

2009年夏季における博多湾浚渫地の水温構造

CHARACTERISTIC OF WATER TEMPERATURE AT DREADED HOLLOW IN HAKATA BAY, SUMMER 2009

武田将英¹・山崎惟義²・渡辺亮一³・五明美智男⁴・
玉上和範⁵・高瀬和彦⁶・岡部格⁷

Masahide TAKEDA, Koreyoshi YAMASAKI, Ryoichi WATANABE, Michio GOMYO,
Kazunori TAMAUE, Kazuhiko TAKASE and Kaku OKABE

¹正会員 東亜建設工業(株)技術研究開発センター (〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3)

²正会員 工博 福岡大学教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

³正会員 博(工) 福岡大学准教授 工学部社会デザイン工学科 (同上)

⁴フェロー 博(工) 東亜建設工業(株)技術研究開発センター (〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3)

⁵正会員 工修 東亜建設工業(株)技術研究開発センター (同上)

⁶東亜建設工業(株)九州支店 (〒812-0011 福岡市博多区博多駅前3-5-7 博多センタービル5F)

⁷東亜建設工業(株)九州支店香椎工事事務所 (〒813-0018 福岡市東区香椎浜ふ頭2-5-3)

In HAKATA Bay, there are two dredged hollows in front of Muromi River, which contain the huge hypoxic water in every summer. According to the research in the past, the hypoxic water was spread especially to north east around these hollows, and it seems that it was spread from the east hollow which is shallower than the west hollow.

In summer 2009, the water temperatures of the several vertical points were observed at the east hollow for every five minutes, and the water quality profiles about *T*, *S* and *DO* were measured almost every week. As the results, the followings were found. The hypoxic water had been contained in the east hollow at July 24, and it was disappeared at August 6. It is explained that the seawater outside of the bay went into the hollow, because it was bring by the estuarine vertical circulation which caused by the torrential rain. When the stratification in the hollow grew up, the water temperature of bottom layer vibrated up and down. Because hypoxic water was sloshed by internal seiche, it jumped out from the east hollow.

Key Words : *Dredged hollow, hypoxic water, water temperature, HAKATA BAY, estuarine vertical circulation, internal seiche*

1. はじめに

我が国の沿岸域開発では、埋立地近傍の海底から大量の埋立用材や砂利を採取してきた。その結果、これらの採取場所であった海底には、周辺の海底地盤よりも深く掘り下げられた浚渫窪地が、全国各地に点在している。内藤ほか¹⁾は、このような浚渫窪地を局所的な窪地タイプと定義した。局所的な窪地タイプの浚渫窪地では、夏季に貧酸素水塊が発生することによって、生物生息環境に悪影響を及ぼすことがよく知られている。

九州北部に位置する半閉鎖的な内湾の博多湾では、1982～86年にかけて、地行・百道地区（現：地行浜・百道浜）と姪浜・小戸地区（現：愛宕浜・小戸）を埋め立てる博多湾西部埋立事業²⁾が実施された。その土取場であった図-1に示す室見川河口沖に

は、局所的な窪地タイプに分類される2つの浚渫窪地が存在することとなった。なお、博多湾は、海の中道—能古島—今津を結ぶ図-1の破線より西側の海域は、水深10～20m程度と深くなっており、逆に破



図-1 博多湾窪地の位置

線より東側の海域は水深4～8m程度に浅くなっている。篠原³⁾は、福岡県水産海洋技術センターが過去に実施した調査データから、夏季(7～8月)の水温、塩分、溶存酸素濃度(DO)の16年間(1980～96年)の経年変化をとりまとめた。その経年変化からは、窪地周辺の百道沖では、1987年と1990年を除いた1983年以降の全ての年に貧酸素水塊が発生していたことが分かっている。2000年以降では、吉岡⁴⁾が2002年に、山崎ほか⁵⁾が2003～06年に、渡辺ほか⁶⁾が2007～08年に調査を行っており、この2つの窪地で夏季に強い貧酸素水塊が発生すること、窪地周辺の海域でも貧酸素水塊が存在することが報告されている。また、この2つの浚渫窪地の周辺海域に存在する貧酸素水塊は、周辺海域の海底から発生した貧酸素水塊よりも、窪地内で発生した貧酸素水塊が周辺海域に溢れ出したものが支配的で、それらは主に北東方向に広がっていくことが、渡辺ほか⁶⁾の現地観測によって明らかになりつつある。

本研究では、室見川河口沖の浚渫窪地で発生した貧酸素水塊がどのようなメカニズムで周辺海域に広がっていくかを今後明らかにするための基礎資料を得ることを目的に現地調査を行った。具体的には、2009年夏季に図-1に示す東側窪地を対象として、定期的な鉛直観測と自記式水質計による連続観測を実施して、窪地内外の水温構造についてとりまとめた。その後、窪地内で発生した貧酸素水塊がどのような挙動をしているかを考察した。

2. 調査方法

(1) 自記式水質計による水温の連続観測

連続観測は、図-2、表-1、図-3に示す地点K、Lにおいて、Star-OGGI製の自記式水質計DST CTを複数台用いて、5分間隔の水温と電気伝導度を記録した。ただし、電気伝導度は、水質計自体の個体差が大きく、執筆時点で満足な補正ができなかったため、今回の報告には用いていない。

自記式水質計の設置は、潮の干満によって測定高さが変わらないように、水中ブイを用いて水底から立ち上げた。また、水質計は専用保護ケースに入れた後、その周囲を銅金網(40メッシュ)で覆い、かつ2週間に1度の頻度で水質計の交換を行うことで、生物等がセンサーに付着することを防止した。

水温記録は、2009/7/24から9/17までの8週間実施した。地点Kでは、7/24～9/3の期間に、図-3に●印で示す水深-4m～-9m間を1m間隔で6箇所、9/3～9/17の期間に、図-3に●印と○印で示す水深-1m～-10m間を1m間隔で10箇所の記録を行った。地点Lでは、7/24～8/20の期間に、図-3に▲印で示す水深-4mと-5mの2箇所で記録を行った。

(2) 投込式水質計による鉛直観測

自記式水質計による連続観測に合わせて、図-2、表-1、図-3に示す地点A～Nにおいて、投込式水質計を用いて鉛直観測を行った。表-2に示す日程で実施し、原則として観測日の午前中に実施した。8/27の週を除いてほぼ1週間間隔で観測することができたが、調査途中の荒天等によって観測できなかった地点もあった。なお、鉛直観測は、東亜班と福大班の2つに分かれて交互に実施した。用いた投込式水質計の種類は、東亜班がJFEアレック社のAAQ1183-H、福大班がHydrolab社のDataSonde5であり、相互の計測値がほぼ同じ値を示すことを事前に確認した。

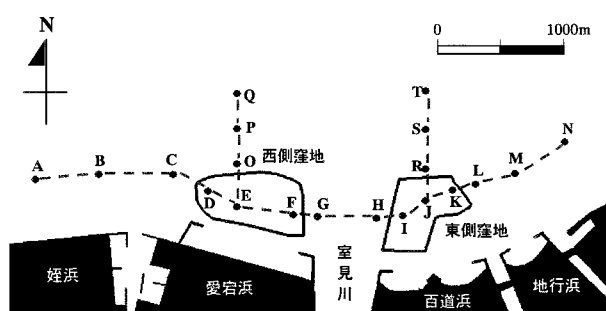


図-2 鉛直観測位置

表-1 鉛直観測座標(WGS84)

地点	北緯	東経	地点	北緯	東経
A	33° 36' 9.84"	130° 19' 0.12"	K	33° 36' 7.20"	130° 21' 10.20"
B	33° 36' 10.50"	130° 19' 21.00"	L	33° 36' 8.70"	130° 21' 17.04"
C	33° 36' 11.28"	130° 19' 42.72"	M	33° 36' 11.46"	130° 21' 29.28"
D	33° 36' 6.96"	130° 19' 53.70"	N	33° 36' 19.68"	130° 21' 45.00"
E	33° 36' 2.76"	130° 20' 2.64"	O	33° 36' 13.98"	130° 20' 2.64"
F	33° 36' 0.84"	130° 20' 20.34"	P	33° 36' 23.10"	130° 20' 2.64"
G	33° 36' 0.36"	130° 20' 27.84"	Q	33° 36' 32.16"	130° 20' 2.64"
H	33° 36' 0.06"	130° 20' 46.38"	R	33° 36' 12.54"	130° 21' 1.62"
I	33° 36' 0.60"	130° 20' 54.48"	S	33° 36' 22.68"	130° 21' 1.62"
J	33° 36' 4.56"	130° 21' 1.62"	T	33° 36' 32.82"	130° 21' 1.62"

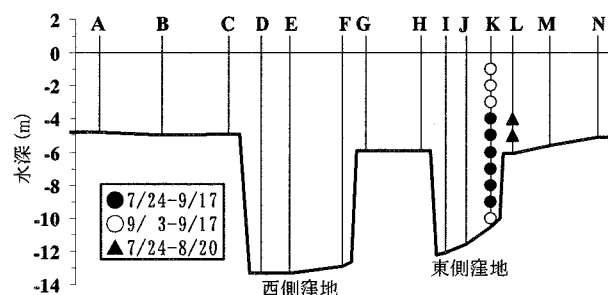


図-3 窪地の断面と連続観測位置

表-2 鉛直観測・連続観測の一覧

観測日	鉛直観測														連続観測			
	水質計	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	K	K	L
7/24(金)	AAQ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	▲
7/30(木)	DS5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	▲
8/ 6(木)	AAQ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	▲
8/12(水)	DS5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	▲
8/20(木)	AAQ	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	▲
8/27(木)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	—
9/ 3(木)	AAQ	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	●	—
9/12(土)	DS5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	—
9/17(木)	AAQ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	—

【投込式水質計の種類】 AAQ: JFEアレック製, AAQ1183-H
DS5: Hydrolab製, DataSonde5

3. 調査結果及び考察

(1) 東側窪地の水温変動

福岡管区気象台における1日の降水量、博多船だまりにおける潮位、東側窪地の地点Kにおける水温の連続記録を図-4に示す。図には、調査全期間を通じてデータの取得を実施した水深-4m～-9m（図-3中の●印）の水温を描いた。また、窪地内外の水温の変動を容易に比較できるように、窪地と自然海底地盤の境界（以下、窪地境界）である水深-6mの水温を全ての図に示した。なお、潮位は、驗潮所のメンテナンスと観測期間が重なって実測潮位が得られなかったため、天文潮による推算潮位を採用した。

鉛直観測によって得られた全観測期間の地点Kにおける水深は、-10.3m～-10.6mの範囲にあり、その平均値は-10.4mであった。

a) 全観測期間の水温の長期的な傾向

全観測期間における全水深での水温の長期的な傾向を以下に示す。観測を開始した7/24頃には26℃弱のピークを示した水温は、徐々に下がり始め、8/8頃には24℃弱の水温になった。8/13～14にかけて窪地より上の水温は26℃を超えるほどの急激な上昇が見られたが、数日で元に戻った。その後は、9/6～8まで26℃強まで水温が緩やかに上昇した後、再び下降に転じた。

連続観測を開始した7/24の夕方から7/26にかけ

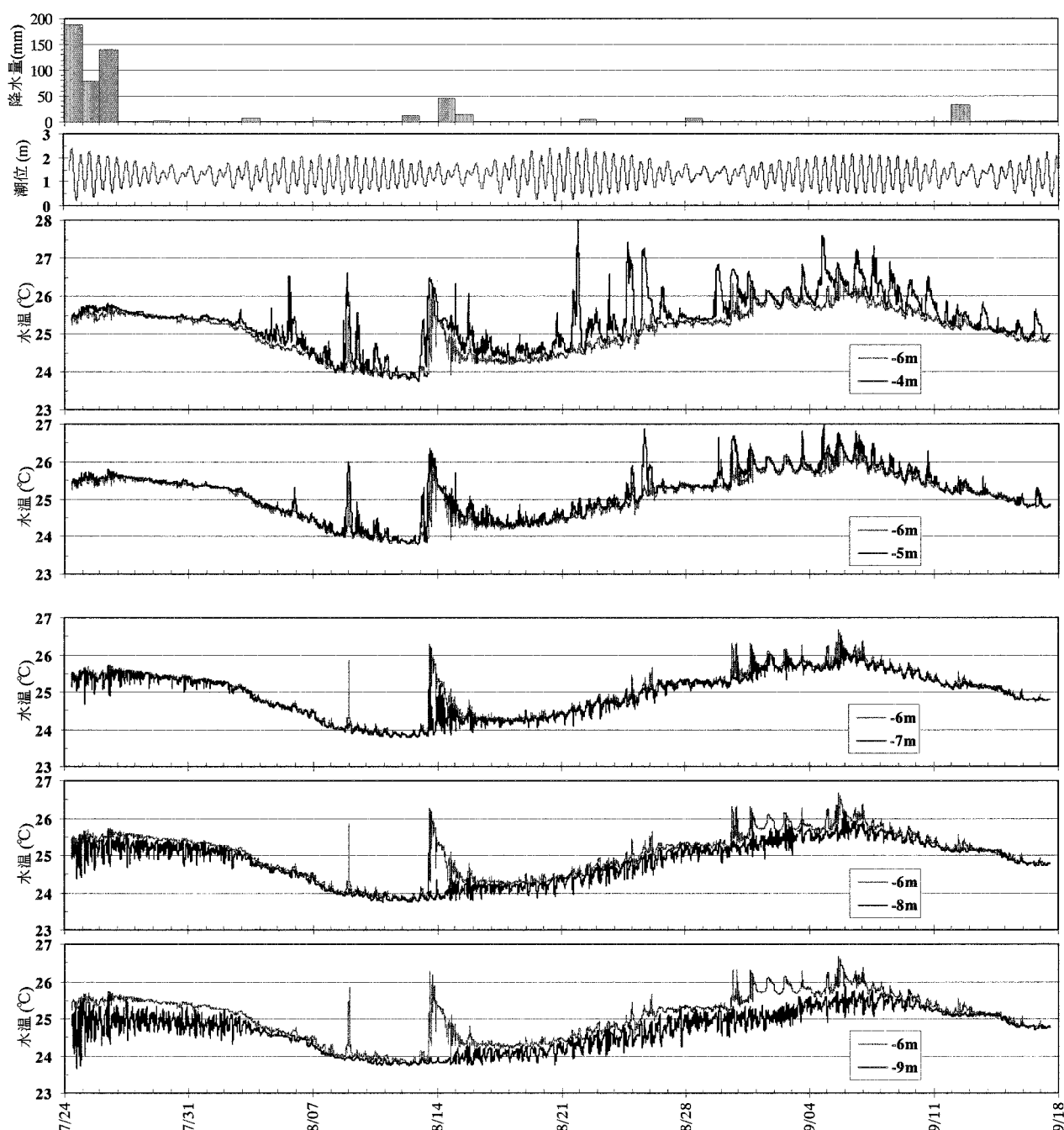


図-4 降水量・潮位・地点Kにおける水温の連続記録

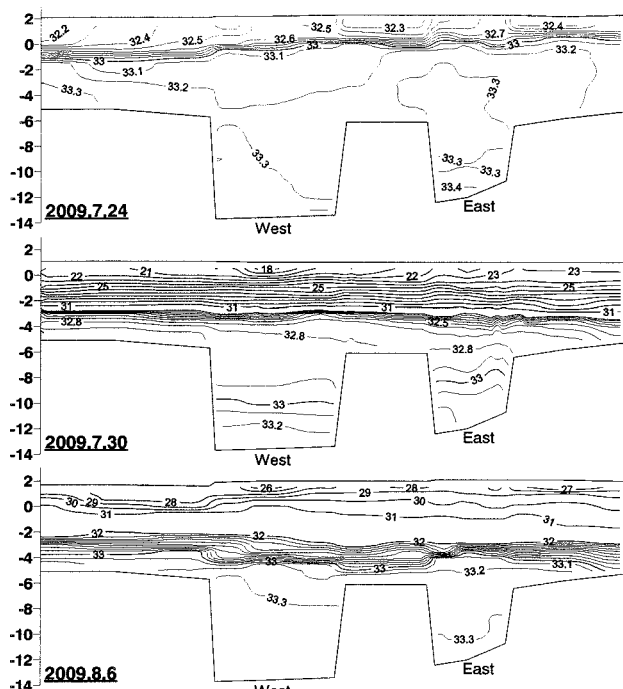


図-5 海水の塩分分布（単位：PSU）

て、「平成21年7月中国・九州北部豪雨」が発生した。図-4には福岡管区气象台での1日の降水量を示したが、福岡県内では時間雨量100mm、24時間雨量300mm、3日間の総雨量は500mmを超えるところが相次いだ。博多湾の流入河川は、一級河川はないものの、二級河川が11水系40河川、準用河川が10水系27河川、河川法適用外の普通河川が63河川あり、二級河川の流域面積はおおよそ700km²である。博多湾の面積は二級河川の流域面積の約1/5の134.2km²であることから、この豪雨によって流入河川から博多湾に莫大な量の河川水が流入したと考えられる。

図-5に鉛直観測で得られた海水の塩分分布を示す。これは、図-3と同様に、地点Aから地点Nまでの経路を断面図にしたものである。垂直方向の縮尺は、水平方向の約95倍とした。豪雨前の7/24には約32PSUであった表層の塩分が、豪雨終了後から4日経過した7/30でも20PSU程度まで極端に下がっており、この後も二層流の状態が数日維持されたと考えられる。

近藤ほか⁷⁾は、成層が発達する夏季（7～9月）を対象に、博多湾を単純化したボックスモデルを用いて湾内の水温低下についての検討を行った。その結果、湾内成層が強くなることで湾内のエスチャリー型鉛直循環が強化され、これが冷たい湾外水の流入を促進し、湾内水温が低下したと結論付けている。

図-4に見られた観測初期の全体的な水温の低下は、記録的な豪雨によって莫大な量の河川水が博多湾に流入した結果、主に塩分に起因する成層が発達して、エスチャリー型鉛直循環が強化され、冷たい湾外水が流入してきたことによるものと考えられる。また、8/3～13頃には、窪地内の水温が窪地境界の水温とほぼ等しくなっており、窪地内の成層が解消されて

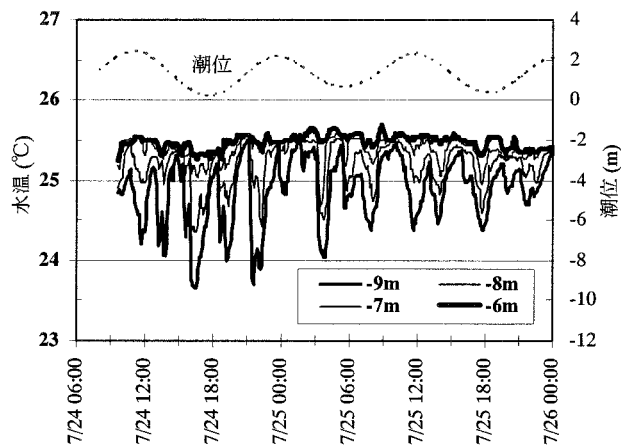


図-6 窪地内の水温(2009/7/24-25)

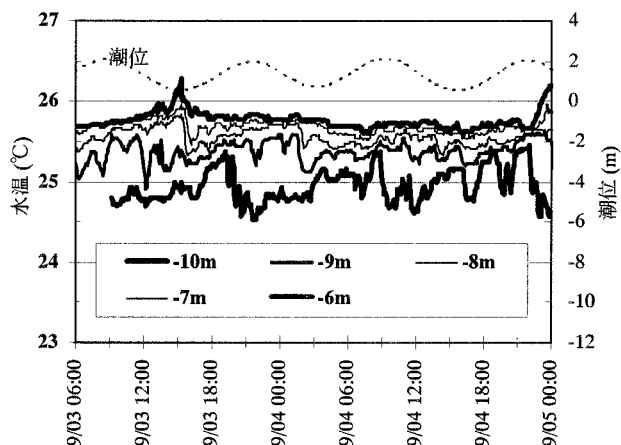


図-7 窪地内の水温(2009/9/3-4)

いることが読み取れる。

b) 窪地内水温の振動

図-4に示す窪地内の水温には、窪地境界との水温差が見られる時期に、潮汐よりも短い周期の振動が現れ、底層に近づくほど大きな振幅になっている。図-6に最も大きな振幅が得られた7/24～25の水温を、図-7に水深10mの観測を開始した9/3-4の水温を示す。図-6に示す7/24-25の期間には、底層の水温がおおよそ120～180分周期で上昇・下降を繰り返していた。一方、図-7に示す9/3-4の期間には、底層の水温が上昇・下降を繰り返すものの明瞭な周期は見られなかった。しかし、いずれも日照による熱の供給が得られない夜間にも窪地内の水温が上昇・下降を繰り返していることが理解できる。このような成層期の水温の振動は、深山ほか⁸⁾の有明海奥部の観測櫓での水質計測でも報告されており、内部セイシュによるものとされている。

(2) 貧酸素水塊の挙動

図-8に、鉛直観測で計測した溶存酸素濃度分布を示す。図には、5.0mg/L以下は0.5mg/L単位、それ以上は1.0mg/L単位で等値線を描いている。本研究では、3.0mg/L以下を貧酸素水塊と定義し、貧酸素水塊には1.0mg/L単位で網掛けを施した。

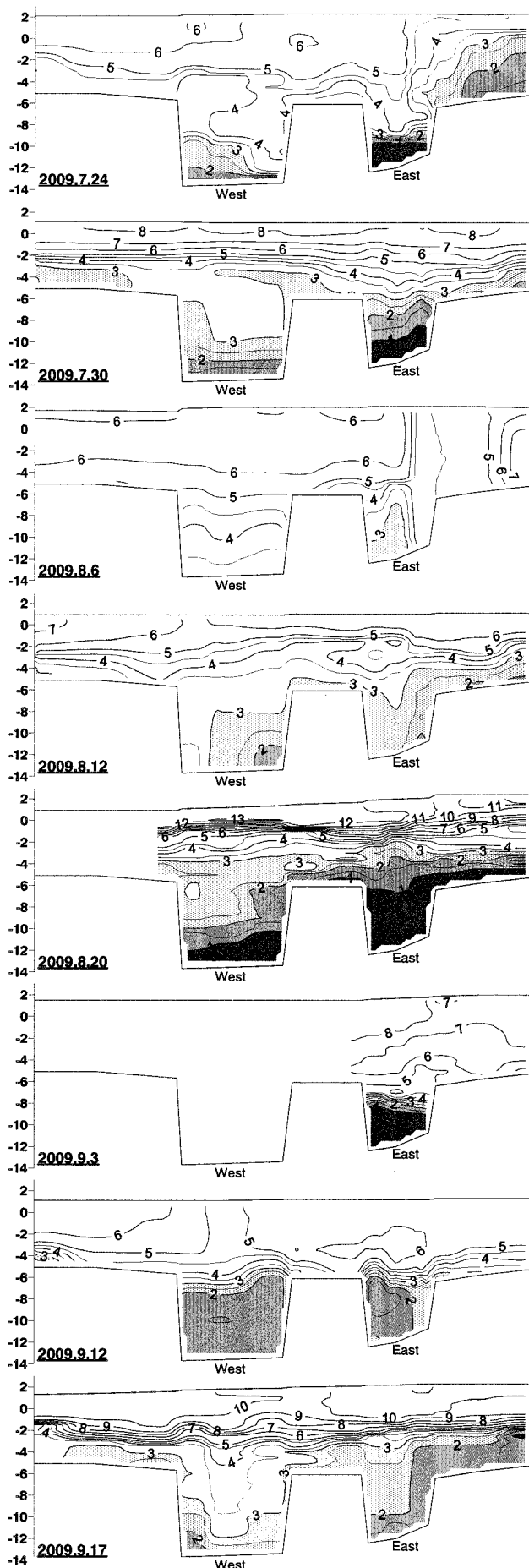


図-8 溶存酸素濃度分布(単位:mg/L)

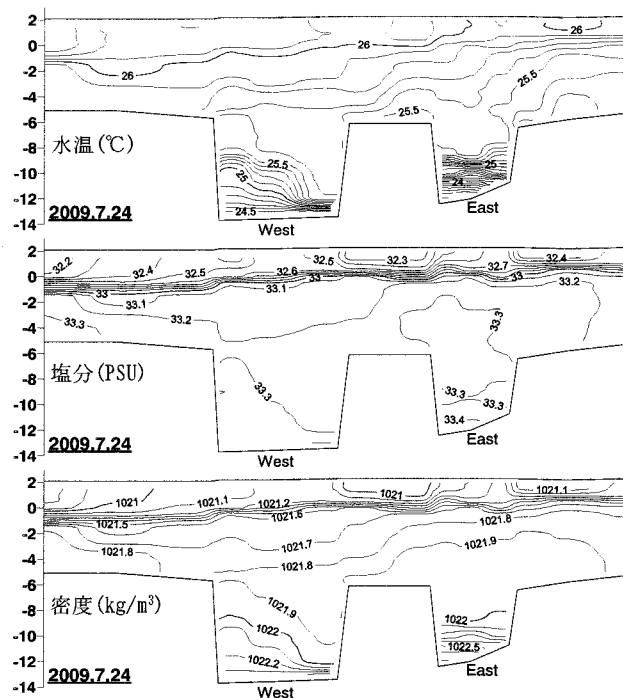


図-9 水温・塩分・密度分布(2009/7/24)

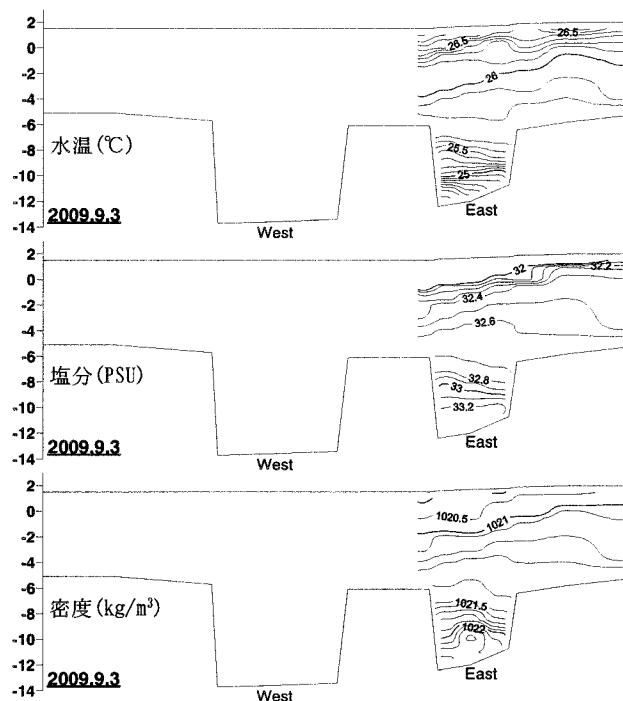


図-10 水温・塩分・密度分布(2009/9/3)

a) 貧酸素水塊の分布

図-8を見ると、8/6には窪地の貧酸素水塊がほぼ消失しているが、それ以外の観測日では、窪地内に貧酸素水塊が存在することが確認された。8/6に貧酸素水塊がほぼ消失していたのは、図-4に示す窪地内の水温差がほとんどなくなっていることから、湾外水が窪地内に流入し、窪地内の水と交換がなされたか、混合したかのいずれかによって、貧酸素水塊が消失したものと考えられる。また、西側窪地に比べて、東側窪地の方が低濃度の貧酸素水塊が存在す

ることが多かった。7/24, 7/30, 8/12, 8/20, 9/17には、主に東側に向かって窪地周辺にも貧酸素水塊が広がっていた。これらの状況は、いずれも渡辺ほか⁶⁾の報告と一致する。

b) 7/24, 9/3における東側窪地の水塊構造

7/24に鉛直観測で計測された水温・塩分・密度の分布を図-9に、同じく9/3を図-10に示す。7/24の東側窪地では、図-8に示す溶存酸素濃度と図-9に示す水温がほぼ同じ分布形状をしている。一方、9/3の東側窪地では、図-8に示す溶存酸素濃度と図-9に示す水温、塩分、密度のいずれもがほぼ同じ分布形状をしている。これらの日には、窪地内に水温の振動が記録されており、内部セイシュによって窪地内の成層界面が振動していたと考えられる。また、図-4に見られるように、底層ほど水温の変動幅が大きいことから、窪地内の連続成層の各界面には、下へ向かうほど振幅の大きくなる内部波が形成されていたと推測される。このような特性を持つ内部セイシュによって、貧酸素水塊は、窪地内でスロッシングしていたと推察される。

窪地内部水温の上昇・下降に明瞭な周期が見られる7/24には、貧酸素水塊の水温に等しい図-6の底層水温（例えば、水深-9m）が極小となる時に、窪地境界である水深-6mの水温も低下している。このときに、貧酸素水塊が窪地外へ湧昇し、図-8のように周辺海域へ広がっていったと理解できる。一方、窪地内部水温の上昇・下降に明瞭な周期を持たない9/3には、図-7に示す窪地境界である水深-6mの水温の低下は見られない。その結果、図-8に示すように、貧酸素水塊は、東側窪地の内部に留まり、周辺海域に溢れ出していないと理解できる。ただし、7/24と9/3のいずれの日にも窪地内では、内部セイシュによって貧酸素水塊がスロッシングをしていたと考えられる。しかし、貧酸素水塊が窪地に留まるか、もしくは窪地から溢れ出すかの違いは何によるものかは現時点では不明である。今後、塩分の時系列データや、風速・風向のデータなどの詳細な検討を実施し、浚渫窪地における貧酸素水塊の形成から湧昇までのメカニズムについて明らかにしていきたい。

4. 結論

本研究では、博多湾室見川河口沖に存在する2つの浚渫窪地のうち東側窪地について、2009年夏季に水温の連続観測と約1週間間隔の水温・塩分・溶存酸素濃度の鉛直観測を実施した。その結果、次のことが分かった。

連続観測を開始した7/24には、東窪地内に貧酸素

水塊が既に存在し、窪地の東側に貧酸素水塊が広がっている様子が観察されたが、8/6にはほぼ解消していた。「平成21年7月中国・九州北部豪雨」によって莫大な量の河川水が博多湾に流入した結果、主として塩分に起因する成層が発達して、エスチャリ型鉛直循環が強化された。そして、湾外水が窪地内に流入し、窪地内の水と交換がなされたか、混合したかのいずれかによって、貧酸素水塊が消失したものと考えられる。

東側窪地の窪地境界と窪地内に水温差が大きくなる時期に、窪地底層の水温が上昇・下降を繰り返していたことが分かった。内部セイシュによる窪地内の成層界面の振動と考えられ、窪地底層の貧酸素水塊が、窪地内でスロッシングしていたと推察される。窪地底層水温の上昇・下降に明瞭な周期が見られる時期には、貧酸素水塊の水温が極小となる時に、窪地境界の水温も下がっており、このときには貧酸素水塊が窪地外へ湧昇していたと考えられる。

謝辞：本研究の一部は、平成21年度科学研究費補助金（基盤研究：(C)、課題番号：21560576、研究代表者：山崎惟義）の助成を受けて実施されたものである。また、本研究に当たっては、福岡大学工学部社会デザイン工学科水圏システム研究室の貞方健志君、村田智章君を始め、多くの学生に現地調査をご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内藤了二, 中村由行, 今村均, 佐藤昌宏: 浚渫跡地の修復に関する施工上の影響と研究開発課題の抽出, 海洋開発論文集, 第22巻, pp. 649-654, 2006.
- 2) 木村洋, 久門栄治: 博多湾西部埋立工事の紹介, 土と基礎, 第33巻, 第5号, pp. 82-83, 1985.
- 3) 篠原満寿美: 福岡湾における貧酸素水塊の発生状況, 福岡水技研報, 第12号, pp. 81-87, 2002.
- 4) 吉岡直樹: 福岡湾における夏季貧酸素水塊の消長, 福岡水技研報, 第13号, pp. 93-101, 2003.
- 5) 山崎惟義, 渡辺亮一, 北野義則, 馬場崎正博, 熊谷博史: 博多湾室見川河口沖窪地の貧酸素水塊の挙動に関する研究, 海岸工学論文集, 第54号, pp. 986-990, 2007.
- 6) 渡辺亮一, 山崎惟義, 北野義則, 貞方健志, 濃野浄見: 室見川河口沖窪地における貧酸素水塊の拡がりに関する研究, 海洋開発論文集, 第25巻, pp. 539-544, 2009.
- 7) 近藤明希子, 磯辺篤彦, 篠原満寿美: 福岡湾における水温長期変動とその要因, 海の研究, 第14巻, 3号, pp. 399-409, 2005.
- 8) 深山顕寛, 磯部雅彦, 鯉淵幸生: 有明海奥部における貧酸素水塊の動態に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 951-955, 2005.