

II-50 河川湾曲部における密度流の特性

北海道大学工学部	学生員	大森 隆裕
北海道大学工学部	正 員	清水 康行
北海道大学工学部	正 員	藤田 睦博
北海道開発局網走開建	正 員	田村 圭司

1. はじめに

一般に河口付近の河川は潮位変化によって塩水が遡上する。この現象は周辺地域の環境にも影響を与え、周辺地域住民の生活へ問題を投げかけている。今回我々が観測を実施した網走川においても例外ではなく、網走港から遡上した塩水が上流の網走湖に侵入し、その底部に蓄積されている。よって、本観測で得られた結果はこの問題解決へと繋がるかもしれない。また、当河川では蛇行部分が随所にみられ、それに伴う2次流の存在が予想される。だが、この場合塩淡水層の条件下で2次流を考察する必要があり、このため観測では塩分濃度、流速を同時に測定して、また流速については計測したデータを解析、処理して流下方向、横断方向、鉛直方向、の三条件を導き、2次流の形が流速分布で明確に表示できるように努めた。よって、本報告は塩分濃度、及び2次流の発生について潮位等を考慮に入れて両者の成す現象をまとめたものである。尚、本観測は北海道大学、中央大学、北見工業大学が網走開発建設部の協力のもとに協同で行われたものである。

2. 観測概要

2-1. 観測場所

図1に示す北海道東部に位置する網走川大曲地区における蛇行部で3ヶ所の横断面を選び、各々測線1、2、3とした。この各測線で観測を行った。

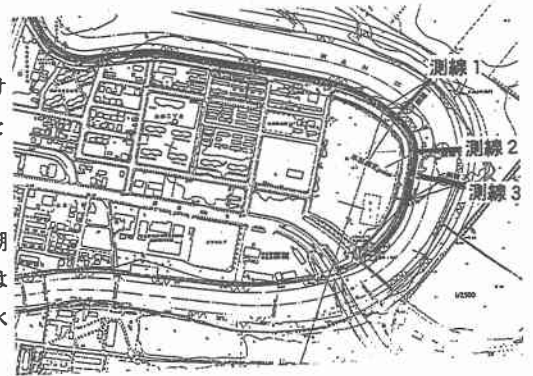


図1 網走川大曲地区周辺地図

2-2. 観測日時

1995年11月8、9日に実施し、それぞれ満潮干潮の前後の時間帯を選んだ。流速は、8日は測線1、9日は測線2で、塩分濃度は、8日は測線1、9日は測線で、水位は、8日に測線1、9日に測線2でそれぞれ観測を実施した。

2-3. 観測項目

流速（北方、東方、鉛直）、深度、塩分濃度、水位、標高、の各項目の測定を行った。

2-4. 測定機器

流速の計測はアレック三次元電磁流速計モデルACM300Sを使用した(写真1)。これは内蔵コンパスにより磁北に対する流向の補正、また二次傾斜計により傾きに対する補正を行い北方、東方、鉛直の各流速、及び深度を計測することが可能である。塩分濃度はセントラル科学社製UC36型を使用して計測した。

2-5. 観測体制

写真2に示すように、ボートの前方、中央、後方に三名乗船し、ワイヤーを張った測線に向かう。測線では中央の観測者がワイヤーを掴みボートを水面上に固定する。他二名が、機器を水中へ降ろし、計測したデータをノートパソコンに記憶させる役割を担う。観測地点を横断方向へ移動させる際には、ボート中央の者がワイヤーをつたってボートを動かす。また、岸边には補佐が二名待機しておりトランシーバーで連絡を取り合っていた。水面上は非常に寒く十分に防寒着を着込み、安全のために救命胴衣を着用して観測に臨んだ。

Characteristics of Density Current in River Bend

by Takahiro OHMORI, Yasuyuki SHIMIZU, Mitsuhiro Fujita and Keiji TAMURA

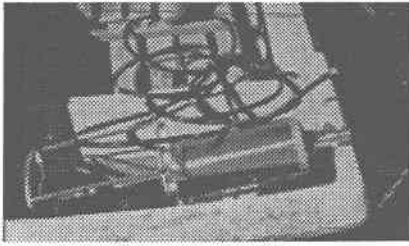


写真1 三次元電磁流速計



写真2 観測の様子

2-6. 天候

8日、9日ともに天候は良好だったが、8日は南向きの強風が吹き一時は観測が危ぶまれたほどであった。

3. 観測結果

観測された流速データの処理方法に関して説明を行う。流速毎にそれぞれ、1測線につき横断方向に主として10 m 毎に観測地点を設定し、更に水深方向に20~25 cm 刻みに30秒間ごとのデータを計測を行う。データは前述のように北方 (U_n)、東方 (U_e)、鉛直方向 (W) であり、これらを以下の方法で流下方向 (U)、横断方向 (V)、へと変換する。これには二通りの方法があり、一つは測量結果から各測線と北方との角度 (θ) を導き、それをを用いて U_n 、 U_e を U 、 V へと変換する方法で、まず30秒間のデータを平均化し、これを U_n 、 U_e とした後に次の式で求める。

$$U = U_n \sin \theta + U_e \cos \theta \text{-----(1)} \quad V = U_n \cos \theta - U_e \sin \theta \text{-----(2)}$$

この際、 U の正方向は測線に直交する方向、 V の正方向は内岸から外岸へと向かう方向となる。

もう一つの方法は順流逆流を問わず常に水深平均の流線方向を U の向きと考え、水平流向によって $U-V$ の座標が変化していく、とする方法である。この長所は流速 V による収支が保たれる点にある。この計算は、まず30秒間のデータの平均化を行い1観測点当たりの平均、つまり水深方向のデータの平均化を行う。これを U_{no} 、 U_{eo} とおくと

$$U_{no} = \frac{1}{H} \int_0^H U_n dy \text{-----(3)} \quad U_{eo} = \frac{1}{H} \int_0^H U_e dy \text{-----(4)} \quad (H: \text{水深 } dy: \text{データ間の距離})$$

となる。これを用いて $\sin \alpha$ 、 $\cos \alpha$ を次式で表す。ただし、 α は U と U_{no} の角度である。

$$\sin \alpha = \frac{U_{eo}}{\sqrt{U_{no}^2 + U_{eo}^2}} \text{-----(5)} \quad \cos \alpha = \frac{U_{no}}{\sqrt{U_{no}^2 + U_{eo}^2}} \text{-----(6)}$$

これにより U 、 V を次式で求める。

$$U = U_n \sin \alpha + U_e \cos \alpha \text{-----(7)} \quad V = U_n \cos \alpha - U_e \sin \alpha \text{-----(8)}$$

この U 、 V をグラフにプロットしたのが図2~13である。

塩分濃度はそれぞれ横断方向に測線1は24地点、測線2は11地点、測線3は6地点を選定し、定点観測では測線2の左岸より17 m の地点において計測を行った。塩分濃度の計測結果を図14~17に示す。

水位変化は測線1、測線2で連続観測を実施し、この結果が図18及び19である。

尚、図2~13のうち、(1)式及び(2)式を用いて求められた U 、 V が図2~7であり、(3)式及び(4)式を用いて求められた U 、 V が図8~13である。図2~13において“Section”とは測線を表し、横軸 y (m)、及び縦軸 z (m) はそれぞれ横断方向および水深方向を表す。また、図2~13の W はすべて鉛直方向流速成分である。図8~13に並記されたベクトル図“North-East”は水平平均流速の強さ及び流向を表している。表している。また、流速分布の正負は、中央に引かれた線より右側が正、左側が負である。塩分濃度についても同様の見方だが、定点観測では別仕様のグラフになっている。水位変化のグラフも載せて満潮、干潮の時間帯が判るように示した。

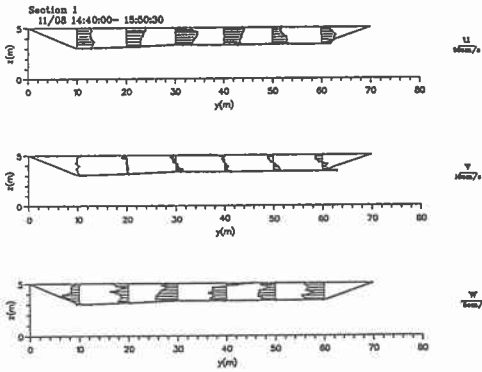


図2 測線1の流速観測結果
(逆流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

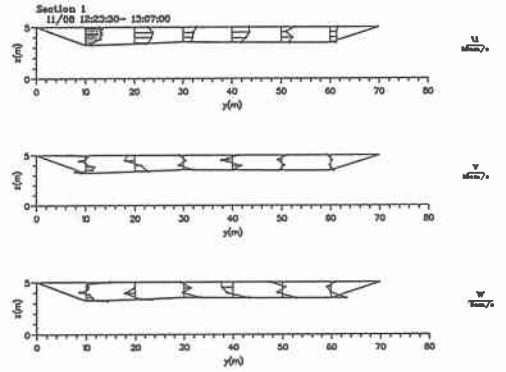


図3 測線1流速観測結果
(逆流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

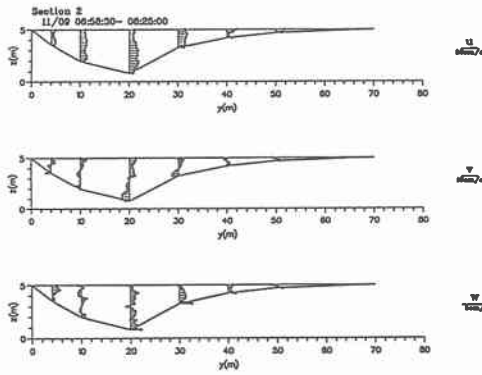


図4 測線2の流速観測結果
(順流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

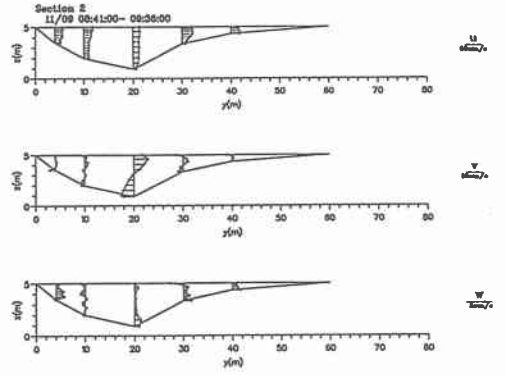


図5 測線2の流速観測結果
(順流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

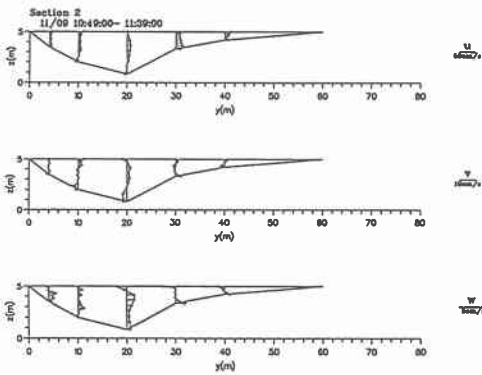


図6 測線2の流速観測結果
(順流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

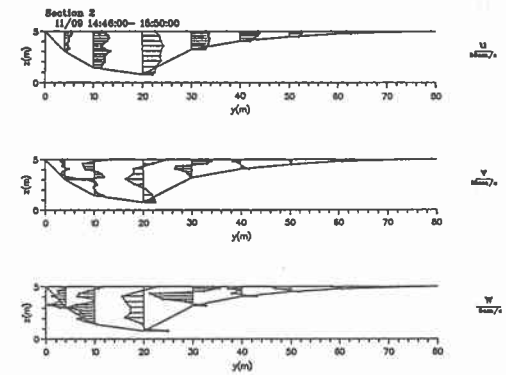


図7 測線2の流速観測結果
(逆流、U、Vの算出法は式(1)、(2)による。)

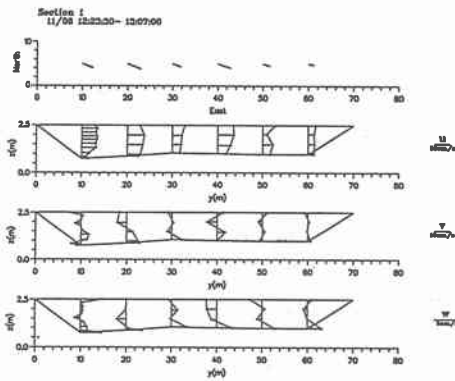


図8 測線1の流速観測結果

(逆流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

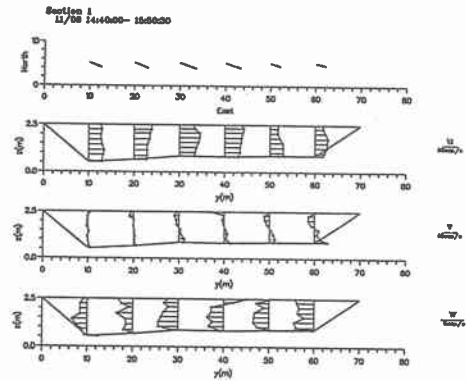


図9 測線1の流速観測結果

(逆流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

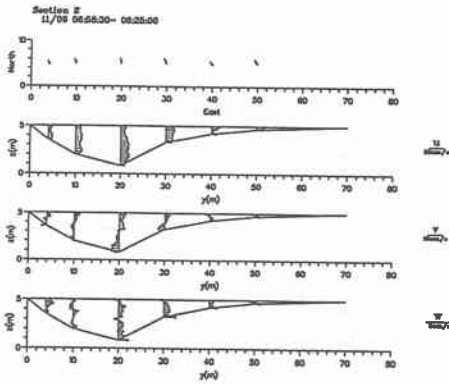


図10 測線2の流速観測結果

(順流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

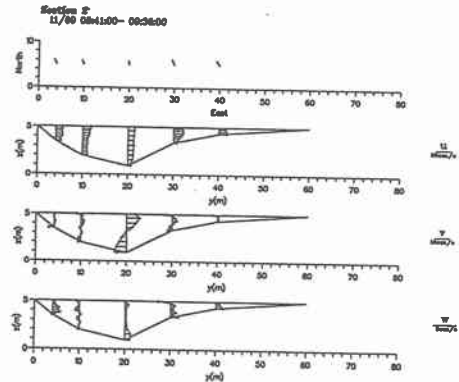


図11 測線2の流速観測結果

(順流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

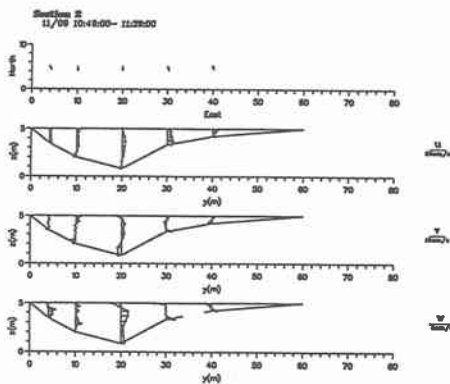


図12 測線2の流速観測結果

(順流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

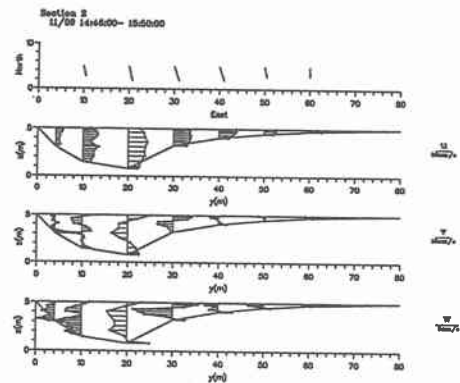
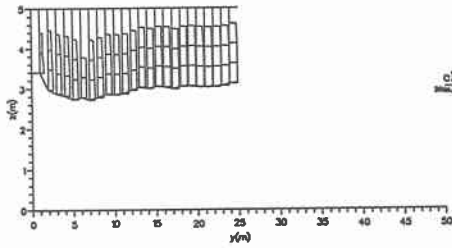


図13 測線2の流速観測結果

(逆流、U、Vの算出法は式(7)、(8)による。)

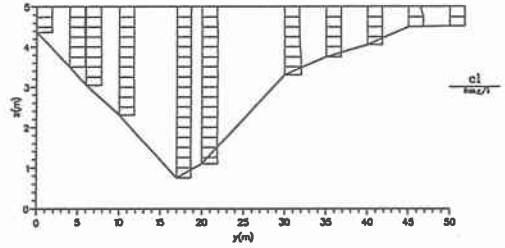
Section 1



11/8 12:30-14:52

図 14 測線 1 の塩分濃度観測結果

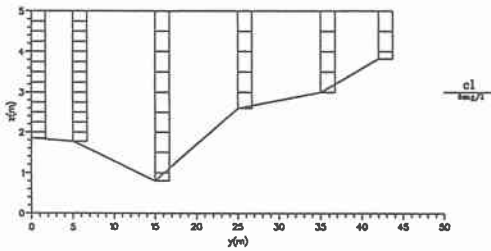
Section 2



11/9 6:30-7:26

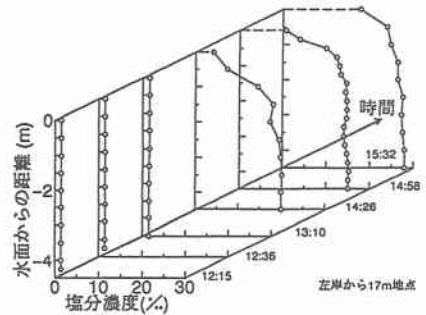
図 15 測線 2 の塩分濃度観測結果

Section 3



11/9 10:00-10:32

図 15 測線 3 の塩分濃度観測結果



11/9 12:15-15:32

図 16 測線 2 の塩分濃度観測結果 (定点観測)

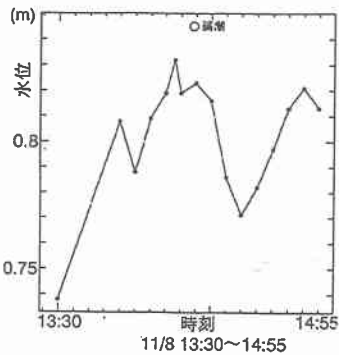


図 18 測線 1 の水位変化

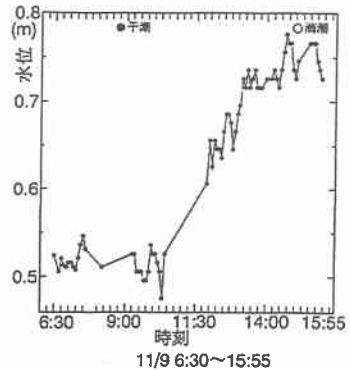


図 17 測線 2 の水位変化

4. 考察

観測結果から判明した事項を列挙する。まず、測線 1 の塩分濃度グラフ（図 14）を見ると河床が深くなっている部分で塩淡境界線も河床に沿って下がっているのが判る。原因は不明だが、この地点の塩分に上部から何らかの外力が働いているのかもしれない。この地点の主流の速度水頭による圧力が強く作用しているとも考えられる。また、同地点の流速 V の分布（図 2、8）を見ると、左岸から 4 m の地点で 2 次流が発生し、しかも、塩淡二層に別々の方向に対をなすように発生しているように見受けられる。図 20 のように、水深中央で流れが反転していると考えられ、興味深い。これは、まず淡水層で湾曲による 2 次流が発生し、反転した流れが塩淡境界にてせん断力を起こし、塩水層にも同様の流れを誘起したと考えられる。尚、以上に述べた塩淡層の現象は図 2、8 及び、図 14 のワンセットから得られたデータなので一概には断定できないことを付記する。

次は、この蛇行部における塩分濃度は順流時に極めて低くなるという事である。逆流時に塩水が遡上するのと同様に、順流時には上流の網走湖底部に存在する塩水が湖から流出してくるのではとも考えていたが、この程度の干潮では流出しないことが確かめられた。しかしながら、融雪期のような出水期にはこういった現象が見られる可能性も高い。また、順流時には淡水層のみで作られる 2 次流が流速 V の分布で見受けられた（図 10、図 11 参照）。

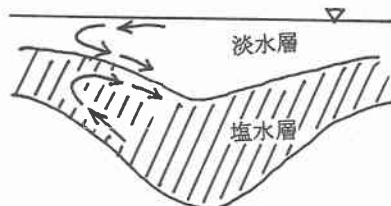


図 20 塩淡二層の 2 次流

水深の上部に外岸向きの流れ、下部に内岸向きの流れの存在が明確に表示されている。にも、逆流時には蛇行部の水位が湖の水位を上回る等の現象が見られた。当観測で判明した現象は以上である。この観測で得られたデータには風の影響も強く受けたと思われる箇所があり、特に流速 V には理論上解析不可能なデータが多く出現した。流速 U にしても対数則にそぐわないデータが頻出している。これらは測定回数が少ない事に起因しており、次回の観測の課題でもある。

[謝辞]

今回の観測では、中央大学、北見工業大学、網走開発建設部の方々に御協力頂いた。ここに記して謝意を表します。