

II-15

人工リーフ周辺の波浪場計算に関する検討

開発土木研究所港湾研究室

正 員 平沢 充成

正 員 谷野 賢二

正 員 水野 雄三

1. はじめに

胆振海岸は北海道の中央南部に位置する延長約59 kmの砂浜海岸であるが、この海岸では以前から海岸侵食による汀線後退やそれに伴う越波などの災害が発生しており、特に人家や公共施設が隣接する地点では至急の対策が必要となっている。しかしながら、近年、このような災害防止施設の整備については、単に災害を防止するだけでなく、水に触れ海原の解放感を楽しむといった親水機能につ

いても配慮した整備が求められてきている。また胆振海岸の水深5～10mの領域はホッキ貝の漁場となっていることから、胆振海岸での整備の際には水産協調面への配慮も必要となる。以上の理由から、胆振海岸では複合型人工リーフ（以下、複合型リーフと呼ぶ）の施工が計画されることとなった。複合型リーフは従来型の人工リーフの堤端部が離岸堤状に水面上に突出するタイプの構造物であり（図-1）、従来の人工リーフ機能に加えて堤端部が航路標識の役割を果たしてリーフ付近を航行する漁船の座礁を防止するとともに、堤幹部に岸方向の流れを集中させ、リーフの周囲に循環流を積極的に発生させることで有用水産生物の浮遊卵、浮遊幼生、孢子などの分散を抑制し、リーフ背後を水産物増殖の場として活用を図ることを目的として立案されたものである。

胆振海岸では上記の複合型リーフを順次整備していく計画であるが、様々な自然条件下で施工が行われることから、事前にその波浪減衰効果、流況特性などを検討しておくことが必要となる。谷野ら¹⁾は2次元水理模型実験により堤幹部、堤端部別の波浪減衰効果、堤沖側の反射波特性、堤内水位の上昇などの水理特性を検討し、堤幹部については非常緩勾配方程式²⁾を用いた2次元数値シミュレーションによる検討を行った。また平沢ら³⁾は議論を2次元平面場に拡張し、複合型リーフの平面配置による波浪減衰効果や流況特性などを3次元水理模型実験と数値シミュレーションにより検討している。ただし波浪場の計算を放物型方程式⁴⁾により行ったためリーフ前面の反射波が考慮できず、リーフ前面から開口部にかけての領域では水理模型実験結果の再現性が低くなり、それに伴い流況場の計算結果の再現性もリーフ近傍で特に低くなっていた。そこで本研究では複合型リーフ前面領域を含むリーフ周辺の波浪場をより高い精度で計算するため、非常緩勾配方程式を用いた2次元平面場の計算を試み、水理模型実験結果との比較を行い、計算法の適応性を検討した。

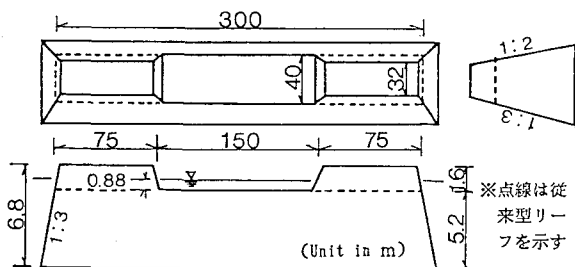


図-1 複合型人工リーフ構造図

2. 波浪場の計算方法

Numerical Computation of Wave Field around Artificial Barrier Reefs

by Mitsunari HIRASAWA, Kenji YANO and Yuzo MIZUNO

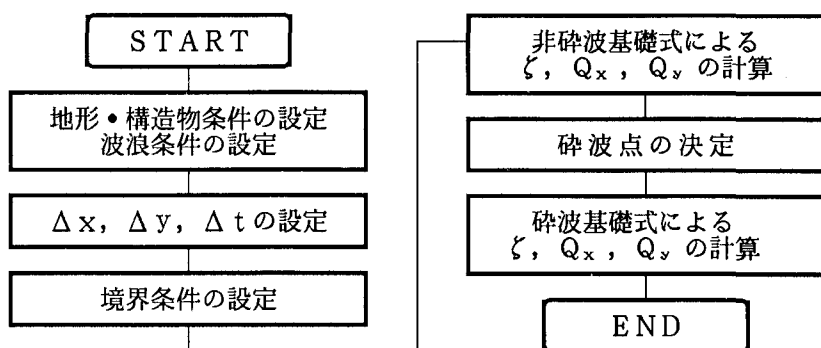


図-2 計算の手順

上述したように谷野ら⁵⁾は1次元の微小振幅の波浪場に対して非定常緩勾配方程式を適用し、計算された伝達率と反射率を2次元水路による実験値と比較検討している。その結果、反射率はリーフ沖側で碎波する以外のケースで実験値と計算値がほぼ一致しており、伝達率についても相対先端幅（リーフ先端幅Bと沖波波長L₀の比）が小さいケースを除いてほぼ一致するという結果を得ている。またこの方法によれば波浪の屈折、回折、反射、碎波変形が同時に取り扱えることから、本研究では非定常緩勾配方程式を用いて波浪場の計算を行うこととした。波浪場の計算ルーチンを図-2に示す。非定常緩勾配方程式による碎波前の計算基礎式は次式で示される。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{n} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (n Q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (n Q_y) \right\} = 0 \quad (3)$$

ここでx, yは水平面に設定した座標軸、zは鉛直座標軸（上向き正）、tは時間、ζは水面変位、Cは波速である。またQ_x, Q_yはx, y軸方向の線流量、nは群速度と波速の比であり次式で与えられる。

$$Q_x = \int_{-h}^0 u \, dz, \quad Q_y = \int_{-h}^0 v \, dz \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (5)$$

ただし、u, vは波動運動に伴う流速のx, y成分を示し、hは水深、kは波数を示す。上記の方程式により碎波変形が生じないと仮定した場合のζ, Q_x, Q_yを全計算領域について求めた後、碎波点を渡辺ら⁶⁾が行った方法に従い波峰下静水位流速u₀₀とその方向への波峰の伝播速度C'の比u₀₀/C'と碎波点での波峰下静水位流速u₀と波速Cの比u₀/Cが一致する位置より定めた。このように碎波点を決定し、波高分布の計算を式(1), (2)に碎波減衰項を付加した次式により、再度、全計算領域について行った。

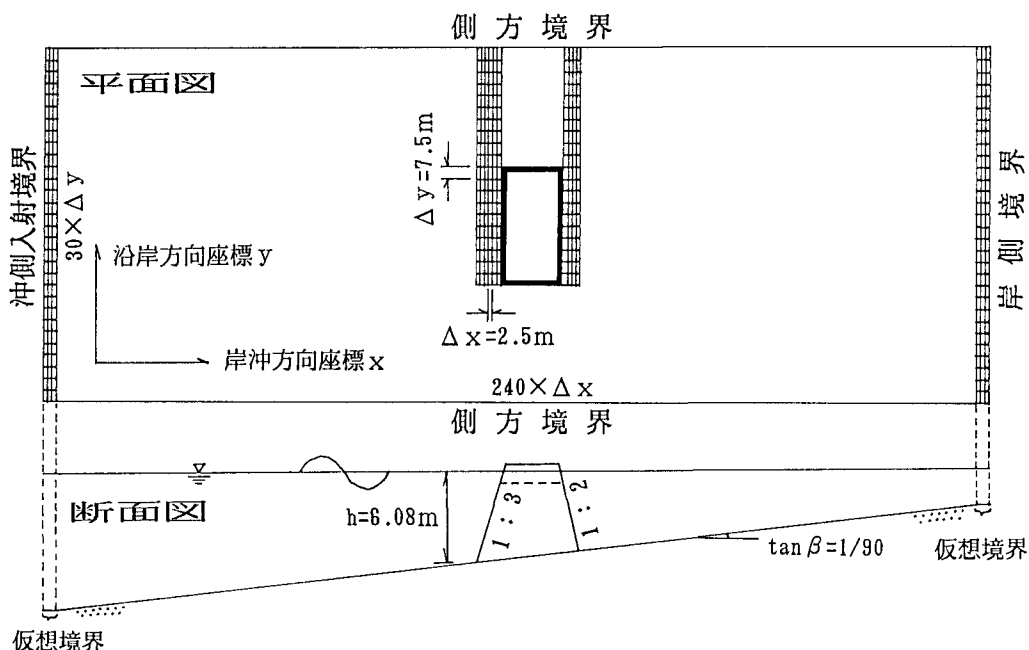


図-3 計算領域と人工リーフ設置条件

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial x} + f_D Q_x = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial y} + f_D Q_y = 0 \quad (7)$$

ここで、

$$f_D = \alpha_D \tan \beta \sqrt{\frac{g}{h}} (\hat{Q}/Q_r - 1) \quad (8)$$

$$\hat{Q} = \sqrt{\hat{Q}_x^2 + \hat{Q}_y^2} \quad (9)$$

$$Q_r = \gamma' \sqrt{g h^3} \quad (10)$$

上式の $\hat{Q}_x$, $\hat{Q}_y$ は線流量の振幅、 $\tan \beta$ は碎波点より岸側の各地点における海底勾配を示し、 α_D および γ' にはそれぞれ 2.5, 0.25⁷⁾を与えた。また碎波帯外の領域と $\hat{Q} < Q_r$ となる波の再生領域については、 $f_D = 0$ とおくことで波の再生現象を考慮した。ただし α_D については、碎波に伴い計算上の反射波が発生する影響を抑えるため、最も沖側の碎波点については、碎波点から岸側に半波長の区間で α_D を連続的に増加させる方法を取っている。また $\tan \beta$ についてはリーフ沖側法面で勾配 1/3 を与え、その他の領域においては現地の平均的な海底勾配である 1/90 を与えた。計算点の配置は空間に対してスタッガードメッシュとし、時間に対する計算は leap-frog 法を採用した。空間差分間隔 Δx (岸沖方向) はリーフ天端水深における入射波波長の約 1/10 の 2.5m とし、 Δy (汀線方向) については使用パソコンのメモリー容量による制限から岸沖方向の 3 倍の 7.5m とした。また時間差分間隔 Δt はクラン条件を満足するように 0.1sec とした。計算条件は図-3 に示す通りであるが、側方境界を完全反射境界として取り扱って

いるため、計算上、人工リーフが汀線方向に開口幅 150mの間隔で無限基設置された条件となる。沖側入射境界および岸側境界には境界条件が取り扱い易いように3メッシュ幅からなる仮想領域を接続し、共に無反射性境界とした。計算は複合型リーフを対象としており、胆振海岸での潮位M. S. L. (T.P.+0.0 8m) に対して沖波波高 $H_0=4.5\text{m}$ 、周期 $T=8.5\text{sec}$ の波浪条件で計算を行った。またその際、水面上に突出する堤端部は反射性境界として取り扱い、反射率は谷野ら⁸⁾の実験結果に基づき法面勾配 1/3の沖側境界および側方境界については0.25、法面勾配 1/2の岸側境界については 0.3を与えた。

3. 実験結果との比較

3. 1 実験方法

図-4に示すように実験は開発土木研究所港湾・水産土木実験室の $28\text{m} \times 23\text{m} \times 1\text{m}$ の平面水槽に胆振海岸の平均的な海底勾配(沖側から現地換算T.P. -2.4mまで1/90、その岸側で1/12の一樣勾配)を縮尺1/150でモルタルにより作成して行った。相似則はFroudeの相似則を採用し、歪みなし条件とした。実験では人工リーフが複数配置された場合の一般的な波浪分布を調べるため、リーフ模型を平面水槽内に現地換算開口幅150 mで3基設置した。リーフ模型は直径約1cmの碎石により作成した。また潮位および波浪条件は計算条件と同じであり、波は規則波とした。

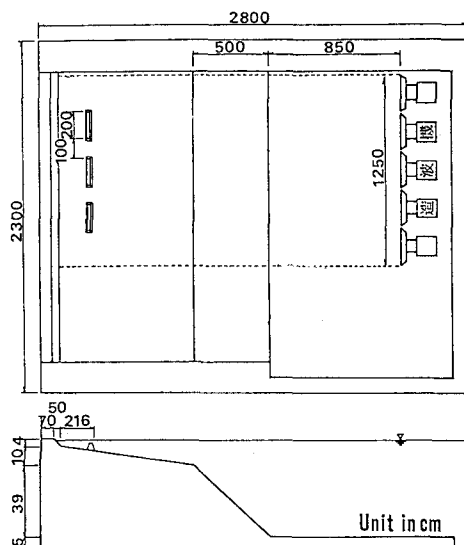


図-4 実験水槽

3. 2 計算結果と実験結果の比較

図-5は、複合型リーフ周辺の波浪分布を計算値と実験値について比較したものである。比較地点は図-6に示すリーフ沖側、開口部、リーフ岸側の各地点である。図によると計算値は計算領域全体で実験値と良く一致している。ただし実験値については、開口部背後の波高分布が開口部中央線を軸として左右非対称性を呈している。この原因として、数値計算の場合、リーフが等間隔で無限に設置された条件を想定しており、リーフ背後における回折係数が開口部中央線について対称となるが、実験では3基のリーフを対象としているため、左右リーフの堤外側端部での回折波と開口部側端部での回折波による回折係数がリーフ背後で異なることが考えられる。また開口部岸側の一致度合いは他の領域に比べ低いようであるが、これはY軸方向のメッシュ間隔 Δy の制限によりリーフ側方の法面が粗く表現されたことや、 $\tan \beta$ がリーフ沖側法面($\tan \beta=1/3$)を除き1/90と緩やかに与えられているため、式(6)、(7)中の碎波減衰項の影響がそれに比例して小さくなり、相対的に浅水変形に伴う波高増加の影響が大きく現れることが考えられる。これについては、今回の計算条件では碎波点が現地換算水深9m付近と汀線からかなり離れた地点であり、対象領域が波の再生あるいは2段目以降の碎波領域となるため、 $\hat{Q}/Q_0$ をパラメータとした波の碎波、再生の再現性も問題になっていると考えられる。また今回の計算では碎波減衰項中の f_0 を $\tan \beta$ の関数として式(8)のように与えているが、人工リーフやバーが存在するような海域周辺では $\tan \beta > 0$ となる場合だけでなく、 $\tan \beta = 0$ (天端上など)、 $\tan \beta < 0$ (岸側法面など)となる海底地形条件も現れてくる。以上のことから非定常緩勾配方程式による波高分布計算法を海底勾配1/100

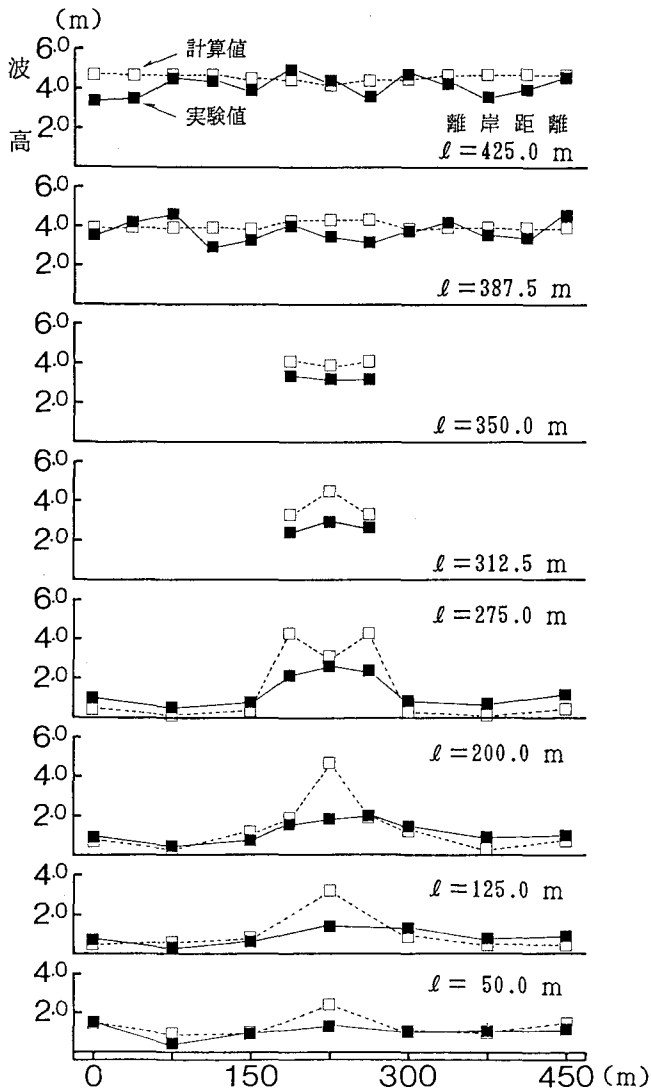
程度の緩斜面や変断面に適用する場合については、碎波減衰項の取り扱いをさらに検討する必要があると考える。

4. おわりに

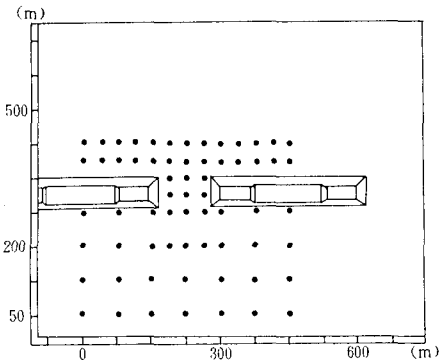
非定常緩勾配方程式を用いて複合型リーフ周辺の波高分布を計算し、水理模型実験結果との比較検討を行った。その結果、この方法により複合型リーフ周辺の波浪場が精度良く計算できることがわかった。ただし現計算法ではリーフ天端上、岸側法面上において碎波減衰項が合理的に取り扱えない欠点もあり、この点については今後さらに検討していく必要があると考える。

参 考 文 献

- 1) 谷野賢二・水野雄三：人工リーフによる波浪変形について，開発土木研究所月報， No. 438， pp. 22～32， 1989
- 2) 渡辺 晃・丸山康樹：屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解析法，第31回海講論文集， pp.103～107 ， 1984
- 3) 平沢充成・谷野賢二・水野雄三・渡邊康玄・大村高史：複合型人工リーフの水理特性について，第37回海講論文集， pp. 599～603 ， 1990
- 4) 磯部雅彦：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， pp.134～138 ， 1986
- 5) 上記1)に同じ
- 6) 渡辺 晃・原 哲・堀川清司：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，



図－5 計算波高と実験波高の比較



図－6 波高の比較地点

pp. 5 ～ 9, 1983

7) 上記2)に同じ

8) 谷野賢二・大村高史・平沢充成：2次元人工リーフの水理特性と周辺地形の変化について，第33回北海道開発局技術研究発表会（共通），pp. 53～58, 1990