

次の南海地震津波来襲時における
四国沿岸域の人的被害軽減化に関する研究

村上 仁士¹, 上月 康則¹, 近藤 光男¹,
岡部 健士², 中野 晋², 大谷 寛¹

Human Damage Preparedness against Nankai Earthquake
Tsunami in Shikoku Coast

by

Hitoshi MURAKAMI, Yasunori KOZUKI, Akio KONDO,
Takeshi OKABE, Susumu NAKANO, Hiroshi OTANI

In the following Nankai Earthquake Tsunami, the characteristics of the tsunami height and its arrival time in the coastal area of the Seto Inland Sea was discussed. It found that their values could be estimated by the simple operation of Aida's Ansei Nankai Earthquake Model(1981).

Next, it proposed the evacuation model as the death toll increases as to be behind in the taking evacuation beginning time for the example of Usa, Kochi Prefecture. Moreover, based on this method, it measured the opening and shutting effect of the gates which was put to the embankment to exert on the death toll, and then it evaluated the effectivity of the protection against disasters.

Key words: Nankai Earthquake Tsunami, Disaster Preparedness, Human Damage Reducing
Tsunami in Seto Inland Sea,

-
1. 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学
専攻
Ecosystem Engineering Course,
Graduate School of Engineering, The University
of Tokushima
 2. 徳島大学工学部建設工学科
Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, The University of Tokushima

1. 緒言

次の南海地震は、今後 30 年以内に 50%、50 年以内に 80%の発生確率で起きると予測されている。南海地震は単独で起きるよりも東海地震、東南海地震と連動することが多く、その場合の地震マグニチュード M は 8.6 と 8.7 ともいわれ、被害規模は大きく超広域複合災害が懸念されている。国の試算によれば、死者 28,300 人、全壊家屋数 96 万棟、経済的被害 81 兆円にものぼる。四国沿岸市町村では震度 6 弱以上、太平洋沿岸では 5~10m、

瀬戸内海沿岸でも 1~2m の津波が来襲し、震害以上に津波による人的・物的被害は大きく、その被害軽減対策が急務といえよう。

四国沿岸域の津波に関する研究は、太平洋、紀伊水道沿岸域については、過去の被災が大きいこともあり、多くの研究がなされてきた。しかしながら、羽鳥¹⁾や著者ら²⁾、山本³⁾による歴史津波を整理した研究もあるが、豊後水道や瀬戸内海の津波の挙動が解明されているとは言いがたい。瀬戸内海沿岸域は高度利活用がなされ、津波来襲時に機能が麻痺すれば経済産業活動に大きな支障をきたすことになり、ここに進入する津波の特性を明らかにすることが急がれる。

ここでは、1) まず瀬戸内海の基礎的津波特性を把握する目的から、津波特性(津波高、津波到達時間)に及ぼす南海地震発生位置(震源域)の影響について考察する。

2) ついで、次の南海地震津波発生時には、四国の多くの沿岸地域が津波による被害を受けることが予測されており、堤防・護岸の嵩上げや防波堤の新設などハード面整備は効率よく施工すべきであるが、全てのハード施設を整備することは不可能である。ここでは、津波被害常襲地といえる太平洋沿岸の高知県土佐市宇佐を対象として、既存の水門や陸閘など門扉の閉鎖による人的被害軽減効果を検証し、住民の避難行動を考慮した新たな人的被害予測手法を示し、早期避難開始の重要性を具体的に示す。

2. 瀬戸内海における津波の特性

2.1 津波計算

2.1.1 基礎方程式

式(2.1)~(2.3)に示す波の非線形長波理論(浅水波理論)式を支配方程式として用いる。

$$\frac{\partial(\eta - \xi)}{\partial t} = -\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial y} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + f_c \frac{MQ}{D^2} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + f_c \frac{NQ}{D^2} = 0 \quad (2.3)$$

ここに、 η :水面の鉛直変位量、 $D = \eta + h$ 、 h :静水深、 $M = uD$ 、 $N = vD$ 、 (u, v) : (x, y) 方向の流速、 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ 、 g :重力加速度、 $f_c = gn^2 D^{-1/3}$ 、 n :マニングの粗度係数、 ξ :海底地盤の鉛直変位である。

数値計算における差分スキームは、空間差分には水位計算点と流量計算点が 1/2 格子分だけずれたスタッガード格子を用い、時間差分には中央差分である Leap-frog 法を用いた。また、本研究における津波伝播計算では、水際線を無限の鉛直壁と考え、完全反射境界として扱う。また、計算領域外へと抜ける場合の沖側の境界では、自由透過とする。

2.1.2 計算条件

(1)検討対象とした断層モデル

ここでは、Fig.1 に示すように相田の安政南海地震断層モデル(安政: 20)(図中 CASE)⁴⁾を用い、過去の南海地震の発生位置を考慮し、南海トラフ沿いにこの相田モデルを含め合計 7 か所移動させ、地震発生位置の違いによる、瀬戸内海の津波特性を考察した。

(2)計算領域と計算条件

Fig.2 に、本研究で対象とする津波伝播計算領域と計算格子の配置図を示す。計算時間は 15 時間、計算時間間隔は 0.6 秒、計算潮位 T.P. ± 0.0m とした。また、各地震の断層モデルから Mansinha-Smylie⁵⁾ の解析解で求めた平面的な地盤の鉛直変位を初期水位分布として与えた。

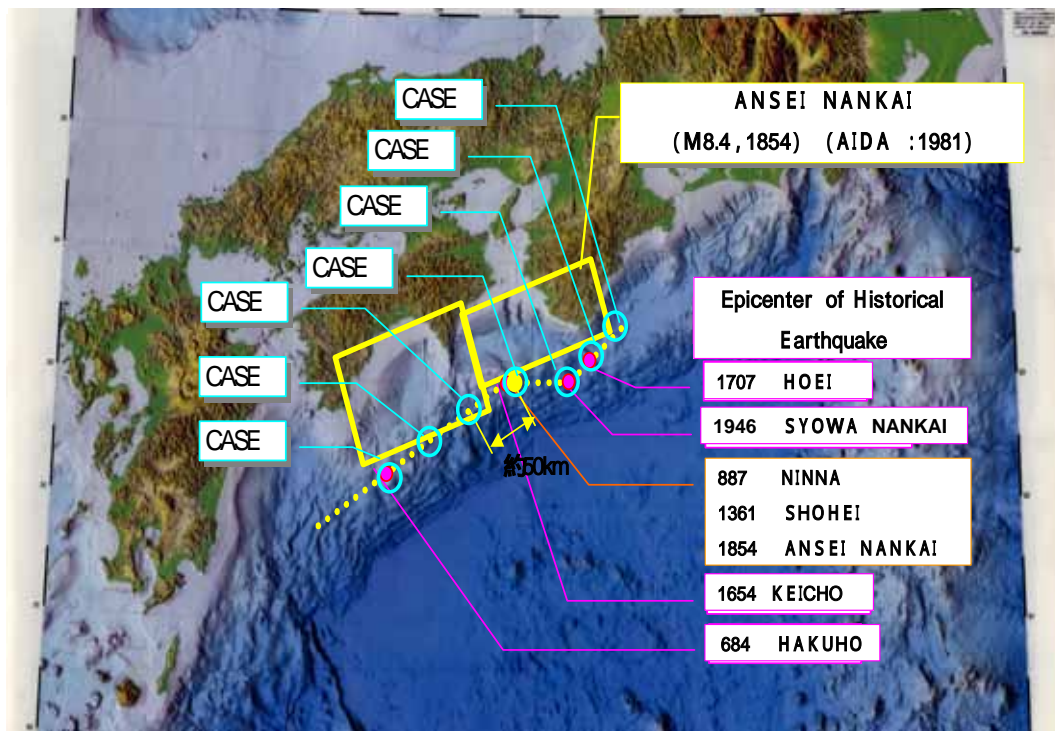


Fig.1 Seven Kinds of Fault Models

2.2 瀬戸内海における津波高

Fig.3は、地震発生位置(震源域=波源域と仮定)の違いにより、瀬戸内海沿岸各地の津波高がどのように変化するかを各地の最大津波高の計算結果について示したものである。ただし、T.P+0からの表示であり、防災対策上はこれに満潮位を加えればよい。

四国・本州両沿岸域とも、～の領域では一般的には50cm～1m程度の津波高で、やや本州側が高い傾向を示す。一方、CASE1～CASE3では、で本州側が四国側よりもかなり大きく、逆にCASE5～CASE7では、で四国側が本州側よりも大きくなる傾向がうかがえる。

安政南海地断層モデル(CASE)は、2つのセグメントから成るモデルであり、モデルが西へ寄るほど豊後水道を通過する津波は大きくなり、一方、当該モデルが東へ寄っても鳴門・明石両海峡を通過する津波に大きな変化はないが、小豆島な

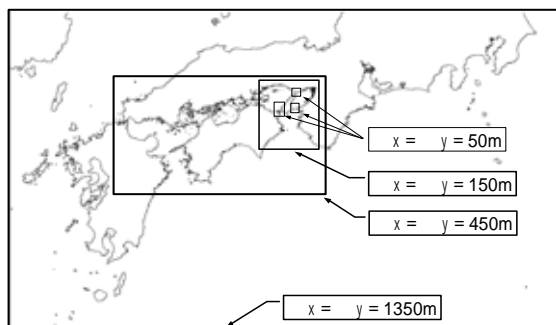


Fig.2 Calculation Area and Grid Length

どではかなりの影響がでるようである。

以上の結果から、瀬戸内海における安政南海地震津波の史料を収集し、安政南海地震の再現モデルが確立すれば、その安政モデルから求められる値にこの図に示された各地の津波最大値との差を加算すれば、各地の最大津波高がよりよい精度で予測することが可能といえよう。

2.3 瀬戸内海における津波到達時間

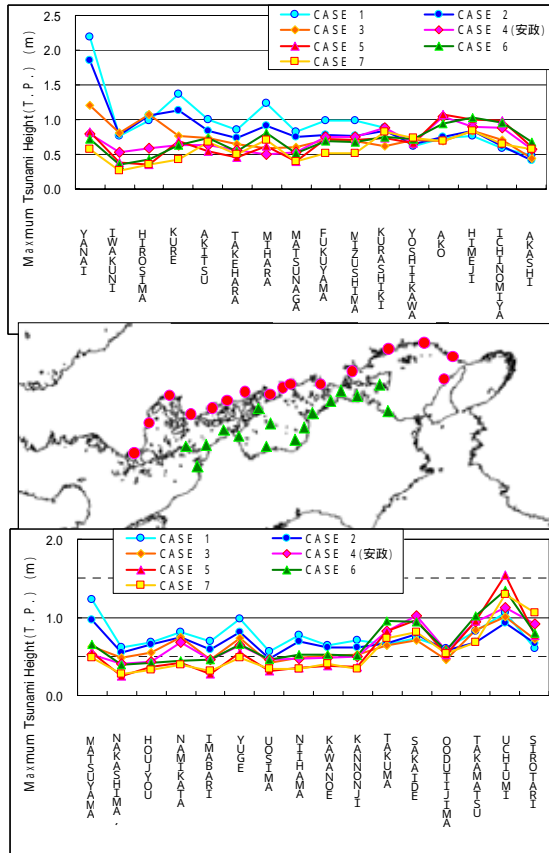


Fig.3 Distribution of Maximum Tsunami Height at Coastal Areas with Each Wave Source

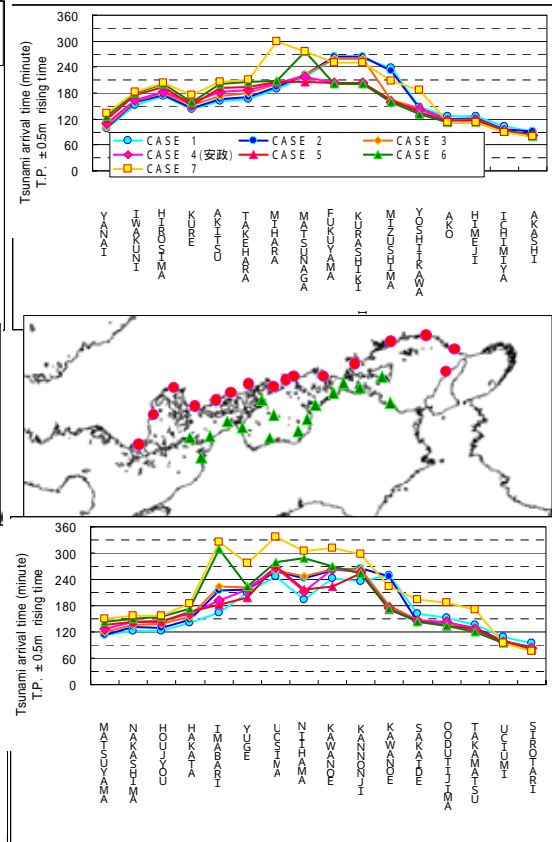


Fig.4 Distribution of Tsunami Arrival Time at Coastal Areas with Each Wave Source

Fig.4 は、地震発生位置の違いによる、瀬戸内海沿岸各地の第 1 波津波到達時間（平均海面が 5cm 上昇する時間）の変化を示したものである。

東の鳴門・明石両海峡および西の豊予海峡からそれぞれ瀬戸内海に入る津波は、波源域が変化しても四国・本州沿岸の各地点（波方 - 呉）および（宇野 - 坂出）までの間では津波の到達時間に大きな違いがないことがわかる。これらの領域では、安政南海地震断層モデルを用いて津波到達時間が予測できることがわかる。しかしながら、四国・本州両沿岸 ~ の範囲では波源域の位置によりかなり津波到達時間に差異が起きるようである。これらの沿岸では波源域の位置により、津

波到達時間が変わることを考慮しておく必要がある。安政南海地震時（CASE4）の津波到達時間は最短に近く、この時間を目安に避難計画などを考慮すればよいと思われる。なお、西の（松山 - 柳井）への到達は 100 分程度、東の（白鳥 - 明石）へは 80 分程度であり、早期避難さえすれば人的被害は免れる。しかしながら、小型漁船など船舶などについては、早期避難を怠れば被災することに注意を要する。

3. 門扉の閉鎖による人的被害軽減効果

3.1 津波による人的被害の予測計算手法

著者ら⁶⁾は、高知県土佐市宇佐町（以下 T 市 U

町と呼称)(Fig.5)を対象として, Fig.6 の流れ図のように津波が陸上に遡上して氾濫する津波の数値計算を行いながら, 住民の避難行動を考慮した人的被害予測手法を開発した.

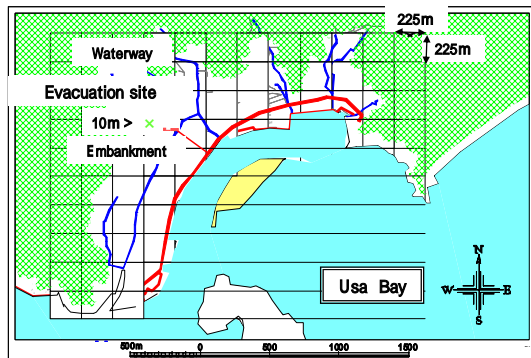


Fig.5 Usa, Tosa city, Kochi

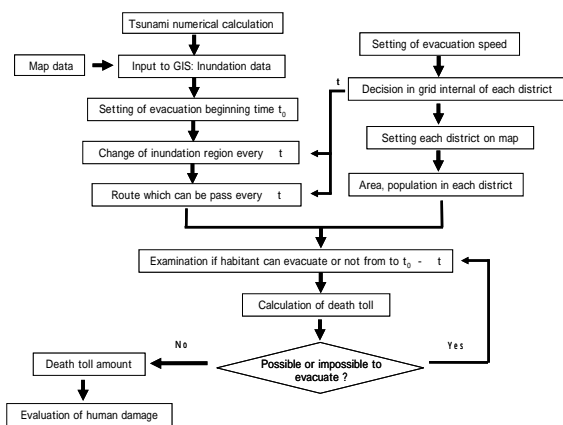


Fig.6 Flow of Human Damage Prediction

人的被害予測を行うにあたり, Fig.5 のように被害予測の対象地域を格子状に区切り, この区域内に住む住民を 1 つのグループとして扱い, 住民はグループ単位, 避難速度 45m/分で避難行動をとるものと仮定した. また, 住民は避難場所を目指して, 避難経路が残された方向(道路が浸水していない方向)に移動するものとする. 浸水範囲に含まれ

る建物は鉄筋コンクリート造りの構造物なども含め避難場所から除外し, 標高 10m 以上の場所 (Fig.5) を避難場所とした. 人的被害の算定は, 津波の数値計算で得られた計算結果を参照し, 一定時間ごとに住民が被害を受けるか否かの判定を行い, 区域内の住民が避難完了, あるいは住民の全員が被害に遭うまで繰り返した. なお, 地震による家屋倒壊などで発生する人的被害は考慮せず, 津波による被害のみを推定した⁷⁾. また, 被害によるパニックや負傷者の救出などの不確定要素をはじめ, 地震被害による避難経路の寸断など避難の障害については考慮していない.

3.2 人的被害に及ぼす門扉開閉の影響

津波が陸上に氾濫した場合には, 多くの漂流物により膝上以上の水深になると避難できないといわれ, この浸水深を 50cm として, これ以上になると避難不可能とされている.

T市U町には, 水門 5 基, 陸閘 59 基がある. U町の人口は 4339 人で, 門扉の開閉状態を 4 つのケースを考え, 避難開始時間の違いによる人的被害を予測し, Fig.7 に全人口に対する死者数の比で示した.

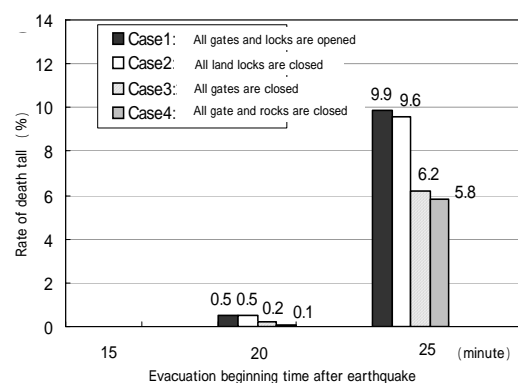


Fig.7 Relation between Rate of Death Toll and Evacuation Beginning Time

津波数値シミュレーションによれば、浸水開始時間がU町では、地震発生後15～20分のため住民が地震発生後15分に避難を開始すれば死者が出ないことがわかる。20分後に開始すれば門扉が全て開いていれば20余人、全門扉が閉まっていれば5人、同様に25分から避難開始の場合には、前者で430余人、後方で250余人となる。門扉の閉鎖効果が大いことがわかる。ちなみに、T町では1707年の宝永地震時(M8.4)には津波で500余名がこの地で亡くなっている。

なお、次式で示す陸上に氾濫した津波の流速も考慮した被害発生条件用い、門扉の閉鎖による人的被害軽減効果を考察した結果、上記に比べ1.1～1.2倍になることが確認されている⁸⁾。

$$h=0.8505\exp(-0.7553u) \quad (3.1)$$

ここに、 h は浸水深、 u は流速である。

U町では、Fig.7からわかるように、水門の閉鎖による人的被害軽減効果が大きく、全門扉(水門および閘門)閉鎖に近い効果を行うことができるのに対し、陸閘全部閉鎖してもそれほど人的被害減少効果が少ないことがわかる。

各地でこうした門扉の人的被害減少効果の評価を行い、その地に適した効果的な門扉開閉の運用を行うことが重要である。

4. 結 言

迫り来る南海地震に対し人的・物的被害軽減対策が急務である。

本研究では、四国全沿岸域の津波の挙動を明らかにするため、これまで十分研究がなされていない瀬戸内海沿岸域について津波高および津波到達時間をもとに、津波特性を概観できる資料を提供できた。

ついで、次の南海地震時に大きな被害が予想される津波常襲地域を例として、既存防潮堤や護岸

の越波による浸水、防潮水門や陸閘など適正な門扉開閉による人的被害軽減効果を評価する手法を示すことができた。

それに先立ち、住民の意識調査から得られた避難開始時間をもとに、一定の避難速度で避難不可能な浸水深に達していない道路を選びつつ高い場所に避難するという避難モデルを開発し、早期避難の重要性を強調した。両者をあわせて同様な手法を用いれば、対象地域に有効な人的被害軽減対策が実行できることを示唆した。

一連の研究結果を住民に示すことにより、地域住民が主体となった自主的避難促進および避難行動を起こさせる動機付けに有用な資料を提供するものと考えられる。

以上のような成果を得たが、住民の避難速度、家屋の倒壊、流失など避難路を妨げる要素を取り込むなど今後の課題は山積みされている。特に、瀬戸内海の津波挙動の解明はまだ緒についたばかりであり、今後の多くの研究者による研究が待たれる。

最後に本研究は平成16年度工学部研究プロジェクトによる研究の成果であることを明記し、一部科学研究費基盤研究(C)17510149(代表者:村上仁士)による補助を受けたことも記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 羽鳥徳太郎:瀬戸内海・豊後水道沿岸における宝永(1707)・安政(1854)・昭和(1946)南海同津波の挙動,地震2, vol.41, pp.215-221, 1983
- 2) 例えば,村上仁士,山下久男,藤山 究,前田俊二,椎野佐昌:四国地方の地震防災に関する調査研究,第6章:歴史部会,平成9年度業務委託報告書,土木学会四国支部, pp.201-230, 1998
- 3) 山本尚明:瀬戸内海の歴史南海地震津波につ

いて，歴史地震，第 19 号，pp.153-160,2004

4) 相田 勇：南海道沖の津波の数値実験，地震研究所彙報，vol.56,pp.713-730,1981

5) Manshinha,L., D.Smylie:The displacement of inclined faults,Bull. Seismo. Soc. Amers. ,vol.5, pp.1433-1440,1971

6) 島田富美男，村上仁士，上月康則，杉本卓司，西川幸治：津波による人的被害予測に関する一考察，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.361-365,1999

7) Sugimoto,T., Murakami,H., Kozuki,Y. and K.Nisikawa: A Human Damage Prediction Method for Tsunami Disasters Incorporating Evacuation Activities, Natural Hazards, 29, pp.585-600,2003

8) 志方建仁，村上仁士，上月康則，杉本卓司：津波心酔時における人的被害に及ぼす門扉閉鎖の影響に関する一考察，歴史地震，第 19 号，pp.146-152,2004