

各種断層モデルによる津波シミュレーションの検証

徳島大学工学部 正員 村上仁士

徳島大学工学部 正員 山本尚明

日本工営 正員 石塚淳一

1. はじめに 四国の太平洋岸においては、1605年慶長地震津波、1707年宝永地震津波、1854年安政地震津波および1946年南海地震津波など南海トラフ上で発生した地震を波源とする津波により、徳島・高知・愛媛各県など四国の沿岸域を襲い、多くの尊い人命が失われるとともに多大な被害をもたらされたことが古文書等の記録に残っている。これらの地震津波については、それぞれ現地での観測あるいは調査等による津波高の観測あるいは痕跡データが得られている。また、1707年宝永地震、1854年安政地震および1946年南海地震については、各種の断層モデルが提案されている(表1)。この三つの地震における津波シミュレーションについては、今日では主に相田の提案による断層モデル(表2)を用いて行われており、表1に示す断層モデルの全てを用いた津波シミュレーションならびにこれらの計算値と観測値の整合性について検討されたことはあまり例がない。そこで、著者らは1707年宝永地震津波、1854年安政地震津波および1946年南海地震津波の三つの地震津波を対象とし、各地震で提案された全ての断層モデルを用いた数値シミュレーションを実施するとともに、その整合性の検討を行った。本報告では、この中から1946年南海地震津波を対象とした津波シミュレーションならびにその整合性の検討結果について述べる。

2. 津波シミュレーションの計算条件

2.1 津波の支配方程式 発生したばかりの津波は、波長が数百km、水深はせいぜい数kmである。波長が水深に比べて大きい場合は、長波と呼ばれ鉛直方向の流速を無視し、鉛直方向に積分された長波理論を適用できる。また、波高も数m程度であり、波の非線形性が小さく水深の深い領域では次式に示す線形長波理論を用いる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + g h \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + g h \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \dots (3)$$

ここで、 $M = u h$ 、 $N = v h$ 、 η : 水位、

g : 重力加速度、 h : 静水深、 u 、 v : x 、 y 方向の流速、 ξ : 海底地盤の鉛直変位である。

さらに、水深の浅い沿岸近くまで伝播した津波の計算では、波高が水深と同程度となり非線形性が無視できず、浅水波理論を用いる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} + f_c \frac{MQ}{D^2} = 0 \quad \dots (5)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} + f_c \frac{NQ}{D^2} = 0 \quad \dots (6)$$

ここで、 $D = \eta + h$ 、 $M = u D$ 、 $N = v D$ 、 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ 、 $f_c = g n^2 D^{-1/3}$ 、 n : マニングの粗度係数である。

計算格子は、水位計算点と流量計算点が1/2格子分だけずれたStaggered Leap-frog格子を用いる。

表1 各地震において提案された各種断層モデルの一覧

対象地震	1946年南海地震	1854年安政地震	1707年宝永地震
断層モデル	① Fitch & Scholz (1971) ② Kanamori (1972) ③ Ando (1975) ④ Ando (1982) ⑤ Iwasaki (1981) ⑥ 相田 (1981) ⑦ Kato (1983)	⑧ Ando (1975) ⑨ 相田 (1981)	⑩ Ando (1975) ⑪ 相田 (1981)

表2 1946年南海地震における相田提案の断層モデル

	記号	単位	西側断層	東側断層
断層面の長さ	L	km	120	150
断層面の幅	W	km	120	70
断層面の傾斜角	δ	°	20	10
断層の走向	θ	°	N20W	N20W
横ずれ量	U_s	m	1.2	2.4
縦ずれ量	U_d	m	4.8	3.2
深さ	d	km	1	10
継続時間	τ	sec	180	30

2.2 津波シミュレーションの諸条件

津波シミュレーションに用いる初期条件および境界条件などの計算諸条件を表3に示す。なお、計算は図1に示す領域1、領域2および領域3について実施し、整合性の検討は領域3の範囲で得られた計算値と観測値を用いて行った。

3. 計算結果 各種断層モデルによる津波シミュレーションの結果より、計算格子間

表3 津波シミュレーションの諸条件

項目	設定	値
領域番号	1 (K1領域) 2 (K2領域) 3 (K3領域)	
基礎方程式	線形長波方程式 非線形長波方程式	
沖側境界条件	透過境界	隣接する領域との接続
岸側境界条件	反射境界	
底面摩擦	なし	マンダの粗度係数
初期条件	流速	0
	水位	0
波源モデル	Mansinha-Smylieの解析解	
	1946年南海地震における各種断層モデルの7種類	
計算格子間隔	5,000m 1,250m 312.5m	
最大水深	4,796m 1,386m 141m	
計算時間間隔	1秒	
再現時間	3時間	

隔が312.5mの領域 (K3領域) における各観測地点の計算値と観測値の比 (図2) および対数幾何平均値K, 対数幾何標準偏差値 κ を求めた (表4)。また、相田モデルを用いた津波シミュレーション結果のK3領域での各計算格子間隔の違いによるK値および κ 値を求めた (表5)。一方、図2によると津波観測地点の一つである出羽島、穴喰の2地点では、一部の例外を除き各断層モデルの計算値と観測値の比が他の観測地点に比べて1からかけ離れる度合いが大きい。また、観測地点の地盤変動 (昇降差) に起因し、南の太平洋側に移行するにしたがって計算値と観測値の比が若干大きくなる。

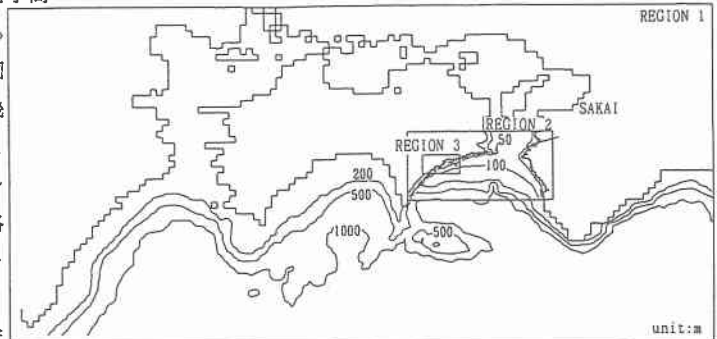
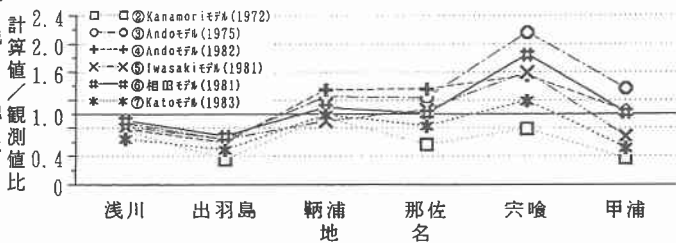


図1 津波シミュレーションの計算領域



4. 結 論 四国沿岸域で発生した1946年南海地震津波の最大津波高に関する計算値/観測値比 (K3領域)

46年南海地震津波を対象とした各種断層モデルによる津波シミュレーション結果ならびに観測値との整合性検討により、以下のことがわかった。

表4 各種断層モデルによる1946年南海地震津波のK値および κ 値 (計算格子間隔312.5m)

断層モデル	①Fitch	②Scholz Kanamori	③Ando (1975)	④Ando (1982)	⑤Iwasaki	⑥相田	⑦Kato
K	0.33	1.68	0.86	0.94	1.10	0.96	1.36
κ	1.66	1.45	1.46	1.40	1.35	1.34	1.38

①提案されている7つの断層モデルでは、相田(1981), Iwasaki(1981)およびAndo(1982, 1975)の4つ断層モデルを用いた

場合で津波の評価基準 ($0.8 \leq K \leq 1.2$ かつ $\kappa \leq 1.6$) を満たし、中でも相田提案の断層モデルの整合性が最もよい。

②相田提案の断層モデルを用い、計算格子間隔をそれぞれ5,000m, 1,250mおよび312.5mとした場合、格子間隔が312.5mの場合のみ津波の評価基準を満たす。

③四国の沿岸に近接する島部および沿岸地形が複雑かつ入りくんだような地点を対象とした数値シミュレーションを実施する場合、特に、正確で詳細な海底地形データが必要である。

(参考文献) 1)水道局：昭和21年南海大地震調査報告 津波編，水路要報，117pp.，1948

2)佐藤良輔：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会，pp.1～214，1989

3)Mansinha-Smylie：THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS，Bulletin of The Seismological Society of Amerika, Vol.61, No.5, pp.1433～1440, October, 1982