

津波浸水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

徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻*
志方 建仁・村上 仁士・上月 康則・杉本 卓司

The effect of tide and flood gates on human damage at the time of tsunami inundation

Takemi Shikata, Hitoshi Murakami, Yasunori Kozuki, Takuji Sugimoto

Ecosystem Engineering, graduate school of engineering, The University of Tokushima
2-1 Minami-josanjima, Tokushima 770-8506, Japan

The effect of tide and flood gates on human damage at the time of tsunami inundation was estimated by using a tsunami numerical simulation and a human damage prediction method for Usa district of Kochi prefecture. In Usa district, the effect of shut of flood gates on tsunami inundation and a human damage is effective than the shut of tide gates. However, closing the gates causes extended inundation at a closed area. It is pointed out that extended inundation was stumbling block to do emergency activities, such as saving a life, conveyance of goods and fire fighting.

§ 1. はじめに

2001 年 9 月, 政府の地震調査委員会は次の南海地震が 2030 年までに約 40%, 2050 年までに約 80% の確率で発生し, その規模は M8.4 級であることを公表した. 地震やそれに伴う津波の被害は最大で南関東から九州までの広範囲な地域に及び, 他地域からの救助・救援が期待できないことから, 各地域ごとの防災体制の確立が望まれている.

津波防波堤や防潮堤などのハードな施設の整備は費用が莫大で長期間を要し, 景観や周囲の環境に影響を及ぼすことから, それら防災施設の新設は近年では困難な状況にある. このため, 既存の防災施設を活用した対策や迅速な避難を促進させるといったソフト面の防災対策が急務とされている.

水門, 鉄扉, 陸閘などの門扉は既存の防災施設を活用した対策として注目されており, 津波来襲時には直ちに閉鎖できる体制づくりが求められている. これらの門扉の管理については, 約 40% の門扉が津波来襲時に閉鎖できない可能性にあり, また門扉の操作も半分以上が一人で担当していることが報告されており, 地震により操作者が被災した場合には閉門できない事態に陥るなどの現状における問題点が指摘されている(杉本ら, 2002). しかしながら, 浸水後における海水排除の問題に関しては具体的には検討されていなかった. 防潮堤や高い地盤などに囲まれる区域に一度津波が流入すれば, ポンプや門扉の開放がないかぎり, 滞留した海水は排除されないことが考

えられる. 津波による浸水の継続時間が長くなれば, 道路の通行不能により搬送活動や消火・救助活動といった迅速な応急作業が困難となり, 二次災害による被害の拡大なども考えられる. このため, 津波来襲時に加えて浸水後についても門扉の操作対策を検討する必要がある.

本研究では, 高知県土佐市宇佐において津波の数値計算および人的被害予測シミュレーションを実施し, 水門・陸閘といった門扉の開閉が津波の氾濫特性および被害程度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした.

§ 2. 津波の数値計算および人的被害予測

2.1 津波数値計算方法

ここでの津波の数値計算は, すでに著者らが行っている手法(村上(1996, 1997))に準じた. 表-1 に領域ごとの計算条件を示す.

a) 支配方程式

津波の数値計算に用いる支配方程式として, 水深の深い領域では移流項と摩擦項を無視した線形長波方程式, 沿岸域を含む領域では非線形長波方程式を用いた.

b) 領域の接続

ここでは外洋で空間格子を粗く, 沿岸部に近づくにつれて格子間隔を細かくする従来と同じ方法を用いた.

* 〒770-8506 徳島市南常三島 2-1

c) 計算領域

対象地域は南海地震による津波の被害を繰り返し受けてきた高知県土佐市宇佐(以下宇佐と略称)とした。ここで、計算領域には、断層モデルを含んだ最も大きい領域から宇佐へと徐々に計算格子を小さくしていき、宇佐周辺の地形をなるべく正確に表現した。なお、本計算の最小格子間隔である 19.5m よりも狭小な水路については排水路モデル(井上, 1986)を用いて表現した。遡上計算領域内に存在する全ての水路は一定幅 10m, 河床勾配 1/200~1/100とし、実際の河道幅が狭小になっている部分までとした。

d) 粗度

水域および陸域における摩擦係数は、表-2 に示した Manning の粗度係数を用いて評価した。

e) 門扉の考慮

通常の数分法では水門や陸閘の幅が計算格子間隔より小さい場合、的確な大きさで表現されない。格子間隔分だけ門扉を開放状態にすると、そこを通過する流量は過大に計算される。

そこで水門・陸閘を数値計算で表現するため、水門・陸閘の門扉の幅と高さに合わせた計算方法を用いた。なお、計算方法の詳細については杉本ら(2002)を参照されたい。

f) 解析条件

表-3 に津波の数値計算の解析条件を示す。全ケースにおいて計算時間間隔は 1 秒、再現時間は 20 時間、初期潮位は T.P.+0.8m(H.W.L)とした。

表-1 計算条件

領域番号	1	2	3	4
支配方程式	線形長波	非線形長波		
境界条件	沖	透過条件	隣接する境界との接続	
	岸	反射境界	遡上境界	
格子間隔	1250m	312.5m	78.125m	19.5m

表-2 Manning の粗度係数の分類

地形条件		Manning の粗度係数
陸域	陸域でT.P.+10m以上	0.160
	住宅密集地	0.160
	市街地	0.120
	田畑	0.020
	その他の領域	0.040
水域	水深5m以浅	0.040
	水深5mより深い	0.025

表-3 解析条件

		Case1	Case2	Case3	Case4
門	水門(4基)	開放	開放	閉鎖	閉鎖
扉	陸閘(66基)	開放	閉鎖	開放	閉鎖

2.2 人的被害予測手法

人的被害の算出に島田ら(1999)による住民の避難行動を考慮した手法を用いた。なお、ここでは地震動による家屋の倒壊などの被害は考慮せず、津波による被害のみを推定した。

a) 避難開始時間

避難開始時間は地震発生から 20 分、25 分の 2 ケースを想定し、人的被害の予測シミュレーションを実施した。

b) 避難速度

避難は歩行のみ行われるものとし、自動車などの移動手段は用いないと仮定した。消防科学センター(1987)によると、ベビーカーを押している人の平均歩行速度が 1.07m/s, 子連れの人が 1.02m/s, 老人の単独歩行時が 0.948m/s, 老人のグループ歩行時が 0.751m/s である。住民の避難速度としては、これらのうち最も速度が遅く、危険側となる老人のグループ時の歩行速度である 0.751m/s を採用した。

c) 避難場所

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(図-1 参照)を避難場所とした。



図-1 宇佐の現況地形

St. 1, 2, 3 は水位および流速を評価する地点

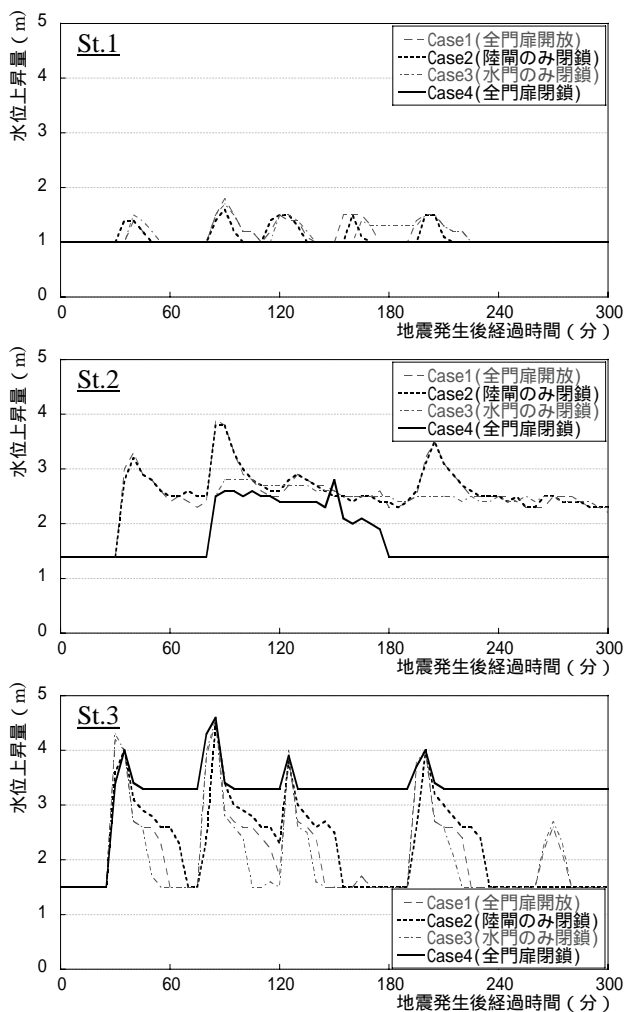


図-2 水位の経時変化

d) 人的被害発生条件

50cm の浸水深はほぼ成人の膝の高さに一致し、50cm 以上の浸水深では避難行動が困難となり、人的被害を受けるものとした。しかしながら、門扉の開閉は津波の流速にも大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで、人的被害発生条件に流速が考慮される場合についても検討を行った。須賀(1995)は人が水中歩行可能な浸水深と流速の関係を水中歩行実験から明らかにしている。水中歩行が困難となる浸水深と流速の関係は次式で表され、この式を満たすような場合に避難行動は困難となり、人的被害が発生するものとした。

$$\eta = 0.8505 \exp(-0.7553u)$$

ここで、 η は氾濫水の浸水深、 u は流速である。

e) 人的被害の算出

人的被害率の算定は 5 分ごとに行い、区域内の住民が避難完了、あるいは住民の全員が人的被害に遭うまで繰り返した。詳しい計算方法については、島田ら(1999)を参照されたい。

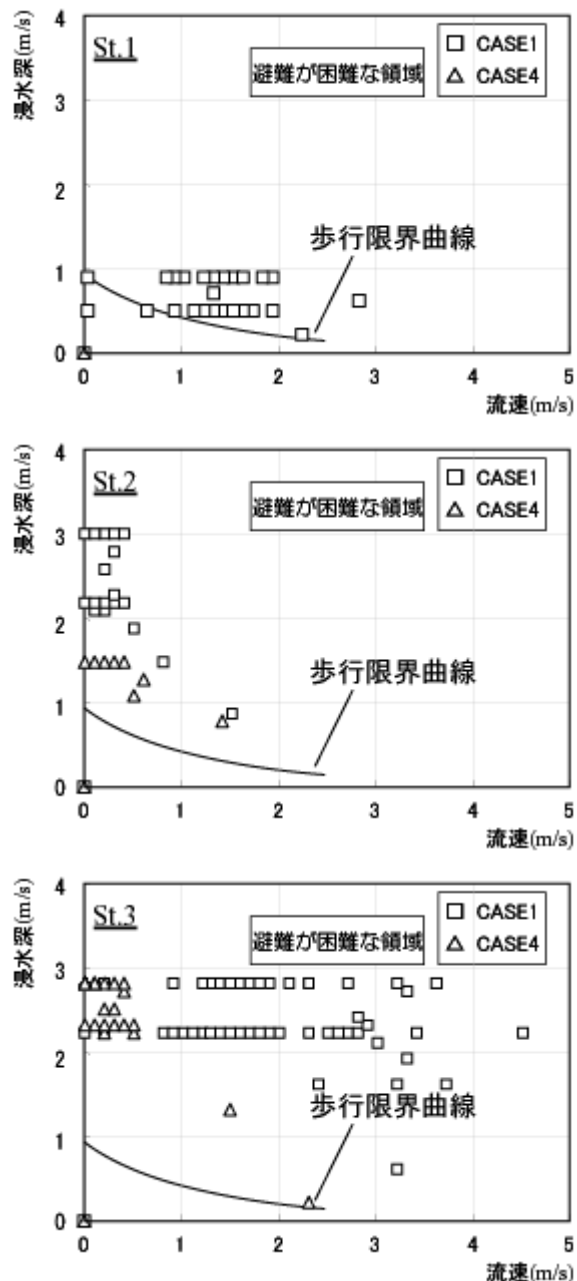


図-3 浸水深と流速

§ 3. 津波の氾濫特性に及ぼす閉鎖の影響

図-1 に、宇佐の現況地形を示す。同地区には、いくつかの水路が北方の山地から居住区を通過して海域へと注いでおり、各水路の河口部には合計 5 基の水門が整備されている。また、防潮壁には合計 66 基の陸閘が設けられている。

図-2 に、宇佐内の 3 地点(図-1 参照)における水位の経時変化を示す。また、図-3 は同地点における浸水深と流速を 1 分間隔でプロットしたものである。なお、結果は地震発生後 2 時間までのものであり、図中には須賀(1995)による人の歩行限界曲線も付記した。

St.1 は萩谷川の河口に位置し、周辺地盤は宇佐において最も低くなっている。両図より、Case4 は全ての門扉が閉鎖状態であるために津波の流入をほぼ完全に防いでいることがわかる。これは萩谷川河口部における津波高さが最大で T.P.2.0m以下と低いためであり、門扉の閉鎖による浸水防止効果は大きいことが示された。また、Case1 では、全時間において浸水深が 1m以下であったが、流速が早く人の歩行限界曲線以上のものが多かった。これは、萩谷川河口部北の地域の地盤高が低くなっているため、津波の流速が早かったためと考えられる。

St.2 は防潮堤(T.P.+2.6～5.4m)の背後に位置しており、近くには水路が存在する。Case1, 2 と Case3, 4 の比較より(図-2 参照)、全門扉の閉鎖は津波の浸水開始時間を約 50 分遅らせ、最大水位を 1.2m程度低減した。流速については、Case1 と Case4 で大きな違いはみられなかった。

St.3 は防潮堤と防潮壁に囲まれた閉鎖的な地形となっており、門扉の閉鎖が浸水開始時間と最大水位に及ぼす影響はほとんどみられなかった。しかしながら、全門扉を閉鎖した Case4 では海水が排除されないために水位が一定を保って低下しないという現象が見られた。

一方、Case4 は 0.6m/s 以下の流速がほとんどであるのに対し、Case1 では最大で 4.5m/s の流速が発生している。このことから、門扉の閉鎖により St.2 のような門扉付近の流れの勢いは大幅に低減されることがわかった。

これらの結果から、門扉の閉鎖による津波の浸水深・流速の低減効果は地点により大きな差があり、特に堤防等に囲まれた閉鎖的な区域では海水が排除されないことがわかった。

§ 4. 津波被害に及ぼす閉鎖の影響

4.1 人的被害について

表-4 に、被害発生条件を浸水深と流速で評価した場合における人的被害予測のシミュレーション結果を示す。また、図-4、図-5 は地震発生後 20 分および 25 分に避難開始した場合の Case1～Case4 の人的被害率である。ここで、人的被害率とは津波による人的被害者数を宇佐内の全人口で除したものである。

図-4、図-5 より、人的被害の発生条件に浸水深と流速を考慮すれば、浸水深のみの場合に比べて人的被害の規模は拡大し、その増分は 1.1～1.2 倍であった。しかしながら、本シミュレーションで用いた人的

被害発生条件には瓦礫や木材などの津波漂流物が考慮されておらず、実際はこれより小さい浸水深・流速で人的被害が発生するものと考えられる。

ここで、Case1 から Case2～4 の人的被害率を差し引いた値を門扉の閉鎖による人的被害軽減効果として求めた。その結果、避難開始時間が地震発生後 20 分の場合の人的被害軽減効果は、Case2 が 0.1%、Case3 が 0.5%、Case4 が 0.6%であった。また、避難開始時間が地震発生後 25 分の場合は Case2 が 0.3%、Case3 が 4%、Case4 が 5%であり、宇佐においては水門閉鎖による人的被害軽減効果が陸閉鎖の 5 倍以上になることがわかった。

表-4 宇佐地区における人的被害予測の結果

	全人口(人)	人的被害者数	
		地震発生後20分に避難開始した場合	地震発生後25分に避難開始した場合
CASE1	6079 (H7年国勢調査)	30人	490人
CASE2		28人	475人
CASE3		7人	312人
CASE4		5人	269人

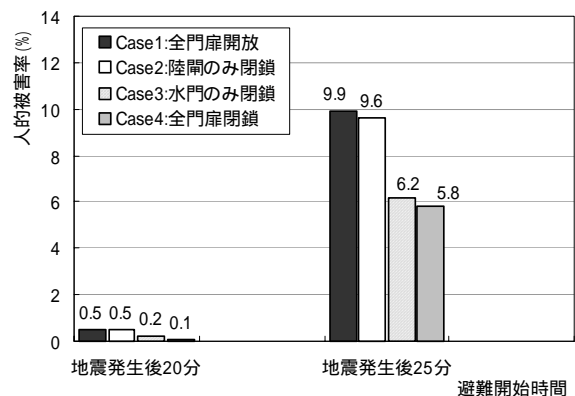


図-4 被害発生条件を浸水深 50cm 以上とした場合の宇佐地区における人的被害率

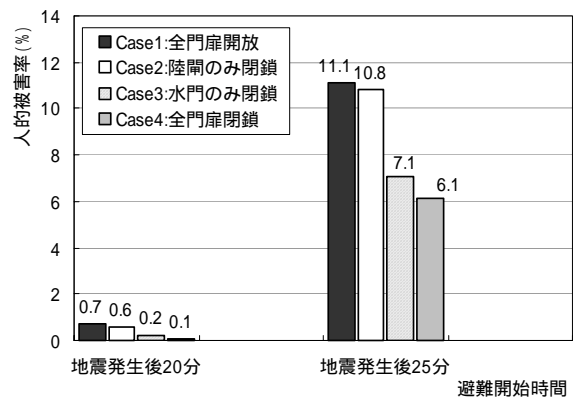


図-5 被害発生条件を浸水深と流速で評価した場合の宇佐地区における人的被害率

(2) 海水排除問題に関する考察

図-2 に示したように, Case4 では防潮堤と防潮壁に囲まれた閉鎖的な地形において海水が排除されなかった. ここで, 津波による浸水の継続時間を水時間と定義し, 図-6 に宇佐における浸水時間の平面分布を示す.

Case1 は, 海岸線沿いと水路周辺の浸水時間が 2 ~ 16 時間と大きい値を示しており, その他は 2 時間以下の区域がほとんどであった. これは, 水門・陸開

といった門扉が開放状態であるために防潮壁の間や水路において, 長時間に渡って津波の押し引きが繰り返されたためである. これに対して Case4 では, 門扉が閉鎖されたために萩谷川河口部やその他の水路周辺の浸水時間が大幅に短縮された. 一方, 防潮堤と防潮壁に囲まれた区域では門扉の閉鎖により海水が排除されず, 浸水時間が大幅に増大していることがわかる.

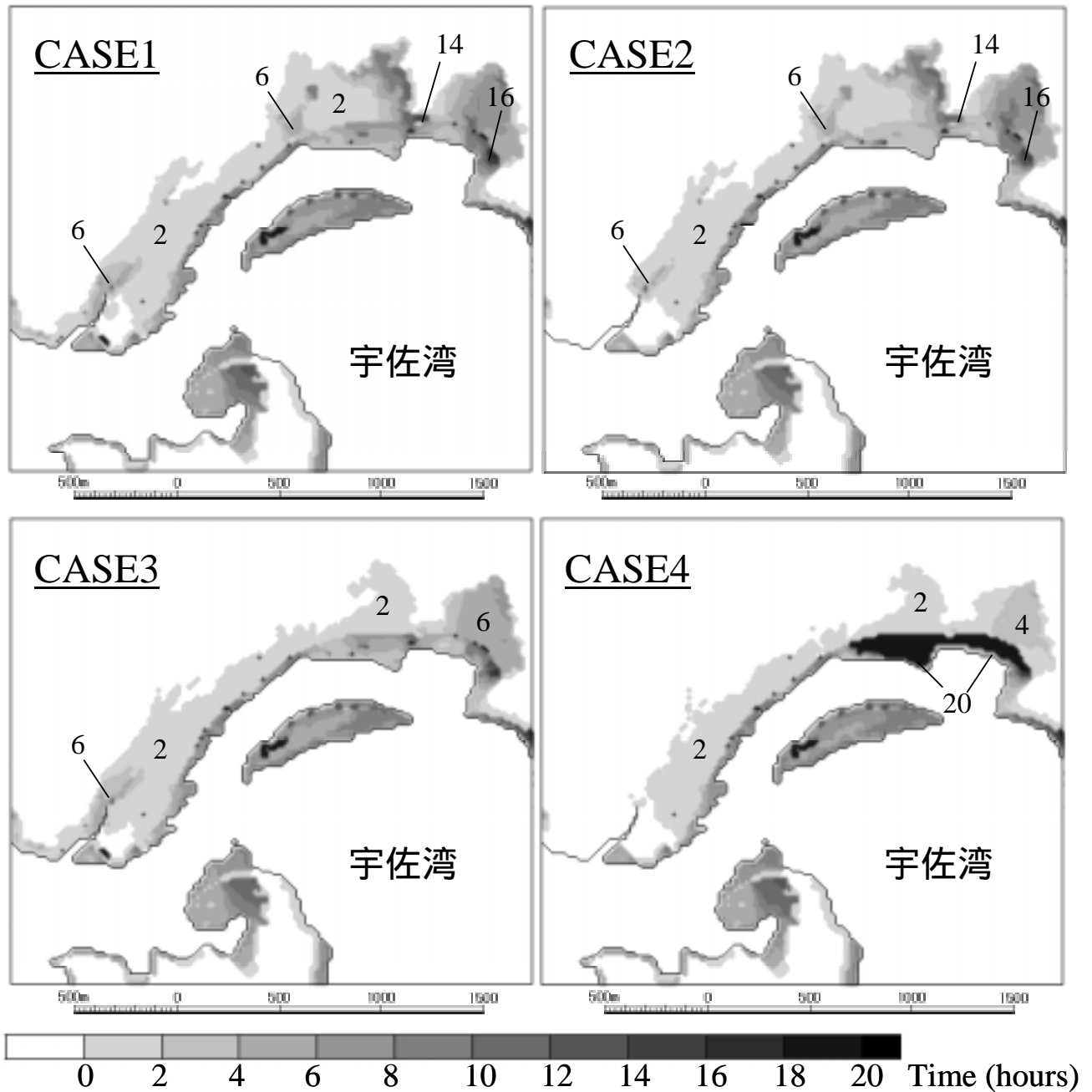


図-6 浸水時間の平面分布

Case4

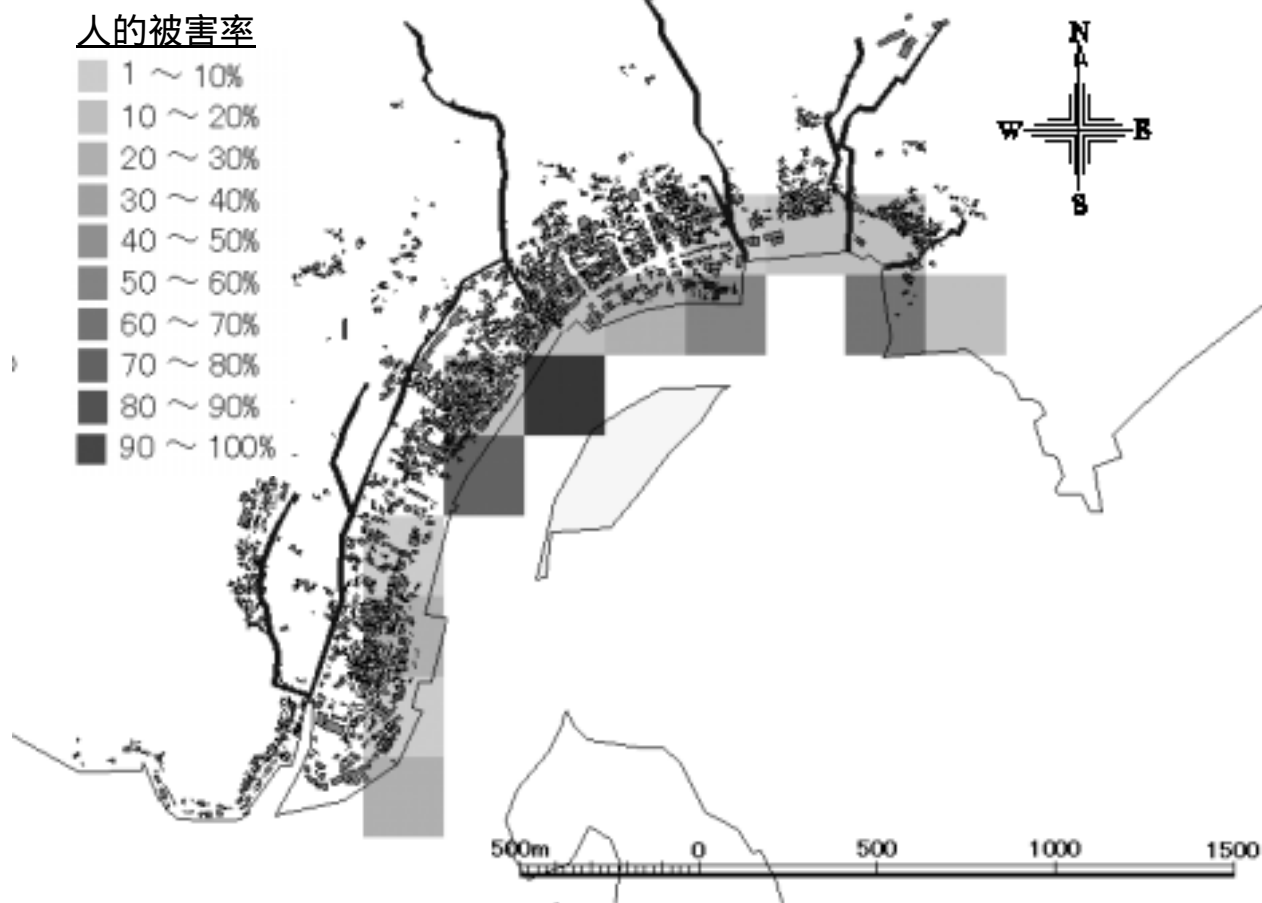


図-7 人的被害率の平面分布

ここで、図-7 に Case4 の人的被害率の平面分布を示す。なお、図中の被害率は住民の避難開始時間を地震発生後 25 分、人的被害発生条件を浸水深と流速から評価した場合の最も危険側の結果である。図-6 の Case4 と図-7 から、防潮堤と防潮壁に囲まれる区域は浸水時間が長く、さらに人的被害の危険度も高いことがわかる。したがって、この区域では浸水により道路が長時間にわたって使用不可能となり、区域内の救助活動等は困難な状況に陥ることが考えられる。また、宇佐では浸水時間が長期化する恐れのある区域が海岸付近の一部だけであったが、仮にこの現象が市街地等で同様に発生すれば、主要道路の交通機能は麻痺し、搬送活動や消火・救助活動といった迅速な応急作業にも大きな支障を及ぼすことが考えられる。

§5. おわりに

本研究では、高知県土佐市宇佐を対象として水門や陸閘といった門扉の開閉状況を考慮した津波の数値計算および人的被害予測シミュレーションを実施し、門扉の閉鎖が津波の氾濫特性および人的被害程度に及ぼす影響を把握し、海水排除問題に関する考察を行った。以下に得られた結果を示す。

1) 門扉の閉鎖により津波の浸水開始時間は遅くなり、また浸水深および流速も低減されるが、周囲の地形や構造物などにより地点間で大きな差があることがわかった。

2) 宇佐においては、人的被害の発生条件に浸水深と流速を考慮すれば、浸水深のみの場合に比べて人的被害規模が拡大し、その増分は 1.1~1.2 倍となることが明らかになった。また、水門閉鎖による人的被害軽減効果は陸閘閉鎖の 10~16 倍と大きいことが示された。

3) 門扉が開放状態の場合は、防潮壁の間や水路で長時間にわたって津波の押し引きが繰り返されるために浸水時間が海岸線沿いと水路周辺で大きくなり、また堤防等に囲まれた閉鎖的な区域では長時間にわたって海水排除されないことが検証されたさらに、浸水時間の長期化が人的被害へ及ぼす影響について考察を行い、浸水時間の長期化は道路機能を麻痺させ、迅速な応急作業を困難なものにする恐れがあることを指摘した。

以上のような結果を得たが、人的被害予測の結果は人的被害発生条件に津波漂流物を考慮していないために過小に評価されていると捉えるべきである。今後は、海水排除問題を考慮した水門・陸閘の閉鎖対策を講じていく必要がある。

謝辞

本研究は平成 15 年度科学研究費基盤研究(C) (代表者:村上仁士)による研究費の補助を受けたものであることを明記し謝意を表する。

参考文献

- 井上和也(1986):開水路非定常流の数値計算法とその水工学への応用に関する研究,京都大学博士論文,pp.204-214.
- 村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明(1996):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,徳島大工学部研究報告,第41号,pp.166-167.
- 村上仁士・島田富美男・伊藤禎彦・山本尚明・石塚淳一(1996):四国における歴史津波(1605 慶長・1707 宝永・1854 安政)の津波高の再検討,自然災害科学,第15巻,pp.43-64.
- 消防科学防災センター(1987):地域防災データ総覧 地域避難編,pp.91-96.
- 杉本卓司・村上仁士・島田富美男・上月康則・倉田健悟・志方建仁(2002):津波に対する水門・陸閘の有効活用とその効果に関する考察,海岸工学講演会論文集,第49巻,pp.306-310.
- 島田富美男・村上仁士・上月康則・杉本卓司・西川幸治(1999):津波による人的被害予測に関する一考察,海岸工学講演会論文集,第46巻,pp.361-365.
- 須賀堯三(1995):利根川の洪水 語り継ぐ流域の歴史,利根川研究会編,山海堂,pp.109-117.