

中海自然再生協議会  
第3期実施計画（案）  
浚渫窪地の環境修復事業

Ver. 20230621

## 1. 実施者の名称

認定 NPO 法人 自然再生センター

## 2. 対象とする区域と位置図 (図 1)

- ・ 細井沖浚渫窪地 (島根県安来市恵乃島町沖) (図 2)
- ・ 錦海-穂日島沖浚渫窪地 (鳥取県米子市錦海町沖, 島根県安来市穂日島町沖) (図 3)



図 1 細井沖浚渫窪地と錦海-穂日島沖浚渫窪地の位置図

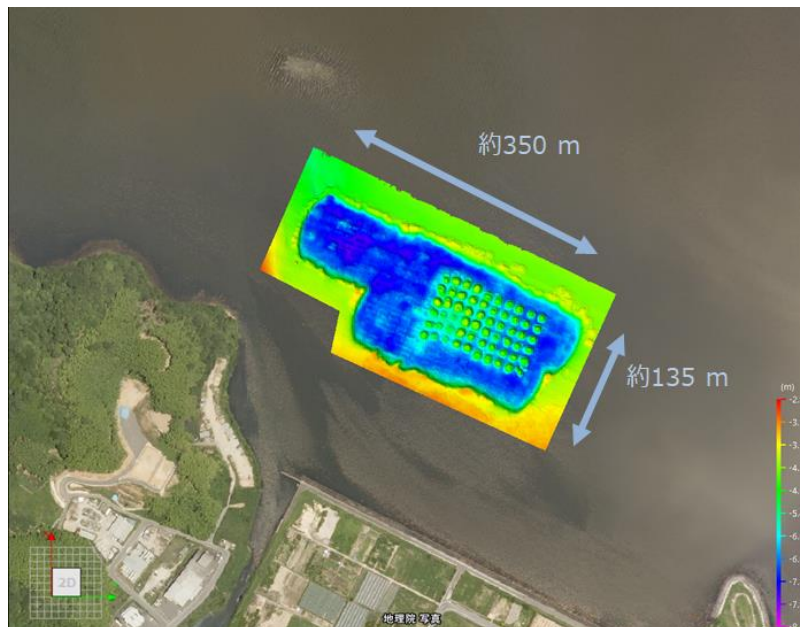


図 2-1 細井沖浚渫窪地の深浅図 1 (2022.10 時点, (株)ウエスコ測量) (国土地理院写真を利用)

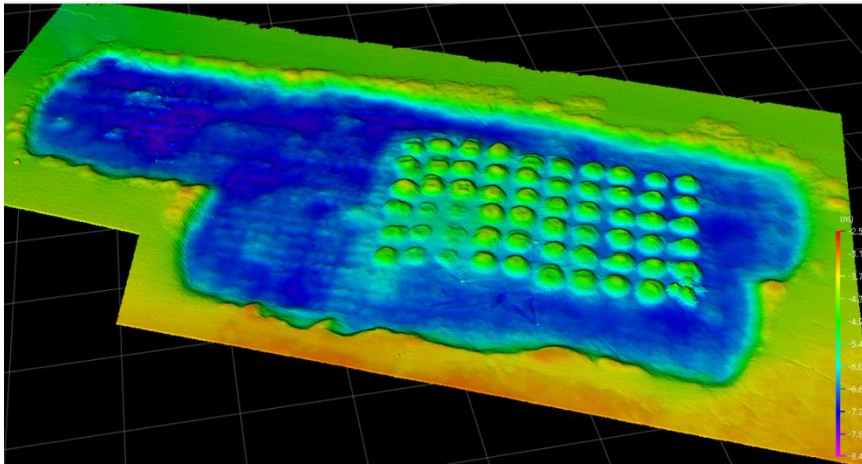


図 2-2 細井沖浚渫窪地の深浅図 2 (2022.10 時点, (株)ウエスコ測量) (国土地理院写真を利用)



図 3 錦海-穂日島沖浚渫窪地 (埋戻し前) の深浅図 (Google Earth を利用)

### 3. 取り組みの意義とその重要性

第 1 期実施計画において、細井沖浚渫窪地と錦海-穂日島沖浚渫窪地で実施した全面覆砂では、硫化水素や栄養塩の溶出抑制効果が確認されたが、窪地内部への新たな有機物の堆積による経年劣化や、本来の連続した浅場の状態にはないことなどの懸念事項が残された。これを受けた第 2 期実施事業では、石炭灰造粒物を用いて細井沖浚渫窪地において山型覆砂が実施され、錦海-穂日島沖浚渫窪地では完全埋戻しが実施された。細井沖浚渫窪地においては、覆砂資材の投入量が少ない山型覆砂でも堆積物の蓄積を軽減でき、覆砂効果を長

持ちさせる覆砂形状であることが明らかとなった。さらに山型覆砂の山頂付近では底生生物が確認され、周辺の自然湖底よりも良好な底質環境が創出できた可能性がある。また錦海-穂日島沖浚渫窪地では、完全に窪地を埋め戻したため、窪地からの負荷は理論上なくなったといえる。これは窪地周辺の自然湖底の貧酸素化が窪地に由来しなくなったことを意味し、さらに在来の浅場との連続的な水深変化を復元することできた。しかし、山型覆砂に関しては山頂部分の面積が小さく、底生生物にとって十分な生息域になっていないことが挙げられる。また完全埋戻しでは、窪地周辺の自然湖底の堆積速度を上昇させる可能性があり、これによって浚渫窪地の埋戻しが自然湖底の環境悪化に繋がる恐れがある。

したがって第3期実施事業では、細井沖浚渫窪地に対して石炭灰造粒物を用いて山頂の面積が大きい山型覆砂を実施することによって、底生生物の出現・生息を促進し、同時に窪地全体からの硫化水素の溶出を抑制することによって、湖底の貧酸素化の軽減につなげる。また、錦海-穂日島沖浚渫窪地では完全埋戻し後の調査を実施し、今後の浚渫窪地の修復方法の方向性として、窪地の一部を残した山型覆砂と完全埋戻しのどちらが環境修復手法として望ましいか検証する。

一方、実際に浚渫窪地の水質や負荷が中海全域あるいは窪地周辺の沿岸域に及ぼす影響についても明らかにすることが重要である。第2期実施事業から、浚渫窪地内の水塊の移動先や窪地修復の効果を水質シミュレーションにより定量化を図ってきた。湖沼図が更新されることを受け、今後、さらに精度を増したシミュレーションの結果が期待できる。また、栄養塩だけでなく硫化水素に起因する貧酸素水塊の形成とその影響範囲について水塊の動きとの関連性が明らかになれば、修復すべき窪地の優先順位や修復方法（完全埋戻しを含む覆砂厚さ・形状の設定）を見極めていくことが可能になる。これらの取組は、環境修復にかかる費用対効果についての検証につながり、ひいては持続的に窪地環境の修復を実施するための判断材料となるため、中海の水質改善において重要な評価指標となる。

#### 4. 対象とする地域の現状

##### ① 中海

中海の表層水質（COD、全窒素、全りん）は年々改善が進んでおり、令和3年度調査結果より環境基準こそ達成していないが、第7期湖沼水質保全計画で定めた目標水質をほぼ達成していることが示された（令和4年中海会議）。一方、中海は塩分躍層を挟んで上層と下層は混合しにくいいため、特に夏季は湖底付近の溶存酸素（DO）が消費されて貧酸素となり、湖底から栄養塩が溶出しやすい状態となる。また嫌気状態の底泥にはアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）やリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）とともに硫化水素（ $\text{H}_2\text{S}$ ）が含まれており、湖底のDO消費に拍車をかけることとなる。自然湖底では、底泥から溶出する $\text{H}_2\text{S}$ は速やかに酸化され濃度が上昇することは少ないが、浚渫窪地では $\text{H}_2\text{S}$ の酸化が追いつかないための直上水では濃度が上昇し、無酸素状態となっている。

平成 28 年に底層溶存酸素量が生活環境項目環境基準として設定された。現状において中海への水域類型指定はされていないが、底層を利用する水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生するためには底層 DO の改善が重要である。浚渫窪地は 6 月から 10 月まで直上水から H<sub>2</sub>S が検出され、中海の中でも特に貧酸素化が著しい場所となっている。中海の底層 DO 環境を改善するためには湖底からの H<sub>2</sub>S 溶出を抑制することが不可欠であり、排出源となっている浚渫窪地の修復は重要な対策となる可能性がある。

## ② 細井沖浚渫窪地

第 1 期実施事業において石炭灰造粒物により厚さ 90 cm（2012 年度に 50 cm 厚、2014 年度に 40 cm 厚）で全面覆砂された。全面覆砂後は窪地内の栄養塩、硫化水素濃度は減少傾向にあり、覆砂による水質改善効果が現れた。しかし、2016 年度は水質がやや悪化し、同時に栄養塩等の溶出速度も上昇したことから、覆砂効果の低下が確認された。原因は石炭灰造粒物上への堆積物の蓄積であり、堆積速度は 1.4 cm/年と見積もられた。第 2 期実施事業では、堆積物の影響が及びにくい覆砂形状として、石炭灰造粒物を山型に覆砂して環境修復を行った。その結果、覆砂 4 年目まで山頂付近の堆積物の蓄積はほとんどなくベントスの出現が確認でき、硫化水素や栄養塩の溶出が抑制できたことが示された。

## ③ 錦海一穂日島沖浚渫窪地

第 1 期実施事業において石炭灰造粒物により錦海一穂日島沖浚渫窪地には厚さ 70 cm の石炭灰造粒物が全面覆砂された。細井沖浚渫窪地と同様に、全面覆砂後は窪地内の栄養塩、硫化水素濃度は減少傾向にあり、覆砂による水質改善効果が現れた。しかし、貧酸素の抜本的な解決には繋がらなかったことから、第 2 期実施事業では窪地の完全埋め戻しによる環境修復を実施した。2019 年度から 4 回に分けて石炭灰造粒物を投入し、2022 年度（2023 年 3 月）に当該窪地の埋戻しは完了した。すでに周辺の湖底には石炭灰造粒物で覆砂が実施されていることから、沿岸から徐々に深くなる連続した浅場環境を取り戻すことができた。現在は、窪地の存在の有無により周辺湖底の貧酸素状態がどのように変化するか検証する段階にある。

## 5. 取り組みの内容

### 5. 1 細井沖浚渫窪地

堆積物の影響を受けにくく、底生生物の生息環境を促す覆砂形状での覆砂を実施する。

#### 【Step 1】

細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図（Step 1）を図 4 に示す。第 2 期実施事業により②に山型覆砂が施工されたが、西側には第 2 期実施事業で未着手の場所①がある。第 3 期実施事業の 1～2 年目は、①に石炭灰造粒物を用いて山頂面積の大きな山型覆砂を施工

する。山型に覆砂することにより新生堆積物が水深の深い場所に集積（トラップ効果を発揮）し、石炭灰造粒物への被覆を軽減する。また、山頂面積を広げることにより、底生生物の出現を促す。なお、施工にあたっては粒度の異なる石炭灰造粒物を用いる。具体的には、山型覆砂の底部には通常粒径の石炭灰造粒物に細粒分を含ませた混合材料を使用し、上部には通常粒径の石炭灰造粒物を用いる。これにより石炭灰造粒物が徐々に締め固められることによる覆砂層の沈下を抑制する。

**【Step 2】**

細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図（Step 2）を図 5 に示す。第 2 期実施事業の 3 年目は②の北側③、南側④、東側⑤に自然湖底から徐々に埋め戻す。このとき、③、④、⑤と②は接続せず、空間を確保して新生堆積物のトラップ効果を維持する。

**【Step 3】**

第 2 期実施事業の 4 年目は①の調査結果と錦海-穂日島沖浚渫窪地の調査結果を検証し、自然再生協議会において以降の細井沖浚渫窪地の修復方法を協議する。

Step 3-1：大型の山型覆砂が底生生物の生息に有利である場合、図 6 に示すように、②の山型覆砂の間に石炭灰造粒物を追加投入して、①のような大型の山型覆砂にすることでさらなる底生生物の生息環境を拡大する。

Step 3-2：大型の山型覆砂が有効でない場合には、図 7 に示すように細井沖浚渫窪地の完全埋戻しを検討する。

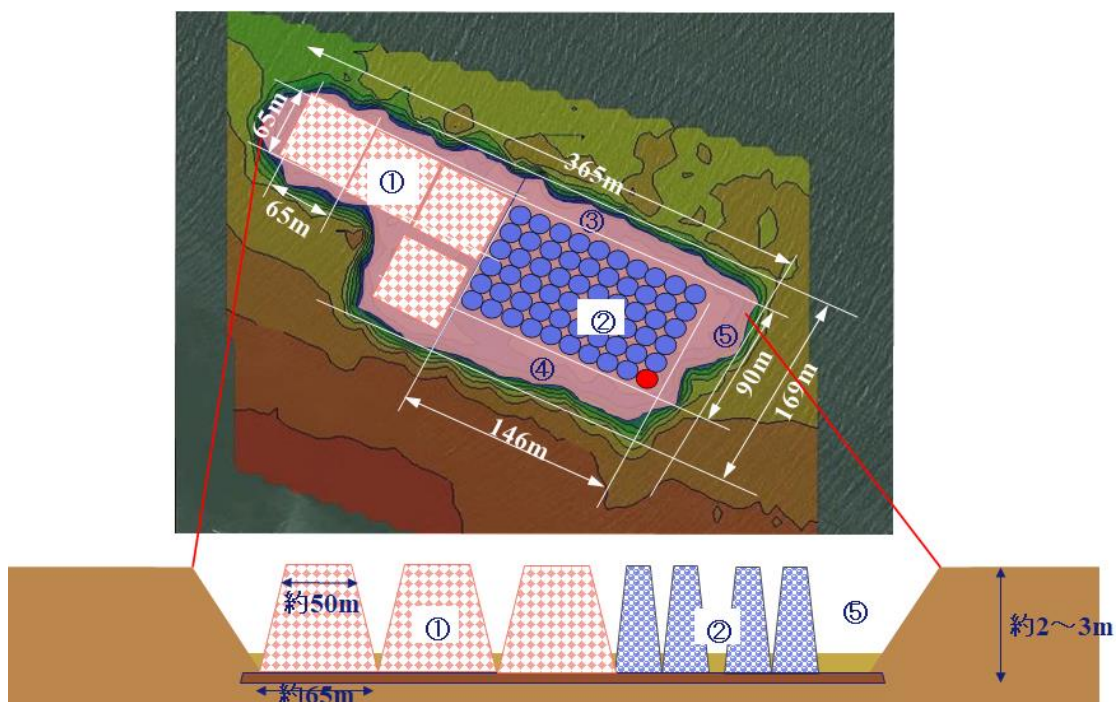


図 4 細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図（Step 1）

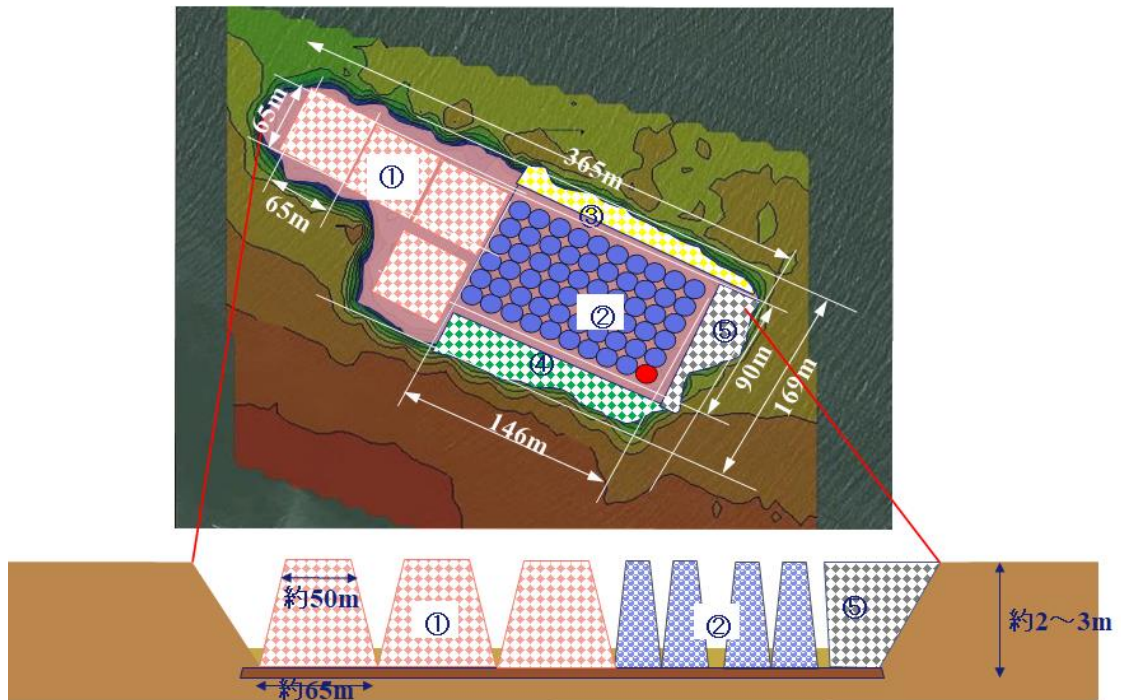


図5 細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図 (Step 2)

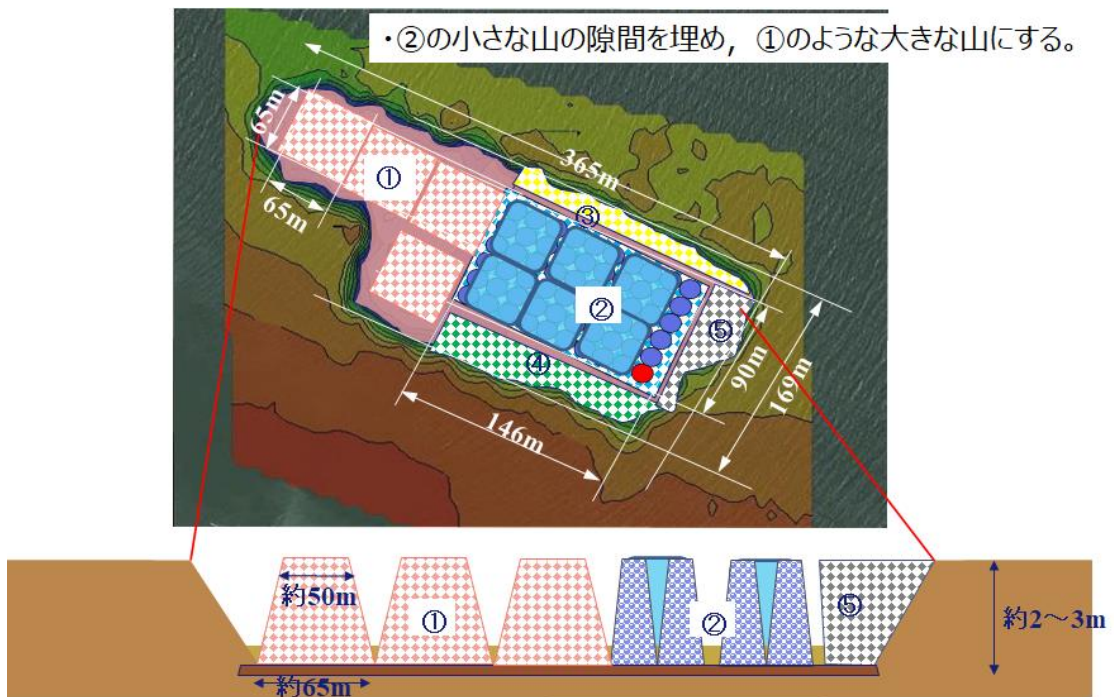


図6 細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図 (Step 3-1)

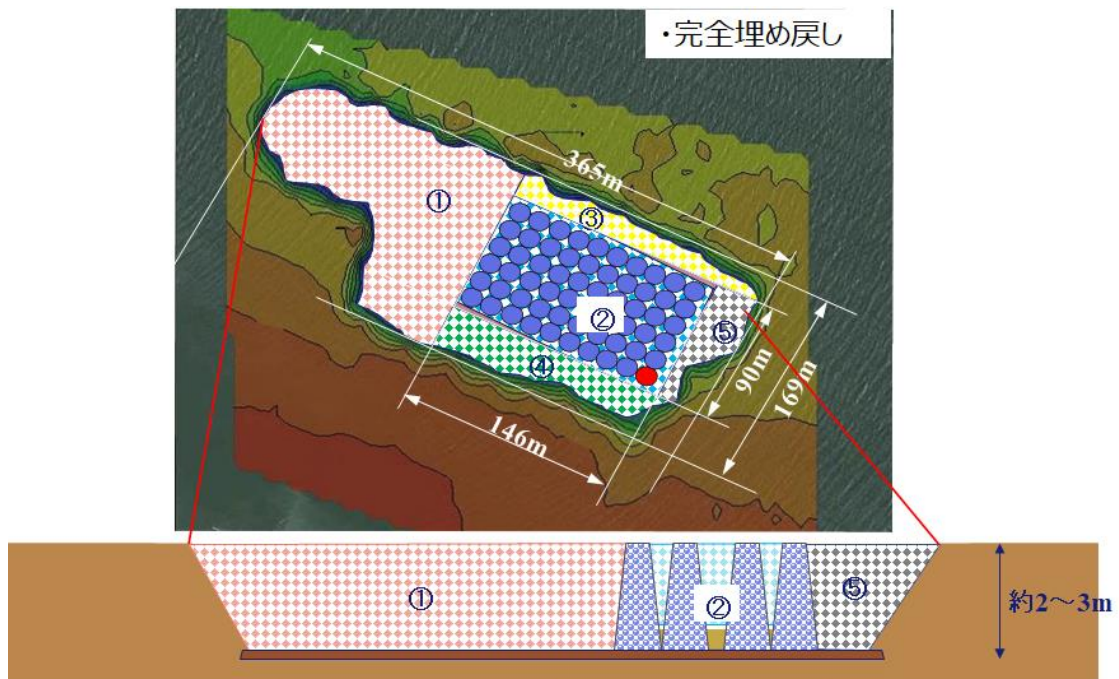


図7 細井沖浚渫窪地への山型覆砂施工の模式図 (Step 3-2)

## 5. 2 錦海-穂日島沖浚渫窪地

完全埋戻しによる環境修復効果を検証する。錦海-穂日島沖浚渫窪地は石炭灰造粒物により埋戻しが完了したことから、第二期実施事業で行った埋戻し地点と周辺湖底のモニタリングを継続し、する。埋戻し地点においては、石炭灰造粒物の特性により徐々に締め固められていくことから、わずかに湖底が沈下する可能性がある。湖底の下がった部分には堆積物が蓄積しやすいことから、新たな負荷発生源となる可能性がある。モニタリング結果を基に自然再生協議会で協議し、追加の石炭灰造粒物の投入が必要か協議する。



## 6. モニタリングの方法

### 6. 1 細井沖浚渫窪地

第2期の調査方法を踏襲し、春・夏・秋・冬季に山型覆砂の山頂と山麓を中心に採水・採泥を行い、水質・底質の測定、溶出速度の測定、泥厚測定を実施する。

表1 モニタリングによる調査項目

項目	調査項目	内容	目的
環境調査	水質調査 (現場)	・多項目水質計(水温、塩分、pH、EC、ORP、DO)を用いて、水深1m毎に測定	塩分躍層の位置など水質の基本性状を把握するとともに、DOや還元環境の改善効果などを検証する。
	水質調査 (室内)	・栄養塩濃度(NO <sub>3</sub> -N、NO <sub>2</sub> -N、NH <sub>4</sub> -N、PO <sub>4</sub> -P)の測定 鉛直奇数m、湖底直上50cmより採水 ・硫化水素(H <sub>2</sub> S)の測定 湖底直上水(湖底直上50cm)をメチレンブルー法により測定	鉛直：窪地内の栄養塩濃度の上昇抑制効果を検証 直上：対照区と覆砂区を比較し、溶出した栄養塩と硫化水素が水質に与える影響を検証する。証
	底質調査 (底質成分分析)	底質を採取 <sup>※</sup> し、以下の試験を実施 ・底質の強熱減量試験 ・含水率試験	堆積物の有機物量を簡易的に評価。高低差により有機物含有量に生じる差を検証する。
	底質調査 (間隙水分分析)	底質を採取 <sup>※</sup> し、間隙水中の成分測定を実施 ・硫化水素(H <sub>2</sub> S) ・栄養塩(NH <sub>4</sub> -N、PO <sub>4</sub> -P)	底質間隙水とHiビーズ間隙水の比較により、Hiビーズ層下からの溶出抑制を確認するとともに、新生堆積物からの溶出ポテンシャルを検証する。
	チャンバー試験	数日間の濃度変化により、アンモニア態窒素(NH <sub>4</sub> )、リン酸態リン(PO <sub>4</sub> )、硫化水素(H <sub>2</sub> S)の溶出速度の算定	対照区と覆砂区における溶出速度を比較し、最適覆砂方法を検証する。
	窪地内 底質環境調査	窪地内の浮泥堆積状況の確認 ・浮泥の厚さ	覆砂区における堆積量の軽減効果を検証し、将来的な効果持続性の検証材料とする。
	ベントス調査	一定区画の石炭灰造粒物を採取し、ベントスの存在を確認する(定性評価)。	山型覆砂による生態系修復効果を検証し、窪地の埋戻し方法を検討する材料とする。

### 6. 2 錦海-穂日島沖浚渫窪地

連続的な浅場環境を評価するため、沿岸から沖に向かって窪地を通過する測線を設定し、測線上の数地点で調査を行う。モニタリング項目は表1(ベントスを除く)と同様とする。

### 6. 3 水質シミュレーションによる評価

第2期実施事業により、窪地の負荷が及ぶ影響範囲について徐々に明らかになってきた。湖沼図が更新されることを受け、さらに精度の高い予測結果に更新をする。さらに、覆砂や埋戻しをすることにより、栄養塩の負荷あるいは貧酸素水塊の発生が中海全域(または米子湾)にどのような影響を与えるか検討する。中海全域に対して環境改善を検証していくには水質シミュレーション等の手法を用い、中海の環境復元をより定量化させていく必要がある。検討過程としては、3,000万m<sup>3</sup>におよぶ窪地を何割埋め戻すことで中海生態系が再生するかについて試算することを目指す。中海底層の貧酸素水塊形成については、干拓事業により境水道、中浦水道及び中海東部が深く掘られた地形改変による密度流の移入が要因と思われるが、このような中海全域の状況を踏まえた水質シミュレーション等で詳細検討を行っていく。このシミュレーションにより、貧酸素水塊解消に向けた対応策を検討し、中海本来の自然再生実現のために生物プロセス形成に重要な有機・無機物質の分布や循環について検証する。

