

長崎港の拡散シミュレーションモデル解析

長崎大学工学部 学生員 ○ 橋口 剛  
長崎大学工学部 正員 富樫 宏由  
長崎大学工学部 正員 余 錫平

1) まえがき

長崎港には、アビキと呼ばれる副振動が存在し、波高増幅による異常潮位と、強い流速変動を引き起こす。そのために、波高の大きなアビキは船舶災害等の原因となる。この大きなアビキの発生は冬季から春先に集中しているが、波高が比較的小さなアビキは常時起こっている。このように連続的に発生するアビキによって、長崎港の流況は、潮汐のみによる変動に比べて複雑に変化していることが予想され、物質の移動にも大きく影響しているものと思われる。従来のアビキの研究では防災的な視点に主眼が置かれ、多くの研究がなされており、ほぼ、災害をもたらす大きなアビキの物理的機構は解明されてきているように思われる。そこで、本研究では、アビキによる流動が物質拡散を促すという視点に立ち、恒常的に発生している小アビキが、長崎港の流動と物質拡散に与える影響についてシミュレーションモデル解析を行った。

2) 基礎方程式

流れと物質拡散の計算には、次に示す平面2次元化した長波方程式と拡散方程式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{n^2 g u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\eta + h)^{5/3}} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} &= 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{n^2 g v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\eta + h)^{5/3}} - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} &= 0 \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (\eta + h) u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\eta + h) v \} &= 0 \\ \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{1}{\eta + h} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ D_x (\eta + h) \frac{\partial C}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ D_y (\eta + h) \frac{\partial C}{\partial y} \right\} \right] + q &= 0 \end{aligned}$$

ここに、 $u$ 、 $v$  は、それぞれ  $x$ 、 $y$  方向の成分流速、 $h$  は水深、 $\eta$  は水位、 $g$  は重力加速度、 $E_x$ 、 $E_y$  は水平渦動粘性係数、 $n$  は Manning の粗度係数、 $C$  は濃度、 $D_x$ 、 $D_y$  は、水平渦動拡散係数、 $q$  は負荷流入量である。

3) 数値解析

本研究では、空間方向に有限要素法を、時間方向に2次精度の2段階Lax-Wendoroff法を用いて計算を行った。計算条件については、表-1に示す。ただし、渦動粘性係数と渦動拡散係数は  $x$ 、 $y$  方向でそれぞれ同じ値とする。

アビキによる長崎港の流動変化を検討するために、2つのケースで計算を実施した。ケース1は潮汐による計算で、ケース2は潮汐とアビキを重ね合わせた計算である。アビキは本来不規則波であるが、本計算では正弦波として取り扱うことにした。その波高は、増幅効果により港奥部で約30cmとなるよう、入射波振幅を5cmに設定した。この場合の潮汐振幅は大潮平均で120.5cmである。ケース2で恒流成分を求めるためには、アビキの周期が潮汐周期の約数となる必要がある。そこで、潮汐周期を12時間25分30秒としたときの、アビキの周期は35分30秒と定めた。この値は、統計的に出現頻度が最多で、ほぼ長崎港の固有周期と言われている値である。

図1はケース2の港口部の計算開始から3周期目の一潮汐分の波高、流速の経時変化である。小刻みな振動はアビキによる振動であり、大きな振動は潮汐振動である。図では特に流速の振動が目立っている。これはアビキの流速が、最大12cm/sであるのに対し潮流は最大8cm/sでアビキの2/3程度しか無いために潮流の最大振幅時でもその流向が逆転するためである。

表-1 計算条件

|        |                      |
|--------|----------------------|
| 潮汐計算   |                      |
| メッシュ間隔 | 平均 $\Delta l = 200m$ |
| 時間間隔   | $\Delta t = 5.0s$    |
| 粗度係数   | $n = 0.0025$         |
| 渦動粘性係数 | $E_x = 20. m^2 / s$  |
| 拡散計算   |                      |
| 時間間隔   | $\Delta t = 50.0s$   |
| 渦動拡散係数 | $D_x = 6.0 m^2 / s$  |

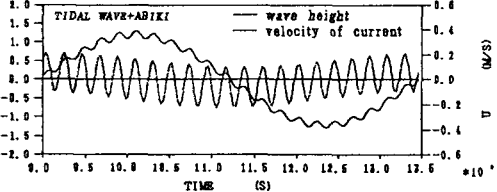


図1 ケース2の港口部における波高と流速の経時変化

このときのケース2の恒流成分を図2に示す。ただし、ケース1の恒流成分のオーダーは100分の1cm/s程度で、潮流による恒流はほとんど存在していない。ケース2では、10分の1cm/s程度のオーダーであり、ケース1に比べて10倍程度大きい。

ケース1、ケース2の恒流成分を移流項として、CODについて拡散計算を行った。なお、初期値は、全節点で1.0ppmとし、外洋側の開境界でも、常に1.0ppmの濃度となるよう設定した。図3は、それぞれケース1、2における100周期目の港軸方向の濃度勾配図である。これによると、ケース2の方が濃度勾配がやや小さいことが分かる。図4-1、図4-2はこのときの濃度分布である。両ケースを比較しても期待したような大きな変化は見られないが、低濃度付近でケース2の濃度分布の方がやや後退しているのが分かる。これらの結果はケース2の方が拡散をより促進したものと解釈される。ただし、ケース2で用いた渦動拡散係数は、ケース1で用いたものと同じ値であるため、流動の変化に伴い変化するシア拡散の効果を含んでいない。したがって、シア拡散をうまく評価できれば、より一層の拡散促進が起るものと期待される。

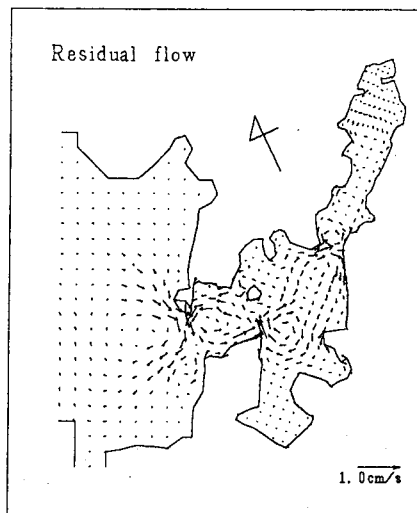


図2 ケース2の恒流

#### 4) おわりに

本研究では、潮汐にアビキを重ね合わせた潮流解析と拡散解析を実施した結果、冬季の長崎港において、アビキによる流動が、潮汐のみによる流動に比べて恒流成分を著しく増幅し、拡散を促進させる効果があることが分かった。ただし、流動変化により生ずるシア拡散の評価は今後の課題である。

#### 参考文献

新田 喜浩 : 長崎港の湾水振動解析、昭和61年度、長崎大学修士論文

村上 和男 : 有限要素法による2層の潮流及び拡散計算、港湾技術研究所報告、1984。

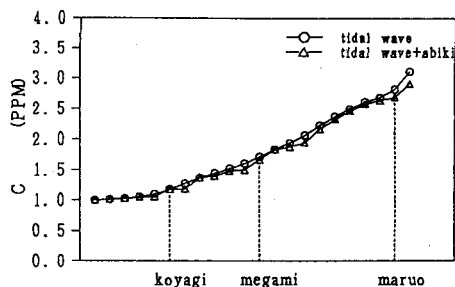


図3 港軸方向の濃度勾配

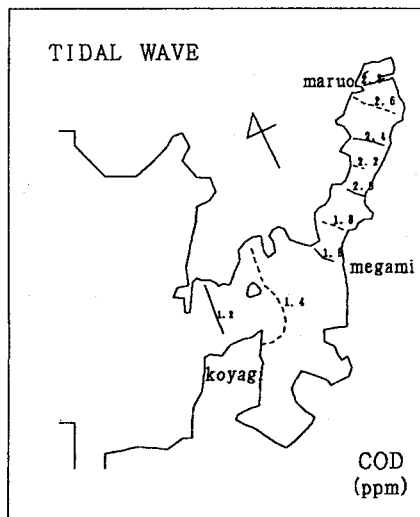


図4-1 ケース1の濃度分布

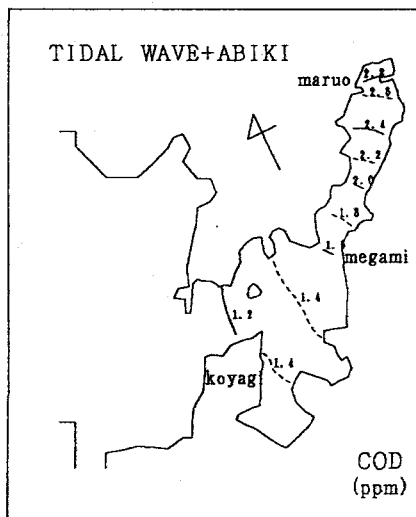


図4-2 ケース2の濃度分布