

地震による家屋破壊状況における津波による家屋被害 に関する一考察

大谷 寛*・上月康則**・村上仁士***

地震動による家屋等の被災を考慮した津波氾濫計算を行い, その有効性を検討した. 津波常襲地である徳島県浅川地区を対象として, 1854 年安政南海地震を想定して家屋被害率の空間分布を求め, 家屋の倒壊を考慮しない場合に比べ, 倒壊を考えた場合, 漂流した瓦礫や船舶の衝突による二次被害の危険性が高くなる可能性を指摘した. さらに, 津波氾濫流による家屋被害発生領域も 60% 拡大することがわかった. また, 防波堤の建設だけでなく, 海岸付近の建物を改修することによって越波後の流速減殺機能を発揮し, 一部の建物の改築でも津波防災には有効であることを示唆した.

1. 緒 言

2003 年 12 月, 東南海・南海地震防災対策推進地域に指定された市町村では, 津波からの避難等, 地震防災対策に関する各種計画を作成し, その実施を推進, また, 病院, デパート, 劇場などにおける津波からの避難計画を作成しなければならない. 特に, 次の南海地震が発生した場合, 四国の多くの沿岸域では, 震度が 6 弱以上となると予測されており, 地震による家屋の倒壊の後, 津波の襲来を受ける危険性がある.

津波被害を予測するためには, 津波数値計算が必要不可欠であり, 日々その精度の向上が行われている. 現在の氾濫予測手法では, 小谷ら (1999) や, 油屋ら (2002) のように, 陸域の粗度係数の数値を変化させることで, 土地利用をより詳細に表現しようとする手法や, 井上ら (1999), 劉ら (2001) のように構造物を地盤高さに再現する手法がある. しかしながら, 津波の陸上氾濫予測に家屋倒壊の被災状況を考慮したものはない.

そこで, 著者ら (2002) は, すでに津波常襲地である徳島県浅川地区 (以下, A 地区) において, 地震動による現在の家屋倒壊率の空間分布を求め, 津波避難に及ぼす家屋倒壊の影響について若干の考察を試みた. 地震動による倒壊家屋が, 住民の避難速度の低下や避難路の迂回を発生させるなど, 避難の障害となった場合, 人的被害が拡大し, これまで行われている避難訓練では十分でないことを指摘した. しかしながら, 具体的に地震による家屋被害が発生した状況のもとで津波の陸上氾濫計算等を行うまでに至っていなかった.

そこで, 本研究では, ひきつづき同様の対象地である, A 地区 (図-1) において, 次の 2 点について考察を行った. (1) 地震動による家屋倒壊を考慮した場合と従来の考慮しない場合での津波の挙動の違いを明らかにする. (2)

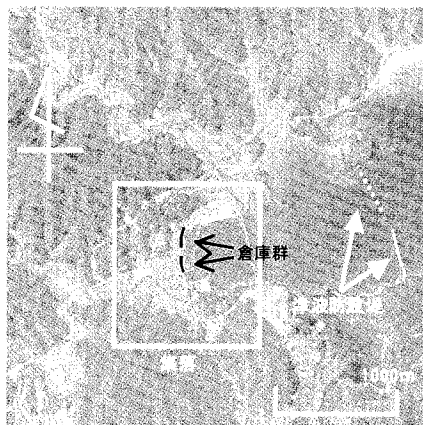


図-1 徳島県浅川地区

現在建設途中の津波防波堤が完成した場合と現状では震度 6 弱に耐えられない海岸部の倉庫群を耐震化するなど, 現状の A 地区で可能なハード対策を行った際に, 津波氾濫流による集落の家屋被害範囲を減少させることが可能かについて考察し, 一部の建物の改築が津波対策に有効かどうかを検討する.

2. 地震動による家屋破壊状況の再現

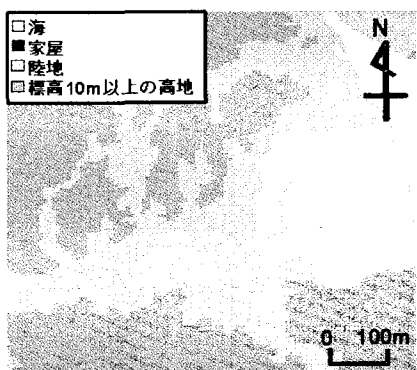
地震動による家屋倒壊を考慮した場合と従来の考慮しない場合における津波の挙動の違いを明らかにするため, A 地区の地形データを図-2 に示すような 3 種類作成した. なお, 全ての場合について, 格子間隔は A 地区で道路が再現できる 6.25 m とした. なお, Case 1~Case 3 は次のような地形である.

- (1) Case 1: 従来の手法として, 家屋の破壊状況に依らず集落全体に Manning の粗度係数 n を一様に 0.025 とした地形.
- (2) Case 2: 劉ら (2001) のように, 集落の家屋群を半無限高さとし, その他の格子に Manning 粗度 n を一様に 0.025 とした地形.
- (3) Case 3: Case 2 の地形に, 著者ら (2002) が求めた 1854 年安政南海地震 (M 8.4) を想定地震とした場合にお

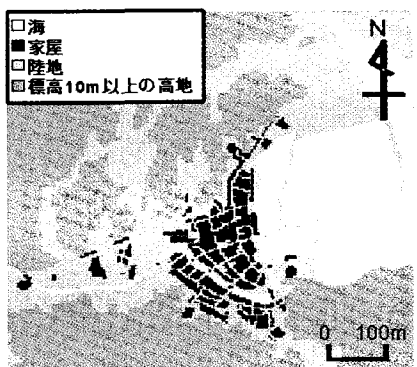
* 正 会 員 修 (工) 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

** 正 会 員 博 (工) 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

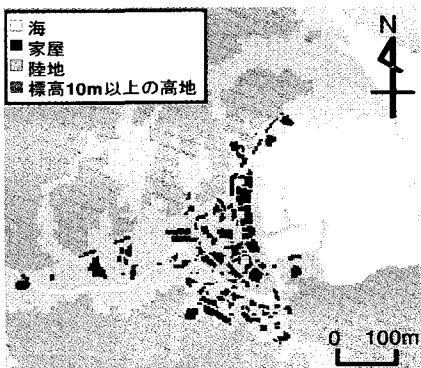
*** フェロー 工 博 徳島大学教授 大学院工学研究科エコシステム工学専攻



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

図-2 A地区の地形データ

けるA地区の家屋全半壊率の結果を反映させ、家屋全半壊率の最も高い1951年以前の木造家屋および隣接する家屋を全て倒壊させ、その他の格子でManning粗度 n を一樣に0.025とした地形。

3. 津波伝播計算

想定地震は、政府の地震調査委員会(2001)により公

表された次の南海地震と同規模の1854年安政南海地震(M8.4)津波として、2.で述べた3つのCaseの地形を最小領域として、津波数値計算を行った。基礎方程式には、非線形長波理論式を用いた。以下にその基礎方程式を示す。

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{M^2}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{MN}{D} \right] \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{MN}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{N^2}{D} \right] \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

ここで、 x, y : 水平の直交する2方向の座標、 M, N : x, y 方向の線流量、 h : 静水深、 η : 静水面からの水位上昇量、 g : 重力加速度、 D : 全水深($=h+\eta-\xi$)、 γ_b^2 : 海底摩擦係数、である。

計算領域を図-3に、計算領域緒元を表-1に、断層モデルは、相田(1981)を使い、各種断層パラメータ(図-3中の点線部)の値を表-2に示す。ここで、表-1中の数字はそれぞれ、次のものを表す。 N : 断層面基準点の緯度、 E : 断層面基準点の経度、 d : 断層面基準点の深さ、 θ : 断層面の走行方向、 δ : 断層面の傾き、 λ : 上盤の下盤に対する食い違い方向、 L : 断層面の走行方向長さ、 W : 断層面の傾斜方向の長さ、 U : 食い違い量。

また、計算時間間隔は、計算の安定性を考慮して0.3sとした。なお、津波計算の妥当性を検証するため、Case 1と同様に一樣にManning粗度を与えた安政南海地震発生時の地形を再現し、当時の浸水範囲と最大水位と比較することにより検証している。

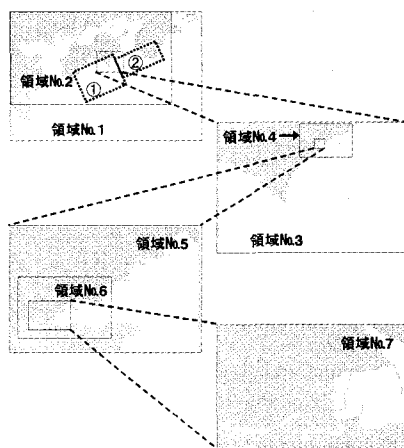


図-3 数値計算の計算領域

表-1 計算領域緒元

領域	領域開始始点(m)		格子数		格子サイズ(m)
	I 方向	J 方向	I 方向	J 方向	
No. 1	-324000	-216000	180	120	3600
No. 2	-288000	-108000	290	180	1800
No. 3	-18000	-9000	165	159	600
No. 4	27000	60600	123	114	200
No. 5	32600	67800	112	108	50
No. 6	32737.5	68375	237	206	12.5
No. 7	33212.5	68625	200	194	625

表-2 断層パラメータ

断層 No	N(°)	E(°)	d(km)	θ (°)	δ (°)	λ (°)	L(km)	W(km)	U(km)
①	32.7	134.7	1	250	20	117	150	120	630
②	33.41	136.2	10	250	10	127	150	70	470

4. 家屋倒壊による地形変化がもたらす氾濫挙動の変化

3.で行った3つのCaseにおける津波数値計算の結果より、地震動による家屋破壊を考慮した場合と従来の考慮しない場合の津波挙動の違いについて考察する。

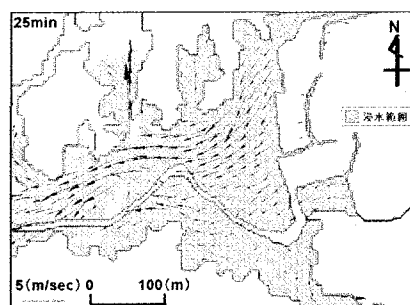
(1) 流速分布および浸水範囲

図-4は、Case 1～Case 3における地震発生25分後のA地区に遡上した氾濫流の流速および浸水範囲を示す。図-4(a)と図-4(b)における浸水範囲の違いより、Case 2のように家屋を表現したことによって、浸水範囲が小さくなっていることがわかる。また、流速に着目すると、家屋倒壊を平面的に $n=0.025$ で表したCase 1では、一様に東から西への流速ベクトルが大部分を占めているのに対し、Case 2では、家屋群が存在する個所において、流速ベクトルが道路に沿って様々な方向に向いており、かつ流速が小さくなっていることがわかる。また、Case 2の浸水範囲が図-4(a)と同等になるのは、Case 1から約4分遅れてからであった。これらのことから、家屋群が障害物の役割を果たし、内陸部への進入する津波の流量を抑制しているといえる。

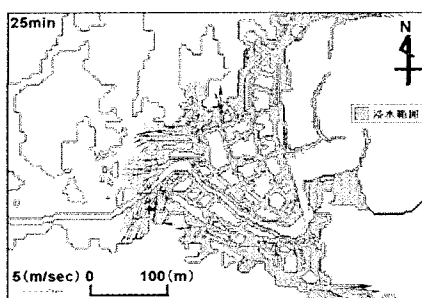
また、倒壊家屋のある場合(Case 3)と倒壊家屋がない場合(Case 2)を比較すると、集落の浸水範囲に顕著な差がみられなかったが、集落を通り抜けた流速が、前者のほうが大きな値を示していることがわかった。これは、津波に対して遮断物の役割を果たしていると考えられる家屋の数が、約40%減少し、集落での津波減衰効果が低下したことが影響していると考えられる。以上より、地震による倒壊家屋が集中する領域では、そこでの流速が増大するため、家屋等の破壊に伴い生ずる瓦礫や陸上にまで漂流した船舶の突入などの二次災害を引き起こす可能性があることを指摘した。

(2) 津波氾濫流による家屋被害発生面積

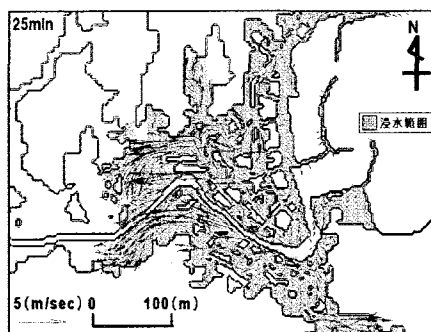
津波氾濫流による家屋被害は、木造家屋の場合、2m以



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

図-4 A地区を遡上する津波の流速分布および浸水範囲
(地震発生後25分)

上の浸水高で、非木造家屋の場合、7m以上の浸水高で倒壊すると考えられている(飯塚ら, 2000)。本研究でも、この基準を用いて津波氾濫流による家屋被害を算出し、地震による家屋被害を考慮した地形と従来の手法を用いた地形との比較を行った。

図-5に、Case 1～Case 3におけるA地区に来襲した津波氾濫流による木造家屋被害をうける空間の面積を示す。

Case 2およびCase 3における家屋被害発生面積は、それぞれ、196,093 m^2 および315,742 m^2 であった。これらより、家屋被害を考慮した場合、考慮しなかった場合

と比較して、家屋被害が発生する範囲が61%拡大した。また、いずれの場合においても、A地区の集落のほぼ全域が津波氾濫流による家屋被害を受けることが明らかに

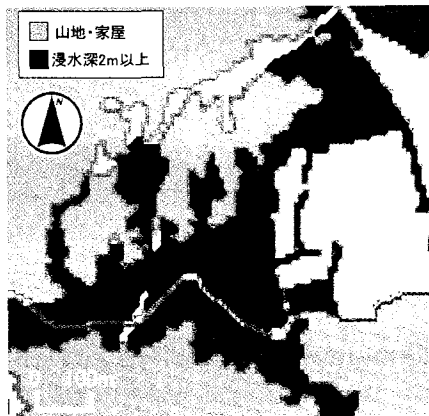
なった。

5. ハード対策を行った場合の被害軽減効果

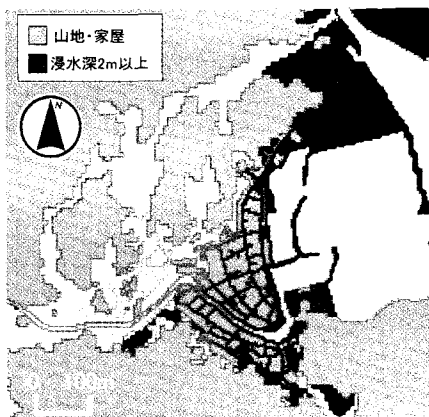
4(2)より、次の南海地震時の津波氾濫流により、A地区の集落のほぼ全域で家屋被害が発生することを指摘した。ここでは、A地区の沖合約1kmに建設中である津波防波堤(図-1参照)が完成した場合の家屋被害の減少効果を検討する。A地区の海岸に近い位置に業者の倉庫群(図-1参照)があり、こうした一部の施設を改築して、内陸の一種の津波防御堤と考えた場合に家屋被害に及ぼすこれらの効果についても考察する。

(1) 沖合の津波防波堤が完成した場合

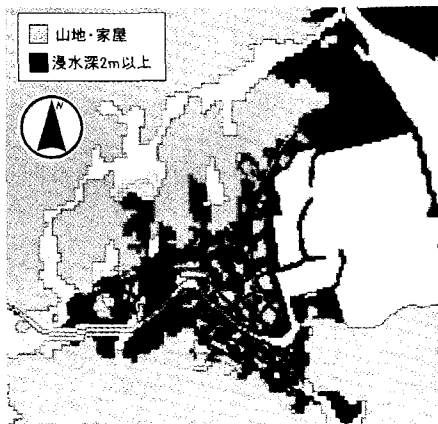
これまでの氾濫計算は、津波防波堤が南側だけ完成している条件で行っていた。そこで、防波堤が完成した場合の津波氾濫流による家屋被害の軽減効果を検討した。図-6に、防波堤が完成し、家屋被害率48%以上の家屋が倒壊した条件(Case 2)での、津波氾濫流による家屋被害発生範囲を示す。このときの被害面積は、 $24,023\text{ m}^2$ であった。これは、Case 3の約9%に相当する。さらに、4(2)の結果を用いると、集落では津波氾濫流による家屋被害が発生しない結果となった。これより、防波堤が完成すれば、津波氾濫流による家屋被害発生の可能性がきわめて低くなることがわかった。



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

図-5 津波による家屋被害発生範囲

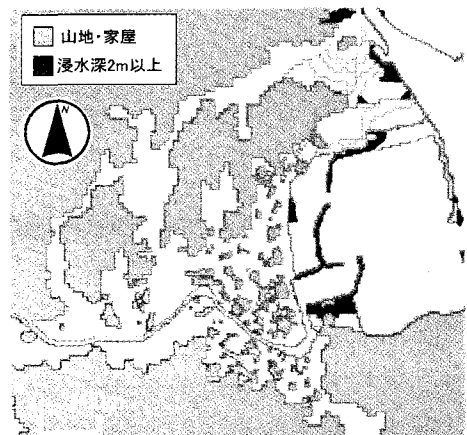
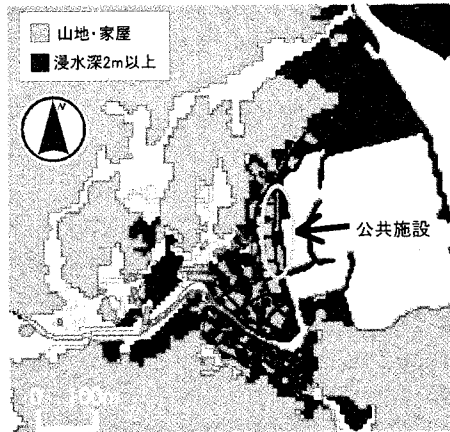


図-6 津波による家屋被害発生範囲(防波堤完成後)

(2) 海岸部の建物を補強した場合

ここではCase 3の地形において、地震・津波双方に耐えうるよう、図-1に示した沿岸部の倉庫群を耐震化したと仮定し、津波氾濫流による家屋被害発生範囲を求めた。図-7に、倉庫群のみ倒壊しない場合の津波氾濫流による家屋被害発生範囲を示す。

このときの被害発生面積は、 $253,242\text{ m}^2$ であった。これは、倉庫群を補強しなかった場合の約80%であり、特に、



図一7 津波による家屋被害発生範囲（倉庫群改築後）

内陸部での被害発生範囲が減少した。このことから、これら沿岸部の一部の建物を堅固なものに改築し、地震および津波の流体力による家屋倒壊率を低下させることで、内陸部への津波による被害は軽減できることは他の地域の防災の一つの指針となるだろう。

以上のことから、A地区については、津波防波堤の早急な完成が津波氾濫による家屋被害を軽減させる有効な対策であることが示された。そのため、他の津波常襲地においても、避難計画などのソフト面の対策はもとより、ハード面の対策も行う必要がある。しかしながら、ハード面の対策が行われていない地域も多く、莫大な費用と時間を要する津波防波堤建設は、合理的な手段であるとはいえない。このため、防波堤より劣ものの津波被害軽減効果を有しており、防波堤建設より容易である海岸部の公共施設の耐震化を、防災対策の一つとして検討する必要がある。

6. 結 言

本研究で得られた主要な結果を以下に列挙する。

- (1) 津波数値計算結果から、A地区では、海岸部に密集した家屋群が、津波エネルギーを減殺する効果を有し、それよりも内陸部への氾濫流の流量を抑制した。
- (2) 地震による倒壊家屋が集中する領域では、そこでの流速が増大することから、家屋等の倒壊に伴い生ずる瓦礫や陸上にまで漂流した船舶の突入などの二次災害を引き起こす可能性があることを示唆した。

(3) 地震動による家屋被害を考慮した場合は、それを考慮しなかった場合に比べ、津波氾濫による家屋被害の発生する領域（範囲）が61%拡大するなど、津波被害予測にこの影響が無視できないことがわかった。

(4) 津波防波堤が完成すれば、津波による家屋被害発生領域（範囲）は、防波堤が完成していない現在の7.6%にまで減少することがわかった。また、海岸部の倉庫群を耐震化させることによって、被害発生領域（範囲）が倉庫群を改修していない現状の80%にまで低下することを示した。このことは、A地区において、現状で可能な防災対策でも津波被害範囲の減少に効果的であることを数値的に評価できたことを意味する。

(5) 地震による家屋倒壊を考慮した本研究の結果より、津波による家屋被害だけでなく、津波人的被害に関しても従来の手法と異なる結果を示すことが推測されるため、今後検討が必要である。

本研究を行うに当たり、ご協力いただいた徳島県海部郡海南町の川野駿氏（現海部郡消防組合 消防長）、東谷一郎氏、和歌山県庁の吉村良太氏に深く感謝の意を表します。また、本研究は、科学研究費基盤研究(C)（代表者：村上仁士）による研究の一部であることを明記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 相田 勇 (1981): 南海道沖の津波の数値実験, 東大地震研究所 彙報, Vol. 56, pp. 713-730.
- 油屋貴子・今村文彦 (2002): 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 276-280.
- 飯塚秀則・松富英夫 (2000): 津波氾濫流の被害想定, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 381-385.
- 井上和也・川池健司・林 秀樹 (1999): 都市域における氾濫解析モデルに関する研究, 水工学論文集, 第43巻, pp. 533-538.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998): GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360.
- 佐藤広章・村上仁士・島田富美男・上月康則・倉田健吾・大谷 寛 (2002): 地震による家屋の倒壊を考慮した津波来襲時における避難に関する一考察, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 311-315.
- 地震調査委員会 (2001): 南海トラフの地震の長期評価, 26 p.
- 中央防災会議 (2001): 「東南海, 南海地震等に関する専門調査会」第1回説明資料, 35 p.
- 劉 曉東・堺 茂樹・小原忠和・三上 勉・岩間俊二・今村文彦・首藤伸夫 (2001): 市街地への津波遡上・氾濫に関する数値解析, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 341-345.