

# 共同研究成果報告書

## 津波地震による津波の特性化波源モデルに 関する研究

原子力規制委員会 原子力規制庁

共同研究相手先 国立大学法人東北大学  
東北学院大学

令和5年7月

## 1. 研究目的

海溝寄りのプレート間地震（津波地震等）<sup>参1)</sup>（以下「津波地震」という。）の特性化波源のモデル化は、深部のプレート間地震と同様に、従来の弾性体理論に基づき、地殻変動による海底面変位量の鉛直成分を海水面に与えることで評価されている。しかし、地震調査研究推進本部の津波レシピ<sup>参2)</sup>で取り上げられた Tanioka and Satake (1996) <sup>参3)</sup>では、海溝軸付近で発生する津波地震において、地殻変動の水平変位（以下「水平変位による寄与分」という。）も津波の発生に寄与することを海外の既往津波の再現により確認しており、地殻変動の水平変位が津波の発生に影響することが考えられる。このような津波地震は、今後、南海トラフ、日本海溝、千島海溝等において、単独又は深部プレート間地震と連動して発生する可能性がある。本共同研究では、海溝軸付近における水平変位による寄与分の津波への影響を評価するとともに、その影響を考慮した場合の特性化波源モデルの設定方法を構築することを目的とする。

## 2. 研究内容

本研究では、海溝軸付近における地殻変動の水平変位の津波への影響を把握するため、実際の現象を模擬した水理模型実験を実施し、実験結果を用いて Tanioka and Satake (1996) <sup>参3)</sup>の解析手法（以下「TS法」という。）の適用性確認を行う。また、それら全ての結果を踏まえた特性化波源モデルの設定方法を構築する。

## 3. 実施方法

### 3.1 津波地震に関する知見収集

過去の津波地震を対象に、波源域、地殻変動の鉛直及び水平変位、津波高さ等に関する既往研究を調査し、津波地震の発生メカニズムに関する知見を整理する。

### 3.2 海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験の実施

海底の地殻変動の水平変位と海水面の水位変動との関係を明らかにするために、海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験を行い、海水面の水位変動に関するデータを取得する。海水面の水位変動の測定に当たっては、従来の水位計による二次元断面の測定を行う。

### 3.3 津波解析コードを用いた津波地震の検証解析

水平変位による寄与分を考慮した場合の地殻変動量の計算式として、TS法が用いられているが、その適用性を確認するため、3.2の水理実験と同一条件の下、TS法を取り入れた津波伝播解析を実施し、水理実験結果との比較検証を行う。また、既往津波対象に、従来の方法とTS法を用いて実地形への適用解析を行い、水平変位による寄与分の考慮方法の違いによるすべり量分布（すべり量、分布配置、超大すべり域等の面積比等）の比較検証を行う。検証解析に当たって、TS法が導入された原子力規制庁保有の津波解析コード「SANNAMI

(+TUNAMI) コード」を使用する。

### 3.4 津波地震による津波の特性化波源モデルの設定方法の構築

前記の 3.1、3.2 及び 3.3 で実施した観測事例、水理実験、検証解析及び実地形への適用解析の結果を踏まえ、特性化波源モデルの設定方法を構築する。

## 4. 研究実施分担

項目	原子力規制庁	東北大学	東北学院大学
(1) 津波地震に関する知見収集	◎	○	○
(2) 海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験の実施	○	◎	◎
(3) 津波解析コードを用いた津波地震の検証解析	◎	○	○
(4) 津波地震による津波の特性化波源モデルの構築	◎	○	○

(◎：主担当、○：副担当)

## 5. 共同研究参加者

氏名	所属部局・職名	本研究における役割
道口 陽子 杉野 英治	原子力規制庁技術基盤グループ地震・津波研究部門技術研究調査官 同 上席技術研究調査官	・研究の統括（主に解析） ・津波解析コードを用いた検証解析 ・特性化波源モデル設定 ・海底面の水平方向の地形変化を模擬した水理実験の実施の補助
田中 仁	東北大学大学院工学研究科・工学部 教授	・研究の統括（主に水理実験） ・海底面の水平方向の地形変化を模擬した水理実験の実施
Nguyen Xuan Tinh	同 助教	・海底面の水平方向の地形変化を模擬した水理実験の実施
三戸部 佑太	東北学院大学・工学部・環境建設工学科 講師	・研究の統括（主に画像解析） ・海底面の水平方向の地形変化を模擬した水理実験の実施 ・水理実験で計測した水面の二次元及び三次元画像の解析

※所属部局・職名は令和2年度共同研究終了時点のものである。

## 6. 研究実施工程

項目	年 度		平成 30 年度 (2018 年度)		令和元年度 (2019 年度)		令和 2 年度 (2020 年度)	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
(1)津波地震に関する知見収集								
(2)海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験の実施								
(3)津波解析コードを用いた津波地震の検証解析								
(4)津波地震による津波の特性化波源モデルの構築								

## 7. 成果概要

### 7.1 津波地震に関する知見収集

津波地震の成因に関する知見（例えば、阿部，1995<sup>参4)</sup>，2011<sup>参5)</sup>；今村，2011<sup>参6)</sup>；谷岡・佐竹，2011<sup>参7)</sup>）、海溝軸付近で発生する津波地震に関する知見（例えば、Tanioka and Satake，1996<sup>参3)</sup>；津波レシピ，2017<sup>参2)</sup>；杉野他，2013<sup>参8)</sup>；Satake et al.，2013<sup>参9)</sup>）、水理実験装置の開発に関する知見（例えば、Iwasaki，1982<sup>参10)</sup>）、実験条件（変位速度等）に関する知見（例えば、杉野他，2013<sup>参8)</sup>；Satake et al.，2013<sup>参9)</sup>）等を収集し、水理実験装置の設計及び開発、水理実験条件の検討、実地形への適用解析条件の検討等に活用した。

### 7.2 海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験の実施

海溝軸付近における水平変位による寄与分の津波水位を把握するため、海底の地殻変動の水平変位を模擬した水理実験を実施した。水理実験に当たっては、海溝軸付近の海底地形及び地殻の水平変位を模擬した実地形の縮尺約 1/30,000 スケールの水理実験装置を開発した。水理実験装置は、水路の中に設置した海底地形を模擬した斜面勾配が 1/10 の可動式斜面模型及びその動作を自動制御できるように設計したアクチュエーターで構成されている。水理実験では、アクチュエーターが水中の可動式斜面模型を底面に沿って水平に移動させる。その可動式斜面模型の水平移動によって生じる水面の鉛直変位（水位）を、等間隔で設置した水位計を用いて計測した。水理実験条件としては、可動式斜面模型の速度、加速度、変位量及び水深を変化させた。実験の結果、水位が大きくなるケースは、水深が浅く、速度が大きい場合であった。最大水位の発生位置は、いずれの条件においても可動式斜面の中央部付近で発生した。また、可動式斜面模型の中央部における水平移動に伴う底面高さの増分と水位の時刻歴波形で比較したところ、水理実験による水位変化は、実験条件によって差があるが、可動式斜面模型が動作してから平均して 0.28 s 程度遅れて始まることが分かった。

### 7.3 津波解析コードを用いた津波地震の検証解析

7.2 で実施した水理実験と同一条件の下、TS 法を取り入れた津波伝播解析を実施し、水理実験結果との比較検証を行った。ここでは、解析の結果が、水理実験結果と同様に、水平変位による寄与分が津波の水位に影響すること、水位が大きくなるケースは水深が浅く速度が大きい場合であることを確認した。しかし、水理実験と解析の結果を比較したところ、最大水位は解析の方が小さく、また、解析では水平変位による寄与分が水位として現れるまでの時間差を再現できていなかった。さらに、最大水位を説明できるパラメータを検討するため、無次元化による傾向分析を行った。その結果、解析では、最大水位と底面高さの増分の比が 1 を超えることはないが、水理実験では 1 を超える傾向があることが分かった。これらの差が生じるメカニズムについては今後検討していく。

### 7.4 津波地震による津波の特性化波源モデルの設定方法の構築

TS 法を用いて水平変位の寄与分を考慮した場合の特性化波源モデルの構築のため、東北地方太平洋沖地震津波を対象に、ジョイント・インバージョン解析を実施し、その結果に基づき、すべり量分布（すべり量、分布配置、超大すべり域等の面積比等）の設定方法を整備した。TS 法を考慮した特性化波源モデルでは、従来の特性化波源モデル<sup>11)</sup>と比較して波源全体の面積や超大すべり域のすべり量が小さくなった。これは、従来法では、水平変位の寄与分の効果を津波波源のすべり量を割り増すことにより考慮してきたが、TS 法を採用することですべり量の割り増し分を減少することになったためと考える。

また、超大すべり域及び大すべり域が断層の浅いところだけではなく、深いところに分布する可能性も示した。水平変位の寄与分は、海底地形の形状（海底斜面の傾斜）変化が大きい海溝軸付近で影響が大きくなると予想していたが、震源付近の深度が少し深い領域においても少なからず影響するためであると考えられる。

## 8. 公表成果一覧

- 1) 道口陽子、三戸部佑太、杉野英治、田中仁、「地殻変動の水平変位による津波初期水位への影響に関する実験的検討」、土木学会論文集 B2(海岸工学)、75 巻、2 号、pp.I\_343-I\_348、令和元年
- 2) Michiguchi, Y., Mitobe, Y., Sugino, H., Tanaka, H., “Comparative Study of Experiments and Analyses on Tsunami Generation by Horizontal Crustal Deformation”, 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE), 2020.

## 9. 参考文献一覧

- 参1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」、平成 31 年
- 参2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、「波源断層を特性化した津波の予測手法（津

波レシピ)」、平成 29 年

- 参3) Tanioka, Y., Satake, K., “Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 23, No. 8, pp. 861-864, 1996.
- 参4) 阿部勝征、「津波地震に関する研究の現状」、津波工学研究報告、12 号、pp. 45-58、平成 7 年
- 参5) 阿部勝征、「津波地震とは何か－総論－」、月刊海洋、43 巻、5 号、pp. 241-246、平成 23 年
- 参6) 今村文彦、「津波地震で発生した津波－環太平洋での事例－」、月刊海洋、43 巻、5 号、pp. 194-198、平成 23 年
- 参7) 谷岡勇市朗、佐竹健治、「津波地震の発生メカニズム」、月刊海洋、43 巻、5 号、pp. 251-258、平成 23 年
- 参8) 杉野英治、呉長江、是永真理子、根本信、岩渕洋子、蛭沢勝三、「原子力サイトにおける 2011 東北地震津波の検証」、日本地震工学会論文集、13 巻、2 号、pp. 2\_2-2\_21、平成 25 年
- 参9) Satake, K., Fujii, Y., Harada, T., Namegaya, Y., “Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492, 2013.
- 参10) Iwasaki, S., “Experimental Study of a Tsunami Generated by a Horizontal Motion of Sloping Bottom”, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Vol. 57, pp. 239-262, 1982.
- 参11) 杉野英治、岩渕洋子、橋本紀彦、松末和之、蛭沢勝三、亀田弘行、今村文彦、「プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案」、日本地震工学会論文集、14 巻、5 号、pp. 5\_1-5\_18、平成 26 年