

## 環境に配慮したシールドトンネル工事に用いる起泡剤の開発

三浦 俊彦 千野 裕之 木村 志照

高橋 寛 木村 勉

(本社生産技術本部)

(本社生産技術本部)

## Foaming Agent Reducing Environmental Effects for a Shield Tunnel

Toshihiko Miura Hiroyuki Chino Yukinobu Kimura

Hiroshi Takahashi Tsutomu Kimura

## Abstract

Anion surfactants with good biodegradability are used as foaming agents during shield tunnel construction, and hence, the environmental impact of foaming agents is small. However, foaming agents with a lower environmental impact are required if water with a high density of anion surfactants is temporally generated when the foam mixed with soil comes in contact with rain water, or if the foaming agent is thrown into a wet area at a disposal site. We developed new foaming agents with the same performance as typical foaming agents and a lower environmental impact. We investigated four anion surfactants in terms of their foam properties, the plastic flow of foam mixed soil, toxicity to fish (java killifish), and biodegradability. Sulfonate and sulfate were added with fatty alcohols to create highly foaming agents to improve foam properties and the plastic flow in foam mixed soil. The selected sulfate was equally biodegradable, but its toxicity to fish was about 1/24<sup>th</sup> as compared to typical foaming agents.

## 概 要

気泡シールドトンネル工事に使用する起泡剤には、通常生分解性の高い陰イオン界面活性剤が使用され、環境影響は小さい。しかし、気泡混合土の仮置きや、処分場への埋立ての際、雨水の浸透などによって一時的に高濃度の界面活性剤を含む水が、水域などの環境中に漏出する可能性があるため、さらに環境影響の小さい起泡剤が望まれている。従来から使用されている起泡剤と同じ性能を持ち、かつ環境影響の小さい新しい起泡剤の開発を目的として、4種類の陰イオン界面活性剤を対象に、起泡剤の発泡性や気泡混合土の塑性流動性、海水生物への魚毒性や生分解性を評価した。その結果、発泡性や気泡混合土の塑性流動性の確保のためには、スルホン酸塩または硫酸エステル塩に高級アルコールを併用した起泡剤が適当であること、および硫酸エステル塩の種類を選定することで、生分解性は従来の起泡剤と同じで、かつ魚毒性は従来の約1/24に低減できることがわかった。

## 1. はじめに

気泡シールドトンネル工事に使用する起泡剤は、主に陰イオン界面活性剤が使用されている。陰イオン界面活性剤は、家庭用や工業用の合成洗剤として広く利用され、公共水域に排出されることから、生分解性、植生への影響、魚毒性等の環境影響について従来から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が使用されていたが、その後、比較的分解性の高い直鎖型のアルキルベンゼンスルホン酸塩やアルファオレフィンスルホン酸塩、アルキルエーテル硫酸エステル塩等が開発された。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>1)</sup>。また、植物生育への影響としては、種子初期成長に影響する陰イオン界面活性剤の濃度が調べられており<sup>2)</sup>、その一部をTable 1に抜粋する。水稻に対して有害な影響を及ぼさない濃度は、アルキルベンゼンスルホン酸塩で20mg/L、アルファオレフィンスルホン酸塩は32mg/L程度であり、このような高濃度は河川等の水域では存在しないため、農作物へ影響を与える可能性

は小さいとされている<sup>2)</sup>。生態毒性の中でも人畜への毒性は低く、マウスあるいはラットの経口毒性は多くの場合半数致死量(LD<sub>50</sub>)が1000mg/kg以上である。一方、水生生物への影響としては、淡水魚に対する96時間半数致死濃度(LC<sub>50</sub>)が調べられており、Table 2に示すように、いずれの陰イオン界面活性剤についても数mg/L程度と厳しい値が報告されている<sup>3)</sup>。しかし、実際に使用される洗剤は、陰イオン界面活性剤を相当量希釈した溶液を使用していることや、環境中で生分解が進むこと、そして環境中に放出された陰イオン界面活性剤は、土粒子等と結合して存在するため、単独の界面活性剤と比較して魚毒性が低減されることが知られている<sup>1)</sup>。実際に水生生物への被害が報告された事例は少なく、環境影響の小さい材料と評価されている<sup>1)</sup>。

シールドトンネル工事に使用する起泡剤も、洗剤と同じ種類の陰イオン界面活性剤を主剤としており、生分解性に優れた環境影響の小さい材料である。しかし施工時に高濃度の起泡剤を含む土壌が大量に発生する場合があります。仮置き中に雨水が浸透し近傍の河川に流出する場合があります。海域等の処分場へ搬出される場合には、一時的に高

濃度の起泡剤を含む水が漏出する可能性がある。その際に懸念されるのは、半数致死濃度の低い水生生物への影響である。その対策として、できるだけ魚毒性の低い陰イオン界面活性剤を選定することや、気泡剤中の陰イオン界面活性剤の濃度を下げて使用することが有効である。

ここでは、現在の起泡剤と同等の性能を持つ魚毒性の低い陰イオン界面活性剤を選定した上で、起泡力を高める無害な安定補助剤を用いて、陰イオン界面活性剤の濃度を低減する方法を調べる。また、各種陰イオン界面活性剤の起泡剤としての性能を調べるために、発泡性評価や気泡混合土の流動性評価を実施する。さらに、その環境影響を調べるために魚毒性や生分解性評価を実施する。

## 2. 工事で必要とされる起泡剤の性能

シールドトンネル工事用の起泡剤は、発泡性、土壌に混合した際の塑性流動性、止水性、トンネル掘削内壁面への付着防止等の様々な機能を有することが必要である<sup>4)</sup>。Table 3に、起泡剤と気泡混合土に求められる性能とその評価手法の例を示す。これらの機能を損なうことなく、魚毒性の低い陰イオン界面活性剤の選定や、起泡剤に含まれる陰イオン界面活性剤の濃度を下げることが本研究の目的である。評価すべき項目は多いが、選定の効率を考慮して、起泡剤の最も基本的な性能である発泡性評価と気泡混合土の流動性評価を実施した。その他の項目については、観察により既存の起泡剤と同等の性能を持つかどうかを確認した。

## 3. 発泡性評価

安価に入手できる4種類の陰イオン界面活性剤と、気泡の安定性を高めるための安定補助剤を組合せた溶液を対象に、発泡性と消泡性を評価した。

### 3.1 方法

**3.1.1 実験ケース** 現在の起泡剤として使用されているスルホン酸塩Aと、硫酸エステル塩B、硫酸エステル塩C、カルボン酸塩Dの合計4種類を使用した。起泡の安定補助剤は、粘性の増加により気泡の安定性を高めることを目的とした増粘剤E、界面への配向密度を高めるためのアルキルエーテル型の非イオン界面活性剤Fと高級アルコールGを使用した。陰イオン界面活性剤の濃度は0.5%、0.2%とし、増粘剤Eは1%、非イオン型界面活性剤Fと高級アルコールGは、陰イオン界面活性剤の10%を添加した。

**3.1.2 方法** 発泡性の評価には、一般にロスマイルス法(JIS K3362に掲載)が用いられているが、実験作業を簡易にして多くの材用から選定するため、メスシリンダーを用いた簡易な発泡性評価を行った。Fig. 1に実験装置を示す。500mLのメスシリンダーに100mLの起泡剤溶液を入れた後、エアーストーンを投入して1L/分で曝気を行

Table 1 植物種子初期成長への影響濃度<sup>2)</sup>  
Influence Concentration to Plant Seed Initial Growth

陰イオン界面活性剤	水稻		小松菜	
	Non-toxic (mg/L)	Toxic (mg/L)	Non-toxic (mg/L)	Toxic (mg/L)
アルキルベンゼンスルホン酸塩	20	35	20	35
アルファオレフィンスルホン酸塩	32	56	56	100
アルキルエーテル硫酸エステル塩	160	280	87	160
脂肪酸エステル塩 (石鹸)	320	560	1000	1800

※Toxicは初期成長において、陰イオン界面活性剤を添加していない植物体質量より10%以上の減量があるものを示す。

Table 2 陰イオン界面活性剤の96時間LC<sub>50</sub>  
96hours LC<sub>50</sub> of Anion Surfactants

陰イオン界面活性剤	LC <sub>50</sub> (mg/L)		
	ヤマメ	ニジマス	コイ
アルキルベンゼンスルホン酸塩	4.4	4.7	4.4
アルファオレフィンスルホン酸塩	0.56	0.78	1.0
アルキルエーテル硫酸エステル塩	3.2	4.4	5.6

Table 3 起泡剤と気泡混合土の必要性能  
Necessary Property of Foaming Agents and Foam Mixed Soil

性能		評価手法	評価基準
起泡剤	発泡性	目視	細かい発泡をすること
	消泡性	目視	徐々に消泡すること
気泡混合土	塑性流動性	スランプ試験 ベーンせん断	スランプで5~15cm, ベーンせん断で1~3kPaが目安
	分散性	ブリージング試験	分離沈降がないこと
	低付着性	手触り等	付着性が少ないこと
	止水性	透水試験	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-4</sup> cm/s以下
	混合性	目視	細粒分と砂が分離しないこと まとまり性があること

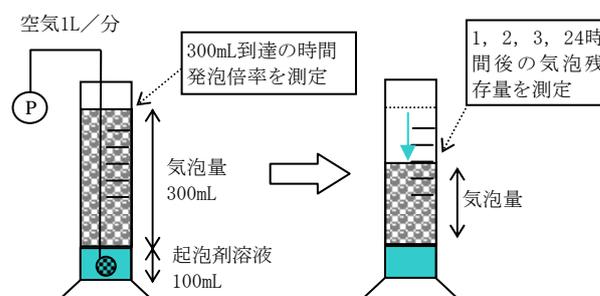


Fig. 1 発泡性実験の装置  
Device of Foaming Experiments

行った。泡が300mLに到達するまでの時間を測定した後、1, 2, 3, 24時間後の気泡残存量を測定した。また、生成した気泡の体積と重量を測定し、体積を重量で除することで、気泡生成時の発泡倍率を算出した。

### 3.2 結果と考察

Fig. 2に気泡の残存量の経時変化を示す。気泡が300mLに到達するまでの時間は、いずれのケースにおいても15~20秒で差はなかった。

**3.2.1 陰イオン界面活性剤の単独ケース** スルホン酸塩Aは、発泡から3時間後までは気泡の減少量は小さか

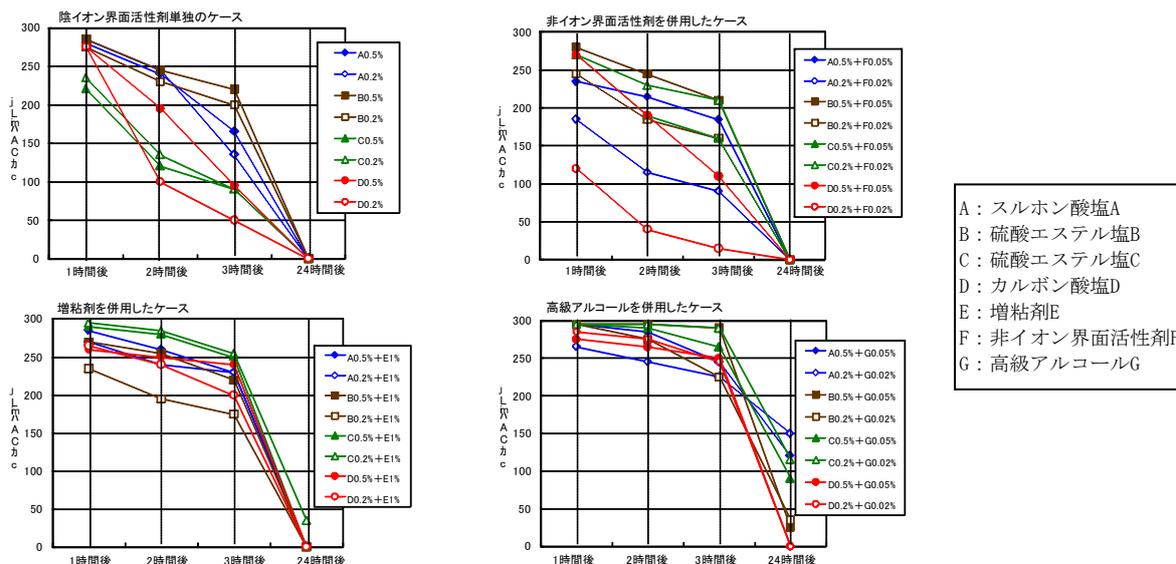


Fig. 2 気泡残存量の経時変化  
Changes of Remaining Foam Volume

ったが、24時間後にはすべて消泡した。シールドトンネル工事では、気泡混合土が排出されるまでは気泡として維持することが必要であるが、排出された気泡混合土は消泡して地山の土砂に近い性状に復元することが望ましい。スルホン酸塩Aは、適度な起泡性と消泡性を持っており、選定の際は同じ性能を持つことが望まれる。硫酸エステル塩Bは、スルホン酸塩Aと同じ傾向を示したが、硫酸エステル塩Cとカルボン酸塩Dは消泡が速く、気泡を維持する力が小さかった。

**3.2.2 増粘剤Eを併用したケース** 単独のケースに比べて残存気泡量が大きく、気泡を維持する効果が認められた。一方、気泡の体積と重量から算出した発泡倍率は、単独のケースでは5~6倍であったが、増粘剤Eを併用すると2~3倍であった。増粘剤を併用した気泡は、安定性が高いことから、砂質土等の地盤に対しては有効であり、実際に適用されているが、発泡倍率が低いと気泡混合土の作成に起泡剤が多く必要となり、コストの増加につながる面もある。本試験は従来の起泡剤と同じ能力(コスト)を持ち、環境影響の小さい材料を選定することが目的であるため、増粘剤Eの併用は適当ではないと判断した。

**3.2.3 非イオン界面活性剤Fを併用したケース** いずれのケースにおいても、単独のケースに比べて消泡が速くなり、気泡の安定補助剤としての効果はなかった。

**3.2.4 高級アルコールGを併用したケース** 単独では消泡が速かったスルホン酸塩Aの低濃度溶液や、硫酸エステル塩BとC、カルボン酸塩Dの気泡の残存量が大きく、気泡の安定に効果があった。24時間後は少量の気泡が残存していたが、薄い泡がメスシリンダー壁面に付着しているだけであり、消泡性に大きな影響はないと考えられた。発泡倍率は、カルボン酸塩Dは2~3倍と低かったが、カルボン酸塩D以外の陰イオン界面活性剤は、単独のケースと同等であったことから、気泡の安定補助剤として有効であると考えられた。

本評価実験で使用した材料は限定されており、種類や濃度についても多くの検討余地が残されているが、発泡性の観点において優れた気泡剤は、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩B、およびスルホン酸塩Aと硫酸エステル塩BとCに高級アルコールGを添加した材料であった。

#### 4. 気泡混合土の流動性評価

発泡性の観点において優れた陰イオン界面活性剤と高級アルコールを組合せた材料を対象に、気泡混合土の塑性流動性をスランプ実験によって評価した。

##### 4.1 方法

起泡剤として、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの0.5%溶液と、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩B、Cの0.5、0.2%溶液に高級アルコールGを界面活性剤に対して10%添加した溶液を使用した。混合する土壌試料は、関東地区の工事を想定して、粒径9.5mm以下で含水比45%に調整した土丹を使用した。起泡剤の添加量は、一般の添加条件である8倍発泡、地山体積に対して30%の添加とした。気泡と土壌の混合後にスランプ値を測定した。一般のシールド工事では、気泡がチャンバーに添加されてから気泡混合土が排出されるまで約30分かかると考えて、気泡混合直後に加えて、30分放置後のスランプ値も測定した。

##### 4.2 結果と考察

**4.2.1 陰イオン界面活性剤の単独ケース** スランプ値の測定結果をTable 4に示す。気泡混合前の試料土のスランプ値は0cmであったが、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの0.5%溶液で作成した気泡を加えることで塑性流動性が向上し、それぞれ18.5cmと12.9cmの値を示した。30分後のスランプ値は、スルホン酸塩Aで5.7cm、硫酸エステル塩Bで1.5cmであり、硫酸エステル塩BはTable 3の塑性流動性を示すスランプ値の5~15cmに達しなかった。

0.2%溶液のスランプ値は、それぞれ0.5%溶液と比べて小さく、気泡混合土の塑性流動性を確保するためには0.5%以上の濃度が必要であると判定された。

**4.2.2 高級アルコールGを併用したケース** スルホン酸塩Aの0.2%溶液と高級アルコールGの併用ケースは、5cm以上のスランプ値を示した。したがって、高級アルコールGを併用すれば、低い濃度で起泡剤として使用できることが示された。硫酸エステル塩Bは、0.5%溶液の単独ケースでは消泡が速かったが、高級アルコールGを併用することで、30分後でも5cm以上のスランプ値を示し、起泡剤として利用できると考えられた。硫酸エステル塩Cと高級アルコールGの組合せは、土と混合した際の消泡が速く、起泡剤としては適当ではなかった。したがって、気泡混合土の塑性流動性から望ましい起泡剤は、「スルホン酸塩Aの0.5%溶液」、「スルホン酸塩Aの0.2%溶液と高級アルコールGの組合せ」、「硫酸エステル塩Bの0.5%溶液と高級アルコールGの組合せ」であった。

## 5. 起泡剤の魚毒性評価

陰イオン界面活性剤の魚毒性は、淡水の水生生物を対象に調べた報告例が多いが、一般に淡水よりも海水に対する魚毒性の方が強い<sup>1)</sup>ことから、候補となる起泡剤の海水における魚毒性を評価した。

### 5.1 方法

海水の水生生物として、孵化後2週間のジャワメダカを使用した。ジャワメダカは、マレー半島からボルネオ島の汽水に成育するメダカで、化学物質に対する感受性が比較的高く、試験魚として使用されている<sup>5)</sup>。起泡剤は、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩B、および高級アルコールGを併用した材料を使用した。一定濃度の起泡剤溶液を1000mLのガラスビーカーに投入し、そこへジャワメダカ10個体を入れ、14時間明条件、10時間暗条件とした26°Cのインキュベーター内で、24時間毎に試験水を全量交換しながら、死亡個体数の観察を行った。得られた累積死亡率から、統計処理の一手法であるプロビット法(JIS K0102に掲載)により48時間および96時間の半数致死濃度(LC<sub>50</sub>)を算出した。

### 5.2 結果と考察

起泡剤溶液は様々な濃度でを使用することから、半数致死濃度だけでは魚毒性が比較できないため、従来の起泡剤溶液であるスルホン酸塩Aの1%溶液を基準として、相対濃度と半数致死濃度の逆数を乗じて、魚毒性指数を算出して比較に使用した。したがって、半数致死濃度は値が高いほど毒性が低くなるが、魚毒性指数は値が大きいほど毒性が高いことを示している。起泡剤溶液と魚毒性指数の測定結果をTable 5に示す。

スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの魚毒性指数を比較すると、同じ濃度で硫酸エステル塩Bは約1/10を示し、

Table 4 気泡混合土のスランプ値  
Slump Value of Foam Mixed Soils

起泡剤溶液		混合直後のスランプ値 (cm)	混合30分後のスランプ値 (cm)
種類	濃度 (%)		
なし	—	0	0
スルホン酸塩A	0.5	18.5	5.7
	0.2	8.4	0
硫酸エステル塩B	0.5	12.9	1.5
	0.2	2.3	0
スルホン酸塩A /高級アルコールG	0.5/0.05	19.8	8.4
	0.2/0.02	10.0	4.8
硫酸エステル塩B /高級アルコールG	0.5/0.05	16.8	8.2
	0.2/0.02	2.0	0
硫酸エステル塩C /高級アルコールG	0.5/0.05	2.2	0
	0.2/0.02	0.5	0

Table 5 起泡剤の魚毒性指数  
Fish Toxicity Index of Foaming Agents

起泡剤溶液		48 h LC <sub>50</sub> から算出した魚毒性指数	96 h LC <sub>50</sub> から算出した魚毒性指数
種類	濃度 (%)		
スルホン酸塩A	1	1	1
	0.5	0.5	0.5
硫酸エステル塩B	1	0.14	0.11
	0.5	0.072	0.055
スルホン酸塩A /高級アルコールG	0.5/0.05	0.30	0.38
	0.2/0.02	0.12	0.19
硫酸エステル塩B /高級アルコールG	0.5/0.05	0.059	0.042
	0.2/0.02	0.024	0.017

魚毒性が小さい結果となった。スルホン酸塩Aの濃度を低減して0.5%としても、硫酸エステル塩Bの1%溶液の方が魚毒性は低かった。高級アルコールGを併用したケースは、陰イオン界面活性剤単独のケースと比較すると、同じ濃度であれば少し小さい魚毒性指数を示した。高級アルコールGは陰イオン界面活性剤に対して10%しか添加しないため、大きな影響はないと考えられる。気泡混合土の流動性評価から、従来の起泡剤であるスルホン酸塩Aの1%溶液と同程度の性能を持つ起泡剤として、スルホン酸塩Aの0.2%溶液と高級アルコールGの併用剤、硫酸エステル塩Bの0.5%溶液と高級アルコールGの併用剤が挙げられたが、それぞれ96時間半数致死濃度から算出した魚毒性指数は0.19と0.042であり、後者の起泡剤の方が魚毒性が小さく、従来の起泡剤溶液の約1/24であった。

## 6. 起泡剤の生分解性評価

起泡剤の環境影響を調べるには、水生生物への毒性だけでなく、生分解性も重要である。河川や海水中における起泡剤の生分解性を調べることを目的として、ダイ・アウエイテスト<sup>6)</sup>を実施した。ダイ・アウエイテストとは、河川や海水中に1~100mg/Lの易分解性の対象物質を入れ、何も添加させずにそのまま養生した際の分解傾向を調べる方法である。生分解性実験としては、活性汚泥を用いた方法もあるが、より実際の環境に近い条件として、ダイ・アウエイテストを選定した。

### 6.1 方法

起泡剤は、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの単独、

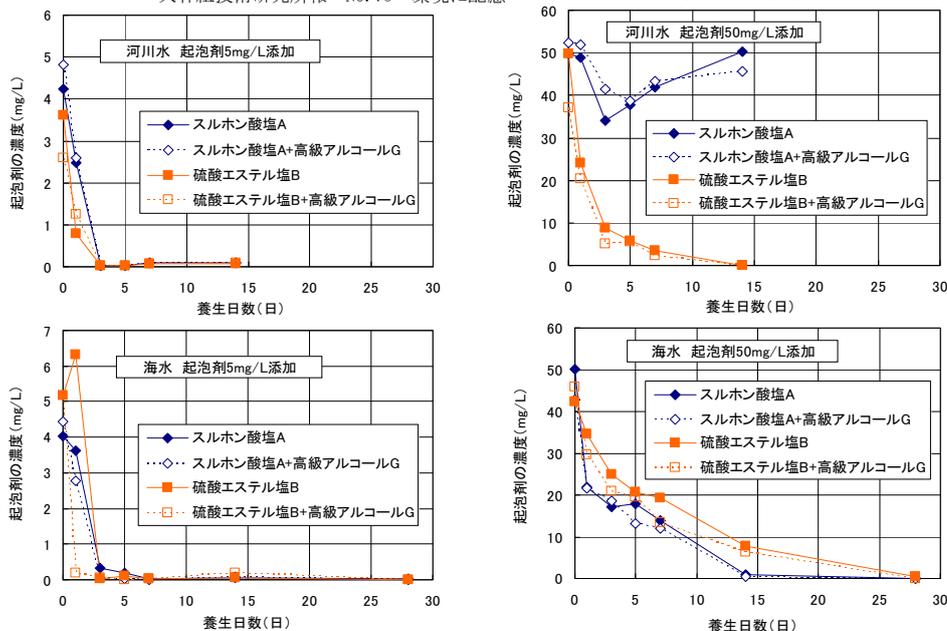


Fig. 3 河川と海水中における起泡剤濃度の変化

Changes of Forming Agents Content in River and Seawater

およびこれら陰イオン界面活性剤に高級アルコールGを界面活性剤量に対して10%添加した材料を使用した。河川水と海水は、採取してから1週間以内に、一晚空気曝気した後使用した。河川水と海水2Lに起泡剤を5及び50mg/Lとなるように添加して、20℃の恒温室内に開放状態のまま静置した。藻の発生を防ぐため、できるだけ光を遮断して養生し、一定時間ごとに溶液の一部を採取して、メチレンブルー吸光度法により起泡剤濃度を測定した。

6.2 結果と考察

6.2.1 河川水における生分解性評価 Fig. 3に起泡剤濃度の変化を示す。いずれの起泡剤においても、養生日数とともに濃度は低減し、5mg/Lのケースでは約3～5日で定量下限値(0.2mg/L)以下となった。50mg/Lのケースでは、スルホン酸塩Aでは濃度低減が見られなかったのに対し、硫酸エステル塩Bの濃度は低減し、14日間で定量下限値以下となった。したがって、淡水の高濃度条件においては、スルホン酸塩Bの生分解性が高いことが示された。

6.2.2 海水における生分解性評価 河川水のケースと同様に、養生日数とともに濃度は低減し、5mg/Lのケースでは約3～5日で定量下限値(0.2mg/L)以下となった。高濃度条件では、スルホン酸塩Aの方が少し低い値を示したが、大きな差ではなかった。陰イオン界面活性剤に高級アルコールGを添加したケースの濃度は、添加しないケースと同程度であり、生分解性には影響がないと考えられた。

なお、本実験はメチレンブルー吸光度法で検出される陰イオン界面活性剤を測定しており、有機物の全量は測定していない。しかし、陰イオン界面活性剤の生分解性を調べた事例<sup>7)</sup>によると、メチレンブルー吸光度法の界面活性剤濃度の低減に少し遅れて、全有機物量も減

少することが報告されていることから、本起泡剤も同様の傾向を持つものと推定した。

7. 気泡混合土からの起泡剤溶出性評価

選定した起泡剤で作成した気泡混合土が、仮置き時の混入や海域埋立て処分など、実際に河川や海水に投入される状況を想定して、その際に溶出する起泡剤の量と生分解性を評価した。

7.1 方法

起泡剤は、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの0.5%溶液、および流動性評価で結果が良かったスルホン酸塩Aの0.2、0.5%溶液と硫酸エステル塩Bの0.5%溶液に高級アルコールGを界面活性剤量に対して10%添加した材料を使用した。河川水と海水は、ダイ・アウエイテストと同じ試料を使用した。試料土は、含水比45%に調整した粒度9.5mm以下の土丹を使用した。起泡剤の添加量は、一般の添加条件である8倍発泡、地山体積に対して30%の添加とし、発泡させた気泡を土壌とよく混合した。気泡混合土の河川水や海水への投入土量は、地山体積あたりの液固比が1となるように、気泡混合土18.5kg(地山密度を1.85g/cm<sup>3</sup>と仮定)を河川水と海水10Lに投入し、20℃の恒温室内に開放状態のまま静置した。一定時間ごとに溶液の一部を採取して、メチレンブルー吸光度法により陰イオン界面活性剤濃度を測定した。

7.2 結果と考察

Fig. 4に起泡剤濃度の変化を示す。河川水と海水の両ケースにおいて、いずれの起泡剤とも、起泡剤濃度は養生日数とともに減少し、1～2週間で定量下限値(0.2mg/L)以下となった。スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bの0.5%溶液の初期濃度は5～8mg/Lを示したが、スルホン

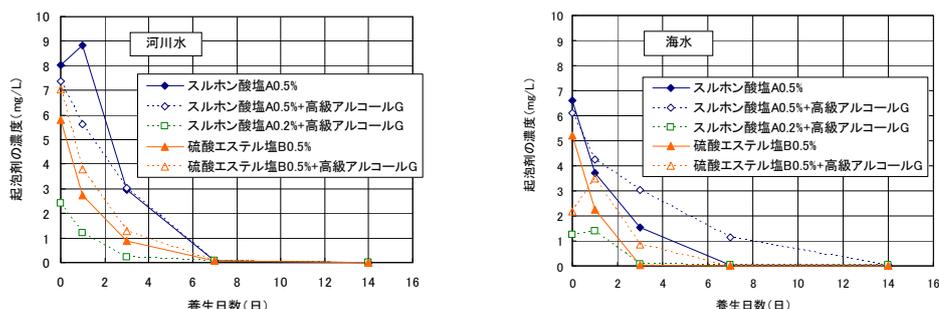


Fig. 4 気泡混合土を投入した河川と海水における起泡剤濃度の変化

Changes of Forming Agents Content in River and Seawater Added with Foam Mixture Soils

酸塩Aの0.2%溶液は1~3mg/Lと1/3程度の低い値を示した。したがって、濃度の低い起泡剤を使用した方が、溶出する起泡剤濃度が低く、環境影響も小さいことを示している。河川水と海水を比較すると、海水の初期溶出量が少し低かったが、ほぼ同じ傾向を示した。スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bを比較すると、硫酸エステル塩Bの方が低い濃度を示し、溶出量を低く抑えることができると考えられる。高級アルコールGを添加したケースは、添加しないケースに比べてほぼ同程度の値を示し、気泡混合土からの溶出量や生分解性に対して影響は小さかった。

環境影響を比較する上では、溶出する濃度と起泡剤の魚毒性を合わせて評価することが必要である。本実験では、発泡性および流動性実験からスルホン酸塩Aの0.2%溶液と高級アルコールGと、硫酸エステル塩Bの0.5%溶液と高級アルコールGの併用剤が候補となったが、溶出する濃度は前者が約1/3、魚毒性指数はTable 5から後者が約1/5、加えて生分解性では硫酸エステル塩Bがわずかに優れることから、硫酸エステル塩Bの0.5%溶液と高級アルコールGの併用剤が総合的に優れていると判断した。

## 8. まとめ

シールドトンネル工用の起泡剤として、従来使用されている陰イオン界面活性剤と同じ性能を持ち、かつ環境影響の少ない新しい起泡剤の開発を目的として、安価に入手できるスルホン酸塩Aと硫酸エステル塩B、硫酸エステル塩Cとカルボン酸塩Dの4種類の陰イオン界面活性剤を対象に、起泡剤の発泡性や気泡混合土の流動性、魚毒性や生分解性を評価した。

- 1) 陰イオン界面活性剤と気泡の安定補助剤となる増粘剤E、非イオン界面活性剤F、高級アルコールGを用いて発泡性の評価を行った結果、スルホン酸塩または硫酸エステル塩に高級アルコールGを界面活性剤量に対して10%添加した材料の発泡性が優れていることがわかった。
- 2) 気泡混合土の流動性評価では、スルホン酸塩Aの0.2%溶液または硫酸エステル塩Bの0.5%溶液に高級アルコールGを添加した材料は、従来の起泡剤と同程度の塑性流動性を示した。硫酸エステル塩Cは

土と混合した際の消泡が不適切に速いことがわかった。

- 3) 海水生物であるジャワメダカを用いた半数致死濃度(LC50)は、スルホン酸塩Aよりも硫酸エステル塩Bの方が大きく、同濃度であれば魚毒性が小さいことがわかった。また、高級アルコールGの添加は、魚毒性には大きな影響はないことがわかった。
- 4) 生分解性に関する評価では、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bともに1~2週間程度で定量下限値以下となった。淡水で高濃度の溶液を使用したケースだけは、硫酸エステル塩Bの方が生分解が速かった。
- 5) 気泡混合土からの河川水および海水への起泡剤溶出量は、スルホン酸塩Aと硫酸エステル塩Bに差はなく、濃度が低い起泡剤ほど小さい値を示した。
- 6) 魚毒性評価、および生分解性評価の観点から、硫酸エステル塩Bの0.5%溶液に高級アルコールGを添加した起泡剤が従来の起泡剤よりも優れていることがわかった。

## 参考文献

- 1) 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)
- 2) 滝田八広：農作物の初期成長に対する洗剤及びアニオン界面活性剤の影響について，油化学，第31巻，第8号，pp.507~510，(1982)
- 3) 若林明子，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) 藤原紀夫，他：気泡シールド工法の開発，土木学会誌，1987年5月号，pp.27~33，(1987)
- 5) Jiro Koyama, et.al : A Proposed New Marine Test Fish for Ecotoxicology., Environmental Toxicology, 23, pp.487~491, (2008)
- 6) 阿部幸子，他：河川水中でのアニオン界面活性剤の生分解について，家政学雑誌，Vol.35, No.6, pp.385~390，(1984)
- 7) 阿部幸子，他：土壌還流による界面活性剤の生分解(第2報)TOCを指標としたアニオン界面活性剤の生分解性，家政学雑誌，Vol.33, No.10, pp.527~531，(1982)