

II-202

周期解法による潮流解析での解析領域の影響について

佐藤工業(株) 正会員 ○金子典由
中央大学 正会員 児玉敏雄
同上 正会員 川原睦人

1. はじめに

潮汐残差流は潮流の非線形性により生じる。周期解法により、非線形の浅水長波方程式を解いて潮汐残差流を求める有限要素法の計算法の一つとして、著者等は周期的ガレルキン法を提案した¹⁾。この数値計算法により潮流解析を行なうには解析の対象領域と境界条件を決めなければならない。周期解析では境界において強制振動することになり、解析領域と境界条件の決め方次第で計算結果が異なる可能性がある。潮汐流の計算では、波長が長いので、解析領域の影響は小さいと考えられるが、潮汐流の非線形性により生じる潮汐残差流に対する境界条件の影響については、検討されていない。そこで、本報告では、笠戸湾を例にとり、潮汐残差流に解析領域が及ぼす影響について数値計算により検討する。

2. 支配方程式

移流項を考慮した浅水長波方程式を以下に示す。

$$\mathbf{f}_k \equiv \frac{\partial v_k}{\partial t} + v_j v_{k,j} + g \eta_{,k} - \nu_e (v_{k,j} + v_{j,k})_{,j} = 0, \quad \mathbf{g} \equiv \frac{\partial \eta}{\partial t} + (h v_j)_{,j} = 0 \quad (1)$$

ここで、 v_k , η , h , g , ν_e は、それぞれ、断面平均流速、水位変動、平均水深、重力加速度、渦動粘性係数である。境界条件として、

$$v_k = \hat{v}_k \quad \text{on } S_1, \quad \eta = \hat{\eta} \quad \text{on } S_2, \quad p_k = \nu_e (v_{k,j} + v_{j,k}) n_j = \hat{p}_k \quad \text{on } S_3 \quad (2)$$

が与えられる。つぎに、流速と水位について周期関数を仮定して、空間領域との変数分離を行なう。

$$v_k = v_k^{(0)} + \frac{1}{2} (v_k^{(1)} e^{i\omega t} + v_k^{(-1)} e^{-i\omega t}), \quad \eta = \eta^{(0)} + \frac{1}{2} (\eta^{(1)} e^{i\omega t} + \eta^{(-1)} e^{-i\omega t}) \quad (3)$$

ただし、添字⁽⁰⁾は、定常成分で、ここでは潮汐残差流を表わす。また、 ω は角振動数を表わす。周期的ガレルキン法のために時間領域に関してガレルキン法を適用するため、時間領域での重み関数として(3)式と同じ周期関数を用いて、支配方程式に掛けて一周期にわたり積分する。

$$\int_0^T v_k^{*(0)} \mathbf{f}_k dt + \frac{1}{2} \int_0^T v_k^{*(-1)} e^{-i\omega t} \mathbf{f}_k dt + \frac{1}{2} \int_0^T v_k^{*(1)} e^{i\omega t} \mathbf{f}_k dt = 0, \\ \int_0^T \eta^{*(0)} \mathbf{g} dt + \frac{1}{2} \int_0^T \eta^{*(-1)} e^{-i\omega t} \mathbf{g} dt + \frac{1}{2} \int_0^T \eta^{*(1)} e^{i\omega t} \mathbf{g} dt = 0 \quad (4)$$

各重み関数の係数はゼロではない任意の値をとるため、各周波数成分ごとに方程式を得ることができる。なお、空間に関する有限要素法の計算では、流速に二次、水位に一次の形状関数を各々用いる。

3. 数値計算例

笠戸湾の潮汐残差流を計算した。笠戸湾は柳の実験によれば宮の瀬戸からの潮流により潮汐残差流が生じ、古島水道からの潮流では潮汐残差流が生じないことを示した²⁾。本報告では、この事実を数値実験により再現しようとするものである。はじめに、笠戸湾のみを解析領域(図-1)として、宮の瀬戸のみを開いた場合(図-2)と古島水道を開いた場合(図-3)の2ケースについて潮汐残差流を計算した。つぎに、古島水道を閉じ、宮の瀬戸に潮流のアプローチのための領域を追加して要素分割した場合の要素分割と計算結果潮汐残差流を図-4と図-5に示す。つぎに、宮の瀬戸を閉じ古島水道にアプローチを追加した領域を要素分割した場合の要素分割と計算結果を図-5と図-6に示す。図-2と図-5、また図-3と図-7は潮汐残差流の規模と流速にいたるまで良く一致している。宮の瀬戸からの潮流を考慮した場合にのみに潮汐残差流が生じている。これは柳の実験と同じ

結論である。また、笠戸湾のみの要素分割と、それぞれに、アプローチを追加した計算結果は、同様の結果となった。したがって、潮流のような長い波長で閉鎖性の強い湾での潮汐残差流に対する解析領域の影響は小さいものと判断される。

4. まとめ

笠戸湾の潮汐残差流計算において、笠戸湾のみを解析領域とする場合と、そのままに潮流のアプローチを設けた解析の両方で潮汐残差流の計算を行なった。両者の計算結果は一致した。したがって、潮流のような長い波長で閉鎖性の強い湾では解析領域の影響は小さいものと判断される。また、宮の瀬戸からの潮流と古島水道からの潮流による潮汐残差流計算の結果、笠戸湾の潮汐残差流は宮の瀬戸からの潮流により生じることがわかる。これは、既往の実験結果と一致する。

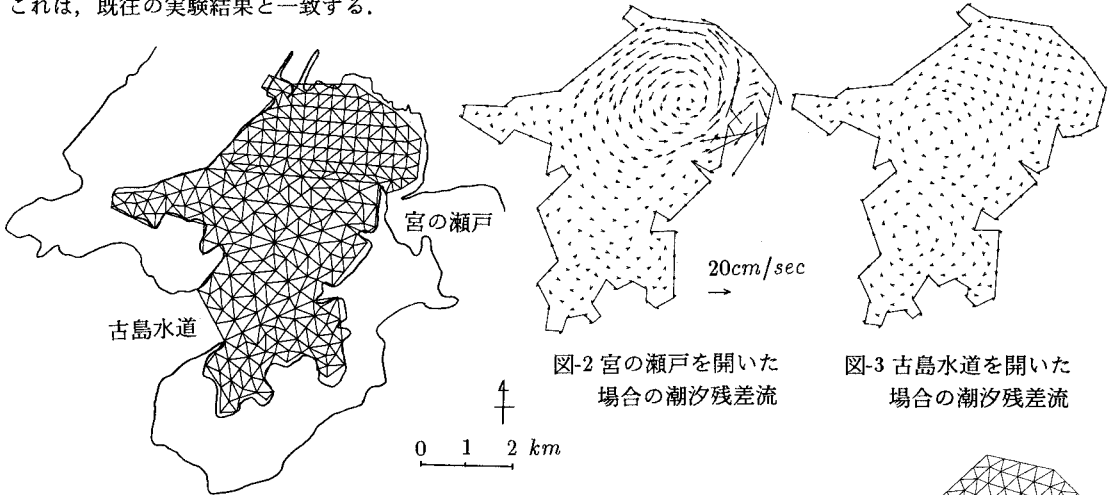


図-1 笠戸湾のみの要素分割図

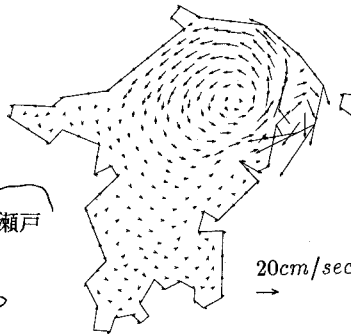


図-2 宮の瀬戸を開いた場合の潮汐残差流

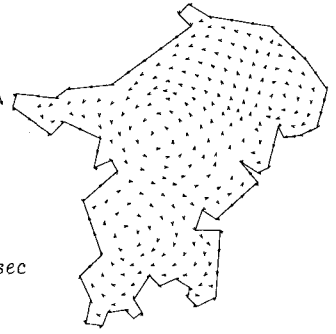


図-3 古島水道を開いた場合の潮汐残差流

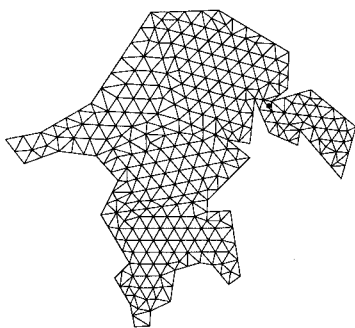


図-4 宮の瀬戸にアプローチをつけた要素分割図

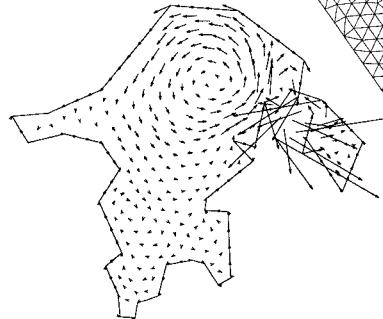


図-5 宮の瀬戸にアプローチをつけた潮汐残差流

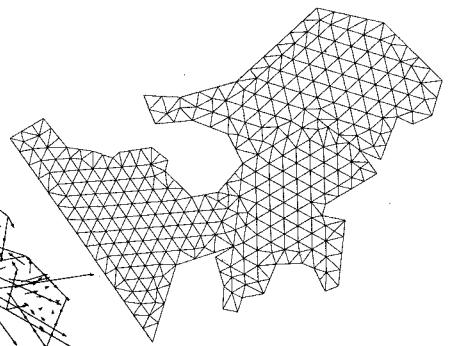


図-6 古島水道にアプローチをつけた要素分割図

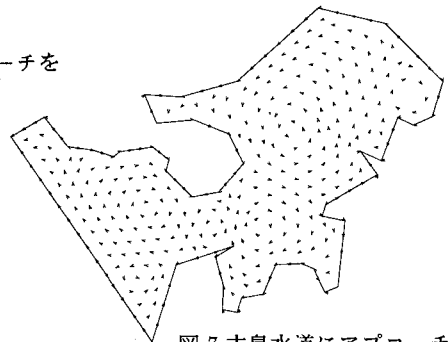


図-7 古島水道にアプローチをつけた潮汐残差流

参考文献

- 1) Kaneko, N. and M. Kawahara: Advanced periodic Galerkin finite element method for shallow water equation, Proceedings of JSCE, Vol.7, No2, pp273s-282s, 1990
- 2) 樋口, 柳: 笠戸湾の潮汐残差流, 第25回海岸工学講演会論文集, Vol.25, pp.475-479, 1978