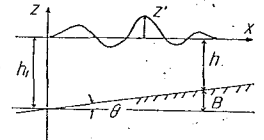


陸棚における津波のソリトンへの分裂について

京都大学防災研究所 正員 工屋 義人
 京都大学防災研究所 正員 山下 隆男
 京都大学大学院 学生員 〆野 真次

1. 緒言、昨年、日本海中部地震によって発生した津波は、各地に大きな被害をもたらした。このとき、能代沖に來襲した津波は、沖合に広く発達した陸棚において、数個の短周期波に分裂したことが報告されている。従来、こうした津波の伝播は主に線形モデルにより議論されてきたが、このような短周期波への分裂は、浅海域での伝播特性は、その非線形性も含めて検討する必要がある。そこで本研究では、著者らが既に導いた傾斜海床におけるKdV方程式を用い、津波の陸棚上でのソリトン群への分裂について検討する。すなわち、羽島らによる津波の屈折図を参照し、一次元モデル地形を設定し、既知の諸量を用い陰解法による数値解析を行った。

2. 基礎方程式 著者らが逐減振動法を用いて導いた空間発展型のKdV方程式を、図-1で定義される記号により示せば、次のようになる。



$$\zeta_t + \frac{3U_r}{2C_0^3} \zeta \zeta_t + \frac{C_0}{6} \zeta_{\zeta\zeta\zeta} - \frac{\tan \theta}{4\varepsilon^2 C_0^2} \zeta = 0 \quad (1)$$

ここに、 $\zeta = z^*/H_1$, $z^* = z/r_1$, $x^* = x/r_1$, $t^* = t\sqrt{g/r_1}$, $\zeta = \varepsilon^2 \zeta^*$, $\zeta_t = \varepsilon^2 (\partial \zeta^* / \partial t^* - t^*)$, $C_0 = \sqrt{R/r_1}$, $U_r = H_1 L_1^2 / R_1^2$ (アーセル数), $\varepsilon = (r_1 / L_1)^2 \ll 1$, $H_1 = \lambda$ 射波高, $\tan \theta =$ 陸棚勾配である。さらに、式(1)で、周期 T が保存されるとすると $\zeta_t = C^* \zeta$ ($C^* = C / \sqrt{g r_1}$; $C =$ 入射時の波速)を用いれば、次のように変形される。

$$\zeta_t + \frac{3U_r C^*}{2 C_0^3} \zeta \zeta_t + \frac{C_0 C^3}{6} \zeta_{\zeta\zeta\zeta} - \frac{\tan \theta}{4\varepsilon^2 C_0^2} \zeta = 0 \quad (2)$$

数値解析法として陰解法を用い、式(2)を以下のように変形し、同期境界条件の下で解析を行った。

$$\frac{\zeta_j^{n+1} - \zeta_j^n}{\Delta t} + \frac{3U_r C^*}{2 C_0^3} \frac{\zeta_j^n + \zeta_j^{n+1}}{2} \frac{\zeta_j^{n+1} - \zeta_j^n}{\Delta t} + \frac{C_0 C^3}{6} \frac{\zeta_{j-2}^{n+1} - 2\zeta_{j-1}^{n+1} + \zeta_j^{n+1} - \zeta_{j-2}^n + 2\zeta_{j-1}^n - \zeta_j^n}{2\Delta x^2} - \frac{\tan \theta}{4\varepsilon^2 C_0^2} \zeta_j^{n+1} = 0 \quad (3)$$

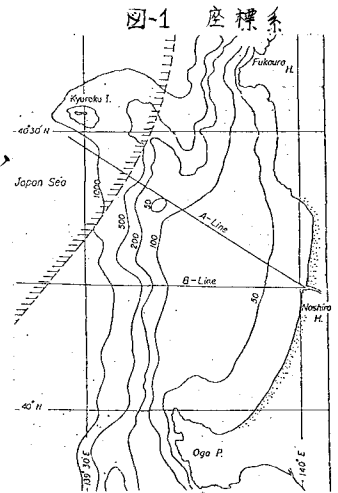


図-2 能代沖海底地形

3. 計算条件 対象海域での海底地形は図-2のようになり、図中の斜線部は推定された津波の波源東端部である。図中、A及びB線はそれぞれ能代港より波源に直角及び東西方向の2測線であり、その断面を図-3に示した。図-3からわかるように、この海域は非常に遠浅で、離岸距離約30kmまでは平均勾配約 $1/400$ 程度で、陸棚先端部の水深は100m程度である。そこで本研究では、陸棚勾配を、 $\tan \theta = 0.00235$ ($50\text{m} < R \leq 100\text{m}$), $\tan \theta = 0.0066$ ($20\text{m} \leq R \leq 50\text{m}$), $\tan \theta = 0.02$ ($0\text{m} \leq R < 20\text{m}$)とした。

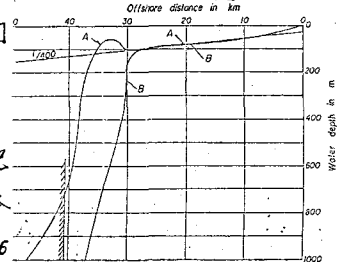


図-3 能代沖海底地形(2)

Yoshito TSUCHIYA · Takao YAMASHITA · Shinji SHIBANO

入力波形は正弦波とした。また、各地の検潮記録を解析することにより、津波の発生周期は7minないし8minであるとしたり。波高については不明であるが、港湾技術研究所によれば、能代港での第一波最大偏差は1.94mで、最高潮位は2.08mと見積られている。以上より、津波の増量として、図-4に示す津波のスペクトルから見出される周期7min~8minとし、沖波波高1m~2mと仮定した。波高及び波長は波源から陸棚先端部まで線形変形するものとし、shoaling計算を行ない、その波形を入力条件とした。

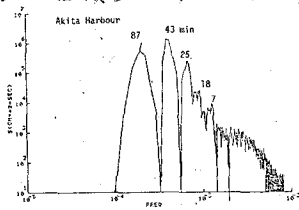
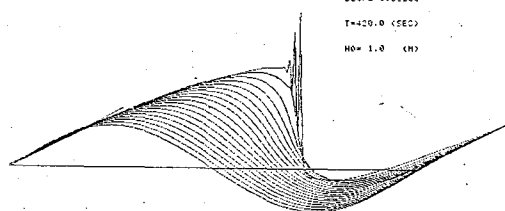


図-4 津波のスペクトル(秋田港)

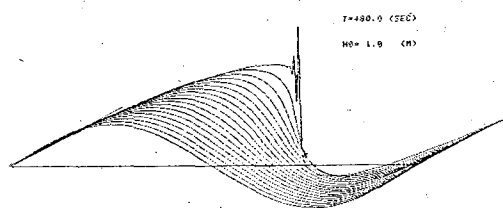
4. 解析結果 前述した条件を用いた解析結果の一例を図5(a)~(c)に示す。ただし、初期波形は陸棚先端のもの(図

NIHON_KAI CHUO



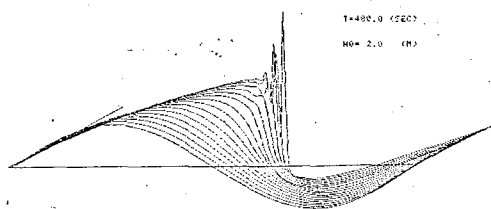
(a) 周期7min, 沖波波高1m

NIHON_KAI CHUO



(b) 周期8min, 沖波波高1m

NIHON_KAI CHUO



(c) 周期8min, 沖波波高2m

図-5 津波のソリトンへの分裂

5(a)~(c)に示す。ただし、初期波形は陸棚先端のもの(図より、津波は伝播とともに波高が増大し、波の峰の曲率が増し非線形性をおびてくる。そして、あるところで見掛け短周期波と混ざるようなソリトン群に分裂することがわかる。また、分裂したソリトンの個数は3個程度であり見掛けの周期は5secないし12secである。周期7min及び8minで波高1mの場合、陸棚におけるshoaling factorはそれぞれ約3.3及び2.3でソリトン分裂した時の偏差はそれぞれ2.2m及び2.3mとなる。したがって、前述した能代港における偏差と一応対比できるものである。また、日本海沿岸における潮位偏差が小さいことを考慮すれば、今回の結果は能代港における津波が3個程度の短周期波に分裂したことを一応裏付けたものであると言える。一方、港湾技術研究所が能代港沖を対象に行ない、縮尺1/200の物理実験と比較すると、実験と本研究では陸棚勾配や初期波形に若干の相違はあるが、得られた結果はソリトンの個数、周期、波高ともかなり一致しており、このことから本研究の妥当性がうかがわれる。

5. 結語 以上、陸棚における津波の非線形挙動を傾斜海浜上におけるKdV方程式によるソリトン分裂として取扱ひ、能代沖のような遠浅な陸棚に今回のような周期の短い津波が来襲すると、津波はソリトンに分裂する可能性があることを示すことができた。なお、数値計算に当っては、京都大学防災研究所宇治川水理実験所のスーパーミニコンビューター NEC MS-190を使用した。

参考文献

1) 本勝利・高木知司他: 1983年日本海中部地震津波の実態とモニタリング考察, 港湾技研資料, Vol. 1983, No. 470, p.299, 1983.