

流れによる波の屈折と波高変化について

京都大学工学部 岩垣雄一, 酒井哲郎, 飛島建設○国 幸夫

1. まえがき: 潮流や河口流などの流れによる波の変形を論じる上で, 波と流れの非線型干渉の問題は重要である。ここでは, 一昨年の本講演会で提案した任意の水深変化および流れを有する場における波の屈折の数値計算法を若干修正したものを, 簡単な流速分布を有する浅海域に適用し, 別に得られた理論解と比較して波の屈折および波高変化の特性を調べる。

2. 数値計算法: 問題を次のように設定することができる。「波と流れが存在する領域において, 定常状態を考へ, 全領域で流速  $U=(U, V)$ , および水深  $h$  が既知であって, 流れのない領域の沖側境界上で, 波の周期  $T$ , 波向  $\theta_0$ , および波高  $H_0$  が与えられたときの領域内の  $\theta$  および  $H$  を求めること」

解析の基礎式は, (a) 波数の保存式, (b)  $\nabla \times k = 0$  の式, (c) 微小振幅波理論の波速および群速度の式, (d) エネルギー平衡式, の4つの式となる。ただし  $k$  は波数ベクトルである。これらは, 特殊な条件のもとでは解析解が求まっているが, 一般的には解を求めるのは困難である。数値計算においてはこれらの式を変形し, 波向  $\theta$  および波のエネルギー  $E$  の初期値問題におきかえて解析を進めてゆく。この詳細については省略する。いま, 具体的な計算条件として, 図-1 のような 500m 四方の領域を与え,

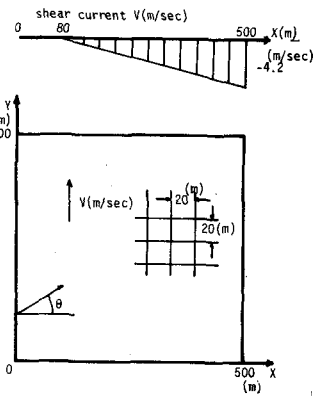


図-1 計算領域

領域を 20m 四方のメッシュにわけ, 水深  $h$  (m), および初期の波向  $\theta_0$  を変化させて,  $\theta$  および  $H$  の  $x$  方向の変化を調べる。なお, 流速の  $x$  成分は 0 で,  $V$  (m/sec) は次式のように与えらる。 $0 \leq x \leq 80: V=0$ ,  $80 \leq x \leq 500: V=-0.01(x-80)$ , ただし  $x$  の単位は m である。 $h$  については, 一様水深の場合と傾斜を有する場合の 2 つにわけ, それぞれについて  $\theta_0 = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  について数値計算を行なう。また, 一様水深の場合については, radiation stress を無視した場合についても同様の計算をする。結果の一例として,  $h=5.0$  m,  $T=5$  sec,  $\theta_0=30^\circ$  の場合を図-2 に示す。

3. 流れによる波の屈折の解析解: 2. で述べたように,  $U=0$  で, また  $h$  および  $V$  が  $x$  のみの任意の関数であるとき, Longuet-Higgins と Stewart が深海波において解析解を得たのと同様な方法により, 浅海波においても解析解を得ることができる。(a)~(d) の関係式を用いて次の解を得る。ただし  $C$  は波速, 添字  $0$  は流れのないところでの値を示す。深海波の場合はアンダーラインの部分か 1 となる。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 - \left(\frac{V}{C_0}\right) \sin \theta_0} \cdot \frac{\tanh k h}{\tanh k_0 h_0} \quad (1)$$

$$\frac{k}{k_0} = \left\{ 1 - \left(\frac{V}{C_0}\right) \sin \theta_0 \right\}^2 \frac{\tanh k_0 h_0}{\tanh k h} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \frac{\sin \theta_0}{\left\{ 1 - \left(\frac{V}{C_0}\right) \sin \theta_0 \right\}^2} \frac{\tanh k h}{\tanh k_0 h_0} \quad (3)$$

$$\frac{H}{H_0} = \left( \frac{n_0 \sin 2\theta_0}{n \sin 2\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

これらの式より、一様水深の場合、 $k_0 h_0$  および  $\theta_0$  をパラメータにとり、 $\theta$  および  $(H/H_0)$  を  $(V/C_0)$  の関数として表わすことができる。これを  $k_0 h_0 = 0.1$  および  $k_0 h_0 = 3.0$  (深海波) の場合について示したのが 図-3 および 図-4 である。

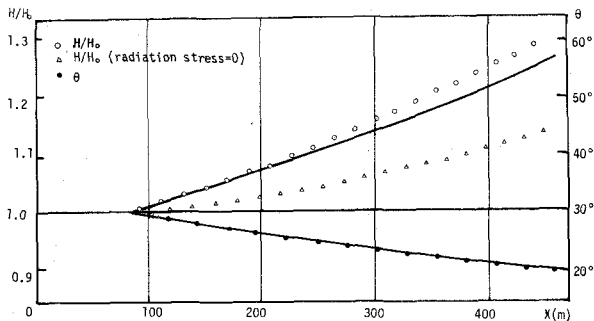


図-2 数値計算値と理論値

4. 考察: 数値計算結果を示す 図-2 の中で実線は 3. で得た理論値を表わす。 $\theta$  については、計算値と理論値はよく合っているが  $(H/H_0)$  については  $X$  が大きくなると計算値と理論値のずれが大きくなる。一般的には、 $\theta$  についても  $X$  が大きくなると理論値と計算値について若干の差が見られる。 $\theta$  については、数値計算による誤差の累積によるものと考えられる。 $(H/H_0)$  については、誤差の累積とともに、 $\theta$  の理論値との違いが増幅されて出てきているとも考えられる。また、

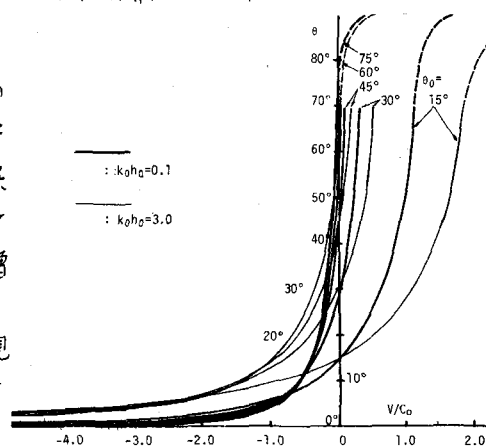


図-3  $\theta$  の変化

$\text{radiation stress}$  を無視した数値計算結果は、無視しない場合の約半分となっており、 $\partial V/\partial x$  の値にもよるが、一般的にその効果は無視できない。また、その他の計算結果より、 $T$  および  $\theta_0$  が同一の場合、水深が浅くなるほど  $\text{radiation stress}$  の効果が大きくなることわかった。一方、理論値を示した 図-3 および 図-4 より、 $(V/C_0) \rightarrow -\infty$  のとき  $\theta \rightarrow 0$ ,  $(H/H_0) \rightarrow \infty$  となる。また、 $(V/C_0)$  が正のある値を越えると (3) 式の右辺は 1 より大きくなり  $\theta$  を計算することができなくなる。このとき波向線の間隔がせはまり、このような場合にはこの理論を適用できない。 $\theta_0$  が大きいとき、 $(V/C_0)$  が 0 から負になると、 $(H/H_0)$  は一

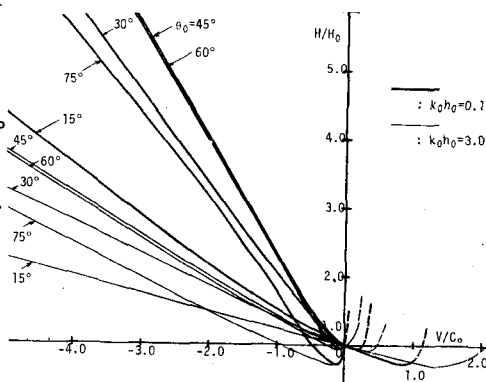


図-4  $H/H_0$  の変化

にん減少して極小値をとったあと増大する。これは、逆向きの流れにより波が峯線方向にひき寄せられ、波高が減少したものと考えられる。なお、数値計算による  $(V/C_0)$  は  $-0.5 \leq V/C_0 \leq 0$  の範囲にあり、図-2 からはその傾向は見られないが、他の計算結果より、前述の理論と同様な波高減少の傾向が見られる。今後の数値計算の問題点は波高計算の精度をよくすることである。また、この数値計算は流れが波によって変化しないことを前提にして行なわれており、沿岸流や離岸流による波の変形を取り扱うときは波による流れの変化も考慮しなければならない。その意味で新しい数値計算モデルが必要であるといえる。