

学位論文題名

北海道南方沖に発生する津波による津軽海峡沿岸域の
振動応答特性に関する数値的研究

学位論文内容の要旨

この数年来、北海道近海を震源とする津波地震が頻発し、大きな津波災害が相次いでいる。津軽海峡沿岸域も、三陸はるか沖から北海道南方沖にまたがる海域で発生した多くの津波により、過去幾度となく被災している。外洋を伝播する津波については既に多くの研究が積み重ねられ、その挙動が明らかにされてはいるが、津波災害の発生域である沿岸部や海峡、あるいは湾内部における津波は、対象とする地域の地形的影響が大きいために、その特性が解明された地域は未だ少ない。本研究は、比較的津波資料が豊富で、過去に襲った津波の性質も解析可能である津軽海峡と陸奥湾について、これらの資料の解析と、北海道の南方沖に想定したモデル津波を用いた数値計算により津波応答を解明し、同海域の津波防災上の一助となすものである。

本論文は全6章から構成されている。

第1章は序論であり、津波に関する研究の動向について概説し、本研究の目的について述べている。

第2章では、まず、津軽海峡の地形的特徴を記述している。津軽海峡には太平洋から水深200m以深の陸棚斜面が入り込み、西口付近まで達していて、日本海側からの津波に比べ、太平洋側からの津波の入射が比較的容易であること、また海峡の中間部に水深50m程度の陸奥湾が開口し、全体として水理学的にも複雑な形状であることを説明している。

次に、海峡内部の9検潮所で観測された7例の津波、合計20記録のフーリエ解析を行った結果について述べ、それらの津波の規模や発生場所の相違にも関わらず、津波スペクトルは各観測地点に特有の周期スペクトルとして出現すること、それらのスペクトル中で強度が大きく、出現頻度の高いものが37種あること、およびこれら検潮所所在地中で、スペクトル強度が最大となるのは函館港であることを示している。

第3章では、津波シミュレーション計算のための理論を展開している。基礎方程式としてナビエ・ストークス流体運動方程式と連続方程式を用い、これらを鉛直方向に積分して2次元化し、さらに差分化して数値計算に至る手法を示している。

第4章では、モデル津波による津軽海峡と陸奥湾の応答振動について述べている。まず、数値計算を行う海域として、北緯39度28分から42度58分、東経140度05分から145度50分までの太平洋領域と、北緯40度48.0分から41度52.3分まで、東経139度51.5分から141度31.6分までの津軽海峡領域をとり、太平洋領域は一辺10kmの格子、海峡部は

その1/3の正方形格子に分割し、計算時間ステップを10secとして、津波発生から27時間27分後まで計算したこと、および、モデル津波として1968年十勝沖地震津波の波源域に、中心部の最大水面変位を+60cmとする楕円形波源を想定したことを述べている。次に、計算結果に対して行ったフーリエ解析から得られた周期スペクトルの多くが、実測津波のスペクトルと良く一致し、計算手法および計算領域の格子化の妥当性が確認されたことについて述べている。

数値計算によって得られた海峡と陸奥湾領域の海岸線位置に相当する全格子点の波高時系列データのフーリエ解析から、各スペクトルの出現範囲とその強度が明らかにされ、それらの応答共振海域を特定している。次に、各応答振動の時空間分布を知るための手法として、非再帰型数値フィルターを設計し、計算波高時系列から個々の共振振動を分離するための理論を述べている。

第5章は種々の解析結果を述べたものである。先ず、海域の全格子点の波高時系列データに対して行った、数値フィルターによる応答振動の分離結果を示している。次に、共振振動の等高線図が作成され、主要な9種の共振振動の空間分布が明らかにされている。すなわち、最長周期を持つ振動として、津軽海峡と陸奥湾の全域を共振域とする、スペクトル周期307.2分に分離される単節セイシュが見出されている。周期139.6分と一部海域に見られる153.6分に分離される応答振動があり、海峡部では東西両口に節を生じる双節セイシュの形態をとり、陸奥湾では海峡部に直列接続する形式の単節副振動を行なって、全体が調和的な振動をしている。陸奥湾には、307.2分振動の3次モードに相当する周期102.4分振動が励起される。主として函館湾に強く励起される周期56.9分振動がある。陸奥湾内のみにも励起される周期53.0分副振動がある。陸奥湾を含む海峡全域にわたり、海峡部では三節セイシュ、陸奥湾はこれに並列接続する形式で双節副振動する周期49.5分振動があり、特に函館湾で発達すること。下北半島の北岸と渡島半島の函館湾から木古内に至る西部海岸を反射端とする単節副振動が存在する。同じ海域に双節副振動も起こる。これとは独立して同じ周期で振動する陸奥湾の三節副振動があること。海峡部に四節セイシュである周期29.5分振動が生じることを説明している。

時間分布としては、上記の各セイシュ及び副振動について、とくに発達する地点及び反射端となっている地点の波高時系列を示し、その発達と減衰について述べている。

次いで、津軽海峡東口のモデル津波波高を入力波として、海峡内部の主要地点の波高とのクロススペクトルを求め、内部地点の周波数応答関数を評価している。また周波数応答関数曲線の各スペクトルピークとその半値幅から、共振の鋭さを表すQ値と、振幅減衰の係数である γ を求め、入力津波に対する利得と増幅度を求めている。また増幅度に対する利得の比から、各応答振動の振幅飽和値に対する発達度を算定し、これらの各値から地点ごとの津波危険度について推定している。さらに、数値フィルターによって得られた応答振動の振幅時系列データを用い、各応答振動の過渡的時間発展、すなわち、津波による強制期間中の振幅発達と、津波強制が途絶えた後の振幅減衰を推算し、津軽海峡海域における津波の地域別危険度と津波来襲後の要警戒期間の考え方について述べ、それに基づき警戒時間を試算している。

第6章は結論であり、本論文の総括をしている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 成 誠 一
副 査 教 授 岡 田 廣
副 査 教 授 菊 地 勝 弘
副 査 助 教 授 日 比 谷 紀 之 (東京大学大学院理学研究科)

学位論文題名

北海道南方沖に発生する津波による津軽海峡沿岸域の 振動応答特性に関する数値的研究

日本列島は、太平洋プレートの沈み込み帯の北西部に位置し、世界的にも活発な地震活動域のひとつとなっている。こうした地理的条件のために、世界でも有数の津波発生地域ともなっている。特に、近年の北海道周辺の地震津波に限っても、1952年の十勝沖地震津波以来既に30を越す津波の発生が記録されている。電子計算機の発達に伴い、外洋域で発生した地震に対し、日本列島沿岸に到達する津波の襲来時間および波高の予測がある程度可能になってはいるが、この津波が海峡域さらには沿岸港湾に入射したときに最大波高になる時刻やその時の波高、また、波高が警戒水位以下にまで減衰するのにどれくらいの時間を要するかを予報しうる状況にはなっていない。申請者の研究は、津軽海峡沿岸域をひとつのモデルとしてとりあげ、海峡並びに海峡内沿岸港湾の津波に対する特性を解析し、海峡内沿岸の津波予報を可能ならしむる方法を提案したものである。

まず、申請者は、過去23年間に襲来した津波に関する海峡内9点の検潮記録20例を解析し、各検潮所での津波スペクトルを特定した。この解析により、複数の異なる津波に対し、同一検潮所での卓越周期が津波に依存しないことを見出した。総計20例のパワースペクトルから37の卓越周期を見出し、海峡内の検潮点には、この内のいずれかの成分波が常に含まれることを明らかにした。このことは、津波が海峡内に進入すると、津波固有の振動成分が海峡内の種々の副振動のエネルギーに変換され、海峡並びに海峡内の湾固有の振動を励起することを示唆するものである。この点を詳細に確認するのに十分な数の検潮所が存在しないことを考慮し、申請者は、北海道南方沖に震源域を仮定した津波モデルを構築し、この津波モデルに基づき海峡内各地の津波の詳細な解析を行った。

モデル津波の海峡内での波形並びにスペクトルが実測津波と良く一致することを確認した上で、海峡内に進入する状況、また、励起された副振動のパターンを卓越周期毎に整理し、海峡内沿岸各地特有の振動パターンを特定した。さらに、モデル津波の水位変動時系列に過渡応答解析を適用し、海峡内の各湾の津波に対する応答関数を決定し、海峡部並びに各湾の固有振動に対応するQ値ならびに減衰係数を決定した。いうまでもなく、Q値は共振の増幅度に対応するものである。この解析によって、海峡部に進入した津波が海峡内でどれくらい増幅されるか、また、最高水位に到達する時間(立ち上がり時間)、水位が

その最高値の2分の1にまで減衰するに要する期間（半減時間）を沿岸各地について決定し、沿岸各地の共振特性を明らかにすることが出来た。これらのパラメータは、海峡及び港湾の地形のみに依存し、入力波（津波）に依らないことは重要である。すなわち、このようなパラメータの決定によって、外洋で生起した津波がこの海域に到達したときに、どれくらいの水位上昇をもたらすか、また、水位上昇の時間、また、その解消までの警戒時間がいかほどであるかをあらかじめ予想することが可能になり、沿岸津波防災上きわめて重要である。この成果は、津波のみならず、沿岸を通過する低気圧による高潮擾乱にも適用できるものである。津波は厳密には非定常不規則過渡過程と考えられ、これまで、線形の非定常過渡過程として扱うことを避けてきたきらいがあったが、申請者は、あえて統計的性質の近似的変更をおこなって、防災という見地から、非定常過渡過程の適用に踏み切ったものである。

以上を要するに、津軽海峡という限定された海域とは言え、このような津波に対する過渡応答解析は、申請者によって初めてなされたものであり、今後、この手法は他の海域にも適用され、津波防災に重要な貢献をもたらすものである。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。