

気仙沼湾におけるリアルタイム津波監視システムの検討

東北大学工学部 学生員 ○今中 剛
東北大学工学部 正会員 今村 文彦
東北大学工学部 正会員 首藤 伸夫

1.はじめに

現在三陸沿岸地域では、地域での津波監視・予警報システムとして、沿岸に高精度の潮位計、釜石沖には海底津波計が設置されている。これらのシステムを有効に利用するためには、ある地点で津波を計測した後、他地点へ何時、どの程度の津波が来襲するかを推定する定量的な関係が不可欠である。そこで、本研究では、このような例として、気仙沼市に設置された2ヶ所（湾口の杉ノ下と湾奥の南町、現在は神明崎に移転）の潮位計の利用を考慮して、両者間の関係を求めることを目的とする。

2.数値モデルと計算条件

2ヶ所での津波波形の関係を知るためには、津波伝播数値モデルを利用する。ここでは、対象領域が図-1に示すように120mより浅い海であるため、次式で表される非線形長波理論を用いる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

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

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

M, N は流量、 η は静水深からの水位上昇量、 g は重力加速度、 n はマンニングの相当粗度、 D は全水深（水位と静水深）である。

空間格子間隔は50m、時間格子間隔は1秒である。

陸側境界は鉛直壁とし流量零とする。沖側境界条件は2種類ある。まず、側方境界では自由透過とする。下方境界では津波を入力するが、その方法は2種類である。

ここでは、まず、杉の下で得られた波形を修正して強制入力する。1994年10月4日の北海道東方津波と1994年12月28日の三陸はるか沖津波を対象として検討する。

ついで、さまざまな周期・波高の正弦波を入力させ、杉の下・湾奥間の増幅率の検討を行う。

3.計算結果と計算条件の検討

まず、既往津波再現計算における強制入力波形の作成方法について検討する。水深の違いのみを単純にGreenの式で考慮して下方境界での強制入力とした計算波形例を図-2に示す。三陸はるか沖津波の場合である。杉の下（上図）では、周期の対応はよいが、波高での誤差が大きい。計算第一波の波峰は過小であり、それ以降は過大である。これは、外海境界と杉ノ下との間では、単純な進行線形長波としての関係が成立せず、平面的な広がりを含めて、反射波などの影響を受けているためである。

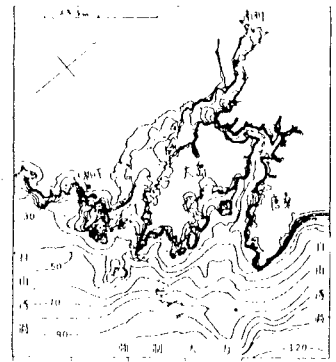


図-1 計算領域

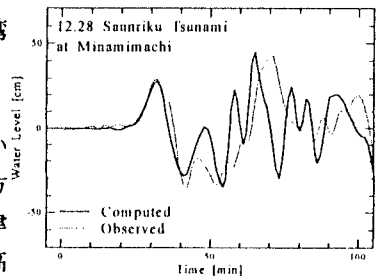
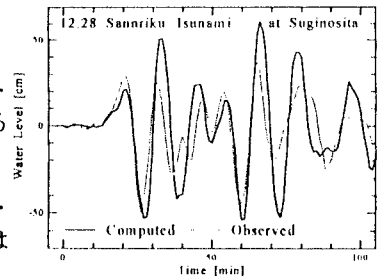


図-2 観測値と計算値の比較

そこで、この難点を補正するために、第一波とそれ以降の成分とに分け、観測値振幅と計算値振幅の比の平均的な値を係数としてそれぞれに乗ずるという強制入力波形修正を行った。その結果得られた杉の下波形（図-3 上）により、強制入力波形が改善された事が判る。

こうして得られた入射波条件が妥当なものとして、湾奥での波形再現性を検討した（例えば、図-3 下）。最高水位再現誤差として、（観測値と計算値の差の絶対値）／観測値を百分率で表す。

三陸はるか沖津波の場合、誤差が杉ノ下で 2%，南町で 13%であった。北海道東方沖津波では、杉ノ下で 2%，南町で 17%であった。

従って、本モデルによれば、最高水位を 20%以下の誤差で再現できると言える。

4. 湾内増幅率の推定

襲来津波の周期によっては、湾の固有周期との関係で、湾内の波高増幅率に差の出ることが当然予想される。第 1 波が押し波で始まる正弦波を下方境界から入力させ、此の点の検討を行った。津波の場合、共鳴が十分発達するには 3 波入力すれば良いとされているから、最低 5 波入射した以降の最高水位を増幅率検討の対象とした。湾内波高増幅率として、杉ノ下の第一波津波高に対する湾内最高水位の比を取ることとした。

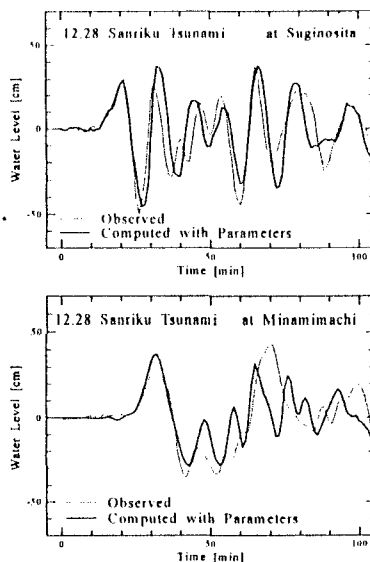


図-3 観測値と修正後の計算値の比較

リアルタイム監視システムを想定した場合、杉ノ下での第一波波峰と津波到達からその波峰までの 1/4 周期とが情報として入手できる。そこで、横軸に周期、パラメータとして杉の下での津波高をとり、増幅率を調べた。図 4 が結果である。

増幅率は、この湾の固有周期（約 60 分）においてピークをもち、波高が小さいほどその傾向は大きい。杉の下津波高 50cm 以下の場合については未検討である。また、杉ノ下での波高が大きい場合に波高増幅率が低下する理由としては、非線形効果が効いてくること、湾奥での水深が 4、5 m と浅いため海底摩擦が効くこと、湾内の狭窄部が非線形的減衰効果を持つこと、などが考えられる。

5. 結論

杉ノ下での津波高が 50cm 以上の場合を対象に、予報に使うための湾内増幅率曲線を得た。杉ノ下の第 1 波の津波高と周期とにより、湾奥での津波高を予測できる。その精度は、既往津波の例題から誤差 20%以内であると考えられる。杉ノ下で第一波波高を観測後に湾奥（南町）に到達する時間は、10-15 分であり、避難に間に合う時間内に有効な情報を得、判断に資することが出来るから、この方法は現実に役立つことが十分期待できる。

最後に、この研究において気仙沼市役所の佐藤健一氏をはじめとする津波監視研究グループの方々にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

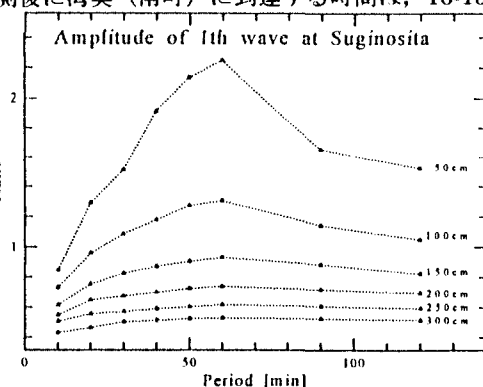


図-4 周期増幅率