

II-47

1994年北海道東方沖地震津波の北海道南東部における伝播特性

東北大学大学院 学生員○越村俊一
東北大学工学部 正 員 今村文彦
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫
東北大学工学部 正 員 高橋智幸

1. はじめに

1994年北海道東方沖地震津波は、北海道南東部太平洋岸において大きな波高を伴う振動が長時間継続し、場所により第一波に匹敵する大きな波がかなり後になってから来襲した。

陸棚に津波が平行に伝播した際にしばしば特徴的な挙動が見られる。津波が陸棚端部と海岸の間に入射するとエッジ波となり、屈折、反射を繰り返す。1994年北海道東方沖地震津波の波源の長軸方向に伝播する津波は北海道南東部に存在する陸棚と平行に進行するためエッジ波が発生した可能性がある。

陸棚上におけるこのような特徴的な挙動を津波数値計算で再現するためには波の屈折現象に対する適切な評価が必要である。本論においては津波数値計算におけるエッジ波の再現性について述べる。

2. 津波の屈折計算

津波は海底地形の影響を大きく受ける。陸棚に沿って伝播する津波の屈折効果を数値的に再現する場合、本来連続的である海底地形の離散化に伴う誤差の発生が問題となる。図-1に北海道南東部太平洋沿岸の海底地形、及び単純化したモデル地形を示す。図中に実線で示すような地形を想定し、そのうち距離30kmまでの一様勾配斜面をとりあげ、その上でその長波の屈折に関する離散化誤差をSnellの法則を用いて求める。

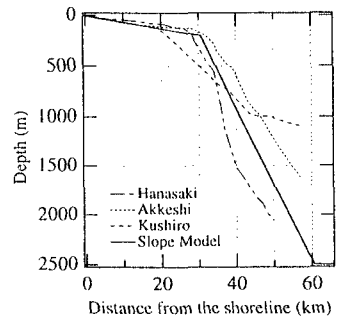


図-1 北海道南東部海底地形及びモデル地形

2-1. 沖側から入射する場合

沖側から入射する場合の長波の波向線の理論解は次式で表せる。座標系は図-2に示す。

$$y = \frac{h_0}{\alpha \sin^2 \theta_0} \left\{ \theta_0 - \sin^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{\alpha x}{h_0}} \sin \theta_0 \right) \right\} + \frac{h_0}{\alpha \sin \theta_0} \left\{ \sqrt{1 - \frac{\alpha x}{h_0}} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\alpha x}{h_0} \right) \sin^2 \theta_0} - \cos \theta_0 \right\} \quad \dots (1)$$

但し、 θ_0 ：長波の初期入射角、 θ ：長波の任意地点の屈折角、 h_0 ：初期水深、 h ：屈折角 θ の時の水深、 α ：海底地形勾配とする。 α は北海道南東部の陸棚を考慮して0.0067とした。一方、上の理論式をある大きさの空間格子を用いて離散化し、数値解を求めた。理論解と数値解の誤差は次式で定義する。

$$\text{Error}(\%) = \frac{|y_{th} - y_n|}{y_{th}} \times 100 \quad \dots (2)$$

但し、 y_{th} ：理論解、 y_n ：数値解である。一般に初期入射角が大きくなる程、数値解の誤差も増加する。初期入射角は誤差の大きくなる場合を考慮し、 80° とした。また、数値解を求める際の格子間隔 Δx は900m、2985m、5970mとした。格子数は33、10、5である。

屈折誤差を図-3に示す。格子間隔が大きくなるにつれ誤差も増大するが、格子間隔900mではほぼ10%未満である。

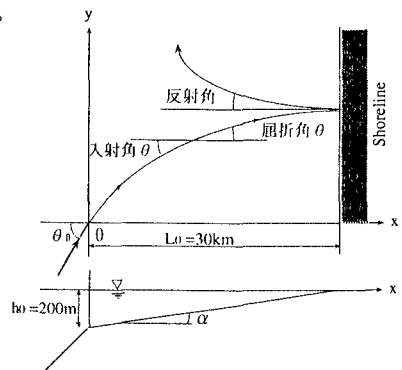


図-2 屈折計算座標系

2-2. 陸側から反射する場合

次に陸側から沖側へ向かう長波の屈折の評価を行う。先述の沖側からの波向線が入射波であるのに対し、これは反射波に相当する。この場合の長波の波向線の理論解は次式で表せる。ここでは反射波が外洋へ抜けず再び陸へと戻る拘束状態を考えるため、初期の反射角は 10° としている。

$$y = \frac{h_0}{\alpha \sin^2 \theta_0} \left\{ -\theta_0 + \sin^{-1} \left(\sqrt{1 + \frac{\alpha x}{h_0}} \sin \theta_0 \right) \right\} + \frac{h_0}{\alpha \sin \theta_0} \left\{ \cos \theta_0 - \sqrt{1 + \frac{\alpha x}{h_0}} \cdot \sqrt{1 - \left(1 + \frac{\alpha x}{h_0} \right) \sin^2 \theta_0} \right\} \quad \dots (3)$$

また、格子間隔 Dx は920m及び4800mとした。格子数は26及び15である。反射波の屈折誤差を図-4に示す。 $Dx=4800m$ の場合には初期に多少の誤差が見られるが、 $Dx=920m$ においては実用上問題はないといえる。

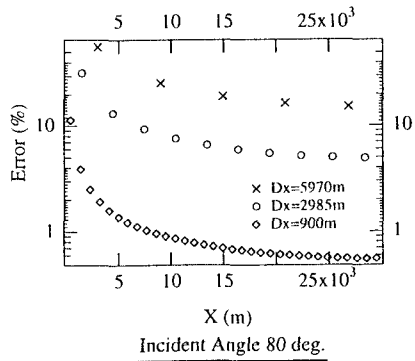


図-3 沖側から入射した場合の屈折誤差 (入射角80°)

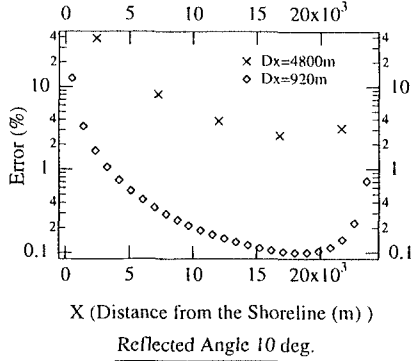


図-4 陸側から反射した場合の屈折誤差 (反射角10°)

$Dx=900m$ とした入射波、反射波の数値解は共に理論値との誤差は小さく、ほぼ10%未満である。実際の津波数値計算においても同様の格子間隔とすれば、津波の屈折に関しては海底地形の離散化による誤差は許容範囲にあると推定される。

3. 1994年北海道東方沖地震津波の特性

図-5に1994年北海道東方沖地震津波の検潮記録、及び計算水位の時間変化を示す。但し、検潮記録は北海道南東部に位置する花咲、厚岸、釧路においての津波成分を抽出したものである。点線は検潮記録の津波成分、実線は線形長波理論を用いて求めた計算水位である。検潮記録を見ると花咲、釧路において波形の包絡線が紡錘形を描いていることが分かる。厚岸については明瞭な包絡線は見られない。検潮井戸の地理的特性、または水理特性が影響している可能性がある。長時間が経過して到達する波は千島海溝に沿った陸棚を伝播した津波によるものと考えられ、最大波は何れの場所においても第一波に遅れて到達している。計算値は波高の値に誤差はあるものの最大波の再現性については良好である。

図中の直線は花咲での最大波の走時曲線である。但し、伝播経路は、各検潮所間の直線距離を直径とする半円の弧とした。この弧の半径は丁度陸棚の幅に相当する。最大波はほぼこうした経路を通して伝播したことがうかがわれる。

4. 終わりに

波向線を用いて、津波の屈折、反射の適切な評価に必要な空間格子間隔を検討した。北海道南東部沿岸を伝播する東方沖地震津波の再現には空間格子間隔を900m程度以下にすることが望ましい。

北海道南東部海岸に到達する津波は、波源から直接来襲するものや、陸棚上を伝播するものなど様々な伝播経路をもつ。こうした伝播経路の違いが津波の到達時刻の差を生む。このような挙動の把握は沿岸防災上極めて重要である。

参考文献：

J. Sayama et al. (1988) Errors Induced by Refraction in Tsunami Numerical Simulation, APD-IHR pp257-264
Hiroshi Ishii et al. (1980) Propagation of Tsunami on a Linear Slope between two Flat Regions. Part I Edge Wave Jour. Phys. Earth. , vol128 pp 531-541

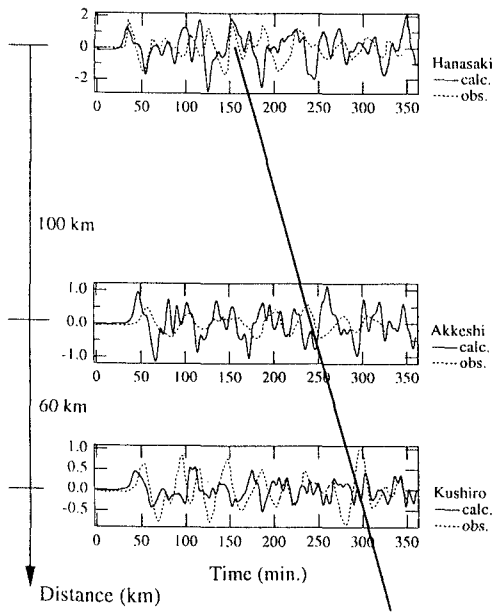


図-5 津波による水位の時間変化 及び最大波の走時曲線