

水深変化による屈折・回折・流れによる屈折の同時効果の数値計算に関する考察

京都大学工学部 正 酒井哲郎; 京都大学大学院 学 ○弘末文紀

1. はじめに: 1981年に Booij によって流れと水深変化による屈折と回折がともに存在する場合の数学モデルが発表された。ここではこの Booij のモデルを検討し、その実用性を議論する。そこでまず問題となるのは、流れと構造物が存在する浅海域では様々な波向や波長を有する波が存在するので、波数保存式における波数ベクトル $\mathbf{k}$ が決定できないことである。以下この問題に対する Booij の考え方を紹介した後、波数保存式において流れを無視した場合の影響を検討する。

2. 波数に関する Booij の考え方: 波数 $\mathbf{k}$ は波の伝播方向を有するベクトル量で表わされる。もし波の伝播方向があらかじめわかっているならば、波数保存式(1)の波数ベクトル $\mathbf{k}$ と流速ベクトル $\mathbf{U}$ の積の項が計算できて、相対周波数に関する分散関係式(2)とともに解けば、

$$\sigma = \omega - \mathbf{k} \cdot \mathbf{U} \quad (1), \quad \sigma^2 = g k \tanh(kh) \quad (2) \quad \text{波数 } \mathbf{k} \text{ を求めることができる。}$$

ここで、 ω : 絶対周波数、 σ : 相対周波数である。もし構造物が存在し、そこからの反射、回折波が存在していると、入射波と一緒にいくつかの別の進行方向を有する波が同時に存在していることになる。この場合は波数保存式の $\mathbf{k}$ を与えることができない。流れが存在しなければ、波数ベクトルと流速ベクトルの積の項が消えて、 $\mathbf{k}$ の向きは関係なくなりこの問題は生じない。流れが存在していても、構造物による反射、回折が無視しうる場合には、波の向きは少なくとも入射波の段階では1方向のみで既知である。この方向が変形にともなうてしだいに変わっていく。この場合には、いわゆる波向に沿う計算が可能で、従来の水深変化のみによる屈折に関する幾何光学的計算法と同様に、沖側境界から一種の特性曲線に沿って岸側に向って計算していく方法が、岩垣ら(1977)によって提案されている。そこでは計算点の直前の波向を用いて波数保存式を計算している。従って波数の問題は、流れが存在しかつ反射、回折波が無視しえない場合のみ実質上問題となる。Booij は流れの方向と波の伝播方向が平行の場合でも、真の波数と波数保存式の流れを無視した場合の波数とを比較して、流速が小さいならばその値の間には数パーセントの誤差しかないと述べている。また Booij は構造物による反射がとくに卓越しなければ、入射波の波数ベクトルを用いて、流速ベクトルとの積に 0.9 倍程度すれば良いとし、実際に計算も行なっている。

3. 流れの中での波数の効果: 渡辺ら(1982)は、海浜流計算の入力としての波の変形計算においては流れによる波速や波長の変化を無視してもよいとしている。ここでは、波数ベクトルの方向が与えられない場合に、波数保存式において流れがないとして近似計算を行なうという方法について、別の面から検証してみる。流れを無視した波数を k' とし、流れを考慮した正確な波数を k とする。波数ベクトルと流速ベクトルの方向が平行であるとすると、式(1),(2)より式(3)のような関係が生じる。縦軸に k/k' を、横軸に $U/\sqrt{g h}$ をとり、パラ

Tetsuo SAKAI, Fuminori HIROSUE

$$\sqrt{\tanh(K'h)} - \frac{K}{K'} \sqrt{K'h} \frac{U}{\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{K}{K'} \tanh\left(\frac{K}{K'} K'h\right)} \quad (3)$$

メータとして $K'h$ をと、式(3)の関係を示したのが図-1である。図-1より

わかることは、 $U/\sqrt{gh}$ の値が ± 0.1 の間では、 K' と K の誤差は約10%以内に収まっているということである。次に岩垣ら(1977)が示した流れに斜めに入射する浅海波の屈折の理論に、同様の考え方を適用するかどうかについて考えてみた。図-2は水深が一定として、流れのない領域での $k_0 h_0 = 0.1$ の場合の波向変化を示す岩垣らの図-2を再度示したもので、再計算したところ図に誤りがあることがわかった。正しくは図-2の実線のようになり、深海波の場合(破線)に比べて波向の変化はゆるやかになる。もちろん、波数保存式の流れを無視すれば、波向は変化しない。波高の比は、波数保存式の流れを無視した場合にはもとの式の右辺に $\exp(-\frac{1}{2} \cos \theta_0 \cdot U/C_0)$ が乗じられる。図-3にその関係を破線で示した。なお図-3において実線で表わされているのは、波数保存式において流れを無視しない場合の関係を示したものである。この実線もやはり岩垣らの図-3の実線とは異なり、再計算した結果後者に誤りがあることがわかった。図-3より両者を比較すると、流速が大きくなるに従って差が大きくなることがわかる。このように一般的には、波数保存式の中の流れを無視した場合波高変化の割合の見積もりを誤ることになる。ただし沿岸流の場合には、具体的な数値を入れて計算してみるとその影響はほとんど無視しうることがわかった。すなわち、波速に

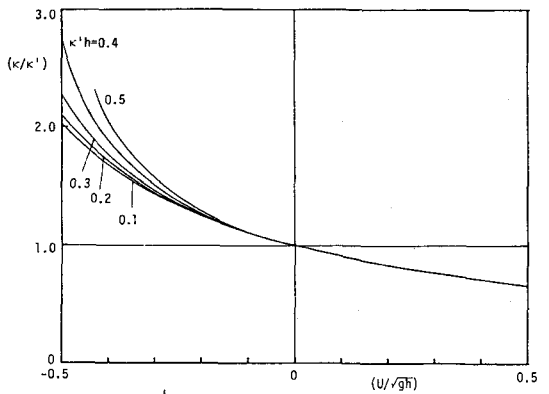


図-1 波数保存式の流れを無視した場合の波数 K' と真の波数 K の比 (流れと波向が平行)

る効果から類推した指摘は、正しいといえる。

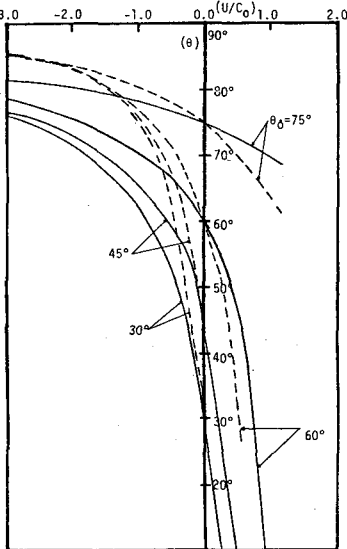


図-2 流れに斜めに入射する浅海波の波向の変化 (岩垣ら, 1977, 図-2 の修正)

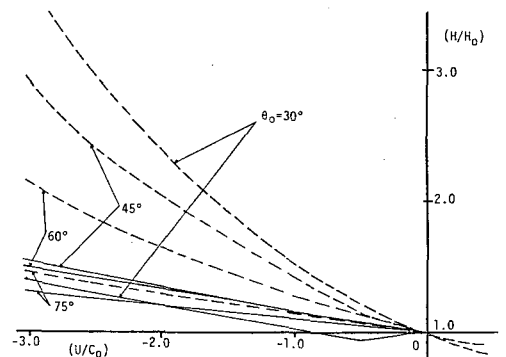


図-3 波数保存式の流れを無視した場合の流れに斜めに入射する波の波高変化(破線) ($k_0 h_0 = 0.1$, 水深一定)