

1. はじめに

近年は貞観地震を始めとする歴史地震や、東北地方太平洋沖地震の様な大規模津波災害など、年代や地点を問わず多くの津波の再現解析が行われ、津波防災対策に活用されている。一方でこれらの津波の解析は大規模な地震を対象としているため、各解析パラメータが与える影響については不明瞭な部分がある。また実際の観測波形と比較し妥当性を検討した例は少ない。そこで本研究では、津波災害リスクの高い日本海東縁部に着目し、2019年山形県沖の地震における津波の津波シミュレーションを行った。加えて観測記録から津波以外の成分を取り除き解析結果との比較を行い、その妥当性について検討した。また、解析パラメータの1つである断層面積に着目し、パラメータの感度が解析結果に与える影響について考察した。

2. 山形県沖の地震の概要

山形県沖の地震は2019年6月18日22時22分に図1に示す位置で発生したM6.7の地震である。観測された震度は震源近傍の新潟県村上市府屋において震度6強が観測された。また、山形県内で観測された地震としては観測史上初めて震度6以上の揺れを記録した地震である。当該地震による津波の発生として、山形県の鼠ヶ関験潮所において地震発生から12分後に11.4cmが観測された。津波を観測した験潮所は全てフロート式の験潮所である。遡上による被害は報告されていない。

3. 観測記録に含まれる変動成分の補正

3.1 潮汐による変動成分

潮汐によって生じる海水面の昇降は、天体が持つ引力と地球が持つ遠心力により生じ、規則的かつ周期的な海面の変化が常に発生している。この変化は、平衡潮汐論を基本とした下式により計算される。

$$\bar{\eta} = H_0 + \sum_{i=1}^N f_i H_i \cos(V_i + u_i - \kappa_i) \quad (1)$$

ここで H_0 は平均水面の高さ、 f は平衡潮汐論による振幅とその平均値との比、 H_i と κ_i は調和定数である。 V_i と u_i は時刻や経度により変化する係数である。観測記録には潮汐による成分が含まれているため、上式による手法で補正を行った。

3.2 験潮所の応答特性

日本における海水面変動の観測方法の1つとして、図2の様なフロート式験潮所による方法が挙げられる。この方法は導水管が波浪などを取り除く物理的なローパスフィルターとして機能している。しかし津波波形の様に周期が数分程度の波は応答特性の影響を受けてしまうため、波形が正確に記録されないが問題点がある。応答特性による影響を補正する方法として、応答特性を線形と非線形に分け、下式により補正する方法が提案されている。

$$H(t) = h(t) + G \frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{2gW^2} \left(\frac{dh(t)}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \left(\frac{dh(t)}{dt} \right) \quad (2)$$

ここで g は重力加速度、 $h(t)$ は井戸内の水位、 $H(t)$ は外海の水位である。 G は線形応答係数、 W は非線形応答係数であり、験潮所固有の応答特性を示している。 sgn は()内の正負に応じて+1,-1を返す。上記の方法に行谷(2008)による応答係数を用いて補正した結果、影響は無視できる軽微な量であることが分かった。

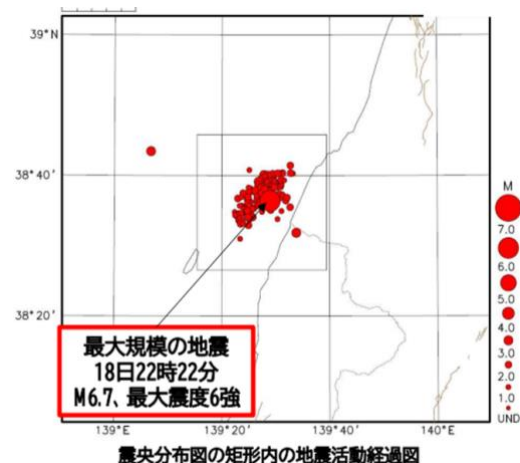


図1 震央分布図

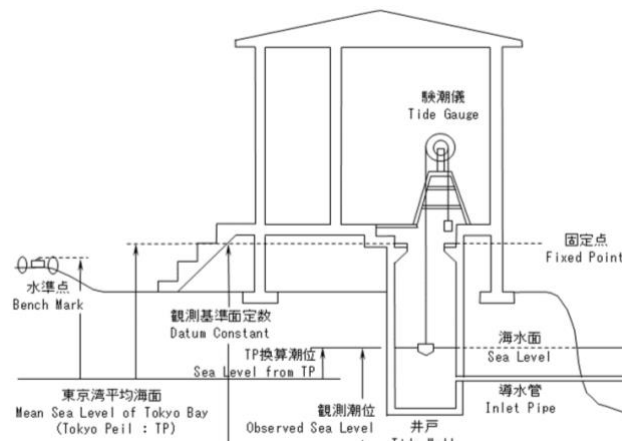


図2 験潮所の構造

4. 山形県沖の地震の津波の津波シミュレーション

4.1 地震の断層モデル

地震による津波の発生原因は、地震時の海底地形の変動に伴う海面変動に起因している。本研究では、Okada(1985)の手法を用いて地震時の地盤変動量を算出した。断層モデルに用いるパラメータについては表2の通りである。断層長さとして断層幅は 24 時間余震分布の範囲より決定した。その他のパラメータについては、F-net のメカニズム解を用いている。

表 1 断層パラメータの諸元

断層長さ	24.0km
断層幅	16.0km
すべり量	1.5m
走向	26.0°
傾斜角	27.0°
すべり角	86.0°
深さ	8.6km

4.2 津波の支配方程式

津波の伝播計算については、Okada(1985)により計算した地盤変動量を海面変動量として初期条件に与え、時事刻々と海水面の動きを計算する事で行う。計算には下式の様な非線形長波理論により導出された運動方程式と連続の式を用いる。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (3)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

ここで、t は時間である。η は水位変動(静水面からの距離)、h は静水深、D は全水深(D=h+η)である。M と N はそれぞれ x、y 方向の流量フラックスである。g は重力加速度、n はマンニングの粗度係数である。

4.3 解析結果と観測波形の比較

解析により計算した結果、最大値についてはどの地点でも概ね再現できていることが分かった。一方で、図3に示す鼠ヶ関の様な震源近傍の地点においても、解析結果の到達時間が観測記録に対して大きくなり生じてしまう結果となった。

5. 震源のモデル化の影響

解析により計算した結果は、到達時間に大きなずれが見られた。到達時間は地盤変動量の端部からの観測点までの距離が影響するため、断層面積を 75%、50%、25% と変更し再度解析を行った。結果は図4に示す通り、震源からの距離が近いほど到達時間に与える影響が大きかった。

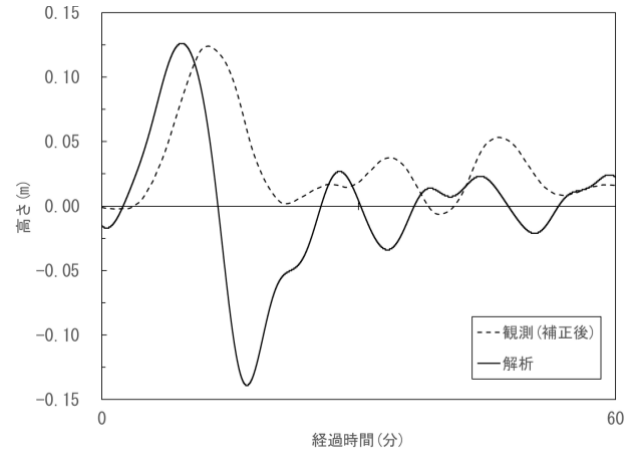


図 3 鼠ヶ関における解析結果と観測波形の比較

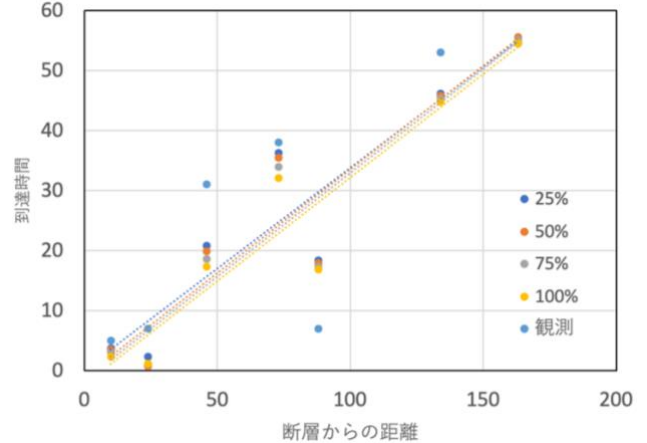


図 4 断層面積と到達時間の関係

7. まとめ

山形県沖の地震による津波を対象として、観測波形に対して潮汐、応答特性の補正を行った。その結果応答特性の影響は無視できる軽微な量であることが分かった。補正した観測記録と解析結果を比較した結果は、最大値は概ね一致している一方で、到達時間については震源近傍であっても観測記録との間に大きなずれが生じる結果となった。この結果を踏まえ断層面積を変更して解析した結果、震源からの距離が近いほど到達時間に与える影響が大きかったことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 行谷佑一, 谷岡勇市郎, 阿部邦治, 佐竹健治, 平田賢治, 岡田正実, Aditya R. Gusman : 2007 年新潟県中越沖地震震源周辺の検潮緯度応答特性調査および津波波形補正, 津波工学研究, 25, pp.107-122, 2008.
- 2) OKADA: SURFACE DEFORMATION DUE TO SHEAR AND TENSILE FAULTS IN A HALF-SPACE, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.75, p1135-1154, 1985