

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 鉄道沿線への津波を 早期に予測する

津波の発生頻度は地震の発生頻度ほど高くありませんが、大津波をともなう巨大地震が海溝軸近傍の海域で発生しますと、海底面深度の変化の度合いにより津波が増幅されるため、海岸近傍に位置する市町村は甚大な被害を受けます。一方で、沿岸から離れた箇所が発生した津波は海域から沿岸までの長距離を伝播するため、沿岸に津波が到来するまでに余裕時間が生じます。その余裕時間を十分に確保するため、沿岸の津波水位と内陸の津波浸水域を津波が到来する前に予測する技術開発は重要です。ここでは、鉄道沿線への津波の早期予測手法について紹介します。



津野 靖士  
Seiji Tsuno  
鉄道地震工学研究センター  
地震解析研究室  
副主任研究員  
【専門分野】地震工学

## はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)では、観測史上最大級の津波が東日本の太平洋沿岸に來襲しました<sup>1)</sup>。本震発生3分後の3月11日14時49分に、気象庁は検測作業で推定された地震規模Mj7.9に基づいた量的津波予報(☞参照)により津波警報を発表しました<sup>2)</sup>。その第1報では、予想津波高さが6m未満でしたが、15時10分ごろ、沖合10~20kmに設置されていた観測点の津波データ<sup>3)</sup>に急激な水位上昇が確認され、予想高さ10m以上の津波警報への切り上げが行われました。このように、本地震の津波では、地震規模を過小評価したために、予想津波高さが過小評価されました<sup>2)</sup>。そのため、今後は、地震データから推定された震源の位置や地震の規模より津波を間接的に推定する手法

だけでなく、海域で観測された津波データと事前に準備した津波シミュレーション結果などを併用して、沿岸に到来する津波高さを早期かつ直接的に予測する手法を開発することが重要です。

## 津波シミュレーションとその精度

津波シミュレーションでは、一般的に、断層すべりから算出される上下地殻変動量を津波の初期水位として与えています。☞1に、2011年東北地方太平洋沖地震の断層すべりを示しています。この図から、海溝軸に沿った沿岸から100km程度離れた箇所に大きな断層すべりが表れていることがわかります。つまり、本地震では、それら箇所の津波の初期水位が大きかったことを示しています。次に、その津波の

### ☞ 量的津波予報

気象庁では、あらかじめ、さまざまな震源の位置や地震の規模(マグニチュード)を対象として津波シミュレーションを実施し、津波の高さと伝播時間の結果を津波予報データベースとして蓄積しています。海域で地震が発生した場合は、震源の位置とマグニチュードに基づき、津波予報データベースから津波の予測結果を抽出し、津波警報・注意報を発表しています。

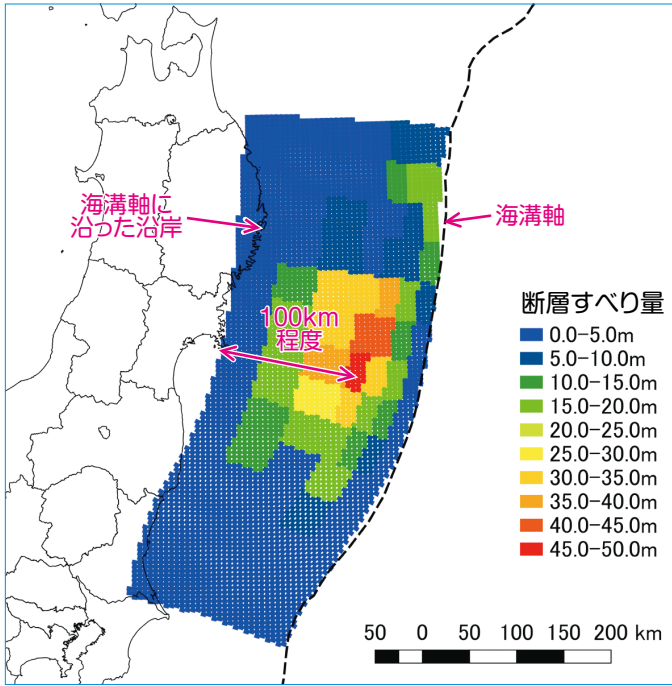


図1 2011年東北地震太平洋沖地震の断層すべり (内閣府モデル<sup>4)</sup>)

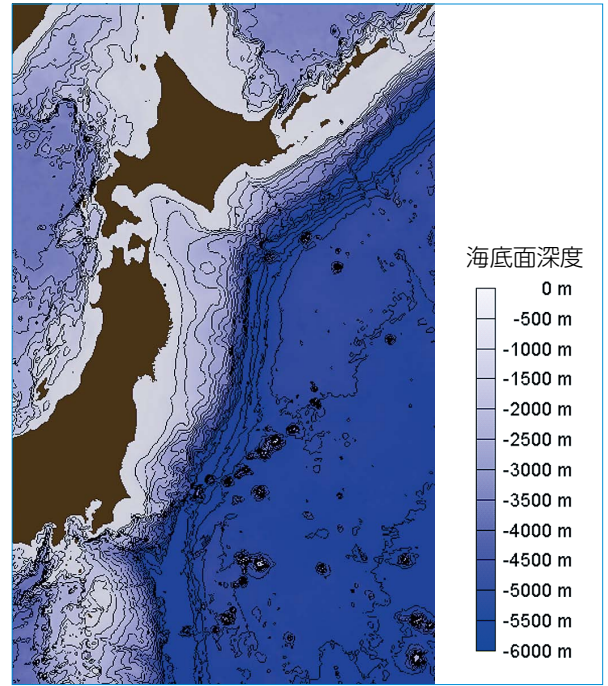


図2 海底地形モデル<sup>5)</sup>

初期水位と図2に示した海底地形モデル<sup>5)</sup>を利用して、津波シミュレーション手法により対象地点の津波水位を計算します。津波シミュレーションでは、50m程度以上の水深があり津波が長波(☞参照)として近似できる場合は、線形長波理論を利用し、それ以外の水深が浅い場合は、浅水長波理論を利用します。図3に、宮城県中部沖を対象地点として津波シミュレーションより計算された津波水位と観測された津波水位<sup>3)</sup>を比較しています。計算された津波水位<sup>6)</sup>は、観測された津波水位を精度よく再現しており、適切な断層す

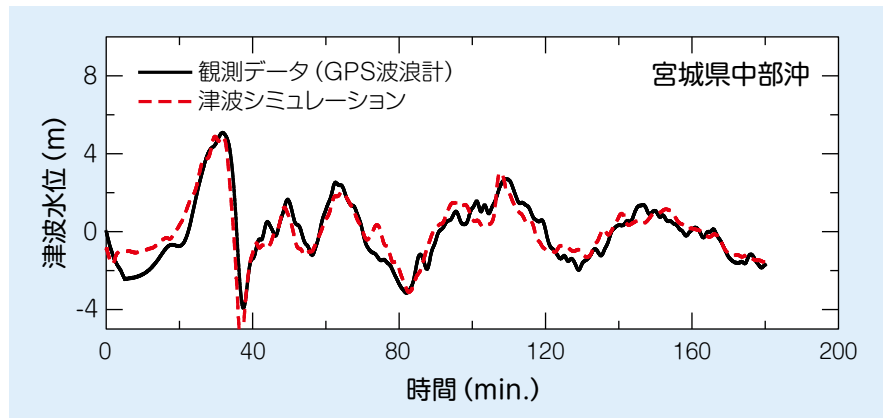


図3 2011年東北地方太平洋沖地震の宮城県中部沖における観測津波水位<sup>3)</sup>と津波シミュレーションの計算結果<sup>6)</sup>

#### ☞ 長波

水の粒子の運動が表面から水底に及び、ほぼ水平の往復運動を行う波で、深さに比べて波長が著しく長い波。線形長波では、水の粒子は水底に平行に運動し、流速は鉛直方向に一様です。

#### ☞ 津波伝播関数

海域の津波水位を沿岸の津波水位に変換する関数。津波が伝播する海底地形モデルに依存します。

べりと海底地形を利用することが津波シミュレーションに重要であることがわかります。

#### 津波の早期予測手法

現在、防災科学技術研究所により日本海溝海底地震津波観測網(S-net)<sup>7)</sup>と地震・津波観測監視システム(DONET1/DONET2)が釧路・青森沖～房総沖と熊野灘沖～室戸岬沖の太平洋海域でそれぞれ運用管理されており、それら海域には30～50kmの間隔で地震計や

海底水圧計などの各種センサーが海底に設置されています。そこで、海底水圧計で観測された津波水位を利用して、津波が沿岸や内陸に到達する前に津波の水位や浸水域を予測する手法の研究開発が各研究機関により進められています<sup>8)</sup>。

鉄道総研で開発中の沿岸と内陸の早期予測手法<sup>9)</sup>の概要を図4に示しています。海域で観測された津波水位に、津波シミュレーションを用いて事前に準備された津波伝播関数(☞参照)

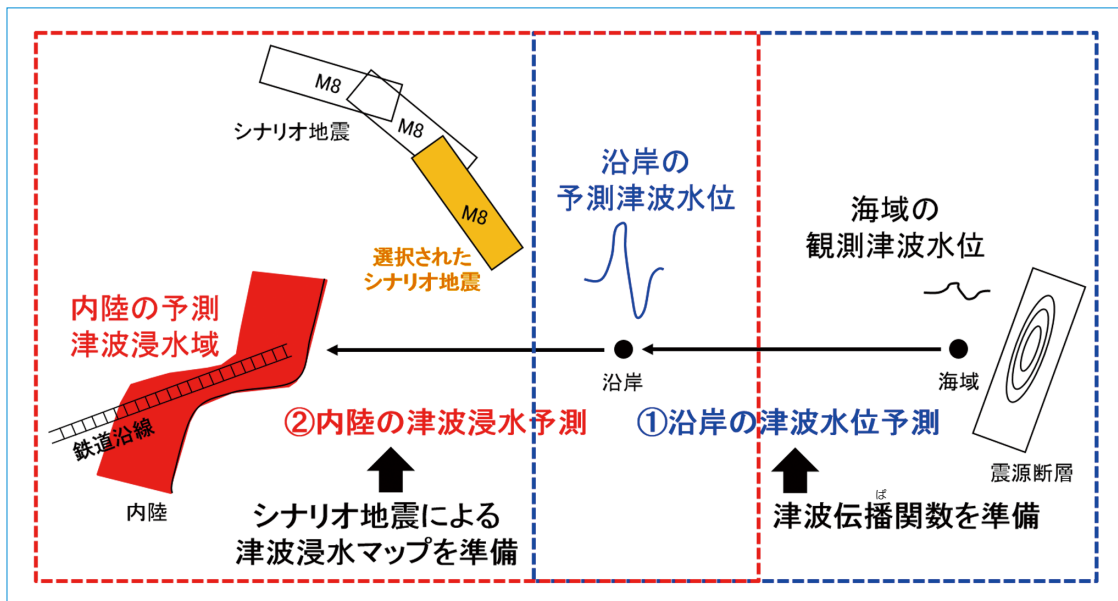


図4 沿岸の早期津波予測と内陸の早期津波浸水予測の概要

を掛け合わせることで、津波が到達する前に沿岸の津波水位を予測します(図4①)。さらに、想定されるシナリオ地震による内陸部の津波浸水域をあらかじめデータベースに蓄積しておき、沿岸部の予測津波水位に整合するシナリオ地震の津波浸水を抽出します(図4②)。このように、津波の観測データと津波シミュレーションの結果を融合することにより、海域で津波水位を観測した直後に、沿岸の津波水位と内陸の津波浸水域を早期に予測することができます。

### 内陸の早期津波浸水予測

ここでは、2011年東北地方太平洋沖地震の断層すべり(図1)と海底地形モデルから計算された津波シミュレーション結果を擬似観測データとして、本予測手法の精度を検証しています。

図5に、海域での擬似観測津波水位に、津波シミュレーションを用いて事前に準備された津波伝播関数をかけた沿岸の予測津波水位と沿岸の擬似観測津波水位を比較しています。沿岸で予測された津波水位は、擬似観測津波水位と完全に一致するまでには

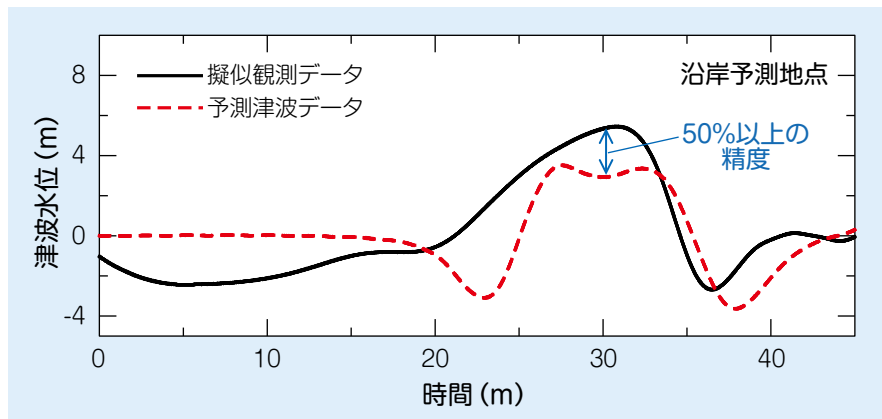


図5 沿岸の予測津波水位と擬似観測水位の比較

至っていませんが、50%以上の精度で沿岸に到達する津波第1波の津波水位を予測できていることがわかります。

次に、この沿岸の予測波形と類似する計算波形を抽出し、シナリオ地震の中から該当する地震を特定します。シナリオ地震と対象地域における津波浸水域のデータベースの中からその特定された地震による津波浸水域を抽出します。図6に、石巻を対象地域とした本手法による津波浸水域と内閣府モデルを用いた擬似観測津波浸水域を示しています。両者は、浸水面積について90%以上の整合率を有しています。以上から、海域で津波水位が観測された

直後に、本手法を適用することにより、対象地域における津波浸水域を精度よく早期予測できることがわかります。

### 津波早期予測の鉄道への活用

津波浸水予測結果の鉄道への活用として、鉄道沿線における津波浸水深を予測することがあげられます。それは、海域で津波水位が観測された直後に、その津波により対象地域の鉄道沿線がどの程度浸水するかを予測し、鉄道の避難活動あるいは避難誘導に役立てようとするものです。

図7に、図6中に示した石巻地域を対象とした鉄道沿線におけるシナリオ

地震から予測される津波浸水深の結果を示しています。このように、対象とする地域の鉄道沿線における津波浸水深を予測することで津波浸水深が浅い区間あるいは津波が到達しない区間に、津波到来前に走行列車を効率的に避難させることが可能になり、津波から走行列車の安全をより確保することができます。

### おわりに

上記で示した海域で観測された津波データと津波シミュレーション結果のデータベースを融合させた本手法は、単点の観測データを利用することから、余裕時間を確保する点において、優れた手法です。しかし、予測精度をさらに高めるために、手法の改良やリアルタイムで予測するシステムの開発を行う必要があります。また、本データベースを利用して、鉄道構造物の津波に対する安全性評価を検討することも重要であると考えています。

### 謝辞

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

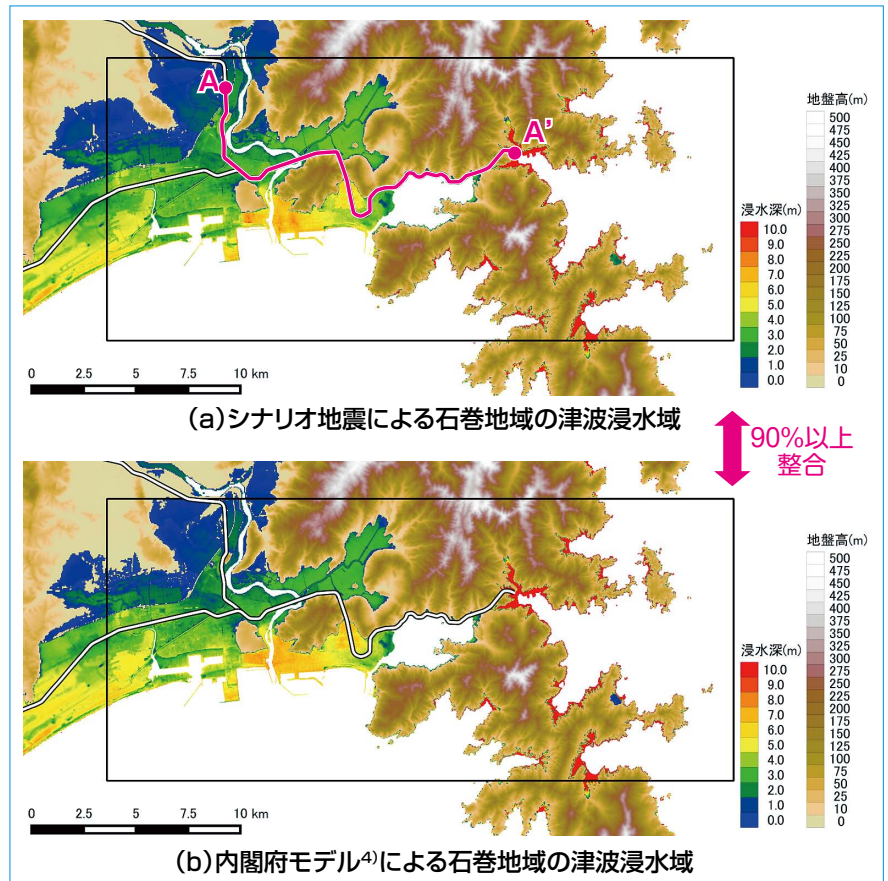


図6 早期津波浸水予測結果と疑似観測結果の比較(図中の白線は鉄道沿線)

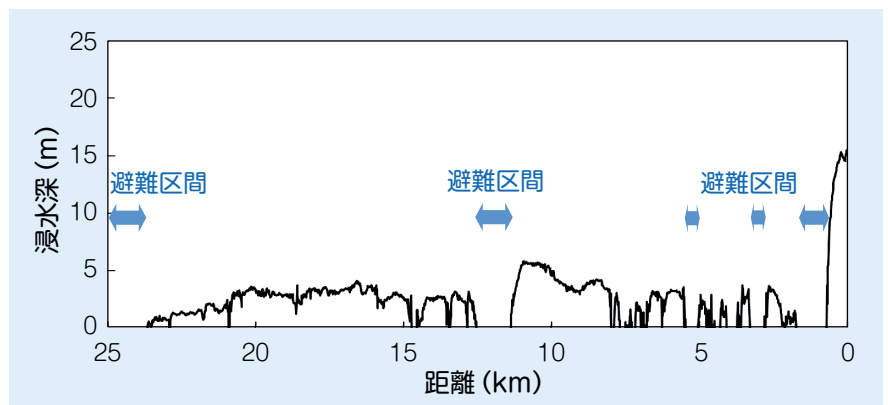


図7 鉄道沿線(図6a中のA-A' 測線)における津波浸水深の予測結果

### 文献

- 1) Ozaki, T.: Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0) -Tsunami warnings/advisories and observations-, Earth Planets Space, 63, pp.827-830, 2011
- 2) 干場充之, 尾崎友亮: 2011年東北地方太平洋沖地震での緊急地震速報と津波警報, 地震 第2輯, Vol.64, No.3, pp.155-168, 2012
- 3) ナウファス(国土交通省港湾局 全国港湾海洋波情報網): <http://www.milt.go.jp/kowan/nowphas/index.html>
- 4) 内閣府: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて, 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 第12回会合参考資料1, 2012
- 5) 海上保安庁: 海底地形デジタルデータ[M7000シリーズ]
- 6) 藤原了, 橋本紀彦, 是永真理子, 田宮貴洋: 2011年東北地方太平洋沖地震の津波シミュレーション解析: 津波波源モデルの違いによる福島第一原子力発電所・福島第二原子力発電所施設周辺に作用する津波波力の差異の評価, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.15, No.1, pp.1-11, 2016
- 7) 金沢敏彦: 日本海溝海底地震津波観測網について, 地震ジャーナル, Vol.55, No.6, pp.28-33, 2013
- 8) Yamamoto, N., Aoi, S., Hirata, K., Suzuki, W., Kunugi, T., and Nakamura, H.: Multi-index method using offshore ocean-bottom pressure data for real-time tsunami forecast, Earth, Planets and Space, 68, 128, 2016
- 9) 津野靖士, 藤原了: 津波伝播特性を利用した早期津波予測手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.3, pp.41-46, 2016