

浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法における ヘドロ混合の設計・施工計画

DESIGN AND CONSTRUCTION METHOD OF MIXING DREDGING ORGANIC SEDIMENT FOR TIDAL FLAT CONSTRUCTION METHOD BY USING DREDGING SLUDGE

片倉徳男¹・高山百合子¹・上野成三¹・小林峯男²・国分秀樹³・奥田圭一⁴

Norio Katakura, Yuriko Tkayama, Seizou Ueno, Mineo Kobayashi, Kokubu Hideki
and Keiichi Okuda

¹正会員 大成建設株式会社 技術センター(〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

²正会員 大成建設株式会社 土木本部 海洋設計技術室(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

³正会員 三重県科学技術振興センター水産研究部(〒517-0501 三重県志摩市阿児町鶴方3098-9)

⁴正会員 三重県南勢志摩県民局 農水商工部(〒516-8566 三重県伊勢市勢田町622)

Although clean sand has been generally used for the construction of tidal flats, it becomes difficult to obtain the sea sand and land sand in recent years. Also, the sea sand and the land sand are not suited to the marine species of tidal flats, because there are little content of organic matter and silt and clay. We are proposing the tidal flat construction method by using dredging organic sediment. There are the following subjects in the design of this construction method: ①The design method that requests the optimal mixture rate of dredging sediment and sand is established. ②The method that secures the optimal mixture rate of dredging sludge and produces effectively is established. We have constructed the tidal flats by two types of the methods which consist of seaside approach and landside approach. We established the design and construction method of mixing the dredging organic sediment and demonstrated in the construction works.

Key Words: Marine ecosystem, Water quality purification, Ago bay

1. はじめに

水域環境の改善と生物生息環境の創出を目的として人工干潟の造成が行われている。従来の人工干潟造成は、生物生息環境に適した水深まで浅場を造成し、その表面を山砂・海砂等の砂質土で覆っている。この場合、表面に用いる砂質土を外部から搬入することが必要であるとともに、栄養分の少ない砂質土上の干潟は生物量が少ないという問題がある。一方、水域環境の改善法として、海底に堆積している有機物を多く含む底泥(ヘドロ)を除去する浚渫工法も行われている。しかし、浚渫したヘドロの処分地が必要であり、大規模な浚渫事業は進んでいない。

このような観点から、著者らは干潟生物への有機物供給を促すとともに、生物の生息環境をより早期に整備することができ、同時にヘドロに含有される有機物が干潟

における干出作用により、早期に無機化されることを期待した、浚渫したヘドロと干潟予定地の砂質土を混合した人工干潟の造成工法を開発した^{1) 2) 3)}。この工法は干潟材料にヘドロを用いることで、従来問題であった浚渫ヘドロの処分地の解決により浚渫事業を促進することも可能である。そこで、著者らは真珠養殖等により発生する有機物により、底質環境が悪化している三重県英虞湾において、浚渫ヘドロを砂質土に混合した干潟土壌を用いた干潟再生実験を行い、干潟生物にとって最適な有機物含有量(CODを指標とする)、シルト・粘土含有量の範囲を明らかにし、浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法を提案している¹⁾。

本工法の設計・施工の課題として、①利用可能な浚渫ヘドロと砂質土の諸元から最適混合率を求める汎用的な設計方法を確立すること、②最適混合率を確保し、効率よく浚渫ヘドロと砂質土を混合する施工方法を確立する

こと、の2つが上げられる。本研究では、実規模スケールの浚渫ヘドロを用いた人工干潟造成工事において、海域施工、陸上施工の2パターンでの設計・施工を行い、干潟土壌の混合方法について設計・施工方法を取りまとめた。

2. 浚渫ヘドロの最適混合率の設計方法

(1) 干潟土壌に必要な有機物量とシルト・粘土含有率²⁾

三重県英虞湾において実施した干潟再生実験で明らかとなった、干潟土壌中の有機物含有量(COD：化学的酸素要求量)と生息する干潟生物量の関係を図-1に示す。浚渫ヘドロを用いた人工干潟に生息する生物種類数は、有機物がほとんど含まれない場合や過剰に含まれる場合は減少し、生物の生息に適した範囲としてCODが3～10mg/gDWであることが明らかになっている。同様に、図-2に干潟土壌中のシルト・粘土含有率と干潟生物量の関係を示す。シルト・粘土含有率についても、生物の生息に適した範囲は干潟土壌中のシルト・粘土含有率が15～35%であることが明らかになっている。

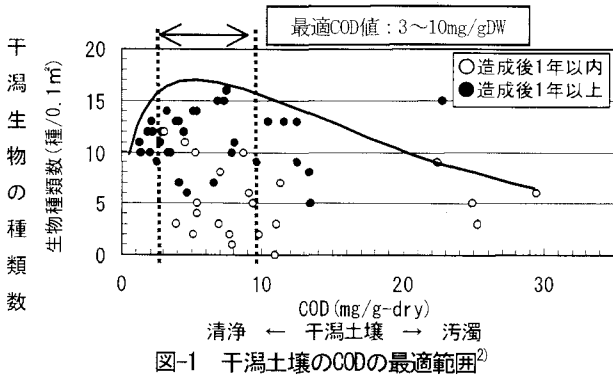


図-1 干潟土壌のCODの最適範囲²⁾

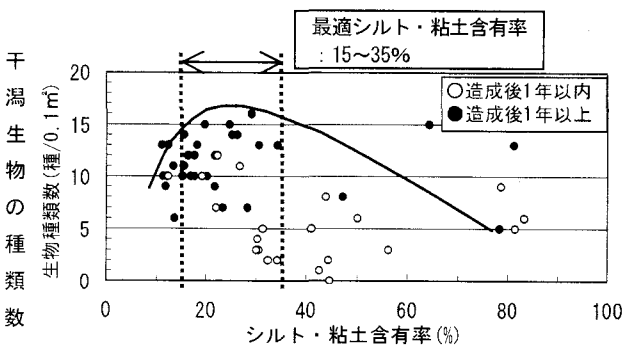


図-2 干潟土壌のシルト・粘土含有率の最適範囲²⁾

(2) 最適混合率の算定

人工干潟の土壌には、有機物量とシルト・粘土含有量の最適範囲を満たすことが必要である。そのため、CODが多量に含まれる浚渫ヘドロとCODをほとんど含まない砂質土を混合して、CODは3～10mg/gDWに、シルト・粘土含有率は15～35%に調整することが必要である。ここで、浚渫ヘドロおよび砂質土の、COD(mg/gDW)およびシ

ルト・粘土の含有率 γ (%)から、浚渫ヘドロの砂質土への混合率 α (重量%)と干潟土壌のCOD、および γ を以下の式で算定できる。

$$\text{COD} = \{ \text{CODa} \times \alpha + \text{CODb} \times (100 - \alpha) \} / 100$$

$$\gamma = \{ \gamma a \times \alpha + \gamma b \times (100 - \alpha) \} / 100$$

ここで、CODは混合後の干潟土壌のCOD、

CODaは浚渫ヘドロのCOD、

CODbは砂質土のCOD、

γ は混合後の干潟土壌のシルト・粘土含有率、

γa は浚渫ヘドロのシルト・粘土含有率、

γb は砂質土のシルト・粘土含有率である。

図-3にCODが20mg/gDWの浚渫ヘドロと1mg/gDWの砂質土を混合する条件での浚渫ヘドロ混合率 α と干潟土壌のCODの関係を、図-4にシルト・粘土含有率が90%の浚渫ヘドロと10%の砂質土を混合する条件での浚渫ヘドロ混合率 α と干潟土壌のシルト・粘土含有率 γ の関係を示した。

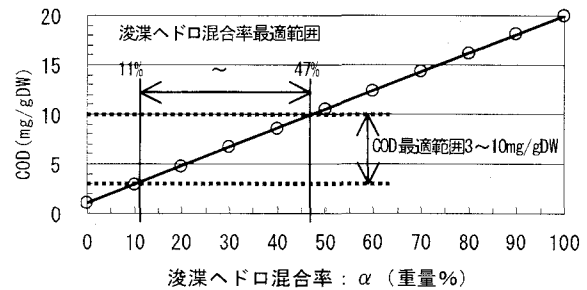


図-3 浚渫ヘドロ混合率(α)と干潟土壌のCODの関係

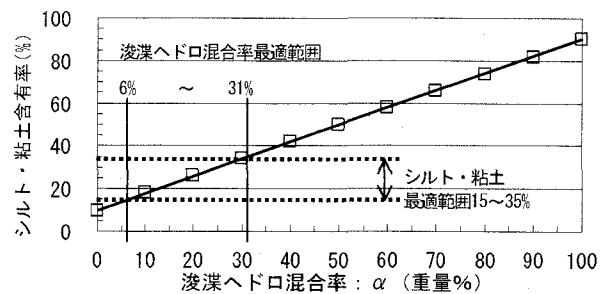


図-4 浚渫ヘドロ混合率(α)とシルト・粘土含有率の関係

この算定方式から、CODとシルト・粘土含有量の両者の最適範囲を満たす浚渫ヘドロ混合率は11%～31%の範囲となることがわかる。人工干潟の土壌には、この範囲内で最適な混合率を設計する。

3. 実規模スケールにおける施工例

実規模スケールで浚渫ヘドロと砂質土の混合および混合土を干潟土壌とする人工干潟の造成を行った。人工干潟の造成には、混合攪拌方法と造成工法の検討を行い、陸上施工、海域施工の2パターンの施工方法をとった。これらの事例について以下に述べる。

(1) 施工場所

人工干潟の施工は、三重県英虞湾立神地区で行った。陸上施工は図-5に示す干潟実験区①、②で、海域施工は干潟実験区③で行った。実験区外周部には貝殻を充填した土嚢による堰堤を設けた。

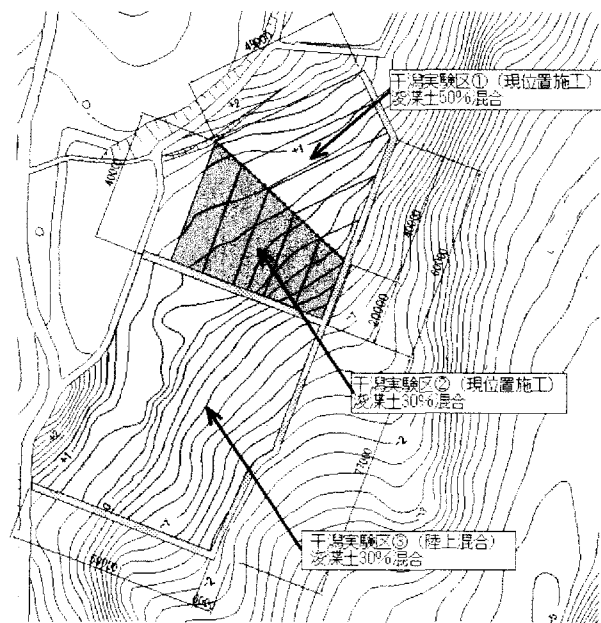


図-5 施工場所

(2) 施工条件

潮干帯に施工する人工干潟は、施工時の潮位により気中・水中と施工環境が大きく変化する。そのため、浚渫ヘドロと砂質土を混合した人工干潟の施工には、気中・水中の全く異なる環境に対応した施工方法の確立が必要となる。そこで、設計にもとづいた最適混合率を確保した均質な干潟を造成するために、潮汐の影響、人工干潟の施工場所を考慮して、①陸域施工：浚渫ヘドロと現地海底の砂質土を現位置で混合する方法、②海域施工：浚渫ヘドロと砂質土を陸上混合ヤードで混合して造成する方法、の2種類の工法で施工した。また、施工環境による違いを評価するため、それぞれの工法に対して気中・水中の条件を加えた、表-2に示す施工パターンで施工した。なお、現位置施工のうち水中での混合攪拌は、実験区①(混合率50%)のみで行った。

表-1 施工パターンと実験区の概要

ケース番号	ケース1		ケース2
施工方法	陸域施工		海域施工
実験区番号	①	②	③
施工面積	1500m ²	1500m ²	4200m ²
浚渫土混合率	50%	30%	30%
竣工時期	2004年3月	2004年3月	2005年3月
混合場所	現位置		陸上ヤード
混合時の環境	気中	水中	気中
造成時の環境	気中	水中	気中

(3) ケース1：陸域施工

a) 施工手順

他海域の浚渫工事で発生した浚渫ヘドロ(脱水ケーキ)を、干潟造成範囲の砂質土地盤上に実験区①(混合率50%)では50cm、実験区②(混合率30%)では30cmの層厚で撒出し、ロータリースタビライザーを装着した泥上仕様車で、掘削深度100cmの深さまで混合攪拌し、さらに敷き均した。図-6に施工手順を、図-7に施工方法を示す。

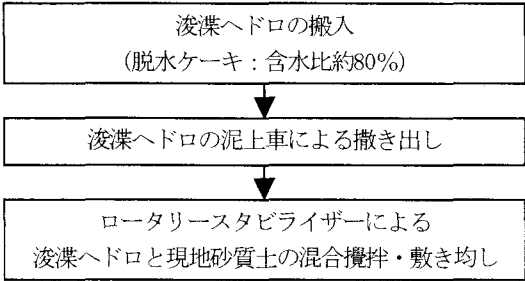


図-6 施工手順

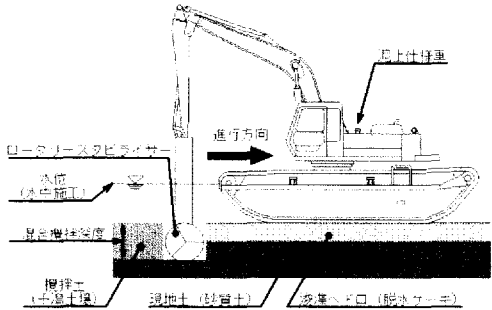


図-7 ロータリースタビライザー付き泥上車による浚渫ヘドロと砂質土の混合攪拌

b) 混合率の算定

干潟土壌の原料となる浚渫ヘドロと砂質土のシルト・粘土含有率およびCODを分析し、最適混合率を算定してケース1における混合率を設計した。本ケースでは、現地砂質土のCODが0.46mg/gDWと非常に少なく、干潟土壌の最適範囲から算定される混合率最適範囲が22～83%であった。浚渫ヘドロを混合した人工干潟の実規模スケールでの施工は初の試みであるため、最適範囲のうちCODを満足する混合率30%、50%の2種類を設定した。表-2に最適混合率の範囲を示す。

表-2 最適混合率の範囲(ケース1)

	浚渫ヘドロ 混合率 (%)	シルト・粘土 含有率 (%)	COD(mg/gDW)
事前 分析	現地土 (砂質土)	16.06	0.46
	浚渫ヘドロ	91.9	12.0
混合率最適範囲		0～24%	22～83%

c) 管理目標値の設定

混合率30%, 50%の場合, シルト・粘土含有率とCODは表-3の通りとなる。また, 目標値に対する許容値は, シルト・粘土含有率については施工上の誤差を±10%, CODについては事前分析時の浚渫ヘドロ試料の分析誤差を考慮して±1.5mg/gDWとした。

表-3 目標値の算定(ケース1)

	浚渫ヘドロ 混合率 (%)	シルト・粘土 含有率 (%)	COD(mg/gDW)
目 標 値	実験区種別	目標値	許容値
	実験区①	目標値	許容値
	50%	54.2	45-65
	30%	39.2	30-50

d) 施工管理

設定した混合率30%, 50%を維持し, 均質な干潟土壌を施工するため, 浚渫ヘドロの撤出層厚と混合攪拌の深度で管理した。表-4に実験区毎の層厚, 混合攪拌深度を示す。

表-4 施工管理値(ケース1)

	実験区①	実験区②
浚渫ヘドロ混合率	50%	30%
浚渫ヘドロ撤出層厚	50cm	30cm
現地砂層厚	50cm	70cm
混合攪拌深度	100cm	100cm

e) 結果

実験区①, ②のそれぞれ3点で1mの深さでボーリングによる試料採取を行った。ボーリング試料は25cmずつ4層に分割し, シルト・粘土含有率とCODの分析を行った。写真-2に浚渫処理土と柱状サンプルを示す。攪拌後の干潟土壌は, 当初の予定通り, 攪拌深度1mまで混合攪拌されている。

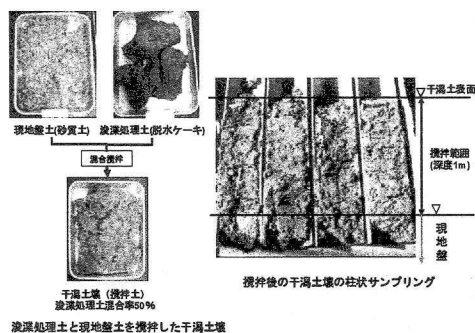


写真-1 浚渫ヘドロと砂質土の混合状況

図-8にシルト・粘土含有率, 図-9にCODの深度分布を示す。シルト・粘土含有率の平均値は気中施工, 水中施工ともに許容値を満たした。層別に比較すると, 気中施工では表層(0-250mm)が下層(250-1000mm)に比べ低く, 水中施工では, 表層が下層に比べ高くなる傾向である。特に水中施工では, 施工時にロータリースタビライザーの攪拌による分離が生じ, 砂分(粒径0.075mm以上)が下層に沈降して, 表層部分のシルト・粘土含有率が高い状態となったことが予測される。

CODは深度別の差は少ないが, シルト・粘土含有率と同様に, 気中施工では表層が下層に比べ低く, 水中施工では表層が下層に比べ高くなる傾向を示した。

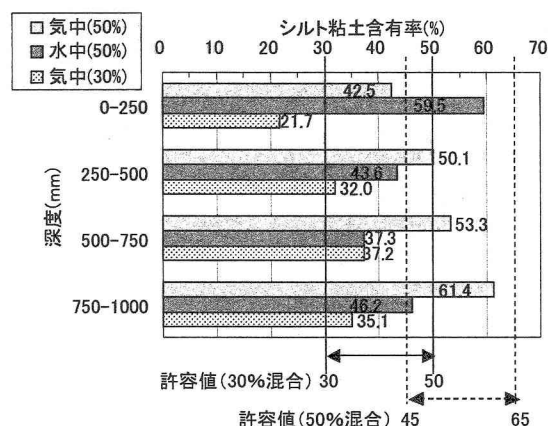


図-8 シルト・粘土含有率の深度分布

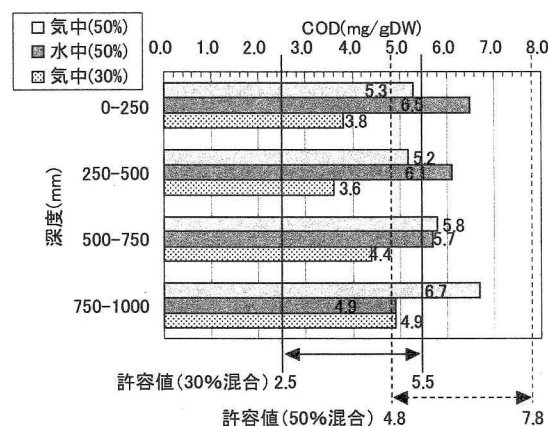


図-9 CODの深度分布

(4) ケース2 : 海域施工

a) 施工手順

2004年度に他海域で実施された浚渫工事で発生し, 約1年間仮置きした浚渫ヘドロ(脱水ケーキ)と, あらかじめ採取し約1年間仮置きした現地海域の砂質土を, 陸上混合ヤードで, 攪拌バケット(ドライブミキシング)を装着したバックホウにより混合攪拌した。混合攪拌後の混合土は干潟土壌として, DL±0m以深はクレーン付き台船により, 実験区③に50cmの層厚で撤出し, DL±0m以浅は, 干潮時に重機により陸上から50cmの層厚で撤出し, 両者とも撤出し後にバケットによる敷均し

を行った。施工フローを図-10に、陸上ヤードにおける混合攪拌の状況を写真-2に示す。

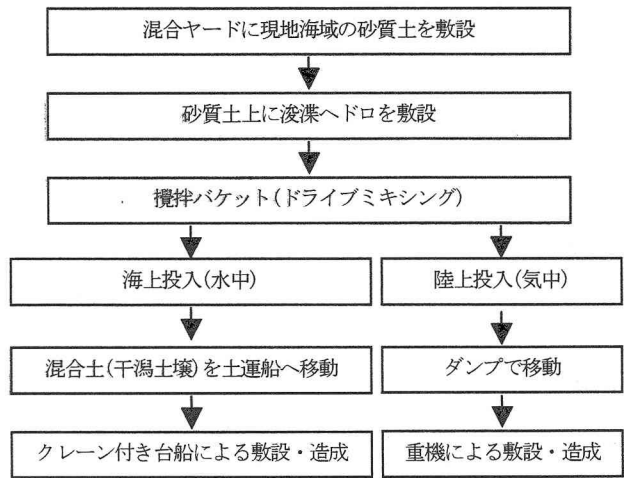


図-10 施工フロー

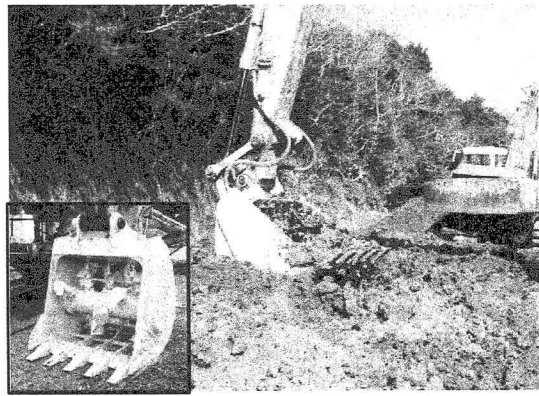


写真-2 ドライブミキシングによる混合

b) 混合率の算定

ケース1と同様に最適混合率を算定して、混合率を設計した。本ケースも現地砂質土のCODが0.54 mg/gDWと少なく、CODから算定される混合率最適範囲は15～60%であった。本ケースでは、CODの最適範囲を満足する混合率30%を設定した。

表-5 最適混合率の範囲(ケース2)

	浚渫ヘドロ混合率(%)	シルト・粘土含有率(%)	COD (mg/gDW)
事前分析	現地土(砂質土)	24.5	0.54
	浚渫ヘドロ	84.0	16.4
混合率最適範囲			0～18%

c) 管理目標値の設定

混合率30%の場合、シルト・粘土含有率とCODを表-6に示す。目標値に対する許容値は、シルト・粘土含有率については施工上の誤差を±10%、CODについては事前分析時の浚渫ヘドロ試料の分析誤差を考慮して±2.2mg/gDWとした。

表-6 目標値の算定(ケース2)

	浚渫ヘドロ混合率(%)	シルト・粘土含有率(%)		COD (mg/gDW)	
目標値	実験区種別	目標値	許容値	目標値	許容値
	実験区③-30%	42.3	30-40	5.3	3.1-7.5

d) 施工管理

設計した混合率30%の干潟土壌の施工管理は、陸上混合ヤードにおける砂質土と浚渫ヘドロの層厚で管理した。表-7に層厚、撤出し層厚を示す。また陸上混合ヤードで混合攪拌した混合土について、300m³製造毎にシルト・粘土含有率とCODの分析を行った。

表-7 施工管理値(ケース2)

	浚渫ヘドロ混合率	30%
混合ヤード	敷設浚渫ヘドロ層厚	20cm
	敷設砂質土層厚	40cm
干潟造成	混合土撤出し層厚	50cm

e) 結果

陸上混合ヤードで製造した混合土について、300m³製造毎に実施したシルト・粘土含有量の調査結果を図-11に示す。混合土の製造量は約2100m³に達し、300m³毎に実施したシルト・粘土含有率は、目標値42.3%に対して平均40.5%(39.0～43.1%)、誤差-3.5～+0.8%に留まり、ドライブミキシングによる混合攪拌は非常に高い精度で混合土を製造できる工法であり、また、層厚による混合攪拌の施工管理が有効であることを確認した。

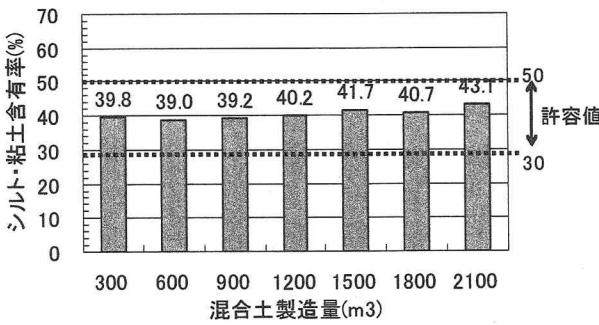


図-11 混合土の製造時品質管理結果

干潟の造成完了後、実験区③の3点で気中・水中の施工パターン毎に50cmの深さでボーリングによる試料採取を行った。ボーリング試料は10cmずつ5層に分割し、シルト・粘土含有率とCODの分析を行った。測点のうち、測点1は気中での造成、測点2、3は水中で造成を行った場所である。写真-3に柱状サンプルを示す。造成後の干潟土壌の層厚は、当初予定の50cmを満たした。図-12にボーリング試料のシルト・粘土含有率、図-13にCODの深度別調査結果を示す。シルト・粘土含有率およびCODの、測点毎の平均値は気中、水中の造成に関わらず許容値を満たした。また、陸域施工でみられた表層部と下層部の

シルト・粘土含有量の差と減少は生じにくい状態で造成が完了した。

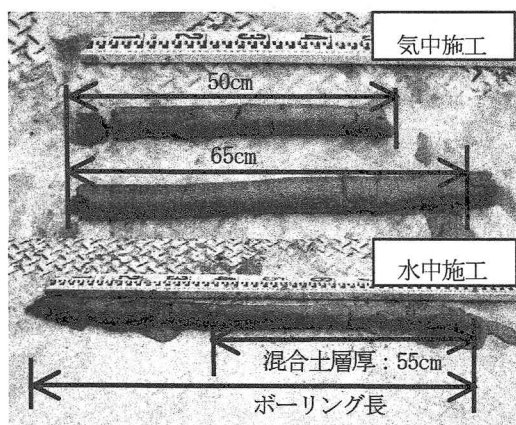


写真-3 浚渫ヘドロと砂質土の混合状況

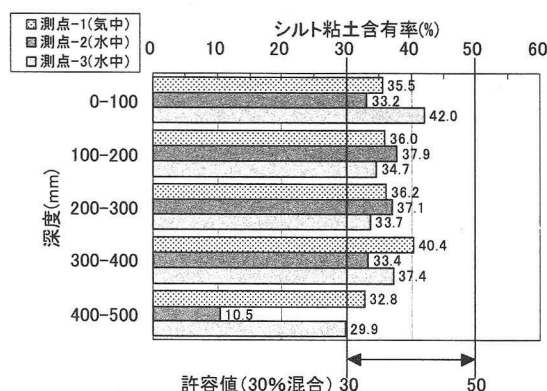


図-12 シルト・粘土含有率の深度分布

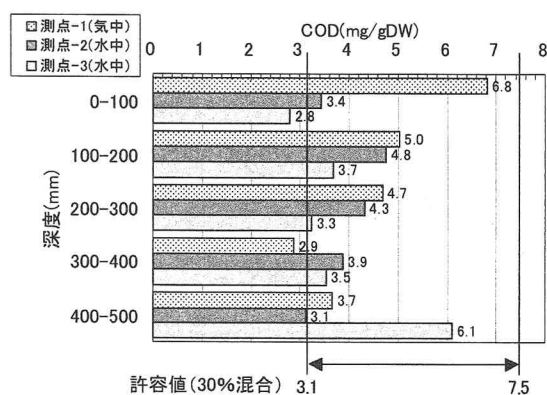


図-13 CODの深度分布

(5) 実規模スケールにおける施工例のまとめ

実規模スケールで実施した陸域施工、海域施工で、施工環境に応じた混合方法を用いることにより、設計した混合率を確保した人工干潟が造成できることを実証した。

4. 結論

浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法に関して、ヘドロ混合の設計・施工方法として重要な最適混合率の設計方法を確立し、実規模スケールにおける施工事例から実証データを取得した。以下に結論をまとめる。

(1) 浚渫ヘドロの最適混合率の設定

干潟土壌として、浚渫ヘドロおよび砂質土を利用する場合において、底質のシルト・粘土含有率、CODを用いて、干潟生物に最適な混合率を算定できる設計法をとりまとめた。本設計法により、底質条件が異なるヘドロや砂質土を用いる場合でも、合理的なヘドロ混合率の設計が可能となる。

(2) 実規模スケールにおける施工例による実証

ヘドロと砂質土を混合する人工干潟造成工法として、水中・気中環境の現位置混合攪拌と現位置造成工法、陸上ヤードにおける混合攪拌と気中・水中での造成工法を、実規模スケールで実施した。本施工により、設計した混合率の確保と施工箇所に応じた効率的な混合攪拌工法と干潟造成工法を実証した。

謝辞：本研究の一部は、三重県地域結集型共同研究事業で行われた。また、調査にあたり多くの方の御協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹：浚渫土を利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1306-1310, 2001.
- 2) 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹・原条誠也：浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合率と底生生物の関係について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1301-1305, 2002.
- 3) 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之：英真湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1191-1195, 2004.