

任意汀線形状海岸を対象とした海浜流の非線型数値モデル

愛媛大学工学部 正員 山口正隆 ○学生員 戸塚耕造
富士通エフ・アイ・ピー(株) 川原博満

1. まえがき：著者らはこれまで有限振幅波理論に基づいて波特性を評価した海浜流の数値モデルを提案してきたが、波浪変形計算において差分法を用いているため、複雑な汀線形状海岸に対する数値計算は困難であった。本研究では著者らが以前に提案した線型モデルと同様に、波浪変形計算に波向線法を採用することにより、任意汀線形状をもつ海岸に適用可能な、有限振幅波理論を用いた海浜流の数値モデルを提案する。

2. 数値計算モデル：波浪変形計算に用いる基礎方程式は波数成分に関する方程式およびエネルギー平衡方程式であり、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial k_x}{\partial t} + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \cos \theta + U \right) \frac{\partial k_x}{\partial x} + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \sin \theta + V \right) \frac{\partial k_x}{\partial y} &= - \frac{\partial \sigma_m}{\partial D} \frac{\partial D}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_m}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial x} - k_x \frac{\partial U}{\partial x} - k_y \frac{\partial V}{\partial x} \\ \frac{\partial k_y}{\partial t} + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \cos \theta + U \right) \frac{\partial k_y}{\partial x} + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \sin \theta + V \right) \frac{\partial k_y}{\partial y} &= - \frac{\partial \sigma_m}{\partial D} \frac{\partial D}{\partial y} - \frac{\partial \sigma_m}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial y} - k_x \frac{\partial U}{\partial y} - k_y \frac{\partial V}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(E_n - \frac{M_x^2 + M_y^2}{2PD} \right) + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \cos \theta + U \right) \frac{\partial E_n}{\partial x} + \left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \sin \theta + V \right) \frac{\partial E_n}{\partial y} &= - E_n \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \cos \theta \frac{\partial E_n}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_m}{\partial k} \sin \theta \frac{\partial E_n}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ F_x - \frac{M_x^2 + M_y^2}{2PD} U \right\} \\ &\quad - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ F_y - \frac{M_x^2 + M_y^2}{2PD} V \right\} - S_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} - S_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} - S_{yx} \frac{\partial U}{\partial y} - S_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{M_x}{PD} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{M_y}{PD} \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{M_x}{PD} \frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{M_y}{PD} \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} - E_{bw} \end{aligned}$$

ここに、 k_x, k_y : 波数の x, y 方向成分, U, V : 流れ成分, D : 実水深, H : 波高, θ : 波向, $\partial \sigma_m / \partial k$: 微小振幅波理論の場合の群速度に相当する伝播速度, σ_m : 相対角振動数, E_n : 波の平均エネルギー, F_x, F_y : 波によるエネルギーフラックス成分, $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: radiation stress, M_x, M_y : 質量フラックス成分, $\tilde{U}, \tilde{V}$: 波による質量フラックス成分まで考慮した海浜流成分および E_{bw} : 碎波による平均エネルギー逸散量, である。また、

海浜流モデルに用いる基礎方程式は鉛直方向に積分された連続式および運動量方程式である。まず、波数成分に関する方程式およびエネルギー平衡方程式を wave ray に沿って解いて算出された波数、波向および平均エネルギーあるいは波高を正方形格子網に内挿する。ついで、波特性および積分特性量の数表からこれらの値に対する radiation stressなどを推定したのち、差分法に基づく海浜流計算を行い、両者の解が収束するまで計算を繰り返す。

3. 数値計算結果：図-1および2は半円弧湾に対する海浜流および波向線の計算結果を示したものであり、結果の対称性から各国の右半分に微小振幅波理論による結果が与えられている。

さて、半円弧湾に波が直角に入射する場合には、領域全体におよぶ一対の主循環流とそれに付随した汀線近傍での副循環流が形成される。一方、半円弧湾部終端付近では強い沿岸流が卓越するが、

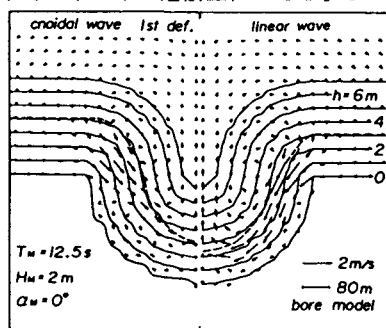


図-1

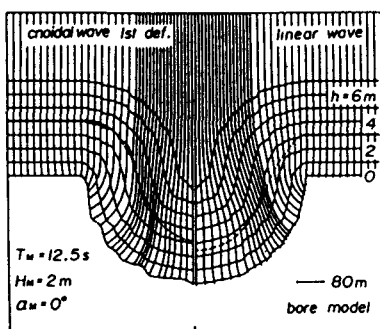


図-2

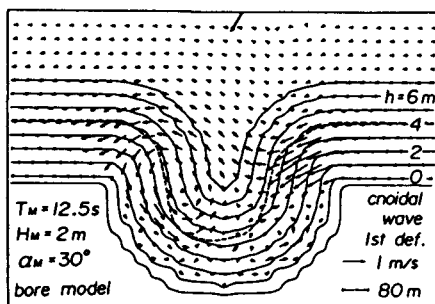


図-3

非線型モデルによる流速の絶対値は、線型モデルによるものより若干小さい。また波向線は、屈折により湾奥部ほど広がり、両モデルともほぼ同様な波向線分布を与えている。しかし、沖側から碎波点に至るまで非線型モデルによる結果は線型モデルによる結果ほど大きく屈折せず、逆に碎波点以浅においてより大きく屈折するという特徴をもつが、非線型モデルによる流速の絶対値が若干小さいことから、線型モデルによる波向線ほど蛇行しない。図-3は波向 30° の波が入射した場合の流速分布を示したものであり、半円弧湾部左側に反時計回りの循環流が、右側の汀線付近に反時計回りの小循環流が形成されている。また、領域中央部沖合では、循環流の影響を受けて流れが蛇行するが、平行等深部では汀線に平行な沿岸流が卓越する。これらの結果から、斜め入射の場合には直角入射の場合に形成される右側の主循環流が消滅して副循環流が顕著に現われるとともに、左側の主循環流が強化され副循環流が弱まるという特徴を示すことが見出される。つぎに、図-4および5は対称凸型汀線海岸に対する計算結果を示したものである。

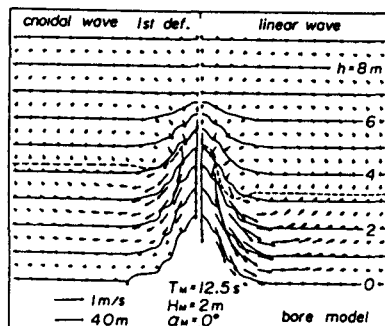


図-4

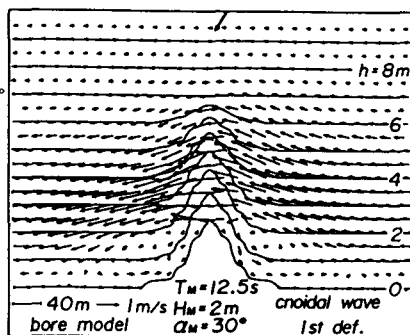


図-5

図-6, 7および8は湾入海岸における海浜流分布を示したものであり、この場合の波向はそれぞれ 0° , 30° , -30° である。これらの図によれば、波の入射角によって流れのパターンが著しく変化するという特徴が見出される。すなわち、まず直角入射の場合、湾の右側から発達する沿岸流は湾奥部で大きく曲り沖へ流出したのち2つに分流する。そして、右側の流れは再び沿岸流となって湾に流入し、結局湾入部に2つの循環流が発生する。また、左側の流れは沖側で反時計方向の循環流を形成する。つぎに、 $\alpha = 30^\circ$ の場合には、右側領域で発達する沿岸流は、そのほとんどが湾入部で蛇行したのち左側の沿岸流に接続しており、循環流はわずかに沖側と汀線付近で存在するにすぎない。さらに、 $\alpha = -30^\circ$ の場合には $\alpha = 30^\circ$ の場合と流向を逆にして同様の傾向を示すが、湾入部では大きな循環流が形成されている。これら3つの場合に対する海浜流の全体的な平面分布の特性は循環流の位置や流速などの細部を除いて微小振幅理論に基づく線型モデルによる結果と似ている。

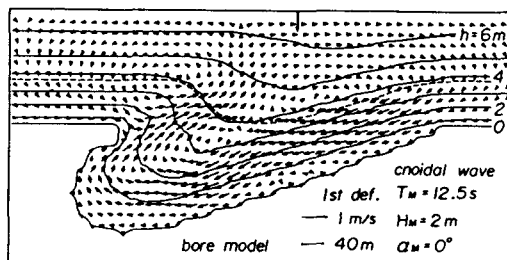


図-6

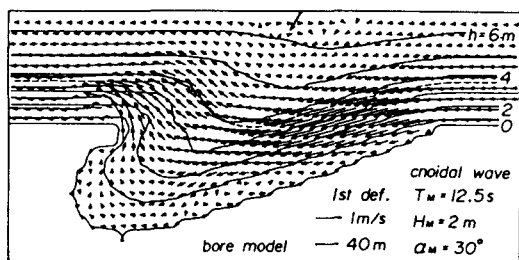


図-7

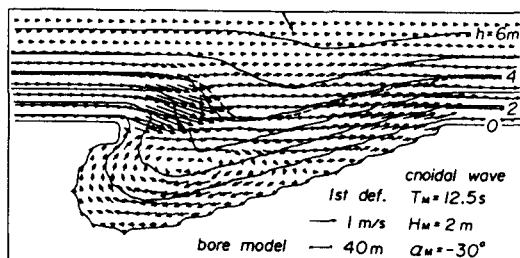


図-8