

## 人工リーフ周辺の波浪場の数値計算

日本大学生産工学研究科 学生員 鷺見 浩一

日本大学生産工学研究科 正会員 和田 明

## 1.はじめに

近年、海岸の環境保全と景観確保、海洋レクリエーション空間の創出等の要請から、天端面が水面下にある人工リーフの計画例が増加している。沿岸域に海岸構造物を安全に築造するためには、建設対象地点に起こり得る波の諸元を正確に推定することが重要である。人工リーフなどの没水型の海岸構造物周辺の波浪場は、波の屈折・反射および碎波変形を含み、これらの変形過程をすべて考慮した解析を行う必要がある。そこで、本研究では、人工リーフ周辺での波浪場について基本的な知見を得るために、浅海域でこれらの各変形現象を包括的に評価することが可能な丸山・鹿島<sup>1)</sup>による非定常緩勾配方程式を用いて、平面波浪場の数値シミュレーションを行った。

## 2.基礎方程式

静水面を原点とした直交座標における碎波減衰項を付加した非定常緩勾配方程式は式(1)で与えられる。

$$\frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + C^2 \nabla \zeta + f_D \vec{Q} = 0 \quad \cdots (1a) \quad \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{n} \nabla(n \vec{Q}) = 0 \quad \cdots (1b)$$

ここに、 $\zeta$ は水面変動、 $\vec{Q} = (Q_x, Q_y)$ は線流量ベクトル、 $C$ は波速、 $n$ は群速度と波速の比である。式(1a)の左辺第三項の碎波減衰係数 $f_D$ は次式で与えられる。

$$f_D = \alpha_D \tan \beta \sqrt{\frac{g}{h} \left( \frac{\hat{Q}}{Q_r} - 1 \right)} \quad \cdots (2a) \quad \hat{Q} = \sqrt{\hat{Q}_x^2 + \hat{Q}_y^2} \quad \cdots (2b) \quad Q_r = \gamma' \sqrt{gh^3} \quad \cdots (2c)$$

ここに、 $\hat{Q}_x, \hat{Q}_y$ は線流量の振幅、 $\tan \beta$ は碎波点の海底勾配、 $\alpha_D, \gamma'$ は定数でそれぞれ2.5, 0.25に相当する。

## 3.碎波位置の決定

碎波位置の決定には、渡辺ら<sup>2)</sup>による波の重合場に対しても適用できるように整理された流速波速比を用いた。この碎波指標を磯部<sup>3)</sup>により近似式で示したのが次式である。

$$(\hat{u}/C)_b = 0.53 - 0.3 \exp\left[-3\sqrt{h_b/L_0}\right] + 5 \tan^{3/2} \beta \exp\left[-45(\sqrt{h_b/L_0} - 0.1)^2\right] \quad \cdots (3)$$

ここに、 $\hat{u}$ は静水位での水平流速振幅を表す。実際の計算では碎波減衰項を含まない基礎式を用いて $\hat{u}/C$ を計算領域全体について算定し、この値が式(3)で示される碎波指標を越えた沖側端を碎波位置とした。

## 4.境界条件と計算手順

実験水槽あるいは港湾などの海洋の一部を想定して数値計算を行う場合、計算領域周辺の境界条件として谷本・小舟<sup>4)</sup>による任意反射率境界を適用することができる。任意反射率境界は、時刻 $t$ における境界上の点 $(x_0, y_0)$ での $x$ 方向の線流量を式(4)で与えている。

$$Q_x^t(x_0, y_0) = A \cdot Q_x^{t-\tau}(x_0 - \Delta x, y_0) \quad \left. \begin{aligned} A &= \frac{1 - K_R}{\{1 + K_R^2 - 2K_R \cos(2\Delta x \cos \alpha_n)\}^{1/2}}, \tan \sigma \tau = \frac{1 - K_R}{1 + K_R} \tan(k\Delta x \cos \alpha_n) \end{aligned} \right\} \quad \cdots (4)$$

ここに、 $K_R$ は反射率、 $\alpha_n$ は波が境界法線となす角である。また、数値計算は、空間差分間隔を $\Delta x, \Delta y$ として、線流量と水位変動の計算点を半格子間隔ずらしたスタッガードメッシュを用い、計算時間ステップは、時間間隔を $\Delta t$ として $\Delta t/2$ 時間づつずらして線流量と水位変動を交互に計算する leap-frog 法を採用し、基礎式を離散化して行う。

キーワード;人工リーフ,非定常緩勾配方程式,数値計算

連絡先;〒275-0006 千葉県習志野市泉町1-2-1 日本大学生産工学研究科, TEL 0474-74-420, FAX 0474-74-2449

## 5. 計算結果

計算領域は  $12.5\text{m} \times 3.3\text{m} \times 40.0\text{cm}$  の実験水槽を想定した。人工リーフの諸元は  $s=1/30$  の海底勾配の斜面上に、造波機境界から  $9.0\text{m}$  の計算点がのり肩となるように設定し、天端幅は  $B=90.0\text{cm}$ 、天端水深は  $R \approx 6.7\text{cm}$ 、堤長は  $L_r=97.0\text{cm}$  となる不透過性の水深データとして与えた。作用波浪条件は入射波高  $H_i=4.2\text{cm}$ 、周期  $T=1.6\text{s}$  の正弦波を造波機境界で沿岸方向に一様とした。

図-1 は碎波減衰項を含まない非定常緩勾配方程式で計算した  $\hat{u}/C$  と式(3)で表される碎波指標  $(\hat{u}/C)_b$  を岸沖方向に示している。図-1(a),(b)はそれぞれ図-2 において  $Y=286\text{cm}$  の一様斜面と  $Y=165\text{cm}$  の人工リーフ上での碎波点を示し、人工リーフ上ではのり肩付近が碎波位置となっていることがわかる。

図-2 は図-1 で求めた碎波位置を適用した人工リーフ周辺の平面波浪場の計算結果を示している。図から沖側から伝播した入射波は、堤体上では減衰しているが、その側方域では減衰していないことがわかる。 $X=640\text{cm}$  付近から沖側では重複波が形成され、約  $4.0\text{cm}$  の一定の波高値となっていた。

図-3 は図-2 における  $Y=286\text{cm}$  の一様斜面と  $Y=165\text{cm}$  の人工リーフ上の波高値を岸沖方向に示している。図から波の変形過程を見ると、リーフ上では入射波は、のり肩付近までは浅水変形を起こし、波高が

徐々に大きくなり碎波点を迎え減衰している。また、のり尻付近では、再び波高が大きくなっている。このような波の再生は、数値計算上では式(2c)の  $Q_r$  が波の再生限界を示す線流量となっている。開口部の波高値は、 $X=9.0 \sim 10.0\text{m}$  の付近でリーフ上よりも大きな値となっている。

## 6. おわりに

以上のように、非定常緩勾配方程式を適用して人工リーフ周辺の波浪場を求め、人工リーフの波浪減衰機能を確認することができた。今後は、現地に対応した計算を行い実測値との比較検討を行いたい。

- 1) 丸山・鹿島; 碎波減衰を考慮した碎波帯内外の波浪場の数値計算法の提案とその適用, 電力中央研究所報告, 研究報告, 38404, 1985.
- 2) 渡辺・原・堀川; 重合した波浪場における碎波について, 第30回海講論文集, PP5-9, 1983.
- 3) 磯部; 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第33回海講論文集, PP134-138, 1986.
- 4) 谷本・小舟; 数値波動解析法による港内波高の分布, 第22回海講論文集, PP249-253, 1970.

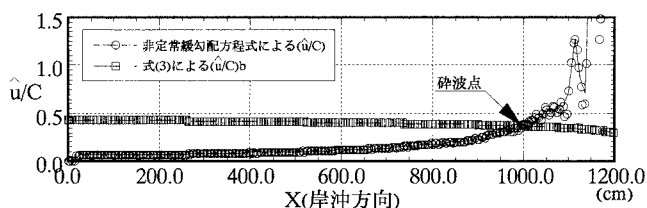


図-1(a) 一様斜面での碎波点の決定( $Y=286\text{cm}$ )

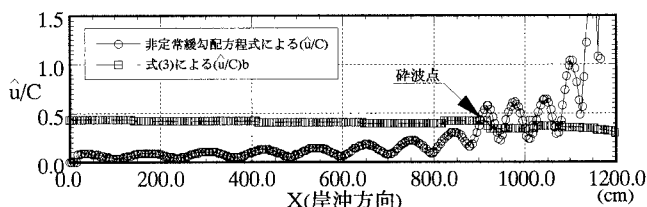


図-1(b) 人工リーフ上での碎波点の決定( $Y=165\text{cm}$ )

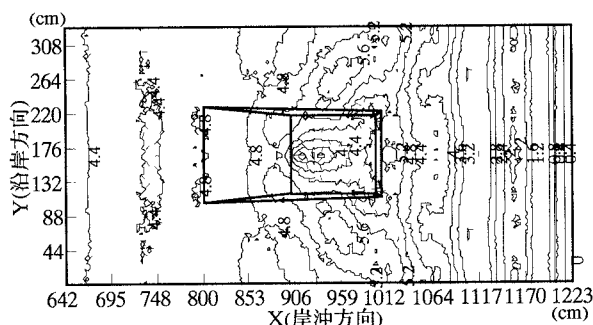


図-2 人工リーフ周辺の平面波浪場

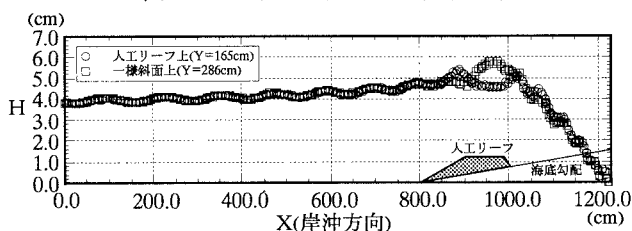


図-3 岸沖方向の波高分布