

* 学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
 ** 正 会 員 工 博 東北大学教授 大学院工学研究科附属災害制御研究センター

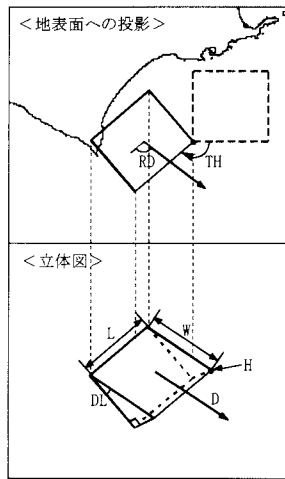


図-2 断層パラメータの定義

表-1 均一断層モデルの断層パラメータ

N (°)	E (°)	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)
42.05	144.64	92	90
走向 TH (°)	傾斜角 DL (°)	滑り角 RD (°)	深さ H (km)
230	23	114	15.7

行う。格子間隔は501 m, 時間間隔は1 s, ここでの再現時間は4時間とし, 差分化には staggered leap-frog 法を用いる。今回は, 格子間隔が比較的大きいこと実際の津波遡上範囲は非常に小さいことから, 遡上はせず完全反射の海岸境界条件とした。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{1/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{1/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで, η : 静水面からの水位上昇量, M, N : x, y 方向の流量フラックス, D : 全水深, g : 重力加速度, n : Manning の粗度係数を表す。粗度係数は通常の 0.025 を採用している。

3. 津波波源の解析結果

(1) 均一断層モデルによる検討

地震調査研究推進本部の断層モデルをもとに, 図-2 に示す走向, 断層位置, 断層長さ, 断層幅, 滑り量のパラメータ (佐藤, 1989) を変更して津波伝播解析を行い,

表-2 各地での検潮記録と解析結果 (滑り量) の比較

	検潮記録 (cm)	$D=4.8$ m (cm)	$D=4.1$ m (cm)	$D=3.4$ m (cm)
根室市花咲港	85.7	114.3	96.4	77.6
霧多市港	123.8	101.3	88.1	76.8
厚岸港	102.1	102.1	91.3	80.3
釧路港	100.5	151.4	130.5	109.3
十勝港	256.4	343.2	295.3	246.8
苫小牧東港	65.9	102.5	86.1	70.4
函館	77.9	59.3	51.4	43.2
遡上高に対する K 値		1.10	1.27	1.49
遡上高に対する κ 値		1.416	1.414	1.410
検潮記録に対する K 値		1.15	0.99	0.83

遡上高 $n=61$, 検潮記録 $n=7$

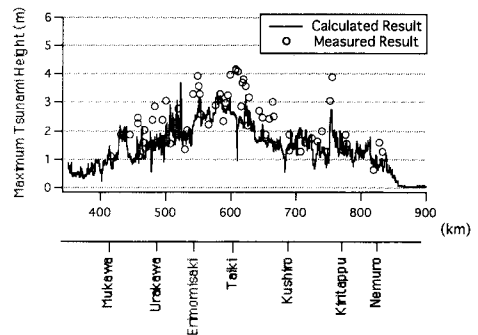


図-3 均一断層モデルによる最高水位分布

沿岸での最高水位と実測値を比較し, 相田の K, κ を用いて解析結果の評価を行った。滑り量に対しては検潮記録 (最大振幅) を, その他については, 数多く得られた潮位補正後の遡上高記録 (Tanioka ら, 2004b) を用いた。今回は, 数値解析において遡上を再現することは大変困難であり, かつ, 検潮記録が入手可能な場合には実測値と解析結果の水位を比較できるため, この方法は合理的であると言える。各パラメータに対して2~4種類の値を仮定し, 走向, 断層位置, 断層形状, 最後に滑り量の順で, 最も良好なモデルを選定していった。表-1には推定した均一断層モデルのパラメータ (断層位置, 断層面形状) を示す。

また, 滑り量 D の検討結果を表-2に示すが, $D=4.1$ m のモデルで最良な K 値が得られ, 遡上高に対して $K=1.27, \kappa=1.41$ であった。調査で得られた遡上高と均一断層モデルの最高水位分布の比較を図-3に示す。図-3は横軸に海岸線の延長距離をとったグラフであり, 解析結果の水位分布が襟裳岬付近をピークとした遡上高分布の特徴を良好に説明できる。ただし, 厚岸などでは計算値が過小評価である。

(2) 不均一断層モデルによる検討

近年, アスペリティーなどの考えが受け入れられ断層の不均一性が議論されるようになってきた (Tanioka ら, 2004a)。ここでも, 均一断層モデルを図-4のように

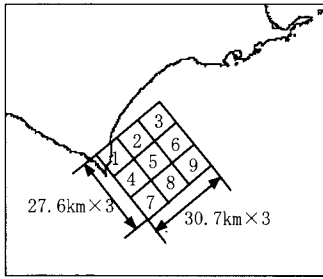


図-4 不均一断層モデルの滑り量分布

表-3 不均一断層モデル滑り量

	D1 (m)	D2 (m)	D3 (m)	D4 (m)	D5 (m)	D6 (m)	D7 (m)	D8 (m)	D9 (m)	遡上高に対する κ	検潮記録に対する K
model 1	3	3	3	4	6	5	1	5	5	1.4107	1.20
model 2	3	3	3	4	6	4	2	5	4	1.4100	1.10
model 3	4	3	2	4	6	5	2	5	5	1.4104	1.17
model 4	3	2	3	4	5	4	1	4	4	1.4104	1.03

遡上高 $n=61$, 検潮記録 $n=7$

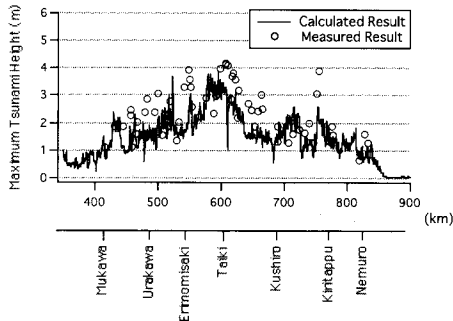
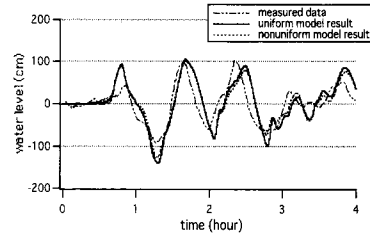


図-5 不均一断層モデルによる最高水位分布

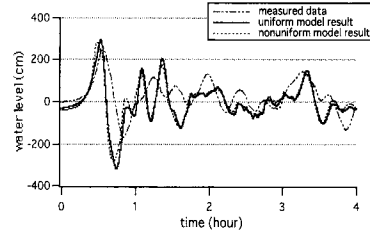
9 分割し、それぞれの滑り量の大きさを設定したものを不均一断層モデルとして検討を行った。滑り量以外のパラメータについては均一断層モデルの値を用いて解析を行った。表-3 に示すような 4 種類の分布を 7 地点の検潮記録の値（東側の値が大きい）を見ながら試行錯誤で仮定し、滑り量分布の推定を行った。

その結果、表-3 に示すように model 4 が最もよい値を示し、遡上高に対して $\kappa=1.41$ 、検潮記録に対して $K=1.03$ となり、断層の東側でのすべり量は大きい傾向はあるものの、西側と大きな差は無いことが分かった。これは Hirata ら (2004) の結果と傾向は同じであるが、本モデルの方が東端の断層の広がり小さく、かつ西側断層の滑り量が大きいことになる。不均一断層モデルにおける最高水位分布を図-5 に示す。図-3 に示された均一モデルと大きな差はない。

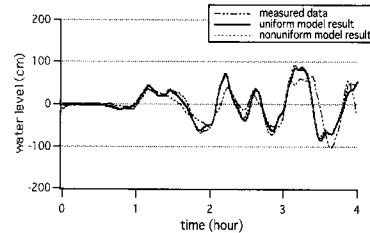
代表的な 3 点において時系列波形を図-6 に示す。均一断層モデルと不均一断層モデルではほぼ同様の波形が



(1) 厚岸



(2) 十勝港



(3) 苦小牧東港

図-6 検潮記録と計算結果の比較

得られ、検潮記録と比較しても周期、波高ともに十分良好な結果が得られた。波源に対して西側に位置する苦小牧では、第 1 波の波高は小さく、第 2 波以降大きくなるという境界波的な挙動を示しており、これも本モデルで良好に再現されている。ただし、7 地点のうち十勝港でのみ、検潮記録と解析結果の第 2 波以降において、異なる波形を示した。他の 6 地点はほぼ同じ波形を示していることから、この付近では波形を変えるような原因が存在していると考えられる。

(3) 津波第 1 波（押し波）の到達時間

さらに、波源モデルの妥当性確認のために、津波の初動について比較検討を行った。解析領域内にある気象庁の検潮所で観測された第 1 波と不均一断層モデルでの第 1 波の到達時間を図-7 に示す。室蘭の数値は引き波の到達であるため数値が異なるが、検潮記録から読み取った押し波の到達時間は計算結果とほぼ一致している。その他の地点においても到達時間を良好に再現することができた。

(4) 津波の特性

以上の検討で、本モデルの妥当性が示されたと考え、

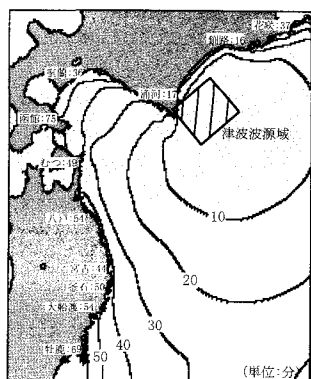


図-7 津波第1波の到達時間

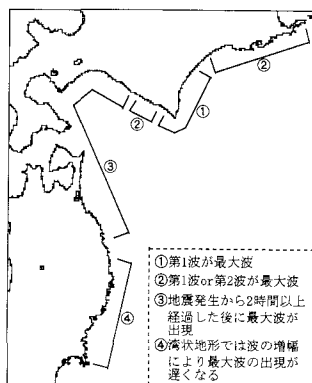
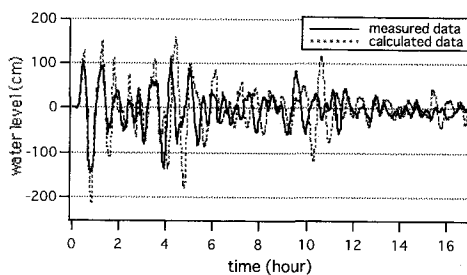


図-8 最大波の出現

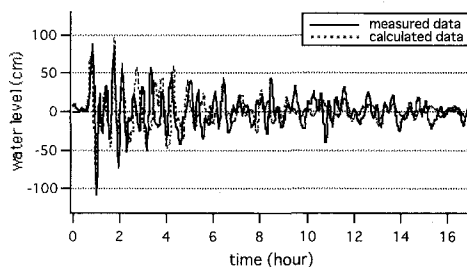
これからは数値モデルで得られる津波の特性について議論を行う。

まず、図-8には最大波の出現時間を示す。波源に近い沿岸では、直接来襲した第一波が大きく、その周辺でも、第1、2波目の波高が顕著であった。ただし、時間経過に伴って波高は減衰する訳ではなく、大きな包絡線を有して、振動は長時間継続していた。さらに、北海道門別町～岩手県久慈市付近までは、後続波の方が大きく、地震発生から2時間以上も経ってから最大波が出現している。典型的な境界波の挙動である。三陸沿岸では、境界波としての挙動特性は見られず、湾によっては固有振動現象が見られた。

図-9に検潮記録と解析結果の比較を示す。解析結果の時系列波形は時間経過とともに検潮記録と多少の位相のずれはあるが、振幅は良好に再現できた。また、解析結果の波形は、検潮記録と同様になかなか水位が低下せず、十分に時間が経過した後で急に水位が高くなることも示している。これらの特徴は、北海道の太平洋岸のような大陸棚の地形で発生しやすい境界波の特徴と一致し、本津波では境界波が発生していたと考えられる。こ



(1) 釧路港



(2) 花咲港

図-9 検潮記録と数値計算結果の比較

れらの結果から、現在の数値モデルで境界波のような特殊な波を示すことが可能であり、従って、長時間の再現計算も十分可能であることが分かった。

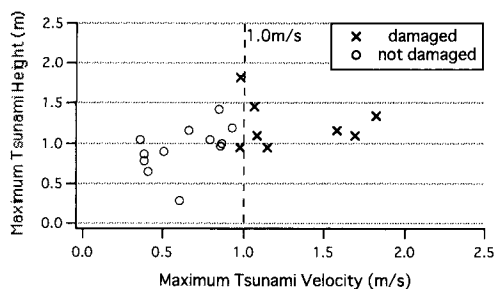
4. 津波被害分析

表-4には、今回の津波による水産被害をまとめている。最大波高としては2-4 m程度の中規模津波であったため、大きな被害はなく被害額も前回(1983, 1993年)の1/10程度であった。ただし、波源から離れた岩手・宮城においても、養殖関連の被害が報告されている。

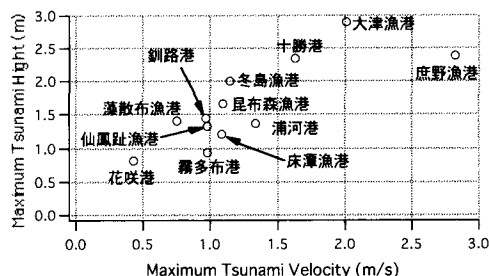
特に、沿岸部では、北海道4地点、岩手県4地点においてホタテ、カキなどの養殖物に被害が及んだ。養殖筏は津波の流速によって被害を受けると考えられ、永野ら(1989)により流速1.0 m/sを越えると被害が出始めることが示されている。今回被害の発生した8地点と三陸沿岸で被害のなかった12地点の計20地点で流速、波高(解析結果)との被害関係を検討した結果、図-10に示す

表-4 各地での水産被害

	箇所	被害額 百万円	備考
北海道	158	1,208	漁船、漁港施設、共同利用施設、漁網
岩手	24	433	水産施設(特に養殖筏)、漁船
宮城	2	95	気仙沼、唐桑(カキ・ホタテ養殖筏、養殖物)
北海道南西沖	5町村	13,677	漁港、漁船、共同利用施設、漁具など
日本海中部	157	13,295	漁港、漁船、共同施設、漁具



図—10 養殖施設の被害



図—11 各地での被害漁港

ように流速 1.0 m/s 付近から被害発生の可能性のあることを確認した。

図—11 には、北海道における漁船被害の発生地点を示している。漁船の大きさ・種類、被災率などは考慮していないが、船外機船などの小さな船では波高 1 m 程度で波に飲み込まれる可能性がある(花咲を除く)。この結果は山本ら(1985)が日本海中部地震津波の際に、得られた結果と一致している。

5. 結 論

2003 年十勝沖地震の津波波源を推定したが、本津波の波源は 1952 年十勝沖地震の波源のおよそ西側 2/3 の範囲と重なり、残りの東側 1/3 の部分はエネルギーが解放されていないことが分かった。波源となった部分でも、当初、研究機関において推定されていた滑り量の 4.8 m より小さい可能性がある。また、17 時間の再現計算を

行った結果、北海道太平洋岸の地形的特徴に伴う境界波が発生していたと考えられる。また、その影響の大きい地域も特定することが出来た。そして、今回の津波で最も被害の大きかった養殖関連の被害について検討し、永野らの被害発生条件を再確認することが出来た。

謝辞：この研究の一部は、文科省振興調整費、科研費基盤 (B) (2) (12574016) の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 大垣圭一・今村文彦 (2004): 2003 年十勝沖地震による津波の波源数値解析, 平成 15 年度土木学会東北支部技術研究発表会, pp. 138-139.
- 佐藤良輔 (1989): 日本の地震断層パラメーターハンドブック, 鹿島出版, pp. 218-219.
- 永井紀彦・小川英明 (2004): 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震津波波源の特性, 港湾空港研技研資料, No. 92 p.
- 永野修美・今村文彦・首藤伸夫 (1989): 数値計算による沿岸域でのチリ津波の再現性, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 183-187.
- 永田祐一郎・高橋智幸 (2004): 2003 年十勝沖地震津波の現地調査と数値解析, 平成 15 年度土木学会東北支部技術研究発表会, pp. 136-137.
- 山本正昭・中山哲蔵・坂井 淳・三橋宏次 (1985): 日本海中部地震津波による漁港内の漁船被害, 第 32 回海工講演会論文集, pp. 460-464.
- Hirata, K., Y. Tanioka, K. Satake, S. Yamaki, and E. L. Geist (2004): The tsunami source area of the 2003 Tokachi-oki earthquake estimated from tsunami travel times and its relationship to the 1952 Tokachi-oki earthquake, Earth, Planets, and Space, 56, pp. 367-372.
- Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki, and S. Ide (2004): Joint inversion of strong motion and geodetic data for the source process of the 2003 Hokkaido earthquake, Earth, Planets, and Space, 56, pp. 329-334.
- Tanioka, Y., Y. Nishimura, K. Hirakawa, F. Imamura, I. Abe, Y. Abe (2004a): Tsunami run-up heights of the 2003 Tokachi-oki earthquake, Earth, Planets, and Space, 56, pp. 359-364.
- Tanioka, Y., K. Hirata, R. Hino, and T. Kanazawa (2004b): Slip distribution of the 2003 Tokachi-oki earthquake estimated from the tsunami waveform inversion, Earth, Planets, and Space, 56, pp. 373-376.