

# 地震/津波/洪水による災害リスクの統合評価と GIS-VR によるリスクの可視化

東京都市大学 工学部 都市工学科 吉川弘道

## 概要：

地震発生に伴う、震動災害、津波災害、液状化被害は、その発生特性と被害形態がきわめて異なる災害であるが、一旦発災すれば、地震規模と防災力に応じた被災規模を呈する。これらの自然災害は、別個に算定/議論されてきたが、ある特定の土木施設に着目した場合、全てを勘案する必要がある。

本報では、初年度として、各種リスクの考え方と評価手法および統合化についての試案を呈示するものである。さらに、リスクの可視化について、線状施設のシステムリスク解析を例にとり、地理情報上への表示法について例示した。

加えて、2013 年度に実施したのものとして、第 1 回災害リスクの横断的ワークショップ、および災害リスクの可視化とデジタルサイネージによる視聴体験会についても付録として示した。

キーワード: 災害リスク、リスク曲線、リスクの統合、リスクの可視化

## 1. まえがき

地震災害、津波災害、液状化、火災（以下‘災害リスクと呼ぶ）は、その発生特性と被害形態がきわめて異なる災害であるが、一旦発災すれば、地震規模と防災力に応じた被災規模を呈する（当初の計画では、洪水リスクを含めることを考えていたが、洪水リスクはその他の災害リスクと無関係に発生する（相関特性を持たない）ので、本報では除外し、新たに液状化を加えるものとする）。

災害リスクを統合的に評価することは喫緊の課題であり、土木施設の被災予測/減災対策/予算措置に有用な指針を与えることが急務である。さらに、リスク解析による被災レベルと定量値を、GIS-VR 手法を援用して、リスクの可視化を試みる。

## 2. 災害リスクの考え方と定義

リスク(Risk)とは、広義には「滅多に起こらないが、もし起きると大変なことになる」のような意味合いを持つが、狭義には「ハザード発生確率×そのときの損失規模」として定義される<sup>1),2)</sup>。本論でのリスクは狭義のリスクであり、工学的リスク(Engineering Risk)でもある。

まずは、本研究の骨格をなす災害リスクの解析手法を示したい。リスク解析により、リスク密度関数やリスク曲線が得られ、合理的なリスクの定量化が可能となる。

### (1) 地震リスクの考え方と算定法

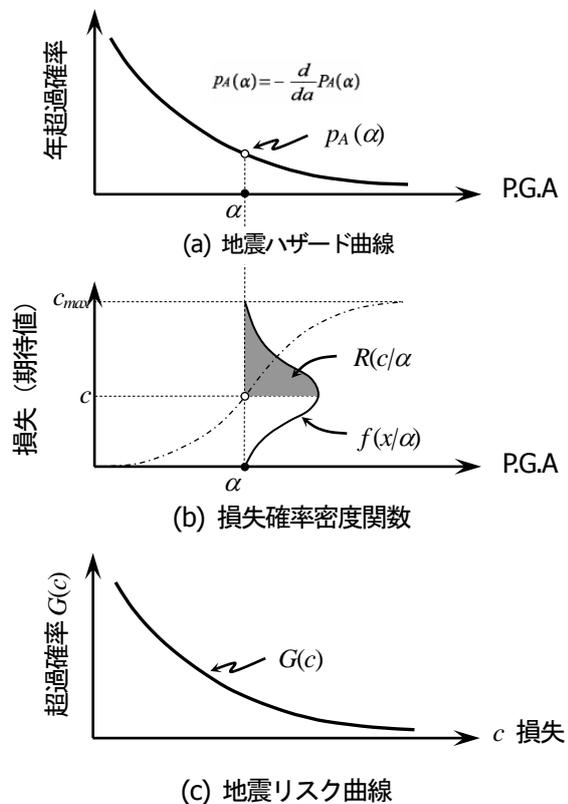


図 1 地震リスク曲線の算定手順

地震リスクの解析手順は、図1のように3段階に分けて考えることができる。これは、上段/地震ハザード(年超過確率の密度関数)、中段/構造物の脆弱性(損害関数)の工学情報から、その出力として地震リスク情報(下図/地震リスク曲線)を得ることを示すものである。地震リスク曲線では、地震規模表す指標(最大加速度、最大速度 etc.) が消去されており、(周辺地域の全ての震源を考慮した) 損失期待値Cの超過確率となっていることが特徴である。

なお、近年ではシナリオ地震をベースとした、複数震源モデル(Multi-Event Model)が多く用いられる。この場合、前出の地震リスク曲線に対して、地震イベントリスク曲線と呼ばれる<sup>2)</sup>。地震イベントリスク曲線は、後述する統合モデルに対しても適用するもので、詳しくは、発表会にて説明する。

## (2)津波リスクの算定法

津波リスクは、浸水深と浸水範囲を定義し、その状態が起きる確率とそのときの損害額や復旧期間を類推して算定する。

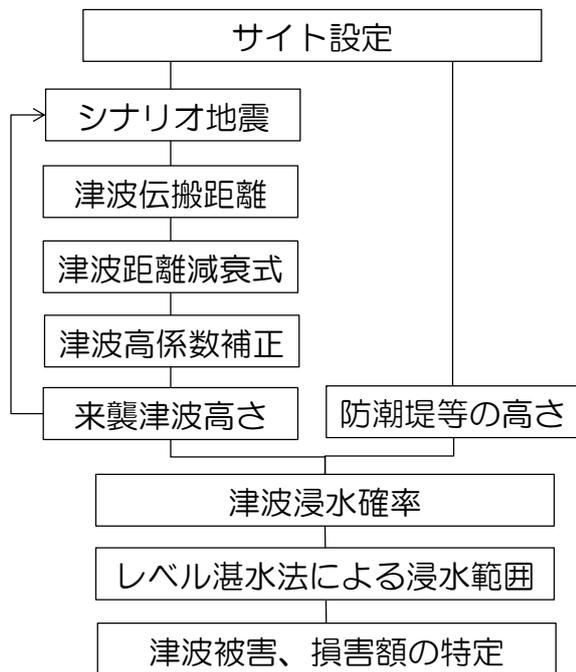


図2 津波リスクの評価フロー

確率を評価する際には、防波堤をある高さ以上(例えば 1m 以上) 超える確率を評価することになる。このとき、考慮するシナリオ地震の条件は、ある規模以上の地震(例えば、M7.0 より大きい)とし、内陸を震源とする

地震は対象外とすることを考えている。

津波危険度(≒津波高さ)の評価は、海岸域での津波高さの評価(海域評価)および海岸から対象施設への遡上解析(陸域評価)の2つが必要となるが、海域評価は簡便な津波高さ推計式を用い、陸域評価についてはレベル湛水法を用いる。

地震時の津波高さについては、津波高さ推定式<sup>3)</sup>(阿部 1989)を用いて求める。さらに、この津波高さ推定式は、太平洋側(外海)の津波を想定したもので、内海に適用する場合(例えば、東京湾岸域)、補正を行うこととする。

最終的に、防潮堤を超えた波の浸水高さにより、対象構造物の津波被害(損害額)を類推するもので、一連の評価フローを図2に示した。

## 3. 災害リスクの統合と評価モデル

### (1)各種災害リスクの評価法

本報では、対象構造物の直接/間接的な被害要因は、震動被害(地震による揺れ)、津波被害、液状化被害の3つの災害形態を対象とする。これは、当初の研究計画に対して、洪水被害を除き、液状化被害を考慮した災害リスクの統合化を考察するものとする(従って、従前の‘地震被害’を‘震動被害’と呼ぶことにする)。

各災害形態に関して、以下のように考えてモデル化する。

#### ・津波被害

前出の図2に従うもので、津波被害は、堤防等を越波し、対象施設に襲撃した場合を想定する。浸水時には、その浸水高さによるフラジリティ特性を設定し、損失率を決定する。

#### ・液状化被害

道路橋示方書などの従来手法によるもので、いわゆる、液状化に対する抵抗率 FL 値(動的せん断強度比÷地震時せん断応力比)による手法を援用する。対象地点の FL 値により、対象構造物の被害率を算定するが、そのモデル化については、検討不足のため、再度調査/考察する。

#### ・震動被害

震動被害については多くの被害事例があり、リスク解析については、著者の手法<sup>1)</sup>も含めて多くの適用手法がある。

今回の適用に際しては、橋脚構造物/高架橋および盛土・切土構造物を想定する。通例、建設サイトにおける最大速度/最大加速度(最大震度)により、橋梁構造物では構造物の塑性応答変位を、盛土構造物では PL 値を算定し、フラジリティ特性(または被害関数)から、被災度を推定するものである。

(2) イベントツリーモデルによる統合

・単一構造系の統合

まずは、単一構造物（例えば、橋梁 etc.）を対象とした場合、被害形態として、津波被害、液状化被害、震動被害等を考慮し、図3のようなイベントツリーモデルを用いた統合評価となる。

このようなリスク評価フローは、数百個程度のシナリオ地震の個々に対してなされ、それらの集計により地震イベントリスク曲線を描画し、さらに、損失期待値、PML（90%非超過値による予想最大損失）を算出するものである。

・複数構造系の統合

さらに、複数構造系を取扱うもので、このときは、それぞれの構造系に対して、図3の統合評価を実施する。次に、構造系相互の相關特性を勘案して、複数構造系により構成されるシステム（線状施設の場合）に対する全体的な評価を下すものである。

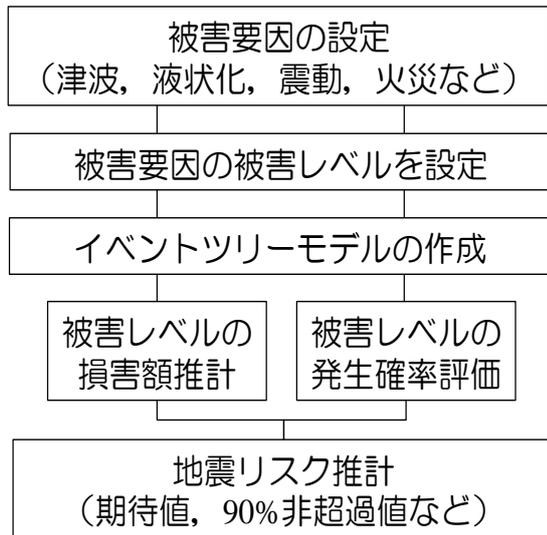


図3 イベントツリーによるリスクの統合評価

4. 災害リスクの可視化

災害リスクの可視化については、GIS（地理情報システム）上に地震リスク解析から得られた定量値を表示することを試みるものである。一例として、図4は、特定したシナリオ地震（南海トラフ地震）に対する東海道新幹線のシステムリスクを算定し、その結果を地震イベントリスク曲線として、表示したものである<sup>4)</sup>。

さらに、図5では、路線上の主要点にリスク指標をカラムとして表示したもので、上図では、単純な地表面最大加速度であり、下図はシステムリスクをボトルネック指標として表したものである（システムリスクの算定手法の議論は、文献5)を参照いただきたい）。

図5のように、商用地理情報ソフト(Arc-GIS)を用いて俯瞰的に可視化することは、地震リスクを捉える有効な方法となる。

一旦、このような可視化画像が完成すれば、視点位置/方向など、異なる視野からの観察/俯瞰が可能になり、防災対策に有用な効果が期待できる。

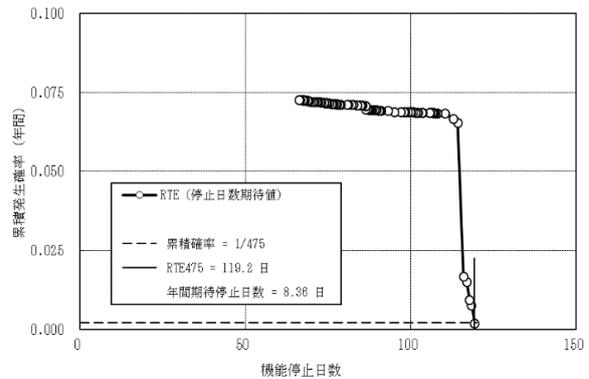


図4 地震時システムリスクによる解析結果 (地震リスクイベント曲線)

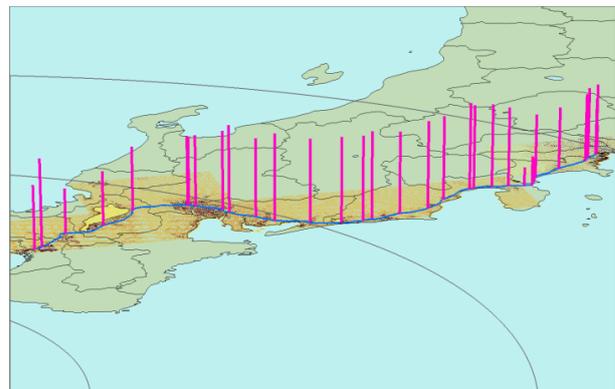
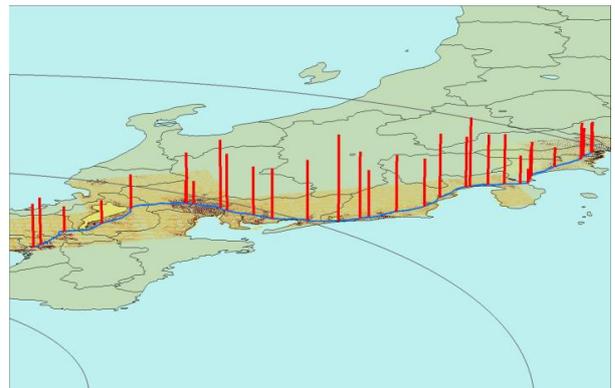


図5 災害リスクの地理上への表示 (上図：地表面最大加速度、下図：ボトルネック指標)

## 付録1: 第 1 回 災害リスクの横断的ワークショップの開催

### ワークショップの開催

本ワークショップは、平成 25 年 7 月 24 日に開催し、33 名が参加した。スケジュールは下記の通りである（なお、講演者として本助成のメンバー 3 名に加えて、市村准教授（東大地震研）を招いた）。

- ・趣旨説明：吉川弘道（東京都市大学 都市工学科）
- ・都市の洪水リスクの定量化とリスクマネジメントへの応用：守田優 教授（芝浦工業大学 土木工学科）
- ・スーパーコンピューター「京」を用いた地震シミュレーション：市村強 准教授（東京大学 地震研究所）
- ・津波防災の現状と課題：VR から見える津波リスクと減災対策：羽田誠技師（フォーラムエイト）
- ・社会基盤施設の耐震設計と地震リスク解析：吉川弘道（東京都市大学 都市工学科）
- ・参加者：講演者 4 名に加えて、電力会社、ソフトウェア会社、ゼネコン、建設コンサルタントなどの企業、および本学の学生/大学院など 33 名が参加し、有益な討議を行った。

- ・各災害タイプについて、初回は解説を加えず視聴、次に解説を加えた後に再度視聴を行い、最後に質問や感想を交流しながらアンケート調査を実施した。
- ・このような可視化したリスク画像を、災害対策/防災教育で活用するためのアイデアと方策をアンケート調査も含めて検討した。



写真1 災害リスクの可視化とデジタルサイネージによる視聴体験会の様子

## 付録2：災害リスクの可視化とデジタルサイネージによる視聴体験会の実施

### サイネージによる視聴体験会の実施

災害リスクの可視化の試みとデジタルサイネージ（6K 大画面）による視聴体験会をワークショップとして実施し、併せてアンケート調査と分析を実施した。災害リスクの臨場感ある可視化画像（動画、静止画）の視聴/体験により、リスクの認知と共有を図り、また災害対策/防災教育について検討するものである。

- ・平成 26 年 1 月 29 日(水) 13:30~15:00
- ・被験者 10 名（学生 5 名＋一般社会人 5 名）に 3D-VR 動画/CG 静止画像を放映し、特に 3D-VR 動画では、3つの災害タイプについて視聴比較を行った。

### 参考文献

- 1) 吉川弘道：鉄筋コンクリート構造物の耐震設計と地震リスク 丸善 (2008)
- 2) 中村孝明・宇賀田健：地震リスクマネジメント、技報堂出版 (2009)
- 3) 阿部勝征：地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測，地震研究所集報, Vol.64, 51-69 (1989)
- 4) 高橋優輔・吉川弘道：東海道新幹線の地震時システムリスク解析と地震リスクの可視化，土木学会 第 40 回関東支部技術研究発表会 (2013.03)
- 5) 吉川・静間・高澤・中村：線状施設の震災後機能停止期間に関するシステムリスク解析，土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.67, No.2 (2011.8)