ダムのグラウチング技術を適用した山岳トンネルの湧水処理確認試験

株式会社熊谷組土木事業本部ダム技術部担当部長　正会員　○古田島　信義
株式会社熊谷組九州支店北薩トンネル作業所副所長　正会員　鈴木　雅文
鹿児島県土木部道路建設課橋りょう係技術主査　正会員　宮本　裕二

本確認試験を実施した北薩トンネルは、鹿児島県北薩地域と県中央部を結ぶ北薩横断道路に建設中の、紫尾山を貫く延長 4850mの山岳トンネルである。トンネルからは高濃度のヒ素を含む地下水が時間当たり約 600 m^3 湧出しており、地域の水環境への影響が懸念されている。そのため、当該トンネルは既に貫通し掘削を終了しているが、著者らはダムのグラウチング技術[1)]を適用した、トンネル内湧水処理の施工方法を検討した。

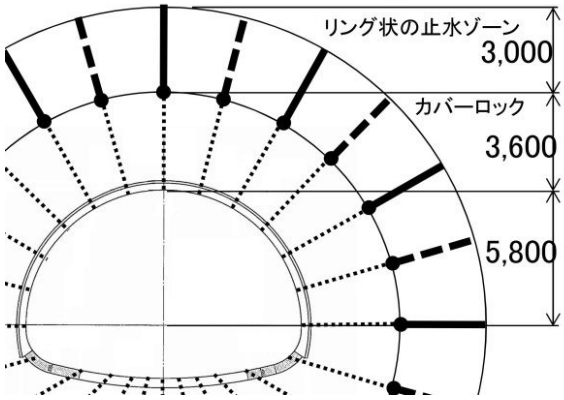
１．目的

ダム建設で期待されるグラウチングによる改良程度（改良目標値）は、ルジオン値（Lu）[2)]で 2.0～10.0Lu 程度であるが、この度の湧水処理で求められた改良目標値は 0.4Lu であり、ダム建設で一般的に使われている高炉セメントや超微粒子セメントでは、改良が難しいことが予想された。極超微粒子セメント[3)]は、超微粒子セメントよりも浸透性の高い材料であり、止水工事への有効性が期待された。本確認試験は、極超微粒子セメントを使用したダムのグラウチング工法をトンネル内湧水処理に適用したときの有効性について確認することを目的とした。

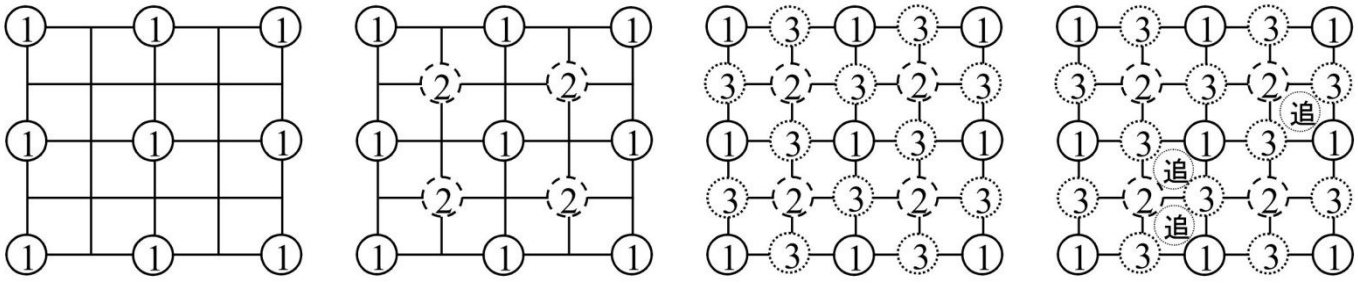
２．施工方法

グラウチングは中央内挿法を基本として施工した。中央内挿法とは図－２に示すように、１次孔から２次孔、３次孔と順次施工済みの孔の間を施工する方法であり、グラウチングを行なう前には全ての孔でルジオンテスト[2)]を行うため、改良状況を確認しながら施工することができる。

本確認試験では、トンネル壁面を平面に展開して、6.0ｍ格子を１次孔とする孔配置で施工した。グラウチングは図－１に示すように、壁面から深さ 3.6mをカバーロックとし、3.6mから 6.6mの 3.0m区間にグラウチングを実施することで、厚さ 3.0mのリング状の止水ゾーンを形成するものとした。



図－１　止水ゾーン断面図（試験範囲 24m）

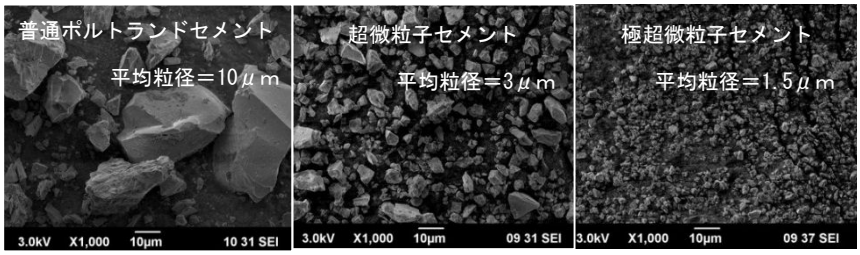


図－２　中央内挿法説明図（３次孔のルジオン値が改良目標値に達していない場合は追加基準に従って追加孔を施工する）

３．極超微粒子セメント

極超微粒子セメントは平均粒径が小さく耐久性に優れたセメント系の材料であり、超微粒子セメントでは注入が困難な地盤に対しても高い浸透性を確保している。普通ポルトランドセメント、超微粒子セメントおよび極超微粒子セメントの平均粒径はそれぞれ 10μｍ、3μｍ、1.5μｍである（写真－１）。

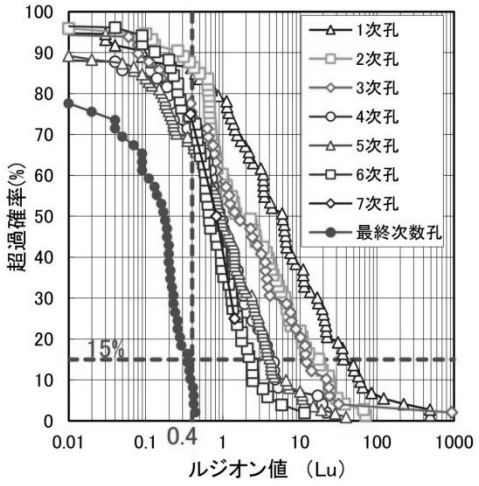
キーワード　極超微粒子セメント，ヒ素，ダム、グラウチング、トンネル，湧水処理
連絡先　〒162-8557　東京都新宿区津久戸町２－１　株式会社熊谷組土木事業本部ダム技術部　ＴＥＬ03-3235-8646



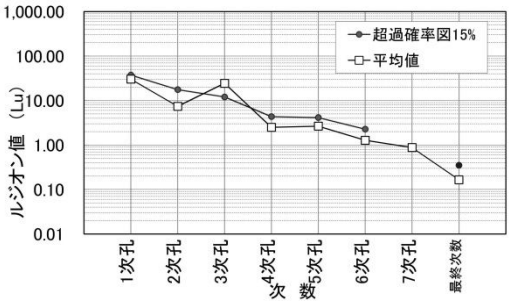
写真－１　各セメントの顕微鏡写真

４．試験結果

追加基準に従って施工を進め、超過確率で 85%以上が 0.4Lu 以下となった時点で施工を完了するが、今回は７次孔（孔数 3 孔：孔間隔約 75cm）まで施工して終了した。図－３に超過確率図、図－４に次数毎のルジオン値逓減図を示す。いずれの図からも次数が進むに従ってルジオン値が逓減し、改良が順調に進んでいることがわかる。１次孔施工前の平均ルジオン値（地山のルジオン値）は 30.2Lu であったが、改良目標値を 0.4Lu としてグラウチングを行なった結果、平均値で 0.2Lu まで改良することができた。また、極超微粒子セメントの使用量は改良が進むに従って減少し、最終的な全孔の平均使用量は 99.5kg/ｍであった（表－１）。



図－３　超過確率図



図－４　次数逓減図

表－１　確認試験結果

次数	孔数	ルジオン値 超過確率15%値	ルジオン値 平均値	セメント量 平均値 kg/m
1次孔	72	37.4	30.2	275.6
2次孔	72	17.6	7.4	110.9
3次孔	48	12.0	24.4	110.4
4次孔	48	4.3	2.5	29.7
5次孔	110	4.1	2.6	26.0
6次孔	50	2.3	1.3	6.1
7次孔	3	－	0.9	3.4
最終次数孔	48	0.4	0.2	0.4
合計	403		全平均値	99.5

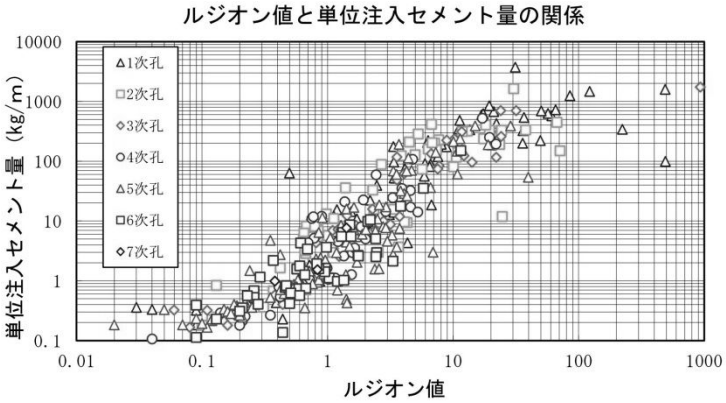
５．考察

極超微粒子セメントを止水目的で岩盤に使用することは新しい試みであったが、ダムのグラウチング技術を適用して施工した結果、止水ゾーンの透水性を約 1/150 に低減することができた。このことから、この度実施した施工方法は、トンネル内湧水処理の対策工として、十分に有効であると考える。

図－５に本確認試験で得た単位注入セメント量とルジオン値の関係を相関図として示す。図－５より、ルジオン値と単位注入セメント量は非常に良い相関を示しており、今後の岩盤を対象とした止水計画を検討する上で、参考になるデータを得ることができた。

６．今後の課題

本確認試験により、ダムのグラウチング技術のトンネルへの適用は有効であることが確認できた。極超微粒子セメントは、その効果は非常に高く有効であることを確認したが、通常の高炉セメントと比較して非常に高価な材料であるため、他の安価な材料を併用するなど、極超微粒子セメントの使用量を最小限にする試みが必要となる。また、透水性の減少に伴って上昇する水圧に対し、トンネルの構造体としての安全性に対する検討も必要となる。



図－５　相関図

参考文献

1)　「グラウチング技術指針・同解説　(財)国土技術研究センター　2003 年」
2)　「ルジオンテスト技術指針・同解説　(財)国土技術研究センター　平成 18 年 7 月」
3)　「Hyper NP-1500 カタログ　NIPPON STEEL & SUMIKIN CEMENT CO.,LTD.」