

令和 2 年 1 月 21 日

1. 報告者

氏名（フリガナ）	福谷 陽（フクタニ ヨウ）
生年月日（年齢）	昭和 5 7 年 4 月 2 4 日（3 8 歳）
所属機関名	関東学院大学／理工学部

※年齢は令和 3 年 3 月 11 日現在

2. 研究内容

研究テーマ	確率論的津波ハザード評価の高度化とその利活用
研究分野	土木／海岸工学／津波・高潮／確率論的津波ハザード評価／確率論的リスク評価
研究概要（要約）	
確率論的津波ハザード評価手法の高度化について、従来より用いられてきたロジックツリーアプローチに、断層の滑り分布をランダムに生成可能なランダムフェーズモデルの結果を組み込んだ評価手法（coRaL 法）、また、計算負荷を大幅に低減可能な固有直交分解を用いた評価手法の各概要について報告する．確率論的津波ハザード評価の結果は、レベル 1 / レベル 2 津波や最適防潮堤高さの設定、津波荷重評価、原子力安全、不動産・損害保険分野等での利用が考えられ、実務への適用範囲は幅広い．	
研究の背景	
2011 年東日本大震災後の津波対策の方針として、土木学会や国土交通省等は、発生頻度が極めて低く甚大な被害を及ぼすレベル 2 の津波、および、発生頻度が比較的高いレベル 1 の二種類の津波ハザードを想定すべきことを示した．このような発生確率に応じた津波規模を定量的に評価するためには、考え得る不確実性を網羅的に考慮した確率論的津波ハザード評価を実施することが必要であり、東北地方太平洋地震の教訓を活かした説明性の高い評価手法の構築が求められている．	

具体的内容

津波ハザード評価では、津波発生、伝播、遡上の各過程で多くの不確実性を有する。津波発生の過程では、地震断層の位置や形状、断層破壊の開始点・伝播速度・ライズタイム、初期水位計算手法、津波伝播の過程では、支配方程式、潮位、海底地形、津波遡上の過程では、陸上地形、人工構造物、粗度等の全ての設定が、最終的な津波浸水深や浸水領域といった津波ハザードに影響を及ぼす。確率論的津波ハザード評価では、これらの不確実性を、認識論的不確実性、および、偶然的不確実性として分類する。これまで、津波ハザード評価に影響を及ぼす要素に関する研究は数多く行われてきたが、本研究では、以下の観点で、確率論的津波ハザード評価手法の高度化について検討した。

1. ロジックツリーとランダムフェーズモデルを組み合わせた確率論的評価 (coRaL 法 : incorporated Random phase model into Logic tree approach)

本手法は、土木学会海岸工学委員会と計画学研究委員会が協働する減災アセスメント小委員会のなかで議論し、検討した。津波ハザードが含む認識論的不確実性を捕捉するロジックツリーを用いた確率論的津波ハザード評価は、地震調査研究推進本部でも研究が進められ、2020 年 2 月には検討結果が公開されたが、その対象は沖合の津波波高に限られた。本手法では、過去の巨大地震の記録を基にした断層面上の滑り分布をランダムに生成可能なモデル（ランダムフェーズモデル）を用いて、多数の地震断層を生成し、非線形長波方程式を解き、対象地域の浸水深や流速等の頻度分布を得た後、ロジックツリーにより、地震断層のマグニチュード変動と発生確率の不確実性を捕捉することにより、確率論的に津波ハザードを評価する。本手法は、従来より用いられてきたロジックツリーアプローチの手法を踏襲しながらも、近年提案されたランダムフェーズモデルによる結果を用いる点で、客観的で説明性の高い確率論的評価が可能となる。現在、上述の小委員会にて、太平洋沿岸部の都市を対象に具体的なハザード評価を実施している。

2. 固有直交分解を用いた確率論的津波ハザード評価手法

陸域の津波浸水深の頻度分布や発生確率分布を評価するためには、通常、数百から数千を超える多数の想定地震断層を生成し、多数の非線形の津波数値計算を実行する必要がある。しかし、多数の非線形方程式を解法するには膨大な計算負荷が掛かり、非効率的である。また一度、沿岸地形や人工構造物等の計算の諸条件が変化すれば、再評価する必要があるが、その為、再度多大な負荷が必要となる。そこで、多数のパラメータ変動を考慮しつつも、計算負荷を軽減し、かつ、データの特徴を捉えた計算結果を得るため、固有直交分解による空間モードを用いた確率津波浸水深モデルを用いた評価を行う。この手法では浸水深分布の支配的な固有モードを特定すれば良いため、数百・数千もの方程式を解法する必要がある。現在、相模トラフ巨大地震を対象とし、断層パラメータの変動を考慮した浸水深を 27 ケース計算し、メッシュ上の浸水深を対象として特異値分解を適用し、抽出された空間モード分布を結合することで、少数の計算結果から確率論的な浸水深の空間分布を得ることができた。

期待される効果

東日本大震災以降の津波対策として、土木学会や国土交通省等は、発生頻度は極めて低いものの甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（レベル2の津波：1000年に一度程度の発生確率）と、発生頻度は高く津波高は比較的低いものの大きな被害をもたらす津波（レベル1の津波：数十年から数百年に一度程度の発生確率）の二種類のレベルの津波を想定するという方針が示されたが、このような発生確率に応じた津波規模を定量的に評価するためには、確率論的津波ハザード評価の知見が必要となる。主要なハード対策の一つである防潮堤の建設は、東北の復興や今後の大規模災害への備えの観点から重要であるが、その設計高さは、レベル1の津波高さを基本として設定されるため、設計時に確率論的津波ハザード評価の結果が利用されることが期待できる。また、現在、減災アセスメント小委員会で検討している費用対効果を考慮した適切な防潮堤高さの決定や、ハザードの不確実性を網羅的に考慮して評価する原子力安全のための確率論的リスク評価、津波避難ビル等の設計のための津波荷重評価、ハザードマップの不確実性を明示するバッファゾーンの考え方、ひいては、損害保険や不動産投資・取引事業における自然災害リスクの定量評価の手法への適用など、確率論的津波ハザード評価結果の具体的な実務への適用範囲は幅広い。

補足資料

- 福谷陽，森口周二，寺田賢二郎，嶋原良典（2020）津波荷重評価に用いる水深係数のモード分解による空間的不確実性評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 76, No. 2, pp. I_295-I_300.
- 北野利一，安田誠宏，福谷陽（2020）確率津波シミュレーションに係るサンプルサイズの決め方，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 76, No. 2, pp. I_361-I_366.
- Yo Fukutani, Shuji Moriguchi, Kenjiro Terada, Takuma Kotani, Yu Otake, Toshikazu Kitano (2019) Tsunami hazard and risk assessment for multiple buildings by considering the spatial correlation of wave height using copulas, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 19, pp. 2619-2634. DOI: 10.5194/nhess-19-2619-2019
- 福谷陽，森口周二，小谷拓磨，寺田賢二郎（2018）応答曲面を用いた確率論的津波損害評価－相模トラフ地震への適用－，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 74, No. 2, pp. I_463-I_468. DOI: 10.2208/kaigan.74.I_463