

日本鉄道建設公団 正員 北 川 修 三
 大 林 組 土 谷 覚
 小野田セメント㈱ 正員 ○ 早 川 秀 雄

1. ま え が き

第34回年次学術講演会で「超微粒子グラウトの基礎物性」と題して、最大粒径 $10\mu\text{m}$ の超微粒子グラウトの地盤への浸透性が、溶液型グラウトに匹敵し、かつ強度、耐久性が従来の懸濁液型グラウトを上回ることを報告した。今回はこの超微粒子グラウトを上越新幹線中山トンネル（高山工区）に採用し、高い注入効果を得ているので、その成果を報告する。

2. 中山トンネルの地質と注入工法

2.1 地質

中山トンネルは群馬県に位置し、子持山、小野子山の両火山が形成する高原下 $200\sim 400\text{m}$ を貫く延長 $1,4830\text{m}$ の長大山岳トンネルである。中山トンネルの地質縦断面図を図-1に示す。地質は新第三紀の緑色凝灰岩、閃緑玢岩類を基盤とし、高山工区では盆状の凹形基盤を形成し、その上に洪積世の火山噴出物が堆積していると考えられる。火山噴出物は主に火山泥流で一部安山岩があるが、総体的に未固結で土砂状を呈し、さらに高圧な被圧地下水（ $18\sim 20\text{kg}/\text{cm}^2$ ）を有する複雑な地質である。

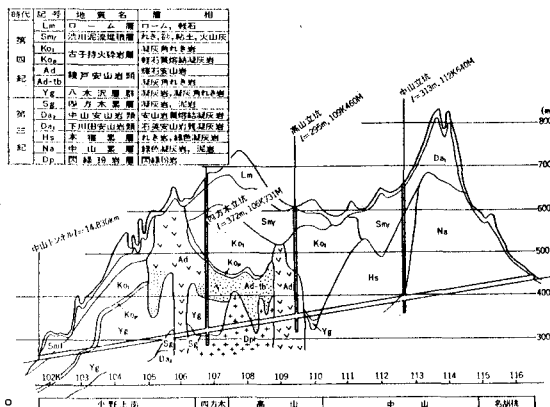


図-1 中山トンネル地質縦断面図

2.2 注 入 工 法

超微粒子グラウトの注入は、大官方の切羽で実施されている。注入工法は注入対象区間が 300m と大規模なものと推定されたため、特殊工法は避け、施工実績から溶液グラウトの併用による反復複合注入方式のロ元バッカー使用の 1.5N ョットによる高圧ロッド

注入工法とした。注入は 30m を5ステージに分け、さらに1ステージを2分割して手前から順次注入する前進ステージ方式とした。

2.3 注入材料と施工

グラウトの現場標準配合とその物性を表-1に示す。まず、空洞や空ゲキを充填し地盤を均質化する目的で、コロイドセメントを用いたC-LWを注入し、次に高浸透性、高強度を有する超微粒子グラウトMCLによる小～中間ゲキの充填、地盤強化を目的とした骨格的注入を実施した。さらに、溶液型グラウトLG-3によって最終的な止水のための注入を行った。注入は吐出量 $20\sim 25\ell/\text{min}$ で行い、C-LW、MCLはA液の濃度の薄いものから濃いものへ順次移行（水比 $300, 200, 100\%$ ）させ、注入効果を高めた。注入管理は原則として圧力管理としたが、1孔当りの最大注入量を計画注入量の 1.5 倍とする注入量管理も併用した。

表-1 グラウトの現場標準配合とその物性

種 別	名 称	現場標準配合 (1㎡当り)		ゲルタイム (at 20℃)	ホモゲル η_{sp}/C	粘 度 (cP)	備 考
		A 液 (500ℓ)	B 液 (500ℓ)				
懸濁液型 グラウト	C-LW	コロイドセメント 水 428ℓ <水比200%>	⑤1号ケイ酸ソーダ 375ℓ 水 125ℓ	2'42"	15	23~25	コロイドセメント ブレン値 約 $6,300\text{ml}/\text{g}$ 最大粒度 約 $40\mu\text{m}$
	MCL	MC MC+水 434ℓ 水 425ℓ <水比200%>	⑤1号ケイ酸ソーダ 375ℓ 水 125ℓ	3'06"	60	20~21	MC ブレン値 約 $8,150\text{ml}/\text{g}$ 最大粒度 約 $10\mu\text{m}$
溶液型 グラウト	LG-3	増強剤 調整剤 水 10ℓ 19~25ℓ 490ℓ	3号ケイ酸ソーダ 250ℓ 水 250ℓ	10~3'	3~4	2.5	無機系グラウト

表-2 計画注入量と実施注入量

種 別	名 称	注 入 量 (ℓ)	注 入 率 (%)	注 入 割合 (%)	備 考
懸濁液型 グラウト	C-LW	実施量	768,856	10.0	高山工区大官方 調整溝坑部 (注入区間30m) 改良土量 V=7.70361 注入率 $\alpha=45.0\%$ $Q_t=3,466.624$
		計画量	1,348,132	17.5	
	MCL	実施量	1,742,697	22.6	
		計画量	1,348,132	17.5	
溶液型 グラウト	LG-3	実施量	855,768	11.1	25.4
		計画量	770,360	10.0	22.2
合 計		実施量	3,367,321	43.7	100.0
		計画量	3,466,624	45.0	100.0

3. 注入実績と効果

3.1 計画注入量と実施注入量

高山工区大官方（起点 108^K 280^M付近）の側壁導坑部30 m区間の注入工事の注入実績を表-2に示す。改良土量 7,703.61 m³に対して、注入率 45.0%，総注入量 3,466,624ℓを計画したが、実施総注入量は 3,367,321ℓであった。C-LWの実施注入量は計画注入量の 43%減であった。これは水比 100%のものは地山が受付けず、水比 200%の注入の段階で管理圧力（60～80kg/cm²）に達したためである。次に、MCLはC-LWより低圧で注入され、総体的には管理圧力内で計画注入量の 29%増の注入実績を示し実施総注入量の 51.8%に達した。

3.2 T-P 曲線

代表的な T-P 曲線を図-2に示す。C-LWの場合は注入圧力 P の経時変化が急で直線的であるのに対して、LG-3は注入後 40 分程度で初期注入圧力 40kg/cm² から 60kg/cm²まで上昇し、その後 60 分程一定圧力を保ってから漸次管理圧力に達した。MCLの場合は、両者の中間的なパターンを示した。

3.3 湧水量の変化

3種グラウトの注入による湧水量の変化を図-3に示す。最初のC-LWの注入によって注入前 50ℓ/min程度あった湧水量が約 32ℓ/minに低下し、次にMCLの注入によって約 9ℓ/minまで低減させることができた。さらにLG-3によって、最終湧水量は 0～1ℓ/minまで減少するに至った。

3.4 掘削面（注入状態）の観察

注入後の掘削により切羽の状態を観察したところ、漏水、湧水はなく、ドライな状態であった。注入状態はグラウトがいくつもの脈状態に注入され、その脈状部から周辺地盤へ浸透しているという複合的なものであり、切羽は非常に良く固結、自立していた。その様子を写真-1に示す。

4. 結論

粗結めの目的でC-LWを使用したのが、水比 100%での注入は困難であったこと、計画注入量の 43%減の注入実績から判断して、当地山には大きな水みち、空ゲキなどは少ないと考えられる。MCLの注入はC-LWの注入後の地山に対して初期注入圧力の 40kg/cm²から注入され、管理圧力内で計画注入量の 29%増の注入実績を示した。また、注入後の湧水量の大幅な減少、掘削した切羽の高い固結性から判断して、超微粒子グラウトの高浸透性、高強度による当地山への注入効果は評価でき、悪条件下のトンネル掘削に対する目的は十分果せたものとする。

5. おわりに

高圧多量湧水を伴う複雑な地質条件下の中山トンネル高山工区での施工にとって、注入は不可欠な技術である。いかにして効率よく効果的な注入を施工するかは、工期全体に大きな影響を与える。その意味で今回の超微粒子グラウトの当工区への適用は効果的であったといえる。今後とも、さらに調査研究を進め、適切な注入材料、迅速で効果的な注入工法などを開発する必要がある。おわりに、資料のとりまとめに尽力頂いた日本総合防水㈱関係者に感謝の意を表する。

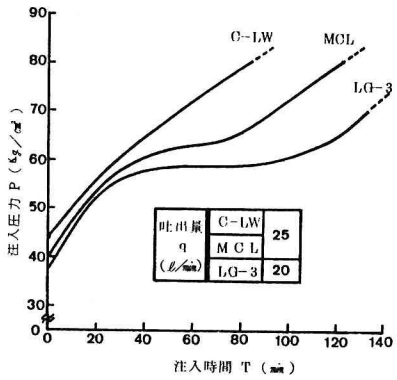


図-2 代表的な T-P 曲線

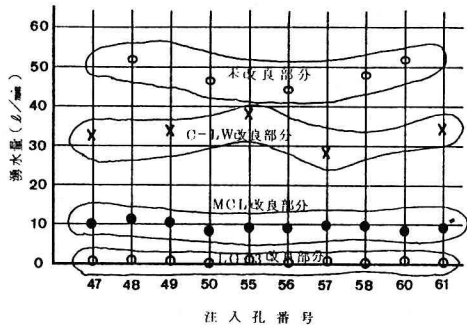


図-3 注入による湧水量の変化



写真-1 注入により固結安定化した切羽