

SOLA-VOF 法を用いた潜堤による碎波の数値計算

名古屋大学大学院 学生員 川崎 浩司

名古屋大学大学院 学生員 安藤 敏宏

名古屋大学大学院 正会員 岩田好一朗

1. はじめに

潜堤は、強制碎波により波のエネルギーの低減をもたらすだけでなく潜堤背後への波の伝達も許すため、潜堤による碎波特性および碎波後の波動特性を熟知することが極めて重要である。最近、急速に発展する数値流体力学に伴い、海岸工学分野においても強非線形現象である碎波の内部機構を数値計算により解明しようとする試みが積極的に行われている。本研究では、簡便かつ高精度な数値計算手法のひとつである SOLA-VOF 法を用いて、2次元波動場に設置された潜堤による碎波の数値計算を行い、碎波から碎波後の波の再生といった一連の過程における波の挙動と水粒子速度場の特性について考究する。

2. 数値計算手法

潜堤による碎波変形過程の水位変動や水粒子速度を高精度に数値予測するための計算手法として、SOLA-VOF 法(Hirt and Nichols, 1981)とソースによる造波方法(Brorsen and Larsen, 1987)、付加減衰領域による開境界処理法(Hinatsu, 1992)を組み合わせる手法を提案する。

基礎方程式は、非圧縮性粘性流体に対する連続方程式(1)、Navier-Stokes 方程式(2)、そして、自由表面の挙動を模擬するための、流体の体積率を表す VOF 関数 F の移流方程式(3)から構成される。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = q(z, t) / \Delta x_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \nu \frac{\partial q}{\partial z} - \gamma w$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(Fu)}{\partial x} + \frac{\partial(Fw)}{\partial z} = Fq \quad (3)$$

ここで、 u , w はそれぞれ x , z 方向の流速成分、 $q(z, t)$ は造波位置 $x=x_s$ でのわき出し強さ(ここでは、Stokes 波の第3近似理論解に基づく水平方向流速の2倍の値を使用した)、 Δx_i は x 方向のメッシュ長さ、 t は時間、 p は圧力、 g は重力加速度、 ρ は流体密度、 ν は動粘性係数を表す。また、 γ は付加減衰領域でのみ使われる正の値を持つ減衰係数である。

図-1 に示すように、解析対象領域の両端に付加減衰領域を、解析対象領域と付加減衰領域の沖側の接続位置に造波ソースを設けた、一定水深2次元波浪場に設置された潜堤に対し、 x の負方向から波が入射する場合を考える。ここで、原点は静水面と潜堤前面の鉛直延長線が交わる点で、 z 軸は鉛直上向きを正とし、図中の B , D , R , h はそれぞれ堤幅、堤高、天端水深、静水深である。

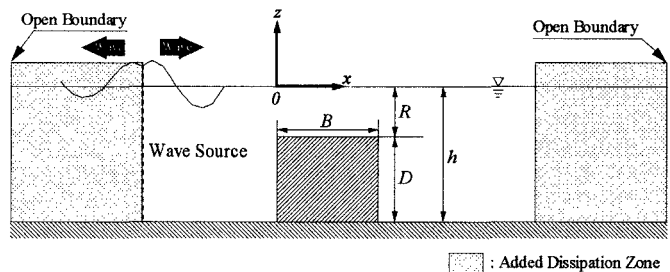


図-1 数値波動水槽

3. 計算結果とその考察

図-2は、波形勾配 $H/L_f=0.03$ 、水深波長比 $h/L_f=0.2$ 、相対堤幅 $B/L_f=0.2$ 、相対天端水深 $R/h=0.2$ の条件下で、各地点での水面の時間波形の計算値と実験値を同時に示したものである。なお、この場合の砕波形式は、Spilling と Plunging 型砕波の中間型である S-P 型砕波である。

潜堤前面で急変する水深の影響により波は強い非線形性を帯びるため、潜堤上での波形は、図-2(a)に示すように、波峰が急峻化し波谷が平坦になる。そして、潜堤岸側背後で波が再生している地点の水位変動を示す図-2(b)をみると、砕波や波と潜堤の非線形干渉の影響によって波は分裂しており、図-2と同じ条件で x, z 方向の流速 u, w の時間波形を示す図-3(b)からも、波の分裂を確認することができる。また、図-2, 3より、計算結果は実験結果とよく一致しており、提案した計算手法の妥当性と有効性が検証される。

図-4, 5は、図-2と同一条件下で、それぞれ潜堤周辺の定常流および定常渦度の空間分布を示す。なお、正の値をもつ渦度が時計回りを表す。図-4から、潜堤岸側背後において、自由水面付近では強い岸向きの流れが、中層および底面付近では沖向きの流れが発生しており、循環流が形成しているのがわかる。さらに、潜堤沖側・岸側両隅角部付近ではそれぞれ反時計、時計回りの渦の発生が認められ、図-5に示す渦度分布からもそのことが確認できる。また、図-5より、潜堤岸側背後の自由水面付近において、水塊の突っ込みによって生じる大規模な渦が認められるが、潜堤から岸側に離れると、渦の規模は縮小している。

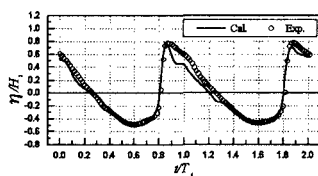
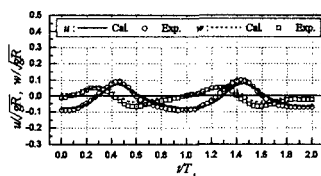
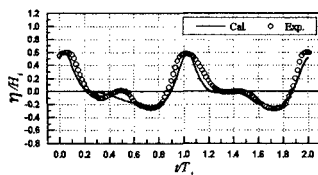
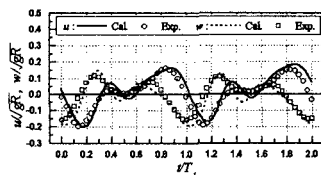
(a) $x/L_f=0.1$ (a) $x/L_f=0.4, z/h=-0.4$ (b) $x/L_f=1.1$ (b) $x/L_f=0.7, z/h=-0.1$

図-2 水面の時間波形

図-3 流速の時間波形

4. おわりに

本報告では、SOLA-VOF 法とソースによる造波方法、付加減衰領域による開境界処理法を組み合わせた手法を提案するとともに、その手法を用いて潜堤による砕波の数値計算を行い、砕波に伴う波動特性について考究してきた。計算結果は水位変動や流速の実験結果とよく一致しており、提案した計算手法の妥当性を検証した。

参考文献

- Brorsen, M. and J. Larsen(1987) : Coastal Eng., Vol.11, pp.93-113.
 Hinatsu, M. (1992) : Jour. Kansai Soc. Naval Architects Japan, No.217, pp.1-11.
 Hirt, C. W., and B. D. Nichols(1981) : Jour. Comp. Phys., Vol.39, pp.201-225.

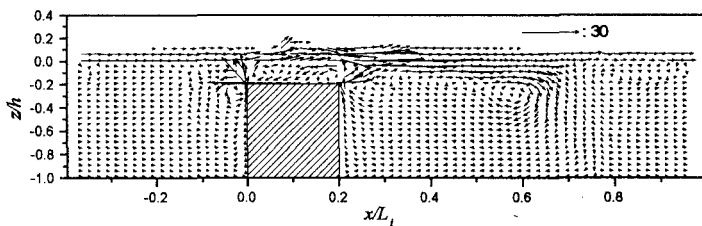


図-4 潜堤周辺の定常流

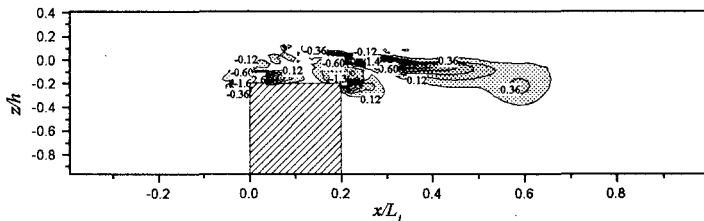


図-5 潜堤周辺の定常渦度分布