

# モールグラウト工法の超長距離・大容量圧送性能の実証

## Verification of MOLE-Grout's Ultra Long Distance Pumping Ability for Large Material Quantities

山地 宏志 HIROSHI YAMACHI

戸村 豪治 GOJI TOMURA

高橋 直樹 NAOKI TAKAHASHI

黒川 幸彦 YUKIHIKO KUROKAWA

土木営業部 酒入 修 OSAMU SAKAIRI

土木技術部 泉 国彦 KUNIHICO IZUMI

モールグラウト工法は、3km 以上の超長距離圧送性と毎時 20m<sup>3</sup> 程度までの大容量圧送を同時に可能とするよう設計・開発された小断面水路トンネル用空洞充填工法である。これまでは、同等の能力を有する工法がなかったため 3km 超の水路トンネル補修工は未だ計画されていない現状にある。筆者らは、モールグラウト工法の超長距離・大容量圧送性能の実証を目的として、能登川 PC 工場において実証実験を実施した。本報告は、その実験結果を示し、モールグラウト工法の実用性を検証するものである。

**キーワード：**モールグラウト工法，長距離・大容量圧送，リミキシングポンプ

Any rehabilitation project for tunnel with extension of over 3km has not yet planned because of the lack of capacities of pumping system for grouting material. The authors have developed 'Mole-Grout' method especially for rehabilitation of tunnels with small section which is designed in order to enable ultra long distance transfer over 3km with large-capacity of 20m<sup>3</sup> per hour. Field experiments were carried out at Notogawa PC factory to verify the abilities of both ultra long distance and large-capacity transfer performance of Mole-Grout method, which demonstrated actual applicability of the method.

**Key Words :** MOLE-Grout, Ultra Long Distance Pumping Ability in Large Quantities, Re-Mixing Pump

### 1. はじめに

小断面水路トンネルの覆工背面空洞充填工においては、充填材の超長距離圧送性が要求されるだけでなく、大容量圧送性も同時に要求される。これは、水路の断水期間が限定されるため、工程確保には大容量圧送による急速施工が不可欠となるためである。また、当然のことながら、覆工背面充填材としての要求品質も満たさねばならない。

当社開発のモールグラウト工法は、小断面水路トンネルの覆工背面充填工に特化して設計・開発された工法であり、3km 以上の超長距離圧送性能と 20m<sup>3</sup>/h 程度までの大容量圧送性能を併せ持つ<sup>1)2)3)</sup>。また、これに採用した MG グラウト材は、高速道路会社 3 社が規定する覆工背面空洞充填材料の要求品質もすべて満足する<sup>2)3)4)</sup>。

しかしながら、これまでは、同等の性能を有する充填工法がなかったため、圧送による 3km 超の水路トンネル

充填工は計画されていない。また、モールグラウト工法も現時点では 2km 超程度の施工実績しか有さないため、3km 超における実用性に疑問が持たれ、設計に採用することを躊躇されている現状にある。

このような現状を打破し、3km 超の小断面水路トンネル覆工背面空洞充填を実用化するため、能登川 PC 工場においてモールグラウト工法の実証実験を実施した。

本報は、その実験結果を示し、モールグラウト工法の 3km 超の圧送距離における実用性を検証するものである。

### 2. モールグラウト工法の超長距離圧送実証実験

#### (1) 実証実験の目的

2010 年 3 月 3 日～11 日に三井住友建設(株)大阪支店能登川 PC 工場において、モールグラウト工法の超長距離圧送実証実験を実施した。また、実験期間中の 2010 年 3 月

10日には、実証試験の客観性を担保する目的で、第三者を招待して公開実験を実施した。その主たる実証項目を以下に示す。

- ① 3,000m以上の圧送距離における安定な大容量圧送(18m<sup>3</sup>/h)の実証
- ② 上記条件で圧送された充填材の品質確認
- ③ 上記条件における圧送配管および接続部の耐圧性能の確認

(2) 実証実験設備の概要

モールグラウト工法はA材(固化材)およびB材(助材)を別途に混練後に別配管で圧送し、注入箇所付近で両材をリミキシングポンプで強制攪拌した後に空洞部に注入し、充填する工法である。

実証実験では、毎分300L/min(18m<sup>3</sup>/h)の充填量を想定し、A材120L/min、B材180L/minの一定流量でそれぞれ圧送することとした。表-1に、実験に用いた充填材の300L配合を示す。

表-1 実験に用いた充填材配合(300L配合)

	A材(180L)			B材(120L)		
	固化材	MG-A1	水	MG-B1	MG-B2	水
重量kg	135.0	2.42	249.6	18.0	0.76	574.0
比重	3.16	1.01	1.00	2.50	1.27	1.00
容量L	42.72	2.40	74.88	7.20	0.60	172.2

a) 混練りプラントおよび圧送ポンプ

表-2に実証実験に供した混練りプラントおよび圧送ポンプの機器構成を示し、図-1には混練りプラントの設置配置図を示す。さらに、写真-1~4にはそれらの設置状況を示す。

これらの図表や写真から分かるようにミキサー、アジテーター、および圧送ポンプなどは比較的小型の機器であるが、固化材と助材MG-B1を貯蔵するサイロは大型のものが求められる。これは、毎時18m<sup>3</sup>/hもの大量混練りを行わなければならないためである。

なお、補修対象トンネルが山間部などで頻繁な材料搬入が困難な施工条件では、より大型のサイロが必要な場合もあるが、そのような場所では今回使用したようなサイロ一体型のプラントではなく、サイロとミキサーなどを分離して配置する方式もあり、また敷地を取らない縦型サイロも用意されている。

表-2 混練りプラント・圧送ポンプ機器構成

機材名	仕様	単位	個数
混練りユニット	横置きサイロユニット 18m <sup>3</sup>	基	2
自動作液装置	A液用:ミキサー1.0m <sup>3</sup> 、アジテータ2m <sup>3</sup> 清水タンク4m <sup>3</sup> 、清水供給ポンプ1式	基	1
自動作液装置	B液用:ミキサー1.0m <sup>3</sup> 、アジテータ1.4m <sup>3</sup>	基	1
圧送ポンプ	A/B液用、予備含	基	3
電磁流量計		台	2
モルタル流量計		台	1

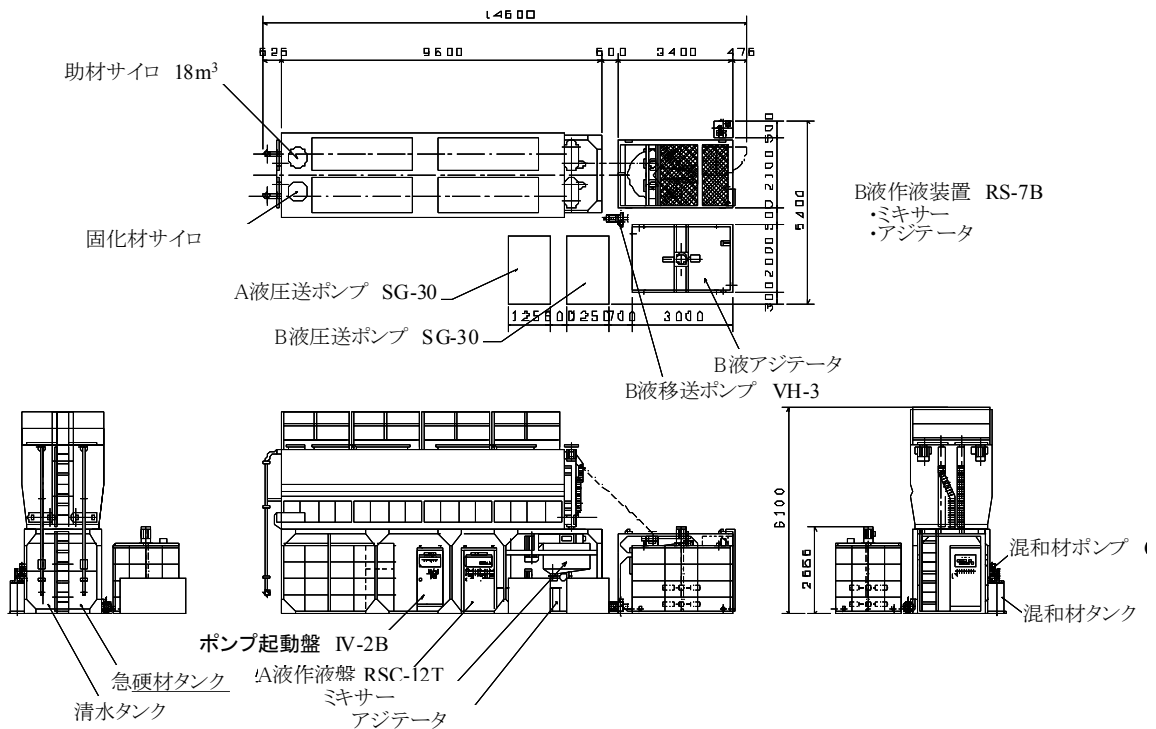


図-1 混練りプラント設置配置図



写真-1 混練りプラント設置状況（上部より俯瞰）



写真-2 混練りプラント設置状況



写真-3 B材圧送ポンプ設置状況



写真-4 終端部の合流 Y 字管とリミキシングポンプ

### b) 圧送管配管

圧送配管には、A 材用に 2B 高耐圧鉄管と耐圧ビクトリックジョイントを、また B 材用に 3B 鉄管とワンタッチジョイントを用いた。これは、前述のように A 材および B 材の圧送流量が異なるためである。図-2 に実証実験時の圧送配管系統図を示し、写真-5、写真-6 には配管各部の配管状況を示す。なお、写真-5、写真-6 において、青の配管は A 材配管を、またオレンジの配管は B 材配管をそれぞれ示す。

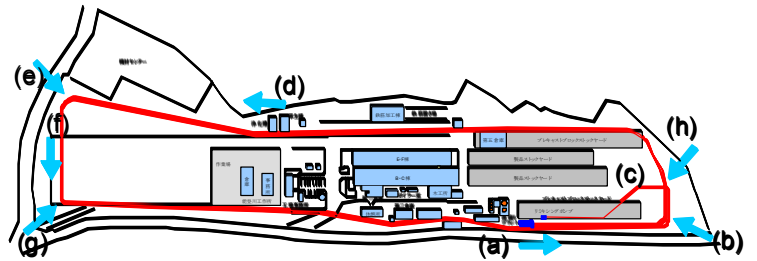


図-2 実証実験時圧送配管系統図



(a) 配管開始地点近傍配管状況



(b) 第 1 急曲部近傍配管状況



(c) 第 2 急曲部近傍配管状況

写真-5 実証実験時圧送配管状況



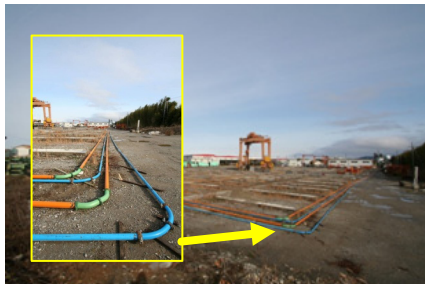
(d) 直線部配管状況



(e) 第3急曲部近傍配管状況



(f) 単直線部配管状況



(g) 第4急曲部近傍配管状況



(h) 折り返し部配管状況

写真-6 実証実験時圧送配管状況

実証実験を実施した能登川 PC 工場においては、配管可能な外周延長距離が約 1,340m であったため、工場外周を 2 周し、さらに写真-6 (h) のように局所的に折り返す配管システムとなった。

このような敷地上の制約から、12 箇所 90 度を含む急曲部が発生したが、いずれもベント管により接続した。

このような多数の急曲部を含む配管システムは実際の充填工事で発生することは希であり、当該実証実験は配管延長以上に困難な圧送作業であると評価される。なお、総配管延長は A 材および B 材の配管ともに 3,006m である。

C) 圧送実験次第

圧送実験は、A 材および B 材が同時にリミキシングポンプに到達するように、配管延長および圧送ポンプ、ミキサーなどの機械能力から圧送開始時間を逆算したタイムテーブルを作成し、実施した。

表-3 は 2010 年 3 月 10 日の公開実験時に使用したタイムテーブルである。表-3 から分かるように、実務上 A 材および B 材が同時にリミキシングポンプに到達することは難いため、実際のタイムテーブルの作成に当たっては、B 材を、若干早めに先着させ圧送ポンプを停止し、A 材の到着を待って再稼働させることとした。これは、A 材の固化材成分の沈降を防ぐための手段である。また、A 材および B 材の到着予定時刻は予備試験時の実績をもとに理論値を補正している。なお、圧送中の配管内圧力を測定するために、圧送ポンプ吐出口 (0m)、2,000m 地点、および 3,000m 地点に写真-7 に示す圧力計を設置した。

表-3 公開実験時圧送タイムテーブル

時刻	作業予定	作業実績
10:00	B 材混練り開始 (混練り後アジテータに)	B 材混練り開始
12:30	B 材圧送開始	B 材圧送開始
13:30	A 材混練り開始	A 材混練り開始
13:35		A 材圧送開始(1分遅延)
13:36	A 材圧送開始	
13:55	B 材到着	
13:58		B 材到着 (3分遅延)
14:28	A 材到着	
14:29		A 材到着 (1分遅延)



写真-7 配管内圧力計設置状況



写真-8 静的フロー試験と圧縮強度供試体採取



写真-9 水中分離抵抗試験

また、強制攪拌し、吐出された充填材に対し静的フロー（写真-8）、動的フロー、圧縮強度（写真-8）、比重および水中分離抵抗性（写真-9）などの品質確認試験を実施した。これらの試験や測定は、高速道路会社 3 社が規定する覆工背面空洞充填材料試験法<sup>4)</sup>に準じて実施するものである。

### （3）実証実験結果と考察

2010年3月10日の公開実験時では、表-3に示すように計画のタイムテーブルから3分以上の遅延もなく順調な圧送を実施することができた。

図-3にA材およびB材到達までの圧送流量の経時変化を示し、図-4、図-5にはA材およびB材の0m、1,000m、2,000m地点における管内圧力経時変化をそれぞれ示す。図-3を見ると、A材およびB材とも若干の変動は生じるもののほぼ安定してA材120L、B材180Lの一定流量で圧送されていることが分かる。B材は70分経過後から、流量が低下する傾向が見えるが、これは圧送距離が大きくなったために管内抵抗が大きくなり圧送能力が低下したためと考えられるが、充填作業の実務に影響を及ぼすものではない。また、A材については、当初よりポンプの最大圧送圧を高く設定したこともあり、このような傾向は認められない。

次に、図-4、図-5をみるとその最大圧送はいずれも圧送ポンプ吐出（0m）で発生し、A材で2.30MPa、B材で0.88MPaとなっている。これらの値は当該設備・配管の設計値とほぼ等しい。また、0m地点の勾配を見るとほぼ線形に近い勾配を有しており、圧送距離に比例して圧送抵抗が線形に増大していることが分かる。したがって、急曲部の影響はほとんど現れていないものと判断され、

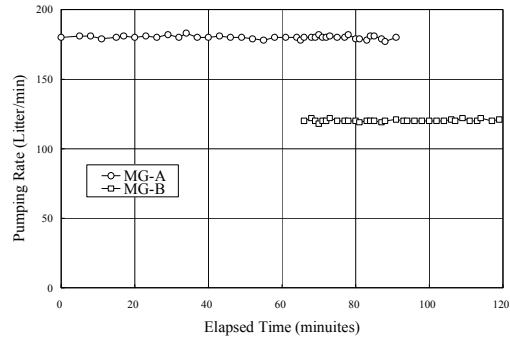


図-3 A材およびB材圧送流量の経時変化

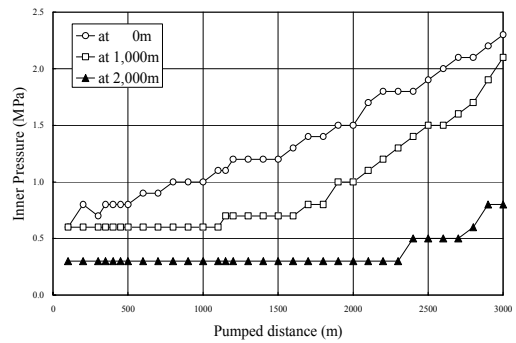


図-4 A材の管内圧力経時変化

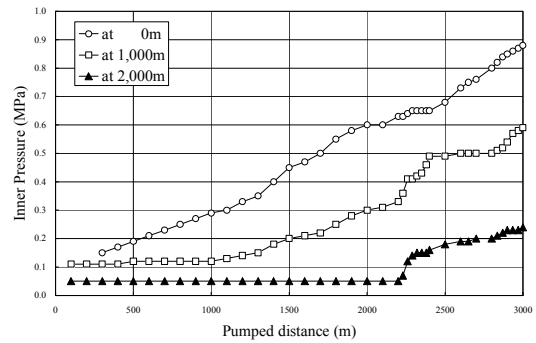


図-5 B材の管圧力経時変化

工学的な設計にはこれを考慮する必要がないものと考えられる。

また、理論的には0m、1,000m、2,000m地点における圧送圧力の比は距離比例して3:2:1になるはずであるが、A材では1,000m地点の最大圧力が2.1MPaまで上昇しており、0m地点の圧力に近いものとなっている。この現象は配管設計に反映されるものではないが、安定的な超長距離圧送を担保するためにも、当該地点の圧力計の較正も含め、何らかの検証が必要と判断した。なお、B材配管の各地点における圧力比は、図-4に示されるとおり、距離に比例したほぼ理論通りのものとなっている。

表-4には、3,006mを圧送した後にリミキシングポンプ

表-4 品質管理試験結果一覧

品質管理項目	規格値	試験値
フロー値	静止時 (MG 自主規格 : 100±20mm)	83.5
	打撃時 (130~205mm)	139
圧縮強度	1.5N/mm <sup>2</sup> 以上 (材令 28 日)	2.1
比重	1.34±0.1	1.3
水中分離抵抗性	濁度 : 投入後 60 分経過後±2%	0.7
	pH : 投入後 60 分経過後±10%	0.8

により強制攪拌した充填材の品質確認試験結果の一覧を示す。表に示すようにすべての品質管理項目において基準値を満足している。

一般に、長距離圧送充填工に供される充填材は距離に応じて配合を変化させるなどの対策を行うため、ワーカビリティが過大となるなどの問題が発生する。モールグラウト工法では距離にかかわらず、常に一定配合の充填材を圧送することが可能であるため、安定した品質が確保できる。これは、リミキシングミキサーによる強制攪拌方式を採用したためである。この方式の採用により、3,000m 超を圧送しても高品質な材料で充填を行うことが可能であることが実証できたものとする。

### 3. まとめ

本報告に示したモールグラウト工法の超長距離・大容量圧送実証実験は、当初の想定をすべて満足する結果が得られた。これは当該工法開発時の設計要件が満たされていることを追認したに過ぎないが、当該工法が小断面水路トンネル補修設計に問題なく適用できることを証明したことでもありと評価される。

今回の実証実験では、実験敷地上の制約から 12 箇所もの急曲部を設けざるを得なかったが、結果的には急曲部を配管設計上考慮する必要がないことを証明できた。このことは、同工法の適用範囲をより一層拡大できることを示すものである。また、当該工法の配管・機器の選定に当たっては設計上の余裕を大きく取っている。今回の実証実験では、3,000m 級の超長距離圧送が設計どおり実施できたが、現状と同一の配管・機器での 5,000m 級程度までの圧送も可能であると予想される。今後、そのフィービリティスタディを実施する予定である。また、1,000m 級の比較的短い距離の覆工背面充填に関し、簡易で安価な充填工法の開発も併せて実施する。

### 参考文献

- 1) 山地宏志, 戸村豪治, 上西幸司, 清水則一, 櫻井春輔 : 小断面トンネルリニューアルシステム工法-小断面に特化した補修・補強工法の開発とその調査について-, 建設機械, Vol.46, No.7, pp.61-66, 2010
- 2) 戸村豪治, 山地宏志, 上西幸司, 櫻井春輔 : 可塑性充填材によるトンネル覆工背面空洞の長距離圧送工法の開発-長距離圧送と充填材品質確保の両立について-, 建設機械, Vol.46, No8
- 3) 戸村豪治, 山地宏志, 櫻井春輔 : 可塑性材料によるトンネル覆工背面空洞の長距離圧送充填工法の開発, 平成 21 年度「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集, pp.29-34, 2009
- 4) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社 : 矢板トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領, 2006