

津波表示装置による南海道津波危険度評価について

平石 哲也*・柴木 秀之**・原崎 恵太郎***

1. はじめに

津波の数値シミュレーションは、計算の実行に先立ち、入力データ作成のために、海岸・海底地形情報、港湾・海岸構造物情報、地震断層情報が必要となり、計算値の検証のために、既往津波の痕跡高情報等が必要となる。また、計算実行後は、最大津波高・発生時刻・津波時系列等、多種の結果の出力が要求される。従来の津波計算では、これらの情報の保管及び整理がなされなかったために、同種の計算が繰り返し行われ、複数の情報の氾濫が多々見られた。そこで、津波数値情報の体系的な整理手段として、パーソナルコンピュータ(以下、PCと記述する)を用いる津波簡易表示装置を開発し、この装置の表示情報となるデータベースの標準書式化を行う。本報告では、表示装置及びデータベースの概説を行うとともに、南海道沿岸の港湾における津波危険度の解析及び津波簡易予測への応用について報告する。

2. 津波表示装置の概要

(1) 表示装置と操作手順

表示装置は、過去に実施された津波シミュレーションにより蓄積された入出力データを、簡便に表示することを目的として開発し、その特徴は次のようにまとめられる。①PCと周辺機器を利用する。②画面对話形式による操作によりマニュアルレス化を図る。③入出力データを、標準書式によりデータベース化する。④紙面・画面の出力を選択できる。特に、③に挙げたデータベースの標準書式化は、既往の津波シミュレーションデータを包括的に扱う上での必要条件となる。また、表示装置の使用機器は、容易に準備可能であることが望ましい。具体例としては、表示装置本体に、PC(例:32ビットCPU-Pentium 200 MHz, メモリ 64 MByte, 2 GByte 内蔵固定ディスク)、データベースの一時記憶にハードディスク(1 GByte)、データベースのライブラリー化に光ディスク(256 MByte)、そして、紙面出力装置(B4サイズ対応レー

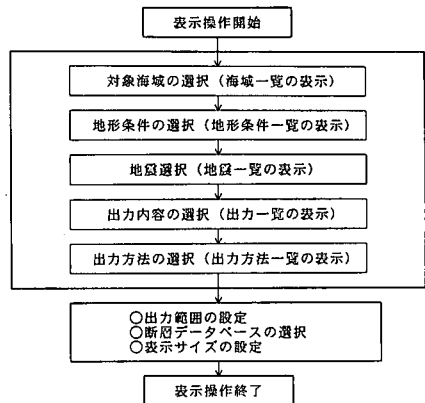


図-1 津波表示装置の入力メニュー画面と操作の流れ

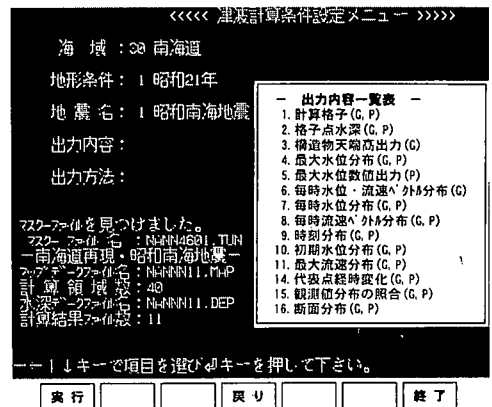


図-2 津波表示装置の入力画面例 (出力内容の選択画面)

ザプリンター)を提案する。

操作の手順は、複数の入力メニュー画面による対話型入力とし、各入力項目毎に説明文が表示され、マニュアルレス化を図っている。図-1は、対話型メニュー画面の表示の順番を表し、処理の流れは、メニュー画面の表示順に対応している。図-2は、出力処理画面の例として、出力内容の選択を行う段階を表す。表示画面に表すように、対象海域(例えば、南海道)、地形条件(例えば、昭和21年)、地震名(例えば、昭和南海地震)の順にデータベースを選択し、次いで、出力内容(画面右の一覧表に

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室長

** 正会員 工修 (株)エコー 第一技術部

*** 正会員 工修 (株)エコー 第一技術部 解析調査課

1 0010*	=====	断層パラメータ	
2 0020*	=====		
3 0030*	=====		
4 0040*////	(宝永) 南海地震	地震名	
5 0050*////	1707/10/28/05/宝永 4	発生年月日 (年号)	
6 0060*	8.40	地震マグニチュード	
7 0070*	33.20	震源の緯度 (°)	
8 0080*	135.90	震源の経度 (°)	
9 0090*	10.20 28	地震モーメント (dyne · cm)	
10 0100*	=====		
11 0110*	3	断層数	
12 0120*	1.0	断層補正係数	
13 0130*	=====		
14 0140*	33.41	断層面基準点の緯度 (°)	
15 0150*	136.15	断層面基準点の経度 (°)	
16 0160*	10.00	断層上縁の深さ (km)	
17 0170*	250.00	断層の走行角 (°)	
18 0180*	10.00	断層面の傾斜角 (°)	
19 0190*	124.00	断層のずれ角 (°)	
20 0200*	150.00	断層の長さ (km)	
21 0210*	70.00	断層の幅 (km)	
22 0220*	550.00	断層のくちがいがい量 (cm)	
23 0130*	=====		
24			
25 0230*	=====		
26 0240*//	相田	/(1981b)	: 出典
27 0250*//	BERI	/56.713-730.	
28 0260*	=====		
29 0270*	=====		
30 0280*	=====		

図-3 断層パラメータデータベースの標準書式(宝永南海地震)

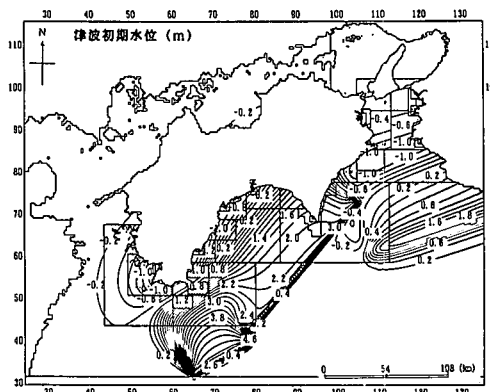


図-4 相田 (1981) モデルから推定される宝永南海地震津波の初期水位分布

表す 16 種類) と出力方法 (画面・紙面を選択) を決定する。

(2) 津波データベース

表示装置に登録されるデータベースは、①海岸地形、②計算格子・格子点水深・構造物天端高、③断層パラメータ、④計算結果 (最大水位、最大流速、初期水位、最大水位発生時刻、水位・流速時系列)、⑤観測値 (痕跡値、津波波形観測値) があり、各データベースへの登録は、標準書式への変換が必要である。例えば、図-3 は、相田 (1981) により提案された宝永南海地震の断層パラメータを標準書式に書き換えたものであり、図-4 は、このデータベースを入力条件として推定される津波初期水位分布である。

3. 南海道津波計算システムの適用

(1) システムの概要

南海道津波計算システムは、南ら (1996) により報告

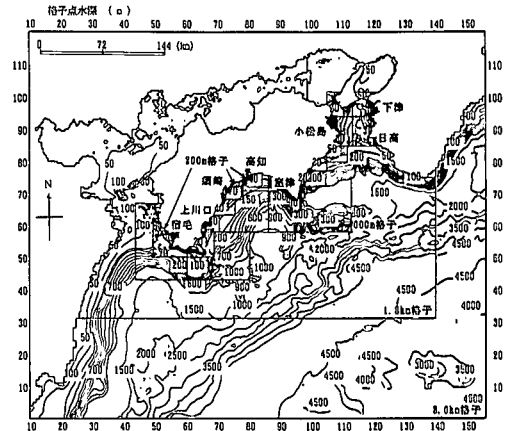


図-5 南海道津波計算システムの計算範囲と水深分布

されている南海道沿岸全域を対象とする広域計算システムである。図-5 は、数値シミュレーションの計算範囲と水深分布を表し、計算範囲は、南海地震の波源域を含む、九州から紀伊半島に至る海域を対象とする。計算範囲の地形近似は、外洋側の 3.6 km 格子から港湾区域の 50 m 格子まで、海岸に近づくとともに、地形近似精度を向上させるように格子配置を行い、計算誤差の低減を図っている。そして、海岸部は最大でも 200 m 格子とし、対象港湾は 50 m 格子を地形近似の基本としている。また、対象港湾区域内では、防波堤・防潮堤等の防災施設についても、格子によるデータ化を行っている。

(2) 南海地震津波の数値シミュレーション

津波数値シミュレーションは、津波の挙動を、非線形長波の連続式と運動方程式により解くもので、後藤・佐藤 (1993) にならない、空間差分にスタッガード格子を、時間差分にリープ・フロッグ法を用いる。データベース作成を目的として行う数値シミュレーションは、現地地形を対象とする。対象津波は、既往津波に、宝永・昭和の 2 南海地震津波、想定津波に、 $M=8.4, 8.6$ 規模の計 4 種類とする。ここで、想定津波とは、昭和南海地震の断層パラメータのうち、断層長さ・幅・すべり量を、佐藤 (1989) の地震相似則を利用して推定した想定地震による津波である。また、地震に伴う陸上地盤の変位は、あり・なしの 2 種類について行う。想定地震津波条件の決定に用いた地震相似則による設定方法は、平石ら (1997) に報告されているものと同様である。

4. 南海道沿岸の津波危険度解析

(1) 最大津波高及び浸水区域の表示

津波危険度を評価する上で、最も必要な情報は、津波高と浸水区域に関するものである。図-6 は、A 港湾 (仮称) における宝永南海地震津波の最大津波高分布と、昭

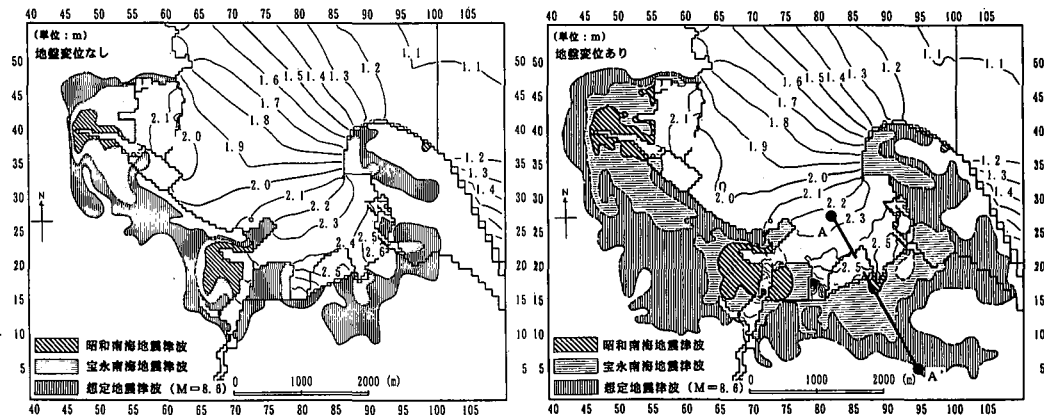


図-6 宝永南海地震津波の最大津波高分布と昭和・宝永・想定南海地震津波において予測される浸水区域の表示

和 ($M=8.0$), 宝永 ($M=8.4$), 想定 ($M=8.6$) の3南海地震津波により予測される浸水区域を表す。図中、左図は地震に伴い生じる地盤変位を考慮しない場合であり、右図は地盤変位（この計算では沈下となる）を考慮する場合である。防潮堤等の天端高も、地盤高と同じ変位を考える。地盤変位を考慮しない場合の浸水区域を見ると、宝永、想定 ($M=8.6$) 地震津波により予測される浸水区域の面積は、昭和のそれを上回る。このことから、昭和南海地震の規模を越えると、浸水区域を評価基準とする津波危険度は増大することが予測される。さらに、地盤沈下を考慮すると、予測される浸水区域は大幅に拡大する。この主要因は、地盤沈下と同時に生じる防潮堤の沈下によるところが大きい。一般に、断層モデルから地盤変位を予測することは、信頼性に問題がある。しかしながら、被害規模を見積る上で、重要な要素となる。

次に、図-7は、図-6の右図中に表す実線A-A'間における最大津波高及び水深・地盤高の断面分布で、地盤沈下を考慮する場合を表す。図によれば、最大1.0m程度の陸上への浸水が予測され、危険度の大きさが視覚的に把握できる。また、50cm程度の地盤沈下が浸水区域の増加に影響していることがわかる。このような浸水区域に関する情報は、津波危険度の評価及び被害想定に活用することが期待される。

(2) 最大流速ベクトルの表示

津波来襲時の危険度を判断する情報としては、流速の最大値も重要である。図-8は、A港湾における宝永南海地震津波の計算期間内に予測される最大流速ベクトルの平面表示であり、地盤沈下を考慮している。例えば、図の○印内の防波堤開口部における最大流速値と、防波堤マウンド被覆材が安定である許容流速を比較すると、津波に対する構造物の危険度評価が可能となる。木村ら(1994)によれば、北海道南西沖地震時に被災した奥尻港北防波堤の17.3tfの根固め方塊は、約7.0 m/sの流速で

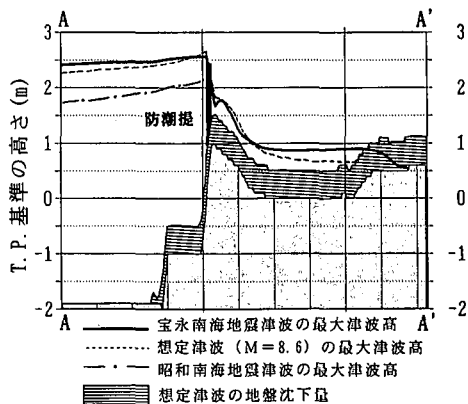


図-7 南海地震津波時に予想される最大津波高、地盤高の断面分布と防潮堤天端高の比較

移動したと報告されている。A港湾防波堤のマウンド被覆材の重量が不明なため評価はできないが、図-8の予測結果を見る限り、防波堤近傍の流速は最大でも2.0~3.0 m/s程度であり、危険性は低いと判断される。ここで、数値シミュレーションによる流速情報は、格子内の平均流速値であるため、被覆材に作用する局所的な情報として利用することに問題はある。しかしながら、評価を行うための参考値にはなる。

5. 津波データベースによる津波高の簡易予測

(1) 津波高の簡易予測法

ここでは、計算結果のデータベースを利用する試みとして、津波高の簡易予測法について提案する。

地震発生直後に発表される地震情報は、震源位置、深さと地震マグニチュードにほぼ限定される。これらの情報から短時間に、正確な断層パラメータの推定を行うことは困難であり、地形近似の高い数値シミュレーションを行うことは、計算処理時間の制約から不可能である。

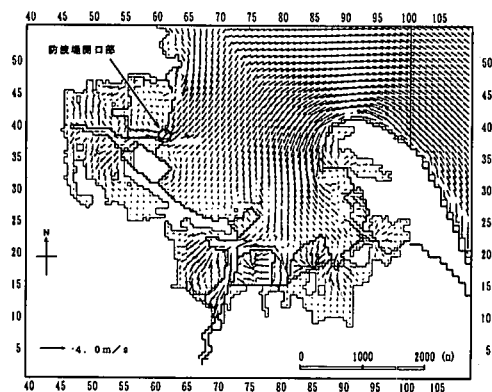


図-8 宝永南海地震津波により発生する最大流速分布のベクトル表示

そこで、あらかじめ複数の位置と規模の波源を想定した数値シミュレーションを行い、各波源条件における予測対象点の最大津波高をデータベース化しておく。そして、地震発生直後にわかる位置と規模の時に生じる津波高を、津波高データベースの補間処理により予測する。予測は、データベースの補間のみであるから、迅速に予測値が得られる。

ここで、数値シミュレーションにおいて想定する波源条件が多いほど、データベースによる津波高の予測精度は向上すると期待される。しかしながら、データベース作成における膨大な数の数値シミュレーションを行うためには、計算の効率化が必要条件となる。そこで、図-5に表す南海道システムの計算格子のうち、港湾を対象とする50 mとその外側の100 m格子を取り除き、全海岸を200 m格子で地形近似する計算格子を、データベース作成時の数値シミュレーションに適用する。これにより、演算時間は1/7に節約できる。ただし、予測点は、港湾の微地形の影響を受けない程度の港外に位置する点に定める。ここまでの、第1段階の準備作業である。

次に、港湾内の津波高分布を予測する方法として、前述した港湾を50 m格子で近似する津波シミュレーションの結果のうち、港湾内の最大津波高分布を利用する。このデータは、港外予測点の津波高を1.0とする増幅率分布の形式でデータベースに登録する。これが、第2段階の準備作業である。以上の準備を行った後、津波高予測の流れは、図-9のようにまとめられ、港外予測点における津波高の補間による決定と、港内増幅率分布による平面分布表示により、港内全点の予測が完了する。

(2) 簡易予測に用いるデータベース

図-9の予測手順のうち、第1段階のデータベース作成のために行う数値シミュレーションに用いる想定波源を選定する。波源情報のうち断層位置は、震源位置と断層面基準点の位置関係から定める。具体的には、相田

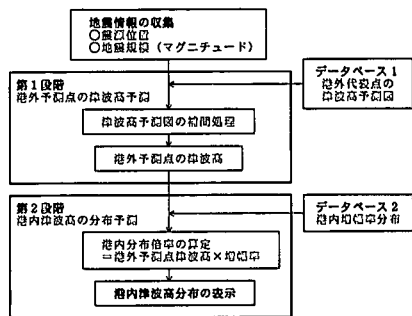


図-9 津波高簡易予測の流れ

(1981)が提案した昭和南海地震の震源と断層面基準点の位置関係を、断層面設定上の基準とする。図-10の左図は、過去の大規模な南海地震の震源を網羅する範囲に該当し、この範囲内に●印で表す15点の震源を想定する。これら15点の震源に対し、断層面は一義的に定まる。そして、 $M=7.8\sim 8.6$ 規模まで0.2間隔の断層すべり量を、前述したように、地震相似則を利用して想定する。このようにして、震源位置15点と地震規模5種類の計75個の波源を対象とする数値シミュレーションを行い、各波源条件における港外予測点の最大津波高を予測する。なお、断層長さとは幅は、昭和南海地震の断層と一致するものと仮定する。

75ケースの数値シミュレーション完了の後、港外予測点における津波高を集計する。図-10の左図は、右図中の●印で表す港外予測点Fにおける予測結果の集計から求められる $M=8.4$ 規模の地震津波の最大津波高の予測図であり、横軸に震源の経度、縦軸に緯度を取り、津波高の等値線分布として表示してある。図の等値線は、●印で表す15個のF点における津波高予測値を、線形平面補間により 0.1° 間隔の情報に変換し、この補間値により描かれる。このような予測図が、 $M=7.8\sim 8.6$ まで0.2間隔に5種類作成され、図を用いると、任意の震源位置及び地震規模を与えれば、津波高を補間により求めることが可能となる。例えば、左図中の▲印の位置に震源があり、地震規模が $M=8.4$ の場合、F点における最大津波高の予測値は1.3 mとなる。

第2段階のデータベース作成の例として、港湾地形を50 m格子で近似する昭和南海地震津波の数値シミュレーションにより得られる最大津波高分布から、右図に表す港外予測点Fの津波高を1.0とする港湾内の津波増幅率の平面分布を求める。これを利用すると、F点の津波高から、港湾内の津波高分布を予測することが可能となる。例えば、F点の津波高が1.3 mの場合、H点における津波高の予測値は3.38 mとなる。

以上の津波予測は、第1段階として、波源から予測点沖

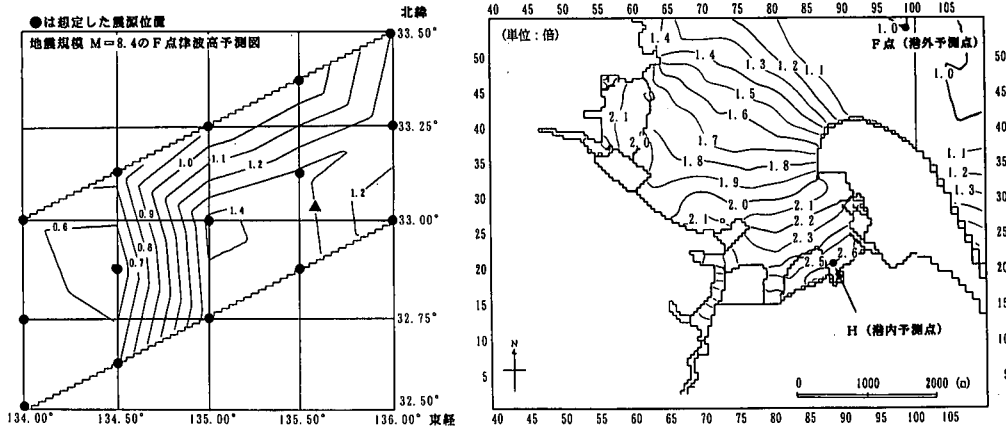


図-10 簡易津波高予測に用いるデータベース (左図: F点のM=8.4規模の津波高予測図, 右図: 港内増幅率分布)

までの地形に伴う津波の変形を求め、第2段階として、港湾等の小規模な地形に伴う変形を求め、これらを併せて、港湾内の平面的な津波高予測を可能としている。今回報告する予測方法は、すべり量が相似則に準じるものの、地震断層の長さ、幅、深さが昭和南海地震と一致すると仮定している。そのため、昭和南海地震の断層条件の一般性及び採用した相似則の妥当性の検証等、多くの課題が残る。特に、断層幅を昭和南海地震と一致させるため、津波周期は、どの地震規模でも同じとなり、港湾内の津波高増大に重要な共振特性を反映できない。しかしながら、地震発生直後の少ない情報を考えれば、有効な予測法である。今後、津波高予測用のデータベースを拡充するとともに、予測方法の改善を段階的に行う予定である。

6. おわりに

津波数値シミュレーションの入出力データを表示するための簡易装置の開発を行った。表示する入出力データは、標準書式に変換され、データベースとして登録する。この装置を利用した南海道津波危険度の解析及び津波簡易予測の成果は、次のようにまとめられる。

① 宝永南海地震津波(M=8.4)と想定地震津波(M=8.6)による浸水区域は、地震に伴う地盤沈下の影響により広範囲で発生することが予測された。南海道沿岸の港湾は、昭和南海地震津波の規模(M=8.0)を防災構造物の計画で想定しており、地震規模が大きいと浸水による危険性が増大すると評価される。

② 津波高簡易予測は、任意の地震初期情報(位置・規模)に対する津波高データベースの補間処理により、津波高の平面分布を出力することが可能である。

今後、多数の数値シミュレーション結果を取り込んだデータベースの拡充により、各種の数値モデルの精度比較及び新規モデル開発等の有力な情報源としても期待される。

謝辞: 本報告で述べた表示装置の発想は、東海大学工学部 後藤教授による所が大きく、併せて、数々の御助言を頂いた。ここに謝意を表します。なお、本計算では、海上保安庁水路部の水深数値情報、国土地理院標高数値情報を利用したことを付記する。

参考文献

- 相田 勇(1981): 南海道沖の津波の数値実験, 地震研究所彙報, 第56号, pp. 713-730.
- 木村克俊・山本泰司・笹島隆彦・鶴谷広一・中川康之(1994): 1993年北海道南西沖地震津波による奥尻港防波堤の被災原因について, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1191-1195.
- 後藤智明・佐藤一央(1993): 三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発, 港湾技術研究所報告, 第32巻, 第2号, pp. 3-44.
- 佐藤良輔編著(1989): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, pp. 82-92.
- 南 兼一郎・平石哲也・佐藤清二・柴木秀之・額田恭史(1996): 南海道津波計算システムの開発と近地・遠地津波への適用について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 301-305.
- 平石哲也・柴木秀之・原崎恵太郎(1997): 想定南海地震における共振周期特性の重要性について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 286-290.