

水封式 LPG 地下備蓄岩盤空洞において開発・適用した止水対策技術 —倉敷国家石油ガス備蓄基地（貯槽工事その1）—

鹿島建設(株) 正会員 ○宮嶋保幸, 手塚康成, 高岸哲哉, 小淵考晃
(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 非会員 金戸辰彦

1. はじめに

水封式LPG岩盤貯槽空洞の建設にあたっては、貯槽湧水量を抑制するだけでなく、操業時の気密性を確保するために、貯槽の周囲に低透水のグラウト改良体を構築しながら掘削することが要求される。設計上の改良目標値は地質や初期透水性によって異なるが、概ね0.35Lu相当と非常に高品質である。本報告では、貯槽の掘削工程を遅滞させずに改良体の品質を確保するために開発・適用した止水対策工に関する技術について報告する。

2. 早硬型超微粒子セメントの開発（スーパーファインX3）

初期透水性が1~2Lu程度の岩盤に対して効率的な改良を実現するためには、注入材の浸透性に加えて注入時間（硬化待ち時間）が重要となる。従来の2液注入材に比べ、超微粒子セメントは浸透性に優れているが、一方で硬化待ちに8時間以上を要するため施工日数が増大する。そこで、早強セメントの凝結性と超微粒子セメントの浸透性を併せ持つことを目標に、新材料の開発を行った。

新材料・日鐵スーパーファインX3（以下、X3）は、超微粒子セメントをベースに凝結性を付加し、硬化待ち時間の短縮化を可能とした材料であり、現場適用に先立って室内試験を実施した。図-1は、実施工における加圧脱水を想定し、W/C=40%で実施した凝結試験の結果であるが、X3の凝結時間は超微粒子セメント単体と比較して大きく低減しており、早強セメントの凝結時間（4時間弱）とほぼ同等となった。また、浸透性についても、図-2のスリット注入試験結果から、超微粒子セメント単体と同等の性能を示した。

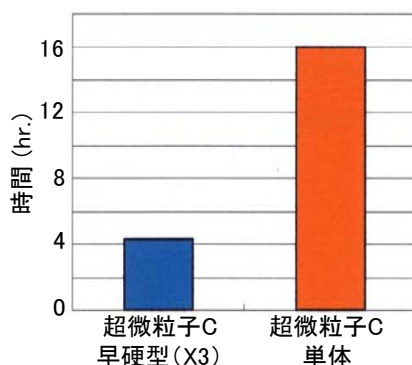


図-1 凝結時間(始発)

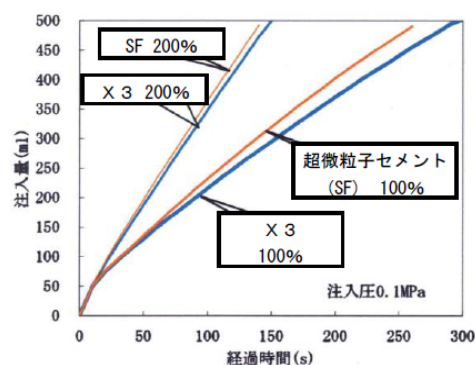
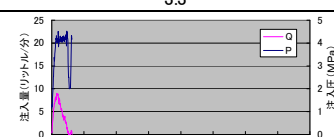
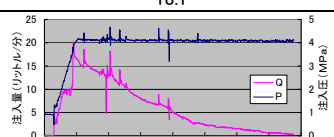
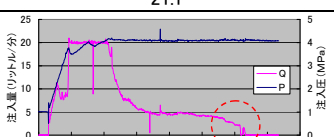


図-2 スリット注入試験結果

施工実績として、代表的な注入チャートの比較を表-1に示す。注入量に関しては、X3は超微粒子セメント単体とほぼ同等であり、従来の2液注入材に比べて格段に大きくなっている。さらに、注入終盤の流量変化に着目すると、超微粒子セメント単体の方はなだらかな流量低下が続くのに対して、X3は約3時間後に急速に流量低下が発生し、注入時間（硬化待ち時間）を短縮できているのが確認された。

表-1 注入実績(注入チャート)の比較

注入材		従来型 2液 (ES-L+ コロイドセメント)	超微粒子 1液	日鐵スーパーファインX3
注入前のLu値	Lu	0.3	0.4	0.4
注入前の湧水量	ℓ/分	5	10	6
総注入量	ℓ	156.4	1362.7	1542.8
単位セメント量	kg/m	3.3	18.1	21.1
グラウト結果 (注入チャート)				

キーワード 地下LPG備蓄基地, 大空洞, グラウト

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 TEL: 082-247-8109

3. 高速せん断ミキサーの導入

貯槽掘削に先立って施工した水封トンネルにおいて、超微粒子セメントを用いても改良効果が小さい領域が出現した。ボーリング調査や各種水理試験の結果、当該領域の岩盤には開口幅が極めて小さい微細割目 ($t=10\sim30\mu\text{m}$ 程度) が密集しており、この微細割目の密集帯 (マイクロフラクチャー領域) が高透水領域を形成していることが確認された。図-3

の粒度分布図に示すとおり、超微粒子セメントは最大粒径が $10\mu\text{m}$ であり、粒径相当の微細な開口割目に対しては、注入中に過度の沈降や凝集をきたすと、割目内部へセメント粒子が連行されないことが想定された。そこで、セメントの分散効果を向上させ、より高い浸透性を実現するために、従来型ミキサーよりも回転数の大きい高速せん断ミキサーを導入した。

高速せん断ミキサーの外観は写真-1に示すとおりである。従来のスクリー型ミキサーの標準回転数 170rpm に対して、高速せん断ミキサーは 1,500rpm と約 10 倍の速度でミキシングが可能である。試験施工で得られたルジオン値と単位注入セメント量の関係は図-4に示すとおりであり、従来型ミキサーに比較して単位注入セメント量の改善効果が確認された。



写真-1 高速せん断ミキサー

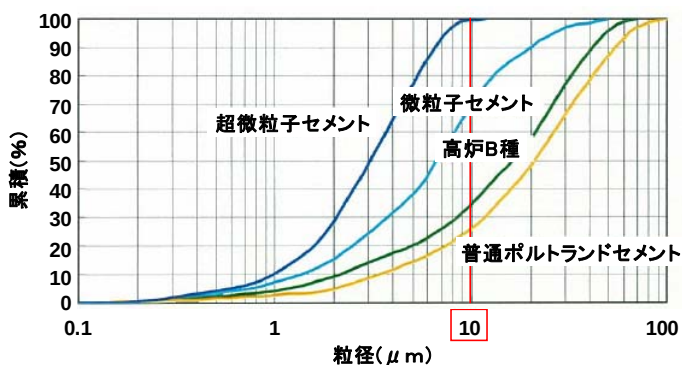


図-3 セメント系注入材の粒度分布

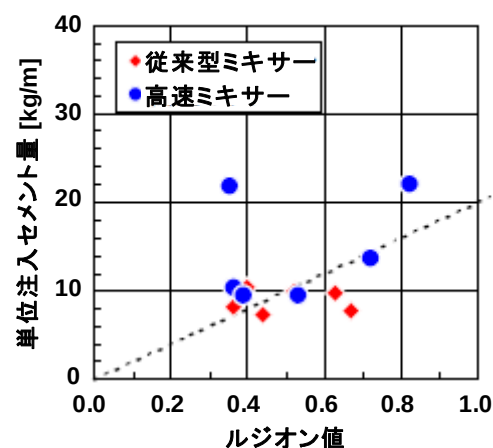


図-4 試験施工の結果

4. その他の適用技術

(1) 動的注入工法の改良

動的注入工法は、高濃度の注入材をより微細な割目に注入するため当社で開発したものであるが、適用にあたって、本サイトの湧水圧 (約 1MPa) に対応した高压注入機能 (4MPa) の付加と、脈動発生・制御装置の改良を加えた。これによって、従来型が 0.5~0.75MPa を中心圧とした周波数制御であったのに対して、改良型では、湧水圧+3MPa (最大 4MPa) を中心圧として周波数と振幅の両方が制御でき、安定した脈動を発生させることが可能となった。表-2に従来型と改良型注入システムの比較を示す。

表-2 動的注入工法の比較

	中心圧 (MPa)	周波数 (Hz)	振幅 (MPa)
従来型	0.5/0.75	1~50	制御不可
改良型	湧水圧+3	1~10	0.1~0.5

(2) 中央ミキシングプラントの構築

貯槽プレグラウト工にあたっては、複数の切羽を対象とした同時施工が通常であり、車載プラント方式ではプラント設置・撤去の手間とグラウト材の練混ぜロスが発生する。そこで、貯槽に隣接する作業トンネル内に定置式の中央ミキシングプラントを常設し、一括管理の下で現場作業の省力化と安定した品質管理を実現した。

5. おわりに

高品質かつ効率的な止水対策工を実現するため、材料・施工機械・施工方法について、新たな取り組みを行った。その結果、グラウト工と掘削の繰返しを余儀無くされる水封式岩盤貯槽の施工において、貯槽全体の工程に大きな支障をきたすことなく、貯槽底盤まで掘削を完了することができた。本報では具体的な施工実績に触れていないが、最終的な貯槽湧水量は設計の範囲内に収まっている。また、LPG受入れ前に実施された貯槽気密試験も無事合格し、貯槽周囲に計画どおりの改良体が構築されていることを確認できた。