

## 成層が発達した内湾における吹送流の特性

五洋建設株式会社  
広島大学大学院工学研究科

正会員 ○大月 一真  
正会員 川西 澄

## 1. はじめに

潮流の弱い内湾域の海水流動には、風応力を駆動力とする吹送流の影響が強いと考えられているが、潮流振幅や密度場との相互作用のメカニズムは未知なことが多い。本研究では、これらのメカニズムについて密度成層の強い広島湾北部海域での流動の現地観測と数値実験を行い明らかにする。

## 2. 現地観測の概要

図-1に示す Station A で 2001 年 8 月 1 日から 8 月 20 日までの期間、現地観測を行った。Station A の平均水深は約 17m である。流動の観測は、超音波ドップラープロファイラ (ADP) をカキ養殖用筏に係留し、海面上から連続測定を行った。間隔は 25 分で、6 分間の平均値を記録した。また週に一度、機器の清掃と点検を行い、合わせて YSI 水質測定器を用いて密度の鉛直分布を測定した。このほか対比させるデータには、風データとして 1 時間毎に測定されている広島地方気象台の風向風速値、淡水流入量として 1 時間毎に測定された太田川矢口第一観測所の流量データを用いた。

## 3. 風に対する残差流の鉛直構造の応答

風速および海水流動は、それぞれ日周期の海陸風と半日周期の潮流が卓越している。本研究では風と流れの長期変動を考察するため、それぞれ 24 時間、25 時間以下の短周期を除去した日平均風と残差流を求めた。

図-2 に 8 月 1 日から 8 月 20 日までの日平均風 (a) と、Station A で測定した残差流 (b) 上層部, (c) 中層部, (d) 下層部の時間変動を示す。図-2(a), (b) を比較すると、上層部での残差流は南西方向への流れが卓越しているが、北風が強いときにその流れは強く、逆に北風が弱いときや南風が卓越しているときには弱い傾向にある。

一方、図-2(c), (d) に示す中層部、下層部の残差流の時間変動をみると、風との応答は明らかでない。過去に同地点での秋季、冬季の流動の観測がされ、底層部の残差流は風に対し逆の応答となる 2 層構造であることが報告されている<sup>1)</sup>が、成層安定期の夏季の場合は、密度場の変化の影響が強く複雑な応答が考えられる。

## 4. 成層状態が吹送流の鉛直構造に及ぼす影響

風の時間変動にともなう流動の応答は、時間と深さで常に異なる。風に対する応答が時空間でどのように変化するかを調べるため、相関の高かった南北風速と南北残差流について 2 時間ごとの時系列データから前後 2.5 日の時間幅で相関係数を求め、図-3(a) にその深さ-時間分布を示す。コンターラインは相関係数が 0 であることを示す。合わせて Station A での潮位と太田川河川流量の時系列データをそれぞれ図-3(b), (c) に示す。南北風と南北残差流の正の相関は、8/14 前後（ほぼ無風）を除いた全期間で、表層部で正、海面下 5~10m

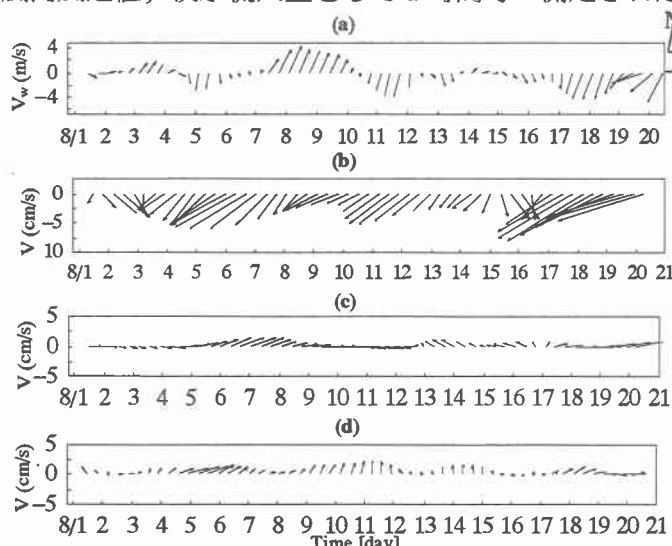
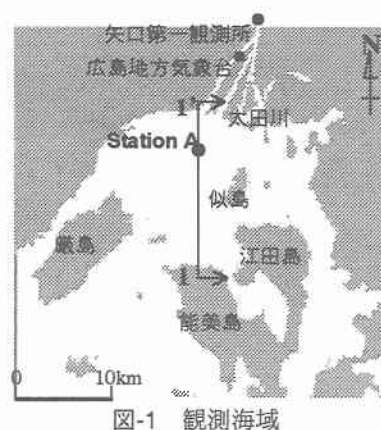


図-2 平均風と残差流の時間変動 (2001/08/01~2001/08/20)  
(a) 日平均風, (b) 残差流(上層  $z=-1.5\text{m}$ ),  
(c) 残差流(中層  $z=-8.0\text{m}$ ), (d) 残差流(底層  $z=-14.0\text{m}$ )

付近の中層部で負、海面下 10m 以深の下層部で再び正という三層構造である。

8/14 前後をのぞいた期間において、表層の正の相関を示す層の厚さと潮汐の関係をみると、過去の研究<sup>1)</sup>では大潮期で厚く小潮時で薄いことが示されているが、今回の観測結果では明らかでない。しかし、太田川河川流量が増加した直後の 8/10~12 で表層の正の相関領域が薄くなっている。太田川河川流量の増加時には Station A での密度成層が強くなり、8/10~12 は中潮から小潮へ推移する成層安定期であることから、海域の密度成層状態により吹送流の鉛直構造が大きく異なることが示唆される。

#### 5. 吹送流に伴う密度構造の変化による流れ

成層海域に風が吹いた場合、力学的なバランスの変化に伴い、順圧的、傾圧的な圧力勾配が急変することが考えられる。密度場の連続測定は困難であるため、3 次元傾圧乱流モデルを用いた数値実験を行うこととした。計算条件は、密度成層が発達した夏季の条件とし、2001 年 8 月の日射量、気温、水蒸気圧、水温、塩分、河川流量の平均値を境界条件に与えた。海面境界条件には風速 3m/s、風向 22.5° の北北東の一様定常風を与え、吹送時間にもなう密度構造の変化を算出した。

計算の結果、図-1 に示す 1-1' 断面の日平均密度は、無風時（図-4(a)）では等密度面が水平であるが、吹送時間 3 日後では図-4(b) に示すように風下方向の南方に向かって降下し、吹送時間にもなう等密度面の傾きが顕著になった。Station A での圧力勾配の傾圧成分は、図-5 に示すとおり吹送時間にもない海面下 3m 付近で北方への駆動力が生じた。吹送時間 3 日では、傾圧的な圧力勾配の最大値は順圧的圧力勾配の約 40% におよび、流速値への影響は無視できない。成層が安定し、北風の吹送時間が長い 8/19 の南北流速の鉛直分布（図-6）は、海面下 3m 付近で南方の流れが部分的に弱まっており、これは傾圧的圧力勾配の影響と考えられる。

吹送時間 3 日では、傾圧的な圧力勾配の最大値は順圧的圧力勾配の約 40% におよび、流速値への影響は無視できない。成層が安定し、北風の吹送時間が長い 8/19 の南北流速の鉛直分布（図-6）は、海面下 3m 付近で南方の流れが部分的に弱まっており、これは傾圧的圧力勾配の影響と考えられる。

#### 6. 結論

成層海域に風が吹くことにより海面せん断応力が作用し、順圧的、傾圧的圧力勾配の変化が流動構造に影響を及ぼしていることが明らかになった。せん断応力については、潮流振幅や密度成層状態の変化に伴い風に対する残差流の応答が異なる。数値実験の結果から、吹送時間の増加に伴う風上方向への傾圧的圧力勾配が順圧成分の最大 40% 程度生じている可能性があり、残差流への影響が大きいことが示唆された。

参考文献 1) 川西 澄, 木村隆浩; 広島湾北部海域における吹送流の鉛直構造と水質の変動特性, 海岸工学論文集, 第 48 巻, 土木学会, pp.396-400, 2001

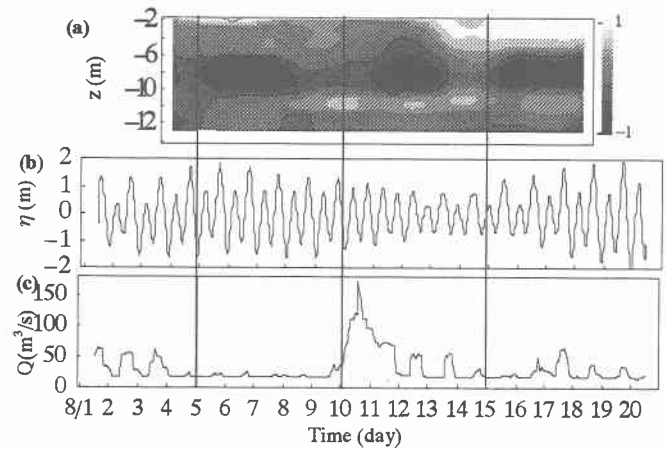


図-3 風の時間変動にもなう流動の応答の深さ-時間別の関係

(a) 南北風と南北残差流の相関係数の深さ-時間分布, (b) 潮位の時系列データ, (c) 太田川河川流量の時系列データ

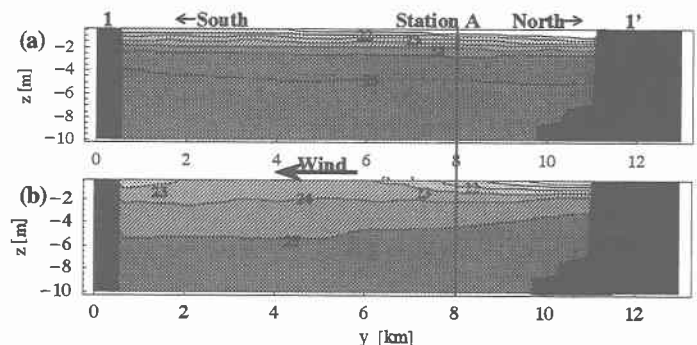


図-4 1-1'断面での日平均密度 (値表示:  $\sigma_t$  [kg/m³])

(a) 無風時, (b) 北東風 3[m/s]が3日連吹時

圧力勾配の傾圧成分 (南北方向) [N/m³]

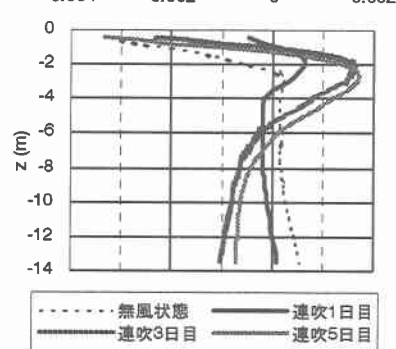


図-5 吹送時間にもなう南北方向の傾圧的圧力勾配の変化 (Sta.A)

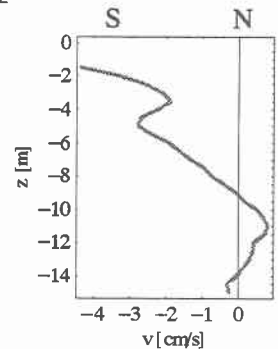


図-6 8/19の残差流南北成分