

海底変動に起因した津波の発生時と伝播時における津波高さの関係

岩手大学 学生員 ○ 穴戸 直哉
 岩手大学 正会員 小笠原敏記
 岩手大学 正会員 堺 茂樹

1. はじめに

海底地震に伴う津波の伝搬計算は、一般に、地震断層パラメータから求められる鉛直地盤の永久変位が海面変位に等しいと仮定して行われる。しかし、明治三陸津波(1896)に代表される津波地震の場合、海底変形が比較的緩慢に進行するため、津波が発生すると同時にその波は四方へ伝搬する。したがって、海底変位終了時には、海底地形と異なる海面が形成されることが容易に予想される。そこで本研究では、海底地震に伴う地盤変位を時間発展的に解き、その速度と形状が及ぼす津波の発生と伝搬の特徴を明らかにする。特に、津波の発生時と伝搬時の津波高やエネルギーの比較検討を行う。

2. 解析手法の概要

津波の解析には、図-1 に示すような簡易的に日本海溝から三陸沿岸までを表わした海底地形を設定した平面二次元場の計算領域を用いた。水深 50m 以浅の領域 1 には、非線形長波理論による次式の基礎方程式を適用する(Shuto ら, 1997)。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここで、 η は静水面からの水面変位、 t は時間、 x および y は平面二次元座標、 M および N は x および y 方向の流量フラックス、 $D(=h+\eta)$ は全水深、 g は重力加速度、 n は Manning の粗度係数である。そして、水深 50m 以深の領域 2 には、式(2)および(3)の第 2, 3, および 5 項を省略した線形長波理論を適用する。海底地盤の変動領域には、式(1)を次のように表すことにより、地盤の時間発展を行う。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial H_B}{\partial t} \quad (4)$$

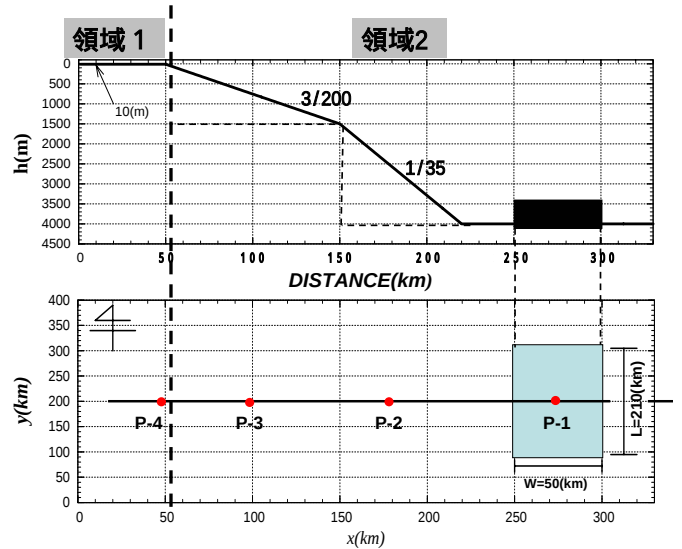


図-1 計算領域

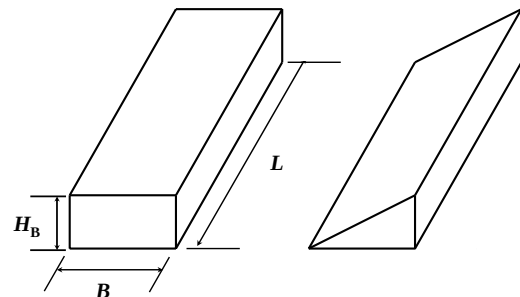


図-2 海底地盤の永久変位の形状

なお、 H_B は地盤変動高さを表す。これらの支配方程式に staggered leap-frog 法を基にした有限差分法で津波の伝播計算を行なう。計算条件は、 x および y 方向の格子サイズを各 1km とした。海底地盤の変動領域には、明治三陸津波の波源域を参照して(渡辺, 1998)、長さ $L=210\text{km}$ および幅 $B=50\text{km}$ とし、その隆起速度 V_B を 0.01m/s から 0.30m/s までの 7 通りに変化させた。海底地盤は、一定速度で永久変位量 5.55m まで隆起させ、その形状は、図-2 に示すような単純な長方形断面(Type1)と縦ずれ逆断層型を想定した三角形断面(Type2)の 2 種類を設定した。

3. 津波発生時および伝播時の津波高さ

図-3 は、図-1 に示す P-1 から P-4 の場所における津波最大高さに達したときの空間波形を示したもので

ある．なお，隆起形状はType2 であり，上段および下段は $V_B=0.01\text{m/s}$ および 0.30m/s である．永久変位到達時の空間波形に依存した波形を保ちながら伝搬し，浅水効果によって波が高くなる．また， $V_B=0.01\text{m/s}$ の波形は，永久変位到達時に波の先端が 150km も進むが， $V_B=0.30\text{m/s}$ の波形が約 120 秒先にP-4 地点に到達することがわかる．つまり，海底の変動速度の違いによって，地震発生から沿岸に津波が到達するまでに数分の時間差が生じる可能性がある．

図-4 は，長波の波速 $\sqrt{gh}$ で無次元化した隆起速度と測点P-1 での津波初期最大高さ η_0 に対する測点P-4 での津波最大高さ η_t の増加率の関係を示す．図-3 の空間波形で明らかのように， $V_B=0.30\text{m/s}$ のP-4 での津波高さは， $V_B=0.01\text{m/s}$ の約 3 倍となるが，その増加率は，隆起速度が遅くなるほど大きくなる．すなわち，海面変位が小さくても波長が非常に長くなるため，沿岸に近づくに連れて浅水効果の影響により津波が発達することを顕著に表わしている．

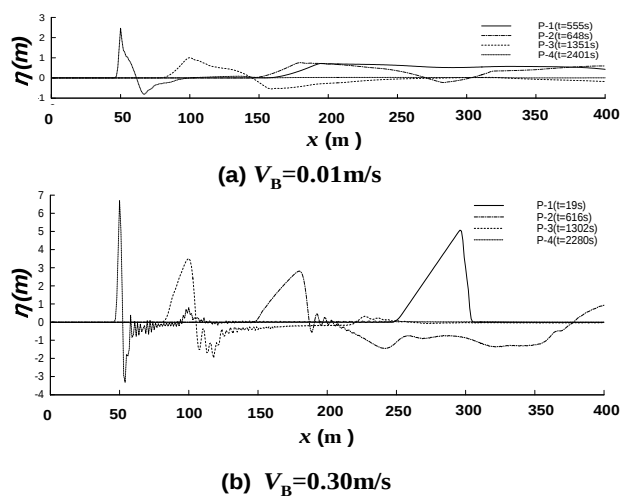


図-3 各測点(P-1～P-4)における空間波形

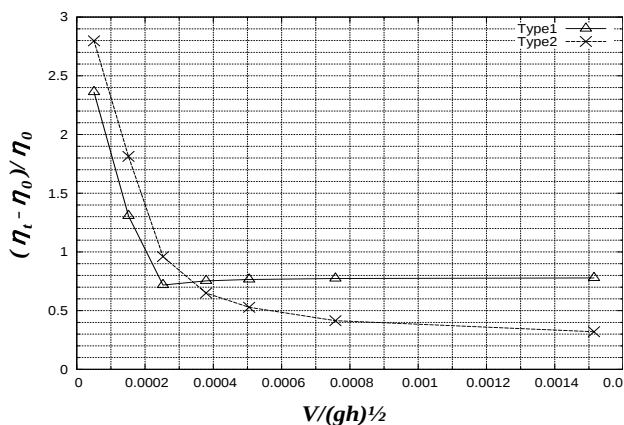


図-4 隆起速度と津波高さの増加率との関係

4．津波発生時および伝播時のエネルギー

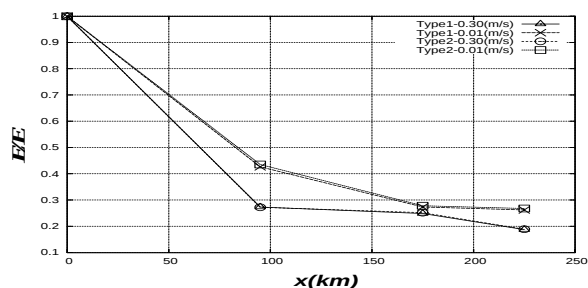


図-5 各測点(P-1～P-4)での津波エネルギー

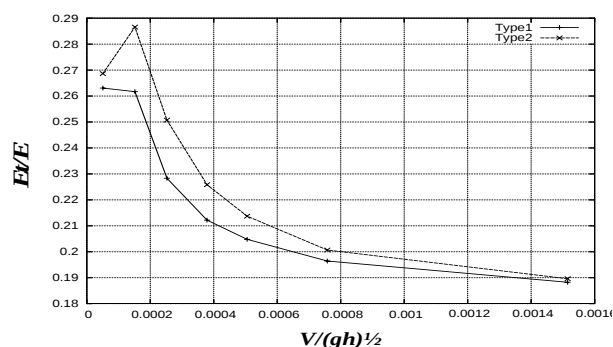


図-6 隆起速度と津波エネルギーの関係

ここでは，単位面積当たりの津波エネルギー E を次式のように定義し，津波発生時と伝播時における津波エネルギーの比較検討を行う．

$$E = \int_0^{\eta} \rho g z dz \quad (5)$$

ここで， ρ は水の密度， z は水面変位であり， $z=0$ は静水面を意味する．図-5 は，測点P-1 の津波エネルギー E_0 で無次元化した津波エネルギー E/E_0 のP-1 からP-4 での最大値を示す．津波発生時のポテンシャルエネルギーは，隆起速度に依らず，P-2 までに急激に減少し，その後はほぼ一定の値を持続する．そこで，測点P-4 での津波エネルギーと隆起速度の関係を示したものが図-6 である．隆起速度の増大に伴い，津波エネルギーが指数関数的に減少する．

以上より，津波地震のような海底変動が比較的緩慢な場合，発生時の津波高さはそれ程大きくはないが，浅水効果によりその高さは 3 倍近くに発達し，津波発生時のエネルギーの 3 割弱を維持しながら陸域に襲来することが明確にされた．

参考文献

Shuto et al.: IUGG/IOC TIME PROJECT, Part1, pp.1-12, 1997.

渡辺偉夫：日本被害津波総覧[第2版]，東京大学出版会，pp.7-14, 1998.

