

## カルシア改質土による浅場造成

## Construction of Tideland by CaO Improved Soil

山越陽介\* 赤司有三 小杉知佳 横尾正義  
Yosuke YAMAGOSHI Yuzo AKASHI Chika KOSUGI Masayoshi YOKOO

## 抄 録

カルシア改質土は、安全性や施工中の濁り抑制効果等から、浅場、干潟の造成材として適していると考えられる。カルシア改質土の浅場・干潟造成材としての有用性について、材料安全性、濁り抑制効果を検証し、実海域施工とその経過モニタリングにて実海域評価を行った。その結果、下記の知見を得た。1) カルシア改質土は重金属溶出、生物毒性に関して安全である。2) 浚渫土をカルシア改質土にすることによって、水中投入時の濁り発生量を浚渫土の3割程度に抑制することができる。3) 浚渫土をカルシア改質土にすることによって、波による巻き上がりを抑制することができる。4) 深掘れ窪地をカルシア改質土で埋め戻すことによって、貧酸素状態を解消できる。5) カルシア改質土で浅場マウンドを造成することによって、良好な漁礁、藻場を創出していくことが可能である。

## Abstract

“CaO-improved soil” suits with construction material of tideland, because of its safety and decreasing turbidity characteristics. We examined safety of material, decreasing of turbidity and marine environmental monitoring in site. As a result, 1) “CaO-improved soil” is safety for heavy metal and poison. 2) Compared with dredged soil, “CaO-improved soil” decreased of about 70% of turbidity of putting in water. 3) Wave resistance of “CaO-improved soil” is stronger than dredged soil. 4) The restoring borrow pits is effective for solution of source of oxygen deficient water killing. It is possible to make good fishery by construction mound of tideland with “CaO-improved soil”.

## 1. 緒 言

近年、浅場、干潟の造成ニーズが漁業者を中心に高まっている。干潟は、干潮時に沿岸域に現われる、砂や泥がたまった場所を指し、多くの生き物の貴重な産卵、生育の場であるとともに、二枚貝や底生生物などが陸から流れ込む物質を分解し、海をきれいにする働きを有する。特に、干潟に多く棲むアサリを中心とした二枚貝は、高い水質浄化能力を有している。また、浅場は、干潟に続く浅い海域で、陸域から栄養塩が供給され、太陽光も十分に届くため、海藻、藻類や魚類など様々な生物が住み、干潟と同様に、生物の営みを介して海水を浄化する能力を有する。

かつて埋立により多くの浅場、干潟が消失し、生物、藻類が住処を失ったことから、現在は水産関係者を中心に浅場・干潟再生のニーズが高まっている。ここで、カルシア改質土は、安全性や施工中の濁り抑制効果等から、浅場、干潟の造成材として適していると考えられる。本報では、カルシア改質土の浅場・干潟造成材としての有用性について、

材料安全性、濁り抑制効果を検証し、実海域施工とその経過モニタリングにて実海域での評価を行ったので報告する。

## 2. 安全性

## 2.1 環境に対する安全性

表1は、カルシア改質土の溶出試験結果の例である。カルシア改質土の溶出値は、“環境省の環境技術実証事業(ETV事業)を実施する際に設定された暫定基準値”(海洋汚染及び海洋災害の防止に関する法律(海洋汚染防止法)の水底土砂基準をベースに設定)を下回っており、重金属溶出に対して安全であった。また、浚渫土とカルシア改質材を混合することで溶出値が増幅することも特に見られなかった。

## 2.2 生物に対する安全性

カルシア改質土を用いた急性毒性試験を、主として“魚介類水質環境基準検討調査総合報告書〔海産生物毒性試

\* 君津製鉄所 資源エネルギー部 スラグ技術室 千葉県君津市君津1番地 〒299-1141

表1 カルシア改質土における有害物質溶出試験結果  
Dissolution test of poisonous material of CaO-improved soil

		Result	Criteria
R-Hg	mg/L	<0.0005	<0.0005
Hg	mg/L	<0.0005	<0.005
Cd	mg/L	<0.002	<0.1
Pb	mg/L	<0.01	<0.1
Organophosphorus compound	mg/L	<0.01	<1
Hexavalent chromium	mg/L	<0.04	<0.5
As	mg/L	<0.005	<0.1
CN	mg/L	<0.01	<1
PCB	mg/L	<0.0005	<0.003
Organochlorine compound	mg/kg	<4	<40
Cu	mg/L	<0.05	<3
Zn	mg/L	<0.05	<5
F	mg/L	0.1	<15
Trichloroethylene	mg/L	<0.001	<0.3
Tetrachloroethylene	mg/L	<0.001	<0.1
Be	mg/L	<0.01	<2.5
Cr	mg/L	<0.03	<2
Ni	mg/L	<0.05	<1.2
V	mg/L	<0.05	<1.5
Dichloromethane	mg/L	<0.001	<0.2
Tetrachloromethane	mg/L	<0.0002	<0.02
1,2-Dichloroethane	mg/L	<0.0004	<0.04
1,1-Dichloroethylene	mg/L	<0.001	<0.2
cis-1,2-Dichloroethylene	mg/L	<0.001	<0.4
1,1,1-Trichloroethane	mg/L	<0.001	<3
1,1,2-Trichloroethane	mg/L	<0.0006	<0.06
1,3-Dichloropropylene	mg/L	<0.0002	<0.02
Thiram	mg/L	<0.0006	<0.06
Simazine	mg/L	<0.0003	<0.03
Benthiocarb	mg/L	<0.002	<0.2
Bensen	mg/L	<0.001	<0.1
Se	mg/L	<0.002	<0.1
Dioxin	pg-TEQ/L	0.0017	<10

験指針〕水産庁 平成12年3月”及び“海産生物毒性試験指針 水産庁 平成22年3月”に準拠して実施した。試験は、JIS K 0058-1 スラグ類の化学物質試験方法 - 第1部：溶出量試験方法に準じ、カルシア改質土と濾過海水を用いて作成した溶出水（試験原液）を数種の濃度に希釈した試験水でマダイ、クロアワビ、クルマエビを96時間飼育することで行った。なお、試験原液及び希釈率の低い試験水を使用する場合は、pHによる影響が生じないように、pH調整区も設定した。クロアワビの供試生物は京都府水産振興事業団栽培漁業センターで採卵され、その後同所においてふ化、飼育された稚魚を使用した。マダイ、クルマエビの供試生物は静岡県温水利用研究センターで採卵され、その後同所においてふ化、飼育された稚魚、稚エビを使用した。

試験原液の作成に当たっては、カルシア改質土を混練後、直ちに JIS K 0058-1 スラグ類の化学物質試験方法 - 第1部：溶出量試験方法に準じ、試験原液を作製した。カルシア改質土と溶媒（濾過海水）の比率を体積比1:10とし、毎分

約200回転で6時間攪拌した後に10～30分静置し抜き取った上澄み液を、さらに18～24時間静置して懸濁物沈降させ、試験原液とした。試験原液に予め約20℃に調温済みの濾過海水を加えて希釈し、試験液とした。その他の試験条件は下記に示す。

曝露方法：半止水式（24時間ごとに全量を換水）にて  
96時間

試験容器及び液量：57L容ガラス製水槽（試験液量40L）

供試生物数：10個体/濃度区

試験液条件：酸素飽和度60%以上を維持、水温20±1℃、

塩分30以上35以下

照明：蛍光灯、14時間明/10時間暗

給餌：なし

個体を剥離する際の負担を軽減するため、ステンレス鋼製籠（縦横高さ約20cm、5.5mm目メッシュ）に供試生物を収容し、ガラス製蓋（縦横約24cm、厚さ約0.3cm）をして水槽内に沈め試験液に曝露した。また、供試生物が身を隠すことができるように、ステンレス鋼製蓋（縦約20cm、横約13cm）1枚を籠内に斜めに立て掛けた。

試験結果の代表例として、試験開始後の経過時間ごとの累積死亡数及び累積死亡率を表2に示す。試験終了時において、いずれの試験区においても死亡はみられなかった。この結果より、カルシア改質土のクロアワビに対する半数致死濃度（LC50）はこの試験原液の濃度より大きいと考えられた。マダイ、クルマエビに関しても同様の結果が得られた。上記より、カルシア改質土の水産生物に対する安全性を確認できた。

表2 各試験液濃度における累積死亡数と累積死亡率  
（クロアワビ）

Relationship between cumulative number and ratio of death and water consistency of pH

Consistency of pH (%)	Duration time (hour)							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
7.7	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
14.6	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
27.7	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
52.6	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
100	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
52.6 (adjust pH area)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)
100	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)	0/10 (0)

\* Denominator is number of sample, numerator is cumulative number of death.

### 3. 濁り抑制効果

#### 3.1 投入時の濁り抑制効果

軟弱な浚渫土はカルシア改質材を混合した直後に、カルシア改質材による吸水作用により強度（粘性）が増大する。これより、カルシア改質土は、混合直後の水中投入時においても、濁り発生が生じにくいと考えられる。投入時の濁り発生抑制効果を検証するため、水槽実験を行った。

実験で使用したカルシア改質材と浚渫土の特性を表3<sup>2)</sup>に示す。カルシア改質材の粒度はJIS A 5015で規定されているCS-20相当とし、浚渫土は東京湾内で採取したものを使用した。

水槽実験は写真1<sup>2)</sup>に示すように天端が開口となっている水槽を用いて室内で実施した。開口上部から試料を投入後1分経過時の水槽内の様子を撮影した画像のRGB値を濁度値に変換し、全濁り発生量を算出した。なお、事前に水槽内に濁度計を設置して画像のRGB値と実測の濁度値の相関を確認している。実験結果を表4<sup>2)</sup>に示す。実験ケースは、浚渫土単体とカルシア改質土で実施し、カルシア改質土の配合は、事前検討結果<sup>3)</sup>から改質材混合量30vol%のものとした。土砂の落下速度を計測したところ、浚渫土単体の0.49m/sに対し、カルシア改質土は0.83m/sと大きくなっていることがわかった。

これは、湿潤密度が浚渫土単体の1.32g/cm<sup>3</sup>に対し、カルシア改質土は1.71g/cm<sup>3</sup>と大きいためだと考えられるが、これによる水中抵抗の増加に伴う土塊の分離、分裂は確認されなかった。落下中の投入量当たりの濁りの発生量を算出したところ、浚渫土単体の5.29g/m/kg-wetに対し、カルシア改質土は1.38g/m/kg-wetと3割程度に抑制されていることが確認された。これは投入前のシリンダーフロー試験で浚渫土単体の14.3cmに対し、カルシア改質土は8.8cmと粘性が大きく土塊の分離、分裂が生じにくくなっていたことが要因と考えられる。同様に、着底時の濁りも算出したところ、浚渫土単体の2.16g/kg-wetに対し、カルシア改質土は0.60g/kg-wetと3割程度に抑制されていた。そのため、落下中の濁りと着底時の濁りを合計した全濁り発生量は浚渫土の24.8gに対し、カルシア改質土では6.7gと改質前の3割程度に抑制されていることが確認された。

#### 3.2 投入後の巻き上がり抑制効果

カルシア改質土は、固化により浚渫土単独に比べて耐波浪性が向上した材料である。しかし、施工直後のまだ固化していない段階では、波力による巻き上がりにより濁りが発生することが想定されるため、造波可能な海域環境シミュレータを用いて確認実験を行った。

実験は、浚渫土単独とカルシア改質土（改質材の容積

表3 浚渫土及びカルシア改質材の物性値<sup>2)</sup>  
Physical properties of dredged soil and steelmaking slag

	Soil density (g/cm <sup>3</sup> )	Wet density (g/cm <sup>3</sup> )	Surface dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Grain size distribution (%)				Water content (%)
				Gravel	Sand	Silt	Clay	
Dredged soil	2.685	1.320	-	-	-	-	-	154.2
Steelmaking slag	3.269	-	2.995	68.6	25.9	5.5		-

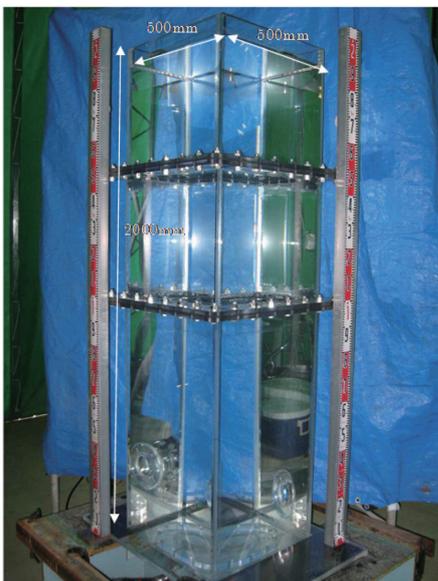


写真1 水槽試験状況<sup>2)</sup>  
Water tank for turbidity experiment

表4 水槽試験結果<sup>2)</sup>  
Result of turbidity experiment by water tank

		Dredged soil	CaO-improved soil
Slag volume ratio		0%	30%
Cylinder flow (cm)		14.3	8.8
Wet density (g/cm <sup>3</sup> )		1.32	1.71
Situation of test			
Velocity of fall (m/s)		0.49	0.83
Unit turbidity	Turbidity of falling (g/m/kg-wet)	5.29	1.38
	Turbidity of after falling (g/kg-wet)	2.16	0.60
Total turbidity (g)		24.8	6.7

混合率 30%) の 2 ケースで実施した。また、材質の硬軟の差が無いようにするため、カルシア改質土の混合直後のフロー値が、浚渫土単独のフロー値：11cm と同一になるように、加水にてフロー値の調整を行った。

浚渫土単独とカルシア改質土をそれぞれ 10L コンテナ (336mm × 194mm × 156mm) 1 箱に充填し、それぞれ 2 基の海域環境シミュレータに設置した。海域環境シミュレータの水深は、海水 (東京湾) を用いて 300mm とした。また、造波条件は、波高 1.5cm, 周期 2s とした。造波時間は最長 18 時間とし、その間、濁度の計測を実施した。その概要を図 1 に示す。

波による各材料 (浚渫土とカルシア改質土) の巻き上がりの状況を写真 2 に示す。また、濁度～経過時間関係を図 2 に示す。

浚渫土単独では、実験開始から約 10 分で濁りが著しく

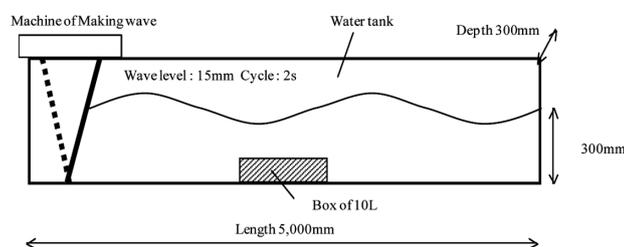


図 1 実験概要  
Image of experiment

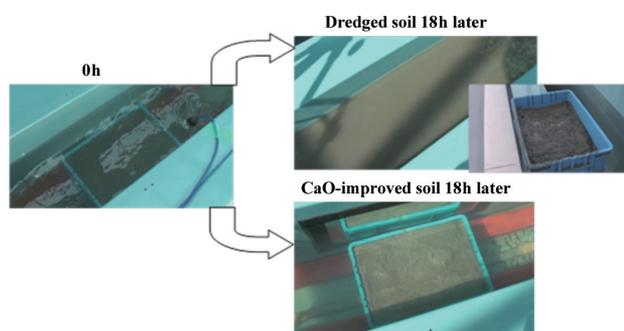


写真 2 巻き上がり実験状況  
Situation of experiment of turbidity

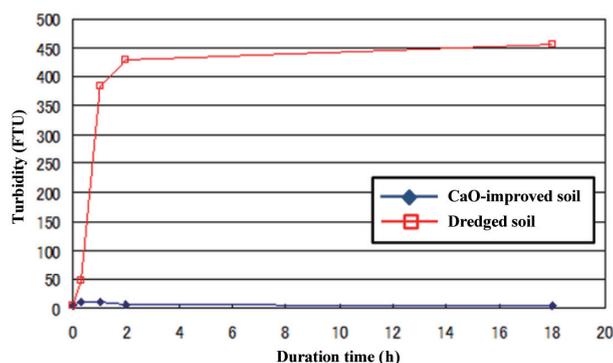


図 2 濁度～経過時間の関係  
Relationship between turbidity and duration time

なり、実験完了の 18 時間後には 10L コンテナ内の浚渫土の約半数が流出する結果となった。一方、カルシア改質土では、実験開始の混合直後は若干の濁りが発生したものの、時間経過とともに固化が進み、実験完了の 18 時間後では濁りが極めて少ない結果となった。

上記の特性により、カルシア改質土を活用することで、トレミー管や汚濁防止膜 (柵) を用いた施工が困難な海域においても、濁り発生を抑制した施工が可能であると考えられる。

#### 4. 実海域浅場施工事例

新日鐵住金(株)君津製鉄所の沖合に浅場を造成する目的で、君津製鉄所西護岸沖浅場造成工事 (2011 年 6～7 月) において、カルシア改質土を海底の窪地に投入した。図 3<sup>3)</sup> に施工断面図を示す。浅場の造成は窪地周辺を水和固化体で築堤した後に、窪地に改質土を投入し、カルシア改質土上面を山砂と鉄分供給ユニット (ビバリーロック) でそれぞれ覆土して施工を行った (浅場面積：70m × 160m)。改質土の施工は、写真 3<sup>3)</sup> に示すように全開式の土運船内で大型バックホウによって改質土を混合し、混合後に土運船から最大水深約 10m の海底まで直接投入する方法で行われた。改質土の製造・投入数量は 15200m<sup>3</sup> であった。

本工事において、図 4<sup>2)</sup> に示すように、土砂投入地点を中心とした半径 100m の円内に観測地点を複数設置し、多項目水質計により土砂投入時の海面から海底付近まで深度方向の浮遊物質質量 (SS) 濃度の測定を実施した。測定結果を表 5<sup>2)</sup> に示す。投入ケースは、水槽実験と同様に浚渫土単体とカルシア改質土で実施し、カルシア改質土は改質材混合量 30vol% のものとした。投入前のシリンダーフロー

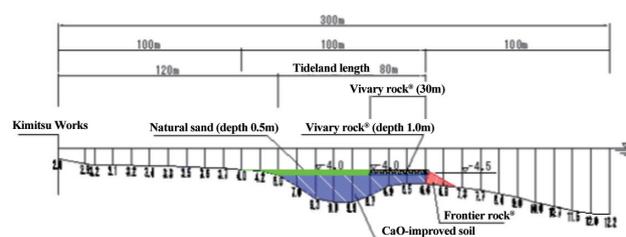


図 3 浅場造成断面<sup>3)</sup>  
Tideland cross section



写真 3 施工状況<sup>3)</sup>  
Situation of construction

値は浚渫土単体で 14.3cm, カルシア改質土で 8.7cm と水槽実験とほぼ同等の結果が得られた。土砂の海中投入直後から 70 分間水質測定を実施し、平面方向、深度方向の分布と発生量を加味して濁り分布平面図を作成した。

投入直後の分布を見ると、浚渫土単体に比較してカルシア改質土は濁りが全体的に少ないことがわかる。これは水槽実験と同様の傾向である。また、濁り分布は浚渫土単体、カルシア改質土共に時間の経過につれて全体的に濁りが消失していくが、カルシア改質土の方が濁りの消失が早いことがわかる。これは、表 3 にも示したようにカルシア改質土は密度が大きいことから、濁りの沈降速度も速いため

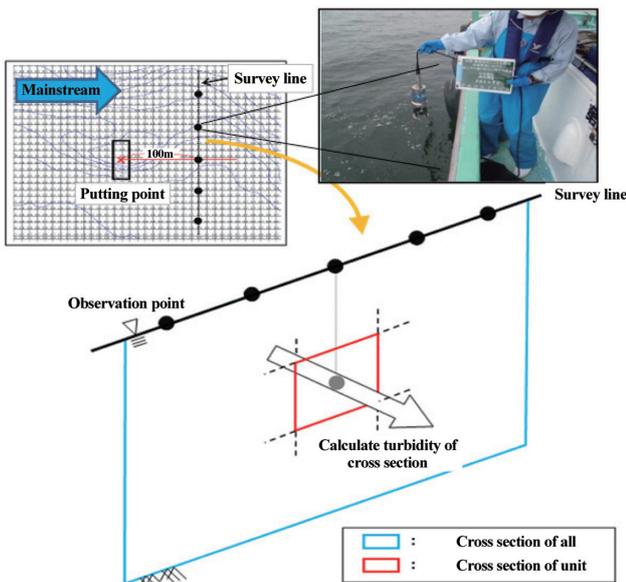


図 4 現場水質調査方法<sup>2)</sup>  
Observation method of turbidity in site

あると考えられる。投入後 70 分間に測定された実測 SS 濃度から式 (1) を用いて濁りの総量を算定し、濁りの発生原単位として定義した。

$$\text{濁りの発生量 (g)} = [\text{各地点} \cdot \text{各水深帯での濁り (g/m}^3\text{)} \times \text{断面に直交する流速 (m/s)} \times \text{各地点} \cdot \text{各水深帯の断面積 (m}^2\text{)} \times \text{観測時間 (s)}] \quad (1)$$

浚渫土単体の  $21.2 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$  に対してカルシア改質土は  $6.7 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$  と 3 割程度に抑制されていることがわかった。

## 5. 施工後モニタリング事例

### 5.1 水質モニタリング

浅場造成後には、周辺の水質や海藻、生物の生育状況に関するモニタリング調査を継続している。造成した浅場を実験区 (S2) とし、実験区から護岸に沿って 300m 離れた地点を対象区 (T2) と設定した。対象区は、水深が 6m 程度であり、実験区の施工前の状況に類似していることから、S2 と T2 を比較することで浅場造成による差異を測定できると考えた。2011 年 9 月に実施した溶存酸素の測定結果を図 5<sup>4)</sup> に示す。溶存酸素濃度が 2.0mg/l 未満の状態は貧酸素状態と呼ばれ、貧酸素状態になる期間が短い方が、生物が生息しやすい環境とされる。S2 は T2 と比較して貧酸素状態になる期間が短くなっており、深掘れ窪地をカルシア改質土で埋戻すことで貧酸素状態が解消されていることがわかる。

### 5.2 生物モニタリング

2011 年 10 月に海藻を移植し、2012 年 8 月に生育調査や生物の生息調査を実施した。写真 4<sup>4)</sup> に観測された生物の

表 5 土砂投入時の濁り測定結果<sup>2)</sup>  
Turbidity of putting in the sea

	Dredged soil		CaO improved soil	
	Plan	Cross section	Plan	Cross section
1 minutes later				
30 minutes later				
60 minutes later				
Unit turbidity (t/m <sup>3</sup> )	$21.2 \times 10^{-3}$		$6.7 \times 10^{-3}$	

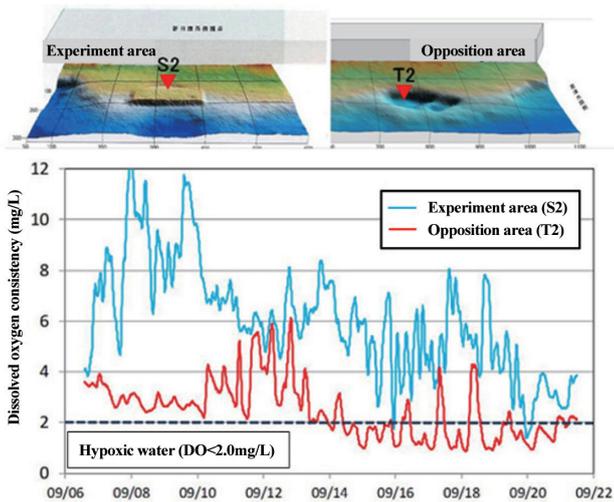


図5 浅場造成による溶存酸素濃度の変化<sup>4)</sup>  
Dissolved oxygen consistency in experiment area and opposition area

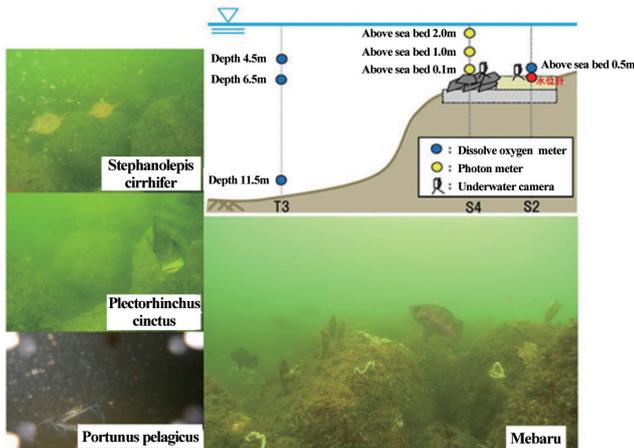


写真4 間欠撮影による魚類のい集の状況<sup>4)</sup>  
Fishes in experiment area

代表例を示すが、良好な藻場・漁場環境に変遷しつつあることを確認しており、近隣の漁業者の期待も高まっている。今後も継続してモニタリング調査を継続していく予定である。

## 6. 結 言

カルシア改質土の浅場造成材としての有用性について、下記の知見を得た。

- 1) カルシア改質土は重金属溶出、生物毒性に関して安全である。
- 2) 浚渫土をカルシア改質土にすることによって、水中投入時の濁り発生量を浚渫土の3割程度に抑制することができる。
- 3) 浚渫土をカルシア改質土にすることによって、波による巻き上がりを抑制することができる。
- 4) 深掘れ窪地をカルシア改質土で埋め戻すことによって、貧酸素状態を解消できる。
- 5) カルシア改質土で浅場マウンドを造成することによって、良好な漁礁、藻場を創出していくことが可能である。

## 謝 辞

濁り抑制効果の調査にご協力頂いた、東亜建設工業(株)、いであ(株)に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 愛知県庁 HP : <http://www.pref.aichi.jp/0000047781.html>
- 2) 山越陽介, 赤司有三, 中川雅夫, 御手洗義夫, 永留健, 五十嵐ひろ子, 高石謙介, 森川正仁: カルシア改質土の全開バージ直投時における濁り発生抑制効果(その3: 水中投入時の濁り調査結果). 第67回土木学会年次学術講演会. VI-296, 2012.9, p. 593-594
- 3) 永留健, 御手洗義夫, 五十嵐ひろ子, 高石謙介, 坂本暁紀, 森川正仁, 赤司有三, 山越陽介: カルシア改質土の全開バージ直投時における濁り発生抑制効果(その2: 実施工での品質管理試験結果). 第67回土木学会年次学術講演会. VI-296, 2012.9, p. 591-592
- 4) 中川雅夫: 鉄鋼スラグ製品による海域環境改善技術への取り組み. 環境技術. 42(7), 27-32 (2013.7)



山越陽介 Yosuke YAMAGOSHI  
君津製鉄所 資源エネルギー部  
スラグ技術室  
千葉県君津市君津1番地 〒299-1141



小杉知佳 Chika KOSUGI  
先端技術研究所 環境基盤研究部  
主任研究員 博士(水産科学)



赤司有三 Yuzo AKASHI  
設備・保全技術センター 土木建築技術部  
スラグ利用技術室長



横尾正義 Masayoshi YOKOO  
君津製鉄所 資源エネルギー部  
スラグ営業室 主幹