

II-36

遷移流における数値計算精度の検討

東北大学工学部○学生員 佐々木 洋之
 東北大学大学院 正会員 今村 文彦

1.はじめに

津波は沖合いから沿岸部へ達すると、全水深が低下し流速が増加するために、場合によっては常流から射流へ遷移すると言われている。浅海域での津波数値計算モデルの支配方程式は浅水理論であるので、理論的にはこのような遷移流でも再現できるはずであるが、計算条件によっては、数値計算結果が射流状態にならない場合が報告されている。

そこで、本研究では遷移流を起こす実験結果に対して、数値計算モデルを用いて再現計算した結果を比較することにより、遷移流における数値計算精度を検討することを目的とする。

2.遷移流の水理実験

ここで遷移流は、底の地形を変化させるのではなく、二次元水路において水路幅を途中で狭くすることにより、縮流を起こして常流から射流へ、また射流から常流へと遷移させる。水理実験は東京電力・大成建設により行われ、水位と流速が計測されている。この実験に用いられた水槽の図を図-1に示す。実験は固定床であり、周期 100 秒の sine 波形の押し波の部分だけを扱うこととする。

図-2は、水路側面から水面変化を見た結果である。一樣幅部から幅縮小部へ行くにつれ、水位は低下していることが分かる。常流状態では、幅の低下とともに水位は上昇するが、射流の場合には、水位は逆に低下し流速が増加する。従って、本ケースでは上流側で常流状態を与えているので、急縮部で常流から射流に遷移していることが分かる。

3.数値モデルと計算手法

実験の再現計算は横断方向の流速を考慮した平面二次元計算と横断方向の流速を考慮しない平面一元計算の二通りについて行う。数値計算において、支配方程式としては、水深に比べて波長が長く、水深に対して波高が無視できないので、非線形長波理論(浅水理論)を用いる。また数値計算手法・差分スキームは通常の津波数値計算に用いられる Leap-frog 法を用いる。二次元モデルの計算間隔は流下方向で $\Delta x=10\text{cm}$ 、横断方向で $\Delta y=5\text{cm}$ 、計算時間間隔 $\Delta t=0.01$ 秒であり、一次元モデルでは、流下方向の計算格子 $\Delta x=10\text{cm}$ 、 $\Delta t=0.01$ 秒とする。

境界条件は、上流端と下流端において、実験で得ら

れた水位及び流速の値を強制的に入力させることにより、流れを引き起こさせている。線形理論の場合には、流速又は水位のどちらかを境界条件として与えればよいが、ここでは移流項が無視できないために、流速の情報も必要となっている。

4.実験結果との比較

図-3は、実験値と一次元・二次元モデル結果の比較である。図より、急縮部手前の地点 S3 及び最下流計測点である S11 では両方の数値計算結果はともによい一致を示しているが、急縮部での S7, S9 においては二次元計算の場合、水位が実験値や一次元モデルと比較して水位が低下せず、流速もそれに伴って上昇していないことが分かる。これは、二次元モデルでは、常流から射流への遷移が良好に行われていないことを示唆しており、実際にフルード数分布を求めると図-4のようになり、一次元モデルは射流状態を再現できているが、二次元モデルでは、常に常流であることが分かる。

1次元モデルで再現がよく、二次元モデルでの再現が悪い理由としては、流れの幅が考えられるが不思議である。通常急縮部付近では、幅方向にも流れの変化が生じ様ではない。従って、幅方向に平均化された一次元モデルより、二次元モデルの方がこのような分布を再現しやすいと思われる。ところが、実際の結果は逆であり、二次元モデルでは幅方向の流速分布はあるが、その分布形状が実際と異なっていると判断できる。図-5には S7, S9 での幅方向の流速分布を示す。S7 については流速はほぼ直線分布であるが、S9 においては急縮部壁面での流速値が極端に下がっているのが分かる。残念ながら、これと比較できる実験値がないために、どこで値がずれているかを判断できないが、壁面付近でエネルギーが失われてしまうために流速値が増加できず、射流状態が表現できていない可能性が考えられる。

5.粗度係数の影響

平面一次元計算においては、マンニングの粗度係数の値により、水位及び流速の値が著しく変動する現象が見られた。図-6に3つの粗度係数による、各水面が最も静水位より低下したときの S1 から S12 までの水面形をメートル単位で示す。ただしここで、粗度係数

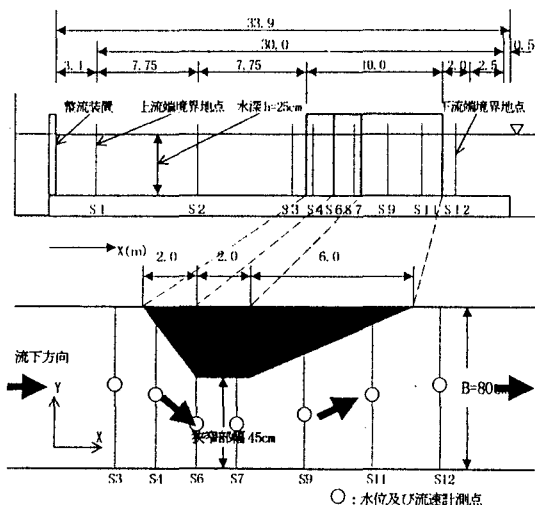


図-1 実験装置断面図(上)及び 遷移流部平面図(下)

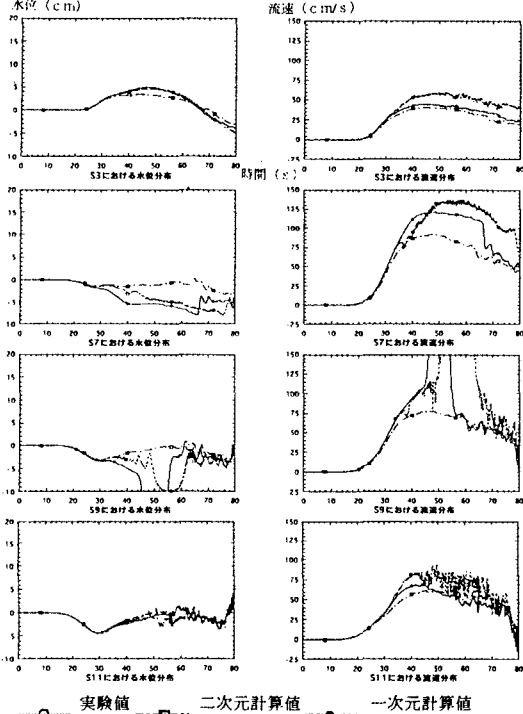


図-3 実験値と計算値の比較

=5.3861E-3 というのが図-3での計算値を求めるのに使った値である。図より粗度係数が高くなっていくに従って、水位が上がっていくのが分かる。これは粗度係数増加により流速が下がり、それに伴って水位が低下しなくなったことが原因であると考えられる。これによって、本実験モデルの水面形を決定するのに、粗度係数はかなりの影響力があることが分かった。

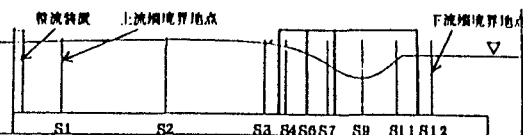


図-2 遷移流時の水面形状

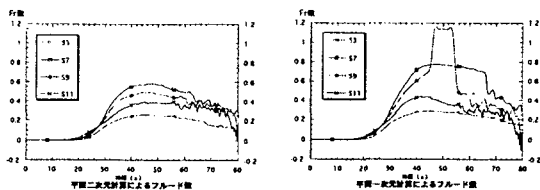


図-4 各再現計算による場所ごとのフルード数分布

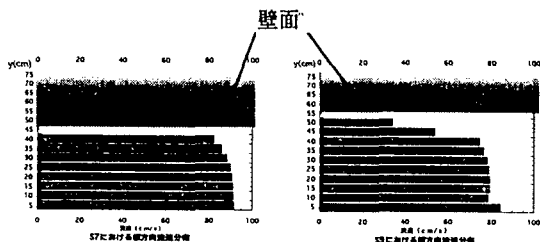


図-5 S7, S9における幅方向流速分布

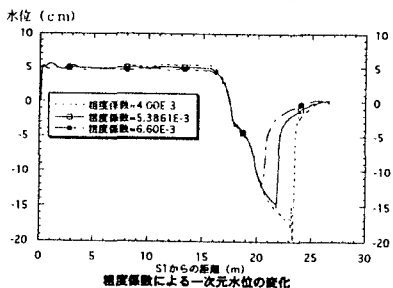


図-6 各粗度係数による一次元計算における水位分布

6. おわりに

本研究を進めていくに当たって最も問題になるのが、平面二次元計算において、遷移流がおこらないということである。もし二次元でも一次元と同様の結果が得られれば、5に示したような現象が見られたと考えられる。一般的に水面形は、底の勾配、水路幅、流量の変化、摩擦の影響の四つの要素によって決められるからである。現在の所、遷移流が二次元モデルで起こらないはっきりとした原因が分からない状態である。よって今後はその原因を第一に解明し、いかにして実験値と計算値の誤差を縮めていくかを検討していく必要がある。