

# 報告 水平方向へ 1000m 超の長距離圧送が可能な吹付けモルタルの鉛直上方向への展開を目的とした圧送試験

岡村 祐輝<sup>\*1</sup>・藤原 浩巳<sup>\*2</sup>・丸岡 正知<sup>\*3</sup>・笹谷 達也<sup>\*4</sup>

**要旨:** 本報告は、内径 1.5 インチのグラウトホースを全長に用い、低圧力で水平方向へ 1000m 以上の圧送可能なモルタルに関する検討結果をまとめた。水平方向へ 1000m 圧送した場合、ポンプの最大負荷は 2.6MPa 程度であり、十分な圧送性を有することが確認された。また各種硬化試験結果から、一般的な吹付け補修材と同等以上の品質を有することも確認された。次に、鉛直上方向への適用範囲拡大の為、配合を調整し圧送試験を行った結果、鉛直上方向への圧送には起泡剤による密度低減が最も有効であった。しかし流動性の低下を生じ水平方向への圧送圧力が増大する為、鉛直圧送の際には水平距離も考慮して検討を行う必要がある。

**キーワード:** 長距離圧送, 補修工法, 吹付け材料, 鉛直, 低圧力, チクソトロピー性

## 1. はじめに

チクソトロピー性を有する 1000m 以上の長距離圧送可能な吹付けモルタル（以下、本モルタルと記す）は、従来のコンクリート圧送技術で不可能であった内径 1.5 インチのフレキシブルなグラウトホースを用いて 3.0MPa 以下の低圧力で、1000m 超の長距離圧送を実現した高強度吹付けモルタルである。最大の特徴として、材料にチクソトロピー性を付与することで、低圧力によるスムーズな長距離圧送を実現したことにある。

背景には、長距離圧送を必要とする吹付け施工のニーズがある。具体的には、小断面長距離導水路トンネルなど断面補修・補強を対象とした構造物補修分野、および従来技術で圧送不可能な場所にある地滑り崩壊地の表面保護・落石対策を対象とした斜面防災分野などが挙げられる。しかし、従来技術では、最長水平距離が 700m 程度であり、高圧力圧送対策として、重量物である金属製配管を使用するため、多大な時間と労力がかかった。また、断面補修では、100m を超える圧送が困難な技術が大半であり、大規模な工事では工期の制約、小スペースへの人力による機械・材料の搬入などの問題が重なるため、施工自体ができない場合も存在する。

このような課題を解決するため、モルタル材料の粉体構成を検討し、低圧力でスムーズな圧送が可能となる材料の開発を行った。その結果、汎用施工機械と軽量なフレキシブルホースを使用し、優れた作業性を実現した上で、従来は不可能であった 1000m 超の長距離圧送を可能とした。

しかし、本モルタルでは元々水平方向への圧送性のみを検討対象としており、高所圧送は検討対象ではなかつ

た。今後、現在以上に長距離圧送を必要とする場合や、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が、従来と比べ高所へ圧送可能とするだけではなく、高所へ圧送後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点からも開発する意義は大きいと考える。

以上より本報告では、まず本モルタルの配合および施工および材料の品質について紹介し、次に高所への圧送性改善が見込めると考えた配合について圧送圧力の確認試験を行った。

## 2. 本工法の概要<sup>1)</sup>

### 2.1 チクソトロピー性

本モルタルは、従来では不可能であった長距離圧送を実現するため、粉体構成の検討により開発された特殊混和材を加えることで、従来のモルタル材料にない特性を付与したものである。その特性とは、チクソトロピー性と称されるレオロジー特性の一種で、力が作用すると見かけの粘性が減少し、静置により回復する可逆変化を示すものである（図-1）。

具体的には、材料圧送中に外力を受けることで、材料の粘性が低下し、ホース内面との摩擦抵抗を低減しスムーズな材料圧送を可能とする。また、材料圧送後は、外力から開放されることで粘性が復元する。

この性状を用いることで、材料分離による閉塞を起こさずに低圧力で圧送することが可能となり、1.5 インチのフレキシブルなグラウトホースを用いる条件において

\*1 宇都宮大学大学院 工学研究科地球環境デザイン学専攻 (正会員)

\*2 宇都宮大学大学院 工学研究科地球環境デザイン学専攻 教授 (正会員)

\*3 宇都宮大学大学院 工学研究科地球環境デザイン学専攻 准教授 (正会員)

\*4 日特建設(株) 技術本部

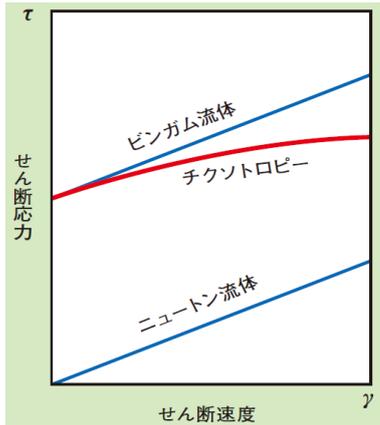


図-1 せん断速度と応力の関係



写真-1 球体への吹付け

も 1000m 超の材料圧送が最大圧力 3.0MPa 以下で圧送が可能となった。

## 2.2 本モルタルの特徴

本モルタルの主な特徴として、以下の 3 つを示す。

### (1) 1000m 以上の長距離圧送が可能

チクソトロピー性をモルタル材料に付与することで、3.0MPa 以下の低圧力条件で、モルタル材料を水平距離 1000m 超以上圧送することが可能である。

### (2) 簡単な仮設で施工が可能

水平距離 1000m の場合は内径 1.5 インチ、水平距離 500m の場合は内径 1.0 インチのグラウトホースを敷設するだけで施工可能な為、人が立入ることができる場所であれば、大型建設機器などを利用しなくても施工可能となる。

### (3) 多様な用途での吹付け施工が可能

急結剤を併用することで、あらゆる形状や角度の断面へ吹付けが可能である。写真-1 に本工法の材料を用い

て球体に吹付けた例を示す。

## 2.3 使用材料の種類・配合比

本モルタルの使用材料・配合比を以下の表-1、および表-2 に示す。

材料の作製は、あらかじめミキサー内に水を投入し、計量したそれぞれの粉体材料を攪拌中のミキサーの中に投入した。全ての粉体が投入完了した後に測定を開始し、注水完了時点から 2 分間練混ぜを行った。

なお、吹付けにおいては、モルタルを 100、急結剤を体積比で 100 : 3~5 の割合で吹付けノズル先端部にて混合して吹付けを行った。

## 2.4 施工方法

本モルタルを、最大吐出圧力 3.0MPa のスクイズ式ポンプを用いて施工箇所まで圧送し、急結剤・圧縮空気を先端ノズルで合流させ混合し、対象物に吹付ける方法により施工を行った。

表-1 使用材料 1

種類	記号	材料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	機能
セメント	P	C 普通ポルトランドセメント	3.16	水と反応して硬化物を形成
混和材		T 特殊混和材	2.49	モルタルに高い圧送性を付与
水	W	水道水	1.00	
細骨材	HS	細目砂	2.61	
混和剤	SP	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系)	1.08	モルタル材料の流動性を高め、可使時間を延長
急結剤	—	水溶性アルミニウム塩	1.08	施工時にモルタル材料を急硬

表-2 配合比(基準配合)

配合名	W/P (%)	内割P(質量比)		体積割合 C:HS= 1:X	水置換 SP×P (%)
		C/P (%)	T/P (%)		
配合A	47	64.2	35.8	1.0	0.50~2.00

## 2.5 品質管理に用いるフレッシュ性状試験

モルタル材料の長距離圧送性を保つために、材料製造後に3つのフレッシュ性状試験により圧送性の確認を行った。1000mの圧送可能なモルタル材料の品質管理基準を表-3に示す。目標値は、過去の実験により1000mの圧送が十分可能となる範囲として定めたものである。

### (1) モルタルの0打フロー試験

流動性を確認するため、JIS R 5201-1997に準じるが、落下運動を加える前の、自重のみによる試料の広がり直径(0打フロー値)を測定した。

### (2) 圧送流下試験

加圧状態での流動性を確認した。図-2に示す試験装置を用いて、試験装置外のコックを閉め、漏斗内を試料で隙間なく詰め蓋を閉める。圧力弁を調節して容器内を所定圧力にする。コックを開いて試料を流出させ、流出開始から流動管から全ての試料が吐出するまでの時間(圧送流下時間)を10分の1秒単位で計測する。

### (3) 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)

加圧状態時における材料の水分の放出量を調べることで、モルタルの材料分離抵抗性を確認する。試験方法は、海外でPCグラウトの評価に用いられている

「Schupack Pressure Bleed Test<sup>4)</sup>」を用いて評価を行った。図-3に示す試験装置を用いて、試験器下部にガラス繊維フィルターを設置し下部と本体のネジを締め、容器内に試料を200mL詰め上部を閉める。大気圧下で10分間静置した後、定めた圧力まで容器を加圧し、5分間静置後、ブリーディング水の体積を計測し、式(1)を用いて加圧下におけるブリーディング率の評価を行った。

$$B_p = (B_w / 200) \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $B_p$  : 加圧ブリーディング率 (%)

$B_w$  : ブリーディング水量 (mL)

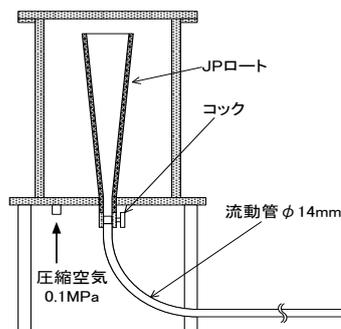


図-2 圧送流下時間試験装置

## 2.6 水平方向への長距離圧送性の確認(圧送試験)結果

本材料は水平条件(高低差0m)で圧送ポンプ吐出口圧力を3.0MPa以下に抑え、内径1.5インチホースを用い1000m以上の長距離圧送が可能である。その圧送性確認のため実施した試験結果について説明する。

圧送距離と流量・圧力の変化を確認するため、実施工で想定した条件と同じ全長1000mのホースを用意し、スクイズ式ポンプを用いて圧送試験を実施した。試験では、内径1.5インチホースに、100m毎で圧力計を取りつけ、所定圧送流量で安定した段階のゲージ圧力を目視確認した。試験条件としては、圧送流量を変化させ10~50L/分の範囲で試験を行った。なお、試験は、材料を循環せず開放型で実施した。ホースは、写真-2のように25m毎に巻き圧送負荷が大きくなる条件とした。

試験結果を図-4に示す。施工時の最大圧送流量50L/分の条件でポンプ吐出口圧力は2.6MPa程度となった。また、流量の減少に伴い各距離での圧力も減少し、圧送流量によって圧力が一定の変化を示すことが確認された。このため、問題なく1000m超の圧送が可能であることが確認された。

表-3 品質管理項目

管理項目	目標値
フロー値 (モルタルの0打フロー試験)	270~350mm
圧送流下時間	3.0秒以下
加圧ブリーディング率	6%以下

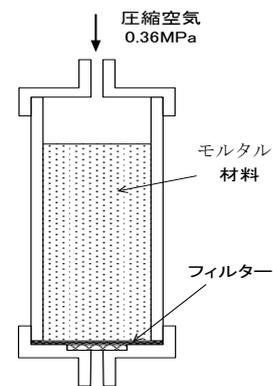


図-3 加圧ブリーディング試験装置



写真-2 ホース設置状況

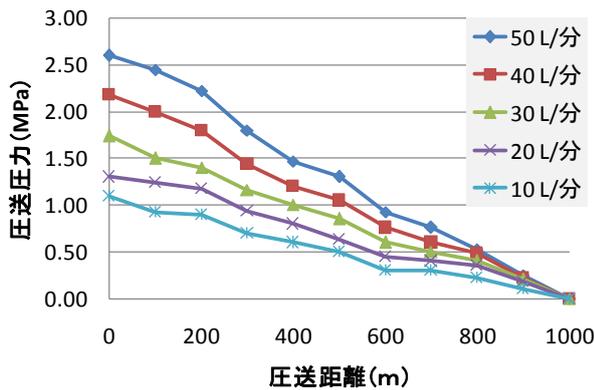


図-4 水平 1000m 圧送における各流量条件の圧力

## 2.7 各種硬化性状試験結果

本材料が広範囲な用途に対応できるか、一般的な吹付け補修材との品質比較を行った。

### (1) 一軸圧縮強度

JIS A 1107 に準じて材齢 7 日・28 日で試験を実施した。目標強度は材齢 28 日で 24N/mm<sup>2</sup> とした。

供試体は、実施工の機材で材料製造し、先端ノズル部分で急結剤を 5% 添加し、吹付け作業により実施し作製した。側面金網張りとした長方形型枠（高さ 30cm×長さ 100cm×幅 40cm）を地面に固定し、地面と垂直方向に適切な距離を保って吹付け、20±2℃の実験室内で気中養生を行い、3 日後にコアを採取し供試体とした。抜き取った供試体の寸法は、直径 100mm、高さ 200mm とした。その後、所定の一軸圧縮試験日まで、20±2℃で水中養生とした。

試験結果を、表-4 に示す。材齢 28 日にて目標強度 24N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度を示した。また、材齢 7 日から 28 日にかけて、養生期間で 1~2 割程度の強度増加が確認された。

表-4 一軸圧縮試験結果

材齢	7日	28日	目標値(28日)
一軸圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	28.9	32.6	24.0

### (2) 付着強度

断面補修材として、一般に指標として要求される付着強度 (1.5N/mm<sup>2</sup>; 材齢 28 日) を有するか確認するため、JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) に準じて試験を実施した。

供試体は、JIS R 5201 に規定する標準モルタルの基面に、モルタル材料に手練りで急結剤を混合し、手作業で型枠内に塗り込み作製した。

試験は、建研式接着力試験器を使用し、供試体の表面に接着剤を塗り、上部引張用治具を接着し、24 時間静置した後毎分 1500~2000N の荷重速度で、鉛直方向に載荷して最大荷重を求めた。なお、作製後材齢 28 日で試験を実施した。

試験結果を表-5 に示す。付着強度は、2.6N/mm<sup>2</sup> となり目標値を上回った。したがって、本モルタルは一般的な補修材料の規格以上の付着強度を有することが確認できた。

表-5 付着強度試験結果

基面条件	製造方法	供試体条件	付着強度 N/mm <sup>2</sup>
標準モルタル	手練り	型枠	2.63

### (3) 曲げ強度・長さ変化・中性化深さ・凍結融解抵抗性の確認試験結果

基本的な物性を確認するため、曲げ強度・長さ変化・中性化深さ・凍結融解抵抗性をそれぞれ実施した。各項目の試験とも、供試体は、JIS A 1132 の供試体に準じ、型枠へ直接吹付け、吹付け作業の際に先端ノズル部分で急結剤を 5% 添加した。吹付け後は、必要に応じて型枠に軽く振動を加え、金ゴテで型枠の側面及び端面に沿ってスペーシングを行った。

なお、型枠を脱形した後の養生は、所定の試験開始まで 20±2℃の水中養生を行った。

試験結果を表-6 に示す。各試験項目について、一般的な吹付け補修材と同等の品質を示す指標とした目標値を満たすことが確認された。

表-6 試験結果

試験名	試験方法	目標値	試験結果
曲げ強度試験	JIS A 1106	3.4N/mm <sup>2</sup> 以上	4.62N/mm <sup>2</sup>
長さ変化試験	JIS A 1129	-0.150以下	-0.142
中性化深さ試験	JIS A 1153	特に設定せず	5.0mm
凍結融解抵抗性試験	JIS A 1148	300サイクル後 相対動弾性係数 60%以上	65.8%

## 3. 鉛直上方向への圧送を目的とした圧送試験

### 3.1 概論

2 章では本モルタルが水平条件で 1000m 以上の長距離圧送が 3.0MPa 以下の低圧力で行えることを確認し、かつ一般的な吹付け補修材と同等の品質を有していること確認した。本章では、本モルタルおよび本モルタルをベースとして密度・細骨材量を調整した配合を鉛直上方向へ圧送を行い圧送圧力の確認を行った。

### 3.2 使用材料の種類・配合比

使用材料・配合比を以下の表-7 および表-8 に示す。  
 配合 A は 2 章の表-2 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 0.05% 添加した。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。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。

表-7 使用材料 2

種類	記号	材料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
セメント	P	C 普通ポルトランドセメント	3.16
混和材		T 特殊混和材	2.49
水	W	水道水	1.00
細骨材	HS	細目砂	2.61
混和剤	FO	液体起泡剤 (蛋白系・合成界面活性剤)	不明
	SP	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系)	1.08

### 3.3 試験条件

試験の概要図を図-5 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。次にホース先端をクレーンにより持ち上げ、鉛直上方向への圧送時に生じる圧送測定を実施した。圧送高さは 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 2.5 節と同様とし、材料密度は計量容器を用い、2000cm<sup>3</sup> 計りとした材料の質量を計測することで求めた。

### 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 6~9 に示す。

図-6 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 よりも圧送圧力が小さくなることが確認された。一方で、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、圧送圧力が大きくなる結果となった。これは、表-9 のモルタルの 0 打フロー試験結果より、材料内に空気を導入することによってフロー値の減少傾向が確認されたため、材料の流動性が低下したことが圧送圧力の増大につながったと推察される。

図-7 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

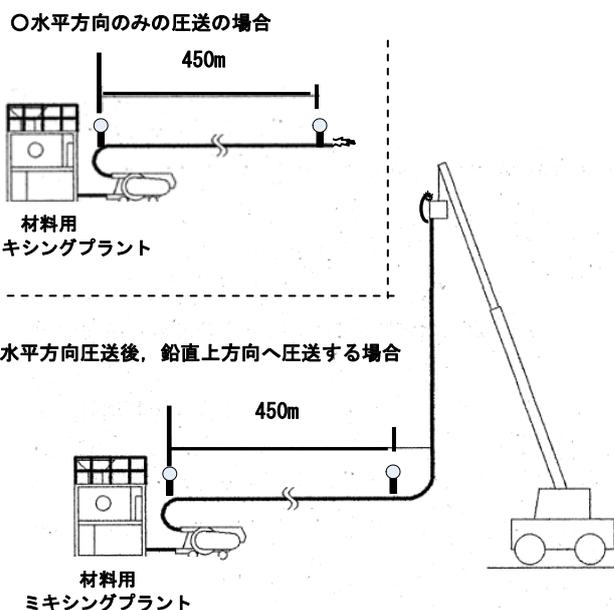


図-5 圧送試験概要図

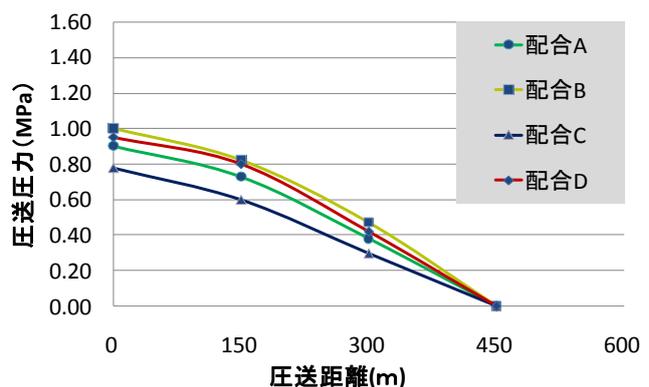


図-6 圧送試験結果 (水平 480m)

表-8 配合比

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

表-9 フレッシュ性状試験結果 (圧送前)

配合名	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	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

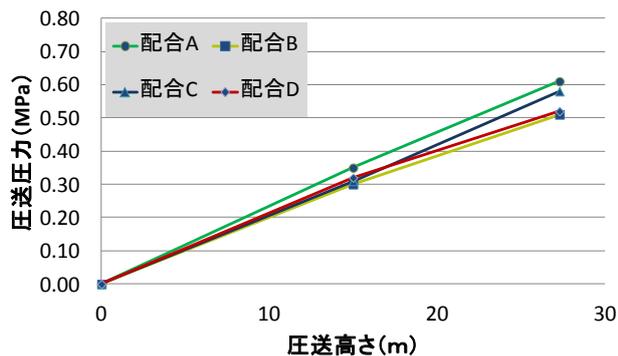


図-7 鉛直上方向の圧送距離-圧力の関係

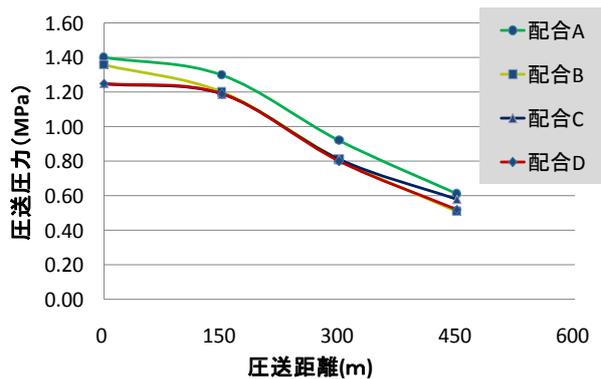


図-10 圧送試験結果(水平 453m+鉛直 27m)

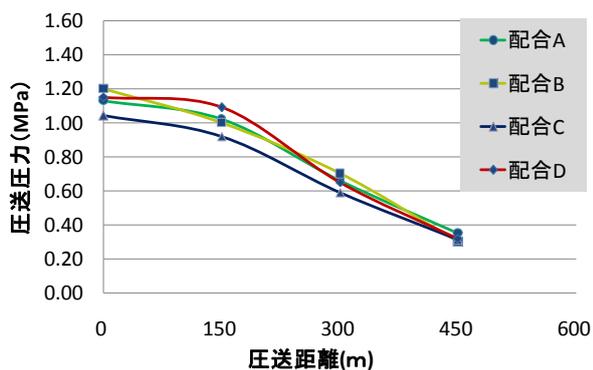


図-8 圧送試験結果(水平 465m+鉛直 15m)

場合、起泡剤により密度の小くなった配合B・Dの方がそれぞれ配合A・Cと比較して圧送圧力が小さくなる傾向が見られた。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ことによると考えられる。

図-8および図-9により圧送試験全体を通しての圧送圧力を確認すると、鉛直15mの圧送では、起泡剤を使用した配合は水平450m圧送時の圧送圧力が使用しなかった場合と比較して大きい為、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、使用しなかった場合と比べて圧送圧力が軽減され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圧力の軽減は有効であると考えられる。一方、水平方向圧送時に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、鉛直上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の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の高低差以上であれば約20%程度の密度低減による自重の圧力圧力の低減は有効であるということが分かった。

#### 4. まとめ

開発したモルタル吹付け材料の主な特徴は以下の通り

である。

(1) 本モルタルは金属製の配管や中継点を必要とせず、最大圧力 3.0MPa 程度の低圧力ポンプおよびグラウトホース(水平距離 1000mの場合は 1.5 インチ, 水平距離 500の場合は 1.0 インチのフレキシブルなグラウトホース)を敷設するという条件下で十分な圧送が可能である。

(2) 材料品質面においては、各種硬化試験の結果より、一般的な吹付け補修材と同等品質を有していることが分かり、広範囲な用途での要求に対応できる材料であることがわかった。

また、本モルタルを、鉛直上方向への適用を目的に、細骨材量の削減および起泡剤導入を検討した。その結果、圧送試験により以下の知見が得られた。

(3) 水平方向の圧送では、細骨材量の減少により圧送圧力が減少する一方、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圧力は増大する。

(4) 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圧力を軽減させることが可能である。

以上より、本モルタルの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、圧送圧力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、材料密度および細骨材量の最適値を今後検討する必要があることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 笹谷達也ほか:コンクリート工学 Vol.50, No.2:1000m超の長距離圧送を実現したチクソトロピー性を有するモルタル吹付け工法より引用
- 2) コンクリートライブラリー123 吹付けコンクリート指針(案)「補修・補強編」,2005
- 3) コンクリートライブラリー122 土木学会編:吹付けコンクリート指針(案)「のり面編」,2005
- 4) Post-Tensioning Institute(PTI):Specification For Grouting Of Post-Tensioned Structures, PTI Guide Specification, pp.29-30, p61-63, 2001