

確率過程を導入した津波遡上の不確実性評価
 Uncertainty Assessment of Tsunami Runup by Introducing Stochastic Processes

○久我知弘・宮下卓也・森信人・志村智也

○Tomohiro KUGA, Takuya MIYASHITA, Nobuhito MORI, Tomoya SHIMURA

This study aimed to quantify the propagation of a small tsunami disturbance from offshore to the coast. One-dimensional tsunami run-up simulations were performed on a simple topography consisting of a flat bottom connected to a constant slope. One hundred patterns of the incident waves, based on a solitary wave, were generated using stochastic disturbances, the Wiener process. The results showed that the standard deviation of tsunami height at the coast was larger when the slope of the seabed was mild, resulting in a longer run-up distance.

1. はじめに

我が国では海溝軸・トラフ軸付近で発生する大地震とそれに伴う津波の発生が危惧されている。将来発生する地震の発生位置や規模を予測することは困難であることから、近年ではあらゆる地震津波のシナリオを考慮し、その全てのシミュレーション結果を総合して津波ハザード・リスクを評価することが一般的となりつつある。一方、津波イベント自体の差異のみならず、イベント発生後の伝播過程においても海底地形の誤差等によって挙動のばらつきが生じうる。震源過程の不確実性を考慮した確率論的な津波ハザード・リスク評価は多く行われているものの、伝播過程でのばらつきが大きさがもたらす沿岸域の津波の不確実性は十分に定量化なされていない。伝播過程の不確実性は、例えば津波即時予測の際に沿岸域の予測幅を示す上で重要な指標となりうる。

以上の背景を踏まえて、本研究では津波の小さなばらつきが沖合で発生する状況を想定し、この津波の変動が沿岸部でどの程度拡大するかを定量化することを目的とする。

簡単のため、水平な地形と一定勾配の斜面を接続した地形で1次元津波遡上計算を実施し、沖合の境界で与えた津波のばらつきと沿岸域のばらつき大きさを評価する。

2. 研究手法

(1) 海底地形条件

図-1 に本研究の津波遡上計算に用いる海底地形条件の概略を示す。図左の平坦な海底地形から津波を入射し、右端まで到達させる。一様水深部

の水深は100 m、遡上終端の水深は5 mとし、1/10から1/100までの5パターンの勾配で地形を作成し、地形条件による津波波高のばらつきの差異を評価する。

(2) 入射波条件

本研究では、確率過程の一種であるWiener過程によって入射波の時系列的なばらつきを表現した。Wiener過程とは、ブラウン運動のような出鱈目な粒子の運動を解析するために生まれた確率理論である。次式はWiener過程による変動を導入した入射波である。

$$ds = b(t)dt + \sigma(t)dW_t \quad (1)$$

ここで、 $b(t)$:ドリフト項(系の平均的な方向性を表す項)、 $\sigma(t)$:拡散項(系のランダムな変化率を表す項)、 dW_t :Wiener過程の微小増分項である。

本研究では、ドリフト項に相当する基本の入射波形に孤立波を採用し、これに対してWiener過程による確率的ゆらぎを与えた波形を多数作成する。ゆらぎのない孤立波の最大波高は1 mで、入射から20秒後に最大波高に達する。ゆらぎのある波形については、微小な揺らぎを1秒毎に0.01 m与え続けた60秒間の波形を100パターン生成した。図-2に生成した入射波形を示す。

(3) 津波遡上計算

津波遡上計算には非線形長波方程式および連続式を基礎とする数値モデルを用いた。1次元の非線形方程式と連続式は式(2)、(3)の通りである。

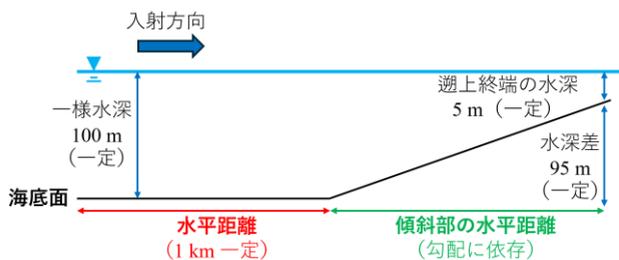


図-1 津波遡上計算における海底地形条件の概略

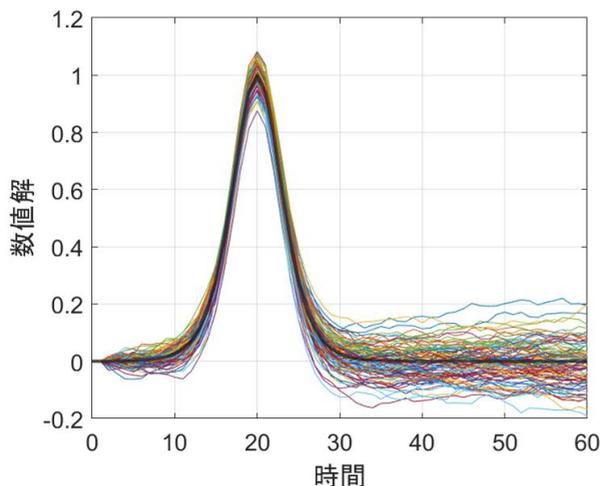


図-2 孤立波に確率的ゆらぎを与えた 100 パターンの入射波. 太い黒線はゆらぎのないモデル波形 (ドリフト項)

本研究では簡単のため、コリオリの力、摩擦による減衰やエネルギー散逸は考慮しない.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial b(t)}{\partial t} \quad (3)$$

ここで、 x : 空間座標, M : x 軸方向のフラックス, t : 時間, u : x 軸方向の流速, g : 重力加速度, η : 平均水面からの高さ, h : 海底深さ, $D(= \eta + h)$: 全水深, $b(t)$: 波源 ($x = 0$ でのみ与えられる値, 本研究では孤立波の波形関数) である.

本研究における空間の離散化については Staggered 格子を採用した 1 次風上差分, 時間については Euler 陽解法を用いた. 時間間隔は 0.1 秒とし, 計算対象時間は 540 秒間とした.

生成した 100 パターンの入射波形すべてについて上記の条件による津波遡上計算を行い, 津波の

ばらつきの拡大を地形条件ごとに評価した. ばらつきの大きさは, 入射波形と遡上端における最大波高の標準偏差の比を用いて評価し, 地形条件ごとに比較を行った.

3. 結果

勾配の異なる各地形条件における入射波と遡上端の波高の標準偏差比を図-3 に示す. 緩い勾配の方が最大波高のばらつきが大きいことがわかる. 特に, 最も勾配が緩やかな 1/100 の場合, 津波の遡上前後で標準偏差が約 3.40 倍となっている. これは, 勾配が緩い条件では遡上距離が長くなることに起因すると考えられる. また, 津波のグリーンの法則の通り, 線形理論では沖合と沿岸の津波波高の比は水深比で定まり, 伝播距離には依存しない. したがって, 線形理論の上では図-3 の波高のばらつきの比はいずれの地形条件においても 1 となる. 最もばらつきの小さい 1/10 勾配のケースにおいても, 遡上端で入射波のばらつきが約 2.03 倍にまで拡大しており, この増分が非線形効果といえる.

5. おわりに

本研究では, Wiener 過程による確率的ゆらぎを継続的に与えた 100 パターンの孤立波を入射波とし, 5 ケースの勾配をもつ地形条件で 1 次元津波遡上計算を行った. その結果, 勾配が緩やかになるにつれ, 津波波高の微小なばらつきが遡上後に拡大される傾向が得られた. 今後, ゆらぎの与え方やモデル波形の差異によるゆらぎ伝播の影響を定量化する必要がある.

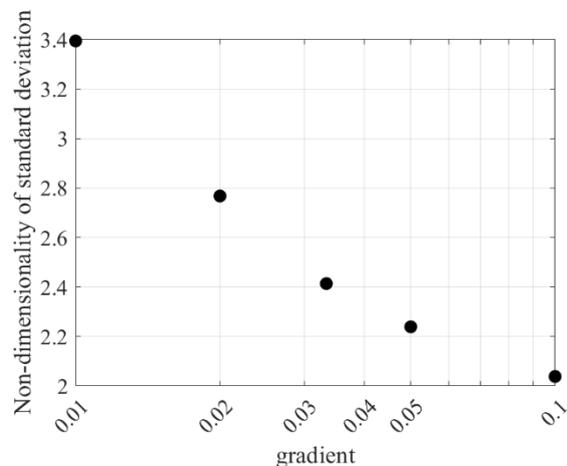


図-3 入射波高の標準偏差で無次元化した遡上端での最大波高のばらつき