

流れによる波の変形における回折効果

京都大学工学部 正 酒井哲郎、○学 服部明彦

1. まえがき 水深変化のみによる波の変形における屈折と回折効果を同時に考慮した、いわゆる mild slope 方程式は、すでに放物近似を行なうことによって実用的な計算が出来るまでに至っている。一方流れも存在する場合は、Booij(1981), Liu(1983) および Kirby(1984) が方程式を導き、Liu は数値計算結果も示している。ここでは Liu が数値計算を行なったのと同じ条件で計算を改めて行い、Liu の理論の問題点を議論する。

2. Liu の理論 Liu は流れの効果をも含めた mild slope 方程式を、Booij とは別の方法で求めた。Kirby によると、Liu の方程式では1つ項が抜けているが、ここでは Liu の式をそのまま使う。Liu はこの式を、速度ポテンシャルの時間項を三角関数の周期解で表現し ($\Phi = \phi \exp(-i\omega t)$)、流れの中での波数保存式、流れが波速より小さいという仮定を用いて変形した。その後、水平2方向の座標の関数としてのポテンシャル ϕ を、幾何光学的屈折を表わす項 ($A \cdot \exp(iS)$) とそれ以外の項 $F(x, y)$ の積で表わし、 F の満たすべき式を求めた。さらにいわゆる放物近似として、 F は波の進行方向よりその直交する方向に変化が大きいと仮定して、 F の満たすべき式を変形した。最後に流れに相対的な波速、群速度が $\sqrt{gh}$ (g :重力加速度、 h :水深) で与えられると仮定して式を変形した。

3. Arthur(1950)の斜面上の離岸流への適用 Liu が数値計算を行なった Arthur の例は、勾配 1/50 の海浜 (x :

沿岸方向、 y : 汀線を原点 $-2i(\bar{k} - \frac{\omega U_x}{gh}) \frac{\partial F}{\partial y} + 2i \frac{U_y \omega}{gh} \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + (-\frac{2\omega}{gh} \bar{k} U_y) F = 0$ (1)
に冲向き、沖側境界 $y =$

800ft で $h = 16$ ft) 上の y 軸を対称線とする、汀線付近で y 軸に向かう流れを伴う離岸流である。波の周期は 8sec、初期波向は $-y$ 方向である。波の進行方向がほぼ $-y$ 方向なので、波の進行方向を $-y$ 、それに直交する方向を x としてさらに変形して得た式(1)を、クラック・ニコルソンの方法で数値計算を行なった。ここで i は虚数単位、 $\bar{k}$ は流れのない場合の波数、 ω は角周波数、 U_x , U_y は流れの x, y 成分である。現象は y 軸に関して対称であり、 x 方向には変化しないから、 y 軸上で $\partial F / \partial x = 0$ 、流れから遠く離れた $x = 1,200$ ft および沖側 $y = 800$ ft で $F = 1$ を境界条件として、 $y = 800$ ft から $-y$ の方向に計算を進めて F の値を求めた。図-1 は、Liu の計算結果を示す。

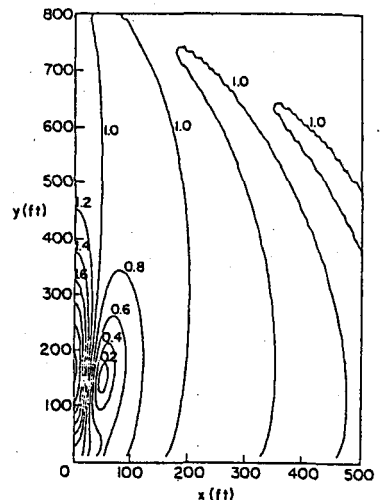


図-1 $|F|$ の等値線 (Liu)

4. 流速に関する適用範囲 Liu の論文では数値計算の詳細

細は示されていなかったのので、改めて数値計算モデルを作り、同じ条件で計算したところ、基本的には図-1と同じ結果を得た。図-2は、Liuが計算を行なった場合の流速を2倍にして計算した結果である。図-1では $|F|$ の最大値が $y = 180\text{ft}$ 付近で2.2程度であったのが、流速を2倍にした場合は、計算範囲の最も岸側で30以上になっている。この様な大きな $|F|$ の値は、基礎式における線型の仮定を逸脱するものである。ここでは、Liuの理論展開の中の1つの仮定である流速が波速や群速度より小さいという仮定を調べてみた。その結果、汀線近くで沿岸方向流速と波速の比がほぼ1になることがわかった。この事からLiuの理論は、流速と波速の比が1程度の場合には適用が出来ないと思われる。

5. F の位相 図-3は、図-1の条件での F の位相と浅水変形による位相を加えた、変形した波の場の位相をLiuが示したものであり、 F の値が最大になる付近でその位相が急に逆転することになる。すなわち等位相線は、流れから遠い領域では浅水変形による位相の変化を示しているが、流れの中心線近くでは、沖から等位相線が上述の逆転する付近までは位相が浅水変形による位相よりも進んでいる。ところが F の最大値の付近で F の位相が急に減少し、そこから岸側で

は、浅水変形による位相よりも遅れることを示している。ここではこのことを確かめるために、図-1と同じ条件の計算結果から、 F の位相を調べたところ、表-1のようになった。 F の実数部と虚数部の値から位相の $\tan^{-1}$ を計算すると $\pm 90^\circ$ の範囲で値が得られる

表-1 F の位相変化

$y(\text{ft})$	$\tan^{-1} (^\circ)$	$\theta (^\circ)$
800	0	0
250	84	84
230	-84	96
140	-5	175
130	6	186
40	88	268
30	78	282
10	33	326

ので、それまでの変化を考慮して 90° 以上にしている。このように、Liuの示した位相の逆転は見られない。

最後に、この研究を行なうにあたり助言をいただいた京都大学工学部岩垣雄一教授に謝意を表す。6. 参考文献 Booi, N. (1981) : Rep. No.81-1, Communi. on Hydr., Dept. of Civil Eng., Delft Univ. of Tech., Liu, P. L-F. (1983) : JGR, Vol.88, No. C7, Kirby, J.T. (1984) : JGR, Vol.89, No.C1.

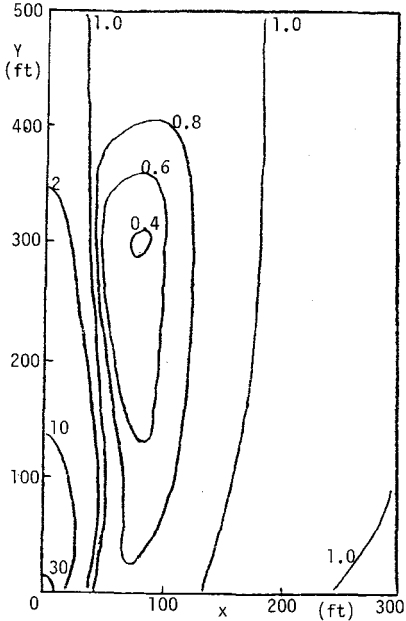


図-2 流速を2倍にした場合の

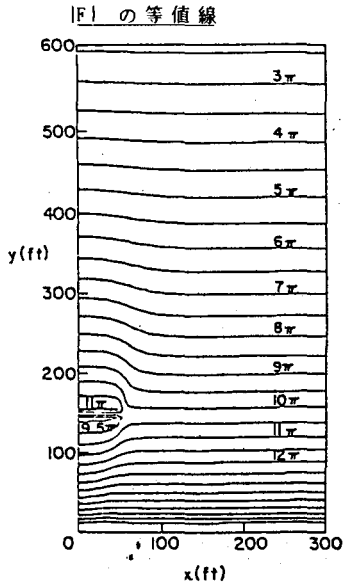


図-3 波の等位相線 (Liu)