

## 処分坑道掘削に伴うゆるみ域への高浸透性セメント系注入材の適用性

鹿島建設株式会社 正会員 ○田中 俊行 戸井田 克 山本 拓治  
 日鐵セメント株式会社 正会員 金沢 智彦 若杉 伸一  
 岡山大学大学院 正会員 西垣 誠

### 1. はじめに

放射性廃棄物処分施設の処分坑道を建設する場合、図-1 に示すように坑道掘削に伴って空洞周辺に発生する掘削影響領域である微小亀裂や、応力再配分による亀裂の開口、または断層を伴う高透水性岩盤等のゆるみ域から、坑道内に湧水が発生することが懸念される。湧水は、処分坑道内に建設される人工バリアに接触し、放射性核種の閉じ込め性能に悪影響を及ぼすと考えられる。そのため、建設中から埋戻しによる閉鎖までに、ゆるみ域に対して、建設中の湧水抑制を目的とした高い止水注入技術が必要と考えられる。そこで、従来の超微粒子注入材よりさらに粒径が細かい、高浸透性セメント系注入材(以下、極超微粒子注入材)の処分坑道の周辺岩盤への適用性を検討した。本報では、亀裂性岩盤や高透水性岩盤を模擬した浸透試験を実施した結果について報告する。

### 2. 高浸透性セメント系注入材の概要

写真-1 に開発した高浸透性セメント系注入材である極超微粒子注入材の電子顕微鏡写真を、図-2 に粒径加積曲線を示す。極超微粒子注入材の平均粒径( $D_{50}$ )は、従来の超微粒子注入材( $4\mu\text{m}$ )に比べて、さらに約 1/3 小さい  $1.5\mu\text{m}$  である。また、普通ポルトランドセメントの  $20\mu\text{m}$  に比べて、約 1/13 である。一般に、粒径を小さくすると、水と接触後直ちに凝集し、粗大なセメント水和物を形成する。しかし、この材料は、水和反応の遅い高炉スラグを使用して、ポリマー構造を有する特殊分散剤(ポリカルボン酸系)を使用することで、高度な分散保持を発揮して、高い浸透性を実現することができる<sup>1)</sup>。

### 3. 亀裂性岩盤に対する高浸透性セメント系注入材の浸透性

放射性廃棄物処分施設は、ダムやトンネルに比べて、 $0.1\text{mm}(100\mu\text{m})$ 以下の亀裂に対して浸透できる、より高い止水性が要求される。そこで、図-3 に示す亀裂性岩盤を模擬した浸透試験を実施した。亀裂を模擬したステンレス製のスリットは、流路幅  $38\text{mm}$ 、流路長  $50\text{mm}$  とした。亀裂幅は、超微粒子注入材の亀裂限界幅  $50\mu\text{m}^2$ 以下である亀裂幅  $20, 30\mu\text{m}$  と設定した。グラウトは、所定の水セメント比  $W/C(\%)$ で 3 分間高速攪拌した後、圧力容器に入れて注入圧力  $0.3\text{MPa}$  で注入した。そして、亀裂通過量が、ステンレス製スリット上部の亚克力モールドに充填した後、水の排出量が  $500\text{ml}$  になるまで経時変化を測定した。

図-4 に  $W/C$  を変えた極超微粒子注入材の通過量の経時変化を示す。この図から、 $W/C=400, 600\%$ では約 30 分で  $100\text{ml}$  程度浸透した時点で、 $W/C=800\%$ では約 70 分で  $200\text{ml}$  程度浸透した時点で目詰まり、所定量まで通過することができなかった。

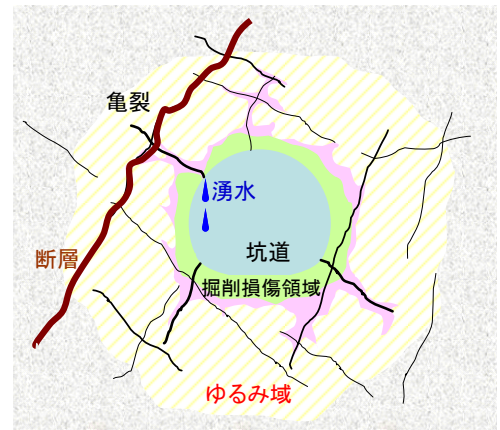
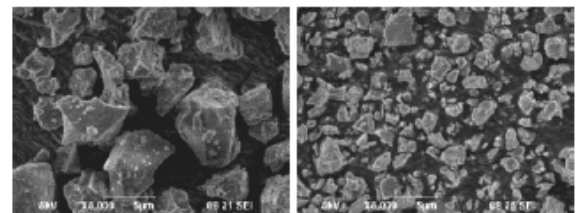


図-1 処分坑道掘削に伴うゆるみ域概念図



(超微粒子注入材) (極超微粒子注入材)

写真-1 電子顕微鏡写真(×5000 倍)

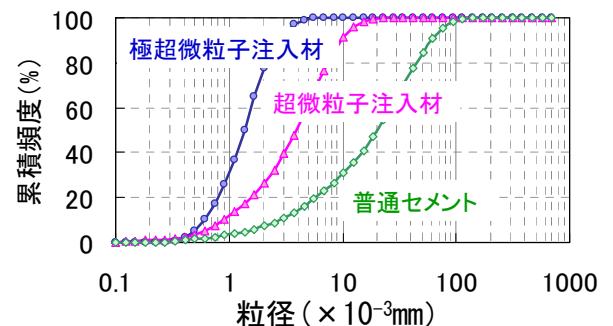


図-2 粒径加積曲線

キーワード 放射性廃棄物処分, 処分空洞, ゆるみ域, 止水注入, 極超微粒子注入材  
 連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL0424-89-7081

W/C=1000%では、約 90 分で所定の 500mlまで浸透することができた。また、同配合の超微粒子セメントでは 100ml浸透した時点で、グラウトが割れ目をほとんど通過せず、目詰まりを過ぎたと考えられる。したがって、超微粒子注入材で通過が困難であった  $20\mu\text{m}$  以下の微小亀裂に対して、極超微粒子注入材の配合を大きくすることで、目詰まりすることなく浸透できることが分かった。一方、亀裂性岩盤への浸透性の可否では、以下の報告がなされている<sup>1)</sup>。

$w/G85 > 3$ ,  $w/G95 > 5$  (浸透可能)

ここに、 $w$ :割れ目幅 ( $\mu\text{m}$ )、 $G85$ ,  $G95$ :注入材の粒径加積曲線の 85%粒径および 95%粒径 ( $\mu\text{m}$ )

今回の試験結果に上記の判定式を適用した。その結果、極超微粒子セメントの浸透可能な割れ目幅は、 $7.2 \sim 17\mu\text{m}$  以上 ( $G85=2.4\mu\text{m}$ ,  $G95=3.4\mu\text{m}$ ) であり、超微粒子注入材の浸透可能な割れ目幅は  $25.2 \sim 60\mu\text{m}$  以上 ( $G85=8.4\mu\text{m}$ ,  $G95=12\mu\text{m}$ ) となり、適用結果は実験結果とほぼ一致した。

#### 4.高透水性岩盤に対する高浸透性セメント系注入材の浸透性

断層や破碎帯を伴う風化岩では、マイクロクラックが密集した高透水部が存在する場合があります。高い止水性が要求される。そこで、高透水性岩盤を模擬した細粒分含有率約21%の細砂(透水係数  $1 \sim 2 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$ , 相対密度 87%)を用いた模擬地盤(長さ 1000mm, 内径 50mm のアクリル筒)を作製した浸透試験を行い、各種注入材料と比較検討した。注入圧力は、流量と圧力が直線関係の得られる最大注入圧力(限界注入圧力)0.5MPa とし、設計注入量は充填率 100% (計算上の砂層の間隙の体積)として注入した。注入後、アクリル筒の改良部分を 100mm ずつ切断し材令 28 日で一軸圧縮試験を実施して平均値を求めた。

図-5 に各種注入材の浸透長と一軸圧縮強さ  $\sigma_{28}$  を示す。この図から、W/C=800%の配合の極超微粒子注入材の浸透長は、溶液型薬液注入材と同様、所定の設計長どおり(浸透長/設計改良長=100%)改良できた。しかし、同じ配合の超微粒子セメントは約 50%の改良であった。この地盤条件では、懸濁型薬液注入材は、浸透不可能であった。極超微粒子注入材の  $\sigma_{28}$  は約  $3\text{N/mm}^2$  であり、溶液型薬液注入材 ( $\sigma_{28} \approx 0.3\text{N/mm}^2$ ) と比べて約 10 倍の高い強度を得た。

#### 5.おわりに

高浸透性セメント系注入材である極超微粒子注入材は、溶液型薬液注入材と同様の浸透性を有し、かつ高い強度を有するため、深度 300m 以上の高土被りを有する高水压下の条件でも、高い止水性を確保することが可能である。さらに、薬液注入材より高い耐久性を有する。したがって、極超微粒子注入材は、建設中から埋戻しによる閉鎖までに、超微粒子注入材や懸濁型薬液注入材で浸透することが困難である微細な亀裂や高透水性岩盤に対して、建設中の湧水抑制を目的とした高い止水注入技術に最適な材料になり得ると考えられる。

参考文献 1) 金沢他:高浸透性セメント系注入材による地盤改良, 第 53 回地盤工学シンポジウム, 2009.

2) 西垣他:亀裂性岩盤におけるグラウトの注入範囲と有効間隙率の評価, 土木学会論文集, No.743, 2003.

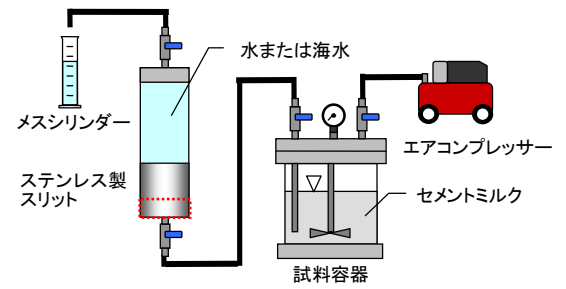


図-3 亀裂性岩盤を模擬した浸透試験装置

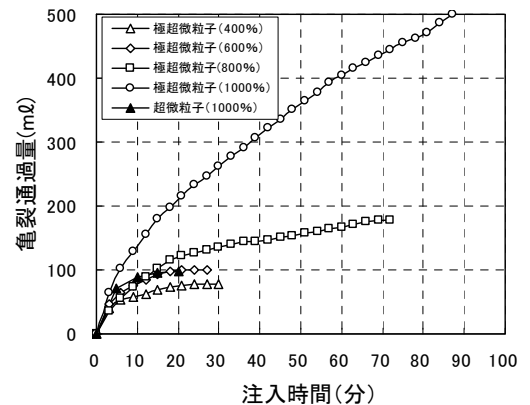


図-4 亀裂通過量と注入時間の関係  
(亀裂幅  $20\mu\text{m}$ )

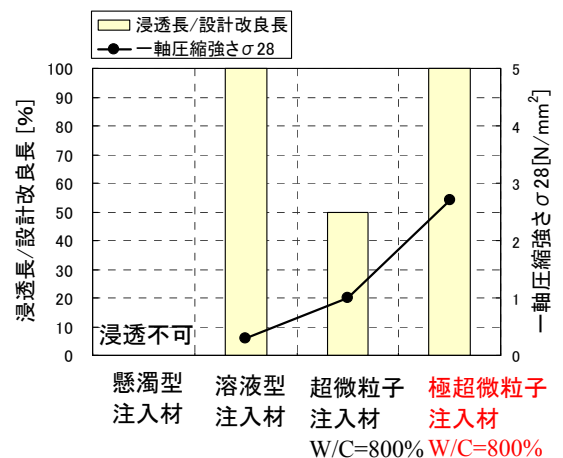


図-5 各注入材の浸透長, 一軸圧縮強さ  $\sigma_{28}$   
(細粒分含有率 21%, 相対密度 87%)