

2005年8月16日宮城地震による津波の波源域推定と再現計算

今村文彦,大垣圭一,越村俊一,阿部郁男
東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

要旨

沿岸などで観測された第一波の到達時間および波高などの津波データを利用して、津波の波源位置や広がり方を推定した。今回は断層を仮定し、その形状と位置を検討した。線形の波動伝播逆解析により、波源は想定宮城県沖地震の南側に位置していることが示された。断層の滑り量については、0.5 m程度が津波の記録を説明するには妥当であり、地震波解析の結果より、小さいことが示唆されている。

1.はじめに

2005年8月16日宮城県沖を震源とする地震(M7.1 気象庁)により津波が発生し、宮城・岩手県などの東北地方の太平洋沿岸では若干の潮位変動が観測された。本地震の震源は今後30年間の発生確率が99%とされる宮城県沖であり、想定宮城県沖地震との関連が注目されている。長谷川ら(2005)は観測された地震波の解析によって、想定宮城県沖地震との関連を調べているが、本研究では、沿岸で津波された検潮記録を利用して津波波源を推定し、想定宮城県沖地震との関連を調べることを目的とする。

2. 計算諸元

グリッドサイズ450mの地形データを使用し、2つの手法を用いて数値計算を行った。数値計算の第一手法として、津波波源推定のために波動伝播速度の原理を利用した波向線法により求める逆伝播手法を用いる。波向線法の支配方程式を(1)式に示す。

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{c} \left(\sin\theta \frac{\partial h}{\partial x} - \cos\theta \frac{\partial h}{\partial y} \right) \frac{\partial x}{\partial h} \quad (1)$$

ここで、 θ は屈折角、 c は波速、 s は波向線に沿った距離、 h は水深である。

また、数値計算の第二手法として、推定した断層モデルの検証のために津波伝播計算を行う。数値計算には、(2),(3),(4)式で示す非線形長波理論を leap-frog 法で差分化した。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (4)$$

ここで、 η は静水面から水位上昇量、 M, N は x, y 方向の流量フラックス(単位幅流量)、 $D (= h + \eta)$ は全水深、 g は重力加速度、 n は Manning の粗度係数として 0.025 を与え、時間間隔 1.0 秒、再現計算時間を 4 時間に設定し数値計算を行った。

各機関から提供を受けた検潮記録(釜石、釜石沖海底津波計、大船渡、気仙沼、志津川、鮎川、仙台、相馬)を津波観測波形として利用するが、沿岸部で観測された津波は数 cm と小さいために、津波到達時刻や水位の読み取りには誤差が含まれている可能性があるので注意が必要である。また、残念ながら、釜石沖海底津波計のデータには、地震直後に水位記録についての欠測部分があり、津波成分のみを抽出するために移動平均を取ったが、津波到達時刻の読み取りは不可能になった。

3. 逆伝播手法による津波波源推定

(1) 津波到達時刻(ゼロクロス)の逆伝播

各観測位置の津波観測波形の第 1 波ゼロアップクロス点を津波到達時刻として描いた逆伝播波面は、津波波源の端に接する。従って、複数の逆伝播波面を描くことにより、平面的に津波波源の位置を推定することが出来る。津波波源を推定した結果を図 1 に示す。この結果から、逆伝播波面が到達しなかった津波波源の南西側以外の領域を推定することが出来た。また、波源北側の広がり、釜石と大船渡の逆伝播結果のどちらを採用するかによって変わるが、仮に釜石の結果を採用した場合、津波波源域は想定宮城県沖地震(単独)よりもやや南側ということになる。

(2) 津波第 1 波ピーク時刻の逆伝播

各観測位置の津波第 1 波ピーク時刻を起点として描いた逆伝播波面は、海底面の最大隆起位置(初期水位分布の最大位置)に達する。逆伝播結果を図 2 に示すが、☆印は 9 個中 7 個の逆伝播波面が集まった位置、◇印は大船渡を除いた 6 個の逆伝播波面が集まった位置である。本地震の震源深さは 30-40km と深く、初期水位分布は滑らかな分布となると考えられるが、推定した津波波源域との関係から考えると、☆印が推定津波波源域の北西端付近に位置するのに対し、◇印は推定津波波源域のほぼ中央に位置するため、最大隆起位置として妥当な位置であると判断される。

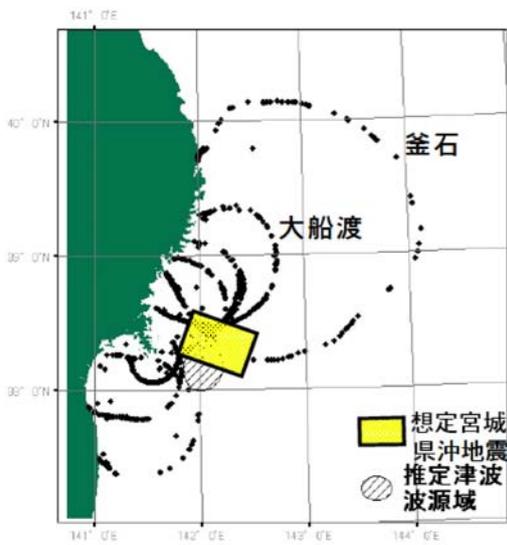


図 1. 津波到達時刻(ゼロクロス点)の逆伝播結果

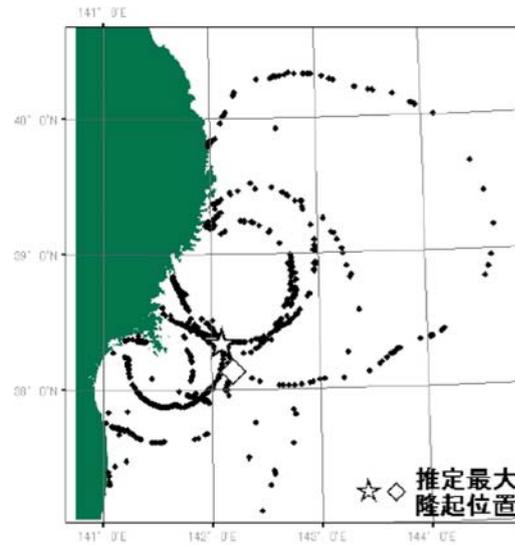


図 2. 津波第 1 波ピーク時刻の逆伝播結果

表 1. 断層パラメータ

	N(°)	E(°)	L(km)	W(km)	θ (°)	δ (°)	λ (°)	D(m)	H(km)
model-4	38.21	142.45	40.0	30.0	200	20	87	0.5	30.0
model-7	38.16	142.37	41.1	33.6	205	22	86	0.5	41.1

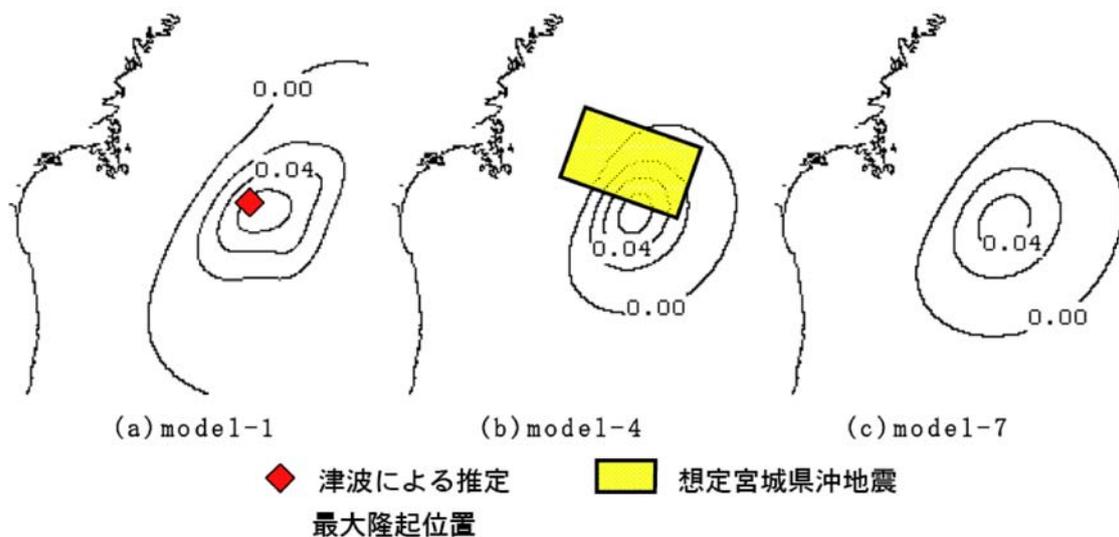


図 3. 各断層モデルの初期水位分布の比較(コンター0.02m 間隔)

表 2. 津波到達時刻の比較(単位:min)

	Kamaishi		Ofunato		Kesenuma		Ayukawa		Soma	
	arrival	1st-peak	arrival	1st-peak	arrival	1st-peak	arrival	1st-peak	arrival	1st-peak
observed	30	40	25	30	28	33	20	25	57	66
model-1	26	35	25	31	26	33	20	29	47	59
model-4	30	37	26	33	28	34	22	29	51	58
model-7	28	36	25	31	23	31	19	27	46	54

4. 津波伝播計算による断層モデルの比較

本研究の逆伝播解析結果や地震調査推進本部などによって行われた地震波解析の結果を参考にして、断層パラメータを設定し、津波伝播計算を行った。本研究では表 1 に示す 3 つの断層モデルを用いて、その結果を比較する。

model-1:100 個の副断層, 筑波大学八木氏による地震波解析の結果

model-4:1 枚断層, 本研究逆伝播解析結果を参考に設定

model-7:1 枚断層, 地震調査研究推進本部発表の断層モデルのすべり量を
1.95m→0.50m に変更した断層モデル

(1)初期水位分布の比較

3 つの断層モデルによって得られた津波初期水位分布を図 3 に示す。model-1 は波源域が広範囲にわたり、model-4,7 は model-1 より波源の広がり小さい。また、model-7 は model-4 よりやや陸寄りに波源が位置し、初期水位もやや小さい。

表 3. 津波波高の比較(単位:cm)

	Kamaishi		Ofunato		Kesenuma		Ayukawa		Soma	
	1st-peak	max	1st-peak	max	1st-peak	max	1st-peak	max	1st-peak	max
observed	3.8	4.4	3.4	3.4	9.6	9.6	6.8	6.8	5.7	6.4
model-1	5.6	11.6	5.6	5.6	8.0	8.0	8.6	8.6	4.9	5.7
model-4	4.0	10.6	3.4	4.6	6.4	6.4	11.9	11.9	5.2	6.1
model-7	2.8	7.1	3.3	3.7	4.1	4.1	5.4	5.4	4.4	4.5

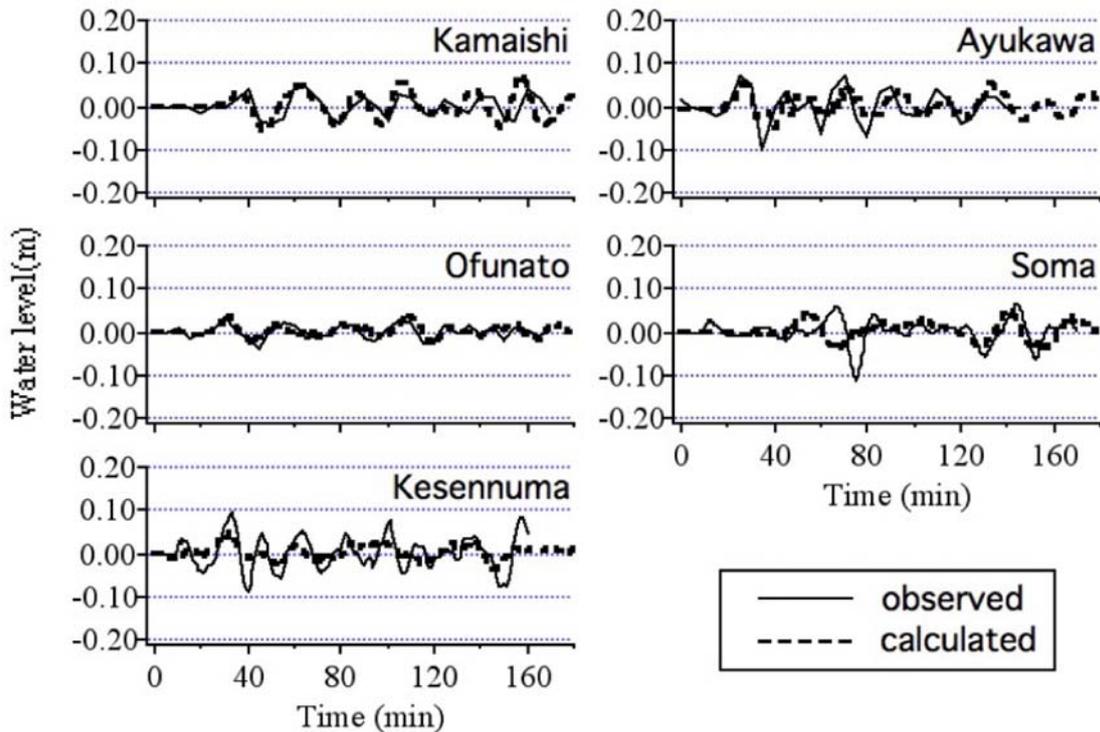


図 4. 津波時系列波形の比較 (model-7 の結果)

(2)津波到達時刻の比較

三陸沿岸の釜石、大船渡、気仙沼、鮎川、相馬における津波到達時刻の比較結果を表 2 にまとめる。どの断層モデルの計算においても、相馬の第 1 波到達時間を再現することはできなかったが、津波到達～津波第 1 波ピーク時刻の 1/4 周期は各モデルで良好に再現することができたため、津波波源の広がりには妥当であると考えられる。また、model-4 では相馬以外の津波到達時刻を比較的良く再現することができ、初期水位分布の北端と南端は逆伝播結果とよく一致していたため、波源の広がりが最も一致する断層モデルであると考えられる。一方、model-4 よりもわずかに陸寄りに位置する model-7 でも、各地点での津波到達がやや早いものの、良好な結果が得られた。

(3)津波波高の比較

三陸沿岸の 5 地点における津波波高の比較結果を表 3 にまとめる。大船渡、鮎川の波形は、断層モデルによる違いが小さく、津波挙動を良好に再現することができた。しかし、釜石では第 1 波と後続波が同程度の波高が観測されている点、また、気仙沼は鮎川より津波波源から離れた位置にあるが、鮎川より大きな津波が観測されている点の 2 点を説明できる断層モデルは得られなかった。図 4 には、時系列波形が比較的一致した model-7 によって得られた沿岸における時系列波形の比較結果を示す。model-7 では、大船渡、釜石、鮎川では波高や周期が良好に一致しているが、気仙沼での津波波高は観測値よりも小さく計算されている。

津波波高に大きく関係するすべり量に関し、本解析では津波伝播計算を行う際に、 $D=0.50\text{m}$

に設定したが、地震波解析による結果は $D=1.95\text{m}$ であり、4 倍程度の違いがあるため、これについて今後の検討が必要である。

5. まとめ

逆伝播手法を利用して津波波源域を推定した結果、今回の波源域は想定宮城県沖地震よりもやや南側の領域であることが分かった。また、全ての観測点での津波波形を再現する断層モデルを得ることはできなかったが、時系列波形が比較的良好に一致した断層モデルから計算された津波波源の広がり、逆伝播手法により推定した結果と良く一致した。

謝辞

本研究を実施するにあたり、筑波大学八木勇治助教授には、メカニズム解の情報を提供頂いた。さらに、気象庁、国土地理院、気仙沼市、志津川町から検潮記録のデータ、東京大学地震研究所の金澤敏彦教授、酒井慎一助手から釜石沖海底津波計の水位データ、宮城県総務部危機対策課から地形データを提供して頂いた。また、本研究の一部は文部科学省科学研究費突発災害調査(1780002)により実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

長谷川昭・海野徳仁・松澤暢・三浦哲・日野亮太・岡田知己・内田直希・河野俊夫(2005)
:2005年8月16日宮城県沖地震(M7.2)について—想定宮城県沖地震との関連, 第24
回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp43-44.
地震調査研究推進本部, 2005年8月16日宮城県沖の地震に伴う断層モデル(迅速解),
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05aug_miyagi/pl1.htm