

南海トラフにおける津波特性に関する考察

津久井啓介*・藤澤 康 雄**・後 藤 智 明***

1. 緒 言

日本近海は世界有数の地震活動地帯であり、地震に伴う津波の発生件数は非常に多い。わが国に甚大な被害をもたらした津波の大部分は太平洋側で発生している。津波災害史で最初に記録された津波は、684年(天武13年)に四国沖で発生した南海道津波であった。684年から現在まで約1300年間に、南海トラフに発生したM8以上の巨大地震は8回ほどあり、津波は九州の太平洋沿岸部から紀伊半島沿岸部にいたる広範囲に大被害をもたらした。特に、1707年(宝永4年)、1854年(安政元年)、1946年(昭和21年)の南海道津波の被害が甚大であった。このように四国、紀伊半島の南海トラフにおいては、100年から150年程度の周期で海溝型の巨大地震が起これ、大津波が発生することが分かっている。したがって、今後の南海道沿岸の津波対策には、既往最大津波という従来の設計津波の考え方の妥当性を含めて、津波のエネルギー集中度および津波に対する脆弱度特性をベースとした詳細な検討が必要である。

四国・紀伊半島沿岸における津波の危険度の評価に関しては、河田・小池(1995)が危機管理の立場から津波減災の方法を提案し、南海トラフ沿いに津波波源を移動させた仮想津波の結果を基に津波の危険度を評価している。また、村上(1995)は、津波波源の位置と津波高および到達時間の相互関係より、地域津波防災を考えた堤防高や避難体制の確立を目指している。これらの研究では、津波波源の位置変化による津波の評価を行っている。しかしながら、津波対策を考える場合、津波波源の位置のみならず地震断層諸元が変化した場合、特に地震断層幅が変化し津波の周期特性を考慮した津波の評価も必要である。

本報では、その基礎的な検討として、1707年宝永地震津波、1854年安政地震津波、1946年昭和南海地震津波を対象に、津波防災対策を想定する設計津波として既往最大津波という従来の設計津波の考え方を含め、対象沿岸

域にとって最も危険側の地震断層位置および地震断層幅が変化した場合の津波の数値シミュレーションを行い、津波のエネルギー集中度特性や津波の周期特性に関して検討した結果を報告する。

2. 断層モデルについて

2.1 断層モデル

津波の初期波源は、断層運動の海底鉛直変位を津波初期波形として与える。この断層運動は図-1に示すように6つの断層パラメータすなわち走向 θ 、傾斜角 δ 、すべりの方向と断層の走向方向とのなす角 λ 、断層の長さ L 、断層の幅 W 、すべり量 U で規定する。これら断層パラメー

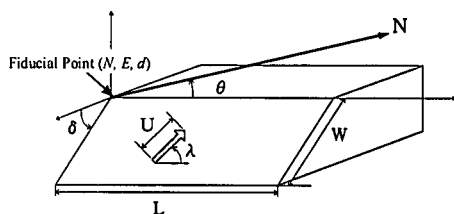


図-1 断層モデル図

表-1 断層パラメータ (相田, 1981)

●宝永南海地震 (1707, M=8.4)

	N	E	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
1)	33.41	136.15	10	250	10	124	150	70	560
2)	33.40	134.57	1	220	20	90	140	80	700
3)	32.33	133.57	1	240	20	90	60	80	1390

●安政南海地震 (1854, M=8.4)

	N	E	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
1)	32.70	134.74	1	250	20	117	150	120	630
2)	33.41	136.15	10	250	10	127	150	70	470

●昭和南海地震 (1946, M=8.0)

	N	E	d(km)	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	L(km)	W(km)	U(cm)
1)	32.68	134.75	1	250	20	104	120	120	500
2)	33.24	136.22	10	250	10	127	150	70	400

N, E: 断層基準点の北緯・東経 d: 断層の深さ

* 正会員 (株)大林組 技術研究所
 ** 正会員 工博 (株)大林組 技術研究所主任研究員
 *** 正会員 工博 東海大学教授 工学部土木工学科

タを決定すると断層運動による地盤の鉛直変位は弾性理論により, Mansinha and Smylie (1971) の方法で求めることができる。

数値計算で用いた3つの既往地震断層モデルは, 全て相田 (1981) が示した断層モデルを用いた。その各モデルの断層パラメータを表-1に示す。

2.2 地震断層の移動と断層幅の変化

図-2に過去の震源位置と断層の仮想移動位置を示す。過去に南海トラフで発生した海溝型地震の震源位置を結び, そのライン (I 列) を基準として沖側 35 km の位置に基準ラインと平行に仮想のライン (II 列) を設定した。ライン I, II 列ともにプレート境界より内側である。また, 各ラインを 11 分割し 2 系列 22 個の仮想断層位置を設定した。

さらに, 津波の周期特性を考慮するために, 昭和南海地震断層をベースとしてその地震断層幅を 2/4, 3/4, 4/4, 5/4 の 4 種類に変化させた。その際, 各オリジナルの断層モデルの最大鉛直変位と同じ値となるように各断層幅を変えた場合の最大鉛直変位の値を合わせている。

3. 数値計算法

現在用いられている津波の数値計算法は, 大きく 2 つに別れる。太平洋の深海域を伝播する津波と沿岸部の比較的浅水域を伝播する津波の計算法である。前者は津波の波高に対して水深が大きい場合で, 非線形効果が小さく微小振幅長波理論 (線形長波理論) が成立する。また, 後者は, 水深に対する相対波高が大きくなり非線形効果や海底摩擦さらに, 波の分散効果等が無視できなくなる。

本研究では, 沿岸部における津波の危険度を評価することが主目的であり, 断層位置や断層幅をパラメータとして多ケースの解析を行い津波の最大水位を求めるもので, 数値計算法としては微小振幅長波理論を用いた。さらに, 微小振幅長波理論は現在の津波計算法から見れば計算時間も早い, 計算領域の多領域接合, 開境界処理等, 多量の計算では時間がかかりすぎるため, 微小振幅

長波理論を基に配列, 境界処理などに工夫をし短時間に精度良く演算できる高速演算型津波計算法を開発した。

ここでは, 津波の数値計算法の概要として基本である線形長波理論に基づく計算法について述べる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに, η は津波の水位, M, N は水平方向 x, y の流量フラックス, g は重力加速度, h は静水深を示す。上式にコリオリ力を考慮する場合もあるが, 日本近海で発生する津波の場合は比較的伝播距離も短いのでその効果が小さいので省略する。この支配方程式をスタッガードリーブフロッグ差分法を用いて計算する。

3.1 計算領域と計算格子

計算領域は, 図-3に示したように領域 I から IV までを多領域接合し, 領域 I の計算格子間隔を 3,600 m, 領域 II を 1,800 m, 領域 III を 600 m, 領域 IV を 200 m として計算した。陸域との境界条件は, 鉛直壁条件とした。

3.2 数値計算の再現性の検討

津波の数値シミュレーションの計算結果の再現性 (計算精度) を評価するために, 相田 (1977) により提案された評価指標 K (幾何平均) および κ (幾何分散) を用いた。この方法はある地点の津波高の観測値と同地点での計算値を比較するもので, K 値は全体として計算値を K 倍すれば観測値に一致するという指標であり, 1 に近いほど良好な結果である。また, κ 値は計算値ばらつき度を示すもので, 対数値で表した標準偏差に相当する量である。今回の数値計算結果は, K 値 1.26, κ 値 1.31 であり数値計算の再現性が確認された。

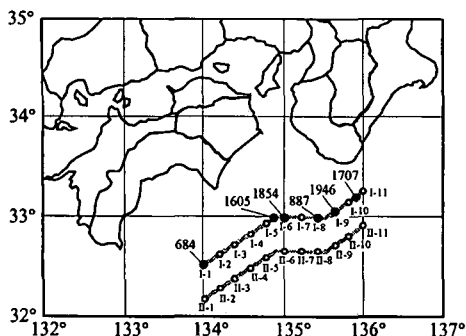


図-2 断層移動位置図 (●: 既往地震の年代)

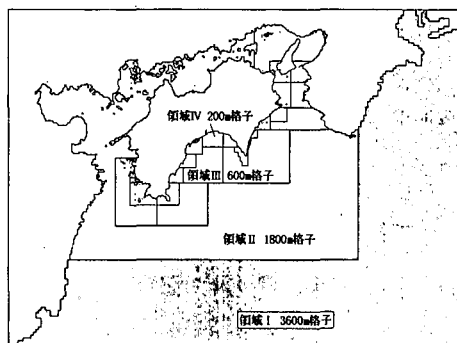


図-3 計算領域図

とんどの沿岸域でより大きくなることが分かった。

そこで沿岸域の代表例として、徳島県海部町那佐港、徳島県由岐町鹿ノ首岬、和歌山県和歌山本港、和歌山県海南港の断層位置と幅の違いによる津波の最大水位を示す。図-7, 8 は I 列断層位置及び II 列断層位置に関する那佐港の最大水位図である。同じく図-9, 10 は鹿ノ首

岬、図-11, 12 は和歌山本港、図-13, 14 は海南港の最大水位図である。

どの例からも前述の通り断層位置が異なると大きく沿岸津波高が異なることが分かる。また断層の長手主方向の向きのため四国側では全体的に紀伊半島側より津波高は高めである。

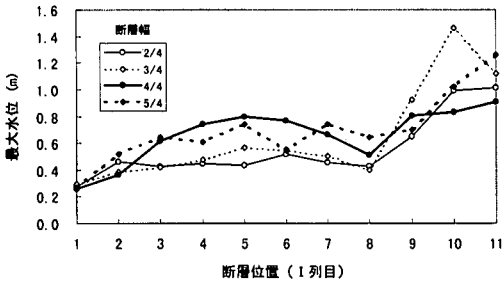


図-7 最大津波高 (海部町那佐港, I 列目)

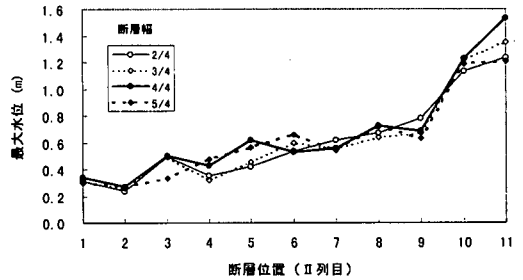


図-8 最大津波高 (海部町那佐港, II 列目)

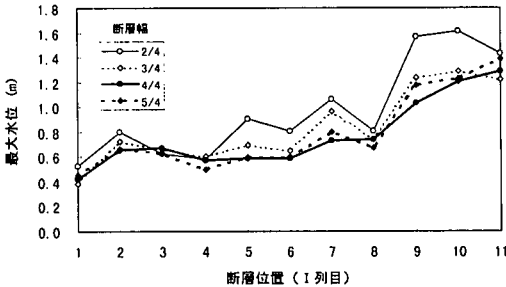


図-9 最大津波高 (由岐町鹿ノ首岬, I 列目)

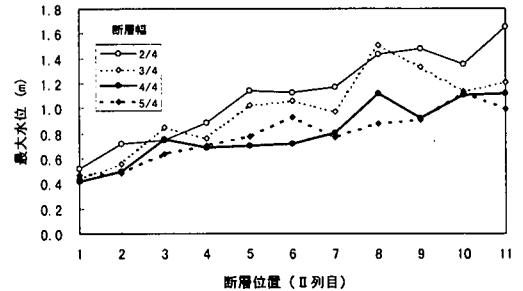


図-10 最大津波高 (由岐町鹿ノ首岬, II 列目)

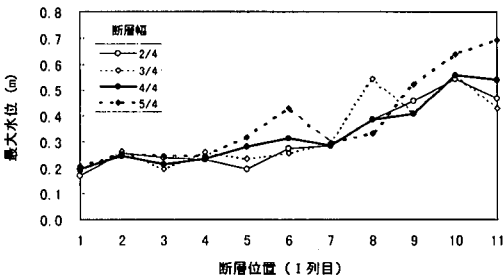


図-11 最大津波高 (和歌山本港, I 列目)

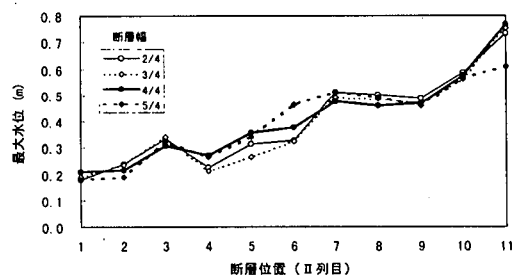


図-12 最大津波高 (和歌山本港, II 列目)

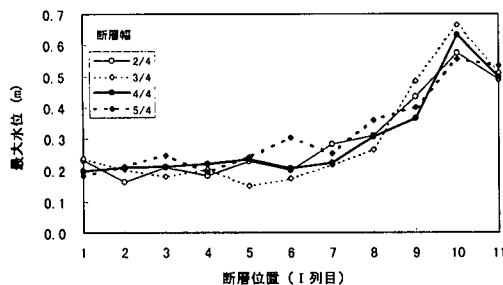


図-13 最大津波高 (海南港, I 列目)

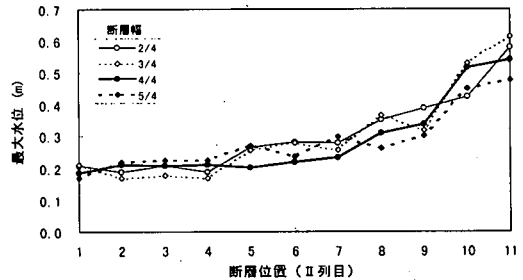


図-14 最大津波高 (海南港, II 列目)

I列目とII列目を比較すると、II列目は震源が35 kmほど沖側になるにも関わらず同じような津波高を示し、大まかな傾向も同じであることが分かる。トラフ上ということもありII列目の方が平均で1,500 mほど水深が深くなっており、単純にグリーンの法則によれば、II列目の津波高はI列目の津波高より大きくなるはずである。しかし距離減衰などの効果もあり同じような津波高になったものと考えられる。さらに地形影響などによって複雑に伝播するので、距離が違う場合全く同じ傾向にはならず、細かく見ると各ケースで様々な応答を示しているのが分かる。

I列目ではそのピークがたいいて断層位置10にあるが、II列目では位置11にピークがある。これはI列目とII列目では緯度方向のみにずらしたため、海岸線に沿って考えるとI列目では位置10が最もこの紀伊水道沿岸に近づき、II列目では位置11が最も近づくためである。

さて図-7では、断層位置10で断層幅が3/4の方が断層幅4/4より沿岸津波高が著しく大きくなっている。地震断層の相似則に従うと設定地震マグニチュードが大きいほど断層幅が広く推定される傾向があるが、必ずしも地震マグニチュードが大きい方が津波対策を考える上で安全側であるとは言い切れない。また図-8では本来の昭和南海地震津波時に一番近い断層位置(位置9)での最大水位に対して、東側にずれた場合(位置11)は最大水位が約2倍となる。これから津波防災上設定断層位置の選定には十分留意しなければならないことが分かる。

また図-9においては全般的に断層幅2/4が最大を示しており、4/4と5/4がどの位置でも低い。とくに位置9と11では2/4が5/4より30%以上大きくなっている。II列目の図-10を見ると2/4の断層幅の場合が更に他より大きめに出ており、3/4の場合もI列目と比べて他より大きく出ている。

図-11においては断層位置によってどの断層幅が最大値を取るが異なっている。例えば位置6などでは5/4が最大であるが、位置8では3/4が最大となっている。図-12ではI列目ほどの断層幅による違いは出ていない。

図-13では他のケースほど断層幅の変化による最大津波高の違いは見られない。傾向的には和歌山本港と同じといえる。これは図-14においても同様である。

以上の結果から、従来の既往最大津波高で津波防災を考えると場合によっては防災対策の観点から見て危険側となり、津波防災上は断層の位置および断層幅の変化にまで考慮した設計津波の考え方が必要であることが分かる。

5. 結 言

昭和南海地震の断層モデルを南海トラフに沿って移動させ、同時に断層幅を変えながら津波の数値シミュレーションを行った。その結果次のような結論を得た。

(1) 足摺岬、弁天岬、室戸岬付近で津波エネルギーの集中が見られた。また、断層位置の違いに関しては、対象とする沿岸に断層位置が近づくに従い、沿岸津波高が大きくなる傾向がある。また、既往の断層位置よりも東側で地震が発生すると全体的に最大津波高が大きくなる。

(2) 地震断層の相似則に従うと設定地震マグニチュードが大きいほど断層幅が広く推定される傾向があるが、必ずしも地震マグニチュードが大きい方が津波対策を考える上で安全側であるとは言い切れない。

(3) 津波防災対策を策定するための設計津波としては、既往最大津波を含め、対象海岸にとって最も危険側の断層位置・断層幅を考慮して定める必要がある。

参 考 文 献

- 相田 勇 (1977): 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 52, pp. 71-101.
- 相田 勇 (1981): 南海道沖の津波の数値実験, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 56, pp. 713-730.
- 河田恵昭・小池信昭 (1995): 危機管理と津波避難マニュアル, 京都大学防災研究年報, 第38号, B-2, pp. 157-211.
- 佐藤良輔 (1989): 日本の地震断層パラメータハンドブック, 鹿島出版会, 390 p.
- 高橋智幸・首藤伸夫・越村俊一 (1995): 北海道東方沖で発生する地震津波の災害アセスメント, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 356-360.
- 村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明・佐藤広章 (1995): 四国沿岸域の津波危険度に関する一考察, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 361-365.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971): The displacement field of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 61., No. 5, pp. 1433-1440.
- Tsukui, K., Y. Fujisawa and C. Goto (1997): Tsunami Concentration Degree in Tonankai Plate Boundary, 16th Int. Conf. on OMAE, Vol. 1-B, pp. 47-54.