

非線型分散波理論による Shallowing 及び波と流れの干渉

大阪大学工学部 正 員 榎木 亨
 大阪大学工学部 正 員 出口-郎
 大阪大学大学院 学生員 李 宗燮

1. まえがき 砕波帯内外での漂砂移動や海岸構造物の計画と関連して波浪変形及びそれによって生ずる諸現象を精度高く予測することは海洋工学的に重要な問題となっているが、実際上は砕波帯で適用できる波動理論が確立されていないことから、従来は主として線型理論に基づく解析が行なわれてきた。しかし、本来非線型性の強い砕波帯内の諸現象に対して、線型理論を用いることから生ずる問題点が多く、研究者によって指摘されている。本研究ではこのような問題点を解決するために、任意水深における Boussinesq 方程式に基づいて、波浪変形及び平均流の計算を行う新しい解析方法を提案し、実験結果と比較することによってその妥当性の評価を行なったものである。

2. 基礎方程式 岸沖方向に x 軸、鉛直方向に z 軸を取った座標系を考えると、粘性及び底面摩擦効果を考慮した任意水深における Boussinesq 方程式はつぎのようである。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad \text{---(1)} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h+\eta} \right) + g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h(h+\eta)}{3} \left[\frac{\partial^2 M}{\partial x^2 \partial t} - \frac{M}{h+\eta} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2 \partial t} \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \overline{\tau_x} = 0 \quad \text{---(2)}$$

ここで、 $M = u(h+\eta)$ 、 η は静水面からの高さである。いま M を時間的に定常成分 M_0 、波による成分 M_w 及び乱れ成分 M' の和とおき、 $M = M_0 + M_w + M' \quad \text{---(3)}$ 波の一周期 T に対して時間平均を取ると平均成分に關する次式が得られる。

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial M_0}{\partial x} = 0 \quad \text{---(4)} \quad \frac{\partial M_0}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_0^2}{h+\bar{\eta}} \right) + g(h+\bar{\eta}) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + \frac{\partial P_{xx}}{\partial x} - L_x + \overline{\tau_x} - \frac{h(h+\bar{\eta})}{3} \left[\frac{\partial^2 M_0}{\partial x^2 \partial t} - \frac{M_0}{h+\bar{\eta}} \frac{\partial^2 \bar{\eta}}{\partial x^2 \partial t} \right] \quad \text{---(5)}$$

ここで、 P_{xx} は波の過剰運動量 flux、 L_x は水平混合項、 $\overline{\tau_x}$ は底面摩擦項で次のようになる。

$$P_{xx} = \partial(M_w^2/h+\eta_w)/\partial x, \quad L_x = \partial(K_x \partial M_0/\partial x)/\partial x, \quad \overline{\tau_x} = f_w(0.5 M_0/h+\bar{\eta} + M_w/h+\eta_w) |0.5 M_0/h+\bar{\eta} + M_w/h+\eta_w| \quad \text{---(6)}$$

ここで、 K_x は運動量拡散係数、 f_w は底面摩擦係数である。また、(1)、(2) 式に(3)式を代入した式より(4)、(5)式をそれぞれ引くと位相変動成分に關する次式が得られる。

$$\frac{\partial \eta_w}{\partial t} + \frac{\partial M_w}{\partial x} = 0 \quad \text{---(7)} \quad \frac{\partial M_w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_w^2}{h+\eta_w} \right) + g(h+\eta_w) \frac{\partial \eta_w}{\partial x} + 2M_0 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_w}{h+\eta_w} \right) - \frac{h(h+\eta_w)}{3} \left[\frac{\partial^2 M_w}{\partial x^2 \partial t} - \frac{M_w}{h+\eta_w} \frac{\partial^2 \eta_w}{\partial x^2 \partial t} \right] = -DM_x \quad \text{---(8)}$$

ここに η_w は波による成分、(8)式の左辺第4項は波と流れの相互干渉項、 DM_x は砕波後の運動量減衰項で榎木らの運動量逓散モデルに基づいてつぎのように表現した。

$$DM_x = \partial(\nu \partial M_w/\partial x + (M_0^2 + M_w^2 - \overline{M'^2})/h+\eta_w)/\partial x = \partial \left[K(M_w/h+\eta_w)^2 \cdot h+\bar{\eta} \right] / \partial x \quad \text{---(9)}$$

数値計算においては implicit 差分法を用い、時間に対しては 2 level、空間に対しては中央差分を取り、Gauss-Seidel 法による収束計算を行なった。この際、砕波条件は合田の砕波条件式より判定し、砕波後には(9)式を行列式の中に入れて収束計算を行なった。

3. 検証実験について 波と流れの干渉による波浪変形及び平均水位を測定するために、図-1に示すような河口を想定した2次元水槽を用い、河道内からは越流堰より流量を与え、沖側ではセキの高さを調整して河口水深を調節した。波高は容量式波高計を用い、

河口を中心に7mにかけて10cm
間隔で測定した。表-1は実験ケース
の一例を示している。

表-1 実験条件

	Q (l^3/sec)	h_0 (cm)	H_0 (cm)	T	H_0/L_0
AW-3	なし	6.7	8.3	1.64	0.02
ACW-3L	2.2	6.7	8.0	1.64	0.02

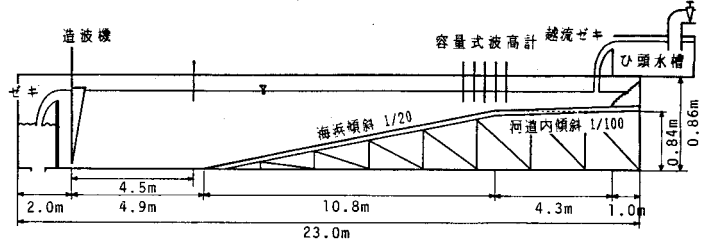


図-1 実験装置

但し、 Q : 流量、 h_0 : 河口水深、 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長 ($gT^2/2\pi$)

4. 結果及び考察

図-2は波と流れの干渉効果を考慮した
非線形分散波理論による計算結果と流れ
の効果も考慮した波数の保存式及び線形
理論に基づくエネルギー保存式より砕波
後には岩垣らのエネルギー消散量を与え
て計算された波高と実験結果を示したも
のである。実験結果によると流れのある
場合はない場合に比してやや波高が小さ
く、砕波点は少し沖へ移動している。

一方、理論計算を比較してみると線型
理論では特に流れのある場合は実験値と
の一致度が良くないが非線型理論の場合
は実験値と殆んど差がない。河口より岸
側の波高は非線型の方が実験値と良く一
致しているが砕波直後の波高減衰につい
ては両方とも一致度が悪く、乱れに対し
ての再検討を必要としよう。

図-3は平均水位の計算及び実験結果を
表わしている。実験結果は流れのある

場合の方が無い場合より H_0/L_0 が小さく、水面勾配もゆるやかになっているが、これは実験
の時河口原点で h_0 を一定に合わせているため、流れによる大きな動水勾配が radiation
stress の勾配と相殺され全体的に水面勾配がゆるやかになっているものと考えられる。

この水位上昇量に關しては今回の非線型の計算結果が従来の線形理論による計算結果よ
り実験値に良く一致する傾向を示している。

5. 結語

以上、波と流れの共存場における波浪変形及び平均水位に対して、今回用
いた新しい計算モデルは線形理論に基づく従来の解析方法より、砕波点、砕波波高、砕波
後の波浪減衰や平均水位の予測に対してより改善された結果を示したが、より精度を高め
るためには運動量消散項を正確に表現する必要があると考えられる。

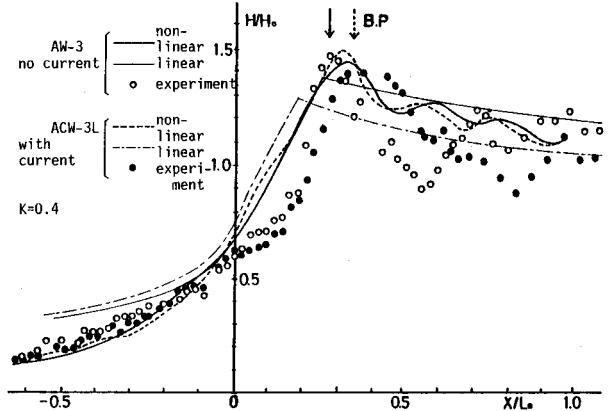


図-2 波高変化の実験及び計算結果

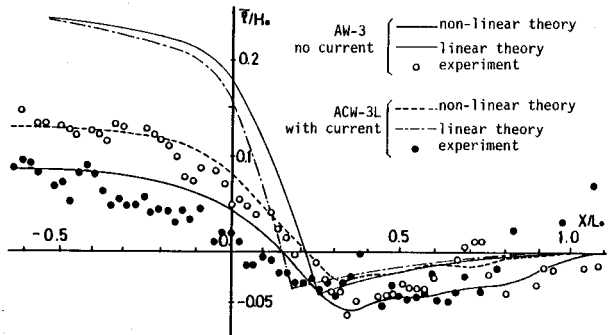


図-3 平均水位の実験及び計算結果