

## 気泡混合土の環境影響評価

木村 志 照      三浦 俊 彦  
 武田 厚        千野 裕 之  
 (シールド技術部)

### Evaluation of the Environmental Impact of a Soil Mixed with Foam

Yukinobu Kimura    Toshihiko Miura  
 Atsushi Takeda    Hiroyuki Chino

#### Abstract

Foam agents used for a method of rheological foam shield-tunneling are comprised of mainly anionic surfactants which are toxic to fish. The environmental impact of this toxicity can be reduced by biodegradation. In this paper, the behavior of foam agent materials and soil mixed with the foam is investigated. A newly developed foam agent, "Leo-foam OL-10", and the conventional foam agent, are considered and compared. The environmental impact of the soil following disposal into water is evaluated. Results confirm that the majority of the materials comprising OL-10 can be absorbed into soil and completely biodegraded, even if they are eluted from the soil in the water. The evaluated materials are therefore determined to be environmentally friendly.

#### 概 要

気泡シールド工法において使用される起泡材は、シールド掘進時に必要な性能等から、陰イオン界面活性剤を主成分としている。陰イオン界面活性剤は魚毒性を示すが環境中で速やかに生分解され環境影響の小さな材料である。これまでの陰イオン界面活性剤の環境影響は、材そのものの生態影響評価がほとんどである。しかし、実際の工事では、起泡材は気泡混合土中に含まれ排出される。そこで、気泡混合土を海面または海洋処分することを考慮し、従来よりも少ない使用量で同等以上の性能を得られる起泡材として開発したレオフォーム®OL-10と従来材を実際の施工条件と同様に気泡混合土にした状態での環境影響評価を行った。結果、OL-10は、魚毒性を示すものの、大部分が土へ吸着され、溶出が抑制されること、気泡混合土から水中に溶出しても容易に生分解されることから、環境影響は小さいことが示された。

#### 1. はじめに

気泡シールド工法は、泥土圧シールド工法のひとつであり、添加材として気泡を使用する。シェービングクリーム状の気泡を注入することで、チャンバー内の掘削土の流動性と止水性を向上させ、かつ、掘削土の付着を防止できる。これにより、切羽の安定を保持しつつ、スムーズな掘進が可能となる。砂礫層から粘性土層までの広い範囲の地質に適用可能であり、地質変化への適応性が高い。また、排出された気泡混合土は、時間とともに消泡する。自然に消泡しにくい場合でも、特殊消泡材を散布することで消泡し、ほぼ元の土砂の性状へ戻るため、後処理が容易である。このため、泥土圧シールドで用いられる他の掘削用添加材に比べて比較的材料費が安く、使用量も少ない工法であり、近年では、適用事例が多いシールド工法のひとつである。

気泡シールド工事で使用される起泡材の主成分としては、陰イオン界面活性剤が使用されており、特にアルファオレフィンスルホン酸塩(AOS)系が広く使用されている。陰イオン界面活性剤は、家庭用や工業用などで広く利用されている。かつては、下水処施設等で処理されないまま公

共用水域に流入していたため、生分解性や植生への影響、魚毒性等の水中生物等の生態毒性などの環境影響が広く調べられている。合成洗剤が普及した当初は、生分解性の低いアルキルベンゼンスルホン酸塩(ABS)が使用されていた。しかし、1960年代はじめに河川での発泡が問題になって以降、比較的分解性の高い直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)、アルファオレフィンスルホン酸塩やアルキルエーテル硫酸エステル塩(AES)などが開発された。これらは環境中において数週間で完全に生分解することが報告されている<sup>2)</sup>。一方で、これらの界面活性剤は魚毒性を有することが報告されている<sup>3)</sup>。Table 1に淡水・海水魚に対する96時間半数致死量(96hrLC<sub>50</sub>)を示す。実際の工事において起泡材を使用する際には、数十倍～数百倍に希釈した溶液を使用することや、陰イオン界面活性剤が環境中で微生物によって分解される(以下、生分解性と記す)ことなどから、実際の水生生物への被害が報告された例は少なく、環境影響の小さな材料と言える。しかし、これまでシールドから排出される気泡混合土としての環境影響を定量評価した事例は少ない。このため、実際に排出される気泡混合土としての環境影響を定量的に評価し、安全性を確

Table 1 陰イオン界面活性剤の96時間半数致死濃度(96hrLC<sub>50</sub>)<sup>2)</sup>  
Anionic Surface Agents of 96hrLC<sub>50</sub>

陰イオン界面活性剤	96hr LC <sub>50</sub> (mg/L)			
	淡水域			海域
	ヤマメ	ニジマス	コイ	ボラ
アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS, 平均アルキル鎖長11.7)	4.4	4.7	4.4	1.3
アルファオレフィンスルホン酸塩(AOS, アルキル鎖長16~18)	0.56	0.78	1.0	0.70
アルキルエーテル硫酸エステル塩(AES, アルキル鎖長12~15)	3.2	4.4	5.6	1.5

Table 2 従来材とOL-10の生態急性毒性比較<sup>6)</sup>  
Comparison between Conventional Material and OL-10 in Ecotoxicity

起泡沫材	淡水域(mg/L)			海水域(mg/L)		
	魚類	甲殻類	藻類	魚類	甲殻類	藻類
	ヒメダカ	オオミジンコ	緑藻	マダイ	シオダマリミジンコ	珪藻
従来材 (原液)	14(96hr)	—	—	1.9(96hr)	2.8(24hr)	4.5(96hr)
OL-10 (原液)	22(96hr)	4.3(48hr)	4.1(72hr)	4.2(96hr)	17(48hr)	3.8(72hr)

認する事は重要である。

そこで本報では、従来から工事で使用しているアルファオレフィンスルホン酸塩を主成分とした起泡沫材(以下、従来材と記す)と、新たに開発した低濃度で高発泡・高粘性の気泡を安定的に生成できる起泡沫材レオフォームOL-10<sup>4)</sup>(以下、OL-10と記す)の2種類を対象に、当該起泡沫材の環境中での基本的な生態毒性に加え、実際のシールド工事で排出される気泡混合土の環境影響パラメータとして、気泡混合土中の起泡沫材の生分解性・吸着特性、溶出特性について評価した結果を報告する。

## 2. 起泡沫材の水生生物に対する毒性

ここでは、従来材とOL-10の水生生物に対する基本的な毒性比較のため、淡水域および海水域の魚類、甲殻類、藻類を対象とした生態急性毒性試験を調査した結果について報告する。

### 2.1 生態急性毒性試験

**2.1.1 試験方法** 試験方法は、OECDテストガイドライン<sup>5)</sup>に従い、水温20±1℃、半止水式で行い、24~96時間後に各種水生生物の半数が致死する濃度(LC<sub>50</sub>)を求めた。ただし、従来材の原液は、AOSを主成分としているが、その濃度や添加物は、メーカーにより様々であり、一定ではない。ここでは、最も一般的な濃度であると思われるAOS30%を原液とした材料でかつ添加物のない材料を従来材として使用した。

**2.1.2 試験結果** Table 2に、従来材とOL-10の生態急性毒性の調査結果を示す。魚毒性として一般的に示されることの多いヒメダカでは、共に原液として従来材が14mg/L、OL-10が22mg/L、海水域の魚類としてのマダイでは、従来材が1.9mg/L、OL-10が4.2mg/Lであった。OL-10の水生生物

に対する生態毒性は、水生生物の種類によってことなるが、概ね従来材の1~6倍低い値を示していた。しかし、生態毒性は試験の条件等により左右されるため、一般的に10倍以上の差がないと同程度レベルとされることから、従来材とOL-10に大きな違いはないものと考えられる。ただし、両材の最低使用濃度は、従来剤で1%、OL-10では0.5%となるため、より低濃度で使用されるOL-10の方が生態急性毒性は、低いと考えられる<sup>6)</sup>。

## 3. 起泡沫材の特性

工事で使用する起泡沫材の環境影響を評価する際には、単純に起泡沫材自体の生態毒性のみの評価ではなく、実環境では、Fig. 1 に示す様に起泡沫材を含んだ気泡混合土が、河川や海水に投入された場合に生じる土への吸着等による起泡沫材の溶出抑制や溶出した後に微生物による生分解などによる減少も考慮する必要がある。このため、起泡沫材の生分解や土への吸着等の現象の評価が重要となる。ここでは、起泡沫材の生分解性と土への吸着性について調査した結果について報告する。

### 3.1 起泡沫材の生分解性

**3.1.1 試験方法** 生分解の試験法は多数あるが、ここではOECDテストガイドライン<sup>5)</sup>に基づいて、活性汚泥(好気性微生物を含み有機物を分解するもの)を用い淡水での分解度試験(OECD301F, Manometric Respirometry試験)と海水による生分解試験(OECD306)を実施した。Table 3に両試験の試験条件を示す。淡水での分解度試験は、起泡沫材濃度を100mg/Lとし、分解に寄与する微生物源である活性汚泥濃度は30mg/L、試験温度は25±1℃で28日間実施し、閉鎖系酸素消費量測定装置による生物化学的酸素要求量(BOD)を測定した。一方、海水による生分解試験は、起泡沫材の初

期濃度を全有機炭素(TOC)値として、30~40mg/Lとした。微生物源は東京湾で採取した海水で、試験温度は20±2℃、試験期間は90日間で、定期的に培養液を採取して起泡材の完全分解としてのTOC濃度、起泡材の一次分解としてのメチレンブルー活性物質濃度(以下、MBAS濃度)を測定した。Table 4に使用した海水の水質条件を示す。

3.1.2 試験結果 Fig. 2 に淡水での分解度試験の結果を示す。14日後には、両材ともBOD分解度が60%を超え、28日後のBOD分解度は、従来材で平均85%であったのに対して、OL-10が平均93%であった。また、基準物質としてアニリンの分解度も測定しているが、平均で78%であり、どちらの材も良分解性であった。若干ではあるがOL-10は従来材よりも早く分解されることを示している<sup>6)</sup>。

Fig. 3 ~Fig. 6に海水による生分解試験の結果を示す。MBAS濃度は、いずれの材も初期から大きく低減し、15日後には99%以上低減した。TOC濃度も初期から減少するが、その減少率はMBASよりも緩やかであり、90日後でOL-10は約3%、従来材は約14%残留した。完全分解に要する時間は、OL-10の方が従来材よりも短いと言える。また、MBAS濃度とTOC濃度を比べると、TOC濃度結果から完全分解には時間を要する。しかし、MBAS濃度の結果から一次分解で毒性の原因である陰イオンの界面活性剤が、初期に大きく減少することから、生物へのリスクは低減すると考えられる<sup>7)</sup>。OL-10は従来材に比べると分解が早い傾向にあるため、2章で示したOL-10における生態毒性の結果と本章における生分解性の速さから、従来材に比べOL-10の方が生物への影響は小さいと判断できる。

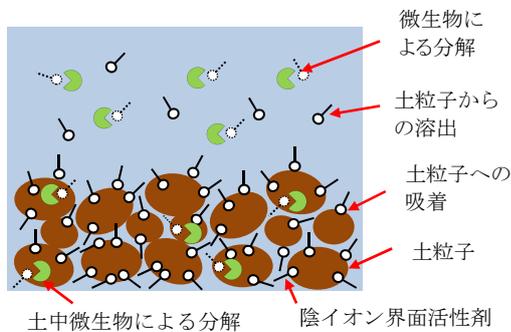


Fig. 1 気泡混合土からの溶出イメージ  
Image of Elution from Foam Mixed Soil

Table 3 生分解性試験の条件<sup>6)</sup>  
Conditions for Biodegradability Test

項目	淡水での分解度試験(OECD301F)	海水による生分解試験(OECD306)
被検物質	原液100mg/L	(TOC)30~40mg/L
微生物源	活性汚泥30mg/L	海水
試験液量	300mL	300mL
温度	25±1℃	20±2℃
期間	28日間(暗所)	90日間(暗所)
測定項目	BOD濃度	TOC, MBAS濃度
その他	2連実施。基準物質としてアニリンを使用	

Table 4 使用した海水の水質条件  
Conditions for Seawater

pH	8.6 (20.5℃)
EC	3,300 mS/m
TOC	3.6 mg/L
T-N	1.3 mg/L
NH <sub>4</sub> -N	0.12 mg/L
T-P	0.18 mg/L
PO <sub>4</sub> -P	0.048 mg/L
一般細菌数	640 CFU/ml

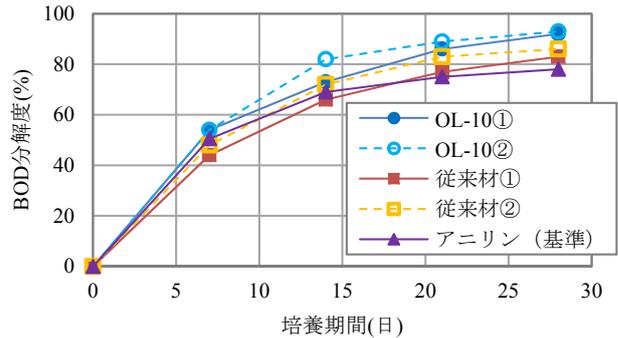


Fig. 2 淡水での分解度試験(OECD301F)結果<sup>6)</sup>  
Results of Degradation Test in Freshwater (OECD301F)

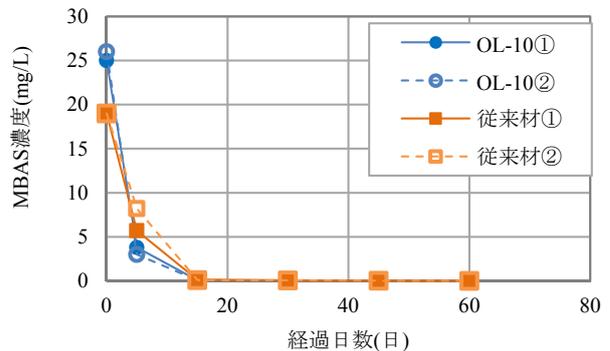


Fig. 3 海水での分解度試験結果(MBAS濃度)<sup>6)</sup>  
Results of Degradation Test in Seawater  
(Concentration-MBAS)

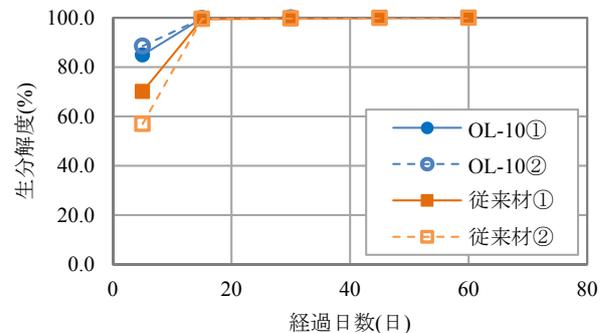


Fig. 4 海水での分解度試験結果(MBASでの分解度)  
Results of Degradation Test in Seawater (Degradation-MBAS)

### 3.2 界面活性剤の土への吸着

溶液としての起泡沫材は、比較的早く生分解することがわかった。しかし、実際のシールド工事では切羽面やチャンパー内に気泡を注入、混合し、掘進時に土砂とともに排出される。このシールド排土を水中投入処分する際に、添加された起泡沫材が全て溶解し、水中に放出されるわけではなく、シールド排土に吸着される量も多い。ここでは、起泡沫材が土にどの程度吸着するのかを調べるために起泡沫材を溶解させた海水に土を添加したバッチ試験から吸着等温線を求めた。

**3.2.1 試験方法** 従来材とOL-10を50~1,000mg/L溶解した海水に、Table 5に示した土丹と砂質土(ともに2mm以下に粒度調整)を液固比10で添加し、120rpmで24時間振とうを行った。その後、3,000rpmで20分遠心分離を行い、上澄み液を0.45μmメンブレンフィルターでろ過後、MBAS濃度を測定した。また、MBAS濃度から起泡沫材濃度を推定するために、水または海水に一定量の起泡沫材を添加した溶液のMBAS濃度を測定し、検量線を作成した。

**3.2.2 試験結果** Fig. 7に起泡沫材濃度とMBAS濃度の関係を示す。起泡沫材濃度はMBAS濃度で5~10倍の範囲にあった。本試験では海水を用いているため、起泡沫材濃度を算出する際は、MBAS濃度に対して、従来材は8.79倍、OL-10は9.35倍を乗じて算出した。

Table 6に吸着試験の結果を、Fig. 8に吸着等温線を示す。

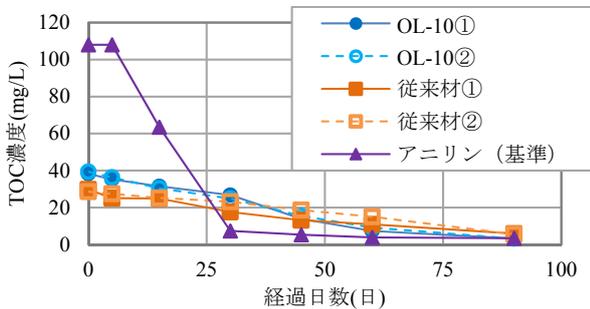


Fig. 5 海水での分解度試験結果(TOC濃度)<sup>6)</sup>

Results of Degradation Test in Seawater (Concentration-TOC)

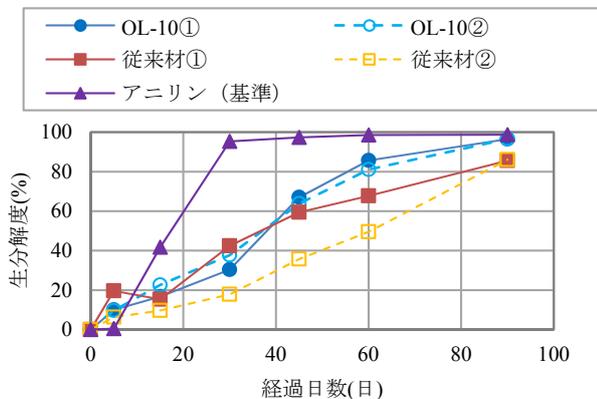


Fig. 6 海水での分解度試験結果(TOCでの分解度)

Results of Degradation Test in Seawater(Degradation-TOC)

Table 5 試料土の性状<sup>5)</sup>

Property of Sample Soil

項目	単位	土丹	砂質土
含水比(調整後)	%	45.0	5.0
土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.673	2.696
粒度	礫分 2~75mm	%	0.0
	砂分 0.075~2mm	%	15.0
	シルト分 0.005~0.075mm	%	66.4
	粘土分 0.005mm以下	%	18.6
最大粒径	mm	2	4.75
分類名	-	砂質 シルト	細粒分 混じり砂

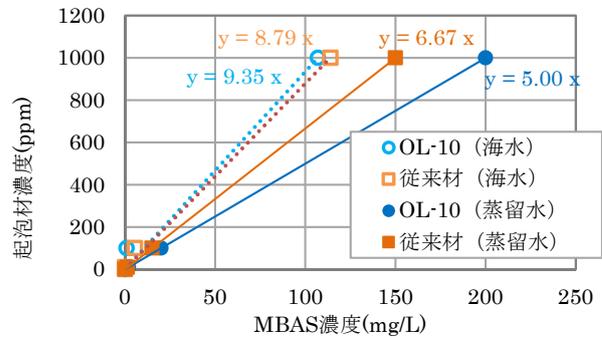


Fig. 7 起泡沫材濃度とMBAS濃度の関係<sup>6)</sup>

Relations of Foaming Agent and MBAS Concentration

Table 6 吸着試験の結果

Results of Absorption Test

試料土	起泡沫材		pH	MBAS濃度 (mg/L)	平衡濃度 (mg/L)	土への吸着量 (mg/g)	吸着率 (%)	
	種類	濃度 (mg/L)						
土丹	O	50	7.4	0.48	4.49	0.26	91.0	
		L	100	7.6	0.36	3.37	0.55	96.6
		-	500	7.5	6.30	58.91	2.50	88.2
		10	1,000	7.5	15.30	143.06	4.86	85.7
	従来材	50	7.6	0.23	2.02	0.27	96.0	
		100	7.6	0.53	4.66	0.54	95.3	
		500	7.6	6.80	59.77	2.50	88.0	
		1,000	7.6	13.10	115.15	5.01	88.5	
砂質土	O	50	7.7	0.03	0.28	0.28	99.4	
		L	100	7.7	0.16	1.50	0.56	98.5
		-	500	7.5	4.90	45.82	2.57	90.8
		10	1,000	7.2	25.10	234.69	4.34	76.5
	従来材	50	7.5	0.04	0.35	0.28	99.3	
		100	7.6	0.51	4.48	0.54	95.5	
		500	7.2	13.40	117.79	2.17	76.4	
		1,000	7.5	58.10	510.70	2.77	48.9	

なお、ここで示す吸着率とは、起泡材の初期添加量に対する土への吸着の割合を示している。低濃度領域(起泡材濃度50mg/L, 100mg/L)では、いずれの起泡材も土丹・砂質土の両方に90%以上の吸着率を示し、添加した起泡材の大部分が土へ吸着されることが示された。一方、高濃度領域(500mg/L, 1,000mg/L)では、土丹では、両材とも85~88%の吸着率とやや低くなったのに対して、一般的に土丹よりも吸着サイトが少ないと考えられる砂質土では、OL-10で76.5~90.8%、従来材で48.9~76.4%と従来材の吸着率がOL-10に比べ大きく低下した。この結果からOL-10は、従来材に比べ砂質土においても吸着されやすく、起泡材を含むシールド排土から溶解するリスクが小さい<sup>6)</sup>ものと考えられる。

#### 4. 気泡混合土の溶出特性

ここまで、起泡材の生分解性および土への吸着特性を述べてきた。しかし、実際のシールド工事においては、起泡材は掘削土砂に混合された気泡混合土として排出される。そのため気泡混合土からの起泡材の溶出は、添加された起泡材に対し、土への吸着による溶出抑制と水中に溶出してきた起泡材が微生物等の生分解による溶出濃度の低下が同時にかつ、経時的に変化しながら生じる溶出特性を有していると考えられる。ここでは、気泡混合土からの溶出特性について、バッチ溶出試験およびタンクリーチング試験にて調査した結果について報告する。

##### 4.1 気泡混合土のバッチ溶出試験

バッチ溶出試験では、界面活性剤の溶出量基準が示されている環告13号(建設汚泥の海洋投入処分に係る溶出量基準)および環告14号(浚渫土砂等の海洋投入処分に係る溶出基準)を実施した。それぞれの溶出基準は、環告13号では、陰イオン界面活性剤がMBAS濃度として不検出(0.05mg/L)、環告14号では、MBAS濃度として0.5mg/L以下である。なお、試験では実際のシールド工事において気泡混合土が、発生から処分までに数日程度を仮置されることから、仮置時間(ここでは、養生時間と記載する)と溶出量の関係を合わせて調べた。

**4.1.1 試験方法** 試験土は、3.2.1のTable 5に示した土丹と砂質土の2種類を、9.5mm以下に粒度調整して用いた。試験条件をTable 7に示す。従来材は1%濃度に希釈した溶液を技術資料<sup>1)</sup>に従って8倍発泡させて、土丹に対しては30v/v%と60v/v%、砂質土に対しては30v/v%添加混合した。OL-10は、0.5%に希釈した溶液を10倍発泡させて、添加量は従来材と同様とした。作製した気泡混合土は、ビニール袋上部に空気たまりを設け密閉した状態で、養生した。所定時間養生(混合直後、3時間、6時間、12時間、1日、3日、7日)後に環告13号と環告14号溶出試験を実施してMBAS濃度を測定した。

**4.1.2 試験結果** Fig. 9とFig. 10に環告13号・14号溶出試験における養生時間と溶出量、Fig. 11とFig. 12に添加起

泡材量に対する溶出量の割合として溶出率の結果を示す。Fig. 9とFig. 10から従来材、OL-10ともに養生日数とともに溶出量が減少した<sup>5)</sup>。3.2で示したように気泡材自体の土への平衡吸着量は、OL-10は従来材と同程度以上であったが、Fig. 11に示すように、環告13号試験では、土丹、砂質土とともに養生期間が比較的短い0.5日までは、OL-10の方がやや溶出率が多くなった。またFig. 12に示すように、環告14号試験においても、土丹で養生0.125日まで、砂質土で養生0.5日までは、OL-10の方がやや溶出率が多くなった。これは、養生時間が短い場合、OL-10の気泡が従来材の気泡より強く<sup>4)</sup>破泡しないため溶液の状態に戻っていなかったと

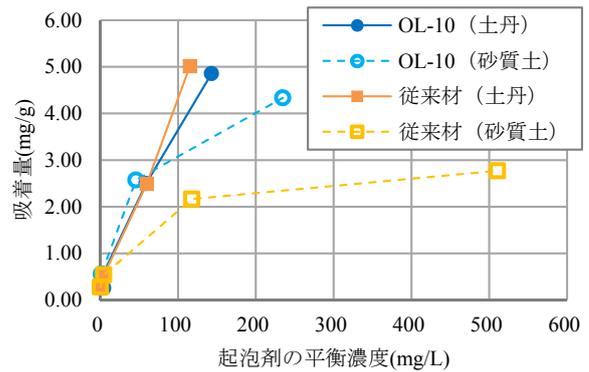


Fig. 8 起泡材の吸着等温線  
Adsorption Isotherm of Foaming Agent

Table 7 試験ケース<sup>6)</sup>  
Case of Dissolution Test

起泡材	濃度 (%)	発泡倍率	添加量 (v/v%)	試験土	養生期間 (日)
OL-10	0.5	10	30	土丹	0~7
			60	土丹	0~7
			30	砂質土	0~7
従来材	1.0	8	30	土丹	0~7
			60	土丹	0~7
			30	砂質土	0~7

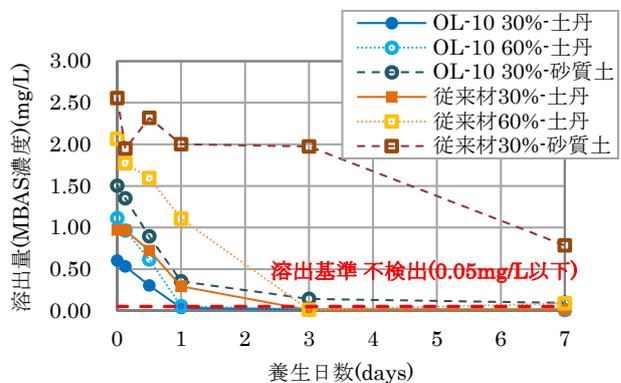


Fig. 9 養生日数と環告13号溶出量の関係<sup>6)</sup>  
Relationship between Curing Days and Dissolution Volume  
(Environment Agency Notification No. 13)

考えられ、起泡材が土に吸着されず、溶出しやすい状況であったものと推察される。このことから、気泡混合土ではOL-10の方が従来材よりも吸着平衡に達する時間が少し長くなると考えられる。

一方、養生時間が比較的長い1日以上の場合、OL-10の方が土丹、砂質土ともに溶出率が低い。これは、養生時間中に吸着平衡に達したため、土への吸着による溶出抑制が高くなったことが要因であると考えられる。以上から、従来材とOL-10の両者とも、養生時間とともにMBAS濃度は低減し、3日程度で基準値以下に達するが、従来材よりもOL-10の方が、溶出率の低減量が大きくなることがわかった。特に砂質土のケースでは従来材の低減量は小さく、7日養生でも基準値以下にならなかった<sup>6)</sup>。

#### 4.2 起泡混合土のタンクリーチング試験

前述の試験結果から、起泡材は、土に吸着されやすく、一部が海水等に溶解してもすぐに生分解されるため、環境に与える影響は小さいと考えられた。ここでは、その傾向をより実際に近い条件で確認することを目的に、水中に気泡混合土を投入後に、溶液中の起泡材濃度がどのように推移するかを調べた。

**4.2.1 試験方法** 従来材は1%濃度で10倍発泡させた気泡、OL-10は0.5%濃度で10倍発泡させた気泡を、土丹は60%、砂質土は30%添加し、よく混合した。海水または純水に、気泡混合土を液固比が1となるように添加し、上部の水を攪拌翼でゆっくり混合しながら室温で養生した。投入してから28日間養生し、その間定期的に溶液を採取して、3,000rpmで30分間遠心分離を行い、上澄み液のMBAS濃度を測定した。

**4.2.2 試験結果** Fig. 13とFig. 14に海水および純水のMBAS濃度の結果を、Fig. 15とFig. 16に添加起泡材量に対する溶出の割合として溶出率の結果を示す。なお、本結果はブランクとして海水と土砂のみのMBAS濃度を引いて算出している。気泡混合土投入直後のMBAS濃度は、土丹では小さく、砂質土では大きかった。これは起泡材が砂質土よりも土丹に吸着しやすいためである。比較的吸着しにくい砂質土においても、MBAS濃度は養生日数とともに低減し、従来材の砂質土以外のケースでは約7日間でMBAS濃度測定の定量下限値程度(本試験では、MBAS濃度で0.02mg/L以下)まで減少した<sup>5)</sup>。各材の溶出率を比べると海水において、従来材の溶出率はOL-10よりも高く、特に砂質土において突出して高い。一方、純水では直後の0.25日後において土丹、砂質土ともにOL-10の方が従来材よりも溶出率が高いが、時間の経過とともに逆転した。これは、4.1で述べた様に吸着平衡に達する時間を十分得たことで水中の起泡材が土に吸着された可能性が考えられる。また、土の微生物が存在しているか測定していないが、3.1からOL-10の生分解の速度は速いため、微生物が存在しており、溶出した起泡材がすぐに分解された可能性も考えられる。以上から、この吸着と生分解により、溶液中の濃度は小さく維持されたと考えられる。以上の結果より、気泡混合土

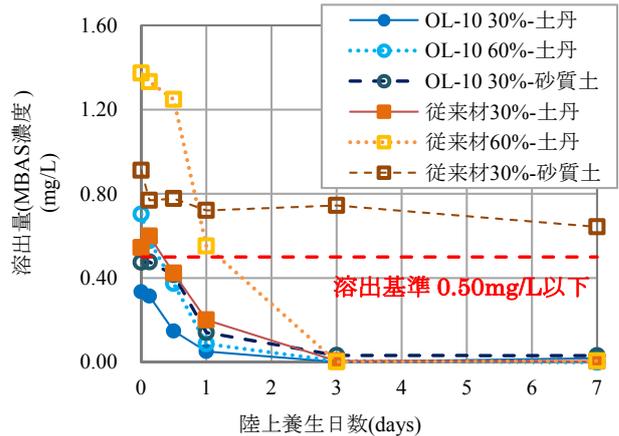


Fig. 10 養生日数と環告14号溶出量の関係<sup>6)</sup>

Relationship between Curing Days and Dissolution Volume (Environment Agency Notification No. 14)

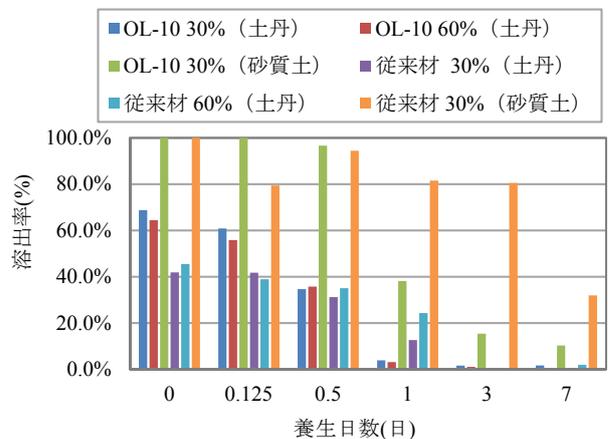


Fig. 11 養生日数と環告13号溶出率の関係

Relationship between Curing Days and Dissolution Rate (Environment Agency Notification No. 13)

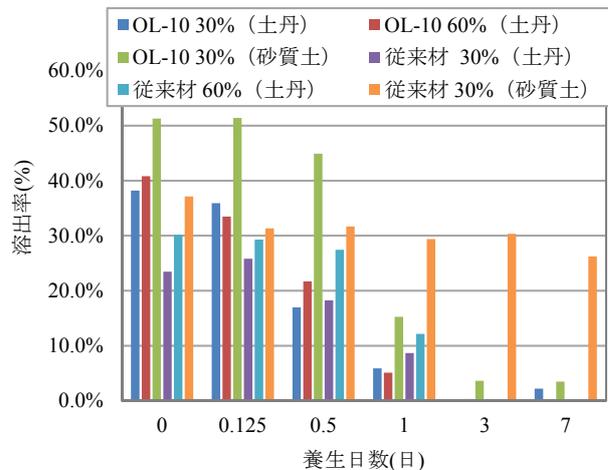


Fig. 12 養生日数と環告14号溶出率の関係

Relationship between Curing Days and Dissolution Rate (Environment Agency Notification No. 14)

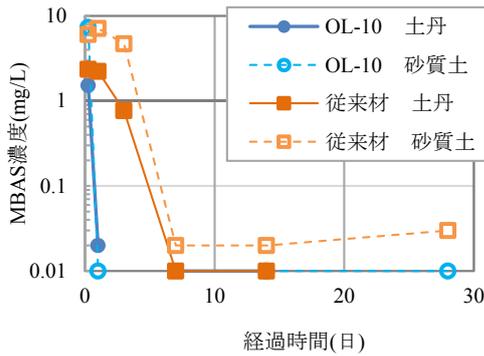


Fig. 13 MBAS濃度の結果(海水)<sup>6)</sup>  
Results of MBAS Concentration (Sea Water)

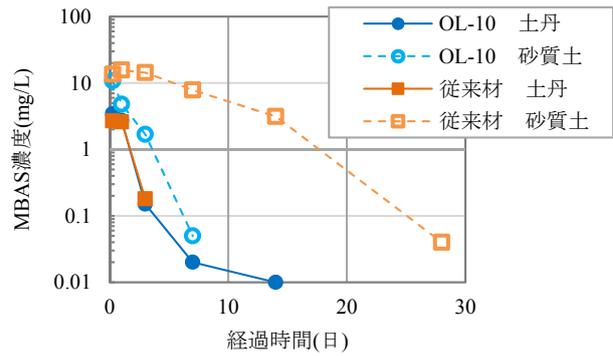


Fig. 14 MBAS濃度の結果(純水)<sup>6)</sup>  
Results of MBAS Concentration (Pure Water)

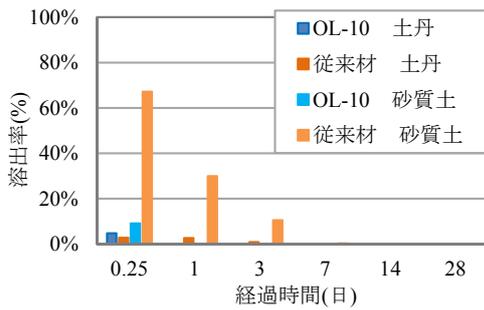


Fig. 15 溶出率の変化(海水)  
Change in Dissolution Rate (Seawater)

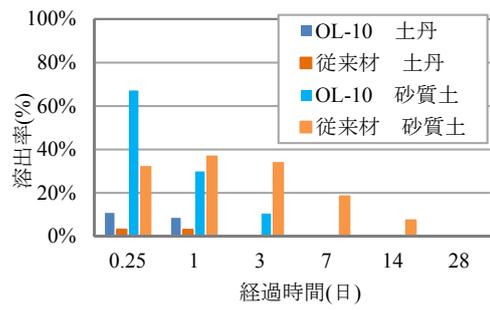


Fig. 16 溶出率の変化(純水)  
Change in Dissolution Rate (Pure Water)

からの起泡材の溶出に対して、OL-10は従来材に比べてMBAS濃度の低減にかかる時間が短いことがわかった。

## 5. まとめ

気泡シールド工事で使用される起泡材として、従来材および開発した「レオフォームOL-10」の環境影響を確認するため、起泡材自体の生態毒性評価だけでなく、実際の工事で排出される気泡混合土を対象とした環境影響性評価試験を実施した。以下に特性を示す。

- 1) OL-10と従来材の生態毒性に大きな差はなかった。従って、使用する濃度が小さいOL-10の方が生物に与える影響は小さい。
- 2) OL-10は、環境水中において完全分解にはある程度時間を要するが、従来材よりも一次分解は速く、生物に与える影響は小さい。
- 3) OL-10は従来材よりも土へ吸着しやすい傾向があり、シールド排土から溶解するリスクが少ない。
- 4) 実環境を模擬した気泡混合土からの海水への溶出において、OL-10は陸上養生時間、水中での経過時間によって大きく減少し、従来材よりも減少時間は短い。

以上から、陰イオン界面活性剤を主成分とする起泡材は、魚毒性を示すが、工事での使用時は希釈して使用するため濃度は低く、環境中で容易に分解することから環境影響は

小さいことが示された。実施工にあたっては、シールド排土を処分する環境等を鑑みた評価やモニタリング等が重要である。

## 謝辞

共同で気泡混合土の環境影響性評価を実施した産業技術総合研究所の保高氏、ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ株式会社およびライオン株式会社の関係各位に深謝致します。

## 参考文献

- 1) シールド工法技術協会：気泡シールド工法—技術資料—, pp. 1-23, 2011.8
- 2) 大場健吉：家庭用合成洗剤の環境問題, 油化学, 第24巻, 第11号, pp. 784-796, 1975. 11
- 3) 若林朋子他：洗剤に用いられる界面活性剤の魚毒性に関する研究, 東京都公害研究所年報pp. 114-118, 1984. 4
- 4) 木村志照他：シールド工事用の高発泡性起泡剤の開発, 大林組技術研究所報, No. 80, 2016. 12
- 5) OECD Guidelines for Testing of Chemicals (1992)
- 6) 三浦俊彦他：気泡シールド工事から発生する気泡混合土の環境影響評価, 第12回環境地盤工学シンポジウム, pp. 309-312, 2017. 9
- 7) 三浦千明, 増田光輝：界面活性剤の生分解, 油化学, 第43巻, 第4号, pp. 332-339, 1994. 3