津波予測システムに関する検討

建設省　岩手工事事務所　正員　下村　周
建設省　岩手工事事務所　正員　藤沢　寛
建設省　岩手工事事務所　正員　○植田　剛史

1．はじめに

三陸沿岸は、津波常襲地域という名のとおり過去幾度となく津波による被害を被り、幾多の人命及び財産が失われてきた。このため、県を始めとして多くの機関が防潮堤等の津波防災施設の建設を進めているが、このような施設対応のみならず、一瞬にして多くの人命と財産を奪う大津波に対処するためにはソフト面での対応、即ち、沿岸到達波高を予測し、安全かつ的確に避難誘導を行うことのできるシステムが必要である。

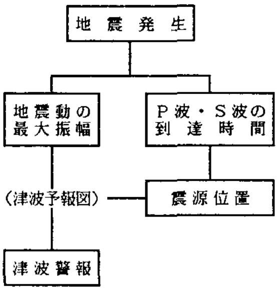
本検討は、近年著しい発達を遂げたスーパーコンピュータを用いて、地震の初期微動より波源域及び初期波形を即時に決定し、津波伝播計算を実施することにより沿岸到達波高及び到達時間を予測しようとするものであり、津波予測システム実用化の可能性を検討したものである。

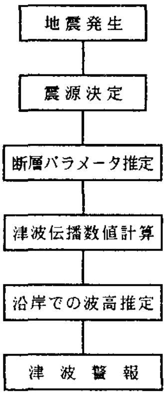
2．本システムの概要及び特徴

現在の津波予警報は図－1に示すとおりであり、地震記録より最大振幅及び震央までの距離を求め、これらのデータより津波予報図を用いて予警報を発令しているが、その内容は定性的なものにとどまっているのが現状である。

これに対して本システムは図－2に示すとおりであり、まず、地震発生後、強震動記録より即時的に断層パラメータを推定し、それに基づき津波伝播計算の初期条件を与えるのに必要な海底地盤変動を算出する。次に、与えられた初期波形を用いて伝播計算を実施し、沿岸各地での到達波高及び到達時間を予測しようとするものである。

従来、初期波形を決定するための断層パラメータは、遠方で観測された長周期地震波の解析や余震の空間的な分布に基づいて推定されていたため、その推定に数日間を要し、予測システムとして利用することは不可能であった。このため、本システムでは、強震動記録から即座に断層パラメータを推定する手法を取り入れており、この点が最大の特徴となっている。





図－1　現在の津波予警報システム　図－2　本検討の津波予警報システム

（1）初期波形の決定（断層パラメータ推定法）

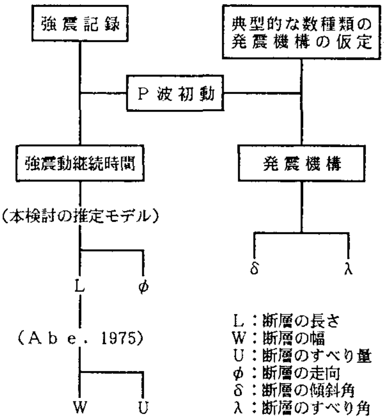
断層パラメータ推定の手順は図－3に示すとおりであり、このパラメータを用いて海底地盤の変動を算出し、これと平行に初期波形を与えるものとする。

まず、断層の長さL及び走向ϕは、地震測定時に現れる強震動継続時間が断層の破壊方向に依存するという性質を利用して次式により求める。

$$D_i = A_i * L(1-(v/c)\cos\theta) + B_i \qquad \theta = \theta_0 - \theta_i$$

ここに、D_i：i観測所における強震動継続時間
A_i, B_i：i観測所における定数
V：断層の破壊速度　C：S波の見かけ速度
θ_0：破壊の進行方向　θ_i：i観測所の方位角

上式において（L，θ_0，V/c）の値を各々5km，5度，0.1ずつ変化させてDiの計算値を求め、観測値との残差平方和を最小にするパラメータの値を最適値とする。



図－3　断層パラメータ即時推定法フロー

次に、断層の幅Wとすべり量Uについては、三陸沖の太平洋プレート沈み込みに伴う地震は良く似た性質を繰り返すことにより、次式の経験式により求めるものとする。

W＝0.5L(km)　U＝1.74L(cm)（日本海溝沿）
＝3.48L(cm)（日本島弧内）

表－1　1986年十勝沖地震に関する断層パラメータ推定値

	L (km)	W (km)	U (m)	φ (°)	δ (°)	λ (°)
Present Study	190	95	3.3	145	20	148
Kanamori (1971)	150	100	4.1	156	20	142

最後に、断層の傾斜角δ及びすべり角λについては、同一地域において発生する地震の発震機構には類似性があることを利用して、三陸沖における典型的な数種類の発震機構を仮定しておき、P

波初動の押し引きの空間的分布に基づいて地震発生後即座にいずれか一つの発震機構を採用するという方法をとった。

（2）津波伝播計算（計算格子の設定）

伝播計算を実施する場合、計算格子の設定が計算の精度と時間を大きく左右するため、予測システムとして活用するためには、短時間で計算が終了し、かつその精度が実用に耐え得るものとなるように計算格子を設定する必要がある。

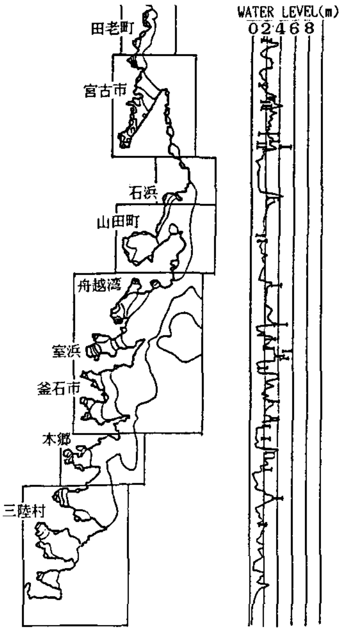
本検討では、深海域と浅海域で数種類の計算格子を設定し、各々の計算時間と精度を比較した結果、深海域では 5.4kmメッシュ、浅海域では200mメッシュを採用することとした。但し、深海域から浅海域への移行部については、沿岸に近づくにつれて 1.8km, 0.6kmと徐々に計算格子を細かく設定した。

3. 本システムの適用例

本システムの有効性を検討するために、十勝沖地震を対象として三陸沿岸での打ち上げ波高を予測し、痕跡記録との比較を行った。

まず、十勝沖地震の強震動記録より断層パラメータを推定した結果を表－1に示す。表にはKanamori(1971)によって長周期地震波の解析と余震分布に基づいて推定された断層パラメータの値が併記されている。これを見ると、本システムにより推定されたパラメータは、Kanamoriによって推定されたものと比較して、断層の長さがやや長いものの他のパラメータは比較的良く似た値を示していることが判る。

次に、表－1のパラメータから海底地盤変位を計算し、求めた初期波形を用いて三陸沿岸での到達波高を求めた結果の一部を図－4に示す。



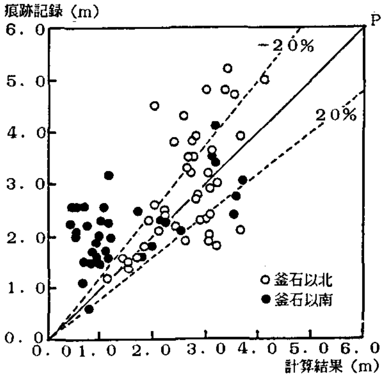
図－4　計算結果と痕跡記録（田老町～三陸町）

また、図－5は横軸に計算結果を、縦軸に痕跡記録をとりプロットしたものであり、図中、白抜きの記号は釜石より北部の地域を、黒塗りは南部の地域を示している。これをみると、北部の地域では計算結果と痕跡記録とは比較的良く一致しており、45度線のまわりに分布しているのに対し、南部の地域では全体的に計算結果の方が過小に再現されていることが判る。しかしながら、全体的な再現性を相田(1978)の例に準じて次式の指標K（再現性の指標）及びκ（バラつきの指標）で評価すると、

$\log K = 1/n \Sigma \log K_i$　　　K_i：(痕跡記録)/(計算結果)

$\log \kappa = (1/n \Sigma (\log K_i)^2 - (\log K)^2)^{1/2}$　　i：地点番号

本システムの場合は、K＝1.37、κ＝1.67となり、相田がKanamoriにより求められた断層パラメータを用いて行った際のK＝1.31、κ＝1.31と比較すると、バラつきがやや大きいものの、本システムの検証地点数が64地点に対して相田が6地点であることを考慮すれば、本システムは実用に際して充分有効であるとおもわれる。



図－5　計算結果と痕跡記録の比較

一方、処理時間については、今回の再現計算（90分の再現）に要した時間は表－2のとおりである。また、データ取り込み時間は、仮に震央から一番遠い観測所までの距離を400km、断層の長さを 200km程度とすると3～4分は地震波の取り込みに使われることになる。実際の予報にあたって、前記処理時間の実績に余裕を見込んで初期波形の決定と伝播計算に各々90秒要するとすれば、図－6に示すように地震発生後7分で沿岸波高が表示されることになり、津波予報システムとして充分実用可能であることが判る。

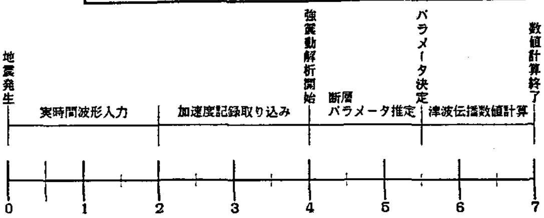
表－2　津波予測計算所要時間

計算の種類	計算時間	計算機機種
初期波形の決定 （強震動継続時間計算） （断層パラメータ計算） （地盤変動の計算）	42秒 （30秒） （ 4秒） （ 8秒）	 HITAC M240H HITAC M280H SX-1
津波伝播数値計算（90分）	58秒	SX-1

4. おわりに

以上により、本システムを用いた津波予報は、地震データを集中管理し、津波伝播計算までの一連の解析を自動的に行えるようなハード面での整備が進められれば実現可能であると思われる。

最後に、本検討において多大なる御協力を頂いた東北大学　首藤教授に深謝致します。



図－6　津波予測システムの作業所要時間（分）