

利根川河口堰下流部における流動 及び水質特性について

A STUDY OF FLOW AND WATER QUALITY IN THE REGION DOWNSTREAM OF AN ESTUARY BARRAGE

天野光歩¹・陳飛勇²・唐澤仁士³・上岡友幸⁴・森下和志⁵

Mitsuho AMANO, Feiyong CHEN, Hitoshi KARASAWA, Tomoyuki UEOKA and Kazushi MORISHITA

¹正会員 工修 (株)建設技術研究所 技術第3部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

²正会員 工博 (株)建設技術研究所 技術第3部 (同上)

³正会員 建設省利根川下流工事事務所 副所長 (〒287-0003 千葉県佐原市佐原イ 4149)

⁴正会員 建設省荒川上流工事事務所 調査課 (〒350-1124 埼玉県川越市新宿町 3-12)

前: 建設省利根川下流工事事務所 調査課 (〒287-0003 千葉県佐原市佐原イ 4149)

⁵新日本気象海洋株式会社 環境情報本部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕 2-2-2)

This paper presents a study of water quality and water flow in the tidal region downstream of an estuary barrage in Tone-River. The field-data of flow-velocities, as well as the distribution of saline and dissolved oxygen (DO) are analyzed to understand the characteristics of water flow and water quality. As a result, the salinity intrusion is found to mix weakly with the fresh water in general. Then, the movement of a water-body is calculated depending on a hypothesis of two-layer flow. The calculated result reveals that the movement of a fresh water-block in the upper layer is strongly influenced by the tidal flow, and that the saline wedge intrudes upstream into the gate region in the lower layer. Finally, it is found that a saline wedge can be flushed out when the discharge of fresh water is large enough and that the density of DO in the lower layer near the gate takes the lest value when a saline wedge intrudes upstream.

Key Words : *tidal flow, field-investigation, saline wedge, salinity intrusion, weakly-mixed type*

1. はじめに

日本最大の流域面積 16,840km²と日本第2位の幹川流路延長 322kmをもつ利根川は日本を代表する一級河川である。流域は茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京の1都5県にまたがり、これらの地域の政治、経済、文化の基盤を成している。また利根川は、自然の水の流れと豊富な自然生態系を維持しており、広大な水と緑のオープンスペースは首都圏の住民に憩いと安らぎを与える場所でもある。

利根川河口堰は河口から約 18.5km に位置し、塩害防止とともに、首都圏の水需要に対する新規供給を図るものである。昭和 46 年度完成以来、これまで本河口堰の操作により流水が有効に活用されてきたが、近年の渇水に伴い、堰下流の低酸素化等の問題が無視できないものとなっている。本報告は、こうした問題を把握するために、平成8年冬季、平成9年夏季に利根川河口堰下流部において現地水理・水質観測を実施し、流動及び水質特性の把握を行うことにより、今後の河口堰に関わる流水管理や堰操作の改善に資するものである。

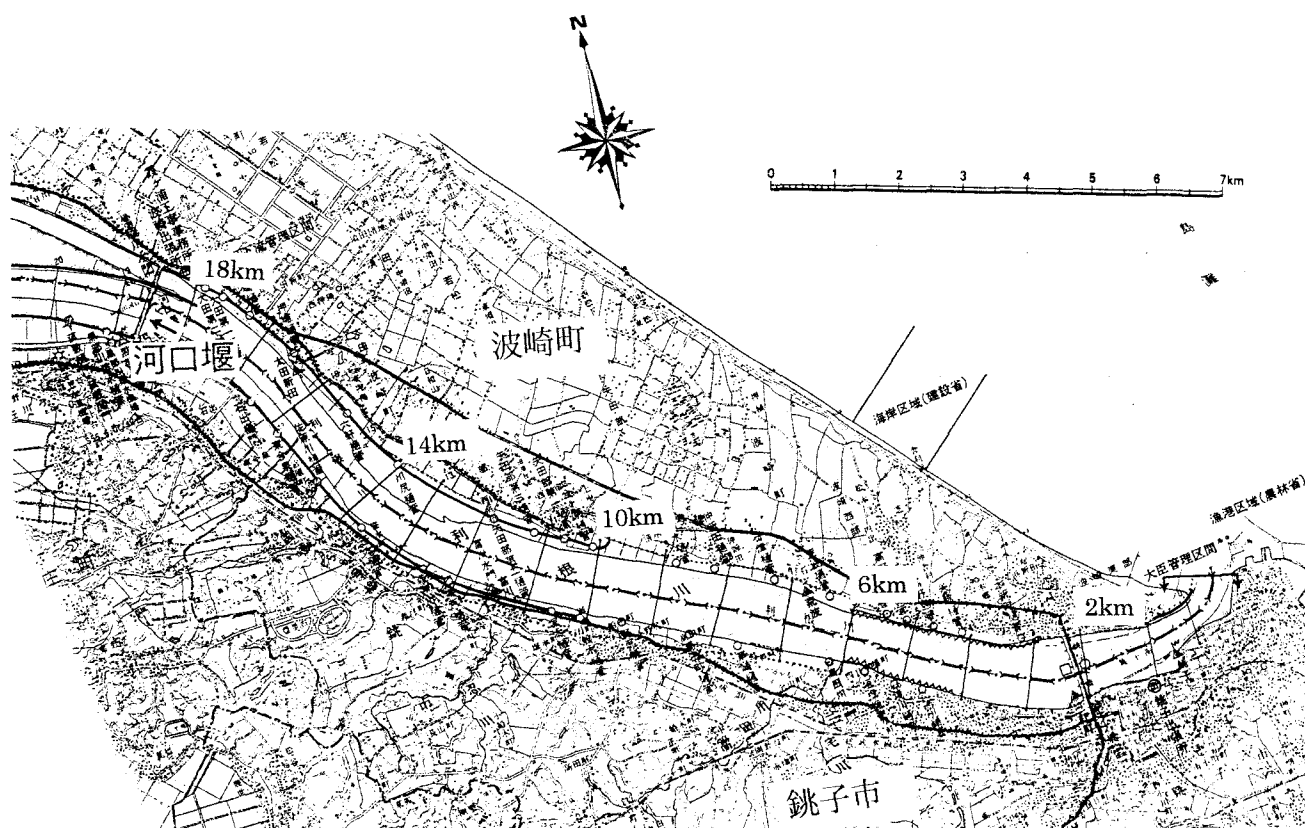


図-1 利根川河口堰下流部の概要

2. 現地観測概要

溶存酸素の消費速度や飽和酸素量が温度に寄因するため、夏季及び冬季に水理・水質観測を行った。観測期間は以下の半月周期とした。

- ・冬季：平成8年12月11日0:00～12月26日0:00
(大潮～小潮～大潮)
- ・夏季：平成9年8月10日0:00～8月25日0:00
(小潮～大潮～小潮)

観測区域は河口から2km～19kmまでである。

現地調査は基本的に移動観測及び定点観測とした。定点観測は水温・塩素イオン濃度・溶存酸素・流向・流速について15日昼夜の連続観測を行った。Sampleの時間間隔は10分と設定した。また、移動観測は大潮及び小潮日(それぞれ1日間)に2時間毎の観測を行い、水温・塩素イオン濃度・溶存酸素濃度等の縦断及び鉛直分布を計測した。

3. 塩水くさびの挙動

(1) 塩・淡水の混合型及び塩水くさびの動き

奥田¹⁾は感潮河川における空間的分布に関して、図-2に示すように弱混合型、緩混合型、強混合型の3種類に分類をしている。

表-1 現地観測内容一覧表(出典：参考文献²⁾)

観測地点(km)	H8年冬季		H9年夏季	
	定点観測	移動観測	定点観測	移動観測
19	○	○	○	○
18	○	○	○	○
16.6	○	○	○	○
16		○		○
14.7	○	○	○	○
14		○		○
13		○		○
12		○		○
11		○		○
9.8	○	○	○	○
8.5	○	○		○
8		○		○
7		○		○
6	○	○	○	○
5		○		○
4		○		○
3		○		○
2	○	○	○	○

○：観測地点

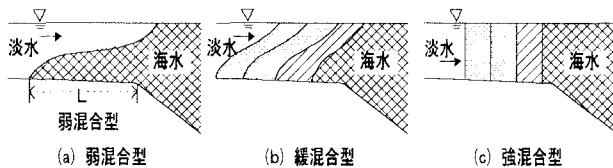


図-2 感潮河川における塩分分布型

奥田¹⁾は弱混合型の感潮河川の存在条件について以下のように指摘した。弱混合型の感潮河川は潮位差の小さい日本海側の河川や小潮の時期に、また流域の広い河川や流量の大きい雨季または雪解け期によく出現する。利根川河口堰下流の場合は潮位変動の最大値は1.5m程度であり、また、流域面積も日本一であるため、弱混合型と緩混合型が存在すると考えられる。図-3bに示すように、平成9年夏季の小潮日では塩水侵入域である河口堰下流部では淡水(河川水)と塩水(海水)の混合が弱く、密度の大きい塩水の上を密度の小さい淡水が滑るように流下し、これらの水層の間に塩分勾配、あるいは密度勾配の大きい界面が明瞭に現れる傾向にある。このような塩分分布の状況は、明らかに“弱混合型”であると考えられる。

また、図-3cに示すように大潮では塩分等値線の間隔は広がり、塩分勾配は水平、鉛直の両方向に存在する“緩混合型”の様相を呈している。

図-3は大潮日・小潮日の移動観測結果に基づく塩素イオン濃度の縦断分布の変化を示したものである。この図をみると、塩水くさびの動きは、以下の2パターンが存在することがわかる。

まず、平成9年夏季小潮日においては、塩分躍層が明瞭に現れており、塩水くさびの先端が概ねに14~18kmの区間で上下流に振動する。図-3aと図-3bを比較すると、塩水くさびの遡上速度が約0.5km/hrとなることがわかる。このパターンは弱混合型に対応する。

一方、夏季大潮日においては、塩分躍層はより弱まり、高い塩素イオン濃度(>16‰)をもつ塩水くさび先端が4~10kmまでの区間で上・下流に移動する。また、上げ潮における塩水くさび先端の遡上速度も約0.5km/hrであった。

安達ら³⁾は塩水侵入長を決定する主な水理量が河川流量、潮汐の干満差、平均水深、日潮不等であると指摘した。本報告は、潮汐の干満差、平均水深、日潮不等を反映する物理量を河口からの入潮量と選定し、その入潮量と堰からの放流量との比と塩分くさびの位置の関係を定量的に検討したものである。そこで、入潮量と放流量の関係を表-2にまとめた。

この表の日放流量と日入潮量の比が0.8より小さい場合は、塩素イオン濃度16‰の等値線が河口堰の近い区域に到達する(図-4(2-a), (2-b)参照)。また、上層の塩素イオン濃度を見ると、河口堰に近い区域で塩

素イオン濃度が下流側より高い傾向があることがわかる。これは、堰直下流での上・下層混合が比較的大きいためと考えられる。なお、日放流量と日入潮量の比が0.8より大きい場合は、塩素イオン濃度16‰の等値線が河口部の近い区域に存在する(図-4(1-a), (1-b)参照)。このことから、塩水くさびは堰から流送された可能性が高いと推定される。

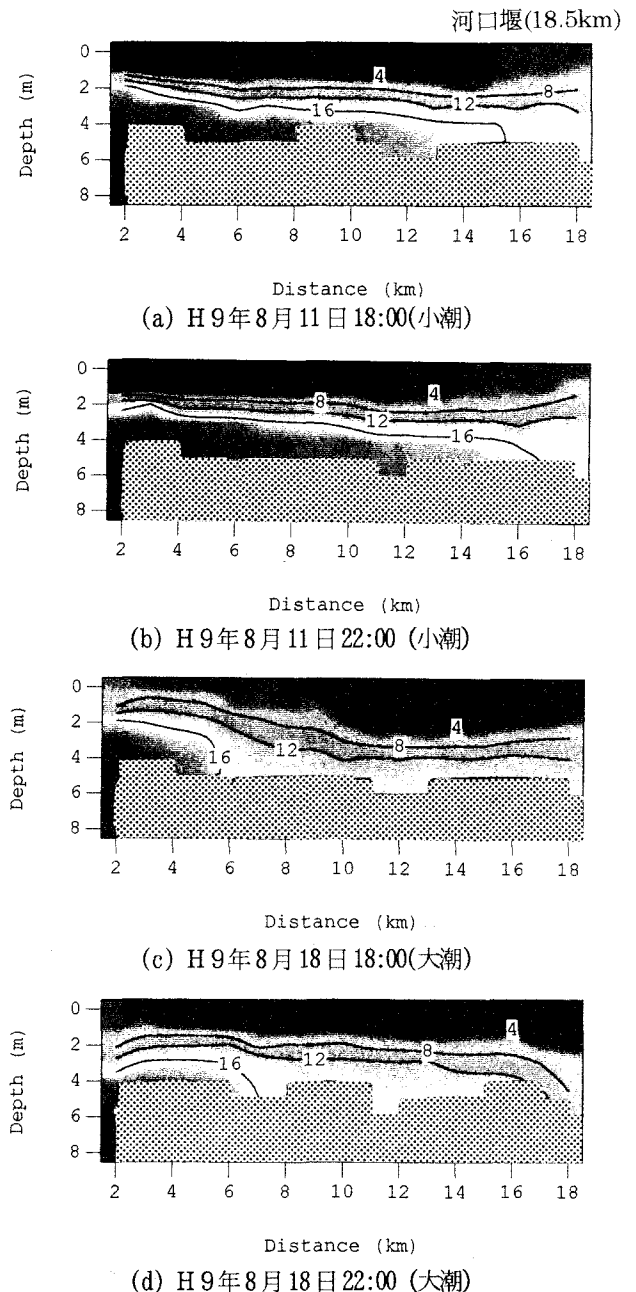


図-3 河口堰下流流心部における塩分濃度分布(単位:‰)

(2) 上・下層水塊の動き

河口から2、6、10、14、18km地点の上・下層で連続的に測定した流向・流速データを流心方向流速成分に変換して、河口堰下流部における水塊の移動軌跡を推定した。その推定方法は、上・下層水流を二層流と仮定し、任意地点の水塊の移動速度をその地点と同じ

層の上・下流観測地点の流心方向流速値の内挿値として移動距離の推定を行ったものである。その結果(図-5)を見ると、上層の水が潮位変動に応じて上・下流へ振動しながら上層を流下していくことがわかる。そのうち、大潮日は潮位変化が大きいため、上・下層ともに逆流が存在する。この上層を流下する水が河口に到達するまで大潮日では約45時間、小潮日では約36時間を要する。また、下層の水の動きを調べると、10kmより上流では塩水が遡上し、河口堰に到達するまでの所要時間は30時間程度であることがわかる。河口付近では水がゆっくり流下していき、河口まで約5日間が要する。このことから、遡上する塩水は河口の底層からではなく、中層から侵入すると推定される。

(3) 上・下層塩分濃度の変動特性

得られた観測結果の一例として、半月間流量が比較

的安定していた平成8年冬季の河口堰下流500m(18km)地点における塩素イオン濃度の経時変化を図-6に示す。図に示すように18km地点における上・下層塩素イオン濃度は主に潮汐運動と連動して、ほぼ半日周期で変動している。その内、大潮日(12月11日～15日及び21日～26日)には下層の塩素イオン濃度が高く、変動は比較的小さいが、上層の塩素イオン濃度が大きく変動している。このことから、塩水くさびが河口堰まで達していると推定される。また、潮位変動差が大潮から小潮になると、下層において塩素イオン濃度が大きく変動しながら低減していき、上層の濃度と近づくことがわかる。これは堰からの放流水により、塩水くさびの先端部が堰から流送されたものと考えられる。その後潮位変動が小潮から大潮にかけて、塩水くさびが再び遡上して下層塩素イオン濃度が高くなるという、半月周期の変動が形成されることがわかる。

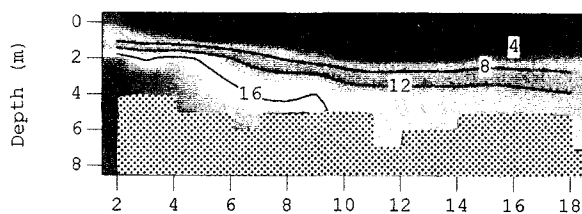
表-2 入潮量と日平均堰放流量の関係

観測日(期間=観測日 10:00～翌日9:00)	夏季大潮日 H9年8月18日	夏季小潮日 H9年8月11日	冬季大潮日 H8年12月11日	冬季小潮日 H8年12月17日
平均潮位 h (YP.cm)	101.3	89.0	84.7	81.4
潮汐干満差 Δh (cm)	133.0	69.0	157.0	70.0
日放流量 Q ($10^6 m^3$)	15.61	9.81	9.35	9.43
日入潮量 $*V_h$ ($10^6 m^3$)	14.09	12.35	11.75	11.30
Q/V_h	1.108	0.794	0.795	0.835

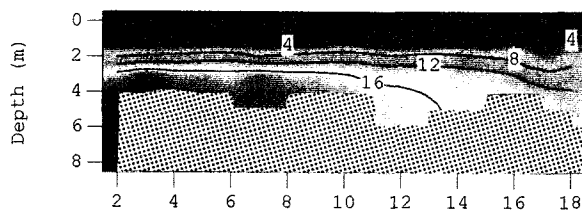
* 日入潮量=平均潮位に対応する堰下流部のVOLUME-最低潮位に対応する堰下流部のVOLUME

$[Q/V_h > 0.8]$

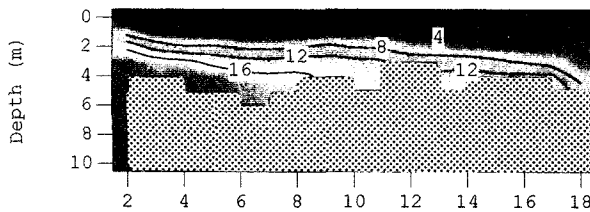
$[Q/V_h < 0.8]$



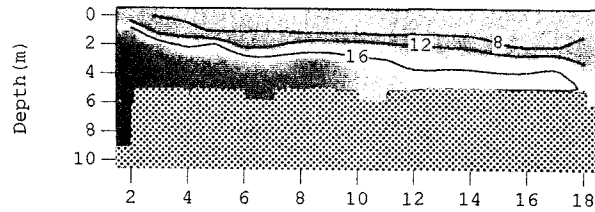
(1-a) H9年8月19日4:00(大潮日)



(2-a) H9年8月11日14:00(小潮日)



(1-b) H8年12月17日14:00(小潮日)



(2-b) H8年12月11日18:00(大潮日)

図-4 塩素イオン濃度空間分布 (単位: ‰)

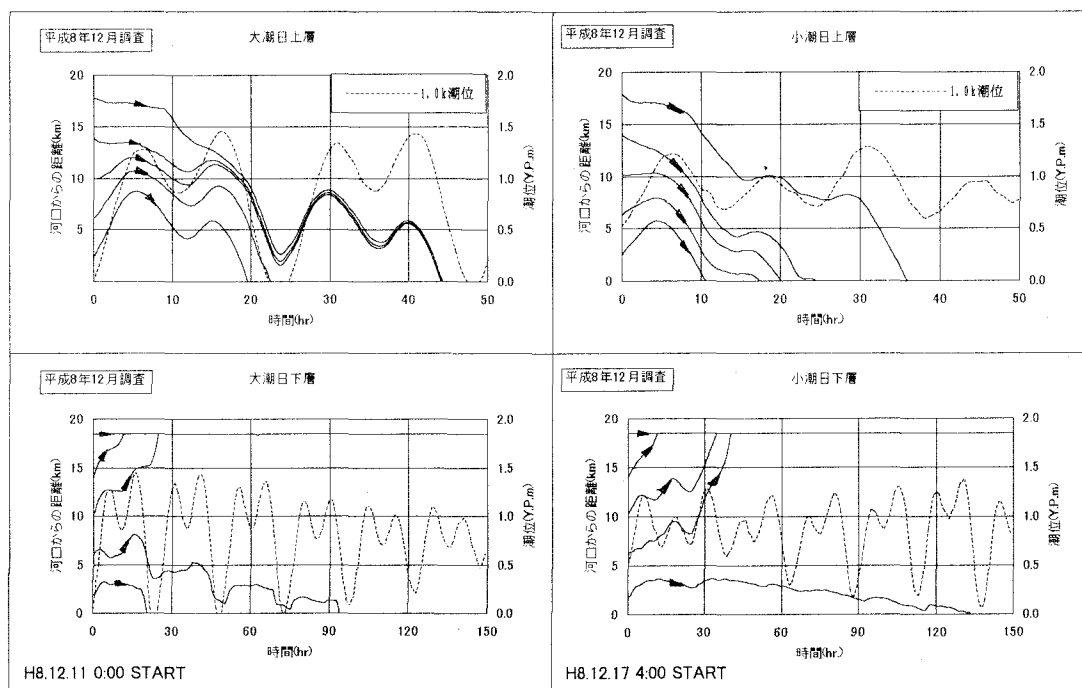


図-5 水塊移動軌跡推定結果

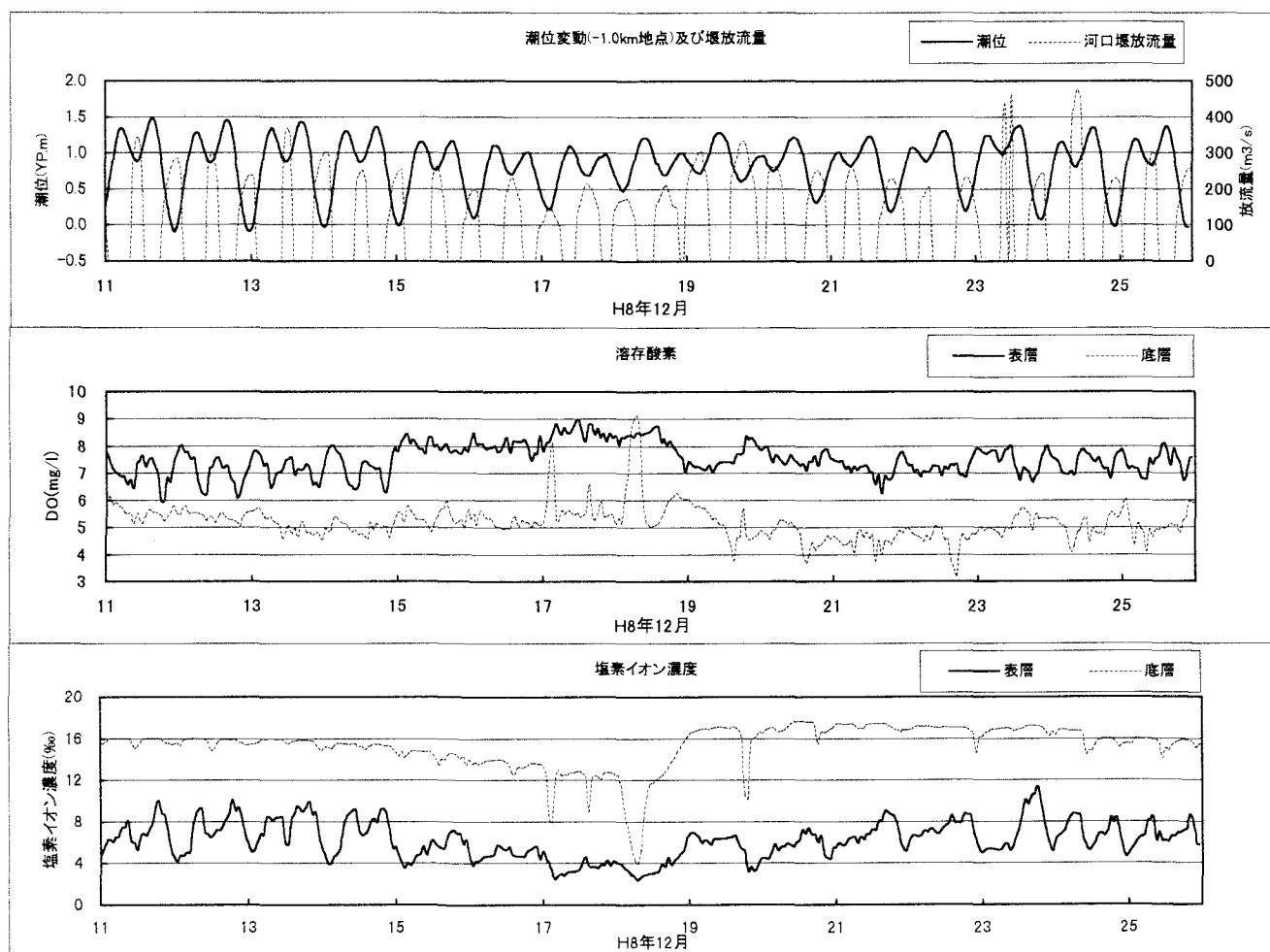


図-6 18km地点における塩素イオン濃度・溶存酸素濃度の経時変化

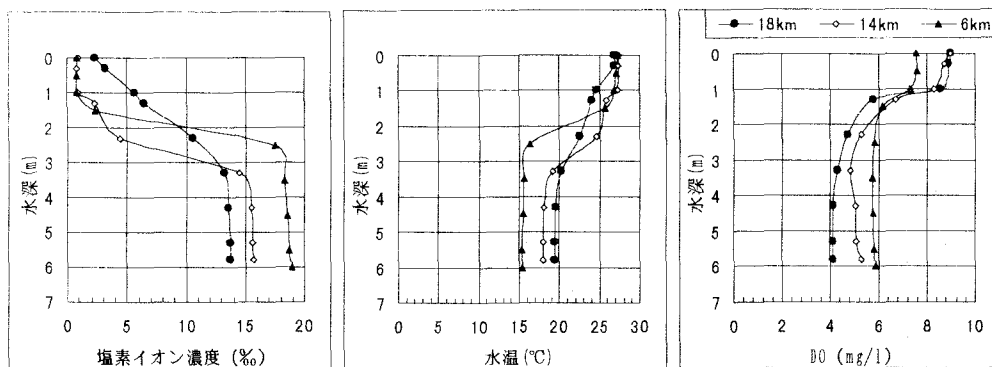


図-7 感潮域における水質鉛直分布(H9年8月11日10:00)

4. 溶存酸素の変化特性

(1) DOの経時変化

図-6には平成8年12月11日0:00~26日0:00までのDO経時変化を示している。まず、大潮日(例えば、11日~14日)において潮位変化とともにDOもほぼ半日周期で変動する。次に、潮汐変動が大潮から小潮になると、DO濃度が高くなる。これは塩水くさびの先端部が流送されたことに依存すると考えられる。また、小潮から大潮にかける中潮日において、塩水くさびがふたたび遡上するに伴い、DO濃度が低減し、下層は約3mg/lまで下がる。最後に、潮汐変動が小潮から大潮にかけて、塩水くさびが再び河口堰に到達すると同時に、DO濃度も同様に前的大潮日のレベルに戻るという半月周期の変動を示している。

(2) DOの縦断分布

塩素イオン濃度の躍層と同様に水温及びDO濃度も躍層が存在する(図-7参照)。これは塩水の侵入とともに下層の溶存酸素の消費によるものと考えられる。ただし、塩素イオン濃度と水温の躍層が同じ位置に存在するが、DOの躍層はより高いところに生じる。

次に縦断的に見れば河口堰直下流の底層部を中心に低酸素水塊が見られる(図-8参照)。特に夏季においてこの傾向が顕著になっている。

また塩水くさびが河口堰直下流まで達している平成9年8月11日において低酸素水塊が河口堰直下流下層から中層部に伸びている様子が見られる。これは低酸素水塊が放流水と混合しながら、塩水くさびの上面に沿って流下していくためと推察される。

5. 結論

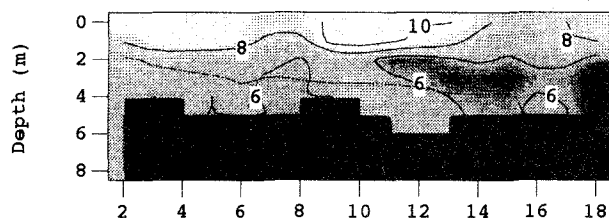
本報告は、利根川河口堰下流部において行った現地調査のデータをもとに水理・水質特性を分析したものである。本調査によって以下のことが明らかになった。

- ① 利根川河口堰下流部における淡・塩混合は主に弱混合~緩混合型である。
- ② 塩水くさびの動きは堰からの放流量と河口からの入潮量との比に依存する。その比が0.8より大きくな

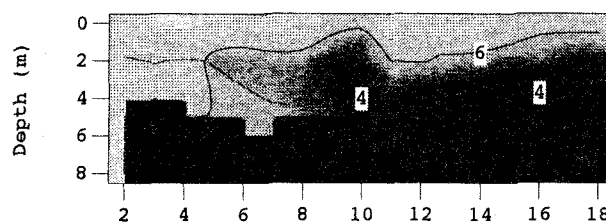
ると塩水くさびの先端が流送される可能性が高いと推察される。

③ 小潮から大潮にかけて塩水くさびの遡上に伴い、下層の溶存酸素濃度が低下し、河口堰に近い底層部を中心に低酸素化する。その低酸素水塊は放流水と混合しながら塩水くさびの上面に沿って流下していくと推察される。

④ 以上の結果は、堰操作のタイミングを検討する上で重要な参考資料となる。



(a) H9年8月11日18:00(小潮日)



(b) H9年8月19日4:00(大潮日)

*図中の破線は塩素イオン濃度=16‰の等値線

図-8 DOの空間分布(単位:mg/l)

参考文献

- 1) 奥田節夫(1996) 感潮河川における流れと塩分分布、河川感潮域(西條八束・奥田節夫編)、名古屋大学出版社、pp.48-50。
- 2) 建設省利根川下流工事事務所(1998) 第3回利根川下流部河川環境検討会資料。
- 3) 安達貴浩・小松利光・三島勇一・黒目 剛(1998) 筑後川河口部における塩水侵入の変動特性、水工学論文集、No.42、pp.793-798。(1999.4.26 受付)