

氏名	Lee Ho Jun 李 昊 俊
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)土木工学専攻
学位論文題目	日本海における津波伝播特性と危険度に関する研究
指導教官	東北大学教授 首藤伸夫
論文審査委員	主査 東北大学教授 首藤伸夫 東北大学教授 澤本正樹 東北大学教授 田中仁 東北大学助教授 今村文彦

論文内容要旨

第1章 序論

日本海は津波が時々発生する地域であったが、ここ十年くらいの間には大津波が続けて発生し、最近のプレート運動の活発化が、懸念されている場所である。津波に関する研究も、これにともない行われるようになってきてはいるが十分ではなく、特に沿海州、韓国沿岸での津波については判らないことが数多く残されている。日本海の大和堆や島まわりの浅瀬が津波伝播に与える影響について、数値計算で再現する手法は、ここ20年来発展してきているが、その基本となる計算格子の大きさと結果の精度との関連については、まだ検討が十分になされていない。本研究では、地形表現をどうすればよいかについての基準作成を行ったのち、この結果を用いて日本海での津波伝播特性および沿岸での最終影響を数値実験によって究明、津波危険度を検討することをその目的とする。

過去に日本海で発生した津波は、約3時間以内に日本海の全域に伝播して、そのすべての沿岸に影響を与えた。特に日本の沿岸では10m以上の巨大な津波が沿岸に到達した。日本海の中心部の大和堆を通過しながら津波伝播特性とその方向が変化し、韓国の東沿岸への津波エネルギー集中が発生した。こうしたエネルギー集中は、近地津波では初期波形と伝播途上の地形が、遠地津波では伝播途上の地形が大きく影響する。

日本海での津波の伝播に関する現象を数値実験によって究明するのにおいて、有限差分法での計算格子の大きさに左右される地形表現精度の関連については、まだ検討が十分になされていない。現在までの検討の殆どは、津波波長と計算格子間隔の関連のみであり、計算格子の大きさと結果の精度と津波計算結果の関連については、殆ど見るべきものがない。その結果、島周りの津波や遮蔽域に入り込んだ津波の再現精度が悪く、実用上大きな問題となっている。こうしたことから考えて、地形表現の基準作成を行った後、この結果を用いて日本海での津波伝播特性、津波危険度の検討を行う。まず、一様傾斜海底、円形島、半島のような、比較的単純で理論解を得られる地形に対し、理論的な考察と格子間隔を

変えた数値計算結果との比較から、津波の屈折、沿岸での波高分布に対し、必要な精度の結果を得るための基準を求める。ついて、不定形的な海底地形に対する地形近似基準を作成から、大和堆のような浅瀬、あるいは能登半島に見られるような半島、隠岐の島のような島を含んだ日本海にたいし、この基準を適用した空間格子間隔の数値実験が、過去の津波(1983年日本海中部地震津波や1993北海道南西沖地震津波)を必要な精度で再現出来るかの検討を行い、この反省を含めて、海底形状に対応した空間格子間隔決定の基準を確立する。さらに、この基準に従いながら、日本海全域で発生が予想される全津波に対する数値計算を行い、津波の集中する地形を洗い出し、日本だけではなくロシア、韓国までを含めた沿岸の津波危険度を明確にする。最後に、日本海で津波により発生可能な被害を分類・分析を行い、将来に発生可能な津波の危険度を評価する。

第2章 津波屈折計算精度

長波の屈折計算の精度を波向線方程式を基礎に、理論解、解析近似解と数値解(離散解)を比較することにより検討した。地形条件としては解析関数で表される円錐形の島を想定し計算を行った。この時、螺旋状に伝播する波向線の軌跡だけでなく、波向線間隔に依存する屈折係数も空間格子寸法の影響を大きく受けることが示された。

さらに、地形を表現する解析関数を工夫することにより、屈折計算の精度検討の範囲を広げることが可能となった。最も大きな誤差を生ずるのは、島背後の波向線が大きく向きを変えて到達する場所であり、従来から経験的に指摘されている事と一致していることが分かった。

最後に、一樣斜面での波向線奇跡だけでなく、屈折係数の誤差を評価した。汀線に到達する波向線の軌跡と屈折係数の影響を、波高分布を考慮して調べた結果、波高分布の幅が狭くなるほど軌跡の誤差の影響で沿岸波高に大きな差が生ずることが示された。

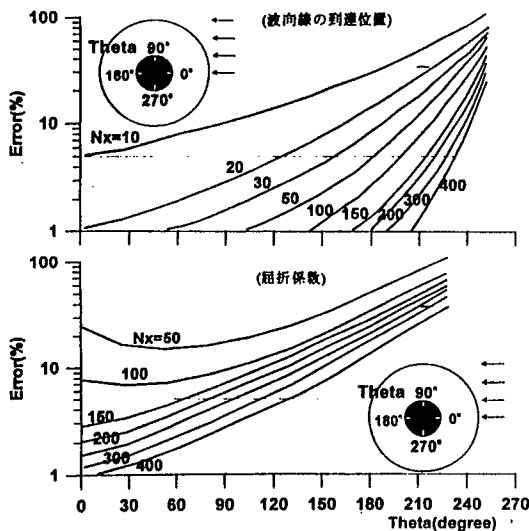


図1 円形島周辺での屈折計算誤差

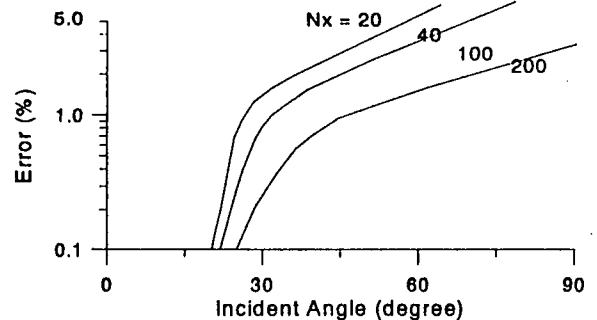


図2 一樣斜面での屈折係数の計算誤差

結果として、図1に円形島周辺で評価された波向線位置や屈折係数の誤差を示し、図2には一樣斜面上で評価された屈折係数の誤差を示す。ここで、 N_x とはそれぞれ円形島直径や一樣斜面長を成す空間格子数を表し、Incident Angle(θ)は波向線の入射角度である。

第3章 計算対象領域と格子間隔の選定

津波数値計算を行うにおいて対象になる地形をどの程度の格子間隔で離散化すればよいかに対する格子間隔選定方法を検討した。

2章で述べている解析関数で表現できる理想形の地形でなく、海図からの実際の地形に対して、拡張Fractal次元を用いる方法を応用し、三つの方法で二次元の海底地形に適用することで説明することが出来た。これらは海底地形の表現基準、水深により変化する長波の伝播速度を考慮した基準、そして津波伝播エネルギーの保存を考慮した基準であり、この方法を日本海中心部の大和堆に適用し、その変曲点から最小必要格子間隔として1~2kmが選定でき、これを数値計算に利用した。

この表現方法をさらに奥尻島南端に適用し、適切な格子間隔を求めた。またこれを、波向線を用いた屈折解析結果や仮想津波計算結果から求めた格子間隔選定基準と比較することで妥当性を検討した。

こうして求めた格子間隔を利用し、1993年北海道南西沖地震津波の青苗での遡上高を算定した。観測値と計算値の比較結果から、奥尻島南端での地形表現基準となる空間格子間隔の選定の妥当性が確認できた。また、このような複雑な地形での数値計算の際、必要とする計算格子間隔の選定方法として、ここで提案された方法の使用可能性が確認できた。

第4章 日本海での津波挙動

日本海東縁部で発生する津波の挙動特性を検討した。

まず、日本海中央部にある大和堆が津波の伝播に大きく影響することを重視し、津波の屈折の精度が地形表現の精度と密接に関係することから、それを考慮に入れた空間格子間隔を使用した。

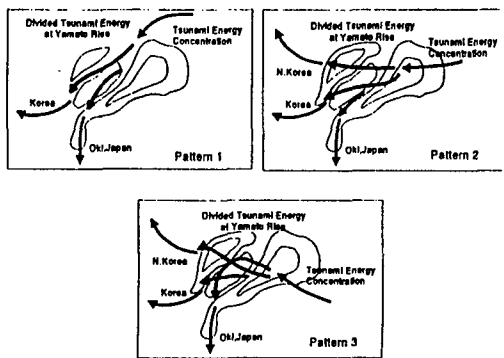


図3 大和堆での津波屈折パターン

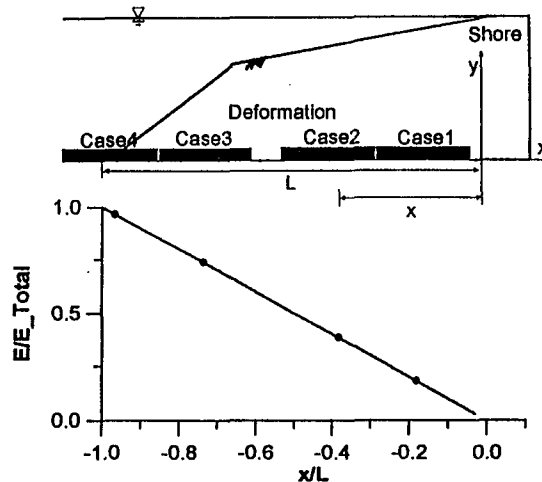


図4 酒田沖での波源位置とエネルギー放射率の関係

日本海東縁部での歴史地震津波及び想定地震津波を数値計算し、波源の位置と大和堆のレンズ効果の関連を調べた。大和堆がエネルギーを集中させ、その後北朝鮮、韓国、隠岐の島の3つの方向へ特に放出する現象が見られた。これは、波源の位置によって変化するが、波源と大和堆を結ぶ直線の延長方

向にエネルギーが集中する。大和堆の影響を量的に確認するために、大和堆付近を 3000m でフラットにした大和堆のない仮想地形上での津波の数値計算を行い、韓国沿岸に到達した最大津波高を調べた。このことより、大和堆に集中した津波エネルギーの伝播様相が確認できた。図 3 は大和堆での津波エネルギーの分岐パターンを示している。

最後に、陸棚での波源位置が外海へのエネルギー放出量を左右することが数値的に示された。陸棚付近で発生する津波エネルギーの放出率や補足率を調べるために、酒田沖で発生が予想される想定地震津波の波源を沿岸方向に変化させその伝播を計算した。ここで、波源位置の変化はエネルギー放出量だけでなく、大和堆での屈折現象にも大きな影響を持つことも示された。図 4 に陸棚付近での波源の位置や放射エネルギー量の関係を示し、直線の下部分がエネルギー放射率を表す。

第5章 日本海沿岸での津波危険度の評価

将来、日本海地震空白域から発生が可能な地震津波による危険度や被害を、津波の到達時間、その大きさ及び持続時間に関連しながら分析、評価した。

まず、津波到達時間や大きさは、日本海東縁部で予想される想定地震津波に対して日本海全沿岸での到達時間の最小値や最大津波高を数値計算して評価した。津波の持続時間に関しては、1983 年日本海中部地震津波や 1993 年北海道南西沖地震津波発生後の三日間の検潮記録から計算されたエネルギー減衰率で評価した。

この空白域での津波発生確率が高まっている現在、日本海での津波警報システムはまだ確立していません。津波による被害を軽減する為に広域監視システムの確報、各国からの資料の交換及び各地での津波数値モデル結果を検討から災害に対する総合対策を求める必要が不可欠である。

本研究での結果は、日本海全体を対象とする総合的な評価値であり、地域ごとに異なる津波被害に対する詳細な分析が必要である。このような、日本海全体を結ぶ総合対策を求めた上に、各国、各地域ごとの詳細な津波危険に対する対策を求めるプログラムの開発が急な課題である。特に北朝鮮や韓国のように、津波の経験がなく、情報のない地域の住民への広報はもっとも重要な課題になる。

第5章 結論

本論文の結論である。

審査結果の要旨

歴史的に見て、韓国日本海沿岸が津波に襲われることは極めて少なく、しかも被害を伴った津波はほとんどなかった。ところが、1983年の日本海中部地震津波、1993年の北海道南西沖地震津波と引き続いて被害が生じ、さらに近い将来に日本海東縁部での津波発生が予想されていることから、韓国沿岸での津波の挙動を知ることが急務となっている。ここへの津波集中には、大和堆で代表される浅瀬上での屈折伝播が決定的な要因となる。本論文は、地形による屈折集中効果の再現に必要な空間格子寸法を定める判断基準を提案し、それに基づいて日本海を対象に高精度の計算を実行し、韓国沿岸の津波危険度の推定を行った研究で、全文6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章は単純形状の地形に対する屈折計算精度の検討である。理論解の存在する円形島、一様傾斜斜面に対し、空間格子寸法を変えて屈折計算を行い、波向線到達位置及び屈折係数の誤差について検討した。更に、北海道奥尻島を例としながら、写像関数により任意形状の島に対する議論へと拡張した。これらにより、空間格子寸法と発生する誤差の関係を明確にした。これは、重要な成果である。

第3章は、現実の複雑な地形に対する屈折計算誤差の議論である。地形、波速、エネルギー伝播に関する、3種類の拡張フラクタル次元を導入した。これらは空間格子寸法の関数となり、その変曲点から最小必要格子間隔を定めることが出来ることを、大和堆を例題としながら、明らかにした。この方法を奥尻島南端部に適用し、第2章の結果と比較して、拡張フラクタル次元を考えて決めた格子間隔の持つ意味を明確にした。これらにより、複雑な現地地形に関する離散化基準が初めて確立された。

第4章は日本海における津波の計算である。第3章で決定された空間格子寸法を使っている。過去に生じた2津波をまず精度良く再現した。ついで、近い将来発生が予想されている酒田沖空白地域での津波を推算した。波源と大和堆の位置関係、および波源と日本海東縁部大陸棚との位置関係との二つが、韓国沿岸での津波高分布に大きな影響を与えることを明らかにした。これは重要な知見である。

第5章は、韓国東沿岸での津波危険度の算定である。最大津波高、津波到達時間を直接的被害の指標とした。経済活動中断という間接的被害を津波継続時間で代表させた。発生が予想されている津波に対し、これら津波危険度の地域分布を明らかにした。これは実用上、極めて有用な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、津波数値計算の精度向上のために必要とされる地形離散化基準を確立し、これを満足する数値計算を日本海に対して行って、近い将来における韓国沿岸の津波対策基礎資料を作成したものであって、津波工学・自然災害科学の発展に寄与する所少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。