

(II-78) 島の津波遡上高を再現するための数値計算格子間隔選定指標

防衛大学校土木工学教室 学生員 山田 浩一

正会員 藤間 功司

正会員 重村 利幸

正会員 林 建二郎

正会員 正村 憲史

1. はじめに

近年、津波が島を襲い、大きな被害を与えるケースが相次いでいる。そのため、島における津波遡上高を正確に予測する必要がある。しかし既往の津波数値計算手法では、島周りのように屈折の効果が効く場合に誤差が大きくなることが知られており、しかも格子間隔をどの程度小さくすればよいか、適切な指標が得られていない。そこで、捕捉の効果が効く場合でも精度のよい結果を得るにはどの程度の格子間隔を用いる必要があるかを早急に決定する必要に迫られている。ここでは、理論解と線形長波理論を用いた数値解を比較し、遡上高分布を精度よく再現するための格子間隔選定指標を決定する。

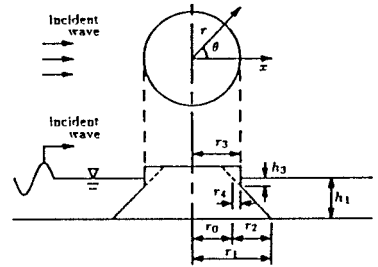


図-1 モデル地形

2. 数値計算の概要

図-1に示すような汀線付近に鉛直壁を有するモデルを使用し、格子間隔により数値計算の精度がどのように向上するかを考察する。検討を行ったケースは30ケースであり、周期 $T=300\sim 960$ s, 斜面勾配 $m=0.02\sim 0.75$, 島の海岸線の半径 $r_0=5000\sim 15000$ m, 水深 $h_1=400\sim 2625$ m, 鉛直壁での水深 $h_3=10$ m, 入射波数 $S=1\sim 4$ の範囲でパラメタを設定している。それぞれのケースに対し、格子間隔 Δx を変えて線形長波理論を用いた数値計算を5~10通り行い、鉛直壁における最大水位分布に関して理論解と比較する。

3. 計算結果及び考察

例として、 $T=480$ s、 $m=0.020$ 、 $r_0=8000$ m、 $h_1=500$ m、 $S=1$ のケースの数値計算結果と理論解の比較を図-2に示す。図からわかるように、格子間隔が非常に大きいと計算値は全体的に過小評価になる。格子間隔がやや小さく $\Delta x=800$ mになると、平均的な遡上高はほぼ理論解と合致するようになるが、ばらつきが大きい。これは、島に到達する津波の全エネルギーは正確に計算されているが、到達する場所が正確に計算されていないためだと考えられる。格子間隔が非常に小さく $\Delta x=100$ mになると、すべての場所で理論解と数値計算結果が精度よく一致するようになる。これから、既往の数値計算モデルを使用しても、格子間隔を十分小さくすれば島周りの現象を精度よく再現できることが確認される。

数値計算の精度の評価として、相田のパラメタ K 、 κ がよく使われ、それぞれ次式で表される。

$$\log K = \frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} \log \frac{R_{jc}}{R_{jt}} \quad (1)$$

$$(\log \kappa)^2 = \frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} (\log \frac{R_{jc}}{R_{jt}})^2 - (\log K)^2 \quad (2)$$

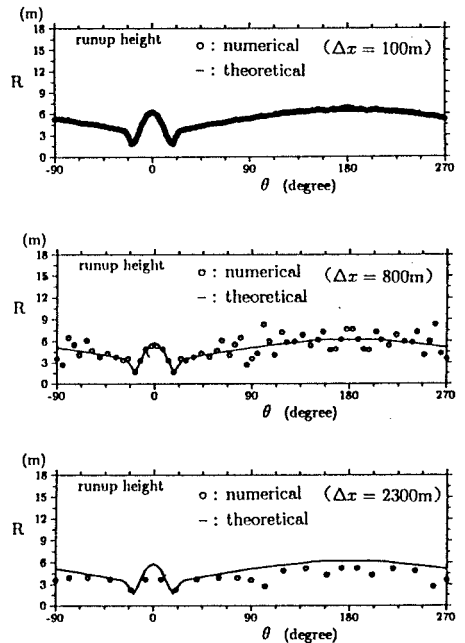


図-2 壁面最大水位分布の比較例

ただし、 R_{jc} 、 R_{jt} はそれぞれ鉛直壁に面した格子における最大水位の計算値と理論値で、 N_d は、 R_{jc} 、 R_{jt} を算出する格子数を表す。 K は平均的な計算誤差を表し、 κ はいわば誤差の標準偏差を表している。

さて、 S のみを $S=1,2,4$ と変化させたときのケースを比較してみるとほとんど計算結果に変化がないことがわかった。したがって、計算誤差を議論する際には S の影響を考慮せず、定常理論のパラメタのみを考えればよい。鉛直壁を無視した場合、理論解は $\beta(=\frac{4\pi}{T}\sqrt{\frac{r_0}{gm}})$ と r_2/r_0 の2つのパラメタに支配されるので、ここでは島のスケール r_1 に対する Δx の大きさを表す $r_1/\Delta x$ と、 β 、 r_2/r_0 により K と κ の変化について検討したところ、 $\frac{r_1}{\Delta x}\beta^{-1}(\frac{r_2}{r_0})^{-0.2}$ が K と κ の変化をよく表すことがわかった。この結果を図-3,4に示す。図-3,4をもとに格子間隔選定座標を決定することができる。

さて、遡上高の平均値のみを精度よく再現することが目的であれば、例えば計算誤差を10%以内に抑えたいなら、 $K < 1.1$ になるよう Δx を決定すればよい。一方、遡上高分布を正確に再現するには κ を小さくしなければならない。しかし、 κ はいわば標準偏差であり、 $\kappa < 1.1$ としても局所的には10%以上の誤差になり得るため、誤差の大きさを直観的に判断しづらい。そこで、局所的な誤差と κ の関係を調べるため、島正面における計算誤差と κ をプロットし、図-5に示す。島正面に着目した理由は、ほとんどのケースで最大水位が島正面で生じているからである。図から最大水位の誤差を10%以内に抑えたいなら $\kappa < 1.04$ に、20%以内なら $\kappa < 1.08$ になるように格子間隔を決定すればよいことがわかる。

以上の結果から、島まわりの格子間隔選定指標として、以下の3種類が得られる。

$K < 1.1$ (遡上高の平均値の誤差が10%以内) :

$$(r_1/\Delta x)\beta^{-1}(r_2/r_0)^{-0.2} > 10$$

$\kappa < 1.08$ (最大水位の誤差が20%以内) :

$$(r_1/\Delta x)\beta^{-1}(r_2/r_0)^{-0.2} > 30$$

$\kappa < 1.04$ (最大水位の誤差が10%以内) :

$$(r_1/\Delta x)\beta^{-1}(r_2/r_0)^{-0.2} > 50$$

現実に即した一例として奥尻島の平均的なパラメタ $h_1=1500\text{m}$ 、 $m=0.075$ 、 $r_0=8\text{km}$ 、 $r_2=20\text{km}$ を使うと、北海道南西沖地震津波($T=480\text{s}$)を計算する際に必要な格子間隔として、それぞれ850m、300m、170mという基準が得られる。青苗海脚付近の $m=1/120$ を使った場合、同様にそれぞれ280m、90m、50mという基準が得られる。

参考文献

- 1) 藤間ら、円錐形の島に捕捉された長波の特性 (土木学会論文集 No.497/II-28, pp.101-110, 1994.8)

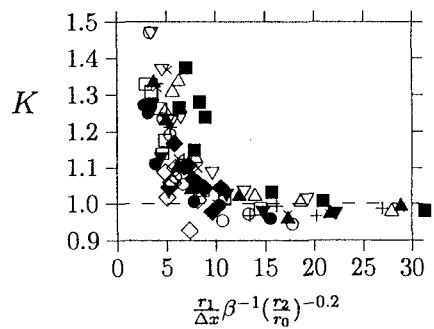


図-3 Kの変化

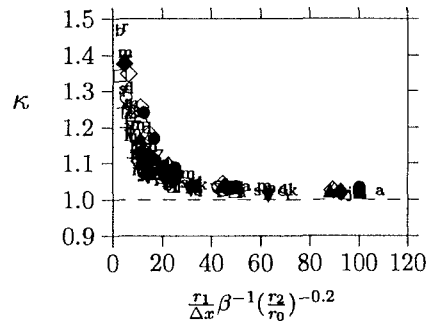


図-4 kappaの変化

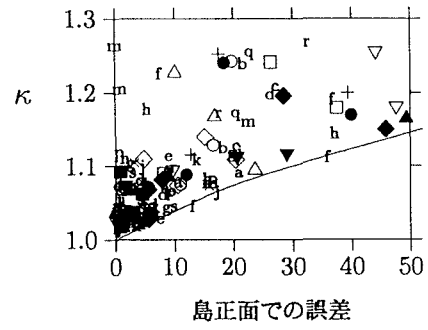


図-5 島正面における計算誤差と κ の関係