

## 総合的な津波防災技術

田村 保

臨海部に人口と資産が集中したわが国では、津波を伴う大規模地震の発生の可能性も高いことから、津波防災対策は重要な課題となっている。効果的な津波防災対策の立案のためには、津波災害に対する知見を高め、津波防護の必要性を認識して適切な対策を立案することが重要であることを示した。そのために、GISを利用した資産被害シミュレーションおよび人的被害予測シミュレーション手法を開発し津波防災対策への適用を図っている。本報文ではこれらのシミュレーション手法の概要と適用事例を紹介する。また、これらのシミュレーション手法を活用した新しい津波防護施設について紹介する。

キーワード：津波防災、津波浸水シミュレーション、GIS、避難シミュレーション、津波水門

### 1. はじめに

臨海部に多くの人口と資産が集中しているわが国は津波、高潮による被害を受けやすい地形条件にあり、これまでも多くの人的被害を伴う災害が発生している。政府の中央防災会議でも東海地震や今世紀前半の発生が危惧されている東南海・南海地震による被害想定を行い、これらの地震に伴って発生する津波により多くの人的被害が発生することが指摘されている。このような、津波による人的被害軽減のためには、防波堤や防潮堤、水門等の津波防護施設の整備などのハード面の対策を進めることが必要であるが、対策が必要となる海岸線の延長は膨大であり、その整備には多大な時間とコストがかかる。

平成16年5月に実施された調査結果<sup>1)</sup>によれば、全国で約17%の海岸堤防・護岸が想定津波高よりも低く、また、約30%の海岸堤防・護岸については想定津波高よりも低いか高いかの調査が未実施の状況にある。また、これらの海岸堤防・護岸が地震時に機能発揮を期待するためには十分な耐震性を保有する必要があるが、先の調査によれば過半数を超える施設の耐震性調査自体が未実施となっている。

そのため、人的被害の軽減のためには、これらのハード面の整備を粛々と進めるとともに、津波による地域の危険度を表示したハザードマップを整備して、住民に津波危険地域を周知するとともにそれに基づいた避難計画を策定するなどのいわゆるソフト面の対策を進

めることが必要不可欠である。

津波防災を効率的かつ的確に進めていくためには、将来的なハード施設の整備水準をどこに設定するか、ハード施設の整備水準に合わせたソフト対策をどう進めるかなど、検討すべき課題は多い。そのため、過去の津波被災事例調査や陸上部への遡上を含めた津波浸水シミュレーションを実施し、地域の津波危険度を表示したハザードマップの整備が現在進められているところである。

このような津波ハザードマップから建物等の資産被害額の評価が可能であることから、この情報をもとにして、津波防護施設の整備水準の設定を進めることは可能である<sup>2)</sup>。しかしながら、人的被害の定量的評価については、津波来襲時の住民の避難行動のあり方により大きく変動する。現状では資産被害と同様の考え方で浸水面積から経験的に得られた換算式を用いて推定しているが、住民の避難対策などのソフト面の対策の効果を定量的に評価できる手法の開発が求められている。

この津波来襲時の人的被害の予測方法として、地下街の火災時の群集避難行動を予測する技術として開発・利用例がある避難シミュレーション技術の活用が注目されている<sup>3)</sup>。陸上部の津波浸水予測結果と同時刻における住民の避難状況の予測結果を重ね合わせることで、人的被害の量的予測が可能となるものである。この技術を活用することで、津波浸水による資産被害に加えて人的被害についての定量的な予測・評価が可能であり、ハード施設の整備による便益をより適切に評

価することが可能となる。また、従来は困難であった避難施設、避難計画および情報伝達網の整備などのソフト対策の整備水準の評価も人的被害の定量的な評価から可能となる。

本報文では、始めに津波防災の基本的な考え方を示し、それを実現するための核となる三つのシミュレーション技術の概要を紹介する。最後に、これらのシミュレーション技術を生かした総合的津波防災について示す。

## 2. 津波防災対策のあり方

津波に限らず、危機管理としての防災は、事前対策と事後対策の二つに大きくわけることができる。さらに、事前対策（リスクマネジメント）と事後対策（クライスマネジメント）のいずれについても、ハードの対策とソフトの対策に大きく分けることができる<sup>4)</sup>。

図-1はこの関係を分かりやすく示したものであるが、われわれの現在の取組みは主として事前対策に関するものであり、いわゆるリスクマネジメントに位置づけられるものである。

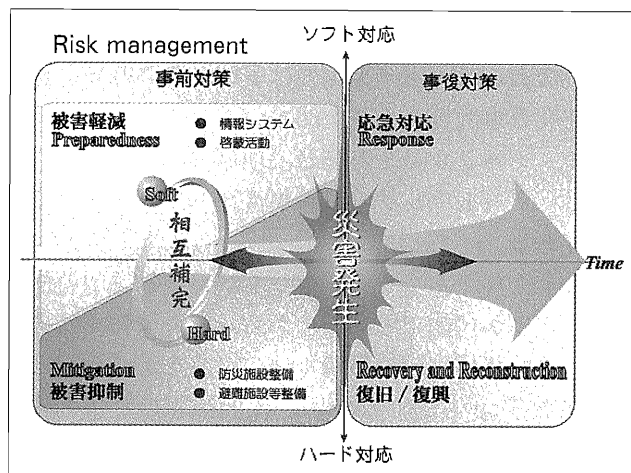


図-1 津波防災の考え方

事前対策のうちハード対策とは、構造物の整備による被害抑止を目標とするものである。一方ソフト対策とは、情報による被害軽減を目標とするものである。

従来の津波対策では、このうち構造物の整備による被害抑止を目標とするものが多かった。

代表的な施設としては、高潮対策も兼ねる防潮堤、防潮水門の整備、津波防波堤の整備などである。これらの津波防護施設は想定津波高さが適切に設定された場合には、確実な効果が期待される半面、その整備には、

- ・多大な費用が掛かること、
- ・完成までに長期間を要すること、
- ・想定津波高さを超える津波に対する被害が防げな

いこと、  
など、問題点も少なくない。

そのため情報による被害軽減を目標としたソフト対策は津波防護施設の完成までの一時的な対策としてだけでなく、重要性が指摘されている。ソフト対策の具体例としては、

- ・津波の予警報システムの整備、
- ・避難計画の立案および避難訓練の実施、
- ・啓蒙・教育活動の実施による津波防災の重要性の認識を高めること、

などが挙げられる。このようなハード面とソフト面の津波防災対策の関係は図-2のように表わされる。

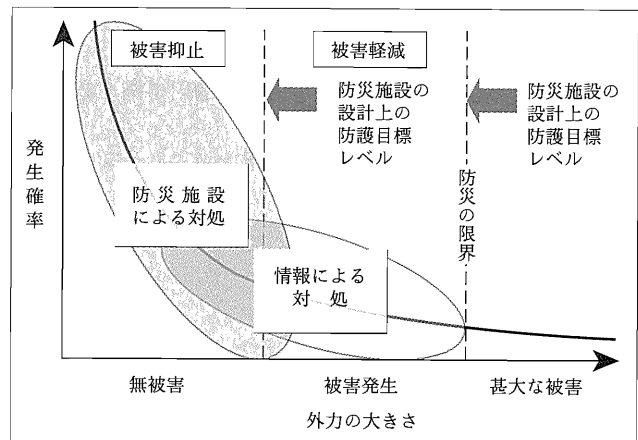


図-2 リスクマネジメントの構成<sup>5)</sup>

ソフト対策は人的被害の発生を軽減することを目標とするために、津波浸水の発生に伴う物的被害の発生は防ぐことができない。そのため、物的被害の軽減のためのハード施設による対策とソフト対策を効率的に組合せた津波防災対策として実施するのが肝要である。

ハード施設の施設設計上の防護目標をどこに置くかについては、後述するようなハード施設整備により期待できる被害軽減額を便益とみなした費用便益分析を実施して、より合理的な手法に基づいて決定することが、住民説明や住民合意を求めるうえでも必要である。

そのため、津波来襲時の陸上への遡上を含めた津波浸水シミュレーション結果に基づいた津波ハザードマップの整備が進められているところであるが、現状は津波防災施設の防護目標レベルが合理的に設定された状況にあるとは言えない。

一方、人的被害の低減に関するソフト対策の実効性の評価について、現時点で確立された手法は見当たらない。そこで、人的被害を定量的に評価できる手法として避難シミュレーションの活用を提案している。詳細については後述するが、津波浸水シミュレーションにより得られた陸上部での浸水情報と災害時の群集の

避難行動を時々刻々地図上に重ね合わせることで、避難可否を判定するものである。

ソフト対策の実効性は当然のことながらハード施設の整備状況にも大きく依存する。例えば、ハード施設による防護レベルが低い場合には、ソフト面の防災対策による人的被害低減にはおのずと限界が生じる。避難シミュレーションを活用することで、人的被害低減目標を実現するために必要なハード施設の整備レベルを設定することも可能となる。資産被害の低減目標と人的被害の低減目標を合理的に設定するための提案を行うものである。

### 3. GISによる資産被害シミュレーション

津波防災対策を進めていくための基本となるのが津波ハザードマップである。津波ハザードマップの作成にあたっては、既往の津波浸水高、浸水域などの情報に基づいて設定する方法や数値シミュレーションによる方法などがある。

平成16年4月に出版された「津波・高潮ハザードマップマニュアル」<sup>9)</sup>では、ハザードマップ作成に必要な浸水の時間的経過や地点ごとの浸水深等の情報が比較的精度良く求まることから、時系列を考慮した数値シミュレーションによる方法により得られる陸上部の遡上域を含めた計算結果を用いることを推奨している。詳細な手法については、同マニュアルの参考資料としてまとめられている。

図-3は津波の浸水域と浸水深のハザードマップ作成例を示したものである。

例えば、浸水域、浸水深のハザードマップ情報と各

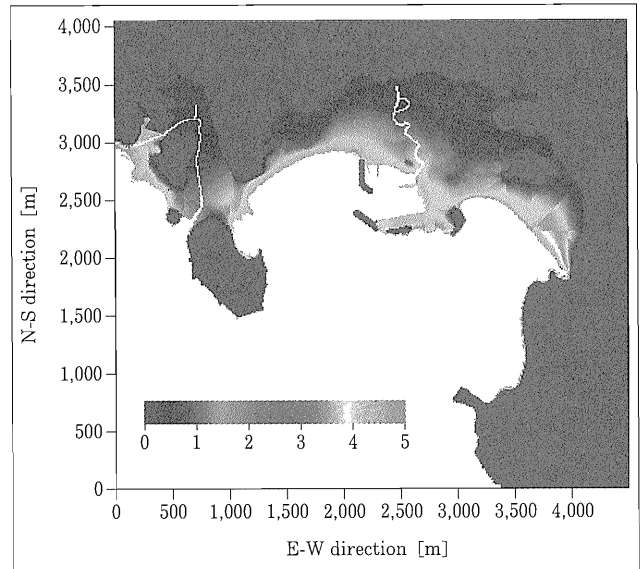


図-3 津波の浸水域と浸水深のハザードマップ

点における資産分布の情報を重ね合わせることから資産被害額を推定することが可能である。通常これらの計算では、対象地域の家財資産、家屋資産、事業所資産などの個別情報をGIS（地理情報システム）上のデータとして取込み、地図上のデータとして資産分布を表現させる。別途実施した津波浸水シミュレーション結果を同じくGIS上に取込み、各点での資産額との比較から被害額の算定を行う。GIS上で計算を行うことから種々の解析が容易になる。

図-4はその概要を示したものである。津波ハザードマップでは地震発生後の津波到達時間も情報として示される。この地震発生後の津波到達時間の情報からは住民の避難の可否判断の根拠を与えることができるが、人的被害の精度よい予測のためには、複雑な住民

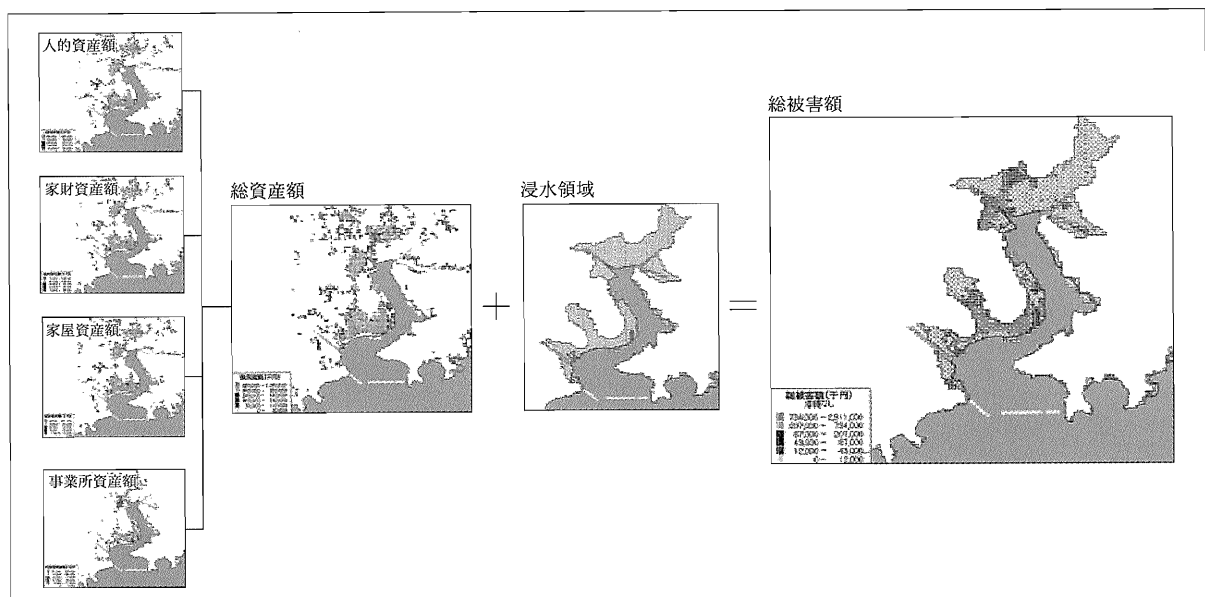


図-4 GISによる津波浸水による資産被害評価事例

の避難行動を考慮することのできる避難シミュレーション手法を用いるなどの工夫が必要である。

#### 4. 避難シミュレーション

避難シミュレーションとは、津波浸水シミュレーションによって得られる浸水などの災害情報をインプットデータとして受取り、住民が災害から逃れる状況を再現、予測するものである。

人のルート選択行動は、ノード・リンクモデルを用いたポテンシャル理論<sup>7)</sup>によりなされ、交差点（ノード）において次に向かう方向（リンク）を決定する。全ての道路（避難路）はネットワークデータとして構成されており、避難者はこのネットワーク上を条件に従って移動する。また、判断基準となる条件については、避難場所に対する事前情報の有無、災害に対して冷静な対応が可能か否か、環境変化に対して敏感か否かなどの特性を考慮することができる。

情報伝達のモデルとして、「情報遺伝子」を利用している。この情報遺伝子は、前述の行動特性や性格、現在持っている情報などが記憶されている。災害に関する情報が変化すれば、この情報遺伝子が書換えられ、その後は新しい情報遺伝子の指示に従った行動をとる<sup>8)</sup>。

避難行動のシミュレーションにあたっては対象とする地域の津波危機意識の高さや観光地などのように避難場所の情報を知らない人の考慮が必要である地域など、地域性に関してもモデル上で考慮する必要がある。

また、住民の避難時の歩行速度の設定は避難可否に大きく影響を及ぼす要素であるが、津波来襲時の浸水条件下での歩行速度については参考となる既往資料がないのが実情である。

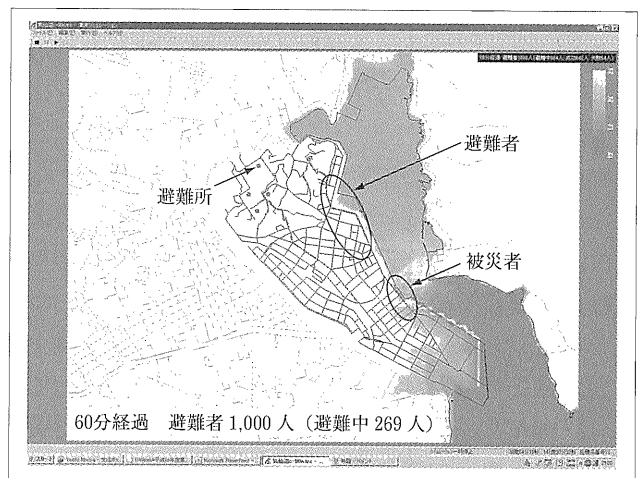
そのため、写真—1に示すような水路を用いた水中歩行実験を行い、浸水時の水深と流速が避難者の歩行



写真—1 水中歩行実験の状況写真

速度にどのような影響を与えるかを検討し、その結果を反映した形で水深と流速を考慮した歩行速度の設定および避難可否判断を行っている<sup>9)</sup>。

図—5は宮城県気仙沼市の大川北部地区を対象に避難シミュレーションを実施した事例を示したものである。図中の点が避難者を大きな点は避難所の位置を表している。シミュレーションは全員が避難を完了するか、もしくは被災により避難に失敗するかが判別できるまで実行される。なお、これらのシミュレーション結果はアニメーションにより出力され住民に分かりやすい形で提供することができる。また、避難所の設置位置の設定や住民の避難行動意識などの行動モデルはインタラクティブに設定が可能であり、住民のワークショップ会場などでの利用も可能であり、住民への津波防災の啓発・教育ツールとしても利用できる。



図—5 避難シミュレーションの実施事例

#### 5. 総合的な津波防災対策

津波防災対策が目標とするのは、人的被害および資産被害の低減にあることは当然だが、先の図—2に示される減災レベルの目標をどこに置くかについて国民的な合意が必要である。人的被害の低減レベルの長期目標はゼロを目指すことになるが、現状の津波防護施設の減災レベルでの達成は困難であり、この現状の下で目標設定をせざるを得ない。資産被害については津波防護施設の建設コストとそれによる減災効果を便益と捉えた費用便益分析結果から津波防護目標レベルを合理的に設定することが重要である。

資産被害の低減のためには個人の防災対策も求められる。そのため、住民合意のもと公的に整備すべき施設と個人の防災投資に依存すべき施設を具体的に示し、公的施設についてはその整備のおおよそのスケジュールを明示することが、個人の防災投資を促すためにも

必要である。もちろん、津波防護施設の整備目標レベルは資産被害の低減の視点だけでなく人的被害の低減の視点からも重要である。

これらを総合的に評価したうえでハードおよびソフト防災の組合せによる総合的津波減災対策の立案が求められる。これらの総合的津波減災対策は、これまで述べてきたような津波浸水シミュレーション、GISによる資産被害評価システム、人的被害の定量的な評価が可能となる避難シミュレーションの三つのシミュレーション技術の活用により対策効果の評価できる。特にハード施設の整備には時間がかかるため、それぞれの施設整備段階に応じた適切なソフト防災を立案し、住民への周知徹底、訓練の実施などが重要である。

## 6. 新しい技術を求めて

津波防護施設としては、防潮堤、防波堤、水門の整備などが想定されるが、ソフト防災との組合せで効果的に人的被害の発生が防止できる施設とすることが重要である。津波による被災はある特定の地点に限ってみると、極めてまれな現象といえる。そのため、費用便益の観点からだけでなく、津波防護施設には日常生活での支障構造物にならないこと、環境面での障害にならないことなども求められる傾向にある。

このような環境面の要望に応えるために、常時は水中や地中において、津波来襲時にのみその機能を発揮することができる施設の提案や、平常時においては住民の利便に資する多用途施設が防災施設として機能する工夫などが求められる。

図-7は津波来襲時に安全確実な操作が可能な津波水門の提案事例である。平時においてはゲート本体が水中部にあり、環境面の配慮がなされたものである。これらの施設は想定される地震、津波に対する目標安全性が確保されることが求められるのは当然であるが、想定地震の不確定性を考慮したうえで、想定以上の津波が来襲した場合の機能についても検証を行い、ソフト対策として考慮すべき点を明確にする必要がある。

要介護者や乳幼児などの災害弱者を防災上考慮することの重要性は高い。この場合には避難の容易性が求められるため、防災施設にはいわゆるユニバーサルデザインが求められる。一方、津波防災施設は一般的にはユニバーサルデザインにはなじみにくいものが多い。避難の容易性と効果的な防災機能の調和を図ることができる施設の提案が望まれる。

謝辞 本報文中で示した各種のシミュレーション手法の開

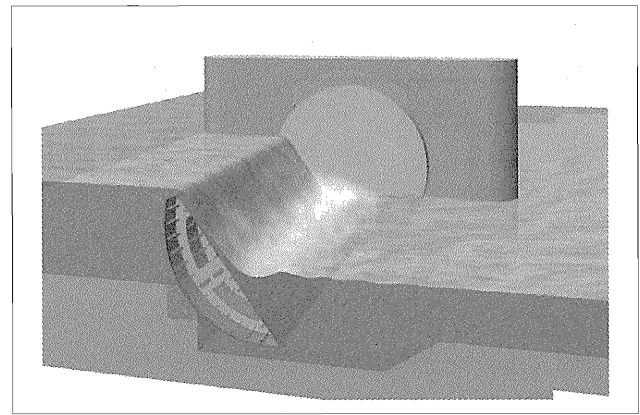


図-7 環境配慮型の津波水門

発は、主として気仙沼海岸防災研究会（東北大学、山口大学、気仙沼市、株式会社ウェザーニュース）の活動を通して開発・検証を進めてきたものです。研究会会員各位に謝意を表する次第です。

J C M A

### 《参考文献》

- 1) 中平善伸：海岸の津波防御レベルの実態と地震・津波対策，河川，pp. 28-31，2004.10
- 2) 豊田泰晴，今村文彦，佐藤健一，佐々木洋之：地震長期評価を組み入れた津波防災事業の定量的評価に関する研究，土木学会地震工学論文集，2003.12
- 3) 今村文彦，鈴木 介，谷口将彦：津波避難シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用，自然災害科学，Vol. 20，No. 2，pp. 7-20，2001
- 4) 河田恵昭：津波災害とその対策，土木学会誌，Vol. 88，No. 9，pp. 36-38，2004.9
- 5) 河田恵昭：危機管理としての海岸防災，水工学シリーズ02-B-1，土木学会海岸工学委員会・水理委員会，2002.9
- 6) 内閣府（防災担当），農林水産省農村振興局，農林水産省水産庁，国土交通省河川局，国土交通省港湾局監修：津波・高潮ハザードマップマニュアル，財団法人沿岸開発技術研究センター，2004.4
- 7) 横山秀史，日黒公朗，片山恒雄：人間行動シミュレーションによる地下街の安全性評価，地域安全学会論文報告集，No. 3，pp. 161-164，1993
- 8) Kouichi Takimoto, Junji Kiyono and Hiroaki Yagi : Simulation of Conduct of Evacuees Considering the Reaction of Evacuees' Conduct to Guide's Instruction in an Emergency, Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, 1996. 6
- 9) Takeshi Nishihata, Yoichi Moriya, Tamotsu Tamura, Koichi Takimoto and Fusanori Miura: Experimental Study on People's Walking Velocities during the Evacuation from Flood Situation like Tsunami Hazard, International Symposium on Monitoring, Prediction and Mitigation of Disasters-2004 (Kyoto), 2005. 1
- 10) 田村 保，日根野聰弥，西村敬一，館 憲司：津波水門の提案，第29回海洋開発シンポジウム，2004.8

### 【筆者紹介】

田村 保（たむら たもつ）  
五洋建設株式会社  
土木設計部  
部長

