

ある形態の地変を伴う津波地震により形成される海底地震津波の数値解析

独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 柿沼太郎

1. 津波地震の地変形態: 1896年明治三陸地震に代表される津波地震には、防災上の大きな問題点がある。すなわち、来襲する津波の規模が、津波に先んじて観測される地震波に基づく「量的津波予報」によって予測できない点である。これは、津波地震の発生機構と地変（海底地形の変化）及びそれがもたらす津波について、未解明な部分が多いからである。阿部¹⁾は、Pelayo and Wiens²⁾らによる地盤変動の研究を参考にして、津波地震を地震学的見地から分類した。ところで、津波地震の特徴は、津波の規模が異常に大きくなることであり、従って、津波とその生成の直接の原因である地変との関係を定量的に把握しておくことが、防災上極めて重要である。そこで、本研究では、流体力学的見地に立ち、津波の形成過程に着目して、津波地震の典型的な地変形態を次のような七つの形式に分類する。すなわち、一定領域における継続時間の長い地変（A形式）、場所を変えて起きる地変（B形式）、流体運動が周辺の地形の影響を受ける地変（C形式）、水中の有意な圧縮波^{3), 4)}を伴う地変（D形式）、地滑り⁵⁾による地変（E形式）、非弾性的な地盤挙動⁶⁾による地変（F形式）及び噴出としての地変（G形式）である。そして、A～D形式の地変が「(I) 流体運動と相互に干渉しない地変」として、また、E～G形式が「(II) 流体運動と相互に干渉する地変」として大別される。後者では、海底の構成物が塑性体的、または、流体的な挙動を示し、その解析においては、海水と地変の双方の運動を連立させて解く必要がある。本研究の目的は、これらの各形式の地変を対象として数値解析を行なうことにより、津波地震時に発生・伝播・成長する津波の形成機構を解明していくことである。

2. 数値計算法: 本概要では、非圧縮性流体の非回転運動を対象とし、静水圧並びに浅水波（非線形・非分散長波）の近似を施した連続方程式及び Bernoulli の式を基礎方程式とする数値モデル⁷⁾を適用して、A 及び B の二つの形式の地変によって時間とともに形成される津波をシミュレートする。数値計算において、 x 軸方向の格子間隔を $\Delta x = 1 \text{ km}$ 、時間間隔を $\Delta t = 0.5 \text{ s}$ とし、時刻 $t = 0 \text{ s}$ における初期状態を水深が h_0 で一様である静水状態とする。

3. A 形式の地変による津波の形成: $30 \text{ km} \leq x \leq 60 \text{ km}$ の底面が、 $t = 0 \sim \delta/W (\text{s})$ の間、一定速度 $W (\text{m/s})$ で隆起する場合、津波が波源域外に伝播して波形が安定した時刻 $t = 140 \text{ s}$ における津波高さ $\eta_{\max}$ と W との関係を図1に示す。底面の隆起速度が遅いと、“creeping”の地変となり、津波生成時の伝播によって津波高さが抑制される。

4. B-1 形式の地変による津波の形成: B形式も、弱い地震動の継続時間が比較的長く、「ぬるぬる地震」という語の範疇に入る。B形式は、発生場所の異なる複数の地変が多段階で起きる場合（B-1形式）と、一つの地変が徐々に異なる場所に連続的に進む場合（B-2形式）、そして、これらの複合形態である場合（B-3形式）の3形式に分類される。このうち、B-1形式を対象とした場合、波源域外に伝播した津波の水面形を図2(a)～(d)に示す。ここで、 $h_0 = 4,000 \text{ m}$ とし、各段階の地変は、一定速度 0.15 m/s 、または、 -0.15 m/s で生じ、変位量の絶対値が 3 m となって停止する。 $50 \text{ km} \leq x \leq 60 \text{ km}$ の底面が $t = 0 \sim 20 \text{ s}$ の間隆起した後、(a) では、 $40 \text{ km} \leq x < 50 \text{ km}$ の底面が 20 s 間隆起し、(b) では、 $30 \text{ km} \leq x \leq 40 \text{ km}$ の底面が $t = 100 \sim 120 \text{ s}$ の間隆起し、(c) では、 $40 \text{ km} \leq x < 50 \text{ km}$ の底面が $t = 50 \sim 70 \text{ s}$ の間隆起し、その後、 $30 \text{ km} \leq x < 40 \text{ km}$ の底面が 20 s 間隆起する。また、(d) では、 $t = 0 \sim 20 \text{ s}$ の間、 $50 \text{ km} \leq x \leq 60 \text{ km}$ の底面が隆起し、 $40 \text{ km} \leq x < 50 \text{ km}$ の底面が沈降した後、 $t = 50 \sim 70 \text{ s}$ の間、これらの隆起部及び沈降部がそれぞれ揺れ戻しのように沈降及び隆起し、波源域が地震前の地盤高さに戻る。図2の灰色を付して示した水面形は、 $50 \text{ km} \leq x \leq 60 \text{ km}$ の底面が $t = 0 \sim 20 \text{ s}$ の間隆起した1段階のみの地変の場合の結果である。第2段階の隆起の発生時刻に依存して津波が成長し、(a) 及び (c) の場合の $\eta_{\max}$ は、1段階のみの地変の場合の、それぞれ、約 2.0 倍及び約 2.9 倍に達し得る。なお、(d) では、成長した峰の後に第2の谷が追隨している。

5. B-2 形式の地変による津波の形成: 底面の隆起が、主として断層の長軸方向に進む場合^{8), 9)}と同様、幅方向に連続的に進展する場合を考える。 $h_0 = 4,000 \text{ m}$ とし、 $x = 70 \text{ km}$ の地点から $x = 70 - R (\text{km})$ の地点まで一定速度 $R/\tau (\text{km/s})$ で地変が進展する。各地点の地変は、一定速度 $W (\text{m/s})$ の隆起で、永久変位 δ が 3 m となって停止する。このとき、伝播津波の津波高さ $\eta_{\max}$ は、図3(a)～(c)に示すように、海底の隆起域の全幅 R 、地変が進展に要する時間 τ 及び隆起速度 W に依存する。このうち、図3(c)では、進展時間 τ を各全幅 R に対して固定している。

キーワード → 津波地震, 津波, 海底地震, 非線形浅水波, 数値計算

連絡先 → 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所, Phone: 046(844)5045

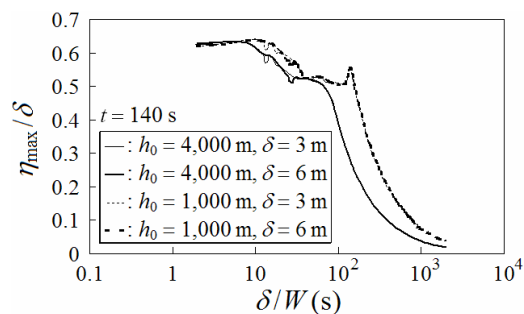


図1: 伝播津波の津波高さ（静水面から測ったある時刻の水面位置の最大偏差） $\eta_{\max}$ と底面の隆起速度 W との関係

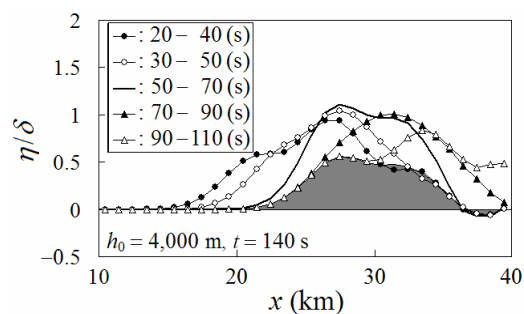


図2(a): 隣接する2段階隆起の場合の伝播津波の水面形（第2段階の隆起の発生時刻毎に水面形を示している。）

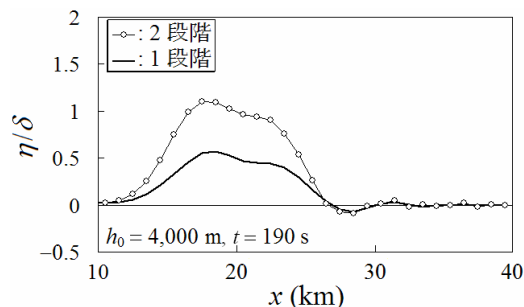


図2(b): 離れて位置する2段階隆起の場合の伝播津波の水面形（1段階隆起のみの場合との比較）

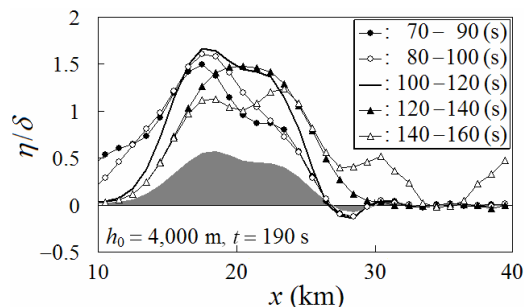


図2(c): 3段階隆起の場合の伝播津波の水面形（第3段階の隆起の発生時刻毎に水面形を示している。）

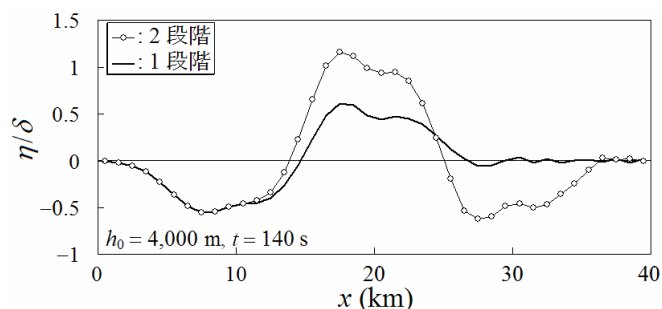


図2(d): 同時に隆起及び沈降した二つの領域がそれぞれ沈降及び隆起して地盤高さが元に戻る2段階地変の場合の伝播津波の水面形（1段階地変の場合との比較）

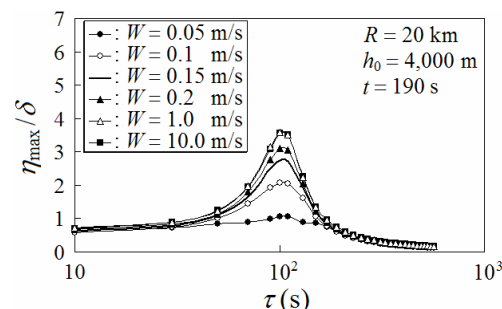


図3(a): 隆起域の全幅が $R = 20$ km の場合の伝播津波の津波高さ $\eta_{\max}$ と地変の進展に要する時間 τ との関係（底面の隆起速度 W 毎に結果を示している。）

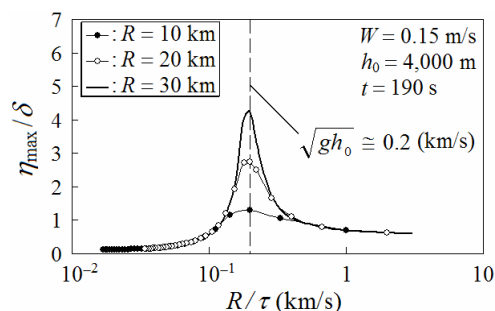


図3(b): 伝播津波の津波高さ $\eta_{\max}$ と地変の進展速度 R/τ との関係（隆起域の全幅 R 毎に結果を示している。）

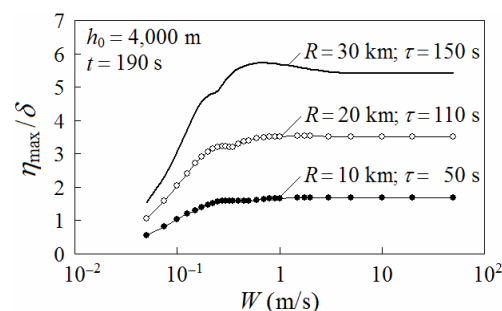


図3(c): 伝播津波の津波高さ $\eta_{\max}$ と底面の隆起速度 W との関係（隆起域の全幅 R 毎に結果を示している。）

図3(b)に明らかのように、地変の進展速度が水面波の長波の波速の近傍にあるとき、津波の成長率が著しく高くなる。これは、伝播する津波を地変領域が追い掛ける、地変の進展側での現象である。逆に、 x 軸の正の向きに進行する水面波は、波高が低く、波長が長くなる。以上のように、流体運動としての津波の形成過程から、地盤変動を再考することは、見過ごされてきた未知の地震形態を見出すといった問題提起の意味においても重要であろう。

参考文献: 1) 阿部勝征: 津波工学研究報告, 第12号, pp. 45-58, 1995., 2) Pelayo, A. M. and Wiens, D. A.: J. Geophys. Res., Vol. 97, pp. 15321-15337, 1992., 3) 泉宮尊司, 阿部宏之: 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 421-425, 1996., 4) 大町達夫, 築山 洋, 松本浩幸, 細川真利: 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 361-365, 2000., 5) Kanamori, H. and Kikuchi, M.: Nature, Vol. 361, pp. 714-716, 1993., 6) Tanioka, Y. and Seno, T.: Geophys. Res. Lett., 28, pp. 3389-3392, 2001., 7) 柿沼太郎: 土木学会第56回年講概要集, II, pp. 4-5, 2001., 8) 本間正作: 験震時報, 第16巻, 第1号, pp. 81-87, 1952., 9) Aida, I.: Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 47, pp. 849-862, 1969.