

津波に先行する海面変動の特性に関する 解析的研究

大町達夫¹・井上修作²

¹正会員 工博 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授 (〒226-8502 横浜市緑区長津田 4259)

²非会員 修(工) 東京工業大学大学院総合理工学研究科 博士後期課程 (同上)

新しい津波早期検知手法を開発するために津波第一波に先行する海面変動(以下、津波先行波と略称)に着目した。まず、津波先行波の特性を調べるために、二次元モデルを用いて動的津波解析を行った。この結果から、津波先行波が、地震動による地盤変位によって励起され、津波に比べ格段に早く伝播することが明らかになった。次に、津波を発生させる海底地盤の隆起体積と、津波先行波を発生させる動的地盤変位の関係を調べるために、断層パラメータを変化させ動的地盤解析を行った。そして、地盤の隆起体積と動的最大変位の関係を調べることで津波検知の可能性について検討した。

Key Words: tsunami, ground displacement, wave height, fault parameter, near field

1. 背景と目的

現在の津波警報システムは警報発令まで最速でも3～5分の時間を要する。そのため、1993年北海道南西沖地震のような近地津波(約5分で津波到達)に対しては時間的に余裕がない。

本研究では、現在の手法とは異なる新しい津波早期検知手法を開発するために津波第一波に先行する海面変動¹⁾(以下、津波先行波と略称)に着目する。

図1に示すのは、1983年日本海中部地震のときの深浦検潮所で観測された波高記録である。地震発生時刻(11:59)とほぼ同じ時刻に両振幅約44cmの海面変動が見られる。この後約7分後に津波第一波が到来し、その後も非常に長い周期の波が記録されていることが分かる。

このような津波に先行する海面変動は検潮記録や目撃証言も存在するのだが、従来の解析手法ではこの海面変動を表現することができなかったために津波に関するいくつかの謎の一つになっていた²⁾。

本研究では震源断層-地盤-流体系における厳密な解析を行うことで津波に先行する海面変動の特性を調べ、この海面変動を利用した津波検知の可能性について検討する。

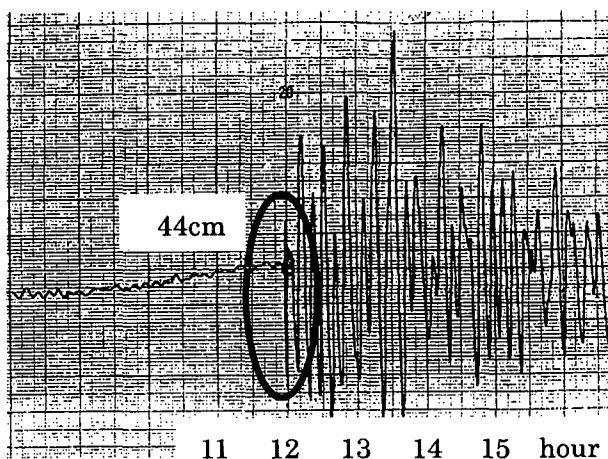


図-1 1983年日本海中部地震で得られた深浦検潮所の波高記録

2. 解析手法

従来の津波解析では、震源断層モデルを用いて計算される海底地盤の永久変位の鉛直成分を海面上に津波初期波形として与え、津波の伝播計算には長波近似理論を用いてきた。

本研究では、断層運動に伴い発生する動的な地盤変位を時々刻々流体の底部に入力することで津波を発生させる、より厳密な解析手法を用いる。具体的

表 1 解析に用いた断層パラメータ

静的パラメータ	
断層上端深さ	1 km
すべり量	4 m
断層幅	66 km
傾斜角	60 度
動的パラメータ	
破壊伝播速度	3 km/s
ライズタイム	5 s

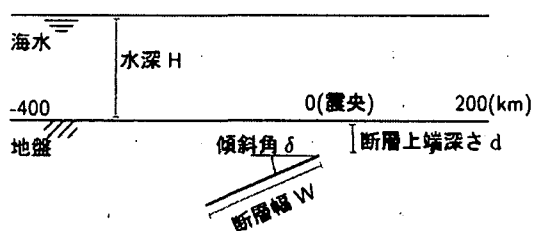


図 2 解析モデルとパラメータ

には海底地盤と海を非結合系でモデル化し、海底地盤の変位時刻歴を境界要素法により求め³⁾、それを海底部に入力し、流体部分を差分法により計算することで行う。流体の解析には、Navier-Stokes方程式を採用し、流体の圧縮は音速を考慮した限定圧縮として取り扱う。

3. 地震動により励起される海面変動

津波に先行する海面変動の特性について調べるために2次元モデルを用いて津波解析を行った。今回用いる解析モデルと断層パラメータを図2と表1に示す。この断層パラメータはM8クラスの地震を想定して設定した。破壊は上端から開始し下方に破壊が伝播する断層モデルである。水深は一様3000mで、流体の側方境界条件は完全反射としている。

解析結果が図3である。横軸は震央からの距離を表している。地震発生時刻を0sとし、時刻20sから100sまでの地盤変位と波高が、20s間隔で時間毎に示されている。鎖線が地盤変位を、実線が波高を表している。

時刻20sは、断層運動がほぼ終わりかけている時間である。このとき-50~0kmで地盤が隆起し、それに伴って海面が上昇している。鎖線が実線と重なっているが、右側に地盤の永久変位とは異なる地盤変位が伝播しており、水面波も地盤変位とほと

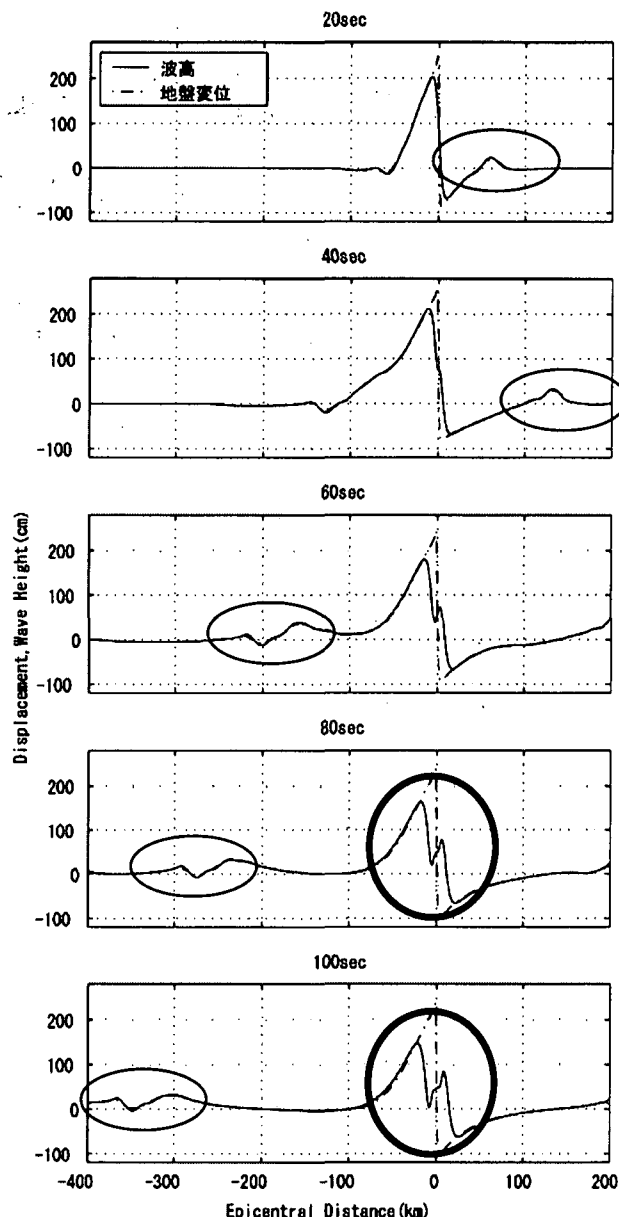


図-3 地盤変位と海面波形のスナップショット

んど同位相で伝播している。

時刻40sで今度は左側からも永久変位とは異なる地盤変位が伝播していく。このときも水面波は地盤変位とほとんど同位相で伝播している。左側に伝播していく地盤変位は山が二つ存在しており、これらの伝播速度約3.6km/sで逆算すると二つの時間差は約15sとなる。破壊継続時間と断層の広がりを考慮すると、これは破壊はじめと破壊終わりに発生したものだと考えられる。

時刻80s, 100sで後からゆっくり伝わってくるのが津波である。伝播速度は約170m/sで重力と水深で決まる長波の伝播速度(=171.5m/s)と一致している。

以上の結果から津波に先行する海面変動は、津波に比べ高速で伝播する地盤変位によって励起される波動であると考えられる。

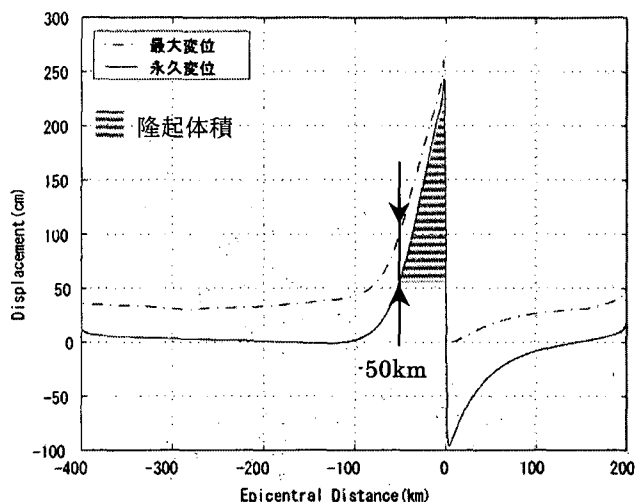


図-4 海底地盤の変位分布と最大変位分布

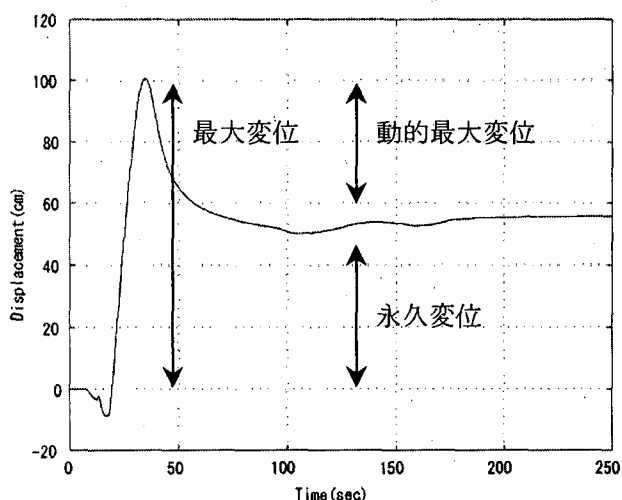


図-5 海底地盤の変位時刻歴波形

4. 断層パラメータが地盤変位に与える影響

津波に先行する海面変動は地盤変位によって励起されることが分かった。そこで、本節では津波に先行する海面変動にかわり、それを励起させる地盤変位について調べる。

(1) 隆起体積と動的変位の定義

地震動は、震源特性・伝播特性・増幅特性によって決まる。均質地盤では、地震動に最も大きな影響を与えるのが震源特性である。本研究ではこの震源特性が地盤変位と津波の発生原因となる地盤の隆起体積に与える影響について解析的に調べる。

従来の津波警報では時間的に余裕のない波源域においての地盤変位と隆起体積を求めるのだが、波源域では永久変位が残るため、地盤の隆起体積と、津

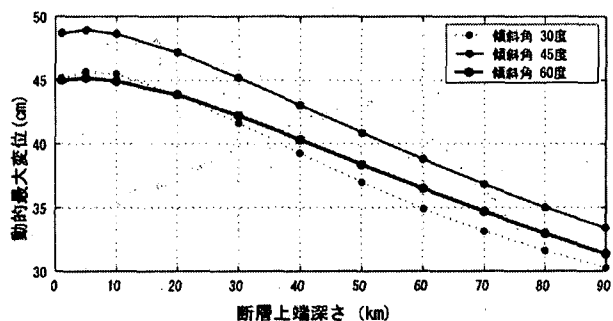
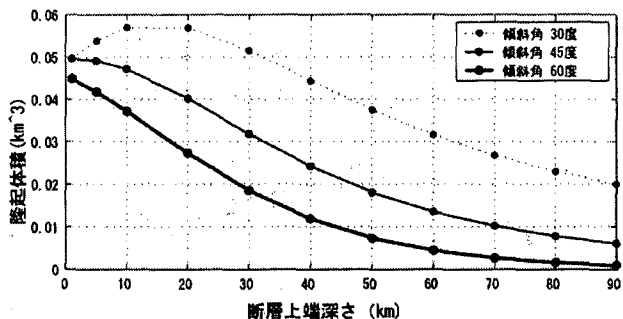


図-6 断層上端深さが隆起体積（上図）・動的変位（下図）に与える影響

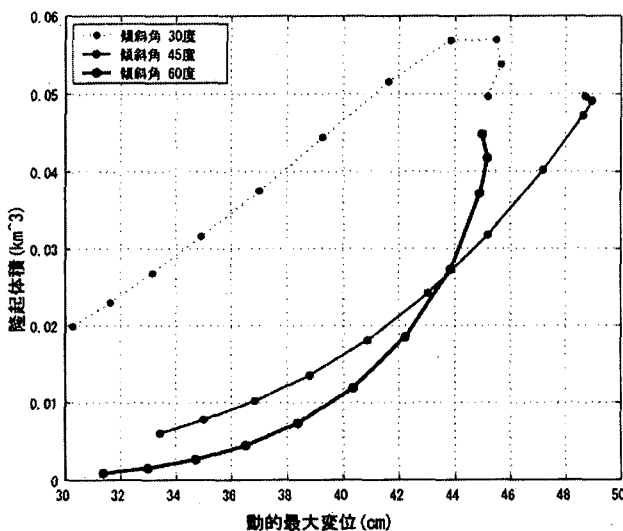


図-7 断層上端が変化するときの動的変位と隆起体積の関係

波に先行する海面変動の発生原因となる動的変位を以下のように定義する。隆起体積は図4に示すが、観測点（-50km）に比べ相対的に隆起している部分とする。海面変動を励起させる地盤の動的変位は、図5に示すように最大変位から永久変位を引いた値と定義した。図2の流体部分のない2次元モデルで、傾斜角 δ 、断層上端深さ d 、断層幅 W を変化させたモデルを用いて解析を行った。

(2) 上端深さ・傾斜角

傾斜角30, 45, 60度それぞれの場合で上端深さを1,

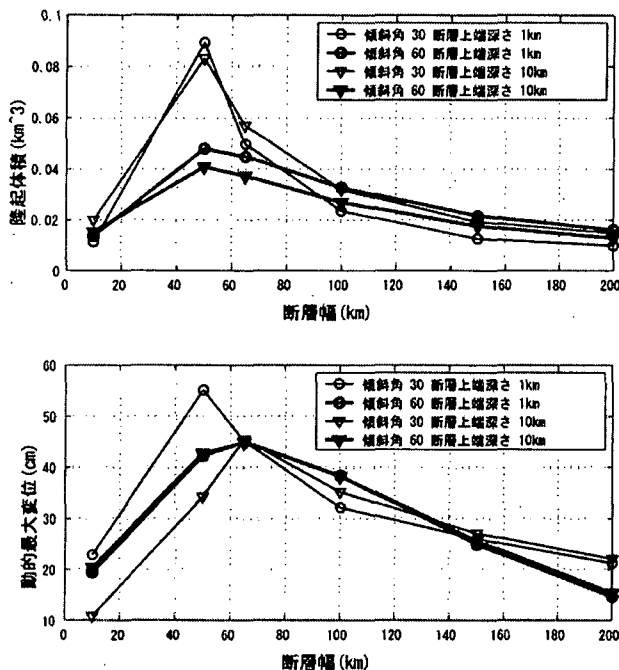


図-8 断層幅が隆起体積（上図）・動的最大変位（下図）に与える影響

5, 10, 90kmと変化させて解析を行い、そのときの隆起体積と動的最大地盤変位の変化を断層の上端深さに対してプロットしたのが、図6である。

図6上図を見ると傾斜角30度では断層上端深さが10~20kmにかけて最大を取るものの、全体的に見ると断層上端深さとともに減少し、図6下図では動的地盤変位が断層上端深さが深くなるほど減少していることが分かる。動的地盤変位と隆起体積の関係をプロットすると図7となり、これより、動的最大変位と隆起体積は高い相関が見られる。このとき各傾斜角において、動的最大変位と隆起体積を一次関数で近似した場合それぞれ傾きは概ね一致するという結果になった。

これらの結果は波源域内で見られた結果だが、波源域から離れると傾斜角が広角なほど動的最大変位の変化が小さくなる結果となった。また、沈降域や下盤側ではこのような良い相関は見られなかった。

(3) 断層幅

次に断層幅を変化させて解析を行った。図8は断層幅に対する隆起体積と地盤の動的最大変位をプロットしたものである。ここでも、先ほどと同様に震央から上盤側50km離れた波源域での地盤変位を対象としている。

図8上図より断層幅が50kmで隆起体積が最大となることが分かる。断層幅が大きくなるほど観測点での地盤変位が緩やかになるため、地盤の相対的な隆起体積は減少する。図9は断層幅を変化させたときの

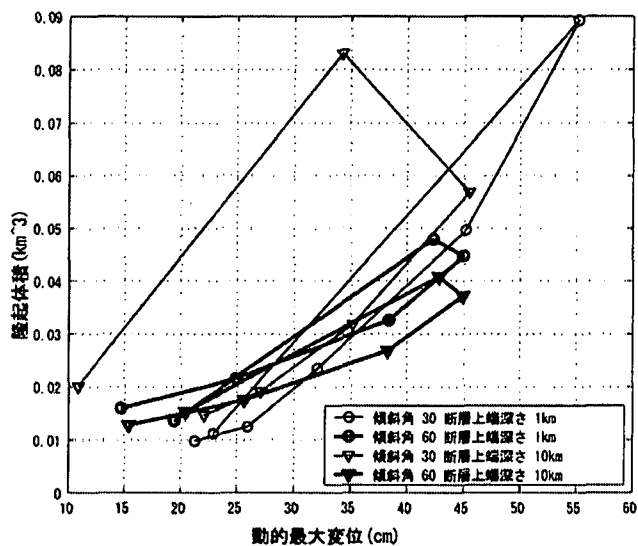


図-9 断層幅が変化したときの動的最大変位と隆起体積の関係

動的最大変位と隆起体積の関係である。この図からも動的最大変位と隆起体積とは高い相関性があると考えられる。また、この場合も波源域から離れた地点ではこのような相関は見られることはなく、また、下盤側では良い相関性は見られなかった。

5. 主な結論

- 津波に先行する海面変動は地震動によって励起されるため、津波に比べ高速で伝播する。
- 上盤側の波源域においては動的最大変位と隆起体積との間に高い相関性があることが分かった。しかし、波源域外や下盤側では良い相関が見られなかった。

以上の事から、上盤側の波源域内では地盤の動的最大変位やそれによって励起される海面変動を観測することで、津波を早期検知できる可能性が示された。しかし、波源域外や下盤側で相関が合わない事に大きな問題が残る。

参考文献

- 1) 大町達夫, 築山洋, 松本浩幸. 断層運動に伴う動的地盤変位を考慮した津波シミュレーションの評価. 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 321-325, 1999.
- 2) Nobuo Shuto. Five riddles in the 1983 Okushiri tsunami. In OKUSHIRI TSUNAMI/UJNR WORKSHOP 1998, 7 1998.
- 3) 片岡正次郎. 震源断層と地盤構造の三次元モデルを用いた地震動シミュレーション手法の開発. 博士論文, 東工大総理工社会開発工学専攻, 1996.