

# 地震津波による臨海部の浸水危険度 Web 表示システムの開発

DEVELOPMENT OF WEBSITE DISPLAY SYSTEM ON  
INUNDATION RISK OF TSUNAMI IN COASTAL URBAN AREA

安田誠宏<sup>1</sup>・平石哲也<sup>2</sup>・永瀬恭一<sup>3</sup>・組田良則<sup>4</sup>

Tomohiro YASUDA, Tetsuya HIRAISHI, Kyoichi NAGASE and Yoshinori KUMITA

<sup>1</sup> 正会員 博(工) 京都大学助手防災研究所 海岸・海域災害研究分野 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

<sup>2</sup> 正会員 工博(独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 波浪研究室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>3</sup> 正会員 工修(株) フジタ技術センター 土木研究部 (〒243-0125 厚木市小野 2025-1)

<sup>4</sup> (株) フジタ マルチメディアネットワーク事業部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2)

Knowledge on the flood risk due to tsunami and storm surge is slight in the persons living in coastal urban areas. The information of the size of anticipated damage and influence to evacuation routes is not enough for them to minimize the hazard risk by inundation.

In this research, the inundation in the coastal urban area caused by tsunami attack is analytically estimated, and the display system on the website was developed. The site is capable for sending the understandable information on the risk through the internet.

The inundation calculation was conducted according to the characteristics of the land use of coastal area, and the relational expression was derived between the distance from the seawalls line and the arrival time, the maximum depth, the maximum celerity. It is possible to display the inundation risk of the maximum design tsunami on the target coastal regions.

**Key Words :** *Tsunami, inundation risk, display system on website, internet, land use of coastal area, relational expression*

## 1. はじめに

最近における都市部への人口と資産の集中ならびに地下街の拡張は、都市の耐水性を低下させつつあり、ひとたび浸水が生じれば、人命だけでなく都市機能全体が影響を受ける可能性が高い。臨海部においては、伊勢湾台風を契機に整備されてきた海岸保全施設の老朽化、異常潮位や温暖化による海面上昇など外力条件が厳しくなり、大きなリスクが生じつつある。また、兵庫県南部地震以降、南海・東南海地震は活動期に入り、50年以内に発生すると予測されている。南海地震と東南海地震は双子地震と呼ばれ、同時もしくは連動して発生する可能性が高く、過去の津波災害の経験や教訓をそのまま活かすことのできない、未曾有の都市型津波災害の発生が懸念される。

こうした臨海部における浸水危険度に関して、住民は漠然としたイメージを持っているだけで、実際の被害想定はどの程度か、避難に及ぼす影響はどのくらいか等の情報を、具体的に知る手段は非常に限

られている。また、津波の市街地氾濫による人的被害についての研究は、越村ら<sup>1)</sup>によるものがある程度で、あまりなされていない。そこで本研究では、地震津波によって発生する臨海部の浸水を解析的に予測し、津波の浸水による危険度を、誰もがインターネットを通してわかりやすく知ることができる Web 表示システムの開発を試みた。

## 2. システムの構成

### (1) システムの構成

本 Web システムのフローを図-1 に示す。まず、海域、沿岸域毎の想定津波を、エリアの選択とリンクさせて表示する。震源データと対象地点の座標から、津波の予測到達時間を併せて表示する。選択した想定津波の条件が浸水解析における入力条件となる。土地利用状況の異なる解析地形条件を3種類設定し、それぞれの条件毎に解析を事前実施し、離岸距離に応じた近似式を求めて、データベースに蓄積しておく。システム利用者に、護岸からの距離および堤

表-1 想定津波データ

沿岸名	都道府県	市町村名	現況施設高 (m)		最大津波高諸元		
			最低	最高	地震名	最大津波高 (m)	継続時間 (sec)
十勝釧路	北海道	根室市	3.2	4.2	G1-1	5.3	1020.5
十勝釧路	北海道	浜中町	4.0	4.5	明治三陸地震	4.4	630.0
十勝釧路	北海道	厚岸町	4.0	4.0	1952十勝沖地震	6.5	1120.0
十勝釧路	北海道	釧路町	4.0	4.2	G1-2	6.0	721.8
十勝釧路	北海道	釧路市	5.0	5.0	G1-2	6.0	807.3
~~~~~							
日高胆振	北海道	苫小牧市	5.2	5.3	G2-1	2.9	544.4
日高胆振	北海道	白老町	5.0	5.2	G2-1	3.0	547.7
日高胆振	北海道	登別市	2.2	6.0	G2-1	7.6	561.8
日高胆振	北海道	室蘭市1	4.5	4.5	G2-1	2.5	538.9

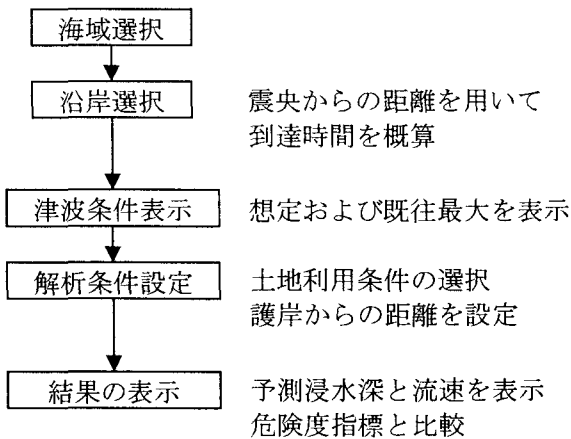


図-1 システムのフロー

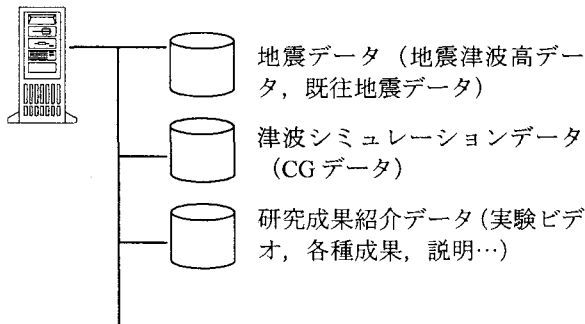


図-2 データおよびファイル構成

防の有無を Web 上で入力させ、その地点における到達時間、最大浸水深、最大流速を近似式によって計算し、表示する。危険度指標<sup>2)</sup>を参照して表示することにより、津波の浸水による人的危険度を閲覧者に示すことができる。

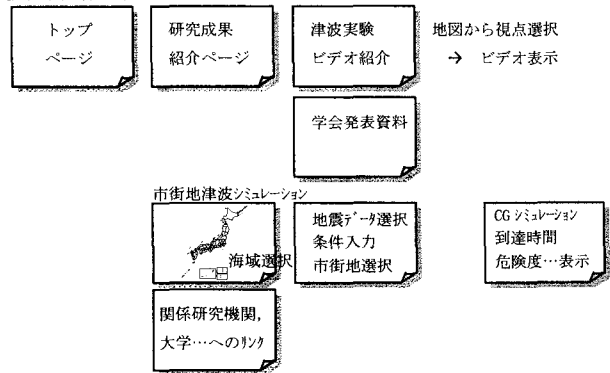
(2) 想定津波

想定津波は既往の研究成果<sup>3)</sup>を用い、想定および既往地震津波のうち最大のものを入力条件とする。想定津波データは表-1に示すようなものであり、各市町村における現況施設高と想定最大津波高の諸元が記載されている。

(3) ハード (ネットワーク) 構成

Web サーバーの設置によるイントラネットワークを構築、公開し、一般ユーザーがインターネットを

一般公開用



メンテナンス用

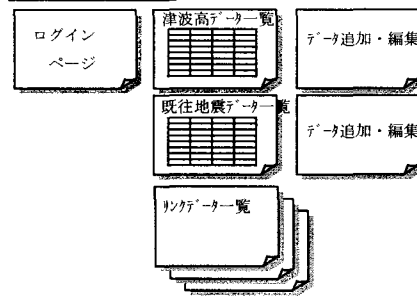


図-3 Web ページの構成

通じてアクセスし、本 Web システムを利用できるように整備する。

(4) サーバー (データ・ファイル) 構成

データおよびファイル構成は図-2に示すとおりである。想定地震データ、津波浸水解析データだけでなく、津波に関する基本的な情報や関連した研究成果も保存し、閲覧できるようにする。表示ページの構成内容は次節の通りである。

(5) Web ページ構成

Web ページの構成は図-3のようである。

一般に公開する部分とデータベースを保管するメンテナンス部分の両方を準備する。

- ・トップページ...研究概要、各ページへのリンク
- ・研究成果紹介ページ...津波実験ビデオの表示、解析結果アニメーションの表示
- ・市街地津波シミュレーションページ...海域選択

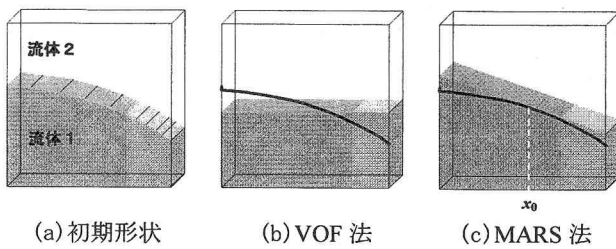


図-4 流体界面の近似方法

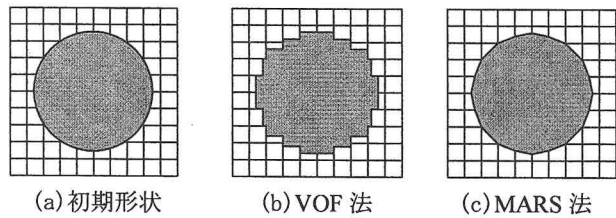


図-5 流体形状の認識

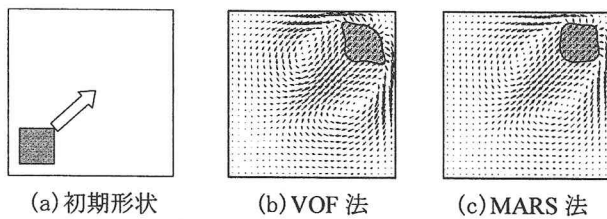


図-6 対角方向への体積率輸送の計算結果

→条件入力→結果表示

- ・リンクページ…関係研究機関、大学等へのリンク
- ・津波高データ追加・編集ページ…メンテナンス用

### 3. 臨海部市街地の浸水解析

#### (1) 解析モデル

臨海部市街地の浸水解析には、功刀<sup>4)</sup>が開発した自由表面を含む多相流の直接解析法（MARS法：Multi-interface Advection and Reconstruction Solver）を用いた。MARS法は、VOF値の正確な輸送だけでなく、表面張力を体積力に置き換えるCSFモデル（Brackbill et al., 1992）により、界面形状を正確に捕獲、輸送し、さらには格子境界の再構築を行うことにより格子間の連続性を保つことができる方法である。

VOF法で扱われる界面は、図-4(b)に示すように、常に格子面のいずれかに平行であることを前提としており、曲率を持ったVOF値は、図-5(b)のように階段状に認識されてしまう。一方、MARS法における界面形状の再現には、図-4(c)に示すような一次関数（line-segment関数）による近似を用いている。その結果、図-5(c)に示すような、より元形状に近い形で再現が可能になる。図-6は、対角方向への体積率輸送の計算結果であるが、この図からも明らかなように、(b)図のVOF法に比べて、(c)図のMARS法は初期形状をより正確に再現することができる。

本モデルの複層市街地空間における浸水解析への

表-2 解析条件

	津波高 $H$ (m)	現況施設高(m)	継続時間 $T$ (m)	堤防高(m)
1	6	5	10	0
2	8	5	10	0
3	10	5	10	0
4	10	5	30	0
5	13	5	10	0
6	8	5	10	2
7	10	5	10	2
8	10	5	30	2
9	13	5	10	2
10	2	1	30	0
11	2	1	60	0

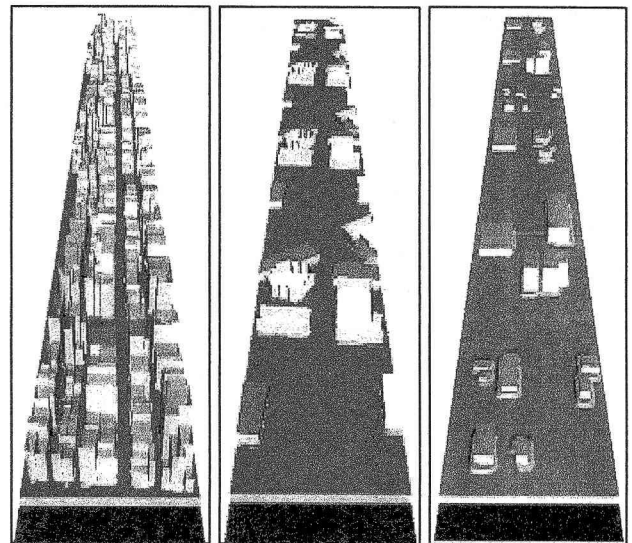


図-7 土地利用状況に応じた市街地モデル

適用性については、安田ら<sup>5)</sup>によって報告されている。

#### (2) 浸水解析条件

想定津波条件は表-1に示すようなものであるが、その全てについて浸水解析を実施することは大変な労力で、効率的とはいえない。そこで、沿岸域は異なるが、津波高と継続時間が近いものを抽出して、解析条件として設定することにより、危険度評価に一般性および汎用性をもたせることとした。抽出した津波条件を表-2に示す。これらの条件で市街地浸水解析を事前に行い、結果をデータベースに蓄積しておく。

#### (3) 土地利用状況の違いを考慮した市街地モデル

津波の条件だけでなく、土地利用状況や堤防および防波堤の有無によって、浸水危険度は異なる。そこで、建物密集度に応じて図-7に示すような3通りの市街地モデルを設定する。それぞれ(a)密集地域（占有率：約60%）、(b)中間地域（約30%）、(c)公園地域（約10%）とした。また、堤防の高さを2mとし、有無それぞれの条件について解析を実施する。

解析結果から離岸距離と氾濫水の到達時間、水位および流速の関係について近似式を予め求めておく。

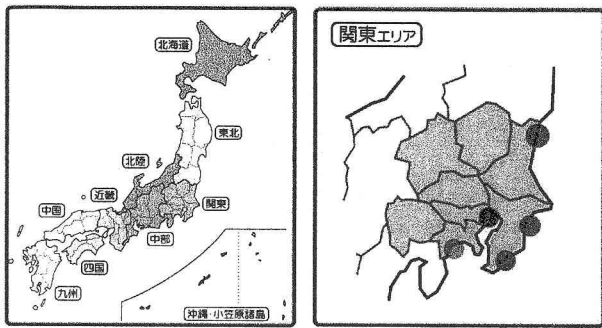


図-8 海域および沿岸域の選択

**条件設定**

あなたのお住まいの家の条件を設定します。  
市街地モデル、堤防の有無を選択して、離岸距離を入力してください。

選択地震 : 大正関東地震  
最大津波高さ(m) : 9.0  
周期(sec) : 706

**市街地モデル選択**

住宅密集地     中間地域     公園地域

堤防有り     堤防なし

計算対象家屋

5m想定

海岸からの距離(L) =  m

結果表示

図-9 条件の設定

Web 上における条件設定の入力値に対応して、近似式から求まる危険度を表示する。解析結果のアニメーションもリンクで表示させる。

#### 4. 浸水危険度 Web 表示システム

##### (1) 海域および沿岸域の選択

図-8 のような画面から、津波危険度を表示する沿岸域を選択する。9つの海域に分類し、そのうちの主要な沿岸域についての想定津波データを見ることができる。

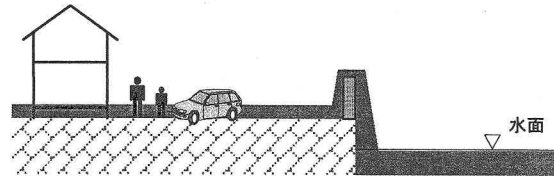
##### (2) 想定津波の選択および到達時間の予測

選択した沿岸域の座標と想定地震の震源位置から求めた距離と、長波の波速から、津波の予測到達時間を計算し、表示させる。表-2の条件に対応した想定津波の沿岸域についてのみリンクを選択でき、次節以降の危険度解析に進むことができる。

##### (3) 条件の選択

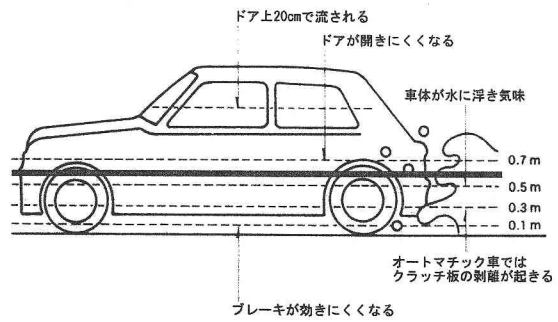
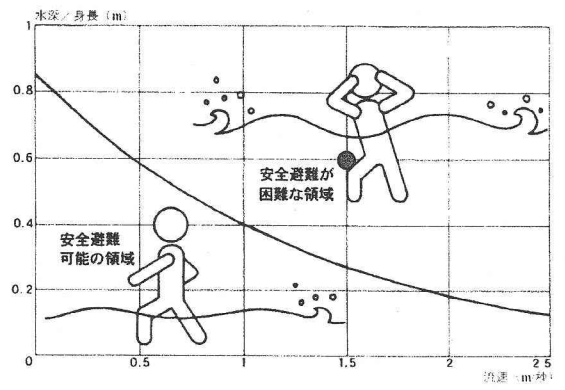
図-9はWeb表示システムにおける条件設定画面である。この画面で危険度を求めようとする地域の諸条件を設定する。まず、土地利用状況に応じた市街地モデルを選択する。次に、堤防の有無を設定し、

選択地震	: 大正関東地震
最大津波高(R)	: 9.0m
離岸距離(L)	: 500m
津波到達時間	: 15分30秒
水位	: 60cm
流速	: 1.5m/秒



大人は、徒歩での避難は困難です。  
子供は、流される危険があります。  
車は、車体が浮き上がる可能性があります。

図-10 離岸距離に対応した浸水危険度の表示



車の被害発生状況

図-11 危険度指標<sup>2)</sup>を参照した解析結果の表示

最後に、護岸から計算対象地点までの距離を入力する。

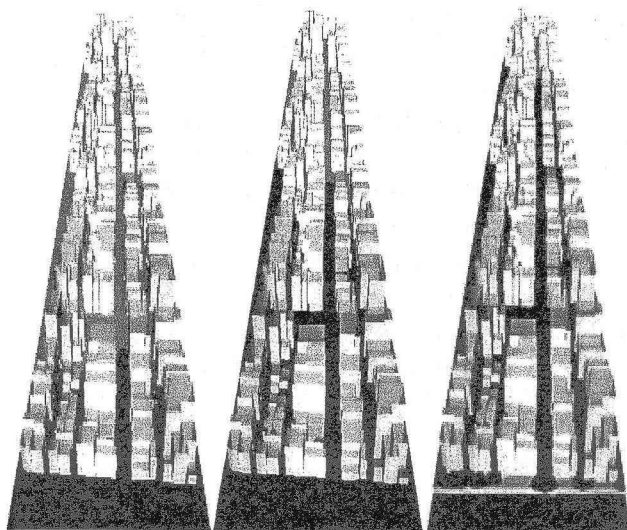
##### (4) 離岸距離に応じた計算結果の整理

近似式を市街地モデル毎に、解析結果より予め求めておく。条件設定時に入力した離岸距離  $L$  と、津波の条件  $R$  (津波高) および  $T$  (周期) を代入することで  $t$  (到達時間) が求まる。

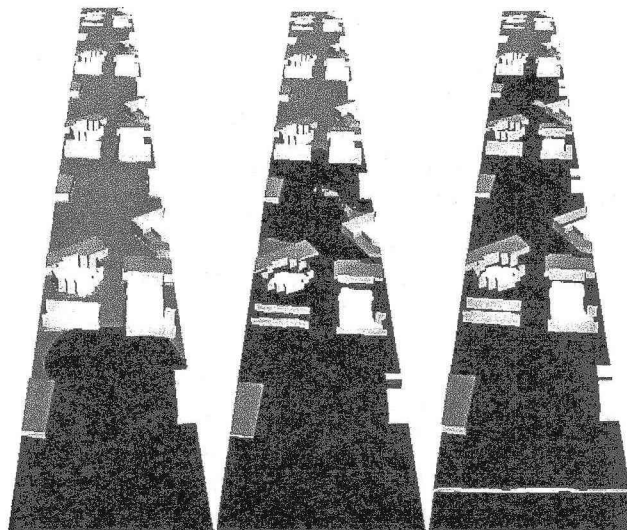
最大水位、最大流速についても同様に、解析結果から近似式を求めておき、離岸距離に応じた値を表示させる。

##### (5) 解析結果の表示

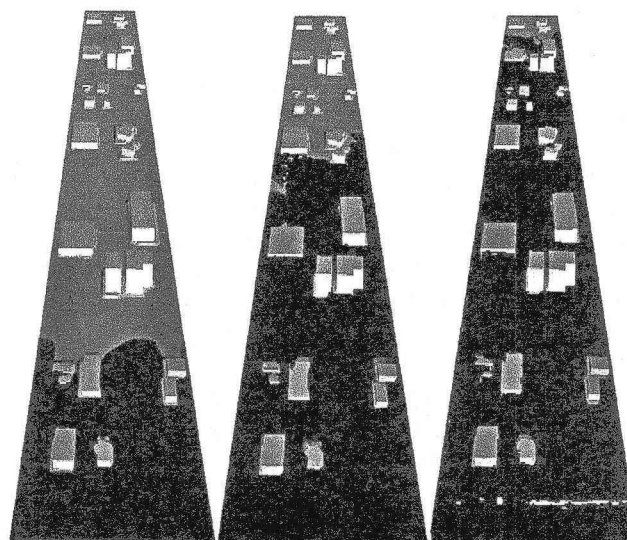
離岸距離に対応した解析結果を図-10 のように出力する。解析結果の水位と流速を、危険度指標<sup>2)</sup>を参照して図-11 のように表示し、システム利用者が危険度の判断をできるようにする。



(i)  $t=200s$  (ii)  $t=300s$  (iii)  $t=500s$   
(a) 密集地域



(i)  $t=200s$  (ii)  $t=300s$  (iii)  $t=500s$   
(b) 中間地域



(i)  $t=200s$  (ii)  $t=300s$  (iii)  $t=500s$   
(c) 公園地域

図-12 市街地モデルにおける浸水解析結果

## 5. 浸水解析結果

### (1) 浸水域の解析結果

#### a) 密集地域

図-12(a)に、津波高 10m, 継続時間  $T=10min$  の条件での密集地域における計算結果を示す.  $t=200s$ ,  $300s$  および  $500s$  の浸水状況の画像を抽出した. 現況地盤高である 5m まで入射境界~護岸部の水位が一樣に上昇し, 越流し始める. 建物が多いため, 街路を通る流れが卓越して浸水範囲が広がっている. また, 小さな建物の間に氾濫水が回り込んでいる様子についても, うまく再現できている.

#### b) 中間地域

図-12(b)に中間地域における浸水状況の解析結果を示す. 密集地域と比較すると, 護岸のすぐ背後に構造物が少ないので, 浸水範囲は横に広がりつつ進行している. ところどころ建物が密集しているところでは, 密集地域と同様に, 氾濫水は道路に集中して進むため, 流速が加速することが予想される.

#### c) 公園地域

同様に図-12(c)に公園地域の浸水状況の解析結果画像を示す. 浸水範囲の広がり方は,  $t=200s$  くらいまでは中間地域とほとんど変わらないが,  $300s$  以降になると到達距離はこれまでの2地域よりも長くなる. 途中で氾濫水の進行を遮る建物がほとんどないためと考えられる.

### (2) 解析結果の回帰分析

解析結果を離岸距離で回帰分析したものを図-13に示す. 津波の条件は津波高 10m, 継続時間  $T=10min$  である. この図から, 設定地点における到達時間, 最大浸水深ならびに最大流速を求めることができる. なお, 沿岸域に津波が到達して水位上昇が開始した時から, 閲覧者が入力した地点に氾濫水が到達するまでの時間を, 陸上部における到達時間とする. 最大流速については, 一次近似よりも二次近似の方が, 解析結果との相関性が高かったため, 二次関数で回帰分析を行った.

### (3) 近似式の導出

回帰分析の結果から, 各条件下における離岸距離と到達時間, 最大浸水深および最大流速の関係式を導いた.

$$\text{到達時間: } t/T = a(L/R) + b$$

$$\text{最大浸水深: } h/T = a(L/R) + b$$

$$\text{最大流速: } v/T = a(L/R)^2 + a'(L/R) + b$$

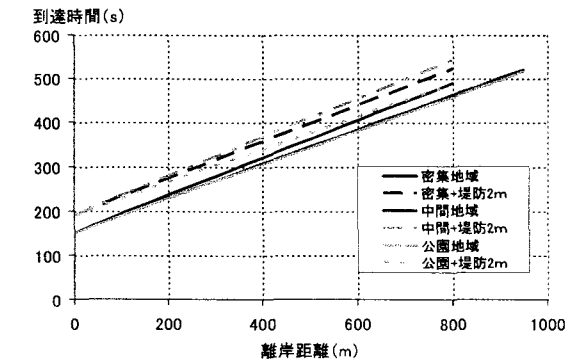
ここで,  $t$ : 陸上部の到達時間,  $h$ : 最大浸水深,  $v$ : 最大流速,  $L$ : 離岸距離,  $R$ : 津波高,  $T$ : 津波の継続時間,  $a$ ,  $a'$ ,  $b$ : 回帰分析から求まる係数である.

回帰分析から求まる係数をデータベース化して記録した. Web 表示システムにおいては, データベースから  $a$ ,  $a'$  および  $b$  の値を読み込み, 入力された離岸距離で計算した結果を表示させることになる.

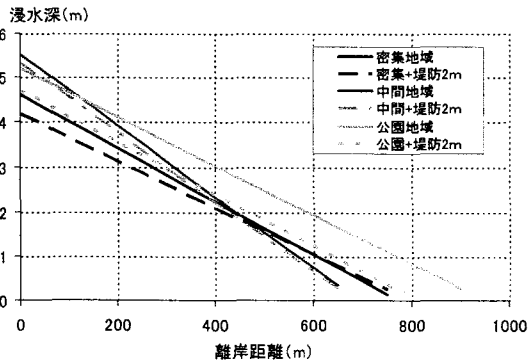
### (4) 土地利用状況による浸水特性の違い

#### a) 到達時間

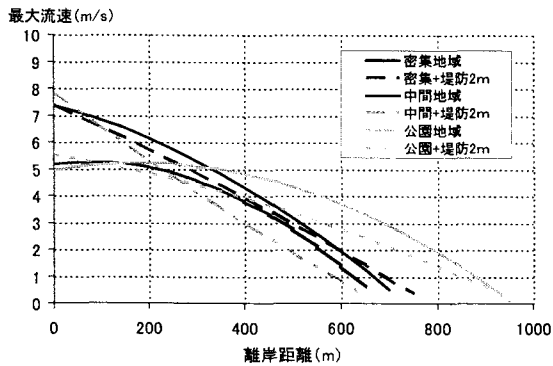
図-13(a)からわかるように, 堤防がない場合には,



(a) 到達時間



(b) 最大浸水深



(c) 最大流速

図-13 土地利用状況による浸水状況の違い

建物密集度が低いほど浸水範囲の広がる速度は速くなる。また、堤防の効果によって浸水開始時刻は約1分遅くなるが、公園地域のように遮る建物がない場合には、越流し始めると氾濫水は一気に広がるのがわかった。

#### b) 最大浸水深

最大浸水深については、図-13(b)に示すように、堤防がない場合には密集地が最も低くなる。中間地域については、越流直後は建物がないために、公園地域と同様に水位が高くなるが、離岸距離が長くなるにつれて、途中の建物に遮蔽され、水位は下がる。また、堤防の効果が顕著にあらわれており、公園地

域でも水位はかなり低くなり、密集地域とあまり変わらなくなる。

#### c) 最大流速

最大流速と離岸距離の関係を、図-13(c)に示す。建物が密集しているほど最大流速は速くなる。これは、エネルギーが集中するために、狭い街路での流速が速くなるものと考えられる。また、離岸距離に比例して流速は減衰しており、その減衰率も建物の密集度に応じて大きくなるのがわかる。一方、堤防があったとしても、流速を抑える効果は小さく、逆に、堤防を越流した直後の流速が速くなってしまふことがわかった。

## 6. おわりに

- 1) 沿岸域毎の津波情報（既往，想定最大など）と浸水危険度をリンクさせて表示するシステムを構築した。
- 2) 臨海部の土地利用状況の特性に応じて浸水解析を行い，解析結果から各条件下における離岸距離と到達時間，最大浸水深および最大流速の関係式を導いた。
- 3) 建物密集度が低いほど浸水範囲の広がる速度は速く，氾濫水の最大流速も速くなるのがわかった。また，堤防の効果によって浸水深は低く抑えることができるが，流速に対する効果はあまり期待できないことがわかった。
- 4) 本 Web システムにより，危険度を容易に認知することができ，さらにはインターネットを通じて広く知らせることが可能になった。

謝辞：最後に，本研究は科学技術振興調整費による「都市複合空間水害の総合減災システムの開発に関する研究」の一環として実施したことを明記する。

## 参考文献

- 1) 越村俊一，Harold Mofjeld，片田敏孝，河田恵昭：津波の市街地氾濫による人的被害に関する一評価法－米国シアトルウォーターフロントにおけるケーススタディー，海岸工学論文集，第49巻，pp.1441-1445，2000。
- 2) 須賀堯三：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，217p.，1995。
- 3) 運輸省第二港湾建設局：平成8年度 太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査 報告書，330p.，1996。
- 4) 功刀資彰：自由界面を含む多相流の直接数値解析法，日本機械学会論文集(B編)，63巻609号，pp.1576-1584，1997。
- 5) 安田誠宏，平石哲也，永瀬恭一，島田昌也：流体直接解析法による臨海部の浸水リスク解析，海岸工学論文集，第50巻，pp.301-305，2003。