

博多湾の窪地埋め戻しによる環境改善効果

小松 大介¹

¹九州地方整備局博多港湾・空港整備事務所 第一工務課（〒810-0074 福岡県福岡市中央区大手門2-5-33）

博多湾では、百道浜沖と愛宕浜沖の2か所に大規模な窪地が存在し、夏季の窪地内部では貧酸素水塊が観測され、貧酸素水の湧昇・流出は、博多湾水質悪化の要因の一つと考えられている。本報告では、2011年度から埋戻しを行い2015年度で完了した百道浜沖窪地について施工前後の8年間（2012年度～2017年度）の調査結果に基づき、窪地埋戻しによる水・底質の改善および生物群集の変化について明らかにするとともに、環境改善効果の定量的な評価を行った。改善効果の推移過程から工事完了後2年経過時点で、窪地環境は周辺域とほぼ同様な状態まで改善したことが確認できた。

キーワード 窪地，埋戻し，貧酸素，博多湾

1. はじめに

博多湾では、百道浜沖と愛宕浜沖の2か所に大規模な窪地が存在しており（図-1）、夏季の窪地内部では貧酸素水塊が観測されている。窪地からの貧酸素水の湧昇・流出は、博多湾奥部の汚濁や河川負荷の影響とともに博多湾水質悪化の要因の一つとして考えられている。2011年度より、博多湾では港湾整備で発生する浚渫土砂の有効利用と海域の環境改善を目的に、窪地の埋戻しを実施しており、2015年度までに百道浜沖窪地埋戻しが完了、現在は愛宕浜沖窪地の埋戻しが進められている。

窪地埋戻し事業は東京湾、大阪湾、および三河湾でも実施されており、三河湾御津地区では底層DO濃度の増大と貧酸素化の改善等の報告はあるものの、窪地埋戻し後の調査報告はほとんどないのが現状である。

博多湾では、埋戻し施工前年から施工完了2年経過した現在まで、継続的に環境モニタリング調査を実施している。本稿では、百道浜沖窪地を対象に、窪地埋戻しによる環境改善効果とその推移について報告する。



図-1 博多湾における窪地位置

2. 窪地埋め戻し工事およびモニタリング調査概要

百道浜沖窪地は最大水深約14 m、窪地容積165万 m^3 、愛宕浜沖窪地は最大水深約14 m、窪地容積258万 m^3 であり、海底は有機物を多く含む超軟弱シルト層となっていた。百道浜沖窪地では、2011～2015年の4-9月にかけて、埋戻しが実施された。2011年～2014年までに投入した浚渫土砂は粘性土が主体であり、埋戻し最終年度の2015年では、砂質土を用いている。

施工開始前年の2010年から施工完了2年経過した2017年にかけて、年4回の季節別調査を百道浜沖窪地内部とその周辺域で実施した。調査項目を表-1に、調査地点を図-2に示す。

表-1 モニタリング調査内容

項目	調査手法・内容	調査時期
地盤高	深浅測量	10月
水質	多項目水質計：水温、塩分、DO（溶存酸素）パンドゥー採水（表層：表層下0.5m、底層：海底直上1m）：DIN（溶存態無機窒素）、DIP（溶存態無機リン）	5(6), 8(9), 11, 2月
底質	エクマンバウズ採泥器による採泥：含水比、粒度組成（分析手法：JIS）、COD（化学的酸素要求量）、T-S（全硫化物）、IL（強熱減量）（分析手法：底質調査方法）	
底生生物	エクマンバウズ採泥器による採泥：1mm篩に残留した生物の種類数、個体数	
魚介類	エビ漕ぎ網（袋網、目合約11mm）を用いた150m曳網より採取、漁獲物の種類数、個体数	

(4) 底生生物

底生生物の種類数の経年変化を図-7に示す。種類数は、調査期間を通して窪地周辺の方が多く、総個体数も同様であった（図は省略）。夏季では、底層の貧酸素化により窪地内外の種類数・個体数は減少するものの、秋季には再び増加し生物の移入が確認された。分類群別にみると、両地点ともに環形動物（ゴカイ類）が多く、全種類数・総個体数に占める割合はいずれも7割強を占め、特に夏季の窪地内部では、8~10割まで増加していた。

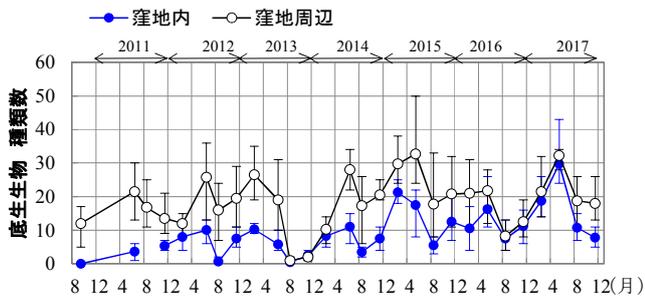


図-7 底生生物の種類数の推移

4. 環境改善効果の検証

(1) 水質改善

図-4に示されるように、鉛直混合時（2010, 2014年）を除く夏季の底層では、ほぼ貧酸素化（ $DO \leq 3\text{mg/l}$ ）されていたものの、窪地と窪地周辺のDO濃度差は年々小さくなっており、底層水の停滞といった窪地特有の物理条件が徐々に改善されたことが考えられる。

図-8には、窪地内部における夏季底層のDO濃度とDIN濃度の関係を示す。鉛直混合時を除くと、夏季の底層DO濃度とDIN濃度の間は負の関係性があり、有機物の分解が示唆される。さらに図-8を経時的にみると、DO濃度は増加しDIN濃度は減少していることがわかる。なお、図は省略するが、DIPも同様の傾向を示していた。

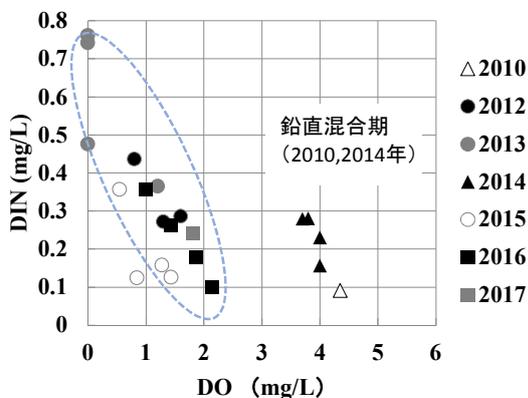


図-8 夏季底層のDO濃度とDIN（溶存態無機窒素）濃度の関係（2011年度は欠測）

栄養塩濃度の低下は有機物量の低下と考えることができ、1つはIL値の低い底質に置き換えられことが挙げられよう。また、周囲よりも水深が1~3 m程度深いただけでも有機物は堆積・集積されやすいため、窪地の解消による有機物堆積量の減少が水質の改善に寄与していることも考えられる。

(2) 群集構造の変化

窪地埋戻しにもなって各分類群の種類数および個体数は変化していた。そこで、底生生物を対象に、非計量多次元尺度法（nMDS法：Non-Multidimensional Scaling）を用いて、窪地内外の地点間および経年的な変化について解析を行った。本手法は、各調査地点における生物種とその個体数で評価される群集構造から、各地点の類似性を評価するもので、平面上にプロットされた窪地内及び窪地周辺の点間距離に近いほど群集構造の類似度は高いと評価される。底生生物群集の解析結果を図-9に示す。窪地内の水・底質の改善が見られた2014年頃から、窪地内・窪地周辺の点間距離が近くなっており、窪地内と窪地周辺部の群集構造が類似してきたことがわかる。また、埋戻し初期の窪地内では、有機汚濁指標種であるシノブハネエラスピオただ1種類が出現個体の約90%を占めていたが、2016年には、出現個体数の割合が5%を超える優占種が3種類に増加した。これらのことから、埋戻し初期の窪地内は有機汚濁域であったと判断されるが、埋戻し完了後には生物生息場の環境改善が反映され、比較的健全な環境下で構成される群集に遷移したものと考えられる。

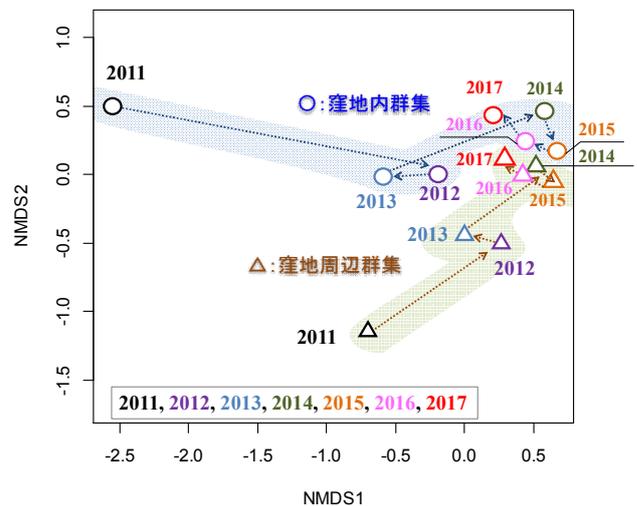


図-9 窪地内及びその周辺部における底生生物群集の遷移果の評価項目および初期値（観測年別にて色分け）

(3) 窪地内の環境改善効果の推移

窪地埋戻しによる地形変化に伴う窪地内の環境改善効果の推移について評価を試みた。評価項目については、窪地環境を代表する要素として、水質は夏季のDO濃度、

底質はT-S，生物は底生生物の全種類数を対象とした。環境改善効果Eは，式(1)，(2)に示すように，埋戻し施工開始時の窪地内外の差分（窪地による環境レベルの差異）に対する調査時の窪地内外の差分を以て評価した。つまり，窪地内の状況が窪地外の周辺部の状況に近づくほど環境は改善していると判断した。

$$E = 1 - \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta x = x_i - x'_i, \quad \Delta x_0 = x_0 - x'_0 \quad (2)$$

ここに， x_i ， x'_i ：調査時の窪地内部，窪地周辺部の値

x_0 ， x'_0 ：それぞれ埋戻し初期の値

本評価では，初期値の設定によって評価が大きく左右されること，窪地周辺の環境が悪ければ，環境改善効果（窪地内外の差）が上昇しても，望ましいレベルとは言えないことに留意する必要がある。

表-2に評価項目および初期値，対象調査値を示す。水質については，2010年は鉛直混合に該当し，2011年の窪地内の値は欠測していたことから，2011年8月の愛宕浜窪地内DO値を代用し初期値を算出させた。なお，埋戻し施工初期における両窪地内底層DO濃度は同程度であることを確認している。

図-10に各項目の環境改善効果を示す。底生生物については，DOに起因する季節変動を考慮し，生息環境が厳しくなる春季・夏季の値を用いて近似線を引いている。水質については，鉛直混合時に該当する2014年の8月のデータは除外して評価をしている。

図-10より，底質に関しては，直接土砂を投入しているため環境改善効果の発現が最も早いことがわかる。水質は，2015年頃より急激に改善が見られた。底質の物理・化学的性質も同時期頃より改善しているため，底質の有機物含有量の減少と有機物堆積量の減少による効果がこの頃より発現したことが考えられる。また，窪地解消による流動環境の改善効果も大きいと考えられる。底生生物は，緩やかに改善傾向を示し，埋戻し完了2年後の2017年にはほぼ周辺部と同様な水準となっていた。

以上の結果から，窪地埋戻しに伴う環境改善効果は，底質，水質，生物の順に発現し，その時間的推移は図-11のように表現できる。本結果は，埋戻し事業における環境改善効果の推移を定性的に示すものであり，他海

表-2 環境改善効果の評価項目および初期値

評価内容	項目	初期値 (x_0 , x'_0)	対象調査値 (x_i , x'_i)
水質	夏季底層DO	2011年8月	8月
底質	T-S	2011年6月	5, 6, 8月
生物生息環境	底生生物種類数	2011年6月	

域での同様事業においても改善効果の検証材料の一つとして利用できると考えられる。

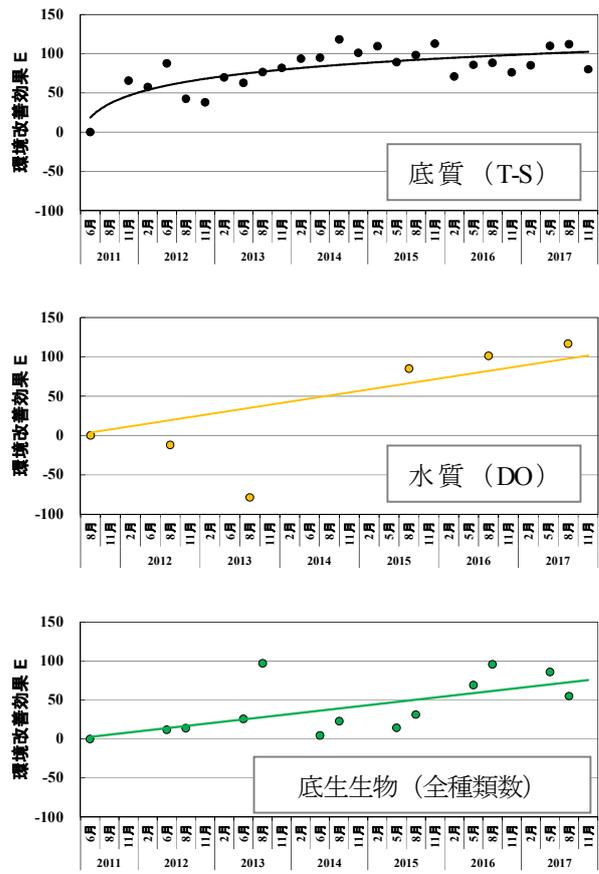


図-10 百道浜沖窪地における環境改善効果の発現効果の推移（環境改善効果 100＝埋戻し初期値）

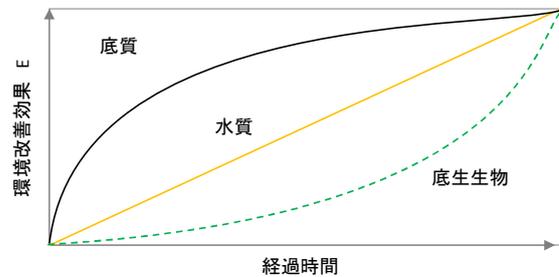


図-11 環境改善効果の発現効果の推移モデル

5. まとめ

博多湾に位置する百道浜沖窪地の埋戻し事業において，窪地埋戻し前から埋戻し後2年経過時まで継続的に実施されたモニタリング調査より，生物生息環境の改善効果とその推移について定量的に評価した。

窪地の埋戻しにより，窪地内の水質・底質は改善傾向にあることが示された。生物の変化としては，窪地が埋戻されるにつれて，窪地内の底生生物群集は窪地周辺域と類似し，環境改善に伴う生物群集の遷移が確認できた。また，窪地の環境改善効果は，底質，水質，生物生息の順に発現することを示すとともに，本結果より改善効果の推移のモデルを示すことができた。