

令和元年6月27日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16309

研究課題名(和文)リアルタイム津波予測に向けた沿岸の津波伝播特性の補正法の高度化

研究課題名(英文) Real-time correction of tsunami site effect by frequency-dependent tsunami-amplification factor for tsunami forecast

研究代表者

対馬 弘晃(Tsushima, Hiroaki)

気象庁気象研究所・地震津波研究部・併任(第四研究室)

研究者番号：00589864

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：津波が沖合地点から沿岸地点へ伝わる際に津波高が増幅する様子を精度良く予測し、リアルタイム津波予測の高精度化に貢献することを目指して、本研究では、津波のコンピュータシミュレーションを活用して、両地点間の伝播特性を、周波数特性を持つ津波増幅率として推定するとともに、得られた増幅率に基づき簡便にリアルタイム津波予測を行う方法について検討した。

本研究の提案手法の津波予測性能を検証するため、岩手県宮古湾を対象にした数値実験を行ったところ、グリーン法則(沖合地点の津波高に基づいて沿岸地点の津波高を推定する一般的な方法の一つ)に比べて、沿岸の津波高をより精度良く予測する性能を持ちうることを示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リアルタイム津波予測は、津波被害を軽減する上で有効な手段の一つである。沿岸の津波の高さを精度良く予測するには、津波の波源を精度良く推定し、それをもとに津波の伝播過程を迅速かつ精度良く算出する必要がある。後者については、高分解能の地形データを用いた津波伝播のコンピュータシミュレーションの活用が有効だが、リアルタイムに行うには計算コストが高い。他方、本研究で提案した方法を用いれば、沿岸付近の津波伝播特性を、短時間かつ簡便にリアルタイム津波予測に組み込める。これにより、高性能コンピュータのリアルタイム活用が困難な状況でも、一定程度の精度を確保した津波予測が実現できるようになるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：For tsunami early warning, I developed frequency-dependent tsunami-amplification factor. When offshore and coastal observing points are close, the spectral ratio between the two points can be regarded as site response (i.e. frequency-dependent amplification factor). In this study, tsunami waveforms calculated by tsunami numerical simulations were used to obtain spectral ratio. An average of the resulted spectral ratios from more than 100 tsunamigenic-earthquake scenarios is regarded as frequency-dependent amplification factor. The estimated factor differs depending on an observing location even in a same bay. The estimated amplification factor is used to design a recursive digital filter that can be applicable in time domain. The designed filter shows good performance in real-time correction of tsunami-height amplification due to site effect.

研究分野：地震学、津波

キーワード：リアルタイム津波予測 津波増幅率 近地津波 周波数特性 自然災害

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本列島はプレート収束帯に位置するため、多数の地震・津波の被害に見舞われてきた。津波の発生域(津波波源)から岸までの距離が近いこと、地震発生後の短時間(30分以内)のうちに津波が押し寄せる。こうした津波の被害を軽減するための有効な手段の一つがリアルタイム津波予測である。地震発生後、観測データに基づいて津波を迅速に予測し、その予測結果に基づいた津波警報を適切に住民まで伝達できれば、避難行動の指標として機能し、被害軽減につながるものと期待される。

リアルタイム津波予測の精度を高めるためには、津波波源をリアルタイムに高精度に推定するとともに、波源から岸に向かって津波が伝播する過程を精度良く再現することが重要である。後者を実現するためのアプローチの一つとしては、スーパーコンピュータを用いた高速な津波数値計算が挙げられる。しかし、沿岸の津波の挙動を精密に再現するには、細かい空間分解能の地形データを用いる必要があり、計算コストが高い。一方、別のアプローチとしては、沿岸の津波挙動を模した応答関数(津波増幅率)の利用が挙げられる。応答関数を事前に準備できれば、地震発生後には、観測や波源推定等によってリアルタイムに得られる沖合津波波形に畳込積分しさえすれば、簡便かつ高速に、沿岸の津波挙動の特性を予測値に反映できる。本研究では、このアプローチの高度化に着目した。

こうした津波増幅率の高度化に関する先行研究としては、Baba et al. [2004, GRL; 2013, MGR]や Hayashi [2010, EPS]が挙げられる。これらの研究では、沖合から沿岸への津波増幅率の開発・高度化を行っている。しかし、増幅率の周波数依存性、すなわち津波の周波数に応じて増幅率が変化することが考慮されていない。本研究は、この課題に着眼した。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸付近の津波伝播特性を、短時間かつ簡便にリアルタイム津波予測解析に導入できるようにするための手法の開発を行うことを目的とする。具体的には、沖合と沿岸の地点間の津波増幅率の周波数特性を推定するとともに、その特性をリアルタイム津波予測に組み込むための漸化式デジタルフィルタの設計を行い、その性能を検証した。

3. 研究の方法

沖合と沿岸の地点間の津波増幅率を、観測データに基づいて統計的に推定するには、同一の津波を沖合・沿岸のペアで観測した多数の事例が必要である。しかし、地震に比べて津波の発生頻度は低く、また、海底水圧計やGPS波浪計等の沖合津波観測点が充実してきたのはごく最近のことであるため、ペアで津波を観測した事例は少ない。そこで、本研究では、実際の観測データの代わりに、津波数値計算の結果を活用することとした。すなわち、多数の地震断層について津波数値計算を行い、それにより得られる沖合・沿岸の津波波形を、実際に観測された津波とみなして、津波増幅率の推定やフィルタの設計を行った。数値計算においては観測点を自由に設定できることから、津波増幅率の地域性等を系統的に調査できる、といった利点もある。

本研究では、以下に示す(1)~(4)に沿って、研究を進めた。

(1) 多数の断層モデルについての津波数値計算の実施

断層の位置やマグニチュード等のパラメータを変えながら多数の断層モデルを設定し、それぞれについての津波の数値計算を行って、沖合および沿岸地点における津波波形(水位変化の時間系列)を得た。本研究では、沿岸付近の津波の挙動を再現することをねらいとしていることから、高分解能の海底地形データ(最小分解能は50 m)を用い、非線形長波理論に基づいて津波数値計算を行った。

(2) 沖合から沿岸への津波高の増幅率の周波数特性の推定

沖合と沿岸の地点が近い場合には、波源の特性と外洋の伝播特性は両地点で同一とみなせるため、両地点の津波高スペクトルの比は、地点間の伝播特性すなわち周波数特性を考慮した津波増幅率に相当するとみなせる。この考え方に基づいて、増幅率の周波数特性を推定した。

具体的には、各断層モデルの津波数値計算結果について、沖合地点と沿岸地点との間の津波高スペクトル比を求める。このスペクトル比について、多数の断層モデル全体で幾何平均をとることで、沖合から沿岸への津波増幅率の平均像を推定した。

(3) 津波増幅率の周波数特性を持つ漸化式デジタルフィルタの設計

上述(2)で推定した周波数特性を持つ津波増幅率を、リアルタイム津波予測に組み込めるようにするため、同特性を持つ漸化式デジタルフィルタ(時間領域で適用可能)を設計した。ここでは、上述(2)で得た振幅特性のみをフィルタ設計に用いており、位相特性については因果律を満たすように設計した。これらの設計は、Hoshiba [2013, BSSA]が地震動のリアルタイムサイト補正のために提案したフィルタ設計手法にならったものである。

(4) 提案手法の性能評価

上述(1)~(3)に沿って設計した津波増幅率フィルタについて、津波高の予測性能を検証するため、数値実験を行った。具体的には、沖合の津波波形に対して、本研究の提案フィルタを適用し

て沿岸の津波高を予測し、正解の沿岸津波高をどのくらい再現できているかを調べた。また、比較のため、沖合から沿岸の津波高を予測する手法としてしばしば用いられるグリーンの法則(周波数によらず増幅率は一定)による予測も行った。

4. 研究成果

(1) 津波増幅率の周波数特性の特徴

本研究では、湾の形状が比較的単純で、解析・考察の見通しがよさそうな岩手県宮古湾に着目して解析を行った。湾外に仮想的な沖合地点、湾内の複数の場所に仮想的な沿岸地点を設定し、沖合地点から各沿岸地点への津波の伝播特性を調べた。その結果、たとえ同じ湾内であっても、場所によって増幅率の周波数特性が異なりうることを示す結果が得られた。また、湾口に近い地点同士は周波数特性の形状が似る一方、湾奥では異なる形状を持つ傾向がみられた。このことから、後続処理で漸化式デジタルフィルタを準備する際には、同じ湾内でも1つのフィルタで代表させるのは不十分であり、一定の地域性を考慮して、複数のフィルタを準備する必要がある、という知見を得た。

(2) 提案手法による津波高の予測性能

上述(1)と同様、岩手県宮古湾について解析を行った。上述(1)で推定した津波高増幅率の周波数特性を持ち、かつリアルタイム津波予測に適用可能な漸化式デジタルフィルタの設計を行い、その予測性能を数値実験によって検証した。沖合地点の波形(図1の右上図)に本研究のフィルタを適用して沿岸地点(宮古湾内の水深30m地点)の波形を予測したところ(図1の右下図の赤色線)、正解に相当する模擬的な観測波形(図1の右下図の黒色線)の振幅を良好に予測しうることがわかった。なお、位相がずれているのは、2地点間の位相特性をフィルタに組み込んでいないためである。

本研究の結果を、従来から用いられてきたグリーンの法則による沿岸津波高予測の結果と比較したところ、いずれにおいても予測精度が向上した。こうした傾向は、湾内に設定した他地点(水深50m、40m、20m、10m)でも同様にみられた。これらのことから、本研究で提案した手法は、従来のグリーンの法則による津波高の予測精度の改善に貢献しうるといえる。

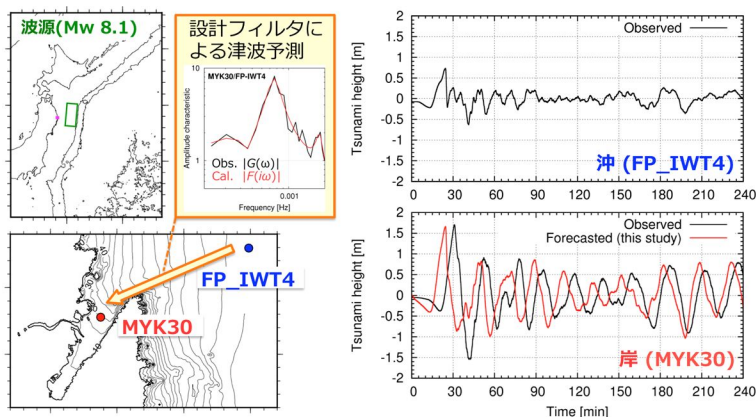


図 模擬観測データを用いた津波予測実験の結果。仮想波源(左上図)に伴う津波について、沖合地点(FP_IWT4)の津波波形(右上図)から、本研究の手法によって予測した沿岸地点(MYK30、水深30mの地点)の津波波形(左下図の赤色線)を示す。右下図の黒色線は沿岸地点での模擬観測波形を示す。

(3) リアルタイム津波予測に向けた工夫の必要性に関する知見

上述(2)の結果について、より詳細に分析したところ、湾に入射する津波の高さと予測対象の沿岸地点の水深の比率に応じて、予測精度が系統的に変化する傾向がみられた。津波数値計算を用いてこの原因を調べた結果、入射する津波高に応じて、底面摩擦によるエネルギー減衰の割合が異なるためであることがわかった。このことをふまえると、津波高の高低2パターンの増幅率フィルタを事前に作成しておき、沖合でリアルタイムに観測された津波高に応じてそれに適したフィルタを選択することで、津波高の高低に関わらず、精度の良い津波高の予測を行えるようになることが期待できる。

(4) 今後の展望

本研究では、リアルタイム津波予測の改善を目指し、まずは津波高(振幅)に着目した手法を提案した。一方で、本研究では成果を出すには至らなかったが、津波予測の観点では、沿岸における津波の到達時刻も重要な予測項目の1つであることから、今後は、位相特性も考慮した津波高増幅率に昇華させる必要があると考える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計6件)

Tsushima, H., Real-time correction of tsunami site effect by frequency-dependent tsunami-amplification factor, 2017 AGU fall meeting, 2017

対馬弘晃、周波数依存する津波高増幅率を用いたリアルタイム津波サイト補正、日本地震学会 2017 年度秋季大会、2017

Tsushima, H., Real-time correction of tsunami site effect by frequency-dependent tsunami-amplification factor, International Tsunami Symposium 2017, 2017

Tsushima, H., Real-time correction of tsunami site effect by frequency-dependent tsunami-amplification factor, IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly 2017, 2017

Tsushima, H., Frequency-dependent tsunami-amplification factor derived from tsunami numerical simulations, 2016 AGU Fall Meeting, 2016

対馬弘晃、津波数値計算に基づく沖合から沿岸への津波高増幅率の周波数特性の推定、日本地震学会 2016 年度秋季大会、2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。