

博多湾内浚渫窪地の埋め戻しに伴う周辺底面環境に与える影響把握に関する研究

渡辺 亮一¹・山崎 惟義²・伊豫岡 宏樹³・浜田 晃規⁴

¹正会員 福岡大学准教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1)
E-mail:wata@fukuoka-u.ac.jp

²正会員 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丁目19-1)
E-mail:yama@fukuoka-u.ac.jp

³正会員 福岡大学助教 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1)
E-mail:iyooka@fukuoka-u.ac.jp

⁴正会員 福岡大学助手 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1)
E-mail:hamadateruki@fukuoka-u.ac.jp

博多湾では1980年代の沿岸開発の埋立て材料として、室見川河口の海砂が利用されたため、二つの大きな浚渫窪地が残されており、浚渫窪地周辺では、夏季に毎年のように貧酸素水塊が発生している。そこで、平成23年度より、博多湾航路の浚渫土砂を利用して段階的に浚渫窪地を埋め戻す事業が福岡市と国土交通省によって実施されている。全国的に見ると三河湾においても浚渫窪地の埋め戻しによって、どのような影響が底面環境に現れてくるかをモニタリングされているが、日本全国の浅瀬に数多く存在する浚渫窪地の問題を解決していくためには、個々の環境回復事例を精確にモニタリングしていく必要があると考えられている。本研究では、博多湾内浚渫窪地周辺の底面環境が浚渫窪地を埋め戻すことによってどのように変化していくかを定量的に把握することを最終的な目的としており、本論文では埋め戻しに伴って周辺底面上の酸素消費速度がどのように変化しているかについて把握している。

Key Words : hypoxic water mass, borrow pit, restoration action, maintenance dredging, bed mud oxygen demand

1. はじめに

人口150万人以上の福岡市を背後に控えている博多湾(図-1参照)は元来、玄界島・能古島と志賀島で入口部の狭まった閉鎖性の強い内湾であるため、1980年代前後から生活系排水の流入に伴う底部への栄養塩の蓄積によって富栄養化が急速に進行し、赤潮による被害が毎年のように報告されるようになっていく¹⁾。また、1990年代に入って以降は湾奥底部を中心として夏季から秋季にかけて貧酸素水塊が発生するようになり²⁾、福岡市内の下水処理水高度処理化が進んだ現在においても水環境の悪化および底部に生息する二枚貝や底生生物への影響が懸念されている³⁾。

また、1980年代の沿岸開発(百道浜地区:図-1中点線内)の埋立て材として、室見川河口の海砂が利用されたため、二つの大きな浚渫窪地が残されており、この窪地は夏季に博多湾内湾奥部に毎年のように発生している貧酸素水塊の原因の一つであると考えられている⁴⁾。そのため、福岡市および国土交通省九州地方整備局は2011年度より、

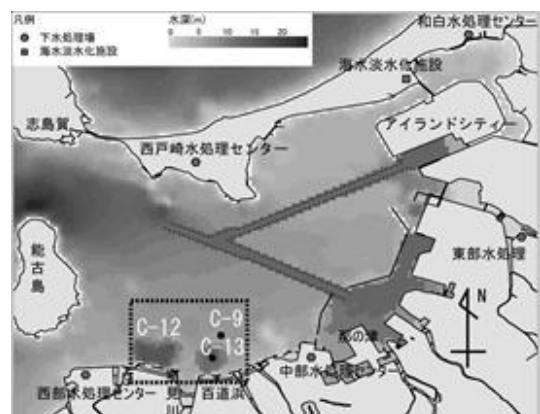


図-1 博多湾概略

博多湾航路の浚渫土砂を利用して段階的に百道浜沖窪地の埋め戻し事業に着手している^{5,6)}。本研究では窪地周辺に発生する貧酸素水塊がどのように変化してきているかを把握するため、貧酸素水塊発生主な要因と考えられている底質の酸素消費速度の湾内での分布を把握する現地調査を行っている。本論文では、次の3点を明らかにす

表-1 調査実施日と測定地点

年/月/日 (曜日)	調査地点※調査実施順
2013年9月24日 (火) {調査時間 8:13から11:00まで}	C12, K06, C11
2013年10月2日 (水) {調査時間 8:18から12:31まで}	MS-B02, MS-F02, MS-G06
2013年10月10日 (木) {調査時間 8:03から11:59まで}	MS-A01, MS-C07, MS-E07, MS-F08
2013年10月11日 (金) {調査時間 7:56から11:47まで}	MS-I01
2013年10月28日 (月) {調査時間 8:46から12:04まで}	C8, C9, C10, C7
2013年10月29日 (火) {調査時間 8:35から12:46まで}	D1, E1, C6', C4'
2013年10月30日 (水) {調査時間 8:11から13:04まで}	C4'(再), C8(再), C9(再), C7(再)

ることを目的として設定している。1) 博多湾の底質をクラスター解析することにより小グループに分類して選出した地点と百道浜沖窪地で底質の現地観測を行い、酸素消費速度を測定する。2) 酸素消費速度と底質の関係を明らかにする。3) 埋め戻しによる底質の酸素消費への影響を明らかにする。

2. 調査概要および解析手法

(1) 調査の概略

観測地点は、これまでに研究室において行って来た底質調査の結果を基にクラスター解析することにより抽出した湾内11地点、百道浜沖の浅瀬窪地内4地点および浅瀬窪地周辺4地点の計19地点に設定した(図-2参照)。2013年9月24日にC11, C12, K06, 2013年10月10日にMS-B02, MS-F02, MS-G06, 2013年10月11日にMS-A01, MS-C07, MS-E07, MS-F08, そして2013年10月28日から30日までにC7, C8, C9, C10, C4', C6', D1, E1地点で調査を行った(表-1参照)。

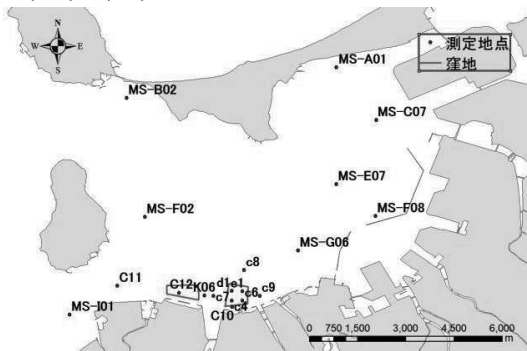


図-2 博多湾内調査地点概略

(2) 酸素消費速度測定装置(ベルジャー)

今回の現地調査に用いた酸素消費速度測定装置(ベルジャー)の概要を写真-1に示す。ベルジャーは多項目水質計(HYDROLAB社製DS5)に塩化ビニル樹脂製の容器を組み合わせたもので、海底で密閉状態を保てる構造となっている。多項目水質計の測定項目は水温(°C)、塩分(psu)、溶存酸素(mg/l)、濁度(NTU)、水深(m)、

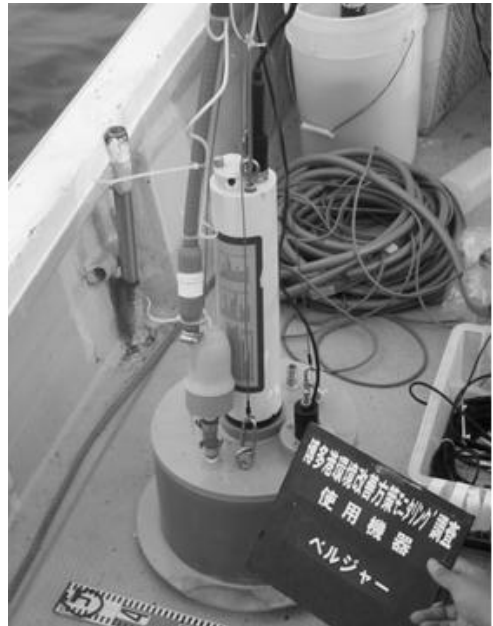


写真-1 酸素消費速度測定装置ベルジャー

ORP(mV)、クロロフィル濃度($\mu\text{g/l}$)である。また、ベルジャー内の様子、着底した際の底泥の巻き上がり、観測中の観測装置の様子を確認するための水中カメラ、ベルジャー内の海水を採水するためのポンプ、およびベルジャー内の溶存酸素濃度が均一になるように攪拌機(タミヤ製の水中モーター(型番70178,70185)を改良したもの)を装着している。

底質による酸素消費速度の算出に関して、ベルジャー内の溶存酸素濃度の変化を底質によるものと水塊自体によるものに分離するため、ベルジャー内の酸素濃度変化と合わせて、ベルジャー内から採水した海水をもう一つの多項目水質計(DS5)を用いて、多項目水質計のキャップの周りをビニールテープで覆い遮光し、キャップの中を海水で十分満たして多項目水質計につけて水塊の酸素消費速度を測定した。

(3) 採泥・採水

酸素消費速度の測定中に調査地点の底質および水の採取を行った。底質に関しては、エクマンバージによる採

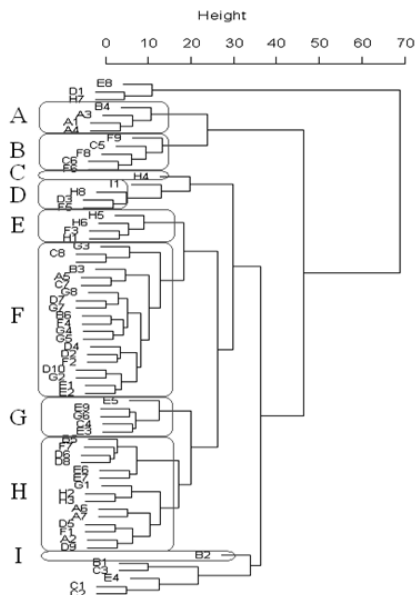


図-3 底質のクラスター解析による結果

表-2 各パターンにおける項目ごとの平均値

項目	AVS(mg-g-dry)	有機炭素量(mg-g-dry)	有機窒素量(mg-g-dry)	C/N比	ORP(mV)	溶存酸素(μg/l)	抽出した地点
A	0.29	40.18	3.51	11.68	433	4.69	MS-A01
B	0.17	42.93	1.84	23.66	431	5.03	MS-F08
C	0.06	24.68	1.24	19.87	413	4.81	C11
D	0.12	23.51	1.03	23.34	430	4.99	MS-I01
E	0.15	16.69	1.41	12.16	424	5.24	C12 K06
F	0.31	17.59	1.75	10.44	431	5.05	MS-C07, MS-F02
G	0.13	20.31	1.40	15.78	436	5.14	MS-G06
H	0.24	29.01	2.49	12.44	433	4.92	MS-F07
I	0	4.23	0.29	14.59	441	5.9	MS-B02

泥を行ったのち表層1cm程度に分取し、現地にてORPを測定したのち、空気を追い出してジップロックに密閉しクーラーボックスに入れて研究室に持ち帰った。採水に関して、表層水については直接ポリビンに入れて保存し、底層水についてはベルジャーを着底させた後、ポンプで水をくみ上げた際にベルジャー内で巻きあがりがないことを確認してから底層水をポリビンに入れて保存し、これらをクーラーボックスに入れて研究室に持ち帰った。

(3) 底泥のクラスター解析

湾内の底質特性のパターン化するために、2012年度に博多湾で採取した底質のAVS(mg/g-dry)、有機炭素量(mg/g-dry)、有機窒素量(mg/g-dry)、C/N比、ORP(mV)、DO濃度(mg/l)の6項目を用いてウォード法によるクラスター解析を行い、その結果からパターンAからパターンIまでの9パターンに分類した。また、クラスター解析の結果を図-3に、各パターンにおける項目ごとの平均値を表-2に示している。

3. 調査方法および算出手法



写真-2 ベルジャーを海中に設置する様子

(1) ベルジャー内の酸素消費速度の測定方法

装置内の溶存酸素濃度測定を行う際に、ベルジャー内に空気が混入していないか、また着底時に底泥の巻き上がりがないかに細心の注意を払いながらベルジャーを海底面に設置した後（写真-2参照）、ベルジャー上部から挿入している多項目水質計によってベルジャー内のDO濃度を毎時測定した。また、ベルジャーに設置したポンプを用いて採水した装置内の海水を観測船上で多項目水質計を用いてDO濃度を測定した（写真-3参照）。このとき、採水した水は多項目水質計のキャップに入れ、多項目水質計に取り付けて測定した。また、キャップは採水した水が直射日光によって光合成が起きてDO濃度が変化しないようにキャップの周りをアルミ箔で覆い遮光しており、それぞれの測定時間は30分間であった。



写真-3 現地で採取した海水の酸素消費速度測定

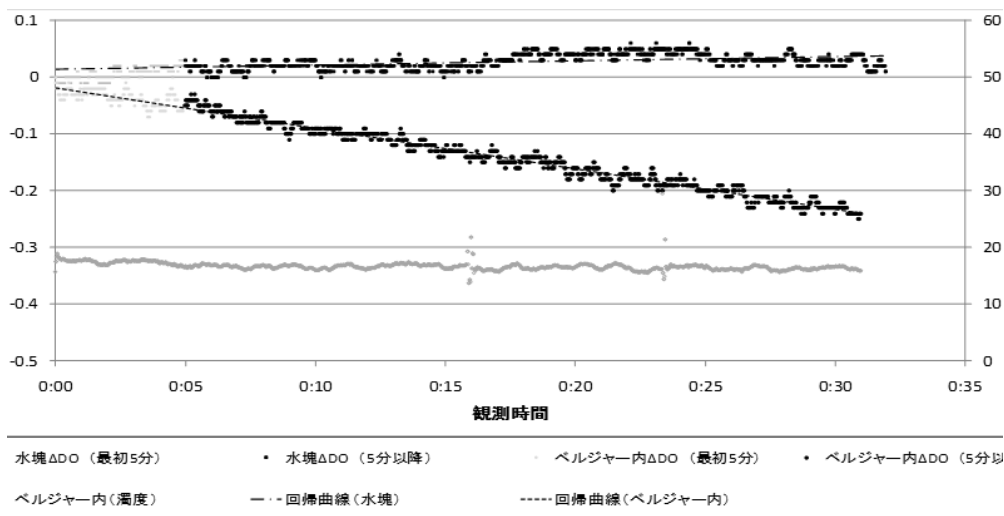


図-4 C8 地点での溶存酸素濃度観測結果（酸素消費速度：1.91 (g・m²・day⁻¹)）

(2) 採取した底質の分析

ベルジャーを用いて酸素消費速度の現地測定を行った19地点で、測定時にエクマンバージを用いて同地点近傍の底質の表層を1cm程度の採取し、現場でORPを測定した後クーラーボックスに入れて持ち帰り、AVS、含水比(%), 強熱減量(%)、有機炭素量、有機窒素量、CN比を測定した。AVSはガステック製ヘドロテックSを用いて、含水比はJIS A 1203、強熱減量はJIS A 1226、有機炭素量(C)、有機窒素量(N)、CN比はCN分析計(ヤナコ社製CN CORDER MT-700)を用いてそれぞれ測定した。

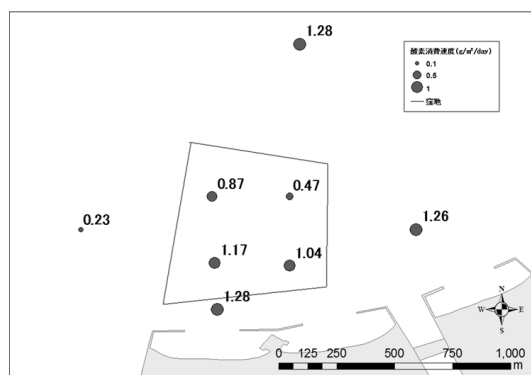


図-5 博多湾百地浜沖窪地 酸素消費速度分布図

4. 底泥の酸素消費速度の算出方法

底質の酸素消費速度 v は測定時間の最初の5分を除き、5~15分間、10~20分間、15~25分間、20~30分間の中から標準偏差が最も低い溶存酸素濃度の測定値を用いて算出している。算出方法を以下に示す。

$$v = \left(\frac{\partial C_w}{\partial t} - \frac{\partial C_b}{\partial t} \right) \frac{V}{A} \quad (1)$$

ここに v : 底質の酸素消費速度(g・m⁻²・day⁻¹)、 V : ベルジャーの容積(m³)、 A : ベルジャーの底面積(m²)、 C_b : ベルジャー内の溶存酸素濃度(mg/l)、 C_w : 水塊の溶存酸素濃度(mg/l)、 t : 観測時間(day)である。

実際の観測結果については、縦軸に観測開始時からの溶存酸素の変化量(ΔDO)を、横軸に観測時間(day)をとり、最小二乗法により1次回帰を行ない、その回帰直線の傾きをベルジャー内の溶存酸素変化速度と水塊自体の溶存酸素変化速度とした。測定開始直後は溶存酸素濃度が不安定になる傾向があったため、経過時間の5

分以降を対象期間として酸素消費速度の算出を行った。また、対象期間の溶存酸素変化量が±0.03mg/l以下のものは、観測機材の測定誤差の範囲内としてとして酸素消費速度を算出した。ベルジャーの容積とベルジャーの底面積の値はそれぞれ $V = 13.1 \times 10^3$ (m³)、 $A = 706 \times 10^{-4}$ (m²)であった。C-8地点での底質酸素消費速度の算出結果例を図-4に示している。他の地点においても同様の解析手法を用いて底泥表面の酸素消費速度を現地観測した。

5. 算出結果および考察

百道浜沖窪地の酸素消費速度(図-5参照)はどの地点においても比較的低い値を示しており、0.43~1.96g・m⁻²・day⁻¹を示しており、その平均値は1.1g・m⁻²・day⁻¹であった。この値は、浚渫窪地の埋め戻しが開始された1年後にあたる2012年度の平均値2.29g・m⁻²・day⁻¹に比べて半分近く

表-3 2012 と 2013 年度の底質分析値の比較

	土質	酸素消費速度 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	含水比(%)	強熱減量(mg/g-dry)	AVS(mg/g-dry)	ORP(mV)	炭素(mg/g-dry)	窒素(mg/g-dry)	C/N	泥分率(%)
D1	平成25年	1.07	95.8	7.46	0.10	-49	3.98	0.39	10.23	53
	平成24年	2.27	269.5	12.69	0.94	-278	21.38	2.49	8.64	99
E1	平成25年	0.37	94.7	8.45	0.21	-72	6.68	0.75	8.95	94
	平成24年	0.81	199.4	10.28	0.43	-237	13.95	2.53	9.69	99
C4	平成25年	1.07	110.5	9.47	0.10	-325	8.29	0.99	8.35	99
	平成24年	2.48	252.1	13.25	2.03	-327	26.88	1.49	10.81	95
C6	平成25年	1.10	179.5	12.49	0.71	-160	8.58	1.02	8.45	98
	平成24年	2.14	222.4	12.77	0.86	-242	26.18	1.76	10.34	98
C7	平成25年	0.61	112.6	10.87	0.20	-237	7.3	0.74	9.8	66
	平成24年	2.86	134.6	11.29	0.44	-190	15.02	1.14	10.1	96
C8	平成25年	1.95	117.1	9.92	0.42	-41	7.05	0.73	9.71	81
	平成24年	2.84	137.7	10.10	0.26	-170	16.31	2.3	9.28	79
C9	平成25年	1.28	110.4	9.41	0.46	-64	6.49	0.79	8.19	83
	平成24年	0.83	118.8	9.66	0.28	-163	14.7	2.47	12.93	83
C10	平成25年	1.34	126.2	9.87	0.50	-220	5.72	0.58	9.88	59
	平成24年	2.65	155.8	12.03	0.60	-169	26.85	1.44	11.65	84

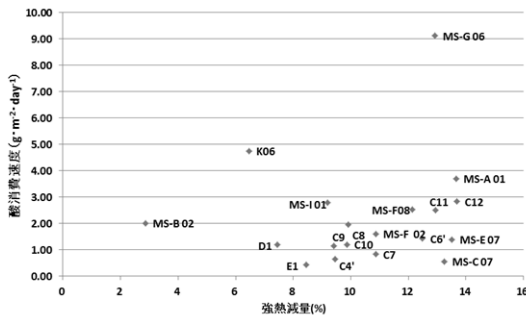


図-6 底質の酸素消費速度と強熱減量の関係

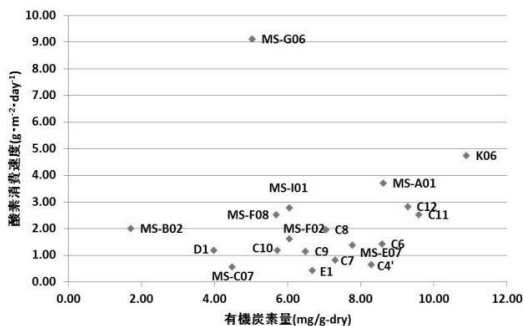


図-7 底質の酸素消費速度と有機炭素量の関係

に減少していることが分かった。

同様に底質の分析結果から2013年度の観測結果と2012年度の結果(表-3)を比較すると今回の底質の分析項目の結果は全体的に低下していることがわかる。その一方で、埋め戻し区域以外の湾内11地点での酸素消費速度は $0.56\text{--}9.12\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、埋め戻し区域と比較すると高い値を示している。

また、底質による酸素消費速度と強熱減量及び有機炭素量の関係を図-6、図-7に示している。図-6中において、強熱減量が6~14%の間で両者の間に正の相関が見られることがわかる。次に、図-7において、酸素消費速度と有機炭素量の間に $4.00\text{--}12.00\text{mg/g-dry}$ 間で正の相関が見られた。

MS-B02地点とMS-A01地点ではホトトギス貝のマットが確認されたため、酸素消費速度が高かったと考えられる。一般的に底質の酸素消費は底質に存在する有機物が影響していると考えられる。このため、強熱減量と有機炭素量はどちらも水中の有機物量の目安となっているため、これらの結果より、強熱減量や有機炭素量が高いほど酸素消費速度が高くなっていることが確認できた。また、両者の間に正の相関性が強いことから、底質中に有機物が多ければ酸素消費速度が高いことを現地実験において確認することが出来た。

また、2012年度と2013年度の観測結果を比較検討すると、現在実施中の百道浜沖窪地埋め戻しにおいて、途中の段階であっても底面の環境が修復されつつあることが確認された。このことは、百道浜沖窪地内4地点において浚渫土砂による埋め戻しを行った影響が表れている可能性が示唆された。今後も、同一地点でモニタリングを継続していくことで、浚渫窪地埋め戻しによる環境修復効果を確認していく予定である。

謝辞：この研究の一部は、科学研究補助金（基盤研究C：研究番号21560575、研究代表者：渡辺亮一）の助成を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 吉武和人，西田政司；藻類生産の潜在力(AGP)測定による博多湾における富栄養化の評価：水質汚濁研究第6巻第5号29，293-299，1983。
- 篠原満寿美；福岡湾における貧酸素水塊の発生状況。福岡県水産海洋技術センター研究報告，12：81-87，2002，
- 田井明，齋田倫範，米倉瑠里子，扇塚修平，清野聡子；博多湾の海岸線改変による潮汐・潮流と底質輸送への影響，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，68(2)，I_744-I_749，2012。
- 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，54(0)，1001-1004，2007。
- 酒井浩二，渡辺祐二，佐藤鉄志，首藤啓，神尾光一郎；博多湾の窪地埋戻しにおける環境対策を考慮した施

工の効率化の検討, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering), 69(2), I_1371-I_1375, 2013.

- 6) 武田将英, 松澤圭祐, 佐々木淳, 津田宗男, 松田信彦 :
成層水域における下層への土砂投入に伴う濁りの拡散特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66(1), 946-

950, 2010.

(2014 7.11 受付)

STUDY ON THE OBSERVATION FOR THE EFFECT OF BOTTOM ENVIRONMENT CHANGE BY RESTORATION OF BORROW PIT IN HAKATA BAY

Ryoichi WATANABE, Koreyoshi YAMASAKI, Hiroki IYOOKA and Teruki
HAMADA

Because the bed mud of the Muromi River river mouth was used as a material for reclamation of the coast development of the 1980s in Hakata Bay, two big borrow pit are existed around the Momochi area in Fukuoka City. Around the two big borrow pits in Hakata bay, hypoxic water mass has occurred almost every year in the summer season. Bed mud dredged during port improvement work has been returned to borrow pit as backfill carried out by Fukuoka City and Ministry of Land, Infrastructure and Transport since 2011.

Therefore, restoration action is urgent work to restore damaged ecosystems. One of the interesting methods to restore the damaged water ecosystems, has been conducted in the borrow pits in Hakata Bay by using maintenance dredging sediments as Mikawa Bay. In this study, bed mud oxygen demand is one of the important factors to evaluate for restoration of bottom environment.