

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560169

研究課題名(和文)沿岸域の地殻変動量等を利用した津波予測の可能性に関する研究

研究課題名(英文) Study on possibility of tsunami height estimation using crustal movement and earthquake ground motion obtained at coastal area

研究代表者

片岡 俊一 (KATAOKA, SHUNICHI)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60333712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：地殻変動量および周期40秒までの地震動の最大変位と津波高さとの関係を経験的に調べた。その結果を踏まえ、2011年東北地方太平洋沖地震と2003年十勝沖地震の水平方向地殻変動量と津波高さとの実験式を作成した。加えて、津波発生伝播と陸地側地殻変動量を同時に計算できるプログラムにより、過去に東日本周辺で起きた複数の地震津波を対象に津波計算を行った。

また、地震加速度記録を積分して地殻変動量を求める可能性を検討するために実験的検討を行った。その結果、サンプリング周波数は大きな影響は与えず、変位が発散する原因は、長周期ノイズと回転動が主たるものであり、積分方法ではないことが分かった。

研究成果の概要(英文)：The relationship between the maximum ground displacement up to the period of 40 seconds and crustal movement during an earthquake and the tsunami height were experimentally investigated. Using data from the 2011 Tohoku Region Pacific Offshore Earthquake and the 2003 Tokachi-Oki Earthquake, we established an empirical formula for amounts of horizontal crustal deformation and tsunami heights. In addition, tsunami calculations were made for several earthquake tsunamis those were occurred around East Japan in the past. Experimental studies were also conducted to investigate the possibility of estimating crustal deformation by integrating seismic acceleration records. As a result, it was found that the sampling frequency does not have a large influence on integration, and the cause of the divergence of the displacement is mainly the long period noise and the rotation of the seismometer and it is not the integration method.

研究分野：地震工学

キーワード：津波高さ オンサイト予測 地殻変動 強震記録 積分方法 最大変位

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震の際に、沿岸域の鉛直方向地殻変動量（以下、断らずに地殻変動量）とその地域を襲った津波高さとの線形的関係があったことが、東北工業大学名誉教授の神山真によって指摘されている。この指摘は、様々な計測データが高密度、高精度に得られている我が国ならではのことであり、世界で初めての指摘であろう。この事実が普遍的なものであれば、地震直後の地殻変動量から津波高さを推定できることになる。地殻変動量を対象地点においてリアルタイムで行えば、地震動主要動終了時点では地殻変動はほぼ終了しているため、その地点での（オンサイトでの）津波予測あるいは予報が可能となり、余裕時間も十分にある。

地震時の津波は海底地形の変動に伴って生成されるものであるから、沿岸域の地殻変動量と津波高さにはなんらかの関係があることが期待される。つまり、観測事実が特殊なことではないと考えられるので、上述した予測方法は成立する可能性がある。しかしながら、その予測方法を確立するためには解明すべき事柄は多くある。そもそも、今回の地震で高い津波を生成した領域は日本海溝付近での海底変形が主体であり、この付近での断層滑りは沿岸域での地殻変動量にはほとんど影響を及ぼさない。つまり、前提が成り立たない可能性もある。

本研究の究極の目的は、オンサイト警報システムである。このようなシステムは観測・通報システムが十分に整っていない開発途上国に対しては最良のシステムである。また、電気・通信が途絶された中でもこのようなシステムは稼働できることから、観測・通報システムが整備されている国や地域にあっても最終的な警報システムとして確保されれば安心である。

2. 研究の目的

沿岸域において地殻変動量を推定し、それを用いてその地域を襲う津波高さを予測することに関する研究を行う。

沿岸域の地殻変動量と津波高さを表現できる数値シミュレーションを数多く行えば、両者の関係が明らかになる。そこで、両者の関係を数値シミュレーションで明らかにする。

一方、地殻変動量はGPSから求めることが一般的であるが、現状のGPSデータの処理では基準点と比較する必要があり、オンサイトでの判断が容易でない。そこで、加速度強震計の記録から地殻変動量（残留変位）推定を試みる。加速度記録の二重積分から残留変位が求まることは、研究代表者の片岡が20年前に示している。ただし、その際には、地震動の終了が明瞭である振動台実験結果を用いている。しかしながら、実地震記録では地震動終了が分かり難く、そのため安定した変位が得られないと考えられ、再度処理方法

を研究する必要がある。

3. 研究の方法

本研究は二つの項目から成り立つので、各項目毎に研究方法を記す。

まず、断層面上のすべり分布を様々に変化させ、数値シミュレーションにより津波高さや沿岸域の地殻変動量を求め、両者の関係を明らかにする研究（以下、断らずに津波計算）では、現実のプレート境界の位置および水深分布を踏まえて実施する。初年度は2011年東北地方太平洋沖地震の断層を対象に検討を加える。次年度以降は、日本海沿岸を検討する。

一方、加速度型強震計から残留変位（地殻変動量）を求める方法に関する研究（以下、断らずに加速度積分）では、地殻変動がある場所での記録が必要であることから、初年度は2011年東北地方太平洋沖地震の地震動記録で検討する。その前段階として、強震観測点周辺の地盤状況を調査し、地盤変状がないことを確認する。次年度以降は、実際の強震計を用いて実験を行う。

4. 研究成果

津波計算を行う前に、実測値を確認した。その結果予想外に興味深い事柄が分かったので、本研究では主として、実測値について検討した。まず、2011年東北地方太平洋沖地震の際に観測された地殻変動量（沈下量）と津波高さとの関係の既往研究では茨城県から岩手県の津波高さを検討していたが、本研究ではそれより広い千葉県から青森県までの地域を対象とした。その結果を図1に示す。この図より、沈下していない場所でも低い津波が到来していたが、地盤が沈降し

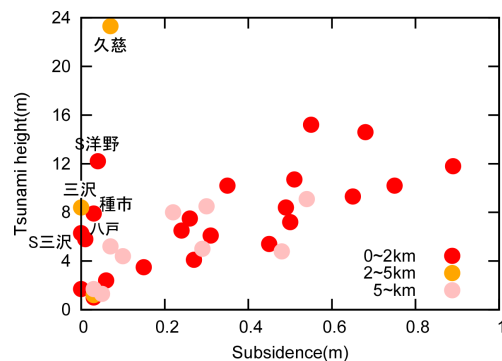


図1 2011年東北地方太平洋沖地震の際の鉛直成分地殻変動量と津波高さとの関係。凡例の色分けは、地殻変動観測点から津波高さ調査地点までの距離を示す。

ていれば、その量と津波高さとは線形的関係があることが再確認された。

また、地殻変動が観測されている例は少ないので、過去に津波が観測された地震について、周期40秒までの地震動を対象として加速度記録から最大変位を求め、その値と検潮

所における津波振幅との関係を調べた。両者の関係は大きくばらつくが、最低および最大レベルの津波振幅は最大変位の一次式で近似できることが分かった。

そこで、地震に伴う地殻変動あるいは長周期地震動から津波高さが推定できる理由を考察した。その考察を通じて、沈下量よりも、水平方向の地殻変動を利用した説明の方が容易であることが分かったので、2011年東北地方太平洋沖地震津波のデータに加え、2003年十勝沖地震津波のデータも加え、水平方向地殻変動と津波高さの関係について重回帰分析を行った。観測結果と重回帰分析の結果

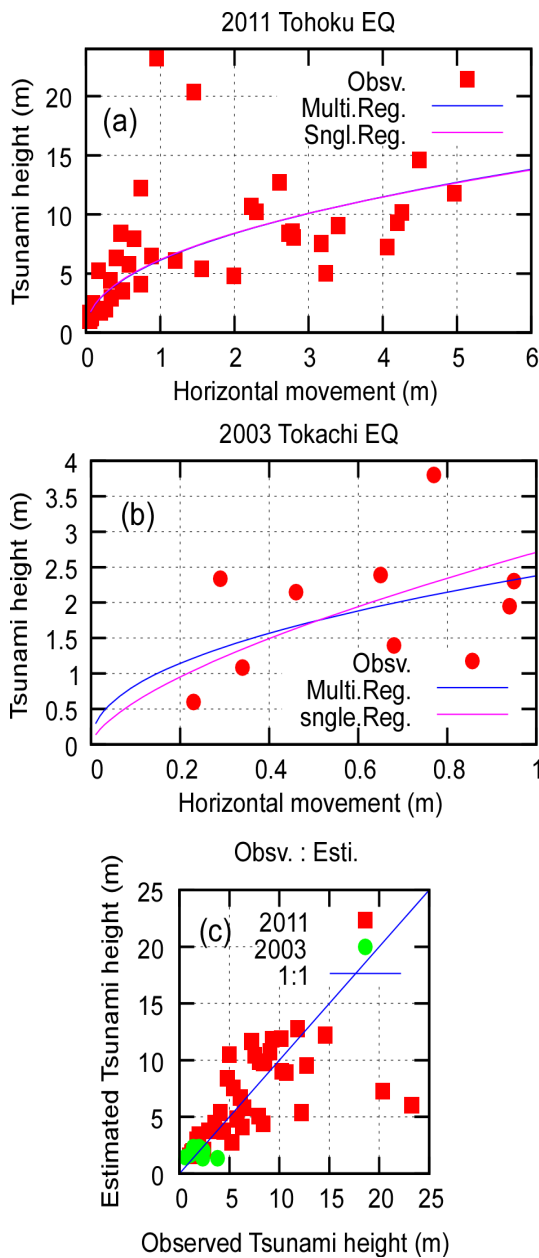


図2 水平方向地殻変動量と津波高さの関係（上段：2011年東北地方太平洋沖地震，中段：2003年十勝沖地震），および観測した津波高さ（横軸）と重回帰分析結果で予測した津波高さ（縦軸）との関係（下段）

の比較および実測値と推定値との対応を図2に示す。2地震だけの結果ではあるが、回帰結果は観測値を適切に再現することが分かる。

ただし、回帰式はマグニチュード（モーメントマグニチュード、 M_w ）を含む形となる。地殻変動量を D とすると、津波高さ H は次式で表される。この式を利用するには、マグニチュードを推定することが必要となるが、それよりも重要なことは、一地震の結果を分析するだけでは適切な予測式が得られないということである。つまり、津波計算が必要ということになる。

$$\log_{10} H = 0.412M_w + 0.454 \log_{10} D - 3.825$$

上記の作業中に、観測津波高さは海岸構造物の影響を受けている可能性が高いことも分かった。また、検潮所の津波高さを評価するためには、センサーの特性を把握する必要があることが分かったが、特性調査は容易ではなかった。このような観測に関する問題を避けて、地殻変動量と津波高さとの関係を明確にするためには、津波計算が必要であることが再確認できた。当初予定どおり、過去に東日本周辺で起きた複数の地震津波を対象に津波伝播計算を実施したが、その整理は時間が足りずできなかった。

一方で、地殻変動量を地震加速度記録から求める方法を検討するために、実験的検討を2年目と3年目に行った。初年度（研究期間の2年目）は地震計1台で1m程度の変位を課した実験を行った。次年度は、同一地震計を2台用意し、サンプリング周波数を100Hzと200Hzと変えて実験を行った。この際には、鉛直方法には1m程度の変位であったが、水平方向は5m程度の大きなものも行った。実験の結果、サンプリング周波数と積分方法は積分結果に大きな影響を与えないことが分かった。よって、加速度記録を二回積分して得られる変位が発散する原因は、長周期ノイズと回転動が主たるものであることが推察された。これらは基線補正で修正可能であり、基線を補正して積分した結果を図3に示す。

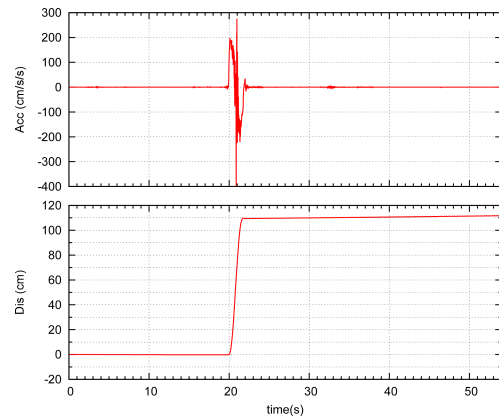


図3 水平方向に1m変動させた時の加速度波形（上段）と基線補正を行って積分して求めた変位波形（下段）

加えて沿岸域のデータだけで津波の量が予測可能となる可能性を踏まえて、湾口に島嶼を有する湾を対象に、湾内における津波高の概算法を提示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4件)

三戸部佑太・渡辺一也・田中 仁・Neetu Tiwari・渡部靖憲：津波規模に応じた河道内水位変動過程に関する数値実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)，査読あり，Vol.72，pp. 1_271-1_276，2016。

片岡俊一・炭田 航・腰塚優香：津波に対するオンサイト警報に関する検討，査読なし，東北地域災害科学研究，Vol.52，245-250，2016。

山本英和，石川拓弥，齊藤剛：岩手県久慈市における微動観測による地盤のS波速度構造の推定，査読なし，東北地域災害科学研究，vol.52，257-262，2016。

松富英夫：島嶼を有する湾における津波高さの概算法 - 松島湾を例に - ，査読なし，東北地域災害科学研究，vol.51，105-108，2014。

[学会発表](計 10件)

片岡俊一：陸上部での水平方向地殻変動量とその近辺の津波高さとの経験的関係，土木学会全国大会第72回学術講演会，2017，九州大学(福岡県)，2017年9月11日-9月13日

片岡俊一：地殻変動や地震動からその地点に到来する津波高さを推定することに関する一考察，日本地震工学会・大会，2016，高知工科大学(高知県)，2016年9月26日-9月27日

山本英和，石川拓弥，齊藤剛：岩手県久慈市における微動アレイ探査による地盤振動特性の評価，第134回物理探査学会学術講演会，2016，早稲田大学(東京都)，2016年5月16日-18日

山中智久・渡辺一也：北上川周辺を対象とした津波に関する検討，平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会，2016，岩手大学(岩手県)，2016年3月5日

田上翔吾，松富英夫：島嶼を有する湾における津波高概算法の検証，平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会，2016，岩手大学(岩手県)，2016年3月

5日

片岡俊一・田澤佑奈：残留変位を含む強震記録の積分について，平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会，2016，岩手大学(岩手県)，2016年3月5日

松富英夫，八谷耕介：島嶼を有する湾における津波高の概算法，第34回日本自然災害学会学術講演会，2015，山口大学(山口県)，2015年9月24日-25日

湊 顕彦・渡辺一也：北上川周辺における東日本大震災以前を対象とした予測に関する検討，平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会，2015，東北学院大学(宮城県)，2015年3月7日

八代星人・渡辺一也：東日本大震災以前を対象とした三陸沖津波予測に関する検討，平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会，2015，東北学院大学(宮城県)，2015年3月7日

松富英夫：島嶼を有する湾における津波高さの概算法 - 松島湾を例に - ，東北地域災害科学研究集会，山形大学農学部(山形県)，2015，2015年1月9日-1月10日

6. 研究組織

(1)研究代表者

片岡 俊一(KATAOKA Shunichi)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号： 60333712

(2)研究分担者

松富 英夫(MATSUTOMI Hideo)
秋田大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号： 20134083

渡辺 一也(WATANABE Kazuya)
秋田大学・大学院理工学研究科・講師
研究者番号： 50463097

山本 英和(YAMAMOTO Hidekazu)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号： 00250639