

II-485

不規則波浪解析法の誤差について

鹿島技術研究所 正会員 田中俊行
 鹿島技術研究所 阪東浩造
 鹿島技術研究所 正会員 岩瀬浩二

1. はじめに

現地での波浪の変形を考えるときに、不規則性の影響を取り入れることは重要である。従来¹⁾は、従来の線形解重ね合わせ法の計算時間を短縮することを目的とし、平面不規則波浪場を一度に解くことができる新しい数値解析法を提案した。この方法は、時々刻々水面変動を解くため、砕波等の現象を直接取り入れるのにも便利である。一方、新しい数値解析法を適用する場合には、計算条件と精度の関係を事前に把握しておくことが重要である。本研究では、この検討の第一歩として陽的な評価を行うため、最も簡単な計算条件(長さ50m、水深1mの二次元の水路を直進する波)を設定し、この解析法を用いる場合の離散化誤差や、近似的に適用される境界条件による誤差、理論上の仮定によって生じる誤差を定量的に評価した。造波位置の背後には、誤差等によって生じる散乱波を処理するために、5mの減衰領域を設け、両側の境界は、透過境界とした。平均波高は、zero-up-cross法によって求められた波高に、平均操作を施して算定した。

2. 離散化誤差の評価

この解析法では、実水面変動 η は平均角周波数 $\bar{\omega}$ を用いて、

$$\eta = R_e \{ \sum_j \tilde{\eta}_j e^{-i \bar{\omega} t} \} = R_e \{ \tilde{\eta} e^{-i \bar{\omega} t} \}$$

と表され、 η を未知数として解かれる。この η は、従来の解析で用いられる複素振幅 $\hat{\eta}(x, y)$ と $\tilde{\eta}_j(x, y, t) = \hat{\eta}_j(x, y) e^{-i \Delta \omega_j t}$ で、結びづけられる。このように、解析の未知数は、空間的には個々の波成分の波長のオーダーで変動し、時間的には平均周波数との差に対応する包絡周期のオーダーで変動する。これは、時間的には未知数が個々の波より緩やかに変動するため、時間増分を大きく設定できる可能性があることを示唆している。

空間での離散化誤差の評価の結果、格子間隔が波長の1/20以下のとき、誤差は1%以下となり、波長の1/10程度の格子間隔でも、誤差が5%程度で比較的良好な結果となっている。したがって、実際に適用する場合には、要求される精度に応じて波長の1/10~1/20程度の格子間隔を用いることが好ましいと思われる。

次に、時間増分と精度の関係を求めた。まず、1つの規則波が進行する場合を考え、上述の未知数の解釈を確認する。この場合、平均周波数との差は零なので、理論上は任意の時間増分を用いることができる。図-1は、時間増分を入射波周期と等しくした場合(1T)とその5倍にした場合(5T)の水路内の平均波高の時間変動をプロットしたものである。この図より、時間増分を入射波周期に比べて大きくとっても、正解に収束することがわかる。しかし、1Tの場合には、振動は極めて小さく短

時間で収束しているが、5Tは、収束に時間を要する。また、一般に、入射波周期に比して大きな時間増分を用いると、空間波高分布を求めることができない。このように、計算上は、比較的大きな時間増分を用いることができるが、同時に、収束時間や必要とする時間方向の解像力を考慮することも重要である。次に、波高が等しく周期が非常に近い2つの規則波を重ね合わせた場合(周期 1.8秒と2.2秒)を考える。計算に用いた平均周期は2秒である。図-2より、時間増分が包絡線の周期のおよそ1/10(入射波周期の約1/2)の空間波形は、線形重ね合わせによる理論値と良く一致している。包絡線周期の1/5程度の時間増分でも実用的な精度が得られた。いずれの場合も、入射位置から離れるにつれて、理論値との位相のずれが大きくなったが、これは、平均周波数(平均波長)が、実際の入射波と若干異なっているためと考えられる。

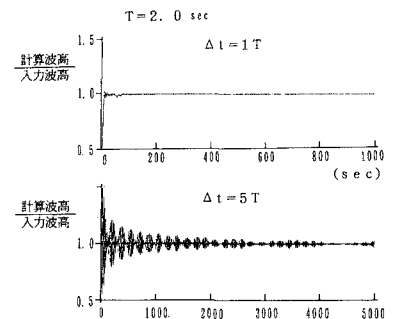


図-1 時間増分と精度の関係

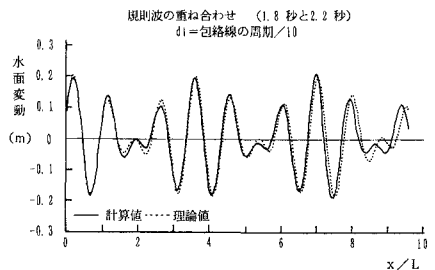


図-2 2つの規則波を重ね合わせた場合の空間波形

3. 境界条件による誤差の評価

3. 1 透過境界への入射角の影響 不規則波浪場では、透過境界に進入する波の向きは、一般に既知ではない。そこで、透過境界での波向きが計算精度に与える影響について検討する。この検討では、入射方向は常に水路軸方向とし、透過境界での透過角を変化させた。図-3に、算定された反射率を岸側境界での透過角度の関数として表す。この図より、両者の関係は、入射波条件には、ほとんど依存しないことがわかる。また、実際の透過波の波向きと境界で仮定された透過角の差が10度以内であれば、反射率はほぼ零となっている。また、差が30度で、反射率は10%程度である。

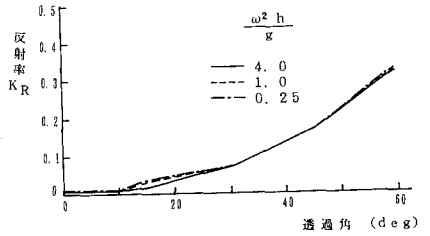
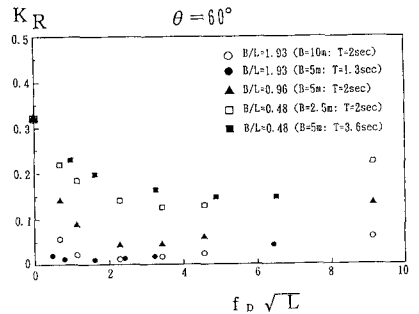


図-3 透過角～反射率の関係

3. 2 エネルギー減衰層の影響 上述のように、正確な波向きが不明の場合、透過境界からの反射は避けられないので、減衰層によって消波させるか、あるいは、透過境界と減衰層を組み合わせる方法が用いられることが多い。そこで、エネルギー減衰層の影響を調べた。岸側に減衰層を設け、減衰層の外側は透過境界とする。減衰係数 f_D は、大山ら²⁾ になって、減衰層内では、零から線形的に増加させた。なお、計算精度は、解析領域中央部の計算波高から得られた反射率 (K_R) で評価する。得られた結果は、大山ら²⁾ による結果とはほぼ同じ傾向にある。図-4に、透過角 $\theta = 60^\circ$ の場合の $f_D \sqrt{L} \sim K_R$ の関係を B/L (入射波頂/減衰層幅) をパラメータとして表す。これらの結果より、 K_R は $f_D \sqrt{L}$ に対して、極小値を持つことがわかる。これは、 f_D が小さい領域では、透過境界からの反射が卓越し、 f_D が大きい領域では、減衰層前面からの反射が卓越するからである。

図-4 無次元減衰係数～
反射率の関係

4. 理論仮定による誤差の評価

狭帯幅のスペクトルを仮定した本解析では、係数を平均周波数のまわりにテイラー展開し一次項で近似している。ここでは、この理論仮定による誤差を評価する。まず、計算で用いる平均周期(2秒)と異なる周期(1~3秒)を持つ規則波一波を、二次元水路に入射して波高における誤差を評価した。図-5に、理論値と計算値との比較を示す。周期2秒を境界として、理論値と計算値の誤差が大きくなることがわかる。

次に、有義波周期2秒の不規則波を対象として計算を行った。計算で用いた平均周期は2秒である。図-6には、本モデルで計算された水面変動と、線形波の重ね合わせによって得られた水面変動を示した。個々の波の変動は両者で、あまり一致していないが、包絡線は似た傾向を示している。図-7は入射波と計算波のスペクトルであるが、よく一致している。高周波域でのずれは、図-5にみられるように実成分波の周期が平均周期より小さい場合の誤差が比較的大きいからである。

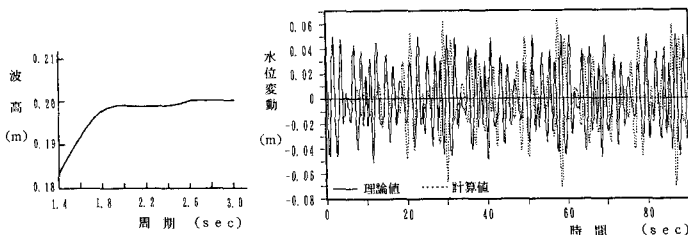


図-5 周期～波高の関係

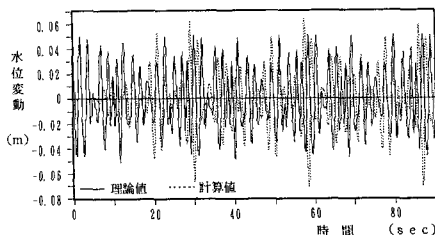


図-6 不規則波の時系列

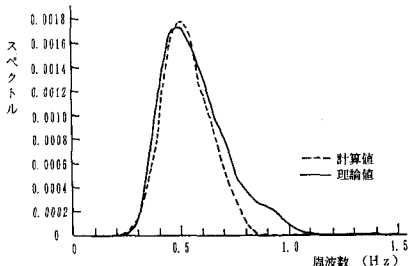


図-7 不規則波のパワースペクトル

謝辞 本研究を進めるにあたり、東京大学 磯部雅彦教授から貴重な助言を賜りました。謝意を表します。
参考文献

- 1) 窪・小竹・磯部・渡辺：非定常緩勾配不規則波動方程式について，海講，1991。
- 2) 大山・灘岡：数値波動水槽における開境界処理のための数値消波フィルターの開発，海講，1990。