

長距離圧送可能な吹付けモルタルの鉛直上方向への展開に関する研究開発

宇都宮大学大学院 学生会員 ○岡村 祐輝
 宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳
 宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知
 日特建設株式会社 非会員 笹谷 達也

1. はじめに

吹付け工法は、広範囲の施工場所に対してホース 1 本移動させることにより柔軟にかつ容易に施工することができるという工法である。しかし 300m 以上の超距離圧送を行う際には、配管には高い圧力に耐えうるための鋼管(内径 3 インチ, 1 本につき 3m)およびホースには重量物である耐摩耗ホース(一本 8m、重量:約 15kg)を用いる必要があり、設置や移動などの作業性に大きな課題を抱えている。その為、近年「より遠くに・強固に・迅速に・確実に」という多様化する要求事項に対して従来の吹付工で対応することが困難となっている。このような要求事項を解決する為に、当研究室では、低圧力かつ内径 1.5 インチ程度のフレキシブルホースをプラントから施工箇所まで全長に使用しても 1000m 以上の長距離圧送が可能な吹付け材料(以下、現状品とする)の開発を行っている。これまでの研究では、1500m の圧送が可能な吹付け材料を開発し、また 700m 程度の圧送を可能とし、材料費が廉価な長距離圧送材について検討した。しかし、これらは水平方向への圧送性のみを検討対象としており、高所への圧送に関しては検討がなされていない。今後、これまで以上に長距離かつ高低差の大きい山間部のような条件の厳しい場所での施工を想定した場合、鉛直上方向へ長距離圧送可能な吹付け材料が必要となると予想される。また高所圧送時の圧送負荷軽減は、より高所への圧送を可能とするだけでなく、高所へ圧送の後、さらに水平方向へより遠くに圧送することも可能となり、施工範囲・適用範囲の拡大という面からも開発する意義は大きい。

そこで本研究では圧送負荷軽減のため、現状品の密度低減を目指し、まず起泡剤の選定を行い、次に高所への圧送性改善が見込めると考えられる配合を実機を用いて圧送負荷の確認を行った。

2. 密度低下を目的とした起泡剤の検討(室内試験)

2.1 実験概要

本章では、空気(気体)混入により低圧力で 1000m 以上の長距離圧送が可能な吹き付けモルタル(現状品)の密度低減を図り、高所方向への圧送時における自重による圧力負荷の低減を目指すこととした。

起泡剤は成分の異なる 4 種類の液体起泡剤、および粉末起泡剤を用い、この中で密度低減可能でかつ圧送性向上が見込める起泡剤の選定を行った。

使用材料を表-1、配合比を表-2 に示す。

表-1 使用材料

種類	記号	材料	密度 (g/cm ³)
セメント	P	普通ポルトランドセメント	3.16
混和材	T	特殊混和材	2.45
細骨材	HS	細目砂	2.61
起泡剤	FO1	特殊陰イオン界面活性剤	1.01
	FO2	蛋白系・合成界面活性剤	情報なし
	FO3	アルキルエーテル系化合物の複合	1.02
	FO4	アルキルサルフェート系界面活性剤	1.00
	FO5	粉末 ラウリル硫酸ナトリウム	情報なし
減水剤	SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)	1.07

表-2 配合比 1

配合名	起泡剤添加率	W/P (%)	内割P(質量比)		体積割合 C:HS= 1:X	外割	
			C/P (%)	T/P (%)		SP*P (%)	FO*P (%)
現状品	なし	47	64.2	35.8	1.00	1.250	-
FO1	2.0%						2.0
FO2							
FO3							
FO4							
FO5	0.2%	0.2					

2.2 試験項目

試験項目および目標値を表-3 に示す。

表-3 目標値

試験項目	目標値
モルタルの0打フロー試験	300±30mm(現状品のみ)
加圧ブリーディング試験	7%以下
圧送流下試験	現状品より値が小さいこと
空気量試験(質量法)	17.5±2.5%

1) モルタルの 0 打フロー試験

JIS R 5201 に準拠。本研究では落下運動を行わずに、自重のみによる広がりフロー値として測定した。

キーワード 長距離ポンプ圧送, 法面吹付け材料, 鉛直, 特殊モルタル, 起泡剤

連絡先: 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学研究科 TEL 028-689-6211

2) 空気量試験

JIS A 1116 に準拠した。

3) 圧送流下試験

図-1 に示す圧送流下試験装置を用いて行った。試験装置のコックを閉め、JP 漏斗に試料を隙間なく詰め、蓋を閉める。その後、容器内を 0.1MPa まで加圧し、コックを開いて試料が流動管を通りすべて吐出するまでの時間を 10 分の 1 秒単位で測定を行った。

4) 加圧下におけるブリーディング率の測定 (加圧ブリーディング率試験)

海外で P C グラウトの評価に用いられている「Schupack Pressure Bleed Test¹⁾」を用いて評価を行った。試験装置を図-2 に示す。

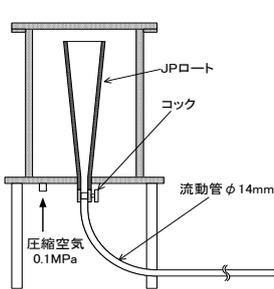


図-1 圧送流下時間試験装置

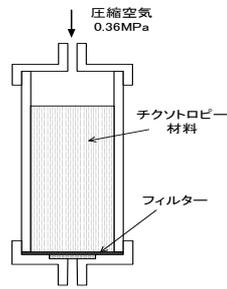


図-2 加圧ブリーディング試験装置

2.3 空気導入方法

本研究では、発泡機を用いず、練混ぜ前に起泡剤と水を混合し攪拌するだけで空気の導入が可能な「ミックスフォーミング方式」を採用した。

2.4 試験結果・考察

試験結果を図-3~6 に示す。

①空気量・フロー試験

すべての配合で「練混ぜ直後」と「2 時間後」のそれぞれの結果を比較した結果、いずれも大きな変化が認められなかった為、少なくとも 2 時間程度の可使用時間が確保できることを確認した。

空気量試験結果からは、「F01」を除く液体起泡剤では添加率 2.0%，粉体起泡剤である「F05」では添加率 0.2% で概ね安定して目標とする空気量を導入することができた。

モルタルの 0 打フロー試験では、起泡剤「F02」を除き、「現状品」と比較してフロー値の減少が確認できた。これは、モルタルの 0 打フロー試験が、材料の自重のみにより流動性を評価する為、低密度のモルタルにおいては当然の現象であると言える。一方、「F02」は他

の起泡剤以上の空気量を導入しているのにもかかわらず「現状品」よりも大きなフロー値が得られる結果となった。

②圧送流下試験・加圧ブリーディング試験

圧送流下時間は、「F02」および「F03」の 2 配合が現状品よりも圧送流下時間が短くなった。この結果から、「F02」および「F03」は加圧条件における圧送性に優れ密度低減が期待できると判断した。加圧ブリーディング試験はいずれの配合も 5.0% 未満となり目標値以下となった。

以上より、本検討の範囲では、起泡剤の空気連行性、起泡剤使用した際の流動性・圧送性から「F02」が長距離ポンプ圧送を行う本材料に最も適していると判断した。

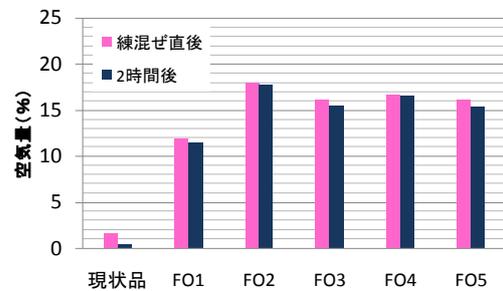


図-3 空気量試験結果

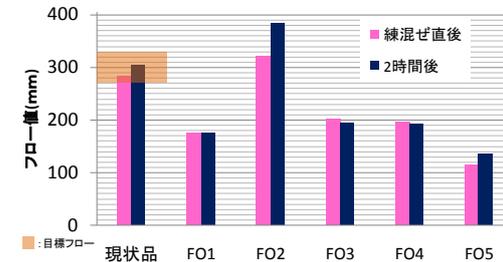


図-4 モルタルの 0 打フロー試験結果

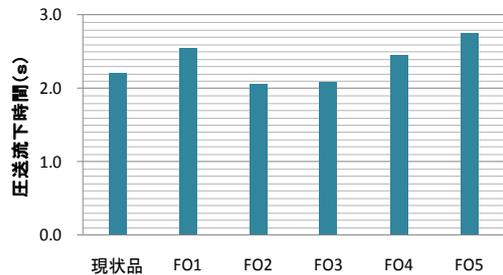


図-5 圧送流下試験結果

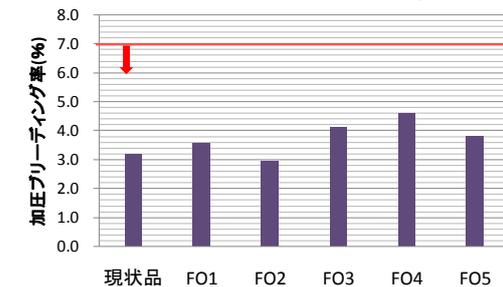


図-6 加圧ブリーディング試験結果

3. 実機試験

3.1 概論

本章では、現状品ならびに現状品に 2 章で選定した起泡剤により密度を低減させた配合そして細骨材量を調整した配合をそれぞれ鉛直上方向へ圧送を行い圧送負荷の確認を行った。

3.2 使用材料の種類・配合比

配合比を表-4 に示す。使用材料は表-1 と同様であり、起泡剤は前章で良好な性状確認できた F02 を用いた。気泡剤添加率は事前試験により本章では 0.05% とした。配合 A は 2 章の表-2 の「現状品」と同様の、1000m 以上の長距離圧送可能な配合である。配合 B は自重による圧送負荷低減を目的に、配合 A に起泡剤を添加した配合である。配合 C は、管内摩擦低減を目的にセメント細骨材比を配合 A の 1.0 から 0.6 に変化させた配合である。そして、配合 B および配合 C を併せた配合を D とした。本実験では高性能 AE 減水剤添加率は全ての配合でセメントに対して質量で 1.25% 添加とした。

3.3 試験条件

試験の概要図を図-7 に示す。ホース全長は 480m とし、ポンプ直後、150m、300m、および 450m 地点に設置されている圧力ゲージにより、目視にて圧送負荷を確認した。試験はまず水平方向に 480m の圧送を行い、圧送負荷を測定した後にホース先端をクレーンにより持ち上げ、吐出口の高さを変化させることで鉛直上方向への圧送時に生じる圧送測定を実施した。吐出口の高さは 15m および 27m の 2 水準とした。なお、流量は 50L/分とした。フレッシュ性状試験は 2.2 節と同様とし、材料密度は計量カップに 2000cm³ 注いだ際の質量を計測して測定した。

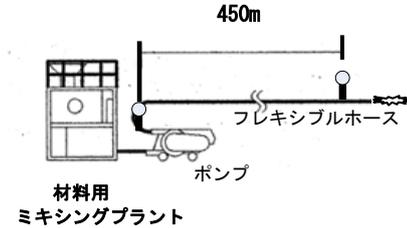
3.4 試験結果

圧送前のフレッシュ性状試験結果を表-9 に、圧送試験結果を図 8~11 に示す。

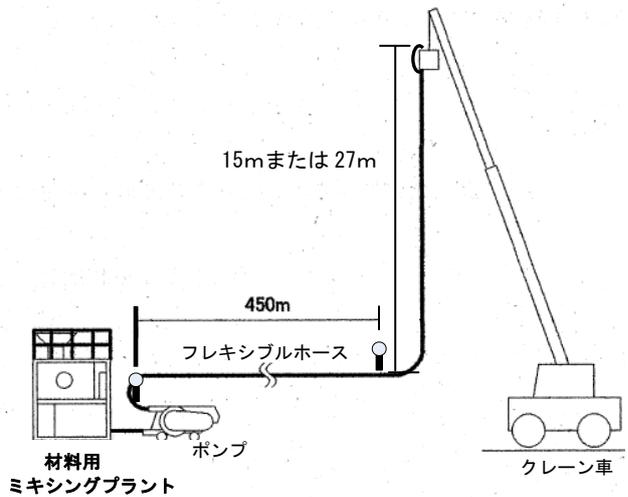
図-8 から水平方向のみの圧送試験結果から、細骨材が少ない配合 C・D の方がそれぞれ配合 A・B よりも圧送負荷が小さくなった。一方、起泡剤の有無で比較した場合、起泡剤を導入し密度が小さい配合の方が、圧送負荷が大きくなる結果となった。これは、表-4 のモルタルの 0 打フロー試験結果より、材料内への空気泡導入によるフロー値の減少に示される流動性の低下が圧送負荷の増大につながったと推察される。

表-4 配合比 2

配合名	W/P (%)	内割P(質量比)		体積割合 C:HS= 1:X	外割	
		C/P (%)	T/P (%)		SP*P (%)	FO2*P (%)
配合A	47	64.2	35.8	1.0	1.250	-
配合B		64.4	35.6	0.6		0.05
配合C						-
配合D						0.05



○水平方向のみの圧送の場合



○水平方向圧送後、鉛直上方向へ圧送する場合

図-7 圧送試験概要図

表-5 フレッシュ性状試験結果(圧送前)

配合名	密度 (g/cm ³)	フロー値 (mm)	圧送流下時間 (s)	加圧ブリーディング率 (%)	温度 (°C)
配合A	1.97	290	2.0	3	7.0
配合B	1.59	293	1.8	3	12.6
配合C	1.93	329	1.6	3	10.8
配合D	1.47	246	1.9	3	10.5

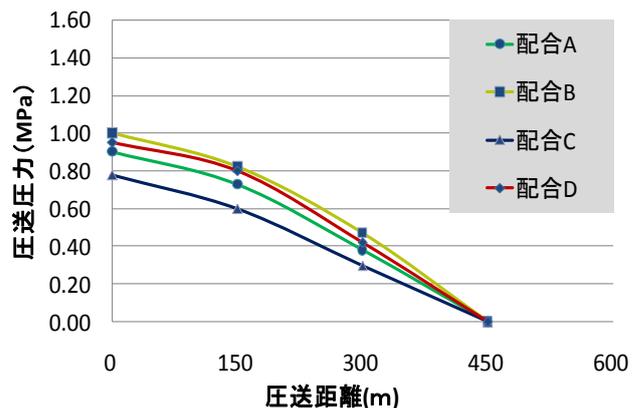


図-8 圧送試験結果(水平 480m)

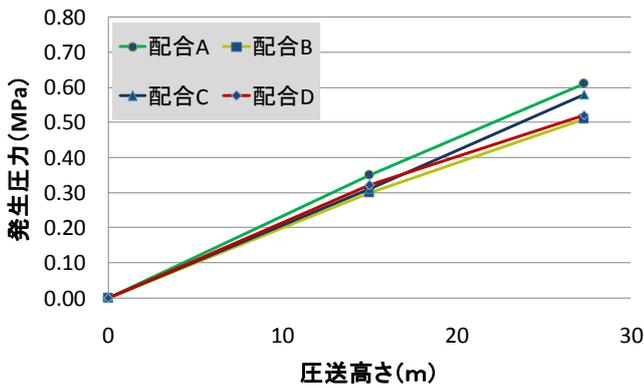


図-9 鉛直上方向の圧送距離-圧力の関係

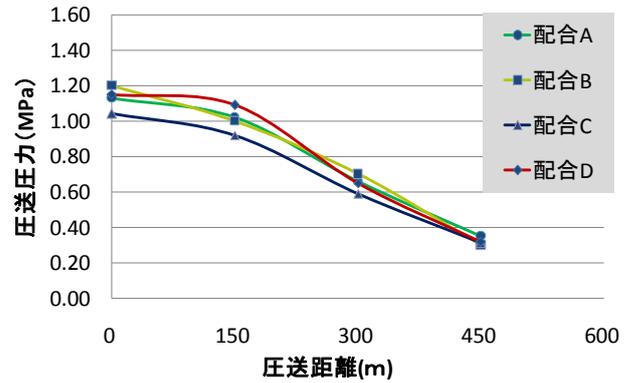


図-11 圧送試験結果(水平 453m+鉛直 27m)

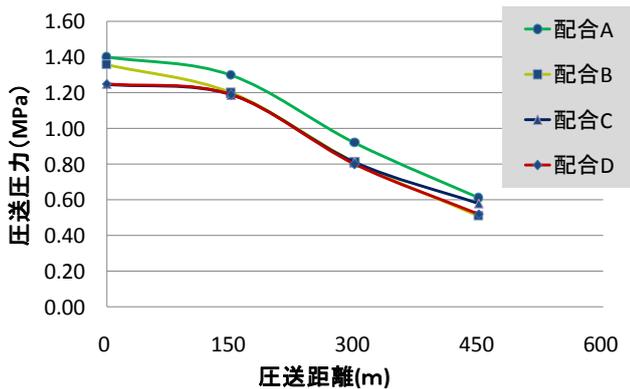


図-11 圧送試験結果(水平 465m+鉛直 15m)

図-9 より、鉛直上方向への圧送高さとポンプから 450m 地点である鉛直圧送直前にかかる圧力の関係を比較した場合、起泡剤により密度の小さくなった配合 B・Dの方がそれぞれ配合 A・Cと比較して圧送負荷が小さくなる傾向が認められた。これは、密度の低下により鉛直上圧送時の材料の自重による負荷が軽減された為と考えられる。

図-10 および図-11 により圧送試験全体を通しての圧送負荷を確認すると、鉛直 15m の圧送では、起泡剤を使用した配合は水平 450m 圧送時の圧送負荷が使用しなかった場合と比較して大きいため、全体の負荷が大きくなった。しかし、鉛直 27m の圧送では、起泡剤を使用した配合は、未使用時と比べて圧送負荷は軽減する傾向が認められた。以上から、鉛直上方向への適用を考えた場合、密度の低減による自重による圧送負荷の軽減は有効であると考えられる。一方、水平方向のみの圧送においては空気泡の導入により圧送負荷が大きくなるため、水平方向の距離が長く、鉛直方向への圧送距離が短い場合には、起泡剤による密度低減を行わない、または細骨材を減少させることを併せて検討する方が圧送負荷低減に効果的となる。本試験の結果か

ら、水平方向へ 450m 圧送する際には、30m の高低差以上でならば約 20%程度の密度低減による自重の圧力負荷の低減は有効であるということが分かった。

4. まとめ

- 1) 起泡剤の空気連行性、起泡剤使用した際の流動性・圧送性から「F02」が長距離ポンプ圧送を行うモルタルに最も適した起泡剤であると考えられる。
- 2) 水平方向の圧送では、細骨材量の減少により圧送負荷が減少する一方、起泡剤を使用した場合は空気泡導入に伴う流動性の低下により圧送負荷は増大する。
- 3) 鉛直方向への圧送時には、起泡剤による密度低減により自重による圧送負荷を軽減させることが可能である。
- 4) 2)、3)より鉛直上方向への展開を考えた場合、密度低減が有力な手段であるが、水平方向の圧送距離が長い場合、圧送負荷が増加する可能性もある為、施工全体を通しての鉛直上方向および水平圧送距離のバランスを考慮し、今後検討する必要がある。

【参考文献】

1) Post-Tensioning Institute (PTI): Specification For Grouting Of Post-Tensioned Structures, PTI Guide Specification, pp.29-30, p61-63, 2001