また海底の時間変化を含めた Boussinesq 方程式は任意 z_α の位置における流速 u_α を用い、以下を基礎方程式とする。

$$\frac{\partial u_{\alpha}}{\partial t} + \nabla\eta + (u_{\alpha} \cdot \nabla)u_{\alpha} + \frac{z_{\alpha}^2}{2} \nabla \cdot \left(\nabla \cdot \frac{\partial u_{\alpha}}{\partial t} \right) + z_{\alpha} \nabla \cdot \left(\nabla \cdot \left(h \frac{\partial u_{\alpha}}{\partial t} \right) \right) \left[-\frac{1}{h} \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 \nabla(\eta+h) + \dots \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot ((h+\eta)u_{\alpha}) + \nabla \cdot \left\{ \left(\frac{z_{\alpha}}{2} - \frac{h}{6} \right) h \nabla(\nabla \cdot u_{\alpha}) + \left(z_{\alpha} + \frac{h}{2} \right) h \nabla(\nabla \cdot [hu_{\alpha}]) \right\} \left[-\frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot \left(z_{\alpha} \eta \nabla \frac{\partial h}{\partial t} \right) - \nabla \cdot \left(z_{\alpha} h \nabla \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \frac{h^2}{2} \nabla \frac{\partial h}{\partial t} \right] \quad (4)$$

ここで、[]内は海底変動寄与項である。

(1)、(2)及び(3)、(4)は多段階分離解法、LC法、CIP法を組み合わせて計算を行なう。ここでLC法は低マッハ数の圧縮性流体に対する計算法であるが、両者の方程式系の類似性から、(1)、(2)及び(3)、(4)は同様に楕円型方程式に変換されニュートン法ベースの反復計算により解かれる。

3. 非線形性、分散性のトラップモードへの寄与

図-1に示すように不透水性矩形数値水槽の一端の壁面を頂点として断面三角形に海底を隆起させ、津波を発生させる。ここで、壁面の最大隆起高は0.05hであり、隆起は海底変位継続時間Tの間に線形的にy方向に増加させる。この壁面から972h離れた位置にy方向に延びるridgeを配置した。ridge上の水深は0.2hであった。この計算領域において線形、非線形長波方程式並びにBoussinesq方程式に基づき波動モデルを適用し、ridge上で発生するトラップモードの差異について考察を行なう。尚、この章での対象は水深の変化に伴い発生するトラップモードあるいはエッジ波の伝搬であり、三つの方程式の初期条件を一致、公平に比較するため、Boussinesq方程式上の海底時間変化に伴う分散項を無視している。この項の津波発生初期の水位変動については次章で議論する。

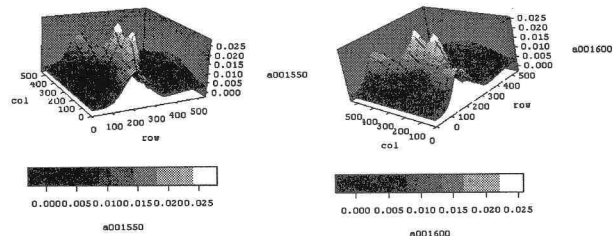


図-2(c)

このケースでは線形及び非線形長波方程式モデル両者はほぼ同一の時間遷移を示した。波のridge通過後、ridge上に覆って明確に水位の変動が見られ、この変動は津波が完全に通過し十分に離れた後も、ridge上に存在し続ける。このridgeにトラップされた波は津波の伝搬速度と比べ、非常にゆっくりとridge延長方向に伝搬する(図-3参照)。

計算時間の関係でBoussinesq式モデルの結果は十分ではない。今後計算する。

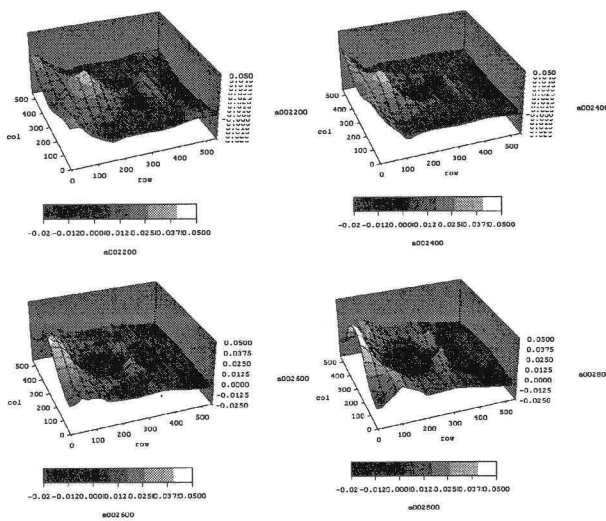


図-2(a)

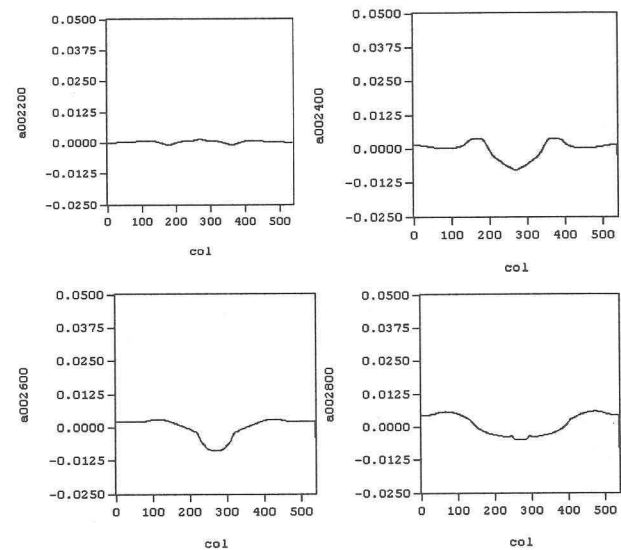


図-3

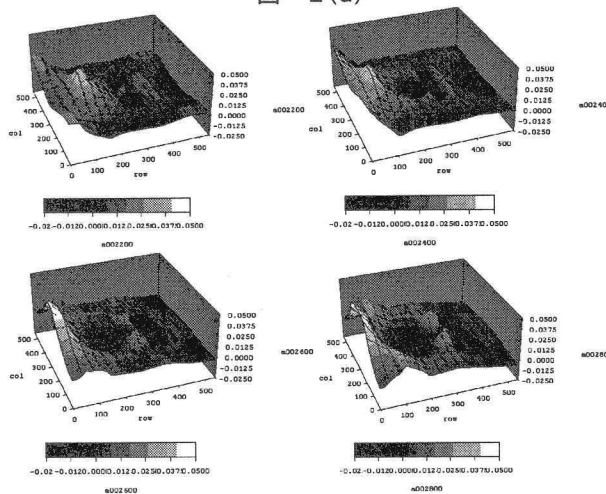


図2-(b)

図-2は線形(a)、非線形(b)長波方程式モデル、そしてBoussinesq方程式モデル(c)による津波がridge上を通過する際の水面遷移を表している。ここで各位相間隔は2Tである。

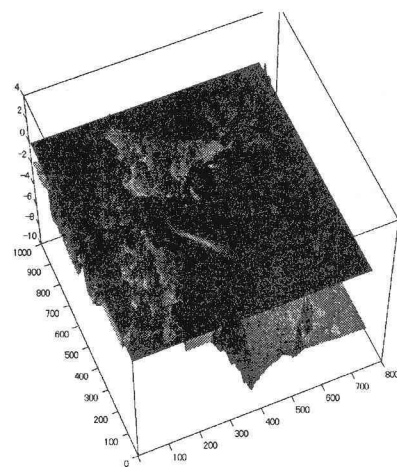


図-4