

論文

徳島県浅川に遡上した 1946 年南海地震津波の挙動
とその危険度の評価に関する研究村 上 仁 士* 島 田 富美男** 細 井 由 彦*
見 附 敬 三***Behavior and Estimation of the Degree of Danger
of the 1946 Nankai Earthquake Tsunami Inundating
Asakawa, Tokushima Prefecture

HITOSHI MURAKAMI* TOMIO SHIMADA** YOSHIHIKO HOSOI* KEIZO MITSUKE**

Abstract

Based on the field investigation of the 1946 Nankai Earthquake Tsunami in Asakawa, Tokushima Prefecture, the characteristics of inundation heights and the water current on land were investigated. Furthermore, the life risks and the degree of damage to houses by tsunami in Asakawa were discussed in detail.

As the result, the following conclusions were drawn:

- (1) The inundation heights above the Mean Sea Level were in the range of 5.5–6 m at Ohta, Miura and Ina-higashi districts.
- (2) The distribution of the water current vectors of the inundation area could be fairly well reproduced by the present analysis.
- (3) The life risk level by tsunami in Asakawa was almost equal to that of death by traffic accidents in Japan.
- (4) The condition of damage to houses might be estimated by knowledge of inundation heights and the water velocities on land.

1. 緒 言

1946年12月21日、4時19分、紀伊半島沖で発生したマグニチュード $M = 8.1$ の南海地震により、徳島県下の被害は、死者202名、全壊家屋602戸、

流失家屋413戸、半壊家屋914戸に及んだ¹⁾。そのうち、沿岸部の被害はほとんどが津波によるものであった。

徳島県の沿岸部は、有史以来いくたびも南海道を波源とする大津波に襲われており、沿岸各地には多くの津波の記念碑がたてられているが、とりわけ橋湾以南の海部郡に多く見られる (Fig.1)。

南海地震津波 (以下、南海津波と略称する) でも、海部郡の被害は県下最大で、犠牲者の数も156名にも及び、当時の浅川村 (現浅川町浅川) で85名、ついで牟岐で54名にものぼる人命が奪われた。

* 徳島大学工業短期大学部

Technical College, The Univ. of Tokushima

** 阿南工業高等専門学校

Anan College of Technology

*** 徳島大学大学院

Graduate Student, The Univ. of Tokushima

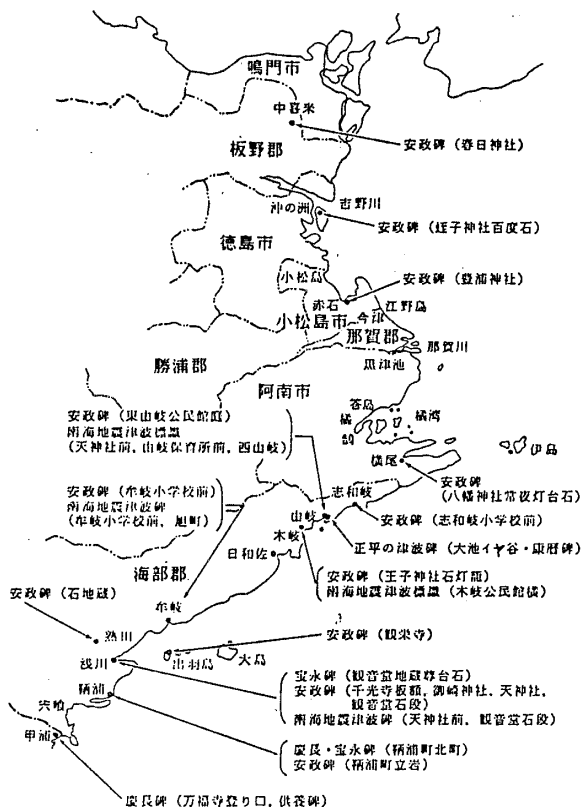


Fig.1 Tsunami monuments in Tokushima Prefecture.

最も大きな被害をうけた浅川は、高知県境に10 kmで、当時人口約3400名の漁業を主体とした集落であった。この浅川の集落は、Fig.2 に示すように、鯖瀬と網代崎を結ぶ湾口幅約2.7 km、湾長2.6 km、湾口水深約20 m、海底勾配1/130という典型的なV字型をなす浅川湾の湾奥部に位置している。

現在、湾奥部に防波堤があり、伊勢田川河口右岸の一部が埋め立てられ貯木場となっているが、当時の地形とほとんど変わらない。南海津波は海岸より陸上に遡上するとともに、小河川から溢れた水流によりほぼ集落全域を浸水させた。この津波によって家屋ごと流される途中や避難途上で多くの人命が奪われた。また係留索や錨をはずした大型発動機船や鰐船が人家へ流れ込み、多くの家屋を破壊した。

近年、津波に関する研究の進歩はめざましく、現在では津波の発生域から沿岸に至るまでの津波伝播過程についてはほとんど解明できるまでになっている。これからさらに進んで、陸上部に氾濫

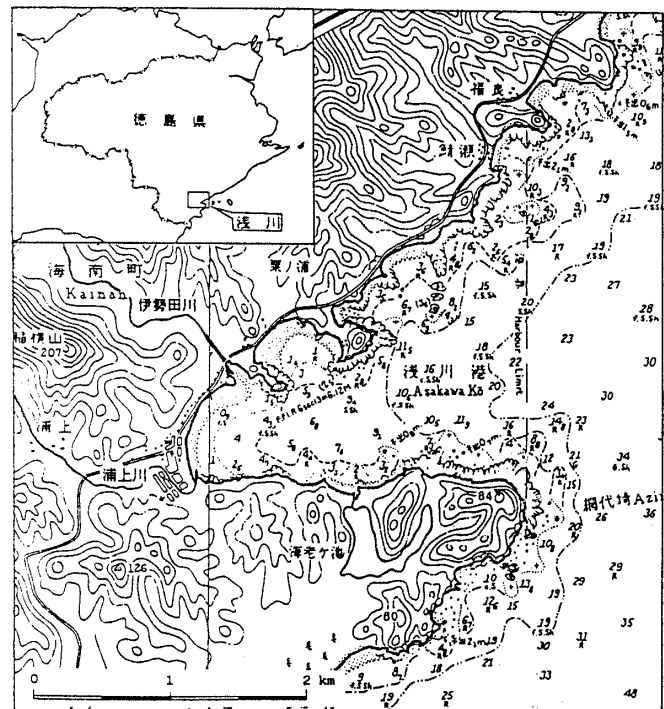


Fig.2 Location of Asakawa, Tokushima Prefecture.

した津波の挙動に関する研究が行われるようになり、市街地の浸水高や流速分布などの数値実験が試みられるようになってきた。^{2)~4)} しかしながら、数値計算に用いられる摩擦係数などの諸係数については必ずしも明らかではなく、それらは、小集落の被害を予測しうる精度にまで達しているとはいえない。一方、陸上部の津波に関する詳細な実態調査の例^{5),6)} も多いとはいえず、今後数値実験の精度を上げることはもちろんであるが、それを実証する正確な資料を多く収集することが必要である。⁷⁾

本研究では、これまで、徳島県下で最も多く津波被害を蒙ってきた浅川について、南海津波の実態調査を行うとともに、上記の立場から、痕跡調査結果に基づく詳細な実測資料を提供した。さらに、浅川の集落の浸水分布を明らかにするとともに、集落の中心部に対し、陸上に氾濫した津波の流動特性についても考察した。また、実態調査結果に基づき、津波の危険度を死亡リスクと家屋の破壊率を用いて評価した。

2. 浅川における津波の実態調査

浅川の集落の中心部の町並は、現在も南海津波当時の姿を残しており、壊滅的な被害を受けた後も、大部分の家屋がもとの位置に再建されている。流失をまぬがれた家屋や網小屋などには当時の浸水の痕跡を残しているものや、二階建の家の一階部分が破壊され、現在ではそのまま二階部を平屋にして使用している家もあり、津波の脅威を知ることができる (Fig.3, Fig.4)。

被災後再建され、新築になった家でも、襖の取っ手の位置などから浸水位が推定できるものや、寺院・神社では石段のどのあたりまで浸水したか

目撃されているものもあり、浸水位の確認できるものが多く残されている。

著者らは、1984年8月、浅川における津波の被災者を中心に、津波の来襲時の状況、陸上遡上後の様相、避難時の状況や人的被害、家屋の流出状況などについて聞き取り調査を実施した。同時に痕跡や浸水調査を行い、浸水高が確認できる地点については、あらかじめその地点の浸水位を写真撮影した。その後それらの浸水高および地盤の水準測量をオートレベルにより行った。

聞き取りおよび文献調査により得られた資料、さらに測量結果を以下にまとめる。

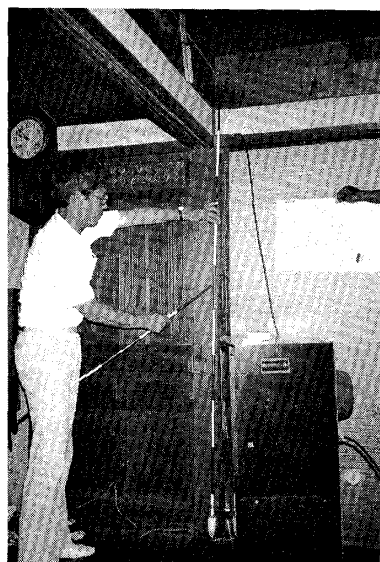


Fig.3 Trace of the inundation level.

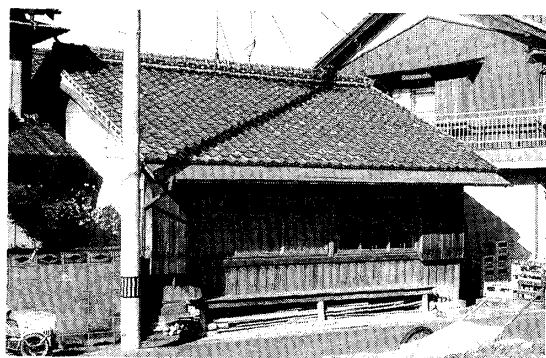


Fig.4 Two-storied house lost the first floor by the 1946 Nankai Tsunami.

2.1 地盤変動

この地震で浅川湾内北岸の水上岩で90cm、網代崎近くの岩で60cm沈下、伊勢田橋近くの大田地区にあった地理調査所の旧水準点で36cm沈下した。⁸⁾ また、三浦地区の海岸沿いでは、60~70cm沈下したようである。^{8),9)}

2.2 異常現象

地震直前、井戸や池の水位が低下し、海水の浸水がなかったにもかかわらず、1ヶ月以内の短期間であったが井戸にから味をおびたものもあった。

この地震による海震を体験した者や、地震の直前、直後に発光現象を目撃した人も多い。¹⁰⁾

2.3 津波来襲時の様相

浅川湾内での津波は、「暴風雨のように逆巻いて来るのではなく、海水が下からふくれ上がるように見え、しだいに水位が高まり潮流を生じてごうごうと鳴っておし寄せてきた。¹¹⁾」あるいは「だぶだぶとおし寄せてきた。¹²⁾」という目撃者の証言がある。浅瀬では、一部碎波したところもあったが、津波は進行波型というより重複波型であったと考えられる。¹³⁾

Fig.5 は、津波による湾内の流れの方向を示したもので、水路要報¹⁴⁾に示されているとおり、通常の流れとは逆に反時計方向へ流れ、海底は湧きたつようであったといわれている。もともと島が陸岸とつながってできた加島や鯖床の付け根の低い部分を津波が切断して栗の浦や伊瀬田川へも流れ込んでいる。津波の流向について、当地の八幡与三郎は流失した自宅の発見場所や近隣の家屋や家財道具の流失先を克明に調査し、図中の点線で示したような流れがあったことを浸水域と合わせて絵に描いて残している。

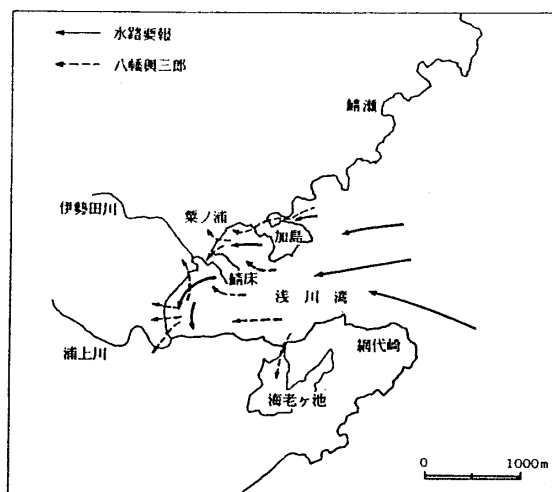


Fig.5 Invasion direction of the 1946 Nankai tsunami in Asakawa Bay.

さて、津波は地震後5分後には海面上1.5mの道路路面まで上昇し、地震後15~20分後に第1波の頂点に達し、約20分の間隔で満ち引きしたようである。¹¹⁾ そのうち第2波が最大で、第4波目には激減したといわれる。

著者ら¹⁵⁾は、安藤の断層モデル¹⁶⁾を用い Man-

shin-ha-Smylieの方法¹⁷⁾で南海地震に対する浅川湾の津波の波高分布および湾内の数点における津波波形の時間変化をもとめた。その結果、津波の第1波頂点の来襲時刻は地震発生後約20分であり、湾内では第2波が最大になり、第4波目以降では顕著な波高が認められないこと、および来襲波の周期はおおよそ20分であるという結果を得た。また、現況の浅川湾について、Leeの方法¹⁸⁾で湾水の応答振動を計算した結果、浅川湾の固有周期は約20分となること、検潮記録の副振動をスペクトル解析して18~20分の固有周期が卓越することを明らかにした。¹⁹⁾ こうしたことから、南海津波の浅川での周期は固有周期に近く、湾水が共振現象を起こしたことも考えられる。

2.4 浅川の被害状況

Fig.6 は、浅川の当時の地形と地区の区画を示したものである。

南海津波災時の浅川の全人口は3324名、世帯数は728戸であった。このうち、死者は85名、重軽

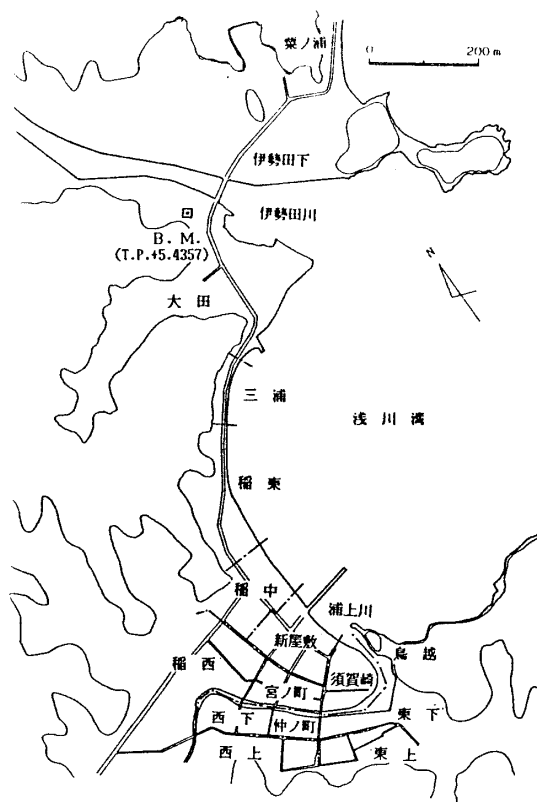


Fig.6 Index map of the lay of the land and the former name of the districts of Asakawa in 1946.

傷者は80名を数え、一家全滅の世帯は6戸、17名に及んでいる。

1946年12月末での浅川の被害状況を Table 1 ～

Table 1 Damage to the public facilities
(Dec. 31, 1946).

	流 失	欠 壊	合 計
村 道	5 ケ 所	10 ケ 所	15 ケ 所
県 道	1500 m	1500 m	3000 m
橋 梁	3 ケ 所	6 ケ 所	9 ケ 所
堤防・突堤	6 ケ 所	4 ケ 所	10 ケ 所
護 岸	5 ケ 所	5 ケ 所	10 ケ 所
港 湾		2 ケ 所	2 ケ 所

Table 2 Damage to farms (Dec. 31, 1946).

	耕作反別	流失埋没	浸 水
田	120 町	35 町	35 町
畑	40 町	13 町	20 町
米		700 石	200 石
甘 藷		3700 貫	500 貫

Table 5 に、Table 6 には、浅川各地区別の被害状況（同年12月26日）¹⁰⁾を今回の調査結果と合わせて示した。

Table 3 Damage to ships (Dec. 31, 1946).

	流失	大破	中破	小破	座礁	合 計
5 t 以上			8		8	16 隻
5 t 以下	80	20	50	24		174 隻
	80	20	58	24	8	190 隻

Table 4 Damage to fishing implements
(Dec. 31, 1946).

定置網	曳 網	刺 網	旋 網	敷 網
125 統	31 統	1535 統	22 統	8 統

Table 5 Damage to houses (Dec. 31, 1946).

	流 失	全 壊	半 壊	浸 水	合 計
住 家	185 戸	241 戸	109 戸	65 戸	600 戸
非 住 家	250 戸	122 戸	74 戸		446 戸
公共建物	6 戸	1 戸	6 戸		13 戸
合 計	441 戸	364 戸	189 戸	65 戸	1059 戸

Table 6 Damage to houses and loss of
lives at various districts in Asakawa.

常会別名	戸数	人員	被災 戸数	流失	全壊	半壊	浸水戸数		被災 人員	死者
							床上	床下		
鯖 瀬	22	151								
粟 浦	28	120	26	3	3	9	5	6	76	1
伊勢田下	36	182	18	7	6	3	2		81	
伊勢田上	50	286								
大 田	43	206	43	31	6	5	1		201	17
三 浦	43	150	43	31	12				41	17
稲 東	40	143	40	2	20	18			143	1
稲 中	57	228	57	11	20	26			220	13
稲 西*	34	168	34	1	1	5	35		165	2
浦 上	30	131								
新 屋敷*	72	269	72	35	5	28			264	14
宮 ノ 町	39	182	39	12	13	14			182	6
西 下	47	197	47	3	20	21	3		192	4
須 賀 崎	36	181	36	6	2	7	21		181	3
西 上*	43	210	43	1		5			210	2
仲 ノ 町	30	107	30	3	6	10	11		107	
東 上	53	251	52	27	10	14	2		231	2
東 下	33	162	33	25		5	3		160	3
計	736	3324	613	198	124	170	85	6	2534	85

注) * 印は今回の調査によるものである。

2.5 地盤高および浸水高

Fig.6 に当時の地形を示したが、現在では伊勢田川河口部の大田・三浦地区の一部が埋立てられ、伊勢田川右岸側の河口より長さ250 mの防波堤が設けられている。しかし、一部の路面を除いて、地盤高はほぼ当時のままである。

測量にあたり、基準点はFig.6にB.M.で示した国土地理院の一等水準点(No.5113, T.P.+5.4357 m)をとり、これより各地区の水準測量を行った。なお、地震直後に地盤沈下を起こしたことはすでに述べたが、現在の地盤は地震前のそれに回復していることを確認している。津波は地盤が沈下した状態で来襲しているの、現在の痕跡高はT.P.上(平均海面:T.P.+0.06 m)で測定すると、当時よりも地盤沈下量だけ過大視することになる。各地点での正確な沈下量はわからないが、地盤変動が場所的に変化せず、全地域一定であると仮定すると、地盤上の浸水高さや陸上に氾濫した津波の挙動はもちろん地盤変動に無関係となる。しかし、三浦地区などの一部では60~70 cmの誤差が生ずることも念頭におかなければならない。

ここでは、地盤変動の補正は行わないことで以下の議論を進めることにした。

Table 7 は、地盤上の浸水高およびT.P.上の津波の高さの測量結果を示したもので、正確な資料を提供する意味で、当時の地区名称および現在の戸番を併記した。

これらの結果および地盤高の測量結果に基づき、集落の中心部での等高線をFig.7に示した。須賀崎、東下および宮ノ町地区が他の区域に比べて地盤が低いことがわかる。

3. 浸水分布に関する考察

Fig.8 は、南海津波の浸水域を示したもので、浸水域は低地部全域に及んでいる。浅川の集落の中心部では山際の高台にある江音寺、御崎神社、千光寺および東泉寺以外は浸水し、南はすべり坂の麓まで浸水した。また海老が池の入口の堤が破れ、五反田の水田も大部分浸水した。集落の中心部を流れる浦上川流域では、現在の浦上橋付近まで進入し新田のやや西方北に屈曲したところまで

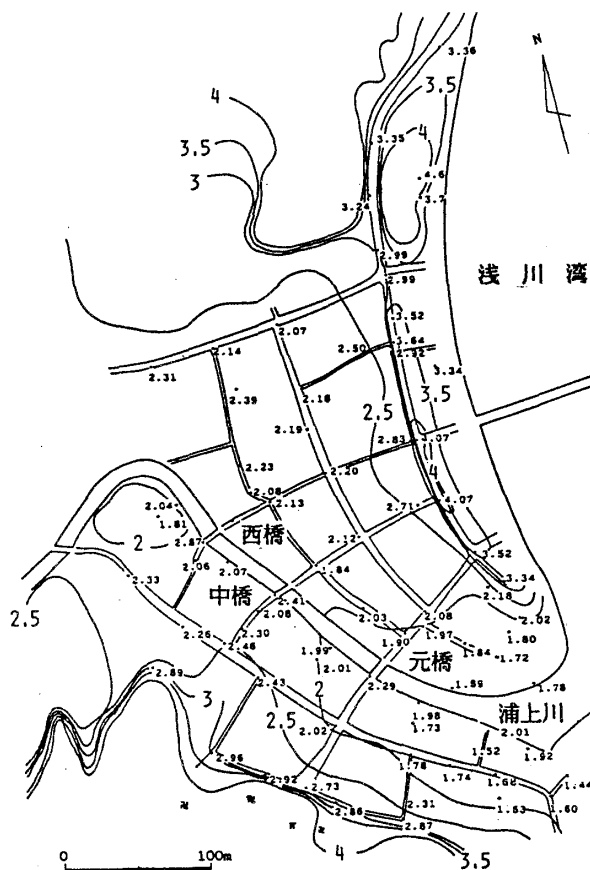


Fig.7 Topography of Asakawa (unit in meters) Ground elevations are above the Tokyo Pile (T.P.).

浸水した。伊勢田川沿いでは、河口から約1 km上流の馬頭庵の南側付近まで、河道内ではそれよりさらに1 km上流の平野橋の下250 mの地点まで津波が遡上した。

図中には、安政の津波(1854年12月24日)の浸水域を示しているが、明確に浸水高を決定できる場所は少なく、同じ等高線まで浸水すると仮定している。安政の津波は南海津波よりも浸水規模は大きく、浦上川流域では誓願寺まで津波が来たと伝えられている。

Fig.9 は、観音堂の石段にある安政の津波と南海津波の来襲点を示す標識で、上の安政の津波の標識は石段の25段目、下の南海津波のそれは石段13段目であり、それぞれT.P.上6.41 m および4.13 mに相当し、安政の津波は南海津波よりも2.28 mも大きく浸水したことになる。

Fig.10は、浅川の集落の中心部について、南海津

Table 7 Inundation heights of the 1946 Nankai Tsunami surveyed by the automatic level.

測点番号	場 所	旧地名	浸 水 高 (地盤上)	津波の高さ (T. P. 上)	備 考
1	浅川字天神前	伊勢田下	240 cm	465 cm	忠魂碑
2	天神前 4-1	伊勢田下	326	606	*
3	大田 13-6	大田	162	462	天神社
4	大田	大田	196	580	* 弥勒石仏
5	三浦	三浦	238	578	
6	三浦	三浦	205	544	
7	三浦	三浦	234	544	
8	イナ 27	稲東	235	570	
9	イナ	稲東	158	493	山のふもと
10	イナ	稲東	134	458	山のふもと
11	イナ	稲東	207	542	大年神社
12	カミノ 14	稲中	170	373	
13	カミノ 1-2	稲中	235	534	*
14	イナ 40	稲中	140	464	
15	カミノ 1-5	稲中	129	481	
16	イナ	稲中	185	413	観音堂石段
17	カミノ 30-1-1	稲西	159	369	
18	川ヨリ東 121	稲西	135	376	
19	カミノ 30-1-1	稲西	138	359	
20	カミノ 26	稲西	62	302	
21	イナ 59	稲西	110	314	
22	カミノ 24	稲西	109	321	
23	港 町	新屋敷	175	509	漁具倉庫
24	川ヨリ東 107-1	宮ノ町	173	393	
25	川ヨリ東 105	宮ノ町	230	436	
26	川ヨリ東 90	宮ノ町	217	420	
27	川ヨリ東 85	須賀崎	236	437	
28	川ヨリ東	須賀崎	285	509	網小屋
29	川ヨリ東	須賀崎	230	448	納 屋
30	川ヨリ東 53	須賀崎	232	440	
31	川ヨリ東 71-2	須賀崎	260	452	
32	川ヨリ東 59	須賀崎	260	444	
33	川ヨリ東	須賀崎	280	459	あき家
34	川ヨリ西 143	西 上	33	298	
35	川ヨリ西	西 上	121	413	千光寺
36	新 田 32	西 上	100	338	
37	川ヨリ西 32	西 下	145	375	
38	川ヨリ西 26	西 下	120	333	
39	川ヨリ西 3-1	西 下	89	301	
40	川ヨリ西 5	西 下	100	340	
41	川ヨリ西 2-1	西 下	217	434	
42	川ヨリ西 12	西 下	100	326	
43	川ヨリ西 17	西 下	94	317	
44	川ヨリ西 46	仲ノ町	150	391	
45	川ヨリ西 54	仲ノ町	218	444	
46	川ヨリ西 62-1	仲ノ町	286	481	
47	川ヨリ西	東 上	135	418	御崎神社
48	川ヨリ西 97	東 上	280	454	*
49	川ヨリ西	東 上	116	402	江音寺
50	川ヨリ西 103	東 上	220	421	
51	川ヨリ西	東 上	221	498	
52	川ヨリ西 85	東 下	150	454	* 第1波
53	川ヨリ西 74	東 下	275	448	
54	中 川 46-1	浦 上	18	327	

注) * 印は信頼度の低いデータを示す。

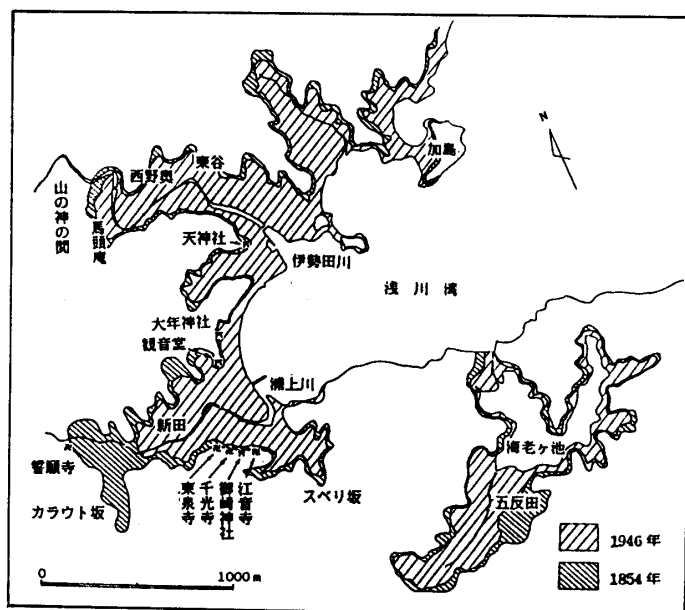


Fig.8 Inundation areas of the 1946 Nankai Tsunami and the 1854 Ansei Tsunami in Asakawa.



Fig.9 Monuments of the inundation level of the 1946 Nankai Tsunami (lower one) and the 1854 Ansei Tsunami (upper one) at the Kannon-do in Asakawa.

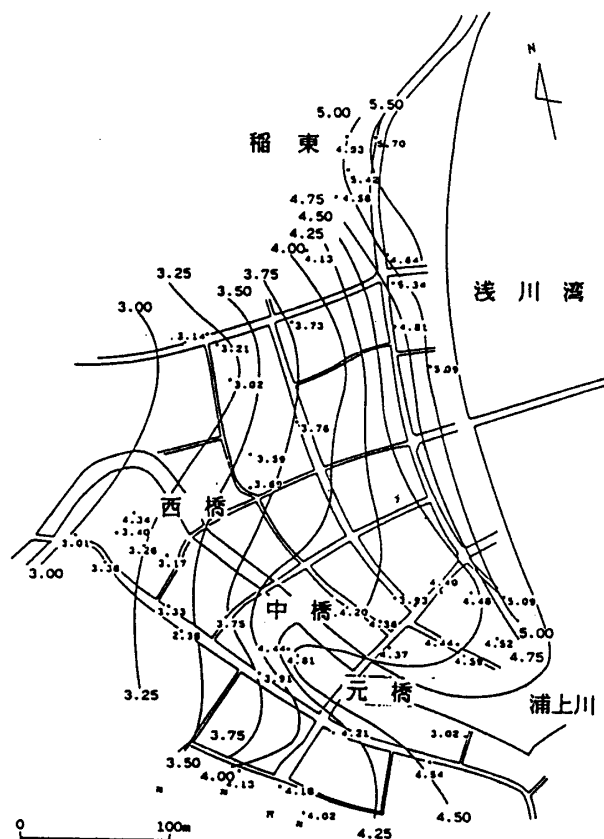


Fig.10 Distribution of inundation heights (unit: m) above the T.P. of the 1946 Nankai Tsunami in Asakawa.

波の最大浸水高の分布を T. P. 上の値で示したものである。ここでは示していないが伊勢田, 大田および三浦地区では, Table 7 からわかるように, 忠魂碑の石段で 4.65 m, 天神社の石段で 5.8 m, 大田神社の石段で 5.42 m となり, 浅川の集落の中心部より津波の高さが大きくなった。全般的に稲東地区などでもわかるように, 海岸に山が迫るところでは津波の高さが大きく, 図でも稲東で 5 ~ 5.5 m もあり, 集落の中心部では海岸線から内陸に向かって津波の高さは減少する傾向がみられる。

浦上川の河口部では, 等水位線が上流に向かい張り出しているが, 津波は海岸から陸上に遡上するとともに, 浦上川へも流入し, 元橋を流失させ攻め上がったことがこれよりわかる。

Fig.11 は, 地盤上の最大浸水高の分布で, 集落の中心部は 1 m 以上浸水し, 浦上川河口の地盤の低い須賀崎, 東下, 東上地区では, 2.5~3 m も浸水している。Table 7 をみると, 伊勢田下地区の忠魂碑のふもとで 2.4 m, 大田の天神社で 1.96 m, 三浦でもおよそ 2.4 m, 稲東地区の大田神社でも 2.07 m にも浸水した。大田, 三浦地区ではいずれも死者 17 名を出し, 両地区の全戸数はいずれも 43 戸あるが, 流失戸数も同じ 31 戸であり, 全壊は前

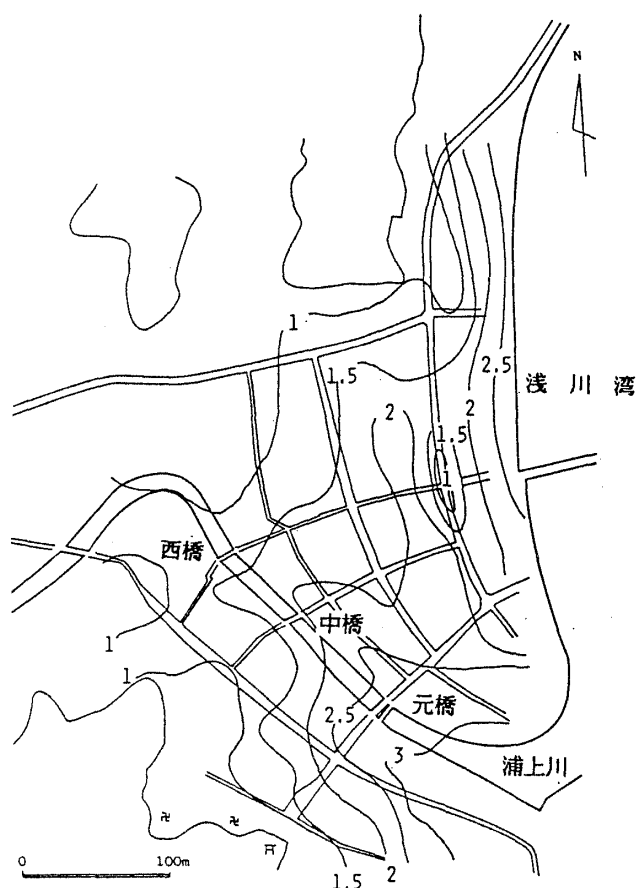


Fig.11 Distribution of inundation heights (unit: m) above the ground of the 1946 Nankai Tsunami in Asakawa.

者が6戸、後者が12戸で、三浦地区の家屋は全滅した。

4. 氾濫した津波の流動に関する考察

陸上に遡上した津波の波速は10 m/sec にもなることがあり、屈強な男子でも逃げ切れないことがあるといわれている⁷⁾。相田²⁾は数値実験により高知県の須崎や宇佐での陸上部の流速を求めているが、前者では4 m/sec、後者で2～2.5 m/sec という値を得ている。

家屋群や流木が散在する場の流れがどのような法則に従うか明らかではない。羽鳥²⁰⁾はManning式と類似のForchheimer式を用いている。それによると津波の痕跡の包絡線より水面勾配を求め、粗度係数は洪水の場合について求めた値を用いて²¹⁾、陸上部の津波の流速を計算している。その値と数値計算による結果とを比較すると、ほぼ妥当な値

が得られるとしている。こうした計算方法自体にも問題はあるし、現実には来襲する何波かの津波のうちの最大波しか痕跡として残らないので、流速の時間変化の詳細を議論することは困難である。

本論でも、羽鳥と同様の取り扱いを行って検討する。

流速式として次式のManning式を用いることとした。

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 v ：流速 (m/sec)、 R ：径深、 i ：水面勾配、 n ：粗度係数である。

後藤・首藤²²⁾は、家屋などの大障害物群の抵抗を数値計算に組み入れるためにManningの粗度係数に換算した等価粗度 n_e を次式のように示した。

$$n_e = \frac{h^{4/3}}{2 g l_1} \left(\frac{1}{C_e} - 1 \right) \quad (2)$$

ここに、 h ：水深、 l_1 ：障害物群の最前列で縮流による損失が卓越しているところまでの長さ、 C_e ：流量係数と縮流係数との比、 g ：重力加速度である。

本調査結果から、 $l_1 = 20$ m、 $h = 1 \sim 3.5$ m、 $C_e = 0.6 \sim 0.8$ として n_e を求めると、 $n_e = 0.004 \sim 0.024$ という値が得られる。

一方、羽鳥の結果をManningの粗度係数に換算すると、市街地では $n = 0.027$ 、田畑では $n = 0.011$ という値になる。

以上のような考察をふまえ、浅川の集落の中心部における流速計算では住居密集地であるということにより、粗度をこれらの値よりもいくぶん大きくとり、 $n = 0.03$ を与えることにした。

Fig.12は、Fig.10およびFig.11を用いて、水面勾配 i および径深 R を求め、20 m×20 mのメッシュの交点で求めた流速および流向を示したものである。図中には、津波の流れ道となったといわれている浦上川沿いのA-A、旧国道沿いのB-B、中橋の通りのC-Cおよび元橋の通りのD-D断面沿いについても、流速を計算し、その結果も併記した。Fig.13は、上記の断面におけるFig.10より求めた浸水高の包絡線と海岸から内陸へ向

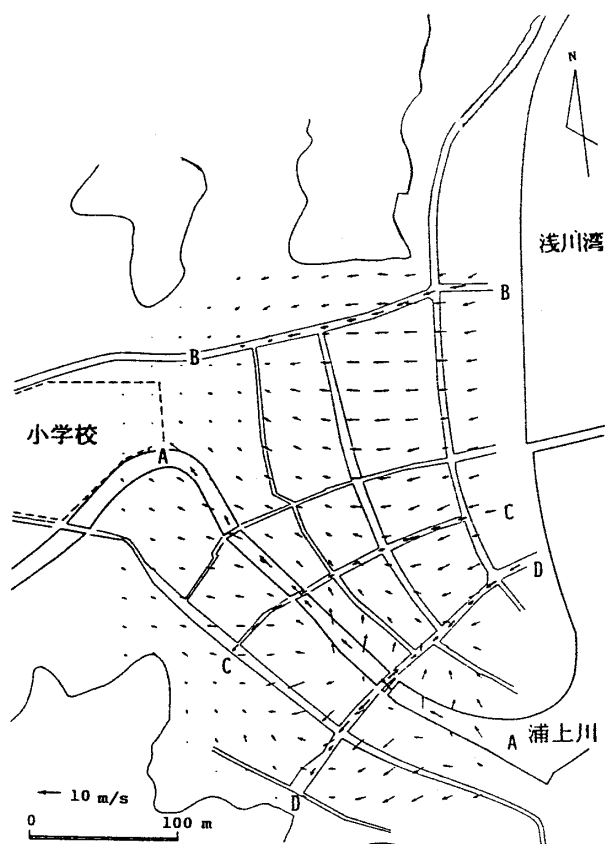


Fig.12 Vectors of the water current on land of the 1946 Nankai Tsunami in Asakawa.

かう方向を正とした流速成分を示した。

津波は海岸線より陸上に進入するとともに、鳥越の付け根部 (Fig.6 参照) を切断して、そこから浦上川へ流れ込み、東下地区を直撃した。河道に入った津波は、河道から溢れた須賀崎地区の家屋を流失または全戸床上浸水させた。さらに、元橋を流し宮ノ町へ流れ込んでいる。この流れと海岸より押し寄せた流れが複雑に合流しつつ、浦上川の上流へ向かって家屋や人を流している。元橋の流失により、宮ノ町の住民は最も近い寺院や神社に避難できず、津波の流動方向と同方向を通り、稲地区へ避難途上、多くの者が流され水死している。陸上部の流れは小学校のあたりでほとんどなくなり、ここに多くの流死者や家屋などの流失物を堆積させた。流況については、漂流した多くの被災者の証言や流失物の軌跡から調査結果とよく一致している。

Fig.13の水面形状をみると、全般的に内陸部は

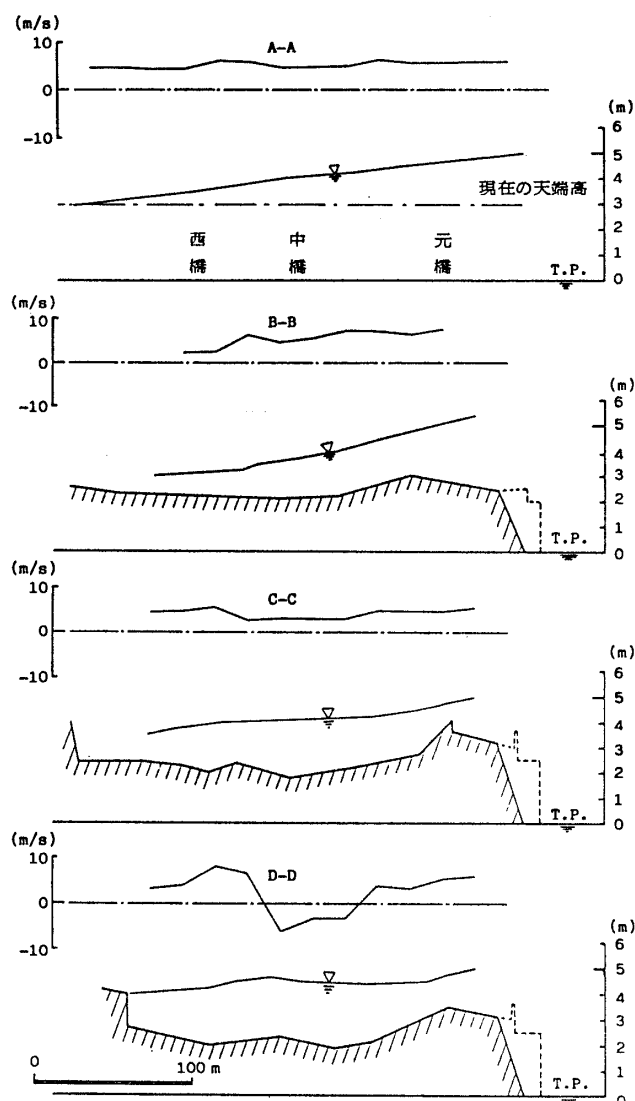


Fig.13 Profiles of the water velocities and inundation heights at various cross sections. The dotted lines show the present sea wall revetments.

ど水位が下がり、D-D断面のように山際までの距離が長くないところでは包絡線の勾配は小さく、B-B断面のように背後に山がない場合のその勾配は大きくなっている。これらのことから、南海津波では引き波はそれほど強くなく、屋根に登って漂流した人々も海中に引きさらわれずに助かったものと思われる。同図に破線で現在の海岸堤防を示したが、南海津波の水位はこの堤防の天端高よりもはるかに高い。

流速の絶対値については、本方法による計算結果を用いて詳細な議論をすることはできないもの

の、新屋敷稲中地区では局所的に7～8m/secになったところもあるが、全体的には、ほぼ妥当な値が得られたといえる。

5. 浅川における津波の危険度

5.1 津波来襲の危険度

高橋²³⁾は、太平洋沿岸の津波災害をうける地域に対し、今後起きると予想される津波の地域的な危険度 $T(p)$ を定義した。そして、その値が0.5を越えるような湾では津波による大被害を受ける可能性があるとしている。幸い徳島沿岸では、その値を越えるものではなく、穴喰で0.216、橋で0.208、浅川で0.182という値となっているが、これらの値は決して小さな値ではない。

羽鳥²⁴⁾は、この危険度 $T(p)$ と湾の固有周期の関係を求め、南海津波では、固有周期16分および40分の危険度が高いことを指摘している。著者らがスペクトル解析より求めた浅川湾の固有周期は18～20分であり¹⁹⁾、危険度がかなり高い範疇に属する。

5.2 生命に対する危険度

津波災害が他の災害と比較してどの程度危険であるか、近年高潮災害の危険度の評価²⁵⁾にも用いられている死亡リスク R ²⁶⁾を用いて考察しよう。 R は、1年当りの死者数を対象人口で割った値で定義される。

南海道で起きる大津波の発生間隔を100～150年として、南海津波による浅川の死者85名を考えると、死亡リスク R は次のようになる。

$$R = 1.74 \times 10^{-4} \sim 2.6 \times 10^{-4}$$

この値は、わが国の事故による死亡リスクを調査した結果²⁷⁾と比較すると、自動車事故で死亡する確率に匹敵する値である。また、このリスクレ

ベルは“天災”として諦観すべき値ではなく、「その死亡リスクを減少させるために努力しなければならないレベル」とされる値である。²⁷⁾ちなみに、宝永、安政、南海の3回の津波による浅川での死者数合計220余名、その間240年、対象人口3300名として、同様に、死亡リスクを求めると、 2.8×10^{-4} となり、ほぼ上の結果と同じレベルを示す。いずれにしても、浅川では津波に対して人命を守る積極的な努力が必要であることをこの結果は強調している。

5.3 家屋の破壊率

地震・津波による家屋の破壊率の表示方法はいろいろあるが^{8), 28)}、浸水被害以上の被害を受けた家屋の破壊率を表す方法として普通次式が用いられる。²⁹⁾

$$D = \frac{a + b + (c/2)}{a + b + c + d} \times 100 \quad (3)$$

ここに、 D ：家屋の破壊率、 a ：流失戸数、 b ：全壊戸数、 c ：半壊戸数、 d ：床上・床下浸水戸数である。

Table 8は、Fig. 6に示した南海津波当時における浅川各地区の被害状況と家屋の破壊率 D を示したもので、浅川全域の破壊率は66%である。稲西地区のように被災戸数と被害原因別の合計とが一致しないものもあるが、1世帯に数戸の住家があった場合などがこれにあたる。破壊率は小さくとも稲西・西上地区では全戸被災していることに注目すべきである。

6. 津波における被災原因の分析と危険度の評価

6.1 人的被害に関する考察

浅川では、南海津波により85名の犠牲者を出し

Table 8 Damage to houses at various districts in Asakawa (Dec. 26, 1946).

常会別名	粟 浦	伊勢田下	大 田	三 浦	稲 東	稲 中	稲 西	新屋敷	宮ノ町	西 下
破壊率D	40.4	80.6	91.9	100.0	77.5	77.2	13.0	75.0	82.1	71.3
須賀崎	西 上	中ノ町	東 上	東 下						
31.9	8.1	46.7	84.6	83.3						

たが、その原因として次の3点が指摘されている¹⁰⁾。すなわち、12月21日午前4時19分という寒い冬の未明に起きたこと、地震後15~20分という短期間のうちに津波に襲われたこと、満潮時と重なったために津波の高さが大きくなったこと、この3つが原因とされている。いずれの指摘も正しいといえる。しかしながら、大被害をうけるかどうかは前兆や津波に対する伝承、その他の条件によるものも見逃せない。

南海津波における浅川各地区の死亡者の割合を示す死亡リスク R と各地区の平均浸水高 h および各地区の破壊率 D との関係をみたものが、Fig.14 Fig.15である。両図をみる限り、死亡者の多数が単に浸水高や家屋の破壊の程度によるものではないことがわかる。

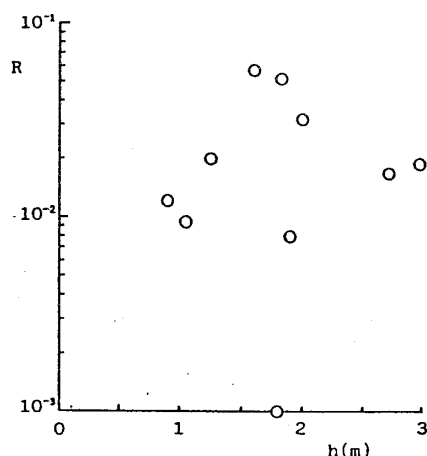


Fig.14 Relation between the life risks R and the inundation heights h .

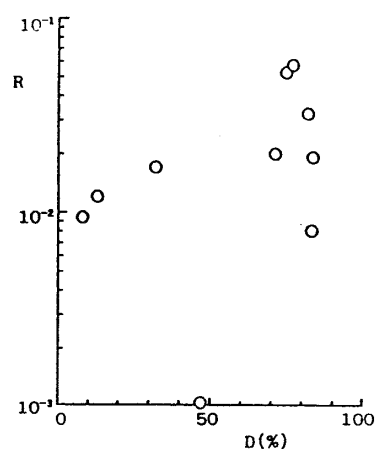


Fig.15 Relation between the life risks R and the percentage of damage to houses D .

6.2 家屋被害に関する考察

浸水高や流速などが家屋の破壊にどのように影響を及ぼすかについて考察する。

Fig.16は、南海津波における浅川各地区の家屋の被災分布を破壊率 D に基づいて図化したものである。須賀崎地区では、全戸数36戸すべて床上浸水し、地上2.5~3mにも浸水したが、21戸が流されずに残ったため D は小さくなっている (Fig.17)。

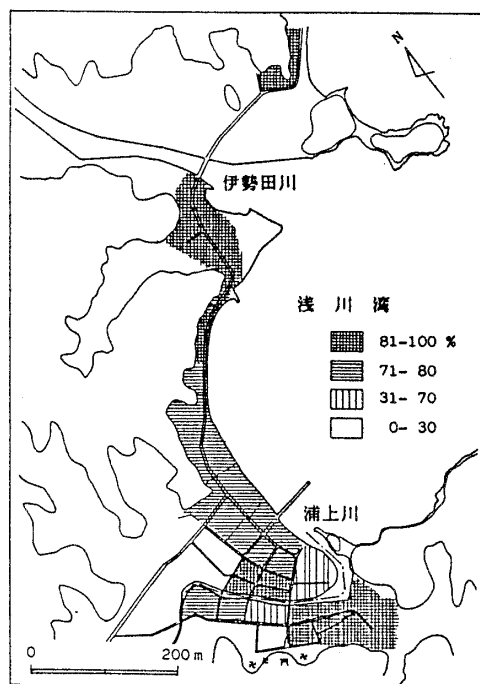


Fig.16 Distribution of the percentage of damage to houses D at Asakawa by the 1946 Nankai Tsunami.

これは、Fig.16でわかるように鳥越の石積み突堤と浦上川河口の小島が津波の流勢を抑えたためである。東地区には鳥越の付け根が切断されたために大きな漁船が流れ込み、これが多くの家屋を破壊した (Fig.18)。

Fig.19は、津波の高さと浅川各地区の破壊率 D との関係で、羽鳥³⁰⁾が南海津波に対してまとめた各地区の値も併記している。羽鳥は、南海津波以外の津波についても両者の関係を調べ、津波の高さがT.P.+4mを越えると、 D が急増することを指摘している⁵⁾。浅川ではT.P.+4m以上になると D は70%以上になる傾向が認められる。

Fig.20は、浅川各地区の浸水高の平均値 h と破

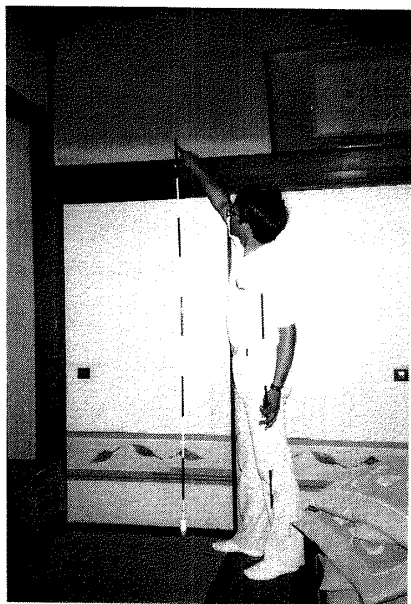


Fig.17 House not washed away Inundation height is 2.6 m above the ground.

壊率 D との関係を見たもので、 h が 1.5 m 以上になると D は 70% 以上になっている。相田ら²⁹⁾が、チリ津波の調査で、1 m 以下の浸水では家屋の破壊はなく、2 m 以上になると D は 50% あるいはそれ以上になると報告しているが、その傾向は浅川についても認められる。

Fig.21 は、Fig.12 に示した流速分布より求めた浅川各地区の平均流速 v と破壊率 D との関係で、 v が 3 m/sec 以上になると D は 70% 以上にもなっている。

もっとも、家屋の破壊は単に浸水高のみまたは流速のみによるものではなく、須賀崎地区のようにおよそ 3 m もの大きな浸水をしたものの、流速が小さかったために D の値は小さくなった例もあるように、水位と流速の相互の作用によるものである。^{31), 32)}

家屋などに作用する津波の流体力は、流れを定常と考え、 A を流れに直交する面への物体の投影面積とすれば、 $A v^2$ に比例するはずである。したがって単位幅当りの流体力は、 $h v^2$ に比例すると考えられる。

Fig.22 は、 $h v^2$ と破壊率 D との関係で、 $h v^2$ の増大につれて D の値は大きくなる。図中には羽鳥³⁰⁾が高知県の資料から求めた値およびその他の



Fig.18 View of Asakawa village crushed or washed away by the 1946 Nankai Tsunami: Some houses at Sugasaki district in the center of the photograph were protected from the attack of the tsunami by the Torigoe groin and a small island on the right hand side of this picture. Many houses at Higashi districts were destroyed by stray ships.

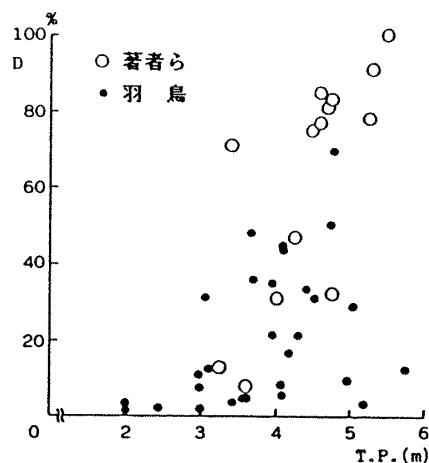


Fig.19 Relation between the percentage of damage to houses D and the inundation height above T.P.

資料から D と $h v^2$ との関係を次式で定式化したものも示している。

$$D = 5.4 (h v^2)^{0.64} \quad (\text{m} \cdot \text{sec 単位}) \quad (4)$$

羽鳥の値および著者らの浅川での値を互めて同様の関係を求めると次式が得られた。

$$D = 1.92 (h v^2)^{0.94} \quad (\text{m} \cdot \text{sec 単位}) \quad (5)$$

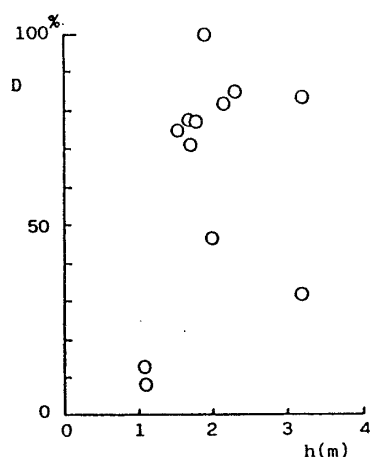


Fig. 20 Relation between the percentage of damage to houses D and the inundation height h .

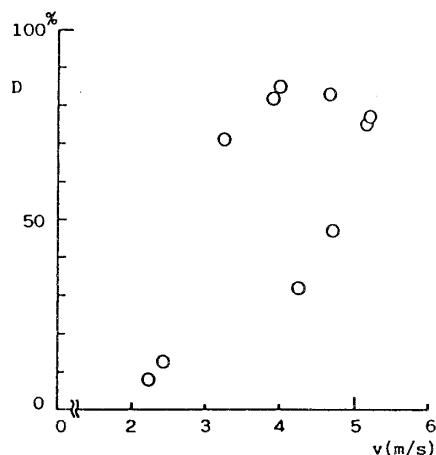


Fig. 21 Relation between the percentage of damage to houses D and the velocities on land v .

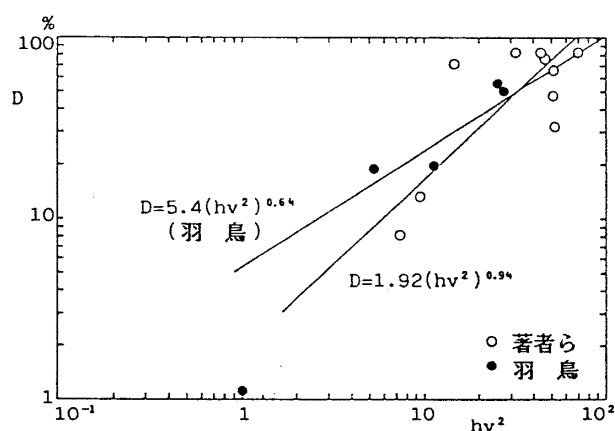


Fig. 22 Relation between the percentage of damage to houses D and the quantity proportional to the drag force hv^2 .

こうした定式化をすることには、資料の数や流速の精度、さらに流体力は当然物体の質量に関係するので、家屋の場合、木造とコンクリート造りでは異なるなど、多くの問題がある。そのように考えれば、家屋の破壊率 D を求める目安としては $2hv^2$ で十分であろう。

7. 結 言

徳島県海部郡浅川について、1946年の南海地震津波の実態調査を行って、集落の浸水分布を明らかにするとともに、陸上における津波の流動特性について考察し、浅川における津波の危険度の評価を行った。得られた結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 南海地震津波の浸水域を明らかにするとともに、痕跡の明確な点の位置、浸水高に関する詳細な調査資料を提供した。

(2) 大田・三浦・稲東地区などは津波の高さがT.P.上5.5~6m、集落の中心部の須賀崎でも海岸に近いところで5mにもなった。津波の高さは内陸に向かい減少したために、引き波は比較的弱く、それによって家屋等の海中への流出がまねがれた。

(3) 集落はほぼ全域1m以上浸水し、須賀崎地区では2.5~3mに達したところもあった。

(4) 陸上に氾濫した津波の流況は、調査した住民の証言とよく一致し、流速についてもほぼ妥当な値が得られた。

(5) 浅川における津波による死亡リスクのレベルは、わが国の自動車事故に匹敵するもので、天災として諦観すべきものではなく、防災対策に努力すべきレベルであることを強調した。

(6) T.P.上の津波の高さが4m以上、浸水位 h が1.5m以上、流速 v が3m/sec以上になると、家屋の破壊率 D は70%以上になることを示した。また、家屋の破壊率 D はおよそ $2hv^2$ で推定できる。

以上のような結果を得たが、南海地震津波からもうすぐ40年になり、浅川のような小さな集落ですら実態調査を行うことは困難となっており、できうる限り早急に体験者より多くの資料を収集する必要があることを痛感した。津波の正しい伝承も必要であろう。浅川では、本調査が契機となり、

津波の標識を集落の公有地に建てる計画が進められており、町ぐるみの防災意識が高揚されることが期待される。

最後に、本研究は海南町役場の全面的な協力のもとに行われたもので、とくに全調査過程が円滑に進められるよう配慮いただいた五軒家憲次助役に謝意を表すとともに、多くの被災者から貴重な証言と痕跡の確認など御助力を賜った。また、実測にあたり徳島大学土木系学科の大学院生の助力を得た。とりわけ当時学部学生の小崎 修君（現松尾橋梁）には、資料整理、図面作成に多大の助力を得たことを記して謝意を表す。さらに、本研究者、玉井佐一高知大教授）による研究補助を受けたことを記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 徳島県史編纂委員会：徳島県災異誌，88 p.，1962.
- 2) 相田 勇：陸上に溢れる津波の数値実験—高知県須崎および宇佐の場合—，地震研究所彙報，No. 52，pp. 441—460，1977.
- 3) 後藤智明・首藤伸夫：越喜来湾に対する津波の上解析，第15回自然災害科学総合シンポジウム論文集，pp. 579—582，1978.
- 4) 岩崎敏夫・真野 明：明治29年山田湾における津波の数値解，第16回自然災害科学総合シンポジウム論文集，pp. 281—282，1979.
- 5) 羽鳥徳太郎・相田 勇・岩崎伸一・日比谷紀之：尾鷲市街に上した津波の調査—1944年東南海・1960年チリおよび1954年安政津波—，地震研究所彙報，No. 56，pp. 245—263，1981.
- 6) 羽鳥徳太郎・相田 勇・小山盛雄・日比谷紀之：大船渡市街地に上した津波調査—1960年チリおよび1933年三陸津波—，地震研究所彙報，No. 57，pp. 133—150，1982.
- 7) 首藤伸夫：津波対策のあり方，水工学シリーズ84—B—7，土木学会水理委員会，pp. B. 7—1—B. 7—7，1984.
- 8) 水路部：昭和21年南海大地震報告，地変および被害編，水路要報増刊号，1948.
- 9) 海部郡教育研究所：研究紀要No. 8，95 p.，1960.
- 10) 浅川村震災誌委員会：南海大地震浅川村震災誌，58 p.，1957.
- 11) 牟岐町震災史編纂委員会：牟岐町震災史抄，33 p.
- 12) 中央気象台：昭和21年12月21日南海道大地震調査概報，84 p.，1947.
- 13) 森田 一：津波の来襲と住民の退避状況について，文献12)，pp. 76—83，1947.
- 14) 水路部：昭和21年南海道大地震報告，津波編，水路要報増刊号，1948.
- 15) 村上仁士・島田富美男・細井由彦：徳島県浅川湾における津波の挙動に関する考察，第37回土木学会中国四国支部講演概要集，pp. 161—162，1985.
- 16) Ando, M.: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquake along the Nankai trough, Japan, Tectonophysics, Vol. 27, pp. 119—140, 1975.
- 17) Mansinha, L. and D. Smylie: The displacement faults, Bull. Seismol. Soc. Amers., Vol. 61, pp. 1433—1440, 1971.
- 18) Lee, J. J.: Wave-induced oscillations in harbors of arbitrary shape, CIT Rep., 1970.
- 19) 村上仁士・島田富美男・細井由彦・見附敬三：徳島県浅川湾の湾水振動特性に関する考察，第37回土木学会中国四国支部講演概要集，pp. 163—164，1985.
- 20) Hatori, T.: A study of the damage to houses due to a tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, pp. 181—191, 1964.
- 21) Hatori, T.: The roughness coefficient in a town area observed in the case of the Kantō Flood of Sept. 1947, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 41, pp. 681—686, 1963.
- 22) 後藤智明・首藤伸夫・川 一：陸上大障害物群の津波 溢時における抵抗，第25回水理講演会論文集，pp. 125—132，1981.
- 23) Takahashi, R.: An estimate of future tsunami damage along the Pacific Coast of Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 29, pp. 71—95, 1951.
- 24) 羽鳥徳太郎：湾の周期特性からみた津波の危険度，第2回災害科学総合シンポジウム論文集，pp. 23—26，1965.
- 25) 河田恵昭：高潮災害の変遷と将来予測，昭和56年度土木学会関西支部講演会テキスト，pp. 85—104，1981.
- 26) United States Nuclear Regulatory Commission: An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants, WASH-1400, 94 p.，1975.
- 27) 都甲泰正：安全評価と確率論，原子力工業，第20巻，3号，pp. 24—28，1974.
- 28) 東京帝国大学地震研究所：昭和21年12月21日南海大地震調査報告〔その1〕，地震研究所速報5号，1947.
- 29) 相田 勇・影山正展：女川，石巻間（宮城県），1960年5月24日チリ地震津波に関する論文および報告，チリ津波合同調査班，pp. 289—301，1961.
- 30) Hatori, t.: A study of the damage to houses due to tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, pp. 181—191, 1964.
- 31) 昭和8年3月3日三陸北方津波に関する論文報告：地震研究所彙報，別刷第1号，1編，1934.
- 32) 気象庁：昭和35年5月24日チリ地震津波調査報告，気象庁技術報告，第8号，1961.

(1985年6月24日受理，
1985年10月7日訂正受理)