

1. はじめに

日本は、古くから高潮や津波などの長周期波の遡上による被害が多く、その対策も長年行われてきた。しかしながら、1999年9月24日の9918号台風では、熊本県の不知火町において12名の犠牲者を出すなど、高潮の被災が完全になくなってしまったわけではない。今後地球温暖化による水位上昇や気候変動によって高潮などの長周期波の遡上による被災の発生の可能性が増大していると言える。このため日本の各自治体においては、氾濫域の設定、水害についてのハザードマップを作成してその対策に取り組んでいる。水災害における被害を軽減し、人口、資産の集積する都市・地域における海岸の安全性を向上させるために、波の遡上の力学的性質と地形との干渉について十分理解しておく必要がある。従来、長周期波の遡上について、数多くの数値計算例が報告されている。遡上を計算するには、冠水域とそうでない領域とを判別するアルゴリズムが必要であり、また水塊が分離しても安定して計算できるスキームである必要がある。本研究は、高潮や津波などの長周期波の遡上に関する簡便な数値プログラムを作成し、海洋構造物の配置条件や地形条件によって変化する遡上波の挙動を検討したものである。

2. 数値計算法

2.1 非線形長波方程式

平面2次元の流体運動を表す基礎方程式は、非線形方程式であり式(1),(2),(3)のように表される。ここで、 x, y 座標は水平座標、 h は水深、 t は時間、 m, n はそれぞれ x, y 方向の線流量、 g は重力加速度、 z_* は地盤標高である。 τ_x, τ_y は x, y 方向の海底摩擦力であり、それぞれ式(4),(5)となる。 m_n はマンニングの粗度係数であり、底面が土であると想定して0.017とした。 u, v は断面平均流速であり、それぞれ m, n を水深で除して求めた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial m^2/h}{\partial x} + \frac{\partial mn/h}{\partial y} + g \frac{\partial(h+z_*)}{\partial x} - A \left(\frac{\partial^2 m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 m}{\partial y^2} \right) \quad (2) \quad \frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gm_n^2}{h^{1/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial mn/h}{\partial x} + \frac{\partial n^2}{\partial y} + g \frac{\partial(h+z_*)}{\partial y} - A \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} \right) \quad (3) \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{gm_n^2}{h^{1/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

2.2 遡上計算のアルゴリズム

支配方程式は差分化され、計算領域は矩形の格子に分割された。計算に先立ち地形の情報を取り込み、冠水域を判別するために、フラッキングデータを用意した。図-1.2には、水と陸の境界計算格子の側面図と平面図を示す。ここで1を冠水域、0を露出域とする。基礎方程式計算は、冠水域と判定された領域に対してのみ行う。波が引く場合には、エラーとして水深が負の値になる格子が発生する。これを補正するために、周囲の冠水状態を参照にしながら水深が0になるように線流量を調整した。

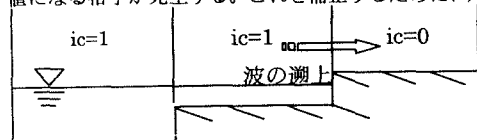


図-1 側面図

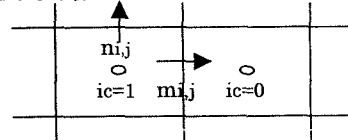


図-2 平面図

図-3に示されているような段落ちによる水塊が分離している場合、越流公式を用いて計算した。このアルゴリズムでは斜面を流れ下る流れは、全て越流と判定される。 (i,j) は没水セルと判断し、 $(i+1,j)$ に水位が、 (i,j) の地盤より低い場合を式(6)に示す。逆に $(i+1,j)$ が没水セルと判断し、 $(i+1,j)$ の水位が (i,j) の水位より低い場合を式(7)に示す。

$$Q_{i,j} = 0.35h_{i,j}\sqrt{2gh_{i,j}} \quad (6) \quad Q_{i,j} = -0.35(h_{i+1,j})\sqrt{2gh_{i+1,j}} \quad (7)$$

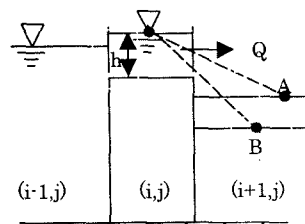


図-3 越流モデル

2.3 モデル地形および波の条件

複雑な海底地形を有する実海岸に適用する前に一様な勾配を持つモデル地形に対して計算を行った。計算領域は沿岸方向 5km、岸方向 5km、最大水深 35m とする。仮想実海岸地形には河口を設け、さらに津波防波堤を設置した。全計算時間 1000 秒、入射波は周期 400 s、波高 2.0m の単一周期、単一方向波で波は計算領域内、左端で発生させ、右端では反射の影響を除外した。

3. 計算結果

3.1 一様勾配のモデル地形に対する結果

図-4 では、陸側に平坦部を設けない場合（上段）と +5m の平坦部を設けた場合（下段）のそれぞれの遡上時と引き波時を示す。+5m の平坦部を設けた場合（下段）は、遡上した波が陸上の平坦部を進行し、引き波部と分離されているが安定して計算が進行されている。

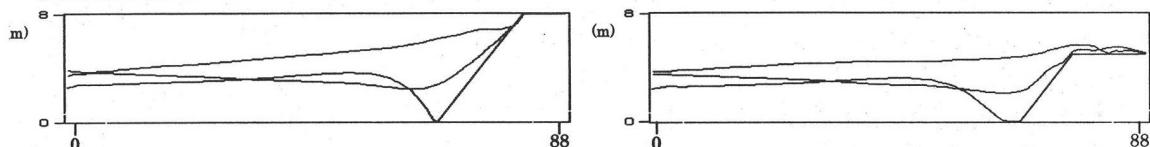


図-4 波の遡上側面図（左：平坦部なし 右：平坦部有り） $\Delta X=50m$

3.2 波動場と海浜流の計算結果

図-5 には仮想的な 3 種類の構造物の配置条件に応じた水位および線流量ベクトルの空間分布を時間を追って示している。上段・中段は離岸堤を表し、下段は導流堤を表す。入射角は左端境界に対して直角方向で、初期には上段・中段で示している離岸堤付近で波の反射が見られるが、導流堤では波の反射が顕著でなく、波があまり散乱していない。その後離岸堤、導流堤上部を乗り越えて越波し、渦状の流れが見られる。線流量ベクトル図によれば初期には、離岸堤、導流堤の開口部を通り抜け、計算領域に設けた標高の低い河口に沿って進行し、地形に応じた波の遡上形態が表現されている。遡上した波は地形が複雑であるため、波の回折や多重反射によってかなり複雑な流現を呈している。

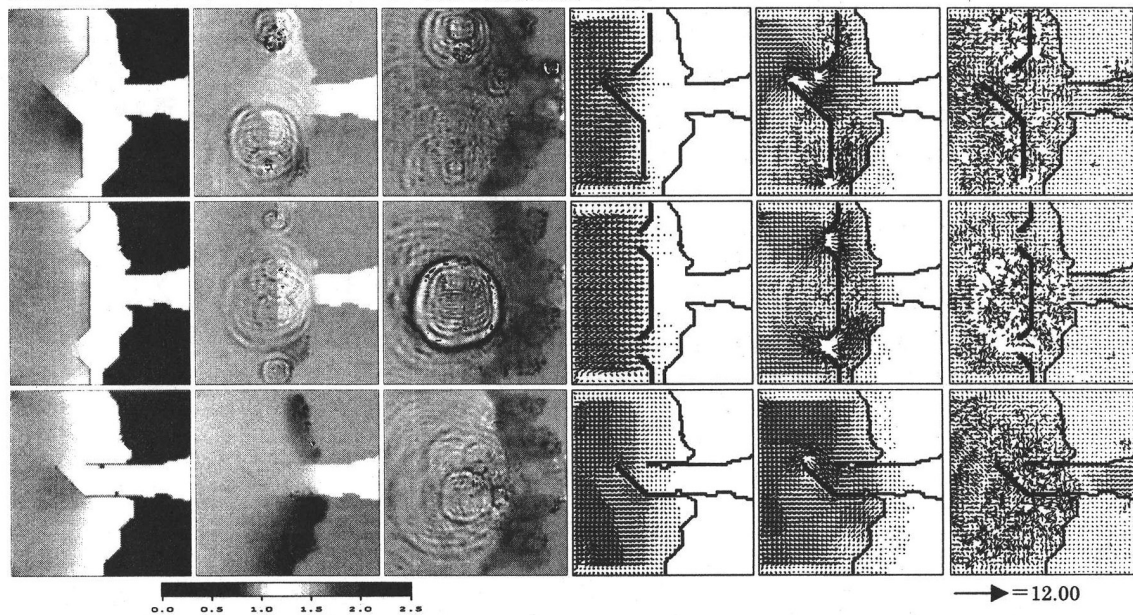


図-5 水位分布および線流量ベクトル（左半分：水位、右半分：線流量ベクトル、時間経過：120s, 240s, 600s）

4. まとめ

本研究では、構造物の地形条件に応じた複雑な波の遡上や水塊の分離を表現することが可能な数値計算プログラムを作成できた。今後は、実海岸への適用や現地データとの比較・検討を行っていくと共に、波の遡上による地形や構造物の変化、遡上による流体力の評価などを行っていく予定である。

参考文献

磯部 雅彦・藤城 透(1977)：ベンガル湾における高潮遡上計算、海岸工学論文集第 44 巻, pp.346～350.