

第2次とりまとめにおける地層処分の工学技術的検討（その1）

—設計の基本的考え方と前提条件及び人工バリア仕様例—

核燃料サイクル開発機構 正会員 藤田朝雄・谷口航・杉野弘幸

大林組 正会員 長谷川宏

清水建設 正会員 岩佐健吾

1. はじめに

第2次取りまとめにおける地層処分の工学技術の目標は、わが国の地質環境の特徴を考慮したうえで、人工バリアと処分施設の設計、製作・施工、建設等に関し、安全性を実現するための信頼性の高い人工バリアならびに処分施設についての設計要件を提示するとともに、これらが現実的な工学技術によって合理的に構築できることを示すことである。ここでは目標に対して、地層処分の安全性を確保しつつ、人工バリアおよび処分施設の合理的な設計を行うための考え方を示し、設計におけるわが国の幅広い地質環境の取り扱い方について述べるとともに、人工バリアおよび処分施設の検討において前提となる条件及び人工バリアの仕様例について述べる。

2. 設計の考え方

人工バリアおよび処分施設を合理的に設計するために、その重要な要素となる「設計要件」、「設計の進め方」、「設計解析」を組み合わせ、図-1に示す設計の基本的な流れを設定した。この流れに基づき、一連の設計によって設定された仕様例に対して、安全評価を行い、その結果を設計に適宜反映していくことが重要である。

3. 検討における前提条件

人工バリアおよび処分施設の設計、製作・施工技術の検討において前提となる、ガラス固化体の仕様、発熱量、放射能、貯蔵期間および処分施設の規模、地質構造要素と地形的条件、岩盤特性、処分深度を設定した。モデルガラス固化体の貯蔵期間は50年、埋設初期発熱量は約350 W/本、処分施設の規模（処分場に埋設されるガラス固化

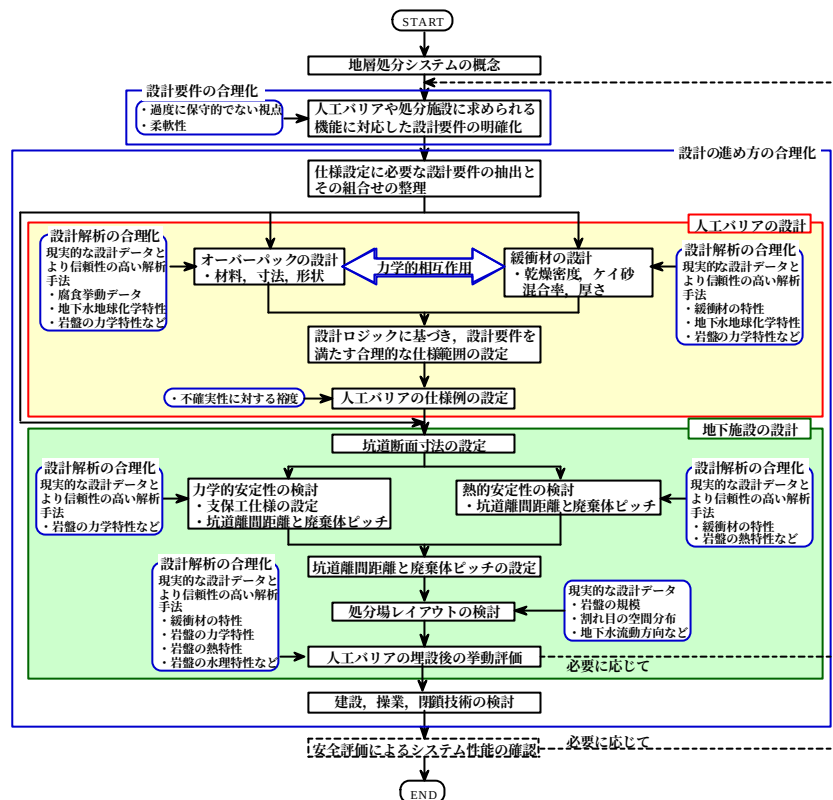


図-1 設計の基本的流れの例と設計の合理化

表-1 岩盤の基本的な特性値（設計用岩盤特性データセット）

対象岩盤		硬岩系岩盤データセット	軟岩系岩盤データセット
物理特性	飽密度 ρ [Mg m^{-3}]	2.67	2.20
	真密度 ρ_s [Mg m^{-3}]	2.7	
	有効間隙率 n_v [%]	2	30
力学特性	一軸圧縮強度 q_u [MPa]	115	15
	弾性係数 E [MPa]	37,000	3,500
	ポアソン比 ν [-]	0.25	0.30
	粘着力 c [MPa]	15	3.0
	内部摩擦角 ϕ [°]	45	28
	引張強度 σ_t [MPa]	8	2.1
	側圧係数 K_0 [-]	$164/h+0.74$ (h : 深度[m])	
	初期鉛直応力 σ_v [MPa]	$\rho h/100$ (ρ : g cm^{-3})	
	初期水平応力 σ_h [MPa]	$K_0 \cdot \sigma_v$	
	弾性波 (P 波) 速度 V_p [km s^{-1}]	$2.1+2.9\{1-\exp(-0.00792 \rho h)\}$	$1.8+1.4\{1-\exp(-0.00057 \rho h)\}$
熱特性	弾性波 (S 波) 速度 V_s [km s^{-1}]	$0.2+2.4\{1-\exp(-0.00788 \rho h)\}$	$0.6+1.0\{1-\exp(-0.00066 \rho h)\}$
	熱伝導率 λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	2.8	2.2
	比熱 c [$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]	1.0	1.4
	地温勾配 [$^{\circ}\text{C}/100\text{m}$]	3	
水理特性	透水系数 k [m s^{-1}]	健岩部: 10^{-10} 10^{-8} , 割れ目帯: 10^{-6} 10^{-5}	
	動水勾配 i [-]	0.008 0.067	

体の本数)は4万本とした。オーバーパックや緩衝材の設置環境としては、地下水を降水起源から海水起源のものまで幅広くとらえることとした。岩盤の物性については、岩種ごとに整理した岩盤の力学特性の分布や割れ目頻度より、硬岩系岩盤データセットと軟岩系岩盤データセットに区分し、岩盤の一軸圧縮強度との相関関係等を考慮して設定した(表-1)。このとき、文献等をもとに広く収集したデータの幅を検討し、それらが地下深部の物性を表現していると考えてよいことを原位置での実測値によって確認した。また、硬岩系岩盤データセットの地質構造としては、単一岩種(結晶質岩の酸性岩)から成る岩体を想定し、地表部に数mの厚さの表土が存在するものとした。軟岩系岩盤データセットの地質構造としては、複数の地層が単斜構造をなして成層するものとした。新第三紀堆積岩の泥質岩が処分深度付近に存在し、その上位と下位には砂質岩の優勢な互層が分布し、さらに結晶質岩の酸性岩が基盤岩となる構造を設定した。処分深度に関しては、地層処分の長期安全性、地質環境の特性、現状における建設技術や調査技術の適用範囲、設計において把握される深度の範囲という観点から概略検討を行った。この結果を参考に、技術的に厳しい条件を設定することにより技術の適用範囲を幅広く示しておくという観点から、硬岩系岩盤で1,000m、軟岩系岩盤で500mと設定した。廃棄体を定置するためのレイアウトに関して、技術の適用範囲を幅広く示しておくという観点から、掘削・埋め戻し量と操業性の面に対照的な特徴を有する処分坑道横置き方式と処分孔縦置き方式を例にとることとした。

4. 人工バリアの仕様例

地層処分の安全性確保等の観点から、オーバーパック、緩衝材の設計要件を整理し、開発された設計手法やデータベースに基づく合理的な設計によって、オーバーパックと緩衝材の材料、厚さ等を検討した(図-2)。オーバーパックが炭素鋼製の場合、厚さを、腐食性、耐圧性、放射線遮へい性等から190mmと設定した。緩衝材の仕様に関しては、施工実績等から、ベントナイト70wt%とケイ砂30wt%を混合した、乾燥密度 1.6 Mg m^{-3} のケイ砂混合体材料を基本材料とした。緩衝材の厚さに関しては、応力緩衝性に着目して、オーバーパックと緩衝材の力学的相互作用を考慮した結果、合理的であると考えられる緩衝材厚さの範囲は、0.4m程度から0.7m程度となった。本検討では、応力緩衝性能に余裕を見込み、オーバーパックの腐食量等に対してオーバーパック耐圧厚さの変動幅をできるだけ小さくすることを考慮して、緩衝材厚さを0.7mと設定した。

5. おわりに

以上の設計の考え方、岩盤の物性等の前提条件、人工バリアの仕様例を用いて、地下施設の設計が行われる。将来、処分サイトが特定されれば、ここで示した設計要件や設計の手順および方法をそのサイトの地質環境条件に、その時点までの技術の進展も考慮して適合させ、これを用いて人工バリアと処分施設の最適な設計を行うことが可能である。

参考文献 1)核燃料サイクル開発機構 1999. わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ— 分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022.

