

無機系材料を用いた 1 液性可塑状の トンネル裏込め注入工法の開発

田中将希¹・新村 亮¹・青木 茂²・仲家順次³

¹正会員 工修 株式会社大林組土木技術本部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟）

²正会員 工博 株式会社大林組土木技術本部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟）

³正会員 三信建設工業株式会社仙台支店（〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央1-2-2）

今回開発したトンネル覆工コンクリート裏込め注入工法は、従来工法の抱える諸課題を解決することを目的に、1液性の可塑状グラウトをポンプで圧送する裏込め注入工法である。この工法に用いる材料の性能試験、施工技術の検討等を行い、実施工に適用した結果、以下のような有用性が認められた。1. 水中分離抵抗性が高い。2. 限定注入が可能で、地山や目地への漏れが少ない。3. 製造方法が簡易で、現場の固定設備を削減できる。4. 材料の種類が少なく1液性のため、品質管理が容易。5. 1液性で700m程度の長距離圧送が可能。以上の特長から道路トンネルの裏込め注入工事の一部での試験施工や、トンネル土被りの不足した箇所での、人工地盤の築造のため長距離圧送での施工を行った。

キーワード：空洞充填，トンネル，裏込め注入，可塑状グラウト，コストダウン

1. はじめに

トンネルの補修工事では、覆工コンクリート背面に空隙がある場合に注入材料を充填することで、覆工コンクリートに局部的に不均等な荷重がかかることを防ぎ、覆工コンクリートの変状と地山の安定を確保する必要がある。トンネル覆工コンクリートの背面空隙や地下空洞などの裏込めに従来用いられてきた発泡モルタルは、流動性が高い反面、地山やコンクリート目地への漏洩や、水に対する分離抵抗性に問題があった。また、湧水下で使用できる材料として、有機系発泡材料があるが、経済性の面から使用は限定される。最近では、水に希釈されにくく、圧送を停止すると自立する特性があり、所定の範囲に限定的に注入可能な可塑状グラウトの使用が増えている。

可塑状グラウトは粘性が高くポンプ圧送性が劣るため、長距離でも圧送できるようにセメント系材料と可塑材を別々にポンプ圧送し、圧送管先端で混合する2液方式が多く採用されているが、設備にかかるコスト面で課題があった。今回開発した裏込め注入工法は、全材料を練り混ぜた1液性の可塑状グラ

ウトを1台のポンプで圧送することにより低価格をめざした裏込め注入工法である。

本稿ではこの工法で使用する材料の性能試験、施工技術の確認試験、及び現場での試験施工について報告する。

2. 本工法の特徴

本工法の特徴は次の通りである。

(1) 製造方法

本工法で使用する注入材は、コンクリート工場で製造し、トラックアジテータ車に積まれたモルタルに、特殊増粘材スラリーを投入し、混合・攪拌することにより製造する。材料数が少なく、製造機械が小規模ですみ、高価な材料や特殊機械も使用しない。また、坑内での充填材製造工程が不要となり、小規模な注入設備で、制約された時間内に充填作業を行うことができる。

(2) 注入方法

1液性で長距離の圧送が可能のため、通常のも

タルポンプで注入作業が可能である。

(3) 高信頼性

1液性のため、注入材の品質確認が容易である。

(4) 可塑性

加圧や振動により流動する性質を有し、限定注入が可能である。水中分離抵抗性が高く、覆工コンクリートのひび割れや目地からの材料漏洩が少ない。

(5) 多機能性

セメント量・特殊増粘材量・遅延剤量を増減させることにより、流動性保持時間・設計基準強度・水中分離抵抗性の調整が可能であり、配合の自由度が高い。

(6) 環境への影響

六価クロム溶出量が土壤環境基準以下である。

3. 配合および使用材料

表-1に配合例を、表-2に使用材料を示す。

ここでは、水中分離抵抗性の程度により、2タイプの配合例を示す。設計基準強度が異なるのは、水中タイプにおいて水中分離抵抗性を高めるために、セメント量を増加させることによるものである。

特殊増粘材は無機系材料であり、遅延剤はソイルセメント用超遅延剤である。

表-1 注入材の配合

タイプ	湧水の有無	標準比重	設計基準強度	注入材 1m ³ 当り	
				モルタル	特殊増粘材スラリー
水中	有り	1.40	3.0 N/mm ²	S/C=1:1 0.25 m ³	0.75 m ³
一般	無し	1.55	2.0 N/mm ²	S/C=1:3 0.40 m ³	0.60 m ³

表-2 使用材料

	種類
セメント	高炉セメントB種
骨材	細骨材
特殊増粘材	無機系
遅延剤	ソイルセメント用

4. 材料物性値および材料性能試験

(1) 物性値

表-3に注入材の主な物性値を示す。

表-3 注入材の主な物性値

項目	規格	物性値
モルタルフロー	JIS R 5201	160~220 mm
圧縮強度 (28日)	JIS A 1107	1~7 N/mm ²
ブリーディング	JSCE F 532	0.2 %未満
六価クロム溶出量	JIS K 0102	0.01 ppm 未満

土壤環境基準：0.05 ppm 以下

(2) 可塑性

写真-1は、モルタルフロー試験時の性状を示している。フローコーンの引抜き後(写真：左)の注入材は自立しているが、振動(写真：右 振動15回後)を与えることにより注入材は流動する。



フローコーン引抜き後 (自立状態) 15回振動後 (流動状態)

写真-1 注入材の可塑性

(3) 水中不分離性

図-1に水中不分離性試験の結果を示す。この試験では 20cm×36cm×29cm の水槽の底面上で、注入材を詰めたφ8cm×h8cm の円筒容器を引き上げ、その後の光の透過率、pH の経時変化を測定した。なお、グラフ内の初期とは、容器引き上げ前の水道水の値を示している。本注入材では濁度、pHともほとんど変化が見られない。

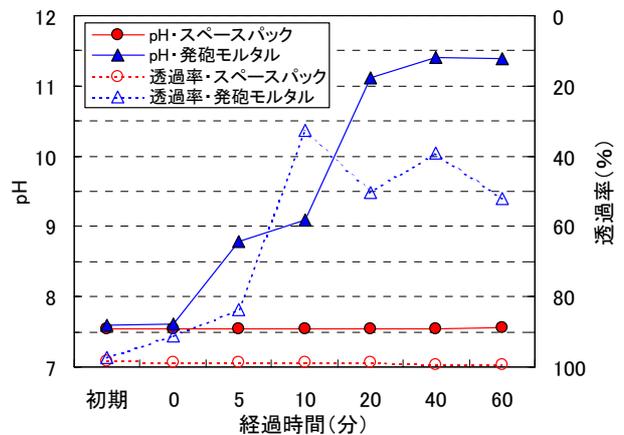


図-1 水中不分離性試験結果

(4) 強度特性

設計基準強度により水セメント比を決定する。

図- 2 に配合種類毎のセメント水比と圧縮強度の関係を示す。水セメント比を適切に選定することにより、強度を自由に設定できる。

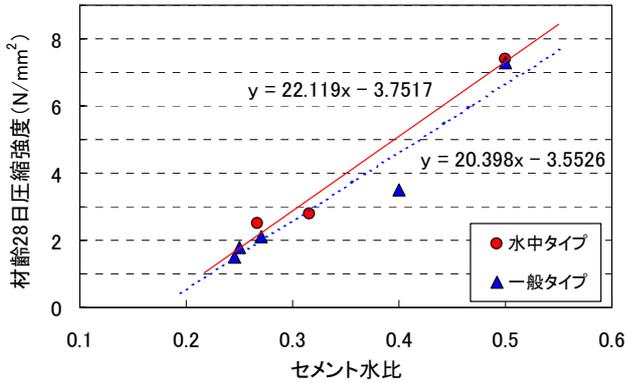


図- 2 セメント水比と圧縮強度の関係

(5) 流動性保持特性

流動性保持時間により遅延剤量を決定する。図- 3 に遅延剤量を変化させた場合のモルタルフローの経時変化を示す。遅延剤の添加率を調整することにより最大 8 時間まで流動性を保持することができる。

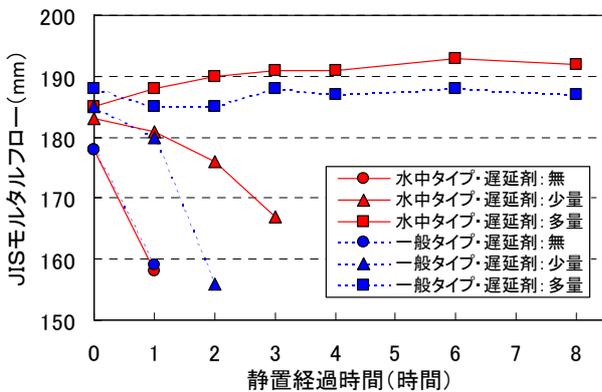


図- 3 流動性の経時変化の一例 (温度: 20°C)

5. 施工性試験

(1) 実験目的および概要

本工法に用いる可塑状モルタルは、特殊増粘材を使用しているため粘性が高く、ポンプ圧送性に課題があった。このため、実施工に先立ち、長距離圧送の実証と充填性の確認を目的に以下に示す実験を行った。

①注入材の 500m ポンプ圧送性

②二次覆工背面空隙の模擬型枠への充填性
注入用型枠は、注入に不利な条件を設定する意味で障害物を設置し、空隙高さが変化するものとした。使用した配合は水中タイプである。

(2) 使用機材および数量

表- 4 に本実験で使用した主な使用機材を示す。

表- 4 使用機材および数量

名称	仕様	数量	摘要
グラウトポンプ	15MPa 55kW	1	コンパクショングラウチングポンプ
SG ミキサ	3m ³ , 22kW	1	増粘材スラリー製造用
流量計	電磁式	1	配管先端に設置
圧力計	10MPa 用	2	ポンプ吐出口および配管先端に設置

(3) 試験項目および方法

表- 5 に試験項目を示す。ポンプ圧送前後および圧送停止 30 分後に、シリンダーフロー試験 (JHS-313) を実施した。また、型枠充填時に流動距離を測定した。

表- 5 試験項目および方法

	試験項目	試験方法・規格	備考
製造	スラリー比重	規格値=1.10	—
	フロー	JHS-313	圧送前
ポンプ圧送	フロー	同上	圧送後
	ポンプ圧	—	元圧・筒先, 圧力計間距離 492m
充填実験	フロー	JHS-313	再圧送前
	圧送流量	モルタル流量計	—
	流動距離	—	—

(4) 実験手順

実験手順を以下に示す。

- ①注入材を製造し、圧送前フローを測定。確認後に圧送開始。ポンプ圧送量は、5m³/h(80 リットル/分) 前後とした。
- ②ポンプ停止 (30 分間)
- ③30 分後フローを測定し、圧送再開時のポンプ圧を測定。
- ④型枠に注入材を充填し、流動距離等を測定。

(5) 機械配置および注入用型枠

図- 4 に機械配置、図- 5 に模擬充填型枠を示す。

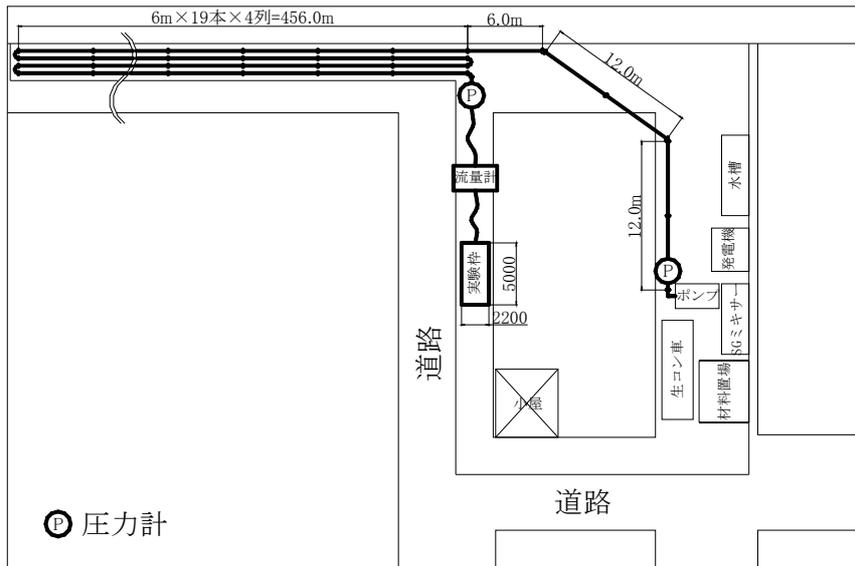


図- 4 機械配置

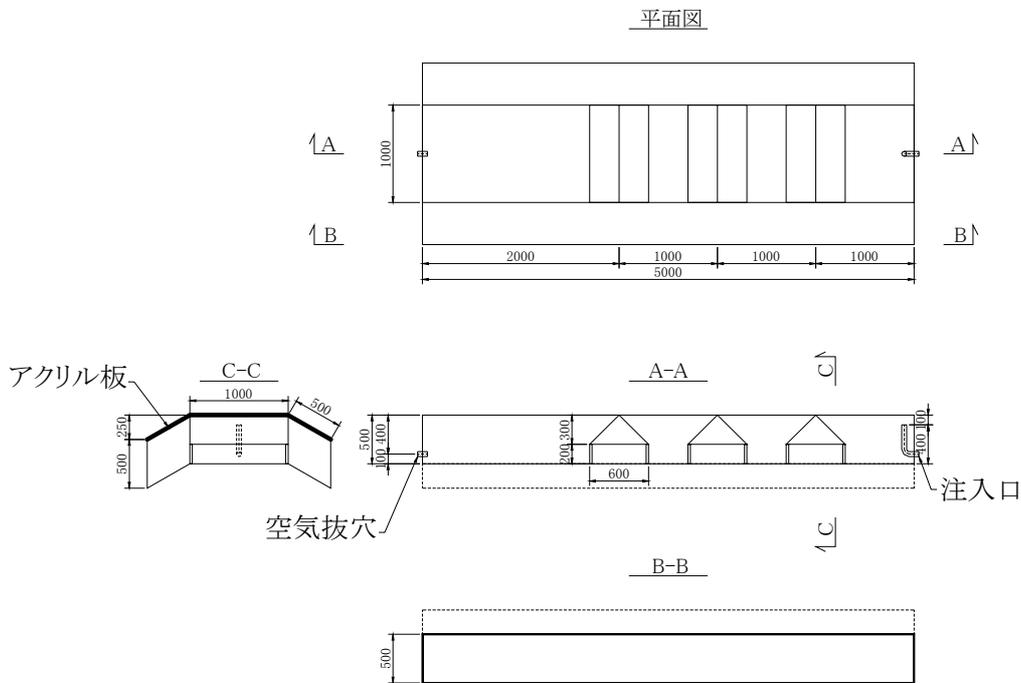


図- 5 模擬充填型枠

(6) 試験結果

表- 6 にフレッシュ性状試験結果，および，ポンプ圧計測結果を示す．経過時間は，注入材を製造した時点からの経過時間である．圧送時のポンプ圧力は4.0MPa程度となった．30分停止後のフローロスは，約10mmであった．30分停止前後のポンプ圧は，停止前に比べ0.6MPa程度上昇した．配管100m当りの圧力損失は，フロー105mmの配合で0.69～0.81MPa程度となった．

表- 6 フレッシュ性状試験結果およびポンプ圧

項目	計測時期	計測結果	経過時間
外気温 (°C)	圧送中	10.0	1:00
シリンダー フロー (mm)	圧送前	105×105	0:20
	圧送後	118×112	1:40
	30分停止後	97×97	2:10
500m 圧送時最 高圧 (元圧/筒 先) (MPa)	圧送時	4.0/0.6	1:40
	30分停止後 再圧送時	4.6/0.6	2:10

二次覆工模擬型枠を写真- 2 に示す。今回の充填試験では、流動勾配はほぼ 1:10 であった。注入時の圧力の上昇量は 0.15MPa と少なかった。注入材はまず水平方向に卓越して流動し、型枠先端まで達した後上方に向かって徐々に上昇し、最終的に充填率はほぼ 100%となった。



写真- 2 二次覆工模擬型枠

6. 道路トンネル覆工コンクリート背面空洞充填工事での試験施工

(1) 施工概要

在来工法で施工された道路トンネルの改修にとともに、覆工コンクリート背面空洞の充填の一部で試験的に本材料を使用して行った。

特殊増粘材スラリー製造プラントはコンクリートプラント内に設置し、コンクリートアジテータ車にスラリーを投入し、充填材を製造後、注入箇所まで運搬した。運搬時間は 30~60 分である。

(2) 配合条件

使用した配合は水中タイプである。配合条件は、設計基準強度 1.5 N/mm²(σ_{28})、JHS シリンダーフロー値 130±25 mm である。

(3) 使用設備

使用設備を表- 7 に示す。製造は全自動プラントで行った。ミキサーには容量 1m³ の高速回転ミキサーを使用した。特殊増粘材スラリーの粘性が高いため、スラリーポンプにはスクイズ式ポンプを使用した。

(4) 施工状況

注入量を表- 8 に、品質管理結果を表- 9 に、充填材の製造状況を写真- 3 に示す。

試験施工の結果、フロー値、圧縮強度試験結果とも基準を満足した。コアボーリングによる確認の結果、未充填部などは無く、充填性も良好であった。全注入量は 60m³ 程度であったが、現場施工における課題、改善事項などが把握できた。

表- 7 使用設備一覧

	名称	仕様	台数
特殊増粘材スラリー製造	スラリーミキサー	容量 1.0m ³ 740rpm, 22kw	1
	スラリーアジテーター	容量 2.0m ³	1
	特殊増粘材サイロ	30t 貯蔵	1
	発電機	60kva	1
	スラリーポンプ	スクイズ式	1
	タンク	10m ³ , 貯水用	2
注入設備	モルタルポンプ	スクイズ式 200L/min, 7.5kw	2
	アジテーター	2.2kw	2
	電磁流量計	0.4kw	2
	高所作業車	クローラ式	2
	発電機	30kva	1

表- 8 注入量

施工日	注入量 (l)	製造量(m ³)	注入孔数
1	13,068	16.0	2
2	33,175	40.0	8
3	16,427	20.0	4
合計	62,670	76.0	14

表- 9 品質試験結果 (各日の平均)

施工日	シリンダーフロー値 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)
1	136	2.24	1.33
2	137	1.61	1.30
3	136	2.13	1.35



写真- 3 充填材の製造状況

7. トンネル土被りの不足部での人工地盤の築造工事への適用

(1) 施工概要

トンネル掘削において土被りが不足する箇所での、人工地盤の築造を本材料により行った。トンネル断

面を図-6に示す。圧送距離は実長で647m、高低差40mであった。特殊増粘材スラリー製造プラントは圧送用ポンプ設置箇所を設置し、充填材はコンクリートプラントで製造されたモルタルに特殊増粘材スラリーを投入して製造した。

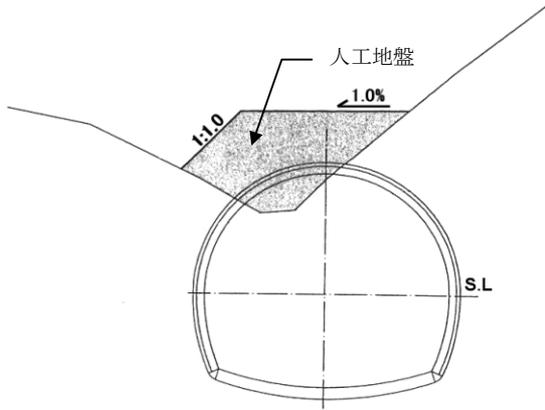


図-6 トンネル土被り不足部断面図

(2) 配合条件

使用した配合は水中タイプである。配合条件は設計基準強度 $1.0 \text{ N/mm}^2 (\sigma_{28})$, JHS シリンダーフロー値: $130 \pm 25 \text{ mm}$ とした。

(3) 使用設備

使用設備を表-10に示す。圧送用ポンプ、配管は長距離圧送のため高圧用を使用した。

表-10 使用設備一覧

名称	仕様	台数
スラリーミキサー	容量 1.0 m^3 , 100rpm	1
スラリーミキサー	容量 1.0 m^3 , 200rpm	1
スラリーアジテーター	容量 1.0 m^3	1
スラリーポンプ	スクイズ式, 200l/min, 7.5kw	1
発電機	125kva	1
タンク	10 m^3 , 貯水用, 廃液貯蔵	3
長距離圧送ポンプ	ピストン式	1
電磁流量計	100l/min	2
圧送配管	3インチ, 高圧用	1
給水車	4t	1

(4) 施工状況

圧送配管設置状況を写真-4に示す。日当たり施工数量を図-7に、日毎の品質変動を図-8に示す。本材料は647mの長距離も問題なく圧送が可能であった。1日当たりの施工数量はほぼ $25 \sim 35 \text{ m}^3$ であり、品質は基準を満足した。



写真-4 圧送配管設置状況

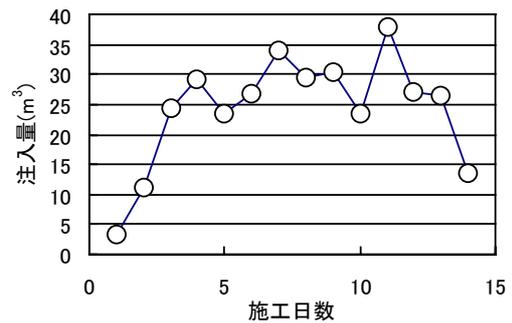


図-7 日当たり施工数量

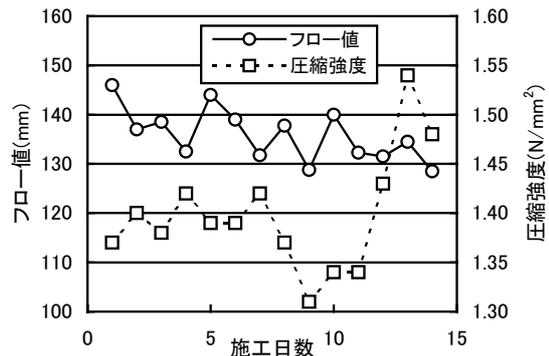


図-8 品質試験結果

8. まとめ

無機系材料を用いた1液性可塑性は限定注入の行える可塑性注入材料であり、水中分離抵抗性が高く、1液性であるために品質管理が容易で、施工が容易な材料である。トンネル覆工コンクリート背面空隙や地下空洞充填や人工地盤の構築にも適用可能な工法であることが確認できた。

参考文献

- 1) 新村亮ほか：無機系材料を用いた1液性可塑性のトンネル裏込め注入工法の開発，土木学会第57回年次学術講演会，VI-201, 2002.
- 2) 大島健二ほか：トンネル覆工背面空隙に用いる注入材の材料特性について，土木学会第56回年次学術講演会，VI-115, 2001.