

津波を説明するための北海道南西沖地震断層モデル

高橋 智幸*・首藤 伸夫**・今村 文彦***・Modesto Ortiz****

1. はじめに

1993年7月12日午後10時17分、北海道の南西沖で発生した地震は大津波を伴い、奥尻島西岸で局所的ではあるが、31.7メートルという国内では今世紀最大の打ち上げ高を発生した。失われた人命被害は200人を越え、津波による家屋流出に加え、奥尻島南端に位置する青苗では火事さえ発生し、大きな被害が生じた。断層運動に関しては、地震直後にハーバード大学のCMT解が発表され、その後も様々な研究者や研究機関から種々の断層パラメーターが公表されたが、そのどれも大きく異なるなど、この断層運動の詳細についての定説はまだない。

ここでは、津波を説明することを主目的とするならばどのような断層運動が望ましいかを検討する。

2. 津波再現にあたっての留意点

津波の記録としては、津波到達時間の聞き取り調査記録、痕跡記録、及び潮位記録が利用できる。ただし、波源近くにある潮位計は、北海道本島の岩内、江差の2箇所しかなく、江差は途中で記録が中断されている。さらに現段階では、両者とも検潮井戸の水理フィルター特性が不明で、記録の較正が出来ていないという難点がある。したがって、主に聞き取り調査や痕跡記録との比較を重視せざるを得ない。痕跡記録などの詳細については首藤他(1994)を参照されたい。

以下に、津波波源モデルを構成して行く上で重視した現象や考え方を述べる。

(1) 波源が近かったため、奥尻島では最大で1メートルに近い地盤沈下が生じている。波源が島に及んでいる部分では、波源モデルによる地盤変位が実測値を説明できなくてはならない。

(2) 聞き取り調査、水没した時計、潮位記録などから、津波の到達時刻が推定できるが、波源位置はこの到達時刻を説明できる場所ではなくてはならない。

(3) 波源モデルの基礎となる断層の平面的位置は、

余震分布と一致しなくてはならない。

(4) 波源モデルの基礎となる断層の鉛直構造は、余震の鉛直分布と矛盾してはならない。

(5) 津波が押しで始まるか引きで始まるかについては、潮位記録や聞き取りの結果と一致する必要がある。

(6) 奥尻島の南東部で、津波からは岬で遮蔽された位置にある初松前での20mにも達する高い打ち上げ高を再現できなくてはならない。これは断層の走向と大きな関係がある。

(7) 奥尻島藻内の北で生じた31.7mの最高打ち上げ高は、ごく局所的な現象である。長さ250mの、後ろに海崖の迫った礫浜に流れ込む、入口で幅50mの狭い谷の奥で生じたものであるから、これを再現するには5m程度のきわめて小さい空間格子を必要とする。

3. 地震情報に基づく断層モデル

図-1に、6つの断層モデルによる津波初期波形を示す。ハーバードの解は二つ提示されたが、ここでは高角西下がり断層に対応するものを示してある。いずれの図でも実線は隆起、点線は沈降の等高線である。こうした違いは、どの観測地点の地震記録を使ったか、どの周波数帯に注目したか、どの時期までの情報を使用したかによって生じたものである。同一の断層運動であるにも関わらず、これだけの解が地震記録から得られ、その良否の決め手はまだ無い。

図-2に、余震分布(北大他, 1993)を示す。図中の印は余震の位置である。左の図に、区間AからIまでのそれぞれについて、余震の鉛直分布が示されている。C, F, Gでは断層面は西下がりのように見えるが、B, D, Eなどではどちら下がりも卓越するの判断としない。このように、北海道南西沖地震を起したプレート境界では、まだプレート潜り込みの形式が確定していないように思われる。

4. 数値計算の方法

津波数値計算対象の区域は、東経138°30'~140°33'、北緯40°31'~43°18'の範囲である。

津波数値計算は2種類行った。まず、波源の大体の良

* 正会員 工修 東北大学助手 工学部災害制御研究センター
 ** 正会員 工博 東北大学教授 工学部災害制御研究センター
 *** 正会員 工博 アジア工科大学助教授
 **** Depto. Oceanografía/CICESE, Mexico

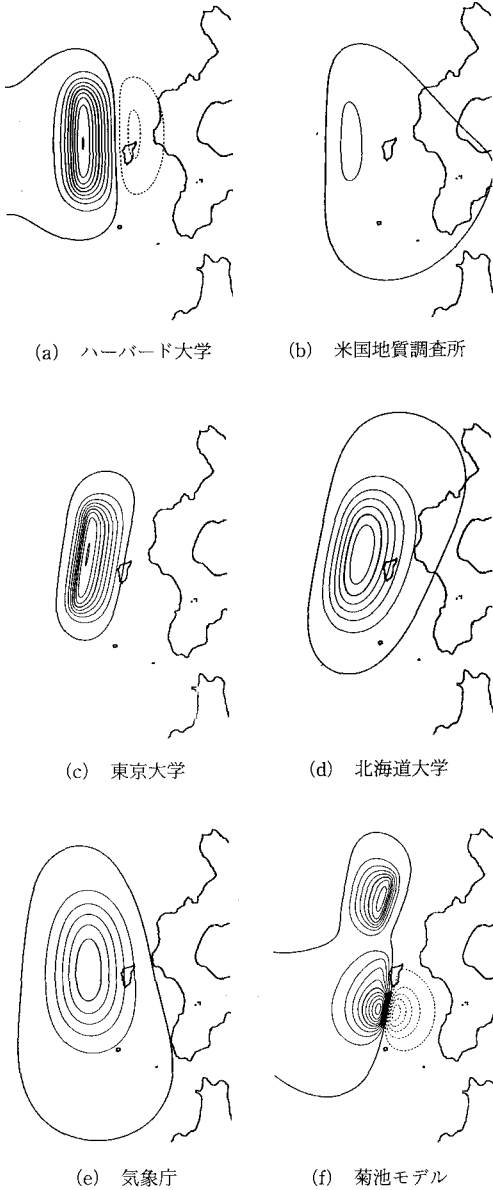


図-1 津波初期波形

表-1 DCRC-17aの断層パラメータ

Fault	North	Center	South
$M_0 (\times 10^{27} \text{ dyne}\cdot\text{cm})$	3.85	0.56	2.21
Total : 6.62×10^{27}			
Width (km)	25	25	25
Length (km)	90	30	24.5
Depth (km)	10	5	5
Strike (°)	188	175	163
Dip angle (°)	35	60	60
Slip angle (°)	80	105	105
Dislocation (m)	5.71	2.50	12.00

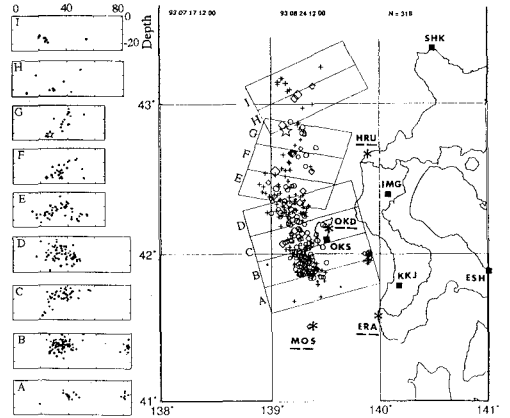


図-2 余震分布

否を判定するための概略計算と、試みた波源の中で最良と判断されたものについて実施した詳細計算とである。

概略計算では、線形長波理論を使用し、陸側境界では完全反射条件を設定した。空間格子は450 m, 時間格子は1秒である。

詳細計算は、最良と認められた DCRC-17a に対して適用された。摩擦を含む浅水理論を、打ち上げ境界条件と共に適用した。空間格子は領域 A で450 m, 領域 B で150 m, 最後の領域 C で50 mとした。時間格子については1秒である。

5. ハーバードの解による津波

ここでは地震情報に基づく断層解のうち、代表的なものとしてハーバードの解を取り上げることとする。図-1(a)に示したように、単純でありながら奥尻島の沈降をも比較的よく表現しており、また地震直後に他の解に先駆けて発表されたものである。

図-3に津波フロントの位置を折れ線で示す。付加し



図-3 ハーバード解による津波フロント

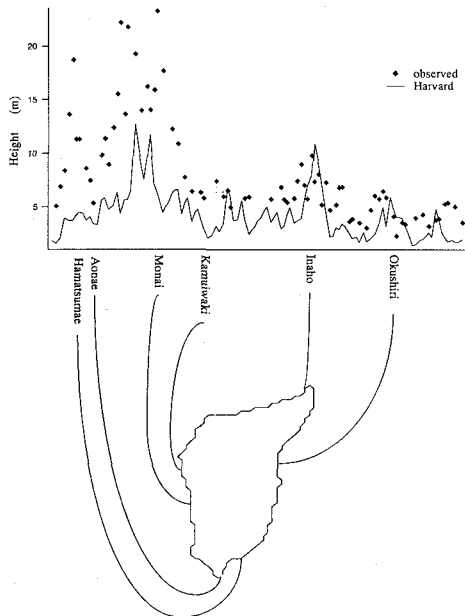


図-4 ハーバード解による奥尻島での打ち上げ高

た数字は発震後の時間で、単位は分である。奥尻島南端の青苗には7分で到達しており、経験された津波の4、5分には比べて遅れている。このフロントにより、津波が島の背面へ回り込んで行くことが判る。

図-4に、奥尻島周りの津波打ち上げ高を、計算結果(実線)と実測値(黒印)とで比較してある。初松前で計算値が余りにも小さすぎる結果が判る。

図-5に、北海道西岸での比較を示す。瀬棚付近より南では良くあっているが、北では計算値が小さすぎる結果となっている。

6. DCRD-17a による奥尻島での津波

当初、2枚断層のモデルから出発したが、改良を重ね、現時点でたどり着いたのが、このモデルで、その断層パラメーターを表-1に示す。北、中央、南の3枚の断層から成り立っているが、中央断層は幅・走向とも南断層と同じであるから、実は2枚の断層で、その内の一つはズレ量が不均質な断層であると見なしても良い。この中央の断層を導入したのは、奥尻島西岸神威脇から稲穂へかけての崖海岸での打ち上げ高再現に、調整が必要であったためである。

図-6にこのモデルによる地盤変位を示す。奥尻島の南端で1mに近い沈降、北端で40cm程の沈降で、図-7の様に実測値(熊本他、1993)と非常に良く一致している。

図-8に、津波フロントの時間的経過を示す。青苗に到

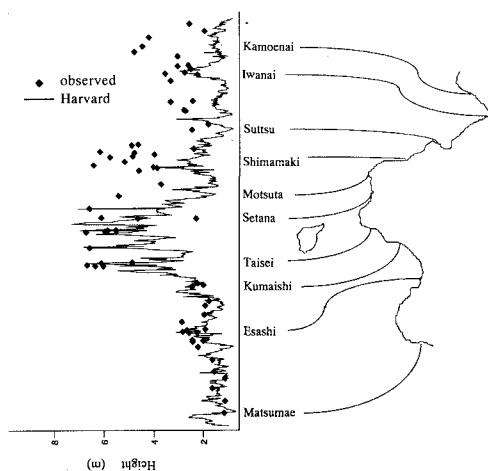


図-5 ハーバード解による北海道西岸での打ち上げ高

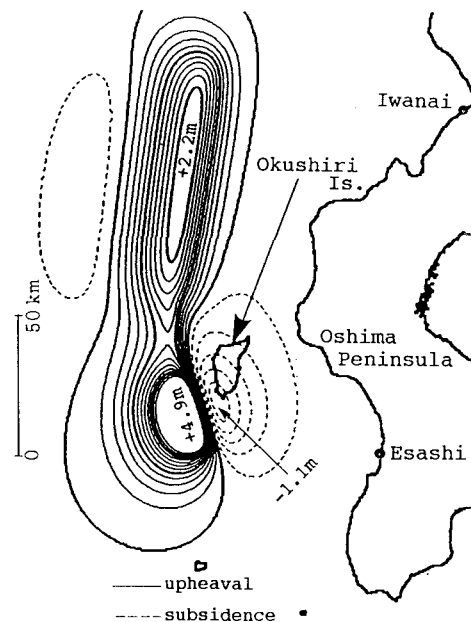


図-6 DCRD-17a による地盤変位

達するのが、発震後4.5分で、経験されたものと良い一致を示す。この図と図-3とを比較すると、奥尻島南方の海上でDCRD-17aの方が回り込み方が大きいことが判る。これは、ここにある奥尻海脚の効果と断層走向(つまりは津波入射方向)の影響で、屈折現象によるものである。

図-9に、奥尻島での打ち上げ高を計算値と実測値とで比較してある。図-4に比べ両者の一致が良いことが判る。藻内周辺の、細かな地形を取り入れなくてはならない場所を除くと、その一致度は大いに改良された。

初松前周辺でも、打ち上げ高分布形状は実測値に近く

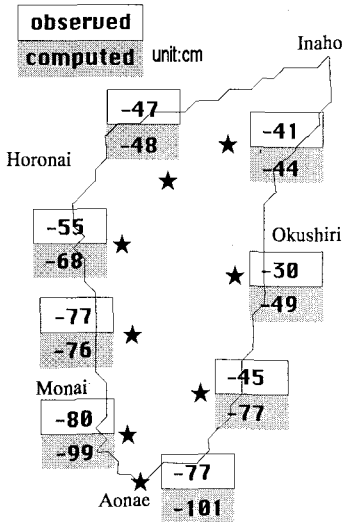


図-7 DCRC-17aと実測による奥尻島での地盤変位

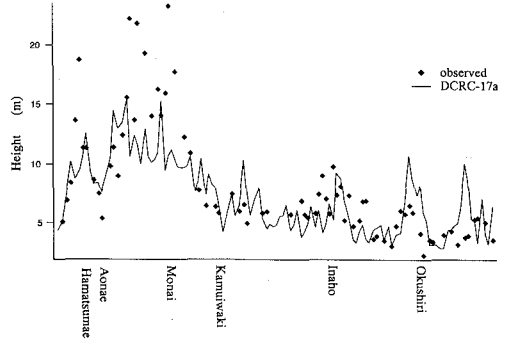


図-9 DCRC-17aによる奥尻島での打ち上げ高

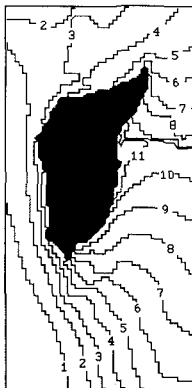


図-8 DCRC-17aによる津波フロント

なった。ただ、ここでの実測最大値 (19 m) には、まだ及ばない結果であり、その原因については陸上地形や津波痕跡の性格なども含めて今後の問題である。

図-10は、相田の指標の分布を示す。全体としては $K=1.05$, $\kappa=1.47$ であり、分散に関してはまだ改良の余地があると考えられる。

7. DCRC-17aによる北海道西岸での津波

図-11に、北海道西岸での打ち上げ高分布を示す。ただし、これは概略計算の結果である。ハーバードの解に比べ、瀬棚付近より北では実測値と一致するが、南では計算値が大きすぎる結果となった。

図-12(a), (b)に江差、岩内での潮位記録と比較してある。江差では到達時刻が大体一致し、小さな引き波で始まるなど、同じ傾向となった。岩内では計算の方がか

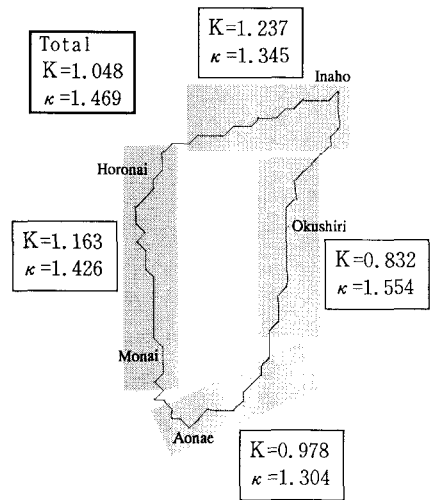


図-10 DCRC-17aによる相田の指標

なり早いこと、実測値より周期の短い卓越波が計算されたなどの相違点がみられた。もっとも、岩内近傍の流速計では津波到達時間は計算されたものとはほぼ一致するなど、潮位記録そのものの再検討が必要と思われる。

8. 今後の問題

奥尻島に関しては、かなり満足できる計算結果を得ることが出来た。しかし、最高打ち上げ高 31.7 m の再現には、もっと詳細な地形図を基にした、きわめて細かい空間格子を使用した計算が必要である。

奥尻島南部の打ち上げ高を満足する波源解が、その東の江差周辺の海岸では大きすぎる計算結果となる矛盾をどう解決するのか、今後の問題である。

今回の計算は、おもに中央断層、南断層の影響が大きい地域に注目して行なったので、北断層についての改良は今後の問題として残された。北断層を改良すると、奥尻島北部や東岸にもその影響が出て来るので、東岸での

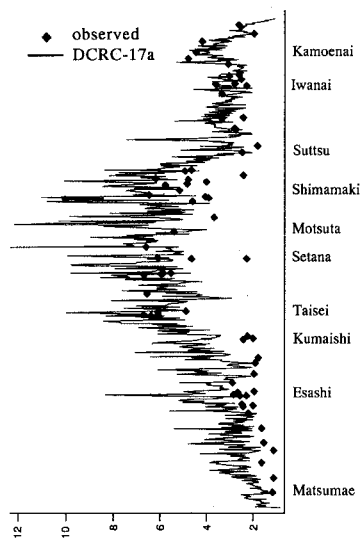


図-11 DCRC-17aによる北海道西岸での打ち上げ高

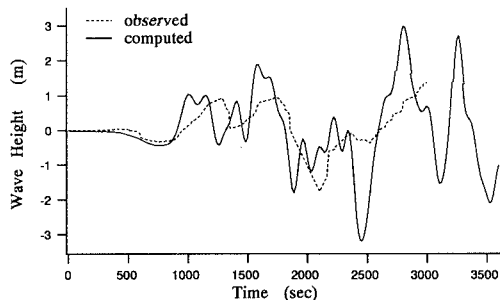
K値は1に近づく方向で改良されるであろう。

北海道西岸瀬棚周辺で経験された津波到着時刻は、DCRC-17aによる計算値より早く、断層運動によらない津波発生もあったかも知れない。

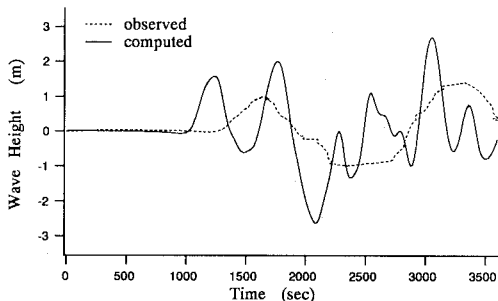
また、潮位記録のみならず、流速計記録をも使用して、北海道西岸での津波波形を精査する必要性も残っている。

こうした事を含めて、この次の課題は、北断層の改良である。

謝辞：本論文の公表にあたっては小川記念基金の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。



(a) 江差



(b) 岩内

図-12 DCRC-17aと潮位記録の比較

参 考 文 献

熊木洋太, 木佐貫順一, 大谷知生, 小野康, 梶川昌三(1993): 海岸地形変化等からみた北海道南西沖地震時の奥尻島の地殻上下変動, 日本地震学会講演予稿集, 1993年度秋期大会, p. 63.
 首藤伸夫, 松富英夫, 卯花政孝(1994): 北海道南西沖地震津波の特徴と今後の問題, 海岸工学論文集, 第41巻(印刷中).
 北大理予知セ, 東北大理予知セ, 東大震研地震移動班(1993): 1993年7月12日北海道南西沖地震の余震の震源分布, 日本地震学会講演予稿集, 1993年度秋期大会, p. 15.