

津波予警報に対する数値シミュレーションの利用

USE OF NUMERICAL SIMULATION AS A MEANS OF TSUNAMI WARNING

首藤伸夫*・後藤智明**・今村文彦***

By Nobuo SHUTO, Chiaki GOTO and Fumihiko IMAMURA

Possibility of quantitative forecasting of local tsunamis sufficiently before their arrivals, by use of a super computer, is examined. Provided that the initial tsunami profile can be determined within a few minutes after an earthquake by such a method as proposed by Izutani and Hirasawa, the tsunami numerical simulation based upon the linear long wave theory can be finished within two minutes and give practically accurate tsunami heights at every 200 m along the castline of the Sanriku district extending from 41°30'N. to 36°20'N.

Keywords: tsunami warning, numerical simulation

1. はじめに

津波常襲地帯の1つである三陸沿岸を対象として、近海で発生した津波を数値計算し、沿岸各地の津波の高さを襲来前に量的に予報することの実現性を、予報精度と予報速度の関連において考察する。

三陸沿岸は有史以来、幾度となく津波による災害を体験している。近年では、明治29年(1896)と昭和8年(1933)に起こった三陸大津波が大きく、この2度の津波による犠牲者は30,000余名を数える。

近年、沿岸各地に防潮堤や湾口防波堤など津波防災を目的とした施設が数多く建設されてきている。しかし、これらの施設は発生確率の高い中規模程度の津波を対象としているものであり、大津波を考えたものは数少ない。巨大津波対策としては防災施設、防災地域計画、防災体制を含めた総合的な対策が取り上げられるようになりつつある。なかでも、津波予報は防災体制の重要な要素であり、正確で適切な予報ができ伝達手段が完備されてい

るならば、人的損害の相当数を軽減できるものと期待されている。

現在、気象庁が津波の予警報を担当しているが、その根拠は震央距離、地震波の全振幅と津波の大きさとの間の統計的な資料である。日本沿岸を18海域に分類し予警報を発せられることとなっており、比較的広い範囲に関する平均的な情報を与えるものであるということができる。

津波予報が地元住民によって一応信頼されていることは事実であるが、その内情は必ずしも簡単ではない。避難などの最終的な判断は現地の責任者が下すのであるが、「現在の予報文ではいかに行動すべきか迷うことが多い。」、「頻繁に警報が出され、しかもこれまではたいした津波でなかったことが多いので、警戒心が緩みがちである。」といった反応が増えつつある。また、住民の一部には警報発令とともに避難とは逆に海岸へ見物に出かける者が増加している。この原因の1つに、ある程度の津波防災施設が完成し、安心感を与えていることが挙げられる。したがって、このままで推移すると、またしても多数の人的被害が生ずる可能性がある。これを防ぐためには、沿岸各地先での具体的な津波高さを伝えることが効果的な方法の1つであろう。これは津波数値予報で可能となる。

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋水理部
(〒239 横須賀市長瀬3-1-1)

*** 学生会員 工修 東北大学大学院工学研究科
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

津波数値予報として本論文で提案するのは次のような方法である。すなわち、地震発生とともに地震波の情報から推定される断層モデルを用いて津波初期波形を与え、それに基づいて津波数値計算を実施し、予報に供するものである。この際、問題となるのは、①津波初期波形の迅速な推定方法と、②数値計算の高精度化・高速度化の2つである。前者に関しては、Kanamori・Given¹⁾および泉谷・平澤^{2)~5)}らの研究例がある。精度など今後の研究を待たなければならない事項が残されているものの、従来、余震域などから決められていた断層の寸法を、比較的容易にかつ短時間で決定することができる手法が確立されつつある。本研究で焦点を当てるのは後者である。特に、数値計算の精度と演算速度に関して詳細な検討を実施し、津波の予報を対象とした最適な数値計算法について考察する。

本論文の内容を簡単に述べると以下のとおりである。まず、泉谷・平澤の津波初期波形の即時的推定法を前提とした津波の数値予報システムを提案する。次に、提案したシステムに用いる津波数値計算法の精度および演算速度についての詳細な検討を明治29年(1896)三陸大津波を例として実施する。最後に、1968年十勝沖地震津波を例として、泉谷・平澤の手法で決定された初期波形を使用し、津波数値計算を実施し、痕跡値と比較することによって、津波数値予報システムの実用性を検討する。この最後の検討は、現段階で使用できる手法の総合的な精度の検討であるといつてよい。誤差は初期波形推定時にすでに生じており、それに続く津波計算でも発生するものである。これらすべてを含め、実用に耐える結果が得られるか否かの検討を行うものである。

なお、本研究は泉谷・平澤との合同研究の結果の一部である。著者らは津波の数値計算を担当した。津波の初期水位すなわち地震断層のパラメーターの推定方法の詳細は泉谷・平澤の研究成果^{2)~5)}を参照されたい。

2. 対象海域と津波数値予報の方法

本研究で提案する津波数値予報システムの流れを図-1に示す。図-2は泉谷・平澤の即時的断層パラメーターの推定法に関するフローチャートである。断層パラメーターのうち断層の長さと破壊進行方向に関しては各観測点の記録から求めた強振動継続時間を用い、断層幅とすべり量は過去の地震から定めた経験式から、そして傾斜角およびすべり角はP波の初動から推定するのである。津波初期波形はこのように定められた断層パラメーターを用いて Mansinha-Smylie⁶⁾の方法で計算される。津波初期波形が定まると各沿岸での津波の水位は長波理論による数値計算により求められる。

三陸沿岸の津波の数値予報を目的とした数値計算法の

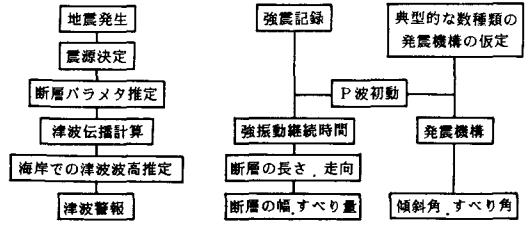


図-1 津波数値予報の流れ

図-2 即時的断層パラメーターの推定法

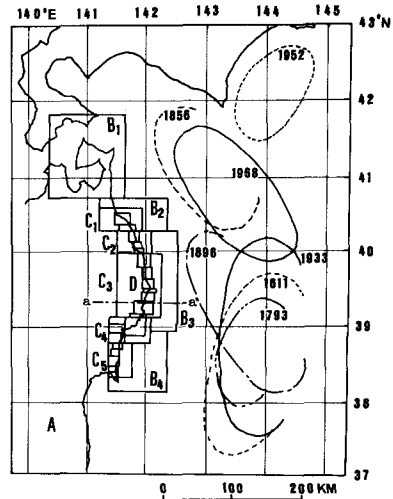


図-3 計算対象領域

一例を以下に示す。対象とした海域は、図-3に示す北海道根室半島沖から宮城県沿岸部までの北緯36°20'から43°00'、東経139°40'から145°20'までの範囲である。この領域をAからDまでの4段階に分け、深海域では計算格子間隔を5.4 km (1領域)とし、浅海域ははだいに格子を細かくし、1.8 km (4領域)、0.6 km (5領域)とし、最終的に0.2 km (22領域)まで細分化している。図中のA, B, Cはそれぞれ5.4 km, 1.8 km, 0.6 kmの各領域を表わし、D領域は0.2 kmを採用した22か所を示す。また、図には羽鳥⁷⁾により推定された歴史津波の波源域も同時に示している。

計算の支配方程式は線形長波理論

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} &= 0, \quad \frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

- x, y: 空間座標, t: 時間座標
- η: 津波の水位, h: 静水深
- M, N: x, y 方向の線流量
- g: 重力加速度

であり、計算法としてはリーブフロッグ差分法⁹⁾を用いている。また、計算の迅速性を考え津波の陸上遡上、構造物の効果を一切考えていない。さらに、津波以外の波は考慮しておらず、津波来襲時の天文潮位は T. P. 0 m としている。以上のように、この計算法は、深海域から浅海域まで連続的に計算する方法が採用されている点を除くと数値予報を考えた新たな技巧などを考慮したものでもなく、また従来のものに比べ演算速度は速いものの若干精度が劣るものとなっているといえることができる。したがって、津波の数値予報の精度を前提として計算の支配方程式、格子間隔、境界条件の設定法など個々の問題点を吟味する必要がある、以下に詳細な検討を行う。

3. 数値計算の精度と演算速度に関する検討

ここでは、2. で提案した計算法の支配方程式、格子間隔、境界条件に関する精度について、詳細な検討を行う。また、津波の数値予報では演算時間の高速化も重要な課題であり、両者の兼ね合いに関しても考察する。

なお、数値計算法の検定に用いた津波としては、比較的大規模なものとして 1896 年に発生した明治三陸大津波を選んでみる。ただし、初期波形には検潮記録と計算結果の比較から試行錯誤により求めた相田⁹⁾のモデルを用いている。当時は即時的に断層パラメーターを推定するための地震波データが完備されていなく、泉谷・平澤の方法を適用することができないからである。

(1) 計算の支配方程式

前節では支配方程式として線形長波理論の採用を提案した。浅海では誤差が増えると予想されるので、簡単な一次元伝播問題を取り上げ、高次近似項である非線形項、分散項の重要性について以下に検討を行う。

図-4 は 500 m 以深の海域に関して線形長波理論と非線形項を考慮した浅水理論、さらに分散項を考えた Peregrine の式¹⁰⁾を用いた計算結果を比較したものの一例である。この計算結果は図-3 に示した断面 a-a' に関するもので、津波発生後から 100 s 間隔の津波波形を表す。また、線形長波理論と浅水理論の計算にはリーブフロッグ法、Peregrine 式の計算には陰差分法が用いられており、計算格子間隔は計算誤差を小さく抑えるために津波の波長に比べ十分細かい 1.35 km を採用している。図から、深海域の津波計算では線形長波理論計算と浅水理論計算の差は全く現われず、非線形項は無視できることがわかる。また、Peregrine 式を用いたものは、分散項の効果が主峰の減衰や分散波列の発生となって現われ、多少の差がみられる。しかし、その差は小さく、やはり無視可能であることがわかる。

同様の計算を 500 m 以浅の浅海域に適用したものが図-5 である。計算格子間隔としては 0.2 km を採用し

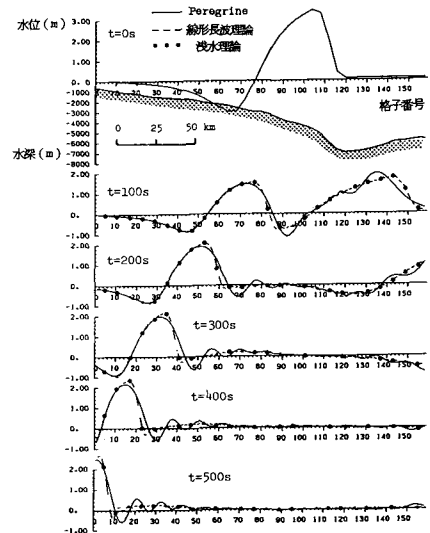


図-4 支配方程式の違いによる波形の比較(深海域 500 m 以深)

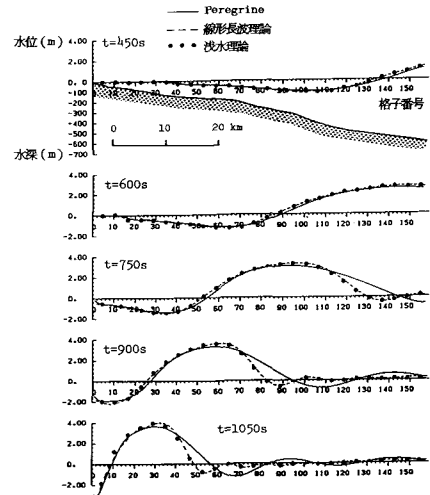
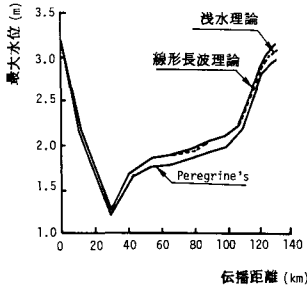


図-5 支配方程式の違いによる波形の比較(浅海域 500 m 以浅)

ている。図から、浅水理論による計算結果には線形長波理論に比べ波速の差による波形の違いが若干みられるものの無視できる程度であること、Peregrine 式を用いたものは深海域の場合に比べ分散効果が大きく現われたものとなることなどがわかる。

図-6 は以上の計算結果を最大水位に関して比較したものである。図は、当初 3.2 m 程度の水位であった津波が左右に分かれ減衰することにより 1.2 m 程度の水位となり、その後浅水変形のため増幅している様子を示す。この図からも線形長波理論と浅水理論計算の差は小さいことおよび Peregrine の式を用いた計算は分散性のため最大水位が低くなることがわかる。なお伝播距離 150 km 程度が海岸であり、海岸に近付くと浅水理論に



図—6 支配方程式の違いによる最大水位の差

表—1 演算時間の比較 (一次元伝播計算)

支配方程式	格子間隔	時間間隔	演算時間の比
線形長波理論	1.35km	2.5s	1.0
浅水理論			1.6
Peregrineの式			17.1

よる計算の方が幾分小さな値となっているのは、移流項の計算精度が他の項に比べ低く、移流項の打ち切り誤差に起因する数値散逸性が起こるためである。また、演算時間の比較を表—1に示しているが、線形長波理論による計算に比べ浅水理論が1.6倍、Peregrineの式が17倍も必要であることがわかる。以上のことから、高速度の計算が要求される津波の数値予報には線形長波理論を用いることが適切であると判断できよう。

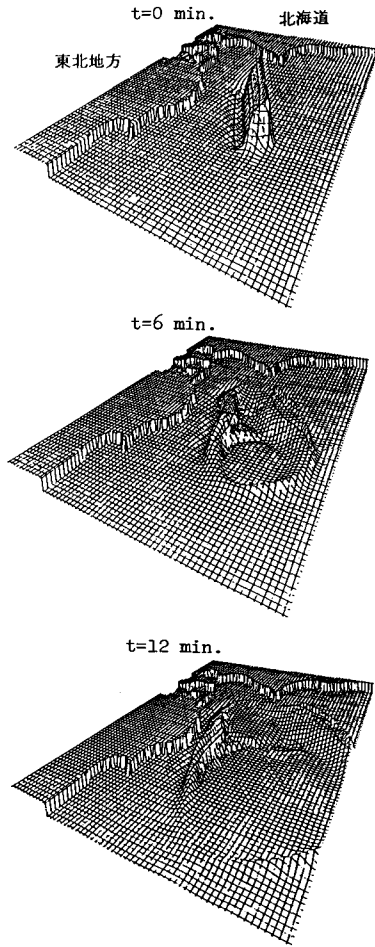
(2) 計算格子間隔

a) 深海部

ここでは深海部における二次元伝播計算を行い、計算格子間隔の違いによる計算結果の差および演算時間の差について検討する。計算の支配方程式は前節の結果から線形長波理論を用い、従来の三陸沿岸の津波の計算には普通5 km程度の計算格子を用いている例が多いことから格子間隔として2.7 km, 5.4 km および10.8 kmの3種類を比較の対象として選んでいる。

図—7に格子間隔2.7 kmの計算結果の一例を示す。図は津波発生後から6分ごとの三陸沿岸へ向かう津波の様子を描いたものである。図は鉛直方向に拡大され描かれているので注意が必要である。初期津波の最大水位は4.0 m, 短軸の水平距離は約50 kmである。

図—8は計算格子の異なる3種類の水位の経時変化に関する比較を行ったものである。出力地点は浅海部計算への接続を考慮して水深1000 mの等深線上に6点を選んでいる。図中の数字は格子間隔2.7 kmの場合の最高水位および最低水位を表わす。各地点いずれも引き波で始まり津波発生後10分から15分後に最大水位を生じている。主峰の水位は計算格子間隔が細かいほど大きく、主峰背後の分散波列の周期も短いことがわかる。これは、数値計算の打ち切り誤差によるもので、ここで採用したリーブフログ法は数値的な分散性をもち格子間隔に比



図—7 深海部における水位分布の計算例

例してこの効果が大きくなるためである。

表—2は演算時間および図—8に示した水深1000 mでの6地点の最大水位を比較したものである。いずれも格子間隔5.4 kmの計算結果を基準とした比率で表わしている。この表から、格子間隔5.4 kmの水位に関する結果は2.7 kmのものに比べ若干小さくなるものの大差はなく、しかも演算時間が約1/7になることがわかる。格子間隔10.8 kmは演算時間に関しては格子間隔2.7 kmに比べ約1/50程度となるが津波の最大水位の減衰が大きい。したがって、計算の精度および演算速度を考えると深海部の津波計算は先に提案した計算格子間隔5.4 km程度が適しているものと結論してよい。

b) 浅海部

津波計算は2.で説明したように深海部から浅海部まで連続的に実施される。しかし、浅くなるにつれ、誤差は深海の場合と異なった様相を示す。ここでは浅海域の結果について、計算格子間隔の差の効果について検討す

る。計算領域はAからDまでの4段階に分かれている。深海部として取り扱ってもよいAからCまでの格子間隔をそれぞれ5.4 km, 1.8 km, 0.6 km に固定し、沿岸域

のD領域のそれを0.2 km, 0.3 km および0.6 km の3種類に変化させ、計算精度や演算時間の差を比較する。

図-9は格子間隔の違いによる海岸線形状および計算

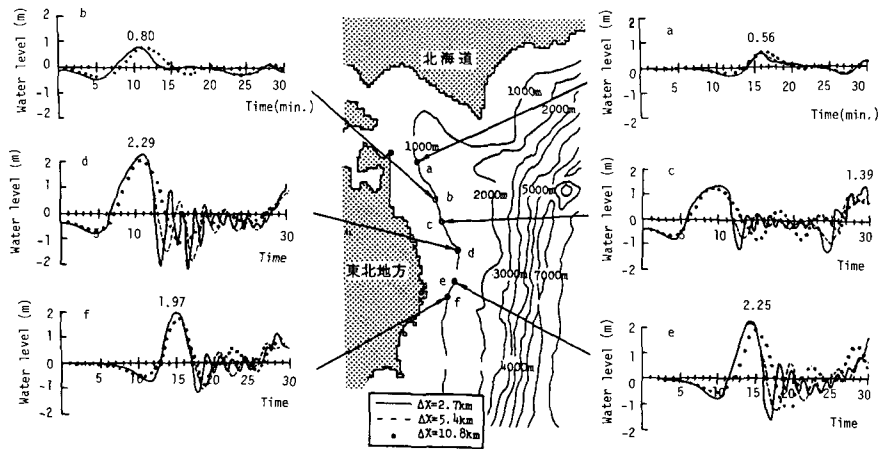


図-8 深海部における空間格子間隔の違いによる計算結果の差

表-2 深海部計算の演算時間と最大水位に関する比較

格子間隔	2.7km	5.4km	10.8km	
時間間隔	10s			
格子点数	46,800	11,700	2,925	
再現時間	30min.			
演算時間の比	7.39	1.0	0.14	
最大水位	a	1.06	1.0	1.04
	b	1.01	1.0	0.96
	c	1.06	1.0	0.99
	d	1.06	1.0	0.93
	e	1.06	1.0	0.84
	f	0.98	1.0	0.82

表-3 浅海部計算の演算時間に関する比較

格子間隔	0.2km	0.3km	0.6km
時間間隔	3s		
領域Dの格子点数	91,120	80,746	30,374
再現時間	90min.		
演算時間の比	1.0	0.65	0.05

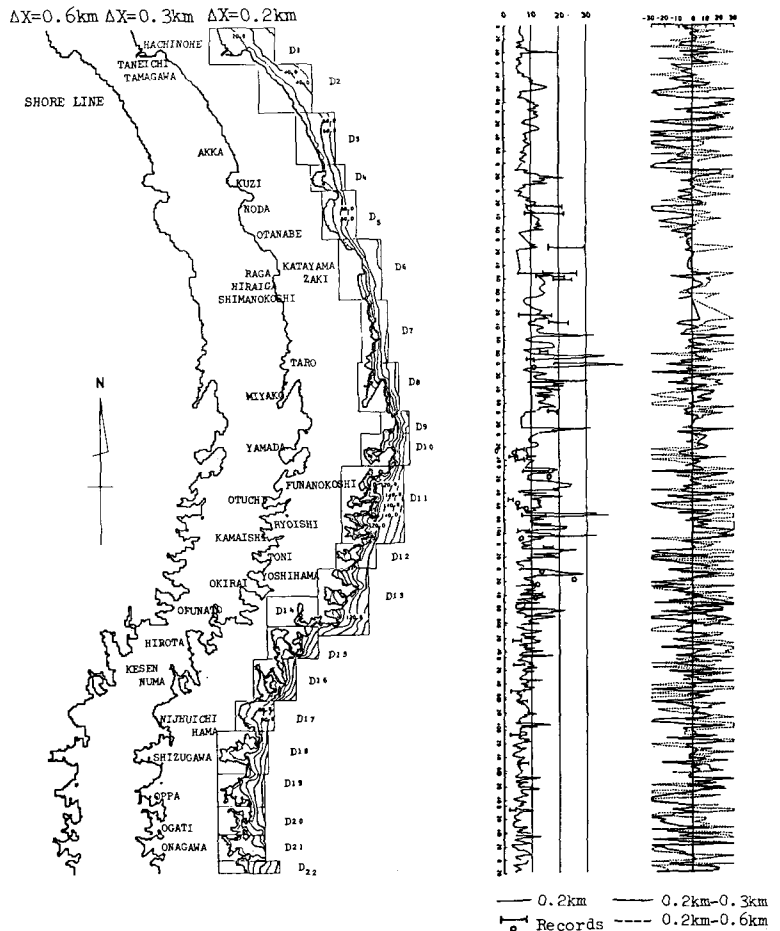


図-9 浅海部の海岸線近似と計算結果の比較

結果の差を比較したものである。格子間隔 0.2 km のものについては、領域分割および水深分布を同時に示している。図の左側部分を見ると、格子間隔 0.2 km, 0.3 km の場合は海岸線が比較的滑らかに近似されているが 0.6 km では格子が粗く階段状の形状となることがわかる。したがって、粗い格子間隔を用いると計算の打ち切り誤差のみならず海岸からの反射の誤差も大きくなることが予想される。図の右側部分は最大水位に関する格子間隔 0.2 km の計算結果と痕跡記録^{11), 12)}および格子間隔 0.2 km を基準とした 0.3 km, 0.6 km の計算結果の比較を行ったものである。ただし、痕跡値には同地点であっても観測者の違いにより差があるものもあり、このようなものに関しては最大値と最小値を結んだ線で表わし、痕跡値が 1 つしかない場合は白丸印を用いている。格子間隔 0.2 km の計算結果と痕跡値を比較すると、宮古以北では計算結果の方が若干小さく、宮古以南では大きくなる傾向がみられるが、平均的にはよく一致しているといえる。格子間隔 0.2 km の計算結果に比べ、0.3 km および 0.6 km のものは高水位出現地点で小さく、他の地点で大きくなる傾向がみられる。これは、先に述べた境界近似の精度の違いのほか、津波水位が格子が代表する四辺形内の平均的な高さとして計算されることが影響している。格子間隔が粗くなると局所的な水位の高まりの表現の精度が悪くなるからである。

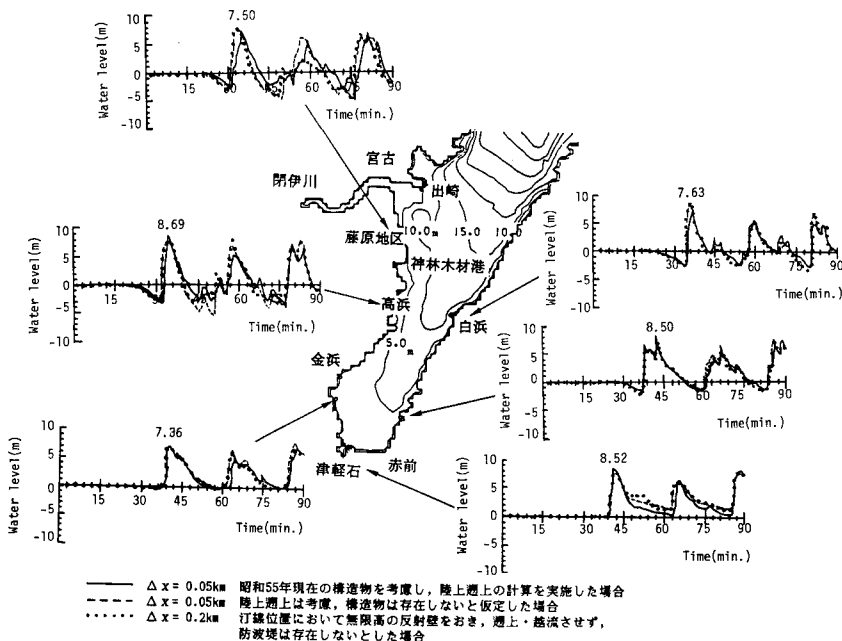
以上のように最大水位は計算格子間隔が粗いほど小さな値となり、津波数値予報の精度を向上するには十分

細かい格子間隔を採用する必要があることがわかる。しかし、格子間隔を細くすると計算量が増加し、予報に間に合わなくなるおそれがある。表—3 に示したように格子間隔を半分にすると演算時間は約 12 倍となることから判断し、現状では 0.2 km 格子を用いるのが適切であると考えられる。これなら、後述するように全計算を所要時間以内に終了することが可能である。

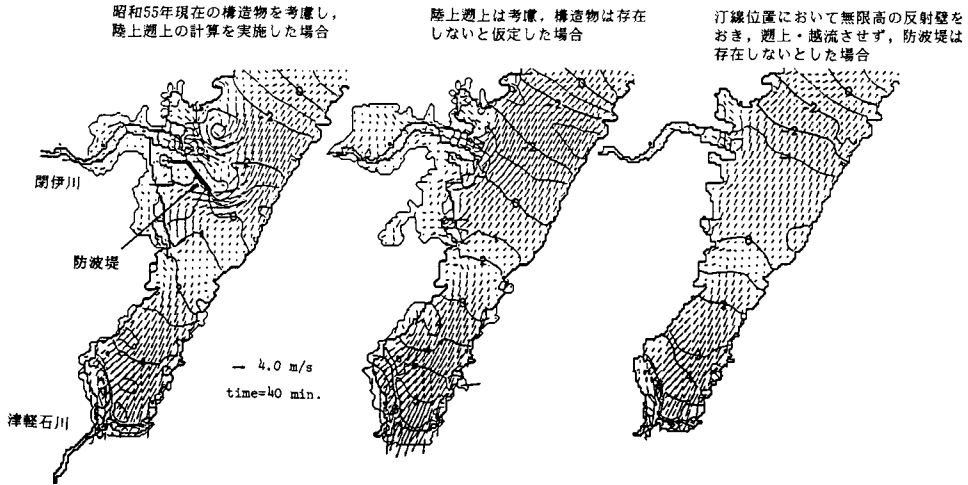
(3) 陸上遡上および構造物の効果

前節までの検討には陸上遡上や防波堤・防潮堤といった構造物の影響は考慮されていなかった。ここでは、これらを取り入れた詳細な数値計算を行い、それとの比較により、2. で提案した計算を沿岸で $\Delta x = 0.2 \text{ km}$ として実施することが津波数値予報として十分な精度を有するものであるか否かの検討を行う。

対象としたのは三陸沿岸のほぼ中央に位置する宮古湾である。計算の支配方程式には浅水理論を用い、格子間隔は 0.05 km とし、陸上遡上、構造物を考慮した場合と考慮しない場合の 2 種類の計算を行った。これらの計算は計算機の記憶容量の関係で、外海計算と近海計算に分けて実施した。外海計算は本研究で提案した計算と同じものであり、宮古湾外の水深 100 m の所で近海計算のための境界入力値を出力し近海計算に結び付けている。なお、宮古湾内の構造物は昭和 55 年当時のものであり、津波来襲時の天文潮位を T.P. 0 m としている。また、遡上計算の境界条件の与え方としては岩崎ら¹³⁾の方法を用いている。



図—10 宮古湾内の水深分布と計算結果の比較



図—11 陸上遡上および海岸構造物の効果（流速ベクトルと等水位線（数字付き）を示す。数字はm単位）

図—10 は宮古湾の水深分布と水位の経時変化である。0.05 km 格子の計算結果、および陸上遡上を全く許さず、防波堤なしとした0.2 km 格子の場合の結果をも併せて示している。図から、陸上遡上、構造物の有無は水位の経時変化に差を生じさせるが、最大水位に関しては差が小さいことがわかる。また、格子間隔0.2 kmの結果は構造物の効果を考慮していない0.05 kmの結果と比較的近いものとなっている。したがって、前節では0.2 kmより細かい計算を検討していなかったが、0.2 km程度の格子でも津波数値予報としては十分な精度の結果を得ることができるといえよう。

図—11 は津波発生後40分の水位および流速分布に対する陸上遡上、構造物の影響を比較したものである。宮古湾中央部付近までのびている防波堤の前面および背後に渦を形成していること、防波堤、防潮堤の効果により津波の浸水が抑えられ陸上遡上域がかなり小さくなることなどがわかる。陸上遡上を考慮しているものは閉伊川周辺、その河口部周辺の宮古港各埠頭近傍、津軽石川地区など遡上周辺部においてかなり流速分布の異なる結果となるが、遡上域を離れるとその差は大きくない。しかも、水位分布には遡上域周辺においても顕著な差がみられない。したがって、陸上遡上、構造物の効果は津波の流況を大きく変え、氾濫面積に大きな差をもたらすが、水位に関してはそれほど大きな影響を及ぼさないといえる。

以上のことから最大水位を対象とする津波数値予報では、陸上遡上、構造物の効果を考慮する必要がないとしてよい。また、格子間隔0.05 kmと0.2 kmの差も小さく、津波数値予報には2.で提案した計算法で十分な精度が得られるものと期待される。

4. 数値予報例

(1) 予報計算例

泉谷・平澤は彼らの提案した即時的推定法を用いて1968年十勝沖地震の断層パラメーターの計算を行っている。表—4にその結果およびKanamori¹¹⁾が推定した結果を示す。断層の長さが多少異なるものの両者の推定値は比較的近い。しかし、余震域など確実な資料を使用したKanamoriの値と差があることは無視できない。津波予報の立場からすると、初期条件にすでに誤差が存在し、そのため最終結果が信頼できないものとなる可能性がある。ここでは、こうした誤差を含んでいる泉谷・平澤の手法による断層パラメーターを初期値として採用し、2., 3.で検討した津波計算手法と組み合わせた場合、最終結果がはたして実用に耐え得る精度を有するか否かを検討する。

図—12に最大水位に関する予報計算の結果の一例を示す。図は三陸海岸中央の田老から綾里湾に関するもので、左側が計算の領域分割と津波の最大水位分布、右側が沿岸に沿った最大水位である。また、図には痕跡記録¹⁴⁾が同時に比較され、痕跡値は最大値と最小値を結ぶ線分で表わされている。計算結果と痕跡値は計算結果の方が多少小さめであるが比較的良一致を示している。

この予報計算の精度は相田¹⁵⁾の指標

$$\log K = (1/n) \sum \log K_i, \quad (K_i = [\text{痕跡高}] / [\text{計算高}])$$

$$\sigma = \left[\sum (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right]^{1/2} / n$$

n: データ個数

表—4 断層パラメーターの比較 (1968年十勝沖地震津波)

	断層の長さ	断層の幅	走行	傾斜角	すべり角	すべり量
泉谷・平澤	190km	95km	-35°	20°	148°	3.3m
Kanamori	150km	100km	-24°	20°	142°	4.1m

を用いると $K=1.37$, $\alpha=1.67$ となり, Kanamori の推定値を用いた Aida¹⁶⁾ の結果 $K=1.31$, $\alpha=1.37$ より若干劣るものとなっている。ただし, Aida は 6 地点の痕跡記録との比較であるが, ここでは 84 地点を用いており, 比較地点数が多いことを考えると, 相田の結果と大差ないものが得られていると判断してよい。陸上遡上まで考慮し, しかも海底地盤変動を痕跡によく合うように修正しながら行う津波計算においても $K=0.8\sim 1.2$ の範囲の結果であることを考えると, $K=1.37$ という結果は現在の津波計算の水準からして実用に供し得るものだと考えてよい。

(2) 予報速度に関する考察

この節では津波の数値予報を実現させるためのもう一つの問題すなわち予報速度に関する考察を行う。津波の数値予報は即時的断層パラメーターの推定と津波の数値計算の 2 種類の作業に分類できる。即時的断層パラメーター決定は本論文の目的ではないが, 現実に東北大学理学部地震予知センターで実施した一例を表一五に示す。

表一五 断層パラメーターの推定に必要な時間

	所要時間	使用計算機とその能力
震源・マグニチュード	720s	OKI 50/60 (0.4MIPS)
強震動継続時間処理	30s	HITAC M240H (3.3MIPS)
断層パラメータの計算	4s	HITAC M280H (15 MIPS)

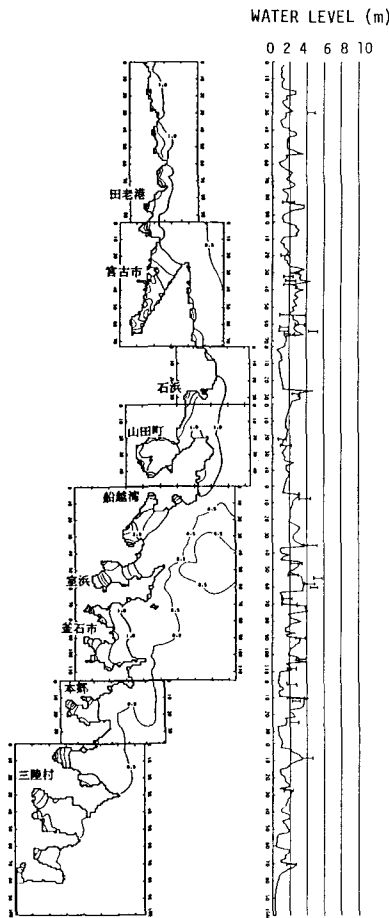
表一六 津波数値計算に必要な時間

	ACOS1000	SX-1	比率
データの入力			
初期条件の設定	9.3s	0.36s	25.83
地震変動の計算	32.4s	7.25s	4.47
主計算 (90分再現)	1559.0s	57.22s	27.24

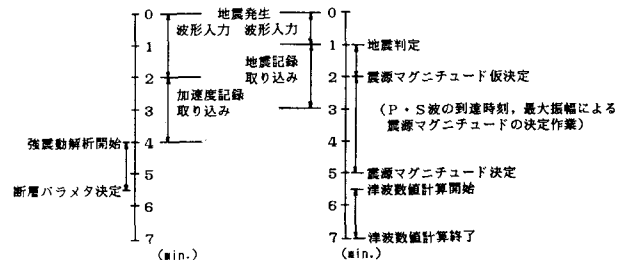
ただし, 使用している計算機は汎用機以下の能力のものであり, 高速機 (スーパーコンピュータ) を考えると予報速度はさらに向上され, 約 1/10 程度以下となることが期待される。

十勝沖地震津波の数値計算に要した演算時間は表一六のとおりである。計算機としては汎用機 (ACOS 1000) と高速機 (SX-1) の 2 種類に関して比較している。汎用機が仮想記憶法すなわち CPU と外部記憶装置との入出力を介して計算するのに比べ, 高速機はベクトル演算機能に優れ, 全データを CPU 展開し計算するものであるため入出力に使われるロスタイムがない。津波発生後から 90 分間の計算に要した時間は汎用機が 27 分, 高速機が 1 分程度である。

以上のことから高速機を用いるとの条件で, 三陸沖の津波の数値予報に必要な時間を推定したものが図一13 である。震央が一番近い観測点までの距離を 200 km とすると P 波走時は約 33 秒, S 波走時は約 55 秒であり, 震源決定に用いる観測点のうち最も遠いものまでの距離を 400 km とすると P 波が約 60 秒, S 波が約 100 秒で到達する。また, 断層の長さを 200 km 程度と想定すれば, 破壊継続時間は 100 秒程度である。したがって, 地震波の読取りに 3~4 分程度が必要となる。その後, データの処理が開始され, 断層パラメーターが計算されるまでに 5 分半程度が必要となる。そして, 津波の数値計算が行われ, これに必要な時間は多く見積もっても, 1.5 分程度である。このような作業のすべてが円滑に行われたものとする, 発震後 7 分で津波の数値計算まで終了する。三陸沿岸の津波は地震後 25 分から 30 分たつて海



図一12 予報計算結果と痕跡記録の比較 (1968年十勝沖地震津波)



図一13 津波数値予報システムの作業所要時間

岸に到達するから、地元住民への伝達にさらに10分程度必要としても、津波来襲までに8分以上の余裕を見込むことが可能である。したがって、高速機を用いる条件で津波の数値予報は予報速度の点からも実現可能であると結論できる

5. 結 論

三陸沿岸を対象とし、日本近海で発生する津波を数値計算により予報することの可能性を、予測精度と予測速度の両面から検討した。その結果、津波の最大水位に主眼をおく数値予報では、ここで提案した手法で十分な精度を有すること、また予報速度に関しても地震発生後7分程度で結果を得ることが可能であることが明らかとなった。ただし、現状の地震観測網ではデータが不足し、精度の高い波源推定値が必ずしも得られるとは保証されないなど、将来解決を要する問題点も数多く残されている。

謝 辞：本研究を実施するにあたり東北大学理学部平澤明郎教授、信州大学工学部 泉谷恭男助手のご指導、ご助力を得た。ここに記して謝意を表す。なお、本研究の一部は文部省科学研究費および石原藤次郎研究奨学基金による。

参 考 文 献

- 1) Kanamori, H. and Given, J.W. : Use of long-period seismic waves for rapid evaluation of tsunami potential of large earthquakes, *Tsunamis—Their Science and Engineering*, Terra Scientific Pub. Co., pp.37~49, 1983.
- 2) 泉谷恭男・平澤明郎：強振動の継続時間と震源パラメータ，第21回自然災害科学シンポジウム，1984.
- 3) 泉谷恭男・平澤明郎：加速度記録を用いた断層パラメータの即時的推定の試み，地震学会講演予稿集，1985.
- 4) 泉谷恭男・平澤明郎：断層パラメータの即時的推定法，東北大学津波実験所研究報告，第3号，pp.1~21，1986.
- 5) Izutani, Y. and Hirasawa, T. : Use of strong motion duration for rapid evaluation of fault parameters, *J. Phys. of Earth* (印刷中).
- 6) Mansinha, L. and Smylie, D. : The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, Vol.61, pp.1433~1440, 1971.
- 7) 羽鳥徳太郎：東北日本太平洋側における津波の波源，地震，第27号，1974.
- 8) 後藤智明・小川由信：Leap-frog法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科河川研究室，52p.，1982.
- 9) 相田 勇：200m等深線上の津波波形と浸水高，地震，第30号，pp.11~23，1977.
- 10) Peregrine, D.H. : Long waves on a beach, *J.F.M.*, Vol.27, part 4, pp.815~827, 1967.
- 11) 伊木常誠：三陸地方津波実況取調報告，震災予防調査報告第11号，1896.
- 12) 松尾春雄：三陸津波調査報告，土木試験所報告，1933.
- 13) 岩崎敏夫・真野 明：オイラー座標による二次元津波遡上の計算，第26回海講，pp.70~74，1979.
- 14) 気象庁：1968年十勝沖地震調査報告，気象庁技術報告第68号，244p.，1969.
- 15) 相田 勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，地震研究所彙報，第56号，pp.71~101，1977.
- 16) Aida, I. : Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, Vol.26, pp.57~73, 1978.

(1987.9.4・受付)