

沿岸域集落の津波危険度に関する簡便的評価法

山本 尚明* ・村上 仁士** ・島田 富美男***
上月 康則**** ・佐藤 広章*****

1. 緒 言

沿岸域市町村の集落規模の津波危険度に関する評価法は、従来、地震の断層モデルを用いて詳細な津波の数値計算を行い、集落における津波高や津波の到達時間から評価する方法がとられている。また、村上ら(1996a, b)、山本ら(1998)は、四国沿岸における津波波源の位置と津波高および到達時間の相互関係を明確にすることにより、地域津波防災を考えた堤防高や避難体制のあり方を確立することを目的として、南海トラフ沿いに津波波源を移動させ、同沿岸域における津波高や到達時間から津波の危険度を評価してきた。しかしながら、この手法を用いた場合でも家屋の配置や強度の異なる構造物間の流速を、通常は粗度係数の違いのみで表現するため、いくら計算格子間隔を小さくしても陸上に遡上した実際の津波の挙動を正確に表現できるわけではない。特に、集落の人的被害を予測する場合には、住民の避難行動を陸上へ氾濫した津波挙動との関連でとらえなければならない。

そこで本研究では、陸上域での複雑な数値計算は行わず、海陸境界を完全反射と仮定して求めた数値計算による津波波形と現況の堤防高さから津波越波の有無、ならびに堤防越波時における住民の避難が可能かどうかを同時に判定できる簡便的な津波危険度の評価法を提案する。さらに、この手法を用いて沿岸域における集落規模の津波危険度を評価し、各地域での防災施設や避難体制のあり方について考察する。なお、本研究では、四国太平洋沿岸の代表的な津波被災地である高知県宿毛市から徳島県阿南市橘地区までの 35 の集落を取り上げ、津波危険度を評価した。

2. 数値計算

2.1 基礎式と計算領域

対象とする津波は、四国沿岸域にかつて大被害をもたらした地震(宝永(1707)、安政南海(1854)、昭和南海(1946))の断層モデルを、南海トラフ沿いに移動させることで得られる複数の仮想津波を計算し、その中から対象とする集落において最大の被害を与えると考えられる津波波形を用いるものとした。

計算領域は、図-1 に示す 515.00 km×168.75 km とし、 x 軸および y 軸は図のようにとっている。図中には過去に南海道沖で発生した歴史地震の発生年と震央位置を●印で併記した。

計算格子間隔は全計算領域とも 1.25 km、最小水深は 5.0 m、計算時間間隔は 1 秒とした。また、数値計算は地震発生後 1 時間まで行っている。

津波の数値計算は、水深が 50 m 以上の海域では線形長波理論式、それより浅い海域では非線形長波理論式の 2 つの基礎方程式を用いている。また、津波の初期条件となる水位は、断層モデルをもとに Mansinha-Smylie (1971) の解析解で計算される地震時の海底地盤変動量の鉛直成分をそのまま海水面の変位とした。

2.2 断層モデルの移動

数値計算に用いた断層モデルは、いずれも相田モデル(1981)の No. 19, No. 20, No. 29 である。それは、村上ら(1996a, b) が四国の太平洋沿岸域において種々の断層モデルの適合性を検討した結果によるものであり、本

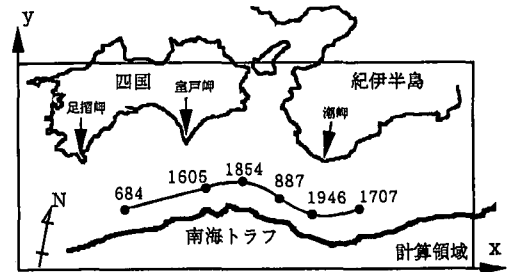


図-1 計算領域

* 正会員 工博 (株)四国総合研究所 土木技術部副主席研究員
** フェロー 工博 徳島大学教授 大学院工学研究科エコシステム工学専攻
*** 正会員 工修 阿南工業高等専門学校助教授 建設システム工学科
**** 正会員 工博 徳島大学助教授 大学院工学研究科エコシステム工学専攻
***** 正会員 工修 (株)ニュージエック 河川・海岸部海岸室

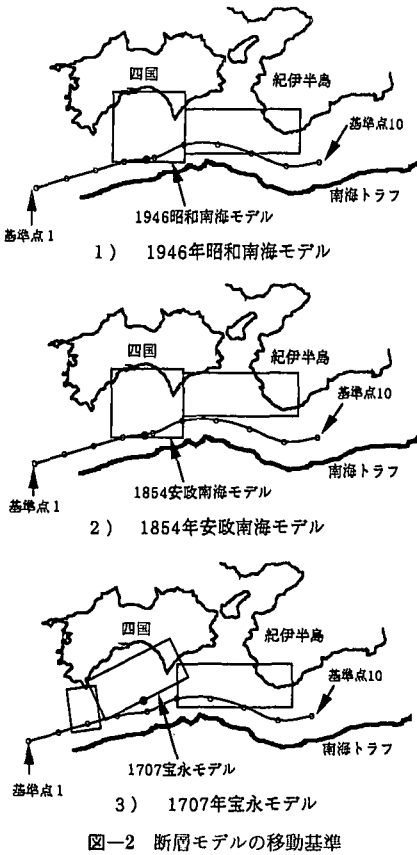


図-2 断層モデルの移動基準

研究でもこれらのモデルを採用している。

図-2は、ここで用いた3つの地震に対する断層モデルの移動基準を示す。図-1から、南海道沖で発生した歴史地震の震央位置のほとんどが南海トラフに沿う内陸側にあり、しかも、ある1本のライン上に存在していることがわかる。これより、今後発生する地震もこれらの震央位置を結ぶライン上の位置で発生する可能性が高いと考えられる。そこで、図-1に実線で示したラインをモデル移動の基準ラインとして考え、図-2に示すとおり、この基準ライン上に基準点1~10の計10点の仮想震源を隣り合う基準点が64kmとなるように設定した。また、各断層モデルに基準点●印(図中断層底面の中点)を設け、モデルの基準点と基準ラインの設定震源との関係は変わらないという仮定のもとに、各断層モデルを移動させるものとした。

2.3 津波高の補正

本研究で用いた断層モデルの妥当性の検証は、前述したとおり既に村上ら(1996a, b)によってなされているものの、1.25kmの格子間隔による数値計算だけで、沿岸全地域での津波高を正確に再現できるものではない。また、現地調査から得られる津波高の観測値と沿岸を直立壁であるとした計算によって得られる津波高とは厳密に

は異なるものである。一方、各集落の津波被害は、津波防波堤、防潮堤および防潮水門などの防災施設の設置や整備状況により大きく異なる。また、津波が現堤防を越波するかどうかの正しい判定は、津波の推算精度にかかっている。しかしながら、波源の異なる場所からの津波については特定の地震の断層モデルしかなく、しかもそのモデル自体の精度に疑問点もあり、津波波形の正否については保障のしようがない。そこで、本研究では各計算格子ごとに得られた観測値と計算値の対数幾何平均Kの値が0.8~1.2となるように配慮しつつ、算出された津波高に一定の値、すなわち既往の波源モデルを用いて各地域で求めた津波高の計算値に対する観測値の比を補正率として乗じることで、津波高の補正を行っている。当然ここでは、地震による建物や道路、防潮堤が壊れるなどの条件、さらには、河川からの津波の遡上などは考慮していない。

3. 津波危険度の評価

3.1 越波・避難を考慮した津波危険度の評価法

この評価法の特徴は、四国の太平洋沿岸について集落規模での津波危険度を全般的に診断したいために行うものであり、個々の集落についての越波した津波の挙動を知るためのものではない。また、この手法は住民の避難行動そのものを津波危険度に取り入れた簡便的な評価法であり、人的被害を最小限にするための第一段階としての簡便法である。もちろん、住民の避難を考える場合には、各集落について氾濫計算を行い、津波の詳細な挙動を把握しておく必要があるが、本研究の目的は、その前提条件となる今後詳細な計算をする必要がある集落をさがすことであり、この方法によりそれが可能となる。そこで、津波が堤防を越波する可能性の有無、避難開始時間および避難所要時間などから本評価法を考えた。

図-3は、宝永津波の発生モデルを図-2の3)に示す基準点7で起こした場合の、高知県土佐市宇佐町(以下、宇佐という)における津波波形の一列を示す。この図を用いて、本研究で提案する越波および避難を考慮した簡

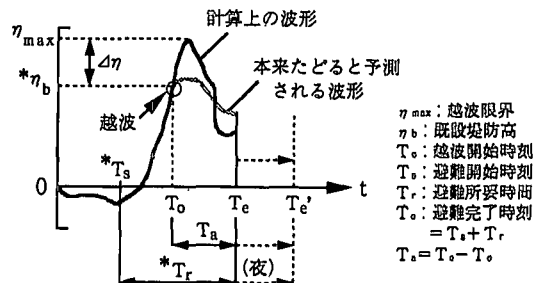


図-3 宇佐の津波波形

便的な津波危険度の評価法を、以下に説明する。

1) ① $t=0$ で南海道沖で地震が発生し、宇佐ではすぐに引き波現象が起きる。②避難警報が発令され、地震発生から T_s 分後(以下、震後 T_s 分と略記する)に住民の避難が開始されたとする。③一方、水位上昇を始めた津波は震後 T_0 分で既設堤防高 η_b まで上昇し、その後、津波は越波し始めることになる。④その間に住民は既に避難行動をとっており、避難開始(T_s)から T_r 分かって避難し、震後 $T_a(=T_s+T_r)$ 分で避難が完了したとする。夜間の場合は T_r が長くなり、 T_e は T_e' となる。

2) 以上の現象が地震発生から避難完了までの T_e 分間で起きた場合、津波の高さが既設堤防を越えるか否かが津波来襲時の避難に係わる危険度の一つの判定基準となる。すなわち、海陸境界を完全反射と考えた計算上の津波高 η_{max} と既設堤防高 η_b との差 $\Delta\eta$ が1つの重要な指標となる。一方、避難面からは津波の堤防越波開始から住民が避難所まで到達するのに要する時間 $T_a(=T_e-T_0)$ も重要である。ここで、 $Y=\eta_{max}/\eta_b$ 、 $X=T_a/T_r$ と無次元化すると、 $Y=1.0$ であれば $\Delta\eta=0$ となり、既設堤防で想定した最も危険な津波の越波をかうじて防ぐことができる。しかし、仮に $\Delta\eta>0$ 、すなわち $Y>1.0$ となる地域では、既設堤防ではその対象津波は越波してしまう。たとえば、 $Y=1.5$ となる地域では既設堤防高を1.5倍しなければ津波の越波を防ぐことはできないといえる。一方、 X が0から1.0に近づくということは T_0 の値が T_r の値に近づき、いいかえれば津波が堤防を越波したときに住民の避難はあまり進んでいないことを意味している。これらの無次元量 Y 、 X は、それぞれの地域における津波が堤防を越波する危険度および避難に関する危険度を判定する指標となるので、これらを1つの $X-Y$ 座標上にプロットすれば、越波および避難に関する津波危険度を一目で評価することができる。

3.2 危険度評価に用いる定数設定

図-3の*印で示す津波危険度の評価に用いる既設堤防高 η_b 、避難開始時刻 T_s および避難所要時間 T_r は、四国沿岸の対象地域が夜間に被害を受けた場合で、しかも高齢者が避難する場合を想定して、それぞれ以下のように設定している。

- 1) η_b : 既設の堤防天端高
- 2) T_s : 10分(人口の多い地域や避難警報体制が整っていない地域: 避難警報が発令されるのが震後5分、さらにその5分後によく高齢者が避難を開始する)
- 3) T_r : 最長避難直線距離/高齢者の避難速度(避難速度: 昼間40m/分(古名ら, 1995), 夜間20m/分)

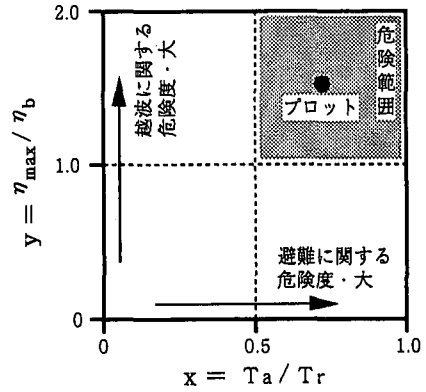


図-4 宇佐の津波危険度

3.3 津波危険度評価の一例

図-4は、図-3の津波波形の値を用いて無次元化した越波に関する危険度 Y と避難に関する危険度 X を組み合わせプロットした宇佐における津波危険度を示す。この図から、宇佐は越波および避難の両面で津波危険度が高い地域と判断することができる。なお、本研究では、来襲した津波が既設堤防を越えたとき($Y=1.0$)に、しかも住民が避難経路の残り半分($X=0.5$)以上先にまで避難できていなければ、その後の住民の安全かつスムーズな避難は不可能であると仮定し、図-4に示す網かけ部分を危険範囲として想定している。

4. 津波危険度の評価および考察

ここでは、新たに提案した津波危険度の評価法を用いて、四国沿岸域を対象とした集落規模の危険度を評価するとともに、現況の防災施設の問題点や改善すべき点について考察する。表-1は、四国沿岸の主要な35地域における津波危険度の一覧を示す。表中の網かけ部分は、 η_{max}/η_b が1.0以上かつ T_a/T_r が0.5以上となる津波危険度が高い地域を表わしている。こうした地域は、次の津波が来襲した場合に現況の防災施設では対応できず、人的被害を被る可能性が高い地域といえよう。以下では、こうした地域の中から、図-5に示す以布利~興津および甲浦~由岐の地域を取り上げ、津波危険度について考察する。

4.1 以布利~興津

これらの地域の多くは高い防潮堤を築いているものの、宝永規模の津波が来襲すれば、佐賀を除くすべての地域で津波が防潮堤を越波する可能性がある。また、到達時間も早く、図-6に示すように下ノ加江、佐賀を除くすべての地域で津波危険度が危険側となる。ただし、以布利・鞭・上川口については民家のすぐ背後が避難所となる山が迫っており、この場所への避難路および誘導設

表-1 四国沿岸域における津波危険度一覧

地域名	η_0 (m)	η_{max} (m)	η_{max}/η_0	T_0 (min)	T_s (min)	T_r (min)	T_a (min)	T_0/T_r
宿毛	3.5	8.2	2.34	27	10	30	13	0.43
貝の川	8	6.9	0.86	15	10	5	0	0.00
下川口	9.4	8.6	0.91	25	10	15	0	0.00
三崎	8.2	10.5	1.28	14	10	15	11	0.73
土佐清水	6.6	11.7	1.77	14	10	20	16	0.80
以布利	8.4	8.6	1.02	15	10	10	5	0.50
大岐	1.5	8.4	5.60	15	10	30	25	0.83
下ノ加江	7.4	8.4	1.14	15	10	5	0	0.00
中村	7.4	9.7	1.31	18	10	30	22	0.73
入野	9	10	1.11	19	10	30	21	0.70
鞆	9	11.5	1.28	19	10	20	11	0.55
上川口	6.5	10.1	1.55	15	10	10	5	0.50
佐賀	7.5	7.4	0.99	20	10	10	0	0.00
興津	8	9.1	1.14	15	10	15	10	0.67
上ノ加江	4.6	8.4	1.83	13	10	15	12	0.80
久礼	6.8	12.5	1.84	21	10	30	19	0.63
須崎	4.1	13.5	3.29	22	10	30	18	0.60
吾井ノ郷	4.1	15.8	3.85	31	10	20	-1	-0.05
野見	6	9.1	1.52	15	10	5	0	0.00
宇佐	8	12.6	1.58	17	10	30	23	0.77
甲殿	10	8.9	0.89	20	10	10	0	0.00
浦戸	9.8	7.2	0.73	20	10	10	0	0.00
赤岡	10	12.6	1.26	22	10	30	18	0.60
下夜須	10	8.6	0.86	30	10	20	0	0.00
安芸	10	12.2	1.22	18	10	30	22	0.73
奈半利	10.3	9.5	0.92	40	10	30	0	0.00
室津	11.5	8.4	0.73	30	10	20	0	0.00
佐喜浜	9.5	7.3	0.77	25	10	15	0	0.00
甲浦	5.2	9.2	1.77	10	10	15	15	1.00
穴喰	6.3	13	2.06	10	10	30	30	1.00
浅川	5.9	12	2.03	10	10	20	20	1.00
牟岐	6.2	10.1	1.63	10	10	25	25	1.00
日和佐	7.2	8.1	1.13	13	10	15	12	0.80
由岐	7	6.1	0.87	15	10	5	0	0.00
橘	5.6	5.2	0.93	40	10	30	0	0.00

注) η_0 : 既設堤防高, η_{max} : 計算上の津波高, T_0 : 越波開始時刻 (津波到達時間), T_s : 避難開始時刻, T_r : 避難所要時間, $T_a = T_s$ (避難完了時刻) - T_0 を示す。

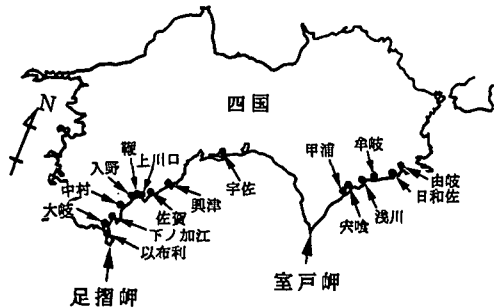


図-5 各地域の所在地

備を整備することにより人的被害は大きく低減できるものと思われる。次に、これらの地域の中で最も津波危険度が高い大岐について述べる。図-7は、大岐周辺の概略地形を示す。大岐海岸では防潮堤がなく、わずかな防潮林が存在するのみである。この集落では民家の戸数が少なく、人的被害はそれほど多くないものの、大岐川から遡上した津波が防潮林背後の広大な水田に浸入することにより、かなりの水田被害を被ることが想定される。一方、中村については、表-1に示す越波開始時間 T_0 が最も危険側である四万十川河口部の値を用いていることを

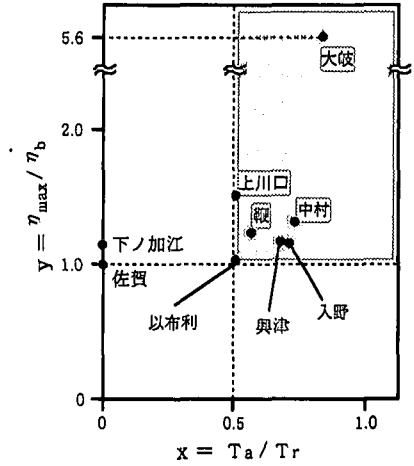


図-6 以布利～興津地域の津波危険度

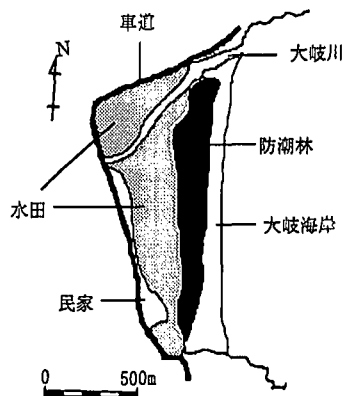


図-7 大岐周辺の概略地形

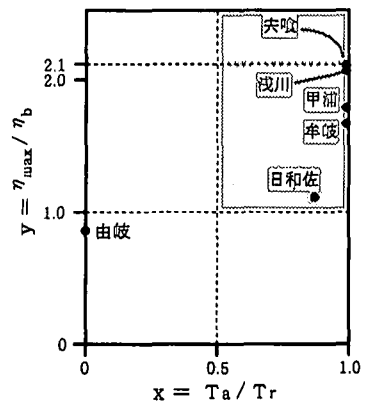


図-8 甲浦～由岐地域の津波危険度

考慮すると、湾奥に位置する中村での被害はあまり大きくならないものと思われる。また、興津・入野については、地震発生直後に避難を開始できるような警報伝達網や体制の整備および津波防災に関する住民意識の高揚を

はかることが望まれる。

4.2 甲浦～由岐

図-8は、甲浦～由岐における各地域の津波危険度を示す。この図から明らかなように、これらの地域では由岐を除くすべての地域で堤防の越波および避難の危険度がいずれも極めて高く、地震発生後速やかにしかも円滑に避難するための体制や施設を整備・確立しておく必要がある。図-9は、浅川における津波危険度を示す。浅川は、過去の経験に基づいて各所に津波避難所を設置し、街の至る所に避難経路を表示する標識を設置するだけでなく、夜間でも避難所を見失わないように充電式の避難灯まで設置している。また、既設の低い防潮堤を補うための津波防波堤も建設中であり、四国沿岸域の中でも津波に対する防災意識が高く、しかも防災施設や防災体制が最も整備された街であるといえよう。図-9中のプロットAは、現在建設中の津波防波堤を考慮しなかった場合の津波危険度を表している。この図から明らかなように、地震発生直後に避難を開始し、避難所要時間を現在の半分の10分に短縮できるような避難施設を整備するだけで、避難に伴う人的被害をプロットBまで大きく低減することができる。また、津波防波堤が完成し、仮に津波高を計算値の1/2にまで低減できたとすれば、既設の防潮堤でもなんとか対処できるレベルのプロットCにまで危険度を低下させることが可能となる。ただし、このような優れた防災対策を有効に活用するためには、年に1回は防災避難訓練を行い、どこにどのような経路で避難すれば最も安全に避難できるのかといった意識や認識を、住民および自治体共々、日頃から持ち続けておくことが重要であろう。

以上、四国の太平洋沿岸域を対象として、各地域における集落規模での津波危険度を詳細に検討してきたが、同様な考察はどこにでも適用が可能であろう。

5. 結 言

本研究は、四国太平洋沿岸の津波被災地について、次の南海地震の津波対策を考える上で必要な、人的被害に対する津波危険度を評価しようとするものである。その第一段階として、これまでの研究成果や現地調査も参考にしながら、津波被災地の現堤防高や津波到達時間、避難所までの到達時間等をもとに、人的被害の危険性の有無を診断する手法を考え、集落規模単位で行う簡便的な津波危険度の評価法を提案し、以下のような結果を得た。

1) 陸上域の津波氾濫計算を行わず、津波の堤防越波の有無、避難時間や堤防越波開始時間などから越波・避難の危険度を考慮し、人的被害予測のための第一歩としての、各集落規模の津波危険度の評価法を提示した。

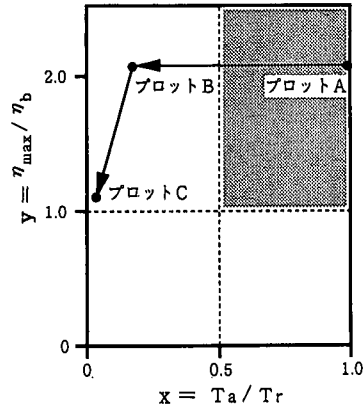


図-9 浅川の津波危険度

2) それに基づき、かつての主要な津波被災地35の集落について、越波および避難にかかわる津波危険度を定量的に評価することができた。

3) また、各集落の津波危険度を下げる具体的な方法についても例を示し言及した。

以上のような結果を得たが、本手法の妥当性の可否は、津波が現堤防を越波するかどうかの正しい判定など数値計算の精度に依存する要素も多い。しかし、多少の精度に問題があっても本手法は多くの集落の津波対策を行う順序付け、危険度を下げる方法等に対して参考資料を提供しうるものである。もちろん、人的被害の予測には個々の集落について精度よい陸上氾濫計算が必要なことはいうまでもない。

最後に、本研究は文部省科学研究費基盤研究(C)〔代表者：村上仁士〕による研究成果の一部であることを付記し、謝意を表す。

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, Vol. 56, pp. 713-730.
- 古名丈人・長崎 浩・伊藤 元・橋詰 謙・衣笠 隆・丸山仁司(1995): 都市および農村地域における高齢者の運動能力, 体力科学, Vol. 44, No. 3, pp. 347-356.
- 村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明・佐藤広章(1996a): 紀伊半島・四国沿岸における津波危険度に関する考察, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 316-320.
- 村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明(1996b): 各種断層モデルによる四国沿岸域の津波シミュレーションに関する考察, 徳島大学工学部研究報告, 第41号, pp. 39-53.
- 山本尚明・村上仁士・上月康則・後藤田忠久(1998): 四国における津波被災地住民の意識構造分析に基づく津波防災のあり方について, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 381-385.
- Mansinha, L and D. E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.