

東北大学大学院 学生員 〇永野修美

東北大学大学院 学生員 今村文彦

東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

現在、数値シミュレーションは、津波防災対策および避難対策において重要な役割を果たしている。最も関心を持たれる対象としては、沿岸域での波高及び流速の推定がある。これらの値の大小には、特に汀線での境界条件のとり方が大きな影響を有している。数値計算での境界条件の取り扱い方法としては次の二つがある。深海域を対象とした場合には、遡上の効果は小さいと考えられ、完全反射を仮定した鉛直壁を汀線に置く。浅海域の場合には、遡上を考慮に入れ、各種波先端条件を設定した計算が用いられている。ただし、この2つの境界条件を使い分ける基準については検討されておらず、経験により判断されているのが現状である。本論文では、数値実験によって汀線境界条件の違いによる水位および流速の変化を調べ、判断基準について検討する。

2. 計算方法

図-1に示すように、一定水深部に一様勾配部が接続した水路での、孤立波の一次元伝播を対象とする。汀線において、鉛直壁を置いた場合とそのまま斜面を遡上させる場合について比較検討する。入射波は同じであるが、汀線から反射してくる波は変化する。計算方法としては、浅水理論をLeap-frog法により差分化したものを用いる。伝播途中での碎波や海底摩擦の影響は考慮に入れていない。計算には孤立波を一波だけ入射させる。この時の波形等の条件は、波高水深比0.01~0.05, 相対水深0.03~0.06, 斜面勾配0.01~0.1の範囲である。Goto&Shuto(1983)はこの計算法の精度の検討として解析解と比較し、遡上高さに関して誤差5%以内におさまる条件として $\Delta x / (gT^2) < 4 \times 10^{-4}$ を提案している。本計算例は全てこの条件を満足している。

3. 波形及び最大波高の検討

まず、斜面法先での反射波の波高変化について調べる。図-2には、遡上を許す場合と汀線上に鉛直壁を仮定した場合の反射率を示す。横軸には(波形勾配)/(斜面勾配) $(= (\eta/L) i^{-1})$ を選んでいる。遡上を許す場合には、勾配が緩やかになるほど、また波形勾配が大きくなるほど、反射率は小さくなるという一般的な傾向を見せている。一方、鉛直壁の場合には、 $(\eta/L) i^{-1}$ の値が 2×10^{-2} の所に極大があるという形をしており、 1×10^{-2} から 4×10^{-2} の間で反射率が1より大きくなっている。これは図-1に見られるように、鉛直壁に衝突する瞬間に局地的な波形勾配が大きくなると、反射波の先端は段波状になり、波先端に数値的な振動が発生するからである。この現象は 2×10^{-2} 前後で顕著に見られた。

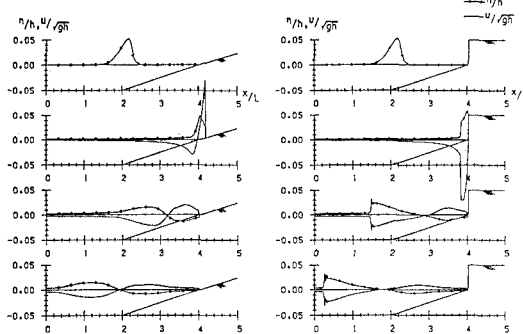


図-1 空間波形

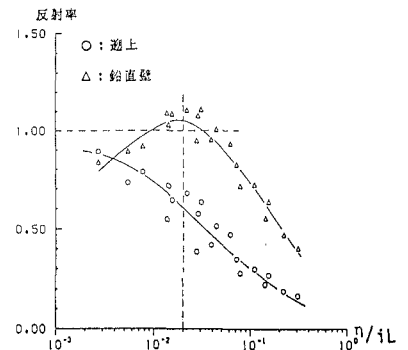


図-2 反射率

図-3には、鉛直壁と遡上の場合の反射率の大きさを比較している。この反射率の比は大きく2つの傾向を持つ。横軸が 6×10^{-2} を境として、左側では一様に増加し、右側ではほぼ一定値を示しているのである。前者は図-2における鉛直壁の場合の反射率が $(\eta/L)^{-1}$ とともに増加している部分、後者は反射率が遡上を許した場合と鉛直壁の場合とで同様の傾向を示している部分に対応している。図-3の結果の逆数を鉛直壁での反射率として数値計算上の汀線条件とすれば、反射波高に関しては遡上を許す場合と同じ答を得ることができよう。

図-4は、鉛直壁汀線、一様傾斜海浜、それぞれからの反射波に生ずる時間差を比べている。前者の方が走行距離が短くなるため早く戻ってくる。斜面法先での反射波通過時間の差を Δ 印で示す。この時間差は、主に遡上の有無によって生ずる。そこで、遡上を許す計算での波先端が汀線を通過し、遡上した後、汀線を沖へ向かって通過する迄の時間を $\circ$ 印で示す。 Δ と $\circ$ とは必ずしも一致しない。浅水理論であるから、波先端部が段波状になった鉛直壁汀線に対する計算の方が、波速が早くなったからである。

図-5は、遡上を許す場合と鉛直壁の場合の差を示すものである。最大水位については両者の差の絶対値を、遡上解の最大水位で割り百分率として表したものである。波形、流速の比較は、斜面法先の位置で流速が負になった部分のみで行った。反射波が卓越している半周期間と考えてよい。水位波形、流速波形の差の総和を、遡上解の水位波形、流速波形の総和で割って百分率として表した。図中、 $\circ$ 印は最大波高、 Δ 印は波形、 $\square$ 印は流速の相対差を示している。水位と流速は図-1からわかる通りほぼ同位相であり、同程度の相対差を示している。浅水理論では、水位と流速の1対1対応が成立するから、これは当然の結果である。これより、最大波高及び波形（又は流速）の相対差は、 $(\eta/L)^{-1}$ の値がそれぞれ 1×10^{-2} 、 3×10^{-3} 以下であれば、20%以下となることが分かる。

4. 最大波高と遡上高の関係

汀線を鉛直壁と置いた場合、汀線での最大水位が遡上高に見合うものである。図-6には遡上高 R と入射波高 η の比を表し、遡上を許した場合（ $\circ$ 印）と鉛直壁の場合（ Δ 印）とを比較している。 $(\eta/L)^{-1} < 10^{-2}$ の範囲では両者の差は小さいが、これを越えると鉛直壁での最大水位の方がやや小さめに出来る場合もあり注意を要する。

5. おわりに

汀線を鉛直壁と置いた場合と遡上を許した場合の浅水理論による津波数値計算の結果を比較した所、 $(\eta/L)^{-1}$ の値が 3×10^{-3} 以下であれば、境界条件の違いによる波形の差、流速の差はほとんどないことが判った。従って、この範囲であれば遡上計算を行う必要はなく、汀線を鉛直壁で仮定すれば十分である。

(参考文献) Goto, C. and N. Shuto; Numerical simulation of tsunami propagation and run-up, Tsunamis-Their Science and Engineering by TERRAPUB, pp. 439-451, 1983.

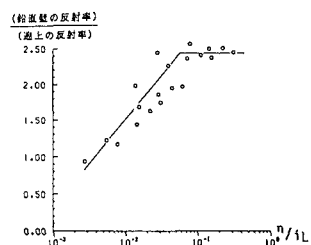


図-3 反射率の比較

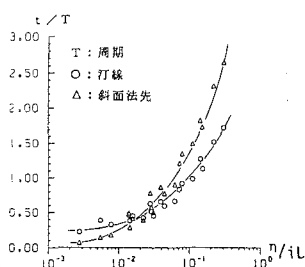


図-4 位相差

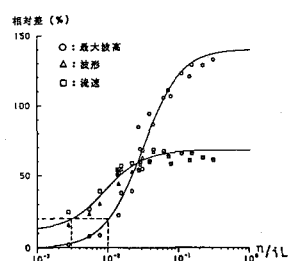


図-5 相対差

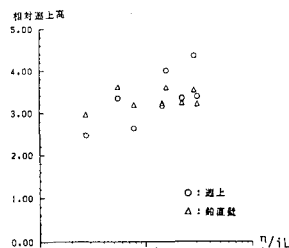


図-6 相対遡上高