

震源情報の不確定性を考慮した特定地点を対象とする津波予測手法

Tsunami Prediction for the Specific Site Considering Uncertainty of Fault Parameters

稲垣聡¹・向原健²・池谷毅³・大保直人⁴・光田司⁵・高橋智幸⁶

Satoshi INAGAKI, Takeshi MUKOHARA, Tsuyoshi IKEYA,
Naoto OHBO, Tsukasa MITSUTA and Tomoyuki TAKAHASHI

It may be possible to inform the tsunami warning such as tsunami wave height and arrival time just after an earthquake occurs, if we simulate many cases of the tsunami propagation in advance. However, it is not clear how the fault parameters influence on the tsunami of a specific site. This study calculated about 1200 tsunami propagation cases for the Akita Oil Storage Base to survey the influence of the uncertainty of the fault parameters. The tsunami wave height was related to the initial vertical displacement of the sea bottom although the location of epicenter varied the height. The arrival time was related to the distance from the epicenter and the magnitude of earthquakes.

1. はじめに

津波来襲の可能性のある地点・施設において、来襲する津波の諸元（津波高さ・来襲時刻・流速など）を地震発生直後に得られれば、人員避難や施設の防災対策を実施する上で重要な情報となり、津波に対する防災能力の向上が期待できる。対象地点に影響を与える断層を対象に津波伝播解析を事前に行っておくことにより、地震発生直後に震源情報を特定すれば、津波の諸元を提供できるシステム（津波予測システム）を具現化できる可能性がある。津波波源を決める断層パラメータや地形条件が、津波の諸元にどのような影響を与えるかについては、広域を対象としたものとしては、例えば土木学会（2002）や鈴鹿ら（2004）で行われている。しかし、特定地点に特化した高精度な津波予測を目指す場合には、十分に明らかとなっていない。また、緊急地震速報を用いた場合でも、地震発生直後に全ての断層パラメータが得られることはできず、限られた情報での津波予測の精度は未知数である。そこで本研究では、秋田国家石油備蓄基地を対象とした津波予測システムの整備を目指す中で、津波伝播解析に用いられるパラメータの情報不足に起因する不確定性が、対象地点の津波諸元に与える影響について検討を行った。

2. 想定する震源域と規模

地震調査研究推進本部（2003）によれば、図-1に示すように日本海東縁部の佐渡北方から北海道南西方の範囲では、マグニチュード7.5クラスの地震が数多く発生しており、これら既往の震源域および図中破線で示す想定震源域において同規模の地震が今後発生する可能性があるとしている。本研究では、発生した場合には対象とする基地へ津波が来襲する可能性が考えられるこれらの地震を津波波源として選定した。

想定する地震規模については、図-1に示す地震規模を

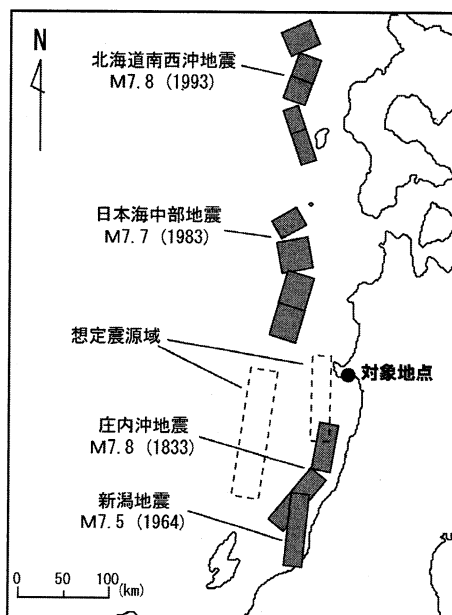


図-1 既往地震の断層モデルと想定地震

1 正 会 員	工 修	鹿島建設(株)技術研究所	主任研究員
2 正 会 員	工 修	鹿島建設(株)技術研究所	研究員
3 フェロー	工 博	鹿島建設(株)技術研究所	グループ長
4 正 会 員	工 博	鹿島建設(株)技術研究所	上席研究員
5	工 修	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	
6 正 会 員	博(工)	秋田大学 工学資源学部土木環境工学科	

参考に、Kanamori (1977) によるモーメントマグニチュード M_w を用いて、 $M_w = 7.0, 7.5, 7.7, 7.8, 8.0$ の5通りを設定した。これら各地震規模について断層パラメータと潮位を振って、約1200ケースの津波伝播解析を行った。

3. 津波伝播解析

(1) 解析手法

津波伝播解析は、東北大学で開発された津波伝播解析ソフト「TUNAMI」を用いて行った。

計算は、表-1に示すように、1620m 格子の領域 A から20m 格子の領域 E までの5つの地形データを用いた5段階ネスティング方式で行った。領域 A～D までは線形長波理論式を用いて、陸側境界を完全反射とし、領域 E については非線形長波理論式を用いて遡上を考慮した計算を行った。また領域 E については、地形データに防波堤を考慮しており、陸域の地形は男鹿市都市計画図や50 m メッシュの標高データを用いて T.P.+10.0m まで再現している。特に対象地点である基地周辺については基地および基地周辺の平面図を用いて正確な再現を行った。

図-2に領域 E の地形コンターを示す。

伝播解析の出力は、津波高さ・第一波来襲までの時間・流速とした。各データの出力位置は図-2に示すように、津波高さおよび第一波来襲時間は護岸前面とし、また流速の算出は防波堤東側のシーバース施設付近とした。

表-1 計算領域と格子サイズ

領域名	領域A	領域B	領域C	領域D	領域E
範囲	日本海 全城	日本海 東縁	秋田県沖	男鹿半島	船川港
格子間隔 (m)	1620	540	180	60	20
陸側境界 条件	完全反射				遡上考慮

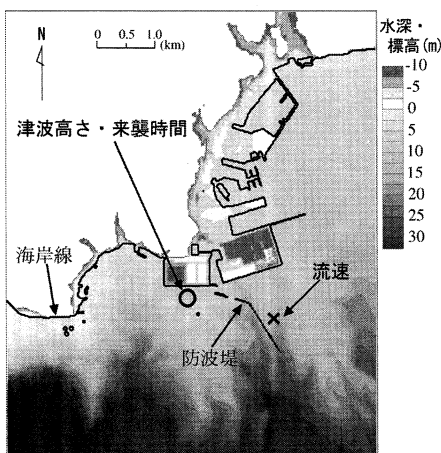


図-2 領域E地形図

再現時間は、ケースによっては数波目以降に最大水位となる可能性があることを考慮し、どのケースにおいても基地およびその近傍海域における最大津波水位が把握できる長さとして、2時間と設定した。

(2) 不確定性を考慮した断層パラメータの設定

断層パラメータは図-3に示す9つのパラメータで記述することができる(佐藤, 1989)。各パラメータについては、土木学会(2002)を参考に設定を行った。設定方法を表-2に示す。

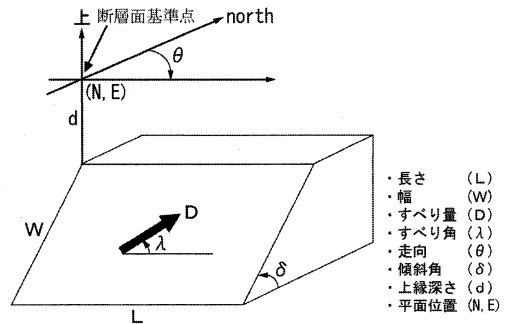


図-3 断層パラメータ

a) 長さL

本研究で想定する規模と同程度の既往地震の断層は、深さ30km以下に集中しており、地震発生層厚さ H_0 は15～20km程度と考えられている。

そこで L (km) は、地震発生層厚さを考慮して、断層幅が上限に達している場合には、武村(1998)による式(1)を用いて M_w との関係から算出した。また、上限に達しない場合には式(2)を用いて幅 W (km) から算出した。なお、 H_0 はすべり量が最も大きくなるように $H_0 = 15$ km と設定した。

・断層幅が上限に達している場合

$$\log L = 0.75 M_w - 3.77 \quad (1)$$

・上限に達していない場合

$$L = \frac{3}{2} W \quad (2)$$

b) 幅W・傾斜角δ

W は、式(3)を用いて傾斜角に応じて求めた。傾斜角 δ については、概ね30～60°の範囲とした断層モデルで既往地震の痕跡高をうまく説明することができるとされていることから、表-2に示すように3通りを設定した。

$$W = H_0 / \sin \delta \quad (3)$$

c) すべり量D・すべり角λ

D (km) は式(4)を用いて算出した。 M_0 (N・m) は地震モーメントであり、式(5)から与えられる。また、 μ は震源付近の媒質の剛性率を表しており、位置や深さによって異なるものではあるが、ここでは標準的な値として $\mu = 3.5 \times 10^{10}$ N/m² を用いている。また、 λ は既往津波の断

層モデルを参考に90°とした。

$$D = M_0 / \mu L W \tag{4}$$

$$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1 \tag{5}$$

d) 断層の上縁深さd

d(km)は表-2に示すように3通りを設定した。

e) 断層の平面位置 (N,E)

断層の平面位置は、図-4に示すように既往の津波波源と想定波源を含めるような領域で設定した。

津波予測を行う際には、事前に全ての位置において伝播計算を行うことは不可能であり、必要な精度を保ちつつ補間処理が必要となる。断層の平面上の大きさはマグニチュードによって決定されることから、各地震規模について計算を行う断層位置を設定した。

f) 走向θ

断層の走向は等水深線向きとほぼ同じであると定義できる。しかし、本研究で対象とするような半島内の地点においては波源の主向きによって津波高さの影響が大きく現れることが考えられた。そこで、図-4に示す計算領

域の長手方向を基本走向とし、津波進行方向が対象地点へ向く方向に10°・20°振った。

4. 津波伝播解析結果

(1) 津波高さ

各ケースにおけるマグニチュードと津波高さとの関係を図-5に示す。マグニチュードの大きさが大きくなると津波高さは大きくなる傾向は見られるものの、ばらつきは大きく、同じマグニチュードでも津波高さは大きく変化する。これは、マグニチュード以外の断層パラメータによる影響が大きいためと考えられる。

そこで、津波波源の大きさを表すものとして、地震発生時における断層近傍の最大水位変動量（初期水位変動量）を算出し、津波高さとの関係性を評価した。図-6に初期水位変動量と対象地点での津波高さとの関係を示す。

マグニチュードの場合と同様に、ばらつきは見られるものの、初期水位変動量が大きくなると津波高さは大き

表-2 断層パラメータの設定方法

パラメータ	設定方法・設定値
L (km)	式(1)・(2)から算出
W (km)	式(3)から算出
δ (°)	20, 40, 60
D (km)	式(4)・(5)から算出
λ (°)	90
d (km)	0.0, 2.5, 5.0
θ (°)	基本走向, +10, +20 (津波が大きくなる向き)
(N,E)	マグニチュードごとに設定

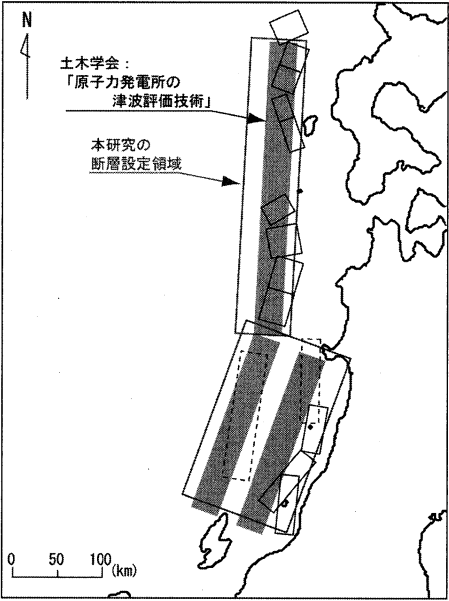


図-4 計算断層領域

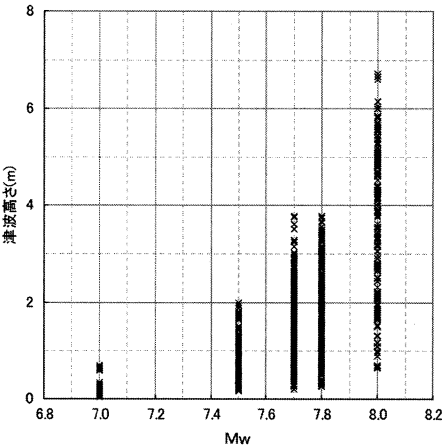


図-5 マグニチュードと津波高さ

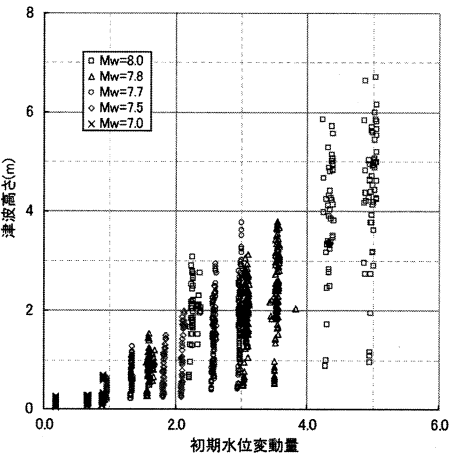


図-6 初期変動量と津波高さ

くなる傾向が明らかとなった。ばらつきの原因は対象地点と断層との平面位置関係、つまり断層パラメータの断層平面位置と走向、に起因するものと考えられる。

特定地点や施設を対象とした場合には、浅海域における浅水変形や局所的な地形による影響に左右されることが考えられる。図-7に、図-4に示した南側の領域のみの初期変動量と津波高さを示す。図-6に比べてばらつきは小さくなり、両者の関係が明瞭となった。北側の領域で津波が発生した場合においては、津波は北東および南西方向に伝播するため、断層の南東方向に位置する基地には津波は伝播し難い。また、特に今回対象の基地は半島の奥に位置するので、来襲する津波は半島を回折して伝播するため、距離が長くロスが大きくなる。このため北側の領域で発生した津波は初期水位変動量に対して津波高さが小さい傾向となり、ばらつきを増やす要因になると考えることができる。よって、津波予測を行う際には、断層との位置関係についてパラメータを広く振った計算を行う必要があると考えられる。

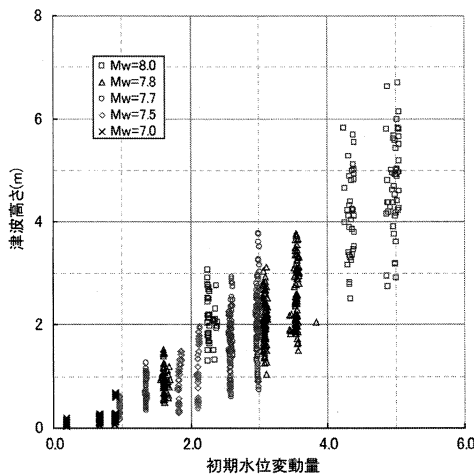


図-7 南側断層における初期変動量と津波高さ

(2) 第一波の来襲時間

次に、図-8に示すように断層までの距離と第一波到達時間の関係について考察を行った。なお、断層までの距離は、図-9に示す基地から断層面基準点までの距離 l_1 とした。また、第一波到達時間は津波発生から対象地点において水位が10cm上昇するまでに要する時間とした。第一波目の水位変動量のピークが10cmに満たないマグニチュードの小さいケースについては除いている。

断層までの距離が同じである場合でも、第一波到達時間には特に距離が長いときには大きなばらつきが見られる。これは、マグニチュードと断層面基準点が同じであっても、他の断層パラメータが異なる場合には波源の大き

さが異なるため、断層の大きさや初期変動量、津波伝播経路が異なるためである。そこで、断層までの距離を対象地点から断層外縁までの最短距離とし、北側の領域の断層については半島を回り込む距離を考慮した設定を行った(図-9の l_2)。図-10にこの最短距離 l_2 と第一波到達時間との関係を示す。

距離が長くなると到達時間は長くなり、マグニチュードが大きくなれば第一波到達時間は短くなる傾向が明瞭となった。断層までの距離が極端に近い場合や地震規模

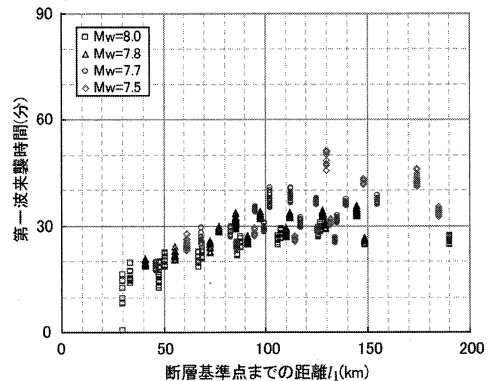


図-8 断層基準点までの距離と第一波到達時間

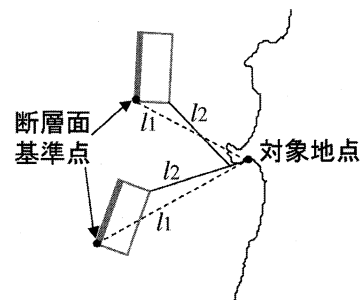


図-9 断層までの距離の設定方法

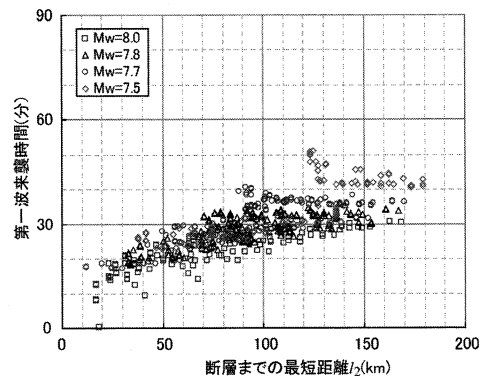


図-10 断層までの最短距離と第一波到達時間

が小さい部分では多少のばらつきは見られるものの、パラメータの変動によるばらつきは小さく、津波の来襲時間を予測する際には、図-9で定義した断層までの距離で概略評価が可能であることが分かった。

(3) 最大流速と流向

図-2の流速算出点での各ケースにおける最大流速値の水平方向成分を図-11に示す。最大流速値は、マグニチュードの大きさと相関はあるものの、他の断層パラメータによる影響が大きいと考えられる。震源情報に多少の不確定性がある場合には、最大流速値については大きく幅をもつことから、流速については断層パラメータを幅広く振った計算が必要であると分かった。

一方で流向は、パラメータによらず防波堤に沿った向きであることが分かった。防波堤近傍の海上施設においては、津波は概ね一定の流向となることから、震源情報が不確定であっても、津波の向きを予測して津波外力を想定することは可能であり、海上施設における津波被害想定や船舶避難の際に役立てられると考えられる。

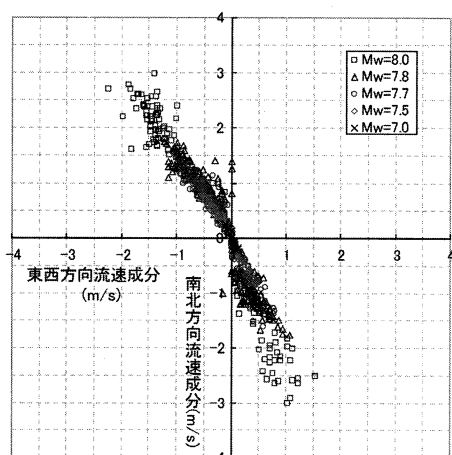


図-11 最大流速の各水平方向成分

5. おわりに

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

- 津波高さはマグニチュードや初期変動量と相関があるが、断層との位置関係に起因するばらつきがあり、パラメータを振った計算を数多く行っておく必要があることが分かった。
- 津波第一波の来襲時刻は、対象地点から断層までの距離によって概略評価することができ、他のパラメータによる影響は小さいことが分かった。
- 津波の流速最大値はマグニチュードとの相関があるが、ばらつきが大きいこと、防波堤の近傍においては流向が一定となる傾向があることが明らかとなった。
- 津波予測に必要なパラメータが津波の諸元に与える影響について検討を行った結果、上記の変動の範囲で津波予測を行うことが可能となった。

なお本研究は、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構からの委託業務「地中タンクに係る戦略的操業管理に関する技術検討(フェーズ2)―地中タンク長周期地震動に対する安全性評価業務」の成果の一部である。

参考文献

- 佐藤良輔(1989):日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, 390 p.
- 地震調査研究推進本部(2003): http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03jun_nihonkai/f02.htm, 参照2008-03-03.
- 鈴鹿陽・高橋智幸・松富英夫(2004):日本海東縁部で発生する地震津波に関する災害アセスメント, 第51回海岸工学論文集, pp. 1316-1320
- 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則―地震断層の影響および地震被害との関連―, 地震第2輯, 第51巻, pp. 221-228.
- 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術, pp. 2-67 - 2-73.
- Kanamori, H.(1977): The energy release in great earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No.20, pp. 2981-2987.