

スタティックフォームドアスファルトを用いた再生アスファルト混合物の特性

スタティックミキサによる泡の微細化技術

鈴木 祥高・廣田 哲人

フォームドアスファルトは、アスファルト中に水を噴射し泡を発生させ、泡のベアリング効果によりアスファルト舗装の締固め度向上を図る技術である。そのベアリング効果を向上させるため種々の検討を行い、それらを進めていく中で、通常のフォームドアスファルトへスタティックミキサを用いることで泡が微細化され、マイクロバブルが発生することを確認した。本報文は、このマイクロバブルの効果を検証すべく、各種試験を行った結果について報告するものである。

キーワード：アスファルト舗装，フォームドアスファルト，マイクロバブル，中温化，作業性改善

1. はじめに

フォームドアスファルト（以下、フォームドAs）は既存の技術¹⁾であり、現在では多くのアスファルトプラントに導入が進んでいる。通常のフォームドAsは、Asへ水をフォーミングガンなどにより噴射し製造するものである。このフォームドAsを混合物へ用いることにより、フォームドAs内に存在する泡がベアリング効果を生じ締固め向上などの効果が得られる。このことから、ベアリング効果の更なる向上を図ることで、混合物の温度が低下した際の締固め度の向上および作業性の改善が可能となると考えた。

本論文では、室内検討により泡の微細化がベアリング効果の向上となることが認められたため、実際のプラントを用いて試験練りを行った結果を報告するものである。

2. スタティックフォームドAsの開発

(1) 気泡径と各種特性

気泡径と各種性状²⁾を表—1に示す。

一般的なフォームドAsの効果をより高く、またよ

り長時間維持させるためには、小さな泡を大量に発生させることが必要である。これは、気泡径が小さくなるほど水中における上昇速度が遅くなるとアスファルト中における泡が保持されるとともに、同量の気泡を製造した場合に個数が増えベアリング効果が増加すると考えられたためである。

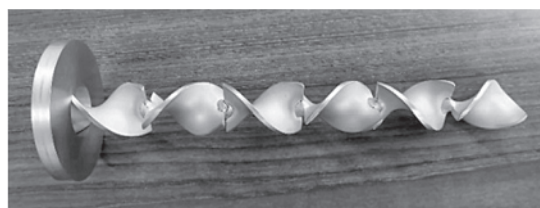
(2) スタティックミキサの特徴

スタティックミキサは、化学工場で薬品の液体混合や、食品工場でビールなどの液体と炭酸ガスの気液混合を行っている。

そのスタティックミキサの気液混合技術に着目して、スタティックミキサを用いたフォームドAsの製造を行った。スタティックミキサの外観を写真—1、内部の元素（ミキサの羽根）を写真—2に示す。



写真—1 スタティックミキサ外観



写真—2 内部の元素（ミキサの羽根）

表—1 気泡径と各種性状の関係

気泡径 d	上昇速度 U (m/min)	気泡個数比	面積比
1 mm	5.4	1	1
10 μm	3.26×10^{-3}	1.0×10^6	100
100 nm	3.15×10^{-7}	1.0×10^{12}	1.0×10^4

スタティックフォームド As に用いるスタティックミキサは、パイプ内部にエレメントと呼ばれる長方形の板をねじった形の羽根があるミキサを用いたもので次の特徴がある。

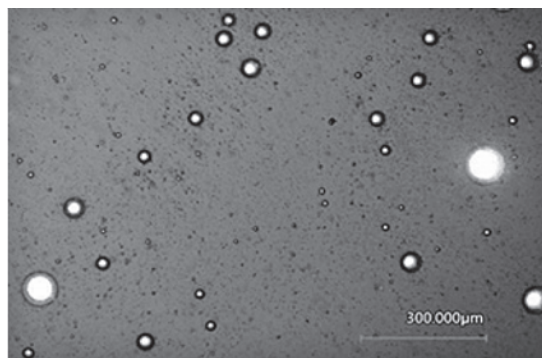
- ①回転・駆動部がないため電源が不要で、消耗部がほとんど無くメンテナンスフリーである。
- ②気液混合の場合、液体がエレメントを通過する際に分割・転換・反転の作用が発生し、液体の渦流および気体のせん断により泡が微細化される。
- ③シンプルな構造で圧力損失が少なく製造時のサイクルタイムの変更が無いため、従来と同様の出荷が可能である。

(3) スタティックフォームド As の観察

スタティックミキサを用いて製造されたスタティックフォームド As 内の泡を確認するために、電子顕微鏡で観察を行った。電子顕微鏡で観察した通常のフォームド As を写真—3、スタティックフォームド As を写真—4 に示す。



写真—3 通常のフォームド As



写真—4 スタティックフォームド As

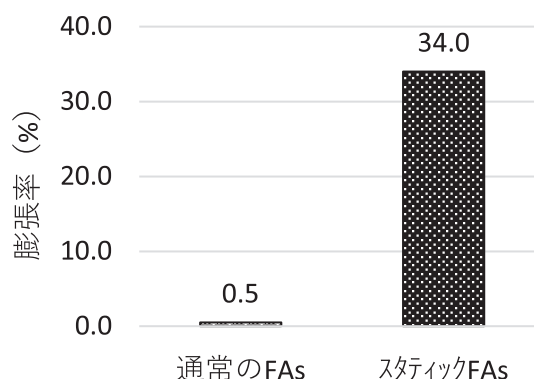
両フォームド As 共に、製造直後にサンプリングを行ったものである。目視による観察であるが、通常のフォームド As では、粒径が大きいかつ残存する泡も僅かである。対してスタティックフォームド As では、粒径が小さな泡（マイクロバブル）が大量に見ら

れることから、スタティックミキサによる泡の微細化が行われていることが確認できる。

(4) スタティックフォームド As の性状

通常のフォームド As とスタティックフォームド As について、膨張率試験を行い泡の持続性を確認した。吐出後 15 分経過したフォームド As の膨張率試験結果を図—1 に示す。

なお、これ以降、表および図中におけるフォームド As は、FAs と表記する。



図—1 膨張率試験結果

図—1 より、通常のフォームド As の泡は 15 分経過後ほとんど消滅しているのに対し、スタティックフォームド As は 34% の泡を保持している。フォームド As 中の泡を微細化することで、泡が長時間保持されることを確認した。

3. スタティックフォームド As の室内検証

(1) 試験項目および試験条件

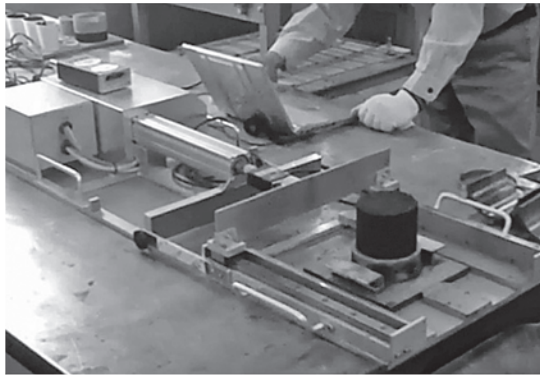
試験項目および条件を表—2、レーキ負荷試験を写真—5 に示す。

泡を微細化したスタティックフォームド As の効果を確認するため、混合物の物性確認試験を行った。マーシャル供試体は、通常の打撃回数 50 回に加え、端部や狭小部での小型の転圧機械を用いた施工を想定して 25 回の供試体の作製を行った。検証に用いた混合物は、再生密粒度 (13)、再生骨材配合率 50% である。

なお、レーキ負荷試験²⁾とは、作業性評価の試験方法で、レーキを模した載荷板にロードセルを取付け、突固めた試料を押して値 (kN) を計測するものである。その指標は、レーキによる負荷が「40 未満：非常に良好」、「50 未満：良好」、「50 以上：労力を要する」としている。

表一2 試験項目および条件

試験項目	試験条件
マーシャル供試体密度測定 (締固め度)	養生温度 (145, 115, 85℃) 養生時間 (1H), 打撃回数 (50, 25 回)
レーキ負荷試験 (レーキ負荷)	
ホイールトラッキング試験 (動的安定度)	養生温度 (145℃), 養生時間 (1H)



写真一5 レーキ負荷試験

(2) マーシャル供試体密度測定

マーシャル締固め度の結果を表一3、締固め度と温度の関係 (50 回) を図一2、締固め度と温度の関係 (25 回) を図一3に示す。

締固めのしやすさを示す締固め度について、打撃回数 50 回は、通常のフォームド As と比較して 145℃ではほぼ同等の値であるが、115℃では 0.2%、85℃では 0.5%の差異が見られた。打撃回数 25 回については、145℃ではほぼ同等の値であるが、115℃では 0.3%、85℃では 0.5%の差異が見られる。

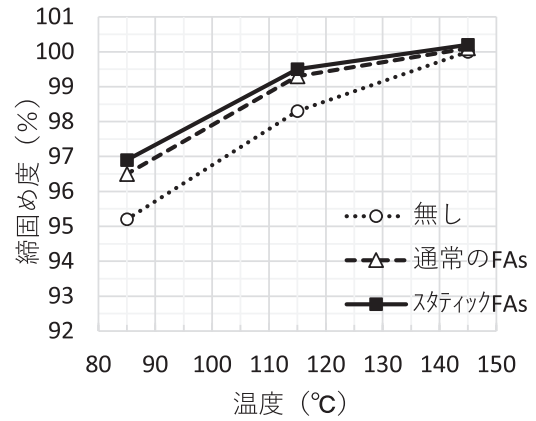
(3) レーキ負荷試験

レーキ負荷の結果を表一4、レーキ負荷と温度の関係を図一4に示す。

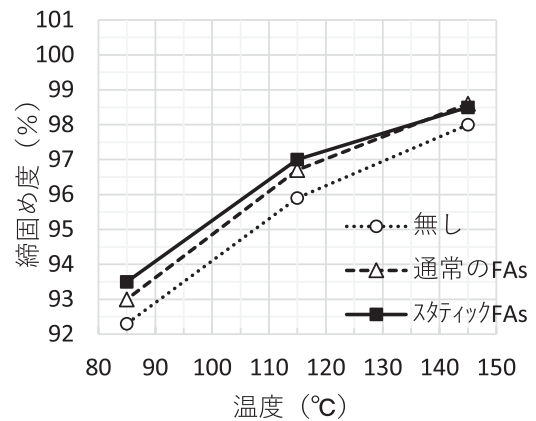
作業性のしやすさを示すレーキ負荷について、145℃ではほぼ同等の値であるが、115℃で 40 未満を示しているのはスタティックフォームド As だけであり良好な作業性を確保している。

表一3 マーシャル締固め度の結果

フォームド	締固め度 (%) 50 回			締固め度 (%) 25 回		
	145℃	115℃	85℃	145℃	115℃	85℃
無し	100.0	98.3	95.2	98.0	95.9	92.3
通常の FAs	100.3	99.3	96.5	98.6	96.7	93.0
スタティックFAs	100.4	99.5	97.0	98.5	97.0	93.5



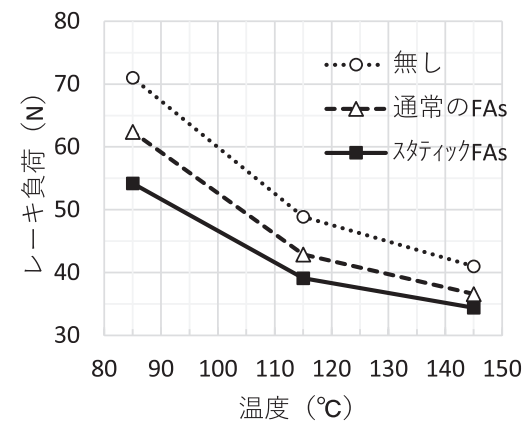
図一2 締固め度と温度の関係 (50 回)



図一3 締固め度と温度の関係 (25 回)

表一4 レーキ負荷の結果

フォームド	レーキ負荷 (kN)		
	145℃	115℃	85℃
無し	41.0	48.9	71.0
通常の FAs	36.6	42.9	62.4
スタティック FAs	34.4	39.1	54.2



図一4 レーキ負荷と温度の関係

(4) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験の結果を表一5に示す。対流動性を示す動的安定度について、いずれの供試

表一五 ホイールトラッキング試験の結果

フォームド	動的安定度 (回/mm)
無し	1,750
通常の FAs	1,671
スタティック FAs	1,736

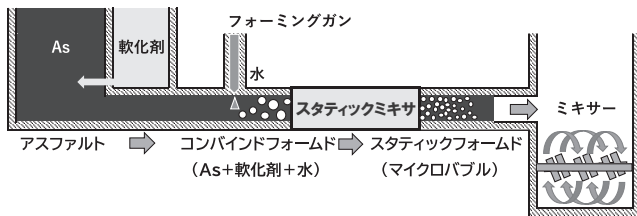
体も 1,700 前後と、一般的な混合物であるフォームド As 無しと同等の品質である。

4. プラント実機での検証

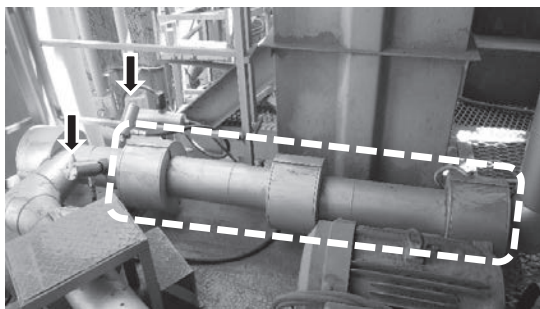
(1) スタティックフォームド As の概要

室内でスタティックフォームド As の効果が確認できたため、プラント実機での検証を行った。プラントにおけるスタティックフォームド As 装置の概要を図一五、プラントに設置したスタティックフォームド As 装置を写真一六に示す(矢印はフォーミングガン、破線はスタティックミキサ)。

今回用いたスタティックフォームド装置は、再生用添加剤をミックスしフォーミングするコンパインドフォームド As と、これらの泡を更に微細化するスタティックミキサを組合せたものである。



図一五 スタティックフォームド As 装置の概要



写真一六 スタティックフォームド As 装置

(2) 試験項目および試験条件

試験項目および条件を表一六に示す。

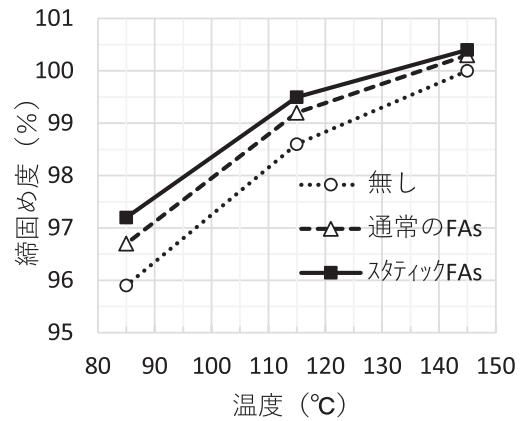
なお、検証に用いた混合物は、再生密粒度 (13)、再生骨材配合率 50% である。

(3) 試験結果

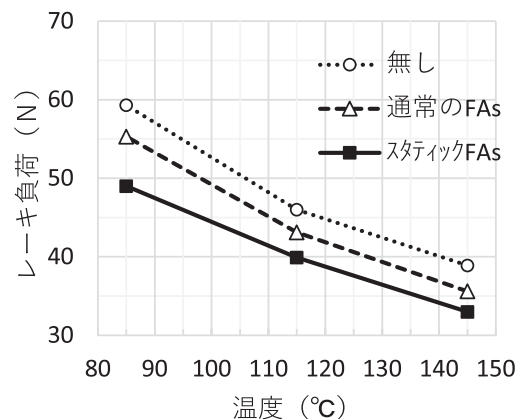
試験結果一覧を表一七に示す。

表一六 試験項目および条件

試験項目	試験条件
マーシャル供試体密度測定 (締固め度)	養生温度 (145, 115, 85℃), 養生時間 (1H)
レーキ負荷試験 (レーキ負荷)	
ホイールトラッキング試験 (動的安定度)	養生温度 (145℃), 養生時間 (1H)



図一六 締固め度



図一七 レーキ負荷

表一七 試験結果一覧

フォームド	締固め度 (%)			レーキ負荷 (kN)			DS (回/mm)
	145℃	115℃	85℃	145℃	115℃	85℃	
無し	100.0	98.6	95.9	38.9	46.0	59.3	1,927
通常の FAs	100.3	99.2	96.7	35.6	43.1	55.3	2,079
スタティック FAs	100.4	99.5	97.2	33.0	39.9	49.0	2,100

室内の試験結果同様に、締固め度およびレーキ負荷ともにスタティックフォームド As を用いた混合物が最も優れた値を示した（図—6, 7）。

また、ホイールトラッキングについて、全ての試料で2,000回/mm前後の値を示しており一般的な混合物であるフォームド As 無しと同等の結果である。

5. まとめ

今回の検証結果から得たスタティックフォームド As の知見を以下に示す。

- ①スタティックミキサを用いたスタティックフォームド As 装置は、通常のフォームド As と比較して微細な泡の製造が可能となる。
- ②通常のフォームド As と比較して長時間の泡の保持が確認できた。
- ③打撃回数 50 回の締固め度の向上はもとより、少ない締固めエネルギーの打撃回数 25 回においても締固め度の向上が見られた。
- ④作業性の指標であるレーキ負荷の向上も見られ、微細化された泡の効果が作業性の向上にも寄与することが確認できた。

6. おわりに

スタティックフォームド As を用いることで、温度低下した As 混合物や小さな転圧エネルギーでも従来

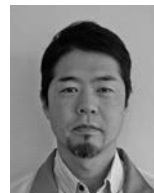
通りの締固め効果が得られることから、長距離運搬や大型の転圧機械が乗入れできない狭小部においても品質確保が可能であると考えられる。また、レーキ負荷の低減から作業性の改善も可能であり作業環境の改善につながる。今後は、長距離運搬時の物性確認および更なる効果向上を目指し開発を進めて行く予定である。

JCMA

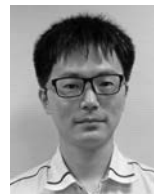
《参考文献》

- 1) L.H.Csanyi：フォームド・アスファルト舗装について，道路，1964年11月
- 2) 柘植秀樹：マイクロバブル・ナノバブルの基礎，日本海水学会誌，第64巻，第1号，pp4～10，2010年10月
- 3) 鈴木祥高，村井宏美，吉野敏弘：評価法を用いた再生混合物の品質評価，日本道路会議論文集，2019年11月

【筆者紹介】



鈴木 祥高（すずき よしたか）
世紀東急工業㈱
関西支店関西試験所
所長



廣田 哲人（ひろた あきひと）
世紀東急工業㈱
技術本部技術研究所
研究員