

## 高発泡性能を有するシールドトンネル工事用起泡剤の開発

(株)大林組 正会員 ○武田 厚, 正会員 三浦 俊彦  
フェロー 千野 裕之, 正会員 木村 志照  
ライオン(株) 野田 泰史, 足立とう子

## 1. はじめに

気泡シールド工法で使用する起泡剤は、毒性が低く生分解性の良い陰イオン界面活性剤が使用されている。なかでも、従来から最も多く使用されているのは、スルホン酸塩系の界面活性剤を使用した起泡剤であり、通常は1.5～3.0%濃度程度の起泡剤水溶液を空気と混合した後、気泡として切羽に添加する。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材料使用量が少なく、環境への影響も小さい。一方で、近年、大断面シールド工事において気泡シールド工法が多く用いられるようになり、これまで以上に、材料運搬頻度の低減を目的とした材料使用量の縮減と、大量に発生する気泡混合土の環境影響低減が望まれている。

こうした状況の中、(株)大林組では、ライオン(株)と共同で、低濃度でも十分な発泡能力を持つ新型起泡剤を開発した。新型起泡剤は、従来品よりもさらに毒性の低い陰イオン界面活性剤を主成分とし、複数の助剤を混合することで高い発泡性能を確保している。低濃度でも使用が可能であるため、トンネル坑内運搬を含めた材料運搬頻度が少なくなるとともに、環境への影響も低減できる。本稿では、新型起泡剤の各種性能試験結果と現場適用した結果を報告する。

## 2. 気泡の消泡性と泡粘性の確認試験

**2.1 目的** 気泡自体が脆弱で、容易に消泡してしまう場合には、安定的なシールド掘進が困難となる。このため、気泡単体での消泡性能と泡粘性を測定し、従来型と比較することで新型起泡剤の性能を評価する。

**2.2 試験方法** 消泡性確認試験は、容量100mlのメスシリンダーに気泡を充填し、管底部に貯留する液面高の経時変化を計測した。計測管内で消泡した泡膜は、液体となって管底部に貯留されるため、消泡性の高い脆弱な気泡ほど管底部の液面高は高くなる。また、泡粘性の確認試験には、写真-1に示す高性能回転式粘度計を使用して、せん断速度と気泡粘度の関係を計測した。

**2.3 結果** 消泡性確認試験結果を図-1に示す。新型起泡剤は、従来型よりも低濃度の水溶液(1.0%濃度)で気泡を作製しているが、3.0%濃度の従来型より管底液面高が低く、消泡しにくい気泡であることがわか



写真-1 泡粘性計測状況

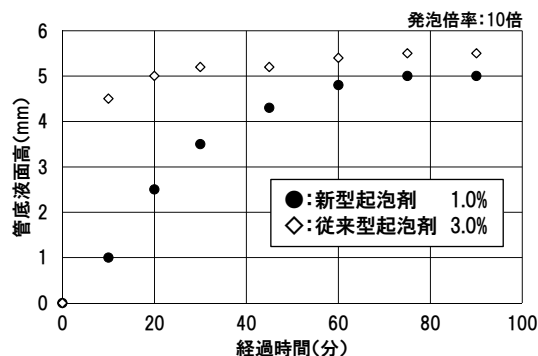


図-1 消泡性確認試験結果

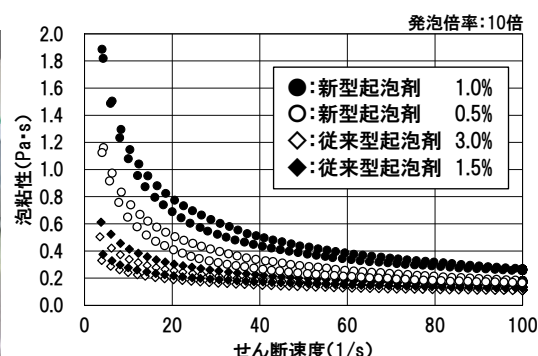


図-2 泡粘性計測結果

る。一方、泡粘性の試験結果を図-2に示す。新型起泡剤の泡粘性は、いずれの水溶液濃度の場合でも、従来型より高い泡粘性を有している。これは、従来型起泡剤によって作製される気泡は、比較的に脆弱であるため、泡粘性計測時に消泡が進行したためと推察される。いずれの理由であっても、低濃度の新型起泡剤水溶液で作製する気泡の耐消泡性と泡粘性は、従来型と同等以上である。

キーワード 界面活性剤, シールド, 低濃度, 環境汚染

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2丁目15番2号 (株)大林組 TEL 03-5769-1318

### 3. 気泡混合土の室内流動化試験

**3. 1 目的** シールドチャンバー内の掘削土の流動性や止水性などの性能を評価するには、多くの物理試験が必要であるが、本試験は流動性の一指標として、気泡混合土のミニスランプ試験を実施した。

**3. 2 方法** 土丹塊（最大粒径 9.5mm）混じりの粘性土を使用し、含水比を 50%に調整後、体積比率で 50%の気泡を添加して、添加直後・15 分後・30 分後のスランプ変化を計測した。溶液濃度は、従来型起泡剤の場合が 1.5%，新型起泡剤の場合は 1.0%，0.5%とし、気泡の発泡倍率は 8 倍とした。

**3. 3 結果** ミニスランプ試験結果を表-1 に示す。従来型起泡剤の 1.5%濃度水溶液で作製した気泡を添加した場合、ミニスランプ試験結果は、気泡混合直後で 7.5cm，30 分後で 2.8cm であった。一方、新型起泡剤は、0.5%濃度水溶液で作製した気泡を添加した場合で、ミニスランプ試験結果は、気泡混合直後で 7.9cm，30 分後で 2.1cm であった。すなわち、新型起泡剤は、従来型の約 1/3 の使用量で、ほぼ同程度の流動性を確保できる。

### 4. 起泡剤の魚毒性評価試験

**4. 1 目的** 気泡混合土を埋立て処理する場合や仮置時における降雨の影響で界面活性剤が水域環境へ流出した場合、一時的に高濃度の界面活性剤を含む水が発生する可能性がある。このため、新型起泡剤の魚毒性試験を実施し、安全性の確認を行った。

表-2 起泡剤の魚毒性評価試験結果

| 起泡剤種類 | 96 時間 LC <sub>50</sub> (mg/L) |
|-------|-------------------------------|
| 新型起泡剤 | 23                            |

**4. 2 試験方法** 暴露方式は、24 時間ごとに試験液全量を交換する半止水式とし、試験区ごとに 10 個体のヒメダカを使用した。暴露開始後 96 時間まで観察し、半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) を算定する。半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) が高い場合ほど、毒性が低い材料であるといえる。

**4. 3 結果** 試験結果を表-2 に示す。新型起泡剤の 96 時間半数致死濃度 (LC<sub>50</sub>) は、23mg/L であった。この結果は、従来型起泡剤の 1/5～1/10 程度の魚毒性である。さらに、気泡作製時の新型起泡剤水溶液濃度は従来型の 1/3 程度であるから、気泡混合土の魚毒性は従来型の 1/15～1/30 程度であると推察される。なお、魚毒性評価試験結果は誤差範囲が比較的大きいため、今後は、試験体数を増加させてデータ信頼度の向上をはかる。

### 5. 新型起泡剤の現場適用

掘削外径 φ2,130mm，施工延長 1,383m の気泡シールド工法適用工事において、今回開発した新型起泡剤を採用した。掘削対象土は、細粒分が少なく (10%程度以下) 地下水の豊富な細砂層が主体であり、トンネル土被りは 9～18m 程度である。新型起泡剤の水溶液濃度は 0.5%とし、圧縮空気と混合して気泡を作製した後、カッター前面から気泡を添加した。チャンバーから排出される掘削土 (気泡混合土) は、一次スクリーコンベアからノントックホースを介してズリ鋼車に排出される。気泡添加率と気泡の発泡倍率は、地質条件や排土性状を観察しながら、最適性状を確保できるように調整しているが、結果として、気泡添加率が 30～60%，発泡倍率は 5～20%の範囲で順調な掘進状態を保持することができた。

### 6. まとめ

- 1) 新型起泡剤は、従来型の約 1/3 の低濃度であっても、従来品と同等以上の性能を有する気泡を作製できる。
- 2) 新型起泡剤によって作製される気泡の魚毒性は、従来型気泡の 1/15～1/30 程度。
- 3) 従来型の気泡と同様に、掘削土の性状に応じて、気泡添加率や発泡倍率を調整し、安定的な掘進状態を保持できる。

### 参考文献

- ・三浦俊彦，他：環境影響の小さい新しいシールド工法用起泡剤の開発，土木学会第 66 回年次講演会講演概要集，6-021，2011



写真-2 新型起泡剤気泡土の排土状況