

気泡シールド工法に用いる新型起泡剤の開発

鹿島建設(株) 正会員○生川寛之 正会員 紀伊吉隆 正会員 吉迫和生
(株)タック 正会員 瀧川信二
阪神高速道路(株) 渡辺真介 松川直史

1. はじめに

気泡シールド工法は、添加材として特殊起泡剤を発泡して作製した気泡をシールド機チャンバー内に注入しながら掘進する工法で、微細なシェービングクリーム状の気泡が掘削土と混合され、塑性流動状態となることで切羽の安定を保持し、スムーズな掘進が可能となる。また、スクリーコンベアから排出された土砂は大気圧下に解放され、含まれていた気泡が消泡することにより気泡注入前の状態に戻り、運搬や処理が容易になる。さらに、気泡は従来のベントナイトや高分子材を用いた添加材と比較して材料の使用量が少なくて済む。このような背景から、近年、大断面の泥土圧シールドにおいて気泡の採用が増加しているが、大断面シールドの切羽の安定には、チャンバー内の塑性流動状態の保持性(気泡の持続性)が重要となってくる。

一方、気泡シールドに用いられる特殊起泡剤は、長らく α -オレフィンスルホン酸塩(AOS)を原料にした材料が用いられてきた。しかし、AOSは魚毒性が強く、掘削土砂を海面埋立てに利用することの多いシールドトンネル工事では、水生環境への影響が懸念されるようになってきた。

このような状況に鑑み、鹿島建設(株)では(株)タックと共同で、環境負荷の低い新型起泡剤「マジカルラストィングフォーム(MAJIKAL LASTING FOAM)」(以下、MLFとも表記)を開発し、現場での実施工に適用した。本稿では新型起泡剤MLFの基本的性能と、現場適用した状況について報告する。

2. 新型起泡剤「マジカルラストィングフォーム」の基本的性能

MLFは、起泡の元となる陰イオン界面活性剤、起泡力を高めるブースター剤、気泡の安定性を保持する安定剤などから構成される。

(1) 気泡の持続性(耐消泡性)

図-1にMLFによって発生させた気泡(写真-1)の持続性確認試験結果を示す。試験は、メスシリンダーに充填した気泡が時間経過とともに液化する量を測定し、残存している気泡量を算出して気泡残存率として示している。図には比較のため従来型起泡剤a、bによる試験結果も併記している。MLF、従来型a、bとも溶液濃度1%、発泡倍率10倍の条件で発泡させている。

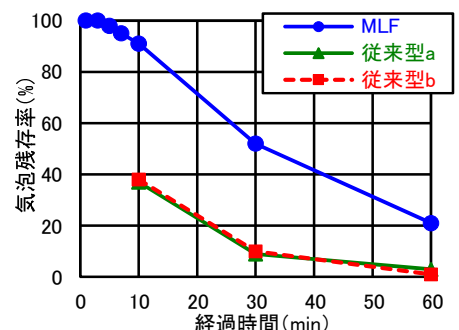


図-1 気泡残存率の比較

従来型の気泡はいずれも10分で60%以上、30分で90%以上の気泡が消泡している。一方、MLFは30分で50%以上、60分経過時にも20%以上の気泡が残存しており、耐消泡性に優れた材料であることを確認した。

(2) 起泡剤の水生環境有害性(魚毒性)

図-2にMLFの水生環境有害性確認試験(ヒメダカを用いた魚類急性毒性試験)結果を示す。気泡の持続性と同様、図には比較のため従来型起泡剤a、bによる試験結果も併記している。半致死濃度96時間LC₅₀は、その数値が大きいほど毒性が低いことを示している。

MLFのLC₅₀は100mg/Lを超えており、従来型起泡剤の3~6倍、魚毒性



写真-1 MLFによる気泡

キーワード：気泡シールド、陰イオン界面活性剤、低環境負荷

連絡先：〒590-0001 大阪府堺市堺区遠里小野町4丁5-3 大和川線シールドトンネル工事事務所 TEL 072-225-5130

に優れることが確認できる。また、GHS（化学品の分類および表示に関する世界調和システム）に基づく化学品の分類方法では 100mg/L < LC₅₀ であれば有害分類対象外とされており、MLF が水生環境に対して負荷の低い材料であることを確認した。

(3) 起泡泡剤の生分解性

表-1 に MLF の生分解性確認試験（DOC 法による生分解度試験）結果を示す。7 日後の生分解度は 66%、14 日後で 70%、28 日後で 88%であり、良好な生分解性であると判断される。

(4) 起泡泡剤の植物に対する生育障害性

こまつなの発芽と発芽後の生育への障害の有無、およびその程度を確認した。試験は、MLF 1%溶液を 8 倍発泡させた気泡を、土に対して 10、30、50%の割合で混合し、こまつなの種を撒いて生育状況を確認した。

写真-2 に播種 18 日後の状況を示す。いずれのケースも、気泡を混合しない無施用区に対して同等の発芽率、草丈、生体重を示し、葉の黄化、しおれなども見られず、生育障害は認められなかった。

3. 気泡混合土の力学的性状評価

気泡混合土の力学的性状を評価する指標として、ベーンせん断強さとポリマーセメントモルタルの試験に用いられるスランプコーン（上端内径 50mm、下端内径 100mm、高さ 150mm）を用いたスランプ値（以下、ミニスランプ値と呼ぶ）を測定した。評価に用いた試料土は、阪神高速道路大和川線シールドトンネル工事で採取したものを用いた（最大礫径 19mm、砂分：51.2%、細粒分含有率：27.5%）。試験は MLF の他、比較のために従来型起泡泡剤 a でも実施し、ともに溶液濃度 1%、発泡倍率 10 倍の気泡を作製し、試料土と混合した。

図-3 にベーンせん断強さ、図-4 にミニスランプ値の測定結果を示す。試料土に対する気泡の混合率（注入率）は、MLF で 25%、従来型 a で 30%と、MLF の方を 5%少なく設定した。ベーンせん断強さは MLF の方が同等以下の値、ミニスランプ値は MLF の方が同等以上の値を示し、MLF の方が 5%少ない使用量で同等以上の流動性を示すことを確認した。また、3 時間経過後には従来型と同等の測定値が得られ、運搬処理の容易さも確認した。

4. 「マジカルラスティングフォーム」の現場適用

大和川線シールドトンネル工事（シールド機外径 12.47m、延長約 2km の往復で全長約 4km）のうち、復路の最終約 900m 区間を MLF を使って施工した。当該区間は砂泥互層地盤で、粘性土優勢～砂質土優勢と変化していたが、気泡の発泡倍率、注入率を調整することにより、良好な排土状態で掘進をすることができた（写真-3）。

5. おわりに

今後、大和川線シールドトンネル工事での新型起泡泡剤の使用状況を検証して使用量の適正化などを図り、引き続き大断面泥土圧シールドトンネル工事に「マジカルラスティングフォーム」を展開していく予定である。



写真-3 現場での排土状況

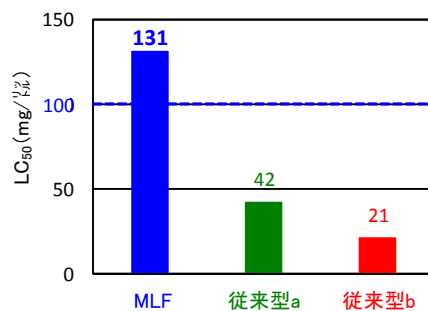


図-2 96 時間 LC₅₀ の比較

表-1 生分解性試験結果

経過日数	7 日	14 日	28 日
生分解度	66%	70%	88%



写真-2 こまつなの生育状況

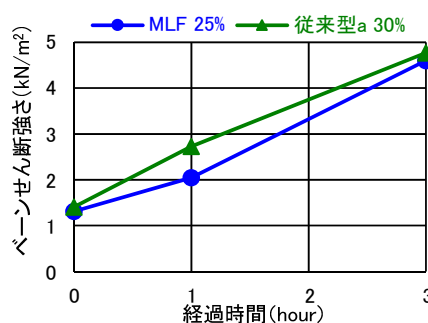


図-3 ベーンせん断強さの比較

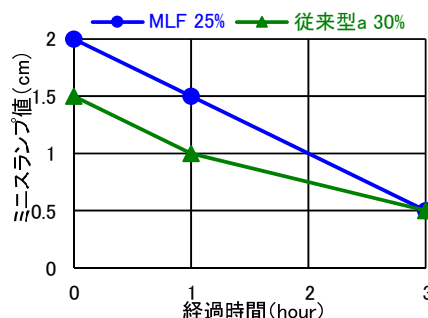


図-4 ミニスランプ値の比較