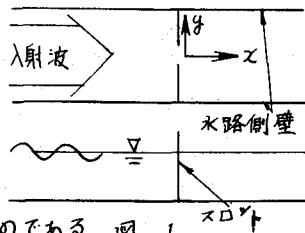


北海道大学 正会員 岸 力
北海道大学 正会員 森 明巨
運輸省 正会員 西川 正幸

外海の長波が 図1のような湾入部に進入すると エネルギー損失ともな
いながら顕著に変形する。この問題に関して 現在まで多方面から研究され
てきたが いまだ実験値との対応は十分なものとはいえない。

本研究は 運動方程式の非線形項の断面思維部近傍の速度が大きい新では
大きな影響力をもつと考え 数値計算によって N.S方程式、連続の式を連
立に解き実験値と比較するとともに計算結果から波の変形機構に考察を加えたものである。図 1



1. 基礎方程式

x, y 方向水粒子速度 u, v の水深方向の平均値を $\bar{u}, \bar{v}$ とすると
連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + (\epsilon + \gamma) \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) = 0 \quad \text{-----1}$$

運動方程式

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) \quad \text{---2}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) \quad \text{---3}$$

t : 時間 γ : 水位変化 ϵ : 水深 g : 重力加速度 ν : 動粘性係数

2. 差分式

1, 2, 3式を下記のように差分化し leap frog method により計算した。

$$\begin{aligned} (U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^{n-1}) / 2\Delta t + (I_{11} + I_{12}) / 2\Delta x &= -g(\eta_{i+1,j}^n - \eta_{i-1,j}^n) / 2\Delta x + \nu(U_{i+2,j}^{n-1} + U_{i,j}^{n-1} + U_{i,j+2}^{n-1} + U_{i,j-2}^{n-1} - 4U_{i,j}^{n-1}) / (2\Delta x^2) \\ (V_{i,j}^{n+1} - V_{i,j}^{n-1}) / 2\Delta t + (I_{21} + I_{22}) / 2\Delta x &= -g(\eta_{i,j+1}^n - \eta_{i,j-1}^n) / 2\Delta x + \nu(V_{i,j+2}^{n-1} + V_{i,j}^{n-1} + V_{i,j+2}^{n-1} + V_{i,j-2}^{n-1} - 4V_{i,j}^{n-1}) / (2\Delta x^2) \\ (\eta_{i,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n-1}) / 2\Delta t &= -(\epsilon + \eta_{i,j}^n)(U_{i+1,j}^{n-1} - U_{i-1,j}^{n-1} + V_{i,j+1}^{n-1} - V_{i,j-1}^{n-1}) / 2\Delta x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{11} &= U_{i,j}^{n-1} (U_{i,j}^{n-1} - U_{i-1,j}^{n-1}) & (U_{i,j}^{n-1} \geq 0) & \quad I_{12} = V_{i,j}^{n-1} (U_{i,j}^{n-1} - U_{i,j-2}^{n-1}) & (V_{i,j}^{n-1} \geq 0) \\ &= U_{i,j}^{n-1} (U_{i+2,j}^{n-1} - U_{i,j}^{n-1}) & (U_{i,j}^{n-1} \leq 0) & \quad &= V_{i,j}^{n-1} (U_{i,j+2}^{n-1} - U_{i,j}^{n-1}) & (V_{i,j}^{n-1} \leq 0) \\ I_{21} &= U_{i,j}^{n-1} (V_{i,j}^{n-1} - V_{i,j-2}^{n-1}) & (U_{i,j}^{n-1} \geq 0) & \quad I_{22} = V_{i,j}^{n-1} (V_{i,j}^{n-1} - V_{i,j-2}^{n-1}) & (V_{i,j}^{n-1} \geq 0) \\ &= U_{i,j}^{n-1} (V_{i+2,j}^{n-1} - V_{i,j}^{n-1}) & (U_{i,j}^{n-1} \leq 0) & \quad &= V_{i,j}^{n-1} (V_{i,j+2}^{n-1} - V_{i,j}^{n-1}) & (V_{i,j}^{n-1} \leq 0) \end{aligned}$$

ここで U, V, η は それぞれ x 方向流速, y 方向流速, 水位変化を表し, $U_{i,j}^{n-1}$ は $x = i\Delta x, y = j\Delta x$ の格子点の $t = (n-1)\Delta t$ 時間の U の値である。図2に変数の配置を示す。

空間格子間隔は 1cm とし $\Delta x / \Delta t > 2\sqrt{g\epsilon}$ で Δt を求めた。

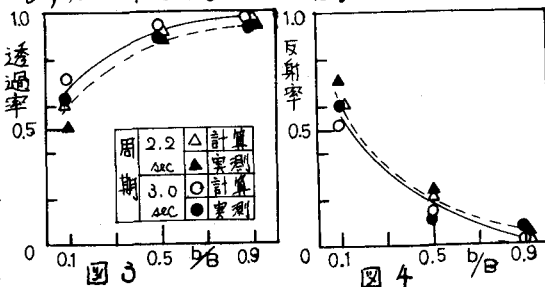
境界条件は スロットと側壁を考慮 側壁では $V = 0$, スロットでは $U = 0$ とした。

3. 計算結果と実験値との比較

実験は 幅 80cm 長さ 20m の水路で行なわれた。
水深は 22cm とし スロット幅を変化させて 水路
幅 B と 開口部幅 b の比 b/B を変えた。

入射波としては 周期 2.2 又は 3.0 sec 波高 0.5cm のものを用いた。

図3, 図4で 透過率, 反射率の実験値との比較を



し、図5で透過率及び反射波位相差と比較した。

4. スロットによる波の変形に関する考察

透過波水位及び反射波水位の山の位置の移動を図6に示す。ここで反射波水位とは反射波領域の水位からその時の入射波の水位を差し引いたものである。図6より明らかに入射波と透過波及び反射波の間に位相差が生じており、スロット近くの y 方向で波形がスロットの勢に乱れている領域でも y 方向で平均した位相差はスロットから離れた領域の位相差にほぼ一致している。

○透過波位相差について

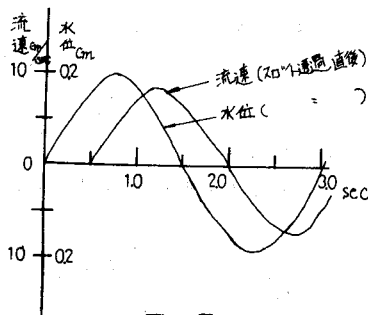


図 7

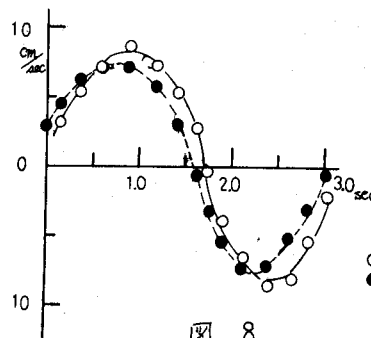


図 8

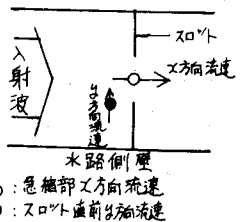


図7に示されているように スロット透過直後の水位と流速の位相は一致していない。 スロット直後の乱れた領域では 水路中心線上の水位の位相は入射波に等しく、流速はほぼ透過波の位相に等しくなっている。

ここで透過波として 入射波のスロット開口幅の部分のみが透過すると考えると $b/B = 0.1$ のとき $\alpha = 0.32$ ($\alpha^2 = 0.1$) となるが 実験では α (透過率) は 0.7 位になり、障害物のガレの部分より相当量より入って透過していることになる。このため 開口部の流速は 横方向からの流入によって増大し、最大になる時間が遅れ 透過波の位相がずれると思われる。これは図8で 示されるように 急縮部 y 方向の流速が x 方向流速と同位相である事からも推察される。

○反射波位相差について

図9に反射波の水位及び流速の平面図を示す。この図からまだ入射波の峰がスロットの位置まで到達していないのに 水路中心線上に水位の高い部分ができ 時間の経過と共に反射波の方向に移動していき、しだいに横断方向に一様となって 反射波の峰を形成する。 この水位の水路中心線上の山の部分が 反射波の位相差を起す要因と考えられる。

5. 結論

数値計算値は 細かいところまで実験値とよく対応した。 今後は 数値計算の他の境界条件の場合へ適用する事及び、計算結果から 内部の変形メカニズムを 解明する事が 課題である。