

II - 90

周期変動風応力によって形成される閉鎖性水域内多重セル構造とその周期依存性

東京工業大学 正会員 二瓶泰雄・灘岡和夫・八木 宏・日向博文
東急建設（株） 栗原 礼

1. はじめに

東京湾のような閉鎖性の強い水域内の流動特性を考える上で、水表面に作用する風応力が引き起こす吹送流は支配的な要素の一つであるが、従来の流動解析では、この風応力に関して時空間的に一様な分布を与える、というような最も単純な取り扱い方が一般的であった。それに対して、灘岡ら¹⁾は、現地実測された風データに基づく閉鎖性水域内流動解析を行い、風応力の時間変動性が水域内流動特性に多大な影響を及ぼしていることを明らかにしたが、その詳細なメカニズムを示すまでには至っていない。そこで本研究では、時間変動風応力として最もシンプルな正弦振動風応力を対象として数値実験を行い、このような周期変動風応力によって、平均流パターンに明確な多重セル構造が現れることを示し、その特性に及ぼす風応力の変動周期の効果を明らかにした。

2. 数値シミュレーションの概要とその結果

(1) 計算概要

本計算では吹送流のみの効果を抽出するために、ここでの基礎方程式は、時空間的に密度一定として、水深平均された浅水方程式と連続式を用い、式中に含まれる水平渦動粘性係数に関しては一定値を与えており、また、数値解法としてはADI法を採用している。本計算で用いている水平渦動粘性係数などのパラメータや基礎方程式の詳細に関しては、灘岡ら¹⁾を参照されたい。なお、ここでは、紙面の都合上、コリオリパラメータを0にした計算結果のみを以下に示すが、コリオリ力の効果を考慮した場合の計算結果に関しては別に報告する（灘岡ら²⁾）。

本研究で用いる計算対象領域としては灘岡ら¹⁾と同じとし、海底地形は一定勾配の片側斜面を有するものとする（図-1）。風応力に関しては、空間的には一様であるが、時間的に振幅10m/sで正弦振動するものをx方向のみに作用させ、その周期として、1, 2, 24時間の3ケースに関して計算を行った。なお、ここで設定した水域におけるx方向の固有周期は約1時間45分である。また、境界条件に関しては計算領域を取り囲む四方の閉境界においてslip条件を、初期条件に関しては静水状態をそれぞれ設定している。

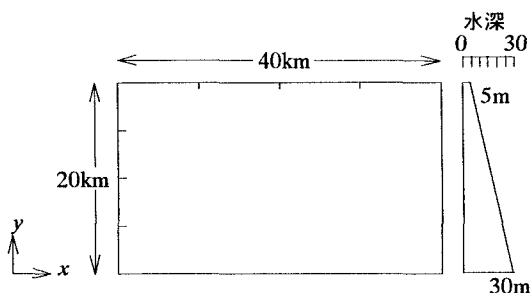


図-1 計算対象領域

本研究で用いる計算対象領域としては灘岡ら¹⁾と同じとし、海底地形は一定勾配の片側斜面を有するものとする（図-1）。風応力に関しては、空間的には一様であるが、時間的に振幅10m/sで正弦振動するものをx方向のみに作用させ、その周期として、1, 2, 24時間の3ケースに関して計算を行った。なお、ここで設定した水域におけるx方向の固有周期は約1時間45分である。また、境界条件に関しては計算領域を取り囲む四方の閉境界においてslip条件を、初期条件に関しては静水状態をそれぞれ設定している。

(2) 計算結果

まず、基本的な流動特性を把握するために、各計算ケースにおいて1周期平均された平均流ベクトルを図-2に示す。なお、ここでの計算結果は平均流特性が変化しなくなった時刻におけるものを示している。これらを見ると、どの計算ケースにおいても水域内に二重セル構造が形成されているが、そこでのセルの回転方向やその強度が、風応力の変動周期に大きく依存していることがわかる。具体的には、固有周期より短い周期1時間の場合には、固有周期と同程度である周期2時間の計算ケースとやや大きい強度で逆向きのセル構造が形成され、さらに、固有周期より十分長い周期24時間の場合では、周期1時間の計算結果と同じ向きのセル構造が形成されるものの、その強度は周期24時間のケースの方が大きくなっていることがわかる。

キーワード：風応力、時間変動性、閉鎖性水域、二重セル構造、数値解析

連絡先：〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1 (TEL) 03-5734-3486 (FAX) 03-3729-0728

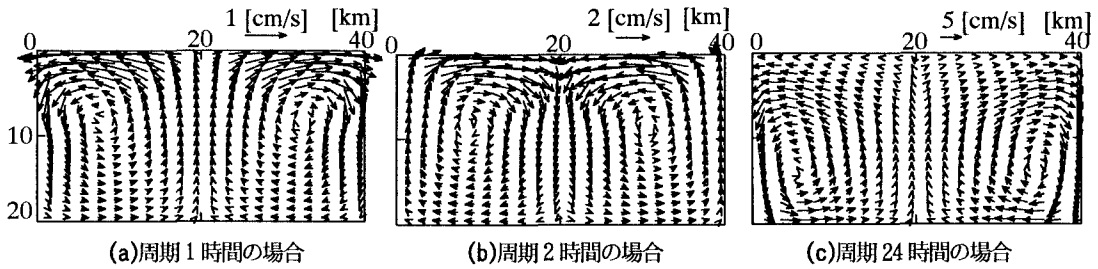


図-2 1 周期平均流速ベクトル

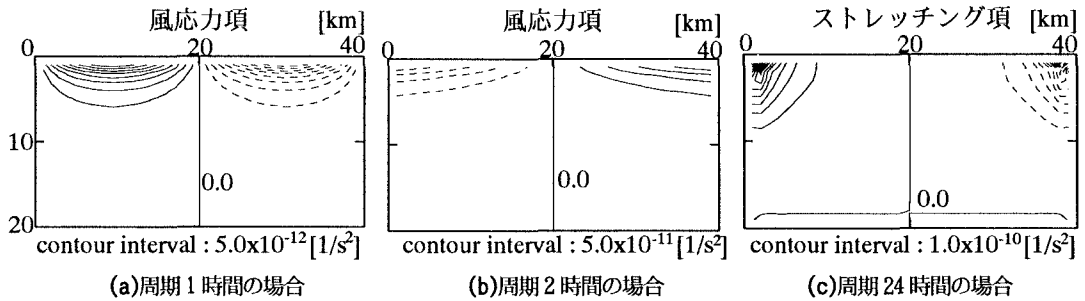


図-3 各計算ケースにおける支配的な平均トルク項の空間コンター（実線：正，点線：負）

次に、このような二重セル構造の形成メカニズムを明らかにするために、渦度の収支式中のストレッチング項や風応力項、底面摩擦項、水平拡散項、移流項の一周期平均量について比較してみた。その結果、セル構造の形成メカニズムに最も支配的であると考えられる項としては、周期の短い 1, 2 時間の計算ケースに関しては、水位変化効果と連動した風応力によるトルク項（図-3 (a), (b)）が、周期 24 時間の計算ケースでは、水深変化に起因したストレッチング項（図-3 (c)）が、それぞれ卓越することが明らかになった。まず、風応力の変動周期が固有周期よりも十分長い周期 24 時間のケースでは、風応力が一方向に作用する時間が相対的に長いために、半周期間に水域内において明確な循環流が形成される。したがって、循環流形成に伴って一様斜面を下る流れが発達し、結果的に水深変化に起因したストレッチング項が卓越するものと考えられる。それに対して、周期 1, 2 時間のケースでは、周期が相対的に短いことから半周期間に明確な循環流が形成されず、そのためにストレッチング項や移流項などが小さくなるが、風応力の変動周期が水域の固有周期に近いために共振現象が発生し、水位変化効果と連動した風応力項が相対的に有意な大きさをもつようになる。しかし、その場合でも、周期 1 時間と 2 時間のケースでは風応力トルク項の正負パターンが大きく異なる（図-3）。これは風応力に対する水位応答性が、この周期帯において周期依存性をもつためである。すなわち、ここでは示していないが、周期 1 時間のケースでは、風上側が水位上昇するのに対して、周期 2 時間のケースでは、逆に風下側で水位上昇が生じる形になる。風応力によるトルク項は、水深+水位変動量が分母に入る形になるため、このような風応力の変動に対する水位変動の応答特性の違いによって、一周期平均した風応力トルク分布が周期によって大きく異なってくることになる。

3. おわりに

正弦振動風応力のもとでの閉鎖性水域内の流動計算を行い、明瞭な多重セル構造が現れることやその特性が風応力の周期に強く依存することを示すとともに、この周期依存性が水位変動と連動した風応力トルクや水深変化によるストレッチング項の効き方の違いに起因していることが明らかになった。

＜参考文献＞ 1) 灘岡, 八木, 日向, 二瓶, 栗原: 海講, 43, 2) 灘岡, 二瓶, 栗原, 八木, 日向: ながれ (投稿中)。