

LPG 岩盤貯槽掘削時の湧水量予測手法とグラウト仕様の検討

- 波方プロパン貯槽工事 -

大成建設(株) 正会員 ○下茂 道人

大成建設(株) 正会員 安達 哲也

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 正会員 前島 俊雄

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 山本 浩志

1. はじめに

水封式 LPG 地下備蓄は、岩盤空洞に常温・高圧で液化した LP ガスを貯蔵し、空洞に向かう地下水の流れにより貯槽空洞の気密性・液密性を確保する備蓄方式である。通常のトンネルや地下空洞工事と異なり、LPG 貯槽の建設では、施工中における地下水保持が重要であるため、掘削に際しては、貯槽を囲う水封ボーリングによる地下水供給やグラウティングによる地下水抑制などの対策を適切に講じ、さらに周辺の地下水位や水圧を監視する情報化施工を行なう¹⁾。

本報では、貯槽掘削中の地下水管理のための湧水量予測手法を提案し、同手法を波方プロパン貯槽工事(図-1)のグラウト仕様の検討に適用した事例について述べる。

2. スライスモデルによる空洞湧水量算定法

波方 LPG 貯槽工事では、設計から施工の各段階において、目的や取得した水理地質情報量に応じて、表-1 に示す解析モデルを用いる。アーチ掘削やベンチ掘削などの各掘削段階での地下水管理には、三次元有限要素法による予測値(湧水量、地下水圧など)を用いる。一方、日々の地下水管理では、湧水量測定結果に基づいた止水対策の妥当性評価や追加対策の必要性の判断を迅速に行なうために、掘削の進捗や水封水圧の変更に応じた湧水量予測値の更新を頻繁に行なう必要がある。そこで、筆者らは、図-2 に示す「スライスモデル」による湧水量予測手法を考案した。同手法では、貯槽の奥行 10m(水封ボーリング間隔)毎の区間湧水量を求め、これを貯槽方向に積算することにより総湧水量を求める。透水係数は、水平および鉛直水封ボーリングの透水試験結果²⁾(図-3)を基に決定する。水封ボーリング削孔時に実施した削孔応答試験では、低透水区間ではほとんど応答が見られず、比較的高透水の領域で、水封ボーリング1本当たり1,2箇所程度の応答が確認されたことから、岩盤の透水性が水みちに依存することが明らかになった²⁾。そこで、図-2、図-4 に示すように、鉛直・水平方向の水みちが貯槽に交差するモデルを考えた。モデル化された水みち(幅5m)の透水係数は、水みち以外の岩盤が難透水性(0.01Lu)と仮定し、次式で換算する。

$$\text{高透水帯の透水係数} = \text{全孔透水係数} \times \text{水封ボーリング長} \div 5\text{m} \quad (1)$$

すなわち、水みちが孔全体の透水性を支配するものと考えた。

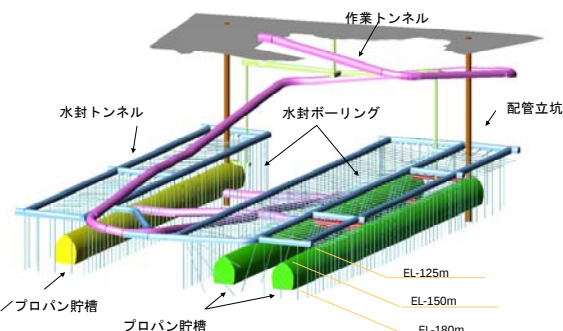


図-1 貯槽レイアウト (波方 LPG 地下備蓄基地)

表-1 施工段階と地下水解析モデル

段 階	地下水解析モデル	目的	備考
設計時	均質岩盤モデル (2次元、3次元)	設計湧水量 水封施設設計	設計透水係数=0.1Lu
建設時	均質岩盤モデル (2次元、3次元)	湧水量、水頭値の予測	情報化施工のため掘削 の進捗を考慮
	スライスモデル	グラウト効果を考慮した 湧水量予測	
完成時	不均質岩盤モデル(3次元)	完成時の水封機能評価	3次元水理地質構造 モデル

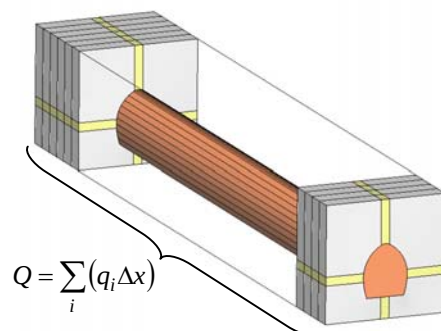


図-2 スライスモデル

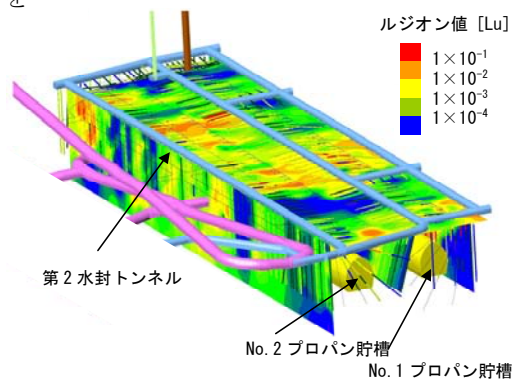


図-3 水封ボーリングの透水係数分布

キーワード LPG 岩盤貯槽, 水封式地下備蓄方式, 湧水量, 透水係数, グラウト計画

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 TEL 045-814-7237

グラウチングは、図-4に示すように貯槽壁面から一定範囲の水みちを低透水に変更することにより考慮する。10mスライスの湧水量 q_i は、二次元有限要素法による浸透流解析により求める(掘削開始前に1度だけ実施)。任意の掘削段階の湧水量は、掘削完了時の総湧水量に表-2に示す湧水量配分率を乗じて求める。例えば、1段ベンチまで掘削が完了した断面の湧水量は、次式で算定する。

$$\text{湧水量} = \text{総湧水量} \times (0.496 + 0.099 + 0.140) \quad (2)$$

予め各スライスの湧水量 q_i を求めておくことにより、掘削進捗に応じた総湧水量を表計算ソフトで算定できる。

3. アーチグラウトの仕様検討と湧水量測定結果

アーチ掘削では、止水対策を行わない場合、設計湧水量(51m³/hr, 岩盤の平均透水係数 0.1Lu)を上回ると懸念されたため、上記手法によりグラウト仕様を検討した。図-5に、検討に用いた水封ボーリング沿いの透水係数分布を示す。改良幅 10m, 水みちモデルの改良目標値(0.5Lu, 1Luの2ケース)として、貯槽湧水量を求めた(図-6)。図の横軸は、改良対象透水係数(止水対象とする透水係数の閾値)である。図-6より、貯槽湧水量を確実に設計値以下とするには、水みちを 1Lu より可能な限り低い値まで改良することが望ましいことがわかるが、アーチ掘削では、セメントグラウトによる既往の改良実績を参考に、改良目標値を 1Lu とした。実際の施工においては、上記改良目標値を念頭に、切羽からのプレグラウトを基本としたグラウト計画(孔配置, 手順など)を立案・実施した³⁾。

図-7にアーチ掘削時の湧水量測定結果を示す。アーチ掘削完了時の湧水量(10 m³/hr)は、水みちを 1Lu に改良した際の予測値(14 m³/hr)を下回っており、グラウチングによる止水効果が確認された。

実湧水量は、スライスモデルで水みちの改良値を 0.5Lu とした予測値にほぼ沿っており、グラウチング効果の評価および湧水量の予測に提案したモデルが有用であることが分かった。

4. まとめ

本報では、水封ボーリングの水押し試験結果に基づく LPG 貯槽空洞掘削時の湧水量の算定手法、および同手法を用いたグラウト仕様の検討方法を提案した。提案した手法は、掘削の進捗に伴う湧水量予測やグラウト仕様の見直しによる最終湧水量予測値の更新を迅速に行なえる利点を有し、地下水管理を目的とした情報化施工に非常に有用である。

参考文献

- 1) 加藤元彦, 前島俊雄, 平井秀幸: “LPG 岩盤貯槽掘削における情報化施工”, 基礎工, 2007 年 9 月号, pp. 75-78.
- 2) 下茂道人, 真下秀明, 前島俊雄, 山本浩志, 青木謙治: “水封ボーリングを用いた LPG 貯蔵空洞周辺の水封機能確認方法”, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 55-60, 2008 年 1 月.
- 3) 安達哲也, 下茂道人, 前島俊雄, 山本浩志: “LPG 貯蔵掘削時のグラウト計画と止水対策結果の評価 - 波方プロパン貯槽工事 -”, 第 63 回土木学会年次学術講演会, 2008 年 9 月(投稿中).

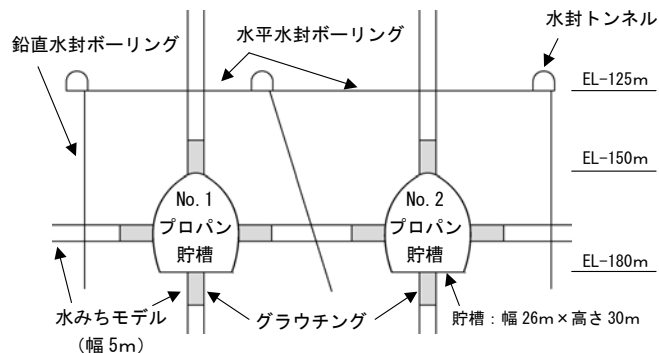


図-4 水みちモデルによるグラウチングのモデル化

表-2 掘削箇所の湧水量配分率(2D-FEM より)

掘削段階	湧水量配分率(%) =掘削段階の湧水量/総湧水量
頂設	49.6
アーチ	9.9
1段ベンチ	14.0
2段ベンチ	10.9
3段ベンチ	8.8
4段ベンチ	6.8
計	100

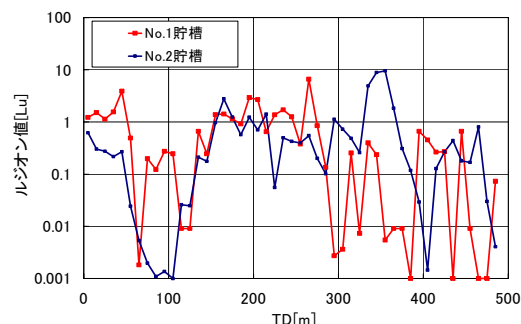


図-5 水封ボーリングの透水係数分布

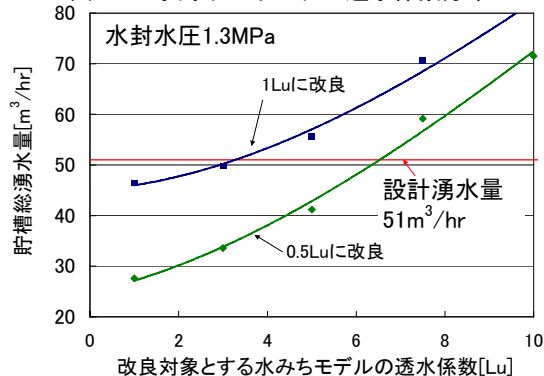


図-6 グ라우チング仕様と貯槽湧水量

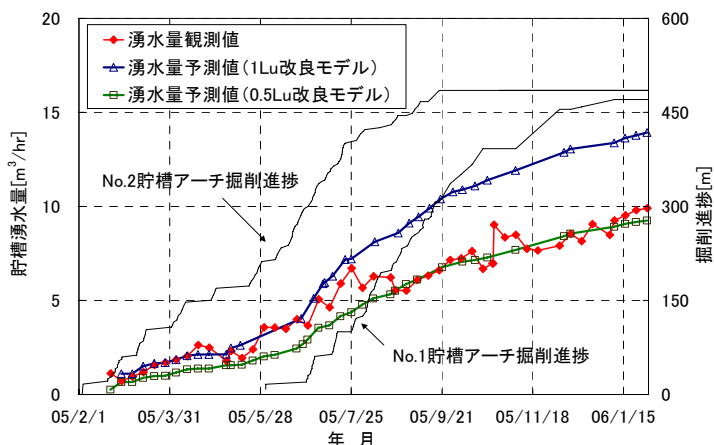


図-7 アーチ掘削時の湧水量(水封水圧=0.45MPa)