

地層処分場 地下施設の排水設備の設計方法の検討（その１）

－排水設備の合理的な設計体系の整備－

原子力発電環境整備機構 正会員○窪田 茂 野尻 慶介 鈴木 寛
清水建設(株) 正会員 辻 正邦 沖原 光信 戸栗 智仁

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（NUMO）は、地層処分場の安全確保に関する技術的信頼性を向上させるため、閉鎖後長期の安全確保のみならず事業期間中の安全確保を、セーフティケースで示すべき重要なテーマの一つと位置付けて検討を進めている。地層処分施設の建設・操業時には、坑道内へ湧出する地下水（湧水）が恒常的に発生し、開放された坑道全長におよぶ湧水を地上の排水処理設備まで汲み上げる排水設備が必要である。ここで、排水設備の容量（揚水ポンプや配管の仕様）を決めるための排水量を設計排水量と定義する。設計排水量は、恒常的な湧水量の多寡に依存し、地質環境条件（例えば、岩盤の透水性）や地下施設の設計仕様（例えば、設置深度や開放された坑道の延長・配置）によって大きく影響を受ける。そして、事業の段階が進むほど地質環境条件や地下施設の設計仕様に関する情報が増え、恒常的な湧水量の予測手法ならびに施設に許容できる湧水量の上限値（許容湧水量）の設定手法等についての詳細検討が可能になると考えられる。

地層処分施設は、大深度であることから高水圧条件となり、かつ坑道延長が非常に長いことから、施設の総湧水量が膨大となり事業費への影響が大きくなる可能性が高い。このため、サイトが特定できない現段階や、地質環境情報の不確実性が高いと考えられる調査の初期の段階においては、簡易に恒常的な湧水量を推測し、ジェネリックに展開できる手法を整備することが重要であると考えた。

2. 合理的な排水設備の設計方法の検討

本検討では、図-1 に示す合理的な排水設備の設計体系を整備した。予測した湧水量が許容湧水量を満足しない場合は、岩盤グラウチング技術などを用いて湧水量を抑制して許容湧水量を満足させる必要がある。以下に、設計体系の流れの（i）～（iv）の概要を示す。

（i）恒常湧水量の予測

湧水量予測にあたり、既往の理論式（見掛ら¹⁾）による方法は、地質環境条件や地下施設の設計仕様をもとに、坑道掘削延長あたりの湧水量を簡易に求めることができるため、調査の初期段階における設計排水量への適用に最も適切な手法であると考えた。ただし、理論式は単一の坑道に対する解を算定するため、坑道が多数接続するような複雑な坑道網による水圧の低減効果（補正量）の影響が考慮できない。このため、本検討では、坑道の接続本数や離間距離等をパラメータとした

三次元有限要素モデルを用いた定常地下水流動解析を実施し、単一坑道の湧水量を算定する既往の理論式（図-2）に対して地下施設の設計仕様に応じた補正を反映した算定式を提案した。解析検討の詳細は、（その２）に示す。

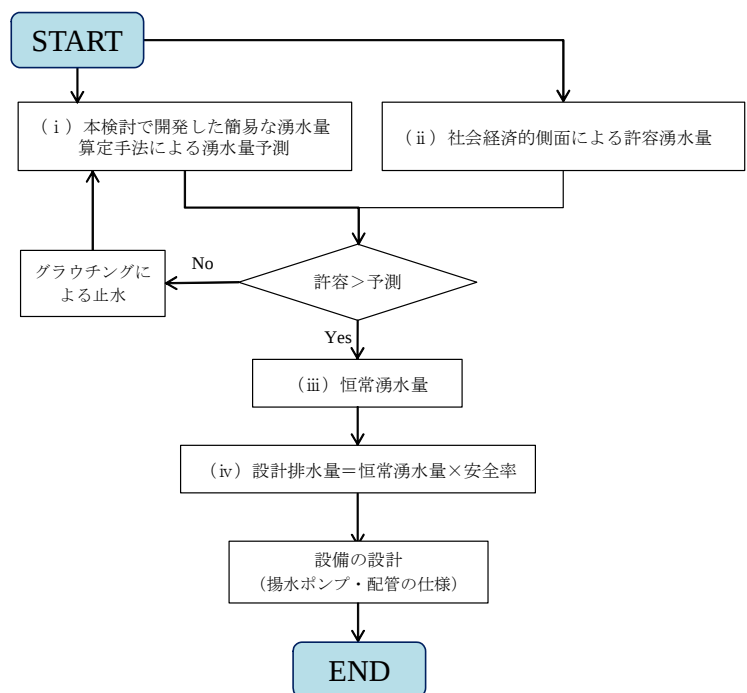


図-1 合理的な排水設備の設計体系

キーワード 地層処分, 排水設備, 排水量, 恒常湧水量, 許容湧水量, グ라우チング

連絡先 〒108-0014 東京都港区 4 丁目 1 番 23 号三田 NN ビル 12 階 原子力発電環境整備機構 TEL : 03-6371-4004

(ii) 許容湧水量

グラウト技術のガイドライン²⁾によれば、許容湧水量を決定する因子が網羅的に検討されており、「長期安定性」、「建設・操業影響（施工性）」、「環境影響」、「社会経済的側面（コスト）」などが挙げられている。サイトが特定できない現段階においては、社会経済的側面による許容湧水量の設定が合理的であると考えた。

(iii) 恒常湧水量

恒常的な湧水量は、施工後の坑内湧水量が時間の経過に伴い減少し、恒常的に発生する湧水量である。グラウチングを適用することで、恒常湧水量をコントロールすることが可能となる。社会経済的側面からの許容湧水量は、トレードオフ関係にある長期に亘る「排水処理費」および「グラウト工事費」の合計の極小値から求まる排水量（図-3）となる場合の恒常湧水量とした。

(iv) 設計排水量

既往の検討（中田ら³⁾）によれば、恒常湧水量（平常時）と最大湧水量（設計排水量）の関係は1.3～5.2倍（表-1）とされているため、設計排水量を求めるために恒常湧水量に乗じる安全率は3～5程度が妥当と考えられる。なお、事前調査と確実なグラウチングを考慮すれば、恒常湧水量の減少のみならず突発湧水等のリスクが下げられるため、グラウチングを標準設計に盛り込むことで、安全率の低下が見込めると考えられる。

3. おわりに

本検討では、サイトが特定できない現段階において、合理的な排水設備の設計に適用できる有用な設計体系を整備した。留意すべき点として、本算定式で求める湧水量は数値解析による手法と比較して±2割程度の誤差を含むことである（その2参照）。ただし、設計排水量を算出するための安全率が3～5倍であることを見込まれることから、現段階では有用な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 見掛信一郎，西垣誠，佐藤稔紀（2014）：グラウチングの注入範囲設定に関する浸透力を考慮した評価理論の構築，土木学会論文集C（地圏工学），Vol.70，No.1，pp.30-43.
- 2) 日本原子力研究開発機構（2013）：平成24年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連，地下坑道施工技術高度化開発 グラウト技術のガイドライン。
- 3) 中田英二，末永弘，大山隆弘，野村時定，市原義久（2008）：閉鎖後の堆積岩海底下坑道での再冠水速度に関する調査，電力中央研究所報告，N07042.

$$Q_m = \frac{2\pi L(-h_0(t) + h_c)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) + \frac{\ln\left(\frac{R(t)}{r_1}\right)}{k_g} + \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R(t)}\right)}{k_w}}$$

Q_m : 坑道への湧水量
 $h_0(t)$: 坑道壁面の時間における全水頭
 h_c : 影響圏半径における全水頭
 L : 坑道断面の奥行き長さ
 r_0 : 坑道掘削半径
 r_1 : 緩み領域（EDZ）の半径
 $R(t)$: グ라우チングにおける注入範囲
 R_1 : 影響圏半径
 k_w : グ라우チング注入前の地山透水係数
 k_g : グ라우チング注入範囲の透水係数
 k_0 : 緩み領域（EDZ）の地山透水係数

図-2 既往の理論式（見掛ら¹⁾）

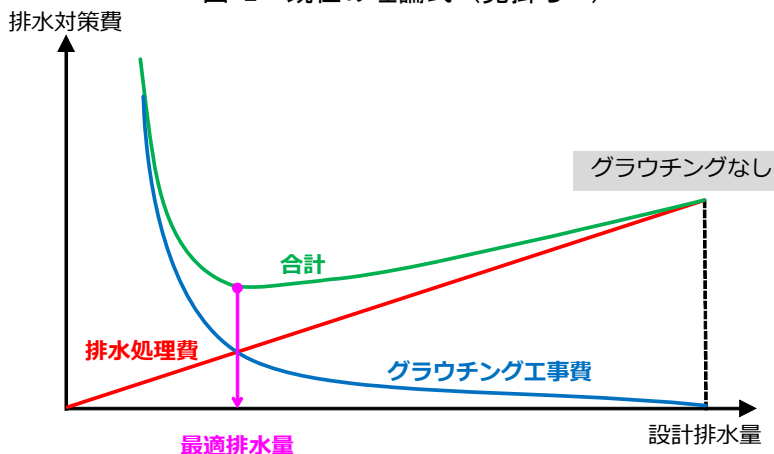


図-3 グ라우チング対策を含む合理的な設計湧水量設定のイメージ

表-1 海底下坑道の掘削深度と平常時ならびに最大（異常時）湧水量（参考文献3に加筆）

	坑道全長 海底部(総長)	海底下掘削深度 土被り(水深)	総湧水(排水)量 定常(最大)
	km	m	m ³ /min
青函トンネル ^{1), 2)}	23.3 (53.8)	100 (140)	43 (85) 2.0 倍
新関門トンネル	0.726 (18.7)	24 (66)	3.3*
ユーロトンネル ³⁾	37.9 (50.49)	40 (60)	極少
東京湾横断道路	9.5 (9.7)	16 (28)	(2.1)*
三池炭鉱 ⁴⁾	386維持坑道	600 四ツ山坑, 320有明坑	90-110
宇部炭鉱 ^{5), 6)}	163	350 (10)	26 (135) 5.2 倍
高島炭鉱 ⁷⁾	-	1010	12 (16) 三ツ瀬 1.3 倍
池島炭鉱	96維持坑道	650 (30)	32.7
太平洋炭鉱 ⁸⁾	177.3維持坑道	800 (30)	8.2

*はシールド工法