



高レベル放射性廃棄物の
地層処分研究開発特集

地層処分研究

4. 処分技術の研究開発

4-2 処分施設の技術開発

東海事業所 環境技術開発部

資料番号：85-14

Research on Geological Disposal

4. Research and Development of Disposal technology

4-2 Research and Development of the Technology for Disposal

(Waste Technology Development Division, Tokai Works)

処分施設の技術開発では、処分施設に要求される機能に基づき施設の構成、地下空洞の安定性、廃棄体の発熱による人工バリア周辺岩盤の温度分布および処分施設の建設、操業、閉鎖技術およびこれらの施工手順等について検討し、現状技術の適用性の評価を行った。

1. はじめに

処分施設に係わる技術開発では、施設に期待される機能を整理するとともに、結晶質岩系岩盤と堆積岩系岩盤を対象とした地下施設の空洞安定性や廃棄体の発熱影響等についての設計解析手法と建設、操業、閉鎖の各段階に必要な施工技術の検討を行っている。さらに、コスト解析を含む設計解析手法の体系化のための、CAE (Computer Aided Engineering) システムの開発を進めている。

本稿では、これらの処分施設の技術開発の現状とこれまでに得られた主要な成果を述べる。

2. 処分施設概念検討

わが国の地質環境条件を考慮した処分システムの概念構築とその技術的有効性を明らかにするために処分施設の構成、地下施設の安全対策とレイアウト、地下施設へのアクセスの検討を行い、処分施設の基本概念を整理した。

(1) 処分施設の構成

処分施設は、ガラス固化体を受入れ、必要な検査、オーバーパックへの封入等の処置を施したのち地下深部に搬送する地上施設と、地下深部に建設される廃棄体を定置する地下施設から構成される。地上施設は必ずしも地表面に設置する必要はなく、様々な立地条件に応じて、地表面下に建設される可能性もある。

地下施設は、地上と地下の施設を結ぶアクセス坑道、廃棄体を定置する処分坑道、それぞれの坑道を連絡する坑道群（主要坑道、連絡坑道）の他、廃棄体の搬送・移送に関わる施設、坑道建設に関わる施設、およびそれらの作業の安全性を維持するための施設等から構成される。

以上の処分施設には以下の項目が要求される。

- ① 地下空洞は比較的長期にわたる建設・操業・閉鎖の作業期間中を通じて安定性が確保されること。
- ② 放射性物質を取り扱うことから、放射線防護の対策がとられていること。
- ③ 廃棄体の発生する熱に対する対策がとられていること。
- ④ 廃棄体を埋設する地質環境が、施設の建設・操業・閉鎖によって極力乱されないこと、すなわち、岩盤の損傷、水位の低下等をできるだけ避けること。
- ⑤ 人工バリアに期待される性能が確保されるよう十分な品質管理が行われること。

(2) 地下施設の安全対策とレイアウト

廃棄体が放射性物質であることから、地下施設への搬送、定置作業をする操業区域は、場合によっては管理区域として区分されることも考えられる。この場合の放射線管理、防護対策の程度は、廃棄体表面の放射線量率や廃棄体の損傷の可能性等に依存す

る。空気汚染の恐れがある場合には、非常用の換気排水システム等の十分な安全対策の検討が必要である。一方、坑道の掘削、閉鎖作業においては放射線防護の観点からの管理は必要とされない。また、それぞれの作業領域によって、安全確保上の想定事象が異なることから、建設・操業・閉鎖の作業が独立して実施できるレイアウトも考えられる。

また、処分施設全体のスケジュールによっては、坑道の掘削、廃棄体の定置、坑道の閉鎖作業が並行して実施される可能性がある。

したがって、地下施設のレイアウトとしては、図1に示すように、廃棄体を処分する領域をいくつかの独立した区画に分割し、建設・操業・閉鎖の作業が並行に独立して進められるシステムが考えられる。

(3) 地下施設へのアクセス

地上から地下施設へのアクセスには、図2に示すように、立坑、斜坑、スパイラル坑道等様々なタイプが考えられる。基本的には、アクセスにエレベータを用いる立坑方式と、車両・鉄道を用いる斜坑方式に大別される。いずれにしても、アクセス坑道はかなり長大となる。どちらのタイプが適切かについては、

- ① 処分施設の立地点の自然環境（地形、地質構造、岩盤特性等）
- ② 地上施設の用地確保
- ③ 廃棄体の搬送システムの効率と安全性（エレベータ、車両・鉄道）
- ④ 事故時の避難通路の確保
- ⑤ 建設・維持コスト

等の観点から総合的に判断される。

(4) 処分施設の基本概念

前節までの検討から、処分施設の基本概念は、図3に示すようにまとめられる。

処分施設は、地表に設けられた地上施設、集中したアクセス坑道、地下に建設される廃棄体を定置する処分孔と処分坑道、その周辺の主要坑道、および

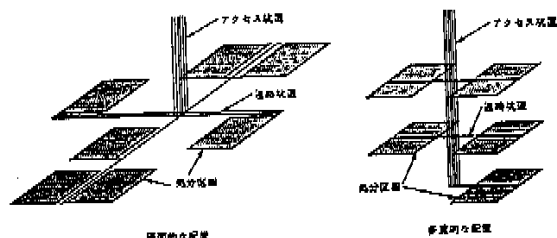


図1 処分区画の概念

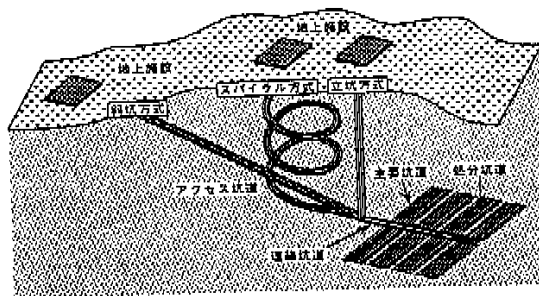


図2 地下施設へのアクセス方式

それらで構成される処分区画を結ぶ連絡坑道から構成される。この基本概念は立地の自然条件として、岩盤が均質で不連続面、弱部、特異領域等が存在しない場合の平面的なレイアウトの例を示したもので、実際には、様々な条件を考慮して、適切なレイアウトが決められることになる。

3. 処分施設の設計研究

人工バリアおよび処分施設の基本概念の検討結果を参考に結晶質岩系岩盤と堆積岩系岩盤を対象に空洞安定解析および熱解析を行うことにより処分施設の具体例の検討を行った。

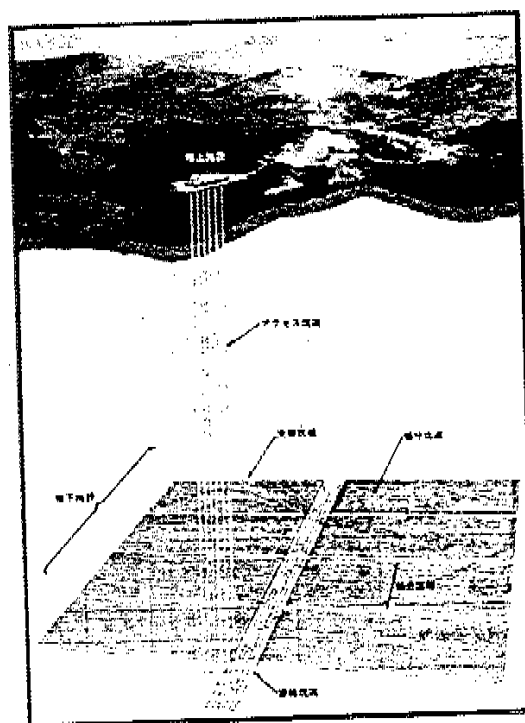


図3 処分施設の基本レイアウト例

(1) 空洞安定性の検討

地下空洞は比較的長期にわたる建設、操業、閉鎖の作業期間中、安定性が確保されていることが要求される。ここでは、処分深度、岩盤物性値等をパラメータとして、坑道の支保工の程度を概略評価した結果をまとめる。

1) 検討に用いた岩盤物性値

岩盤の力学的物性については、結晶質岩系岩盤としては日本に広く分布する花崗岩を、堆積岩系岩盤としては第三紀の堆積岩を代表的な岩種とし、いくつかの実測例を参考にして、結晶質岩系岩盤については2種類の物性を、堆積岩系岩盤については岩盤強度が小さく、支保工が重要なことから、3種類の物性を検討用に設定した。表1に検討に用いた岩盤物性値を示す。

2) 空洞安定解析

空洞の安定解析については、これまで様々な手法が提案されている。特に大型計算機の普及に伴い有限要素法による弾塑性解析例が数多く報告されている。ここでは、坑道の支保工の程度を概略検討するものとし、図4に示すように初期応力が静水圧状態である円形トンネルを対象とし、モール・クーロンの破壊基準を用いた弾塑性理論¹⁾を適用して空洞安定解析を行った²⁾。トンネルの直径は後述する坑道の最大の直径6.5mとし、初期応力は、土被り圧の1.5倍の値が等方等圧に作用するものと仮定した。

また、降伏後の岩盤挙動としてバイリニア型の完全弾塑性モデルを用いた。

上記のそれぞれの岩盤物性について深度(300m、500m、1000m)、岩盤壁面の直ひずみをパラメータとし、支保効果を内圧として考慮した場合の計算結果を、表2(a)、(b)に示す。また、空洞周辺の応力分布の一例を図5に示す。支保工の程度は、深度(初期応力)、岩盤物性および岩盤壁面の直ひずみや塑性領域をどの程度許容するかによって依存する。なお、偏圧条件下での詳細な有限要素法による空洞安定性の計算結果もほぼ同様な結果となっている²⁾。

支保としては、結晶質岩系岩盤では空洞壁面の削

表1 検討に用いた岩盤物性値²⁾

岩盤分類	物性値	単位堆積量 (kg/m ³)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (deg)
結晶質岩系岩盤	A	2,700	30,000	0.2	7.5	35
	B		10,000	0.2	6.0	35
堆積岩系岩盤	A	2,300	4,000	0.3	4.0	30
	B		2,000	0.3	2.0	30
	C		1,000	0.4	1.0	25

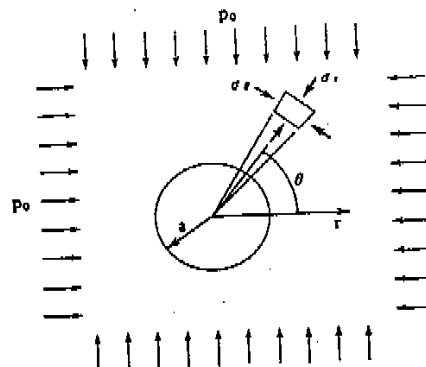


図4 弾塑性解析モデル

削を抑える目的のロックボルトと吹き付けコンクリートが考えられる。算定された内空変位は1cm程度で、掘削による塑性領域は、空洞壁面から1m程度までとなっている。このような場合の掘削工法としては、トンネル・ボーリング・マシンを用いた

表2 (a) 結晶質岩系岩盤の弾塑性理論による解析結果²⁾
(坑道直径6.5m)

岩盤分類	深度 (m)	初期 応力 (MPa)	岩盤 変位 (mm)	岩盤 変位 ひずみ (%)	塑性 領域 (m)	支保 内圧 (MPa)	保 巻立て 厚さ (m)*
結晶質岩系岩盤A	1,000	40.5	6.5	0.2	1.0	0.0	0.0
	500	20.3	3.0	0.08	0.3	0.0	0.0
	300	12.2	2.0	0.05	0.0	0.0	0.0
結晶質岩系岩盤B	1,000	40.5	21.0	0.66	1.3	0.0	0.0
	500	20.3	8.0	0.26	0.5	0.0	0.0
	300	12.2	5.0	0.15	0.04	0.0	0.0

* 巻立て厚さは、内圧を厚肉円筒の式によりコンクリート厚さに換算した値(コンクリートの圧縮強度15MPa)

表2 (b) 堆積岩系岩盤の弾塑性理論による解析結果²⁾
(坑道直径6.5m)

岩盤分類	深度 (m)	初期 応力 (MPa)	岩盤 変位 (mm)	岩盤 変位 ひずみ (%)	塑性 領域 (m)	支保 内圧 (MPa)	保 巻立て 厚さ (m)*
堆積岩系岩盤A	1,000	34.5	49	1.5	1.6	2.2	0.7
	1,000	34.5	39	1.2	1.1	4.3	1.9
	1,000	34.5	29	0.9	0.5	8.6	2m以上
堆積岩系岩盤B	500	17.3	49	1.5	1.6	1.2	0.4
	500	17.3	39	1.2	1.1	2.4	0.8
	500	17.3	29	0.9	0.5	4.3	1.9
堆積岩系岩盤C	300	10.4	48	1.5	1.4	2.2	0.7
	300	10.4	39	1.2	0.9	2.9	1.0
	300	10.4	29	0.9	0.3	4.1	1.7

* 巻立て厚さは、内圧を厚肉円筒の式によりコンクリート厚さに換算した値(コンクリートの圧縮強度15MPa)

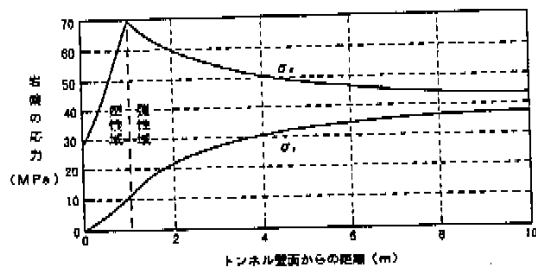


図5 空洞周辺の岩盤応力分布の例(結晶質岩系岩盤A、深度1,000m、坑道直径6.5m)²⁾

全断面掘削工法、あるいは、発破の影響を極力小さくしたスムーズ・プラスティング工法が考えられる。

堆積岩系岩盤では、岩盤物性、初期応力に応じた適切な厚さの支保を施工し、その効果を内圧として考慮することを前提としている。計算された内空変位量は、結晶質岩系に比べ大きくなるが、変位を許容する施工方法(例えば、吹き付けコンクリートとロックボルトを併用したNATMと内巻コンクリートの複合構造)を適用することが考えられる。支保の施工法としては、掘削直後の変形を吹き付けコンクリートとロックボルトで制御し、直ちにコンクリートの一次巻立てを施工し、その後二次巻立ての鉄筋コンクリートを打設する手順が考えられる。

仕上がり直径が3mを想定している処分坑道については、坑道横置方式を想定した場合、コンクリートの化学的環境特性や閉鎖時の支保工の撤去を考慮して、コンクリート支保の代わりに鋼管支保(あるいは鋼製セグメント)の設置が考えられる。

(2) 熱的安定性の検討

廃棄体から発生する核種の崩壊熱が、人工バリアおよび天然バリアに及ぼす影響を検討するため、人工バリア近傍の範囲(ニアフィールド)とニアフィールドより外の広い範囲(ファーフIELD)における熱的影響解析を実施した。

解析に用いた熱物性を表3に示す。ここで、緩衝材については、緩衝材の設置初期における含水比10%の状態がガラス固化体の発熱により乾燥することを考慮して(Sato et al., 1991)、乾燥状態(含水比6%)と飽和状態(含水比19%)の2種類の条件を設定した。

岩盤の熱物性については、実測されている結晶質岩と堆積岩の平均的な値を検討用に設定した³⁾。

1) ニアフィールドの熱解析

緩衝材の熱変質の詳細については、現在研究が進められているが、ここでは緩衝材の熱的制限温度を100℃に設定し、処分深度、廃棄物設置間隔をバラ

表3 人工バリアおよび岩盤の熱物性値³⁾

	熱伝導率 (W・m ⁻¹ ・K ⁻¹)	比熱 (kJ・kg ⁻¹ ・K ⁻¹)	単位体積質量 (kg・m ⁻³)
ガラス固化体	1.2	0.95	2,800
オーバーバック	53.0	0.46	7,800
緩衝材	乾燥状態	0.9	1,900
	飽和状態	1.7	2,100
結晶質岩系岩盤	2.9	0.84	2,700
堆積岩系岩盤	2.3	0.84	2,300

メータとする2種類の処分形態(処分坑道設置方式、坑道横置方式)を対象としたニアフィールドの3次元熱解析を実施した³⁾。この解析は、緩衝材の許容温度を制約条件とした廃棄物の埋設密度を求めるためにガラス固化体貯蔵期間は30年とし、地表温度15℃、初期地温勾配3℃/100mの条件で行った。

一例として、坑道横置方式の場合(廃棄体埋設密度1本/100m²、深度1000m、結晶質岩系岩盤)をとりあげ、図6に緩衝材の熱伝導率を、乾燥状態と水で飽和した状態の値で解析評価した場合のニアフィールドの温度の経時変化を比較して示す。実際の温度上昇は、緩衝材の浸潤状態を考慮すると両者の間の値を示すことになる。

いずれにしても、ニアフィールドの各部の温度は、廃棄体埋設直後から上昇し、10~50年程度で最大となる。その後、1,000年後には55℃、10,000年後には50℃まで低下する。

このニアフィールドの温度上昇は、廃棄体の発熱特性(中間貯蔵期間、人工バリアの仕様、廃棄体の埋設密度の他、岩盤の熱物性値等に依存するため一時的に規定されるものではない。しかし、基本的に

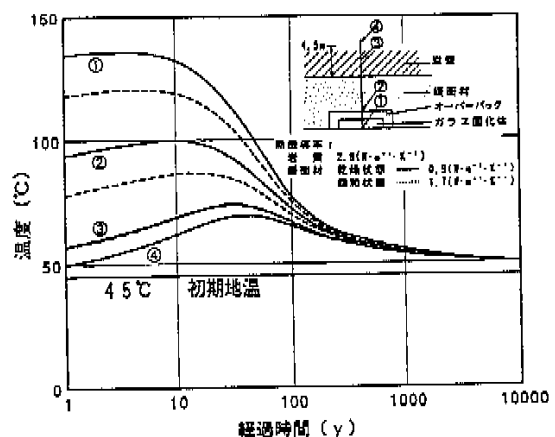
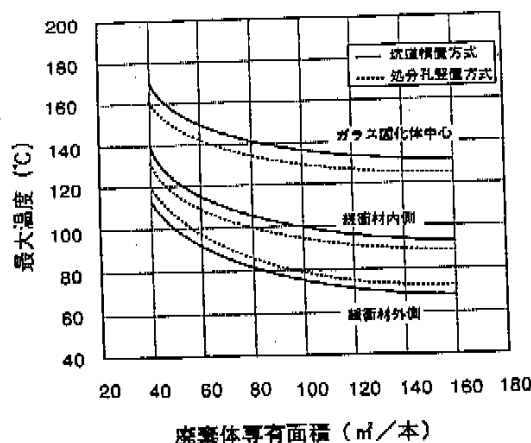


図6 ニアフィールドの温度の経時変化³⁾

図7 熱解析結果(結晶質岩系岩盤、深度1,000m)³⁾

は人工バリア材および周辺岩盤への熱的影響を考慮して、廃棄体の埋設密度を調整することにより制御することができる。

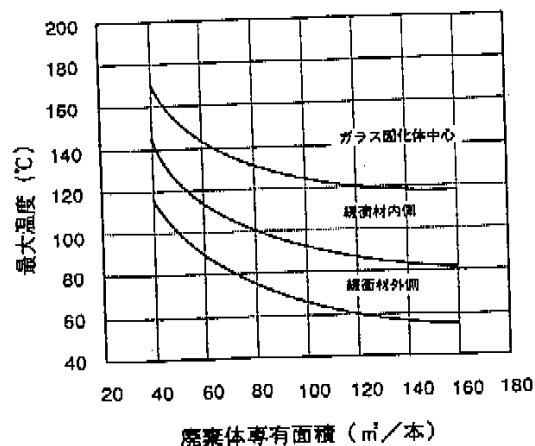
図7～図8に廃棄体埋設密度とガラス固化体および緩衝材の内側、外側の最大温度との関係を示す。ニアフィールドの温度上昇は廃棄体の埋設密度により調整することができる。ここで緩衝材の熱伝導率については、より厳しい条件を与える乾燥状態(含水比6%)の値を用いた。結晶質岩系岩盤で深度1,000mの場合、緩衝材の最高温度を100℃以下とするためには坑道横置方式では廃棄体1本当たり約100m²、処分孔縦置方式では1本当たり約80m²程度となり、また、堆積岩系岩盤で深度500mの坑道横置方式の場合は廃棄体1本当たり80m²程度となることがわかる。この埋設密度を用いて、地下施設全体の規模を想定すると、中間貯蔵期間30年経た40,000本の廃棄体を埋設するとして深度1,000mの結晶質岩系岩盤の場合、横置方式で約4.0km²、縦置方式で約3.2km²、深度500mの堆積岩系岩盤の場合、横置方式で約3.2km²の広さとなる。

今後、ニアフィールドの温度変化を詳細に評価し、設計仕様へ反映していくためには、熱-水-応力の連成解析、人工バリアや周辺岩盤の熱物性値の温度依存性を考慮した解析が必要となる。

また、今回、バリア材間にギャップを設け一定の熱物性値を与えた概略的な解析を行い、バリア材間のギャップは結果に大きな影響を与えないことを確認しているが、詳細な検討を行うためには、人工バリアの施工条件等も十分考慮した解析を行う必要がある。

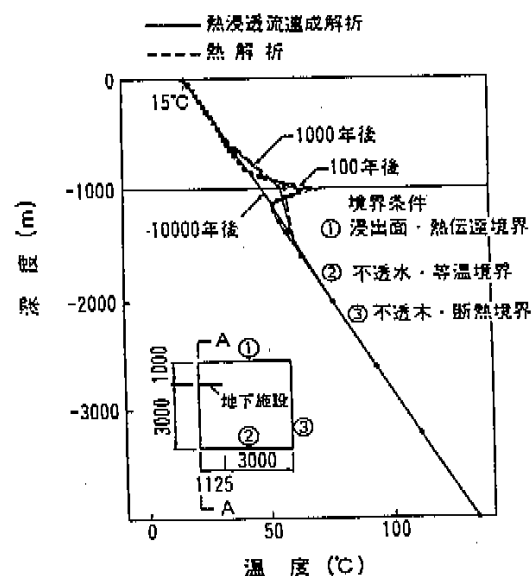
2) ファーフィールドの熱解析

上記ニアフィールドの解析を基に、地下施設の規

図8 熱解析結果(堆積岩系岩盤、深度500m、坑道横置方式)³⁾

模を設定し、等価な熱源を与えたファーフィールドの熱解析を行った³⁾。

処分深度1000mの処分場の温度の経時変化を図9に示す。1℃の温度上昇がみられる範囲は、50年後に地下施設(発熱体)より100m程度、100年後に200m、1,000年後に最大500m程度となっている。また、今回の解析条件とした処分深度500～1,000mの範囲では地表面の温度は変化しないという結果が得られており、廃棄体の発熱による地上への温度影響は、気象条件による影響に比べて無視できるものと

図9 深さ方向の温度分布³⁾

考えられる。

今後、ファーフールドの温度変化を詳細に評価し、設計仕様へも反映していくためには、ニアファーフールドと同様に熱-水-応力の連成解析、岩盤の熱物性の温度依存性やファーフールドの地盤構造等を考慮した解析が必要である。

3) ファーフールドの熱-水連成解析

ガラス固化体の発熱による処分場周辺の地下水の対流および、その地盤の温度分布に与える影響を把握するために、非定常熱移動・飽和浸透流連成解析を実施した。本解析では処分場を2次元軸対称モデルで取扱い、処分場の深度を500m、1000mおよび、処分場を2層構造にした場合（処分深度800m、1000m）のケースについて検討した。

図10に処分深度を1000mとした場合の処分実施後1000年経過した時点の熱分布を示す。ガラス固化体の発熱による地下水の対流は、処分実施後1000年経過しても存在するものの、処分場周辺の地下水の動水勾配は、1/10000程度と小さい。処分場を2層構造とした場合は、図11に示すように1層構造とした場合より対流が比較的大きくなると推定される。一方図9に示したように処分場周辺の温度分布については、地下水の対流が介在してもほとんど影響のないことがわかった。

(3) 処分場の仕様検討

前項の空洞安定解析と熱解析結果および建設、操業の作業性を考慮して、坑道と処分区画の一例を検討した。

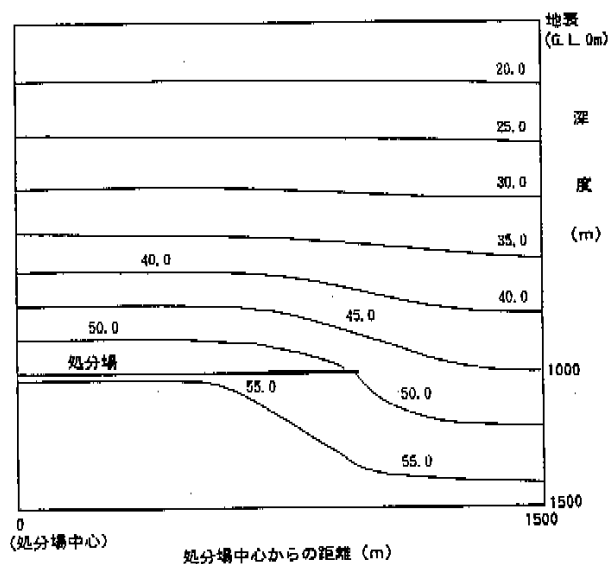


図10 処分場設置1,000年後の等温分布（1層配置）³⁾
（図中の数値は温度（℃））

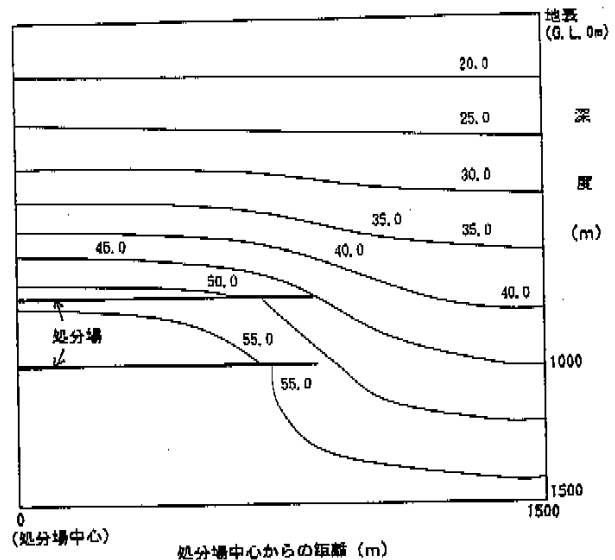


図11 処分場設置1,000年後の等温分布（2層配置）
（図中の数値は温度（℃））

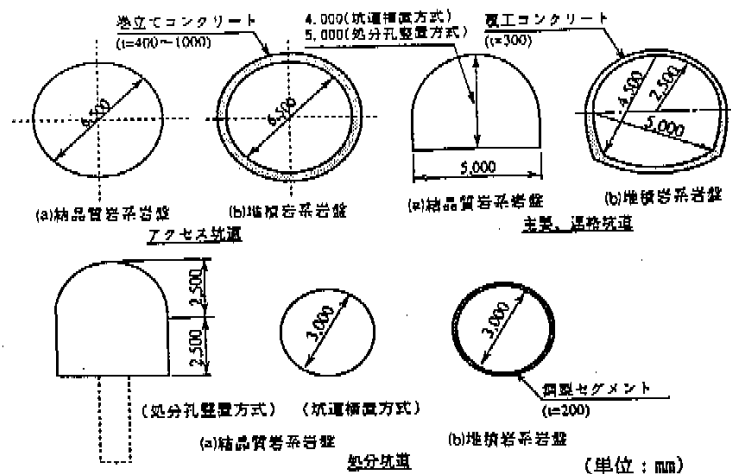
討した。

1) 坑道の断面

アクセス坑道は、操業時に廃棄体を運搬するエレベータの設置スペースを考慮すると、直径6.5mの円形坑道が考えられる。処分孔垂直方式の場合の処分坑道は、処分孔の掘削性を考慮すると、高さ5.0mの幌型トンネルとなり、坑道横置方式の場合には掘削機械（トンネルボーリングマシン）の使用が可能で操業空間が確保できることを考えると、内径3.0mの円形坑道となる。また、処分孔は掘削性を考慮すると直径1.7mの円形断面が考えられる。主要坑道については、結晶質岩系を対象とした処分孔垂直方式の場合、処分坑道と同じ高さ5.0mの幌形断面になると考えられる。坑道横置方式の場合には処分坑道断面および操業性の観点から高さ4.0mの幌形断面が考えられる。また、堆積岩系岩盤では、空洞の安定性の面から、主要坑道は3心円の断面が考えられる。図12に以上で述べた坑道の断面を示す。

2) 処分区画

アクセス坑道は、廃棄体の搬送だけでなく、作業員の出入り、掘削ズリの搬出、緩衝材の搬入、閉鎖材の搬入、換気、排水、エネルギー供給等、多様な目的に使用される。ここでは、地下施設の安全性確保の観点から、建設、操業、閉鎖の平行作業を考慮して、それぞれ2本ずつ独立系系統で配置することを基本とし、計6本のアクセス坑道を設置することを考えた。6本のアクセス坑道の配置、レイアウトとして、①集中方式、②分散方式が想定されるが、

図12 坑道の断面例⁵⁾

地上施設の占有面積および作業性を勘案すれば、集中方式が良いと考えられる。

また、総処分量40,000本を8区画に分割して埋設すると仮定した場合、1区画あたりの処分量は5,000本となる。連設空洞の安定性の観点から、直径3mの処分坑道をそれぞれ15m間隔で設置した場合、熱的安定性の観点から、坑道横置方式では廃棄体が約7mピッチで埋設されることになる。このとき、40,000本を埋設する処分坑道で、280km程度の延長を持つトンネル群となる。

図13に平面的に展開した処分区画の例を示す。この場合の処分区画は、約0.6km²の大きさとなり31本の処分坑道から構成される。処分区画を図13のように平面配置すると地下施設全体の大きさは、緩衝地帯を入れて約5.4km²となり、地下坑道の総延長は約330kmとなる。

4. 建設・操業・閉鎖技術開発

(1) 建設技術の検討

現状技術に基づき⁴⁾、地下施設の施工手順および施工方法について検討を行った。

1) 施工手順

施工手順としては次の順序が考えられる⁵⁾。

- ① 坑外設備（敷地造成、道路工事を含む）
- ② アクセス坑道
- ③ 連絡坑道
- ④ 主要坑道
- ⑤ 処分坑道
- ⑥ 処分孔（処分孔縦置方式の場合）

ただし、主要坑道の施工以降は処分区画ごとの工

事となり、各処分区画を順次建設することになるものと考えられる。また、処分坑道と処分孔の施工も一定期間ずらし重複して実施することが考えられる。

2) 施工方法

アクセス坑道の工法として、掘削深度、坑道配置、地質条件、作業能率、安全性、信頼性、経済性等を考慮し以下の2工法が考えられる。

・発破工法

（掘り下がり）

ショートステップ工法
ロングステップ工法 等

（掘り上がり）

クライマー工法
ステージブラスト工法 等

・機械掘削工法

機械掘削工法（レーズボーラ等）

全断面機械掘削工法(SBM工法)

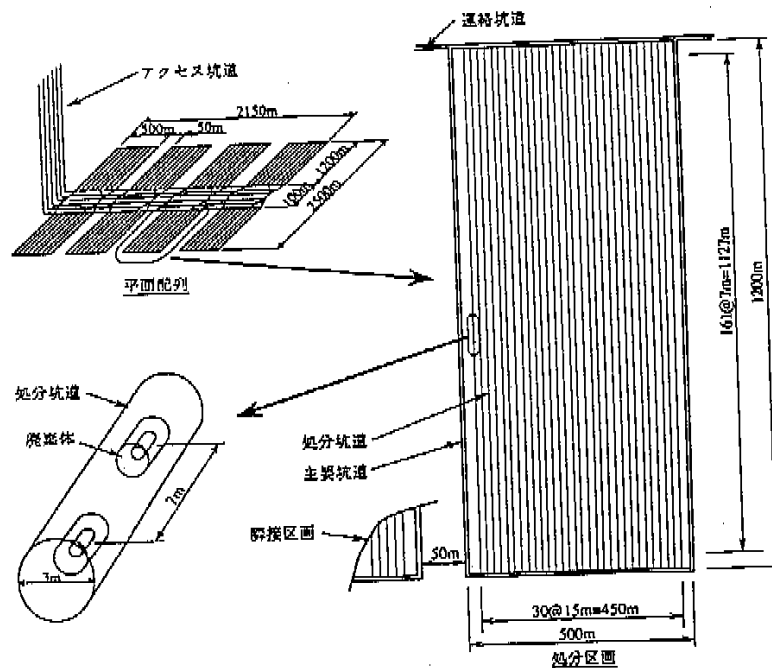
発破工法の中にはスムーズプラスティング、プレスブリティング、ラインドリリング等がある。また、支保、覆工の種類としては、以下の2種類があげられる。

① 吹き付けコンクリートとロックボルト

（NATM(ニューオーストリアントンネル工法)）

② コンクリート覆工、セグメント

全断面機械掘削工法は周辺岩盤に対する影響を考慮すると有利であるが、現時点においては実績が少なくないので、ここでは除外するものとした。岩盤の安定性を考慮すると、結晶質岩では発破工法により掘削し、支保工として吹付けコンクリートとロックボ

図13 処分区画の仕様例⁶⁾

ルトを併用するNATMが、また、堆積岩では機械掘削の後にショートステップ工法で支保工を行う工法が適していると考えられる。

また、岩盤への影響を低減することを考慮すると一般的に機械掘削が有効ではあるが、結晶質岩にはスームプラスティング工法の適用も考えられる。また、立坑を掘削する場合は全断面を一度に掘り下げていく全断面掘り下がり方式が代表的であるが、2本目からのアクセス坑道は底部から排水やずり搬出ができるので、先進導坑を掘削した後切り上げ掘削する方式や、底部から排水やずり搬出ができるので、掘り上がり工法の適用も可能である。

主要・連絡坑道である水平坑道の掘削工法の代表的なものとして、以下の工法が考えられる。

- ① 発破工法
- ② TBM工法（トンネル機械掘削工法）
- ③ ブーム式機械掘削工法

処分施設の建設工法を選定する場合、周辺岩盤への影響削減が重要な要素となる。この点でTBM工法あるいはブーム式機械掘削工法は優れているが、ブーム式機械掘削工法をここで考えている結晶質岩のような硬岩に適用することや、TBM工法を円形以外の断面形状の坑道掘削に適用することは、作業効率や経済性を考慮すると問題があり、今後の技術的課題である。また発破工法でもスームプラス

ティングを採用することにより、ある程度周辺岩盤の損傷を低減することは可能である。これまでの実績を考慮すれば、連絡坑道および主要坑道の掘削工法としては、結晶質岩の場合はスームプラスティングによる発破工法、堆積岩の場合はブーム式機械掘削工法が考えられる。支保の方法としては、結晶質岩では無支保または吹付コンクリートとロックボルトを併用するNATMが適していると考えられ、堆積岩では覆工コンクリートを打設する従来工法やNATMの適用が考えられる。また、ズリ出しの方法は無軌道車両方式と軌道方式が一般的である。軌道方式は長距離の大量ズリ運搬に適し、走行による粉塵、排気ガスを出さない。なお、建設工程が長期におよぶ場合には、設備、コスト等の観点からトラック輸送が有利となる可能性がある。

処分坑道の掘削工法は、連絡坑道および主要坑道の場合と同様の検討から、処分孔設置方式の場合はスームプラスティングによる発破工法、坑道横置方式の場合は特に高い仕上がり精度が要求されること、また周辺岩盤への影響を最小限とすることからTBM工法の採用が考えられる。ズリ出し方法は縦置方式の場合は連絡坑道および主要坑道の場合と同じである。横置方式の場合に用いる小口径TBM工法のズリ出し方式としては、

- ① 流体輸送方式

② ベルトコンベアおよびズリ運搬車両の併用方式

がある。流体輸送方式の場合は小断面で連続的なズリ運搬ができるが、パイプ径によってはズリの再破碎や輸送後の固液分離の設備が必要となる。ベルトコンベアはこの点有利であるが、処分坑道の全長にわたってのベルトコンベア方式はスペースや故障時の対応を考えると不利な点が多いので、ズリ運搬車両までベルトコンベアを用いる方式が一般的である。処分孔は、廃棄体が定置され所要の緩衝材を設置することから、仕上がり精度に特に留意した掘削方法が必要である。

工法については、作業スペースと装置の規模、対象岩盤の強度、掘削能力の点から、下記の2工法が有力である。

① 全断面掘削工法 (SBM工法)

② ラインドリリングによる工法

この工法を比較すると全断面掘削工法の方が安全性、施工性、仕上がり精度等の面で優れている。全断面掘削機は、硬岩用のTBMと同様のローラークッターを岩盤に押しつけて回転させ、岩盤を圧砕する圧砕形の掘削機である。

(2) 搬送システムの検討

処分施設は、地下施設と地上施設に分けられるが、以下のような経路を経て廃棄体が定置されると考えられることから、処分施設を地上施設、アクセス施設、地下施設の3つに区分し、廃棄体の取り扱いについての検討を行った⁶⁾。

1) 地上施設

地上施設内で行われる廃棄物の受入れ作業に含まれる項目としては、キャスク (ガラス固化体の輸送容器) トレーラーによるキャスクの受入れから、ガラス固化体が納められたオーバーバックの地下施設への搬出までがある。この手順に基づいた地上施設で行われる基本的な作業としては、キャスクの検査、ガラス固化体のハンドリング、ガラス固化体の検査、ガラス固化体のオーバーバック封入、オーバーバックの検査である。

2) アクセス施設

地下施設への搬送方式としては、①立坑：エレベータ、②斜坑：車両/鉄道、③立坑と斜坑の組合せ：エレベータ+車両/鉄道が考えられるが、ここでは立坑方式の場合について検討した。この搬送に含まれる作業項目としては、坑口積み込みからエレベータによる立坑内搬送があげられる。オーバーバックのエレベータ積み込み形態としては、

① オーバーバック単体でのクレーンまたはフォークリフト等による積み降ろし

② 移動式車両 (キャスクカー) に収納し、キャスクカー毎の積み降ろし

が考えられるが、積み降ろし作業は無人化するとともに、できるだけ速やかに行いうことが望ましいとの考えから、②を検討することとした。図14にハンドリングフローを示す。

3) 地下施設

地下施設での移送システムの方式としては、

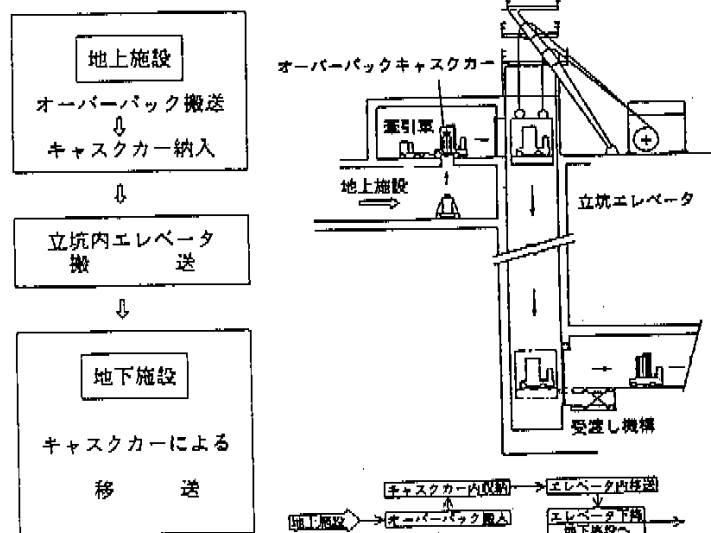


図14 アクセス施設のハンドリングフロー⁶⁾

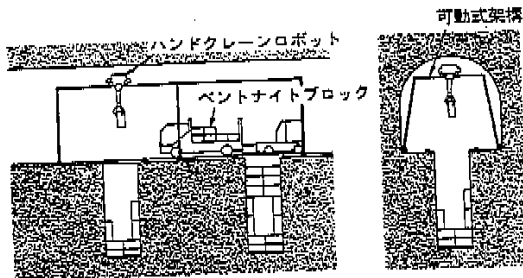


図15 処分孔縦置方式での定置概念図（ベントナイトブロックの設置①）⁶⁾

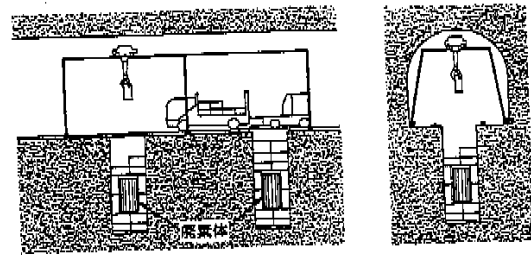


図17 処分孔縦置方式での定置概念図（ベントナイトブロックの定置②）⁶⁾

- ① チェインコンベア方式
- ② 鉄道方式（自走式、給電式）
- ③ 無軌道車両方式（自走式、給電式）

が考えられるが、工学的な経験、信頼性等から、ここでは鉄道方式のリモートコントロールによる自走式を基本に考えることとし、エレベータで降下してきたキャスクカーに牽引車を連結、処分坑道の定置位置まで移送するものとした。廃棄体が放射性物質であることから、地下施設への搬送、定置作業をする区域は、場合によっては管理区域として区分されることも考えられる⁷⁾。

地下施設内での作業としては、廃棄体定置位置までの移送と廃棄体の定置作業がある。これらの作業は定置方式によって、その方法が異なることからここでは処分孔縦置方式と坑道横置方式の場合について、緩衝材にベントナイトブロックを用いた場合の基本的な定置サイクルとその定置概念を示す。

a. 処分孔縦置方式の場合

- ① 廃棄物の吊り降ろし以前に下部圧縮ベントナイトブロックをセットする（図15）。
- ② 処分孔上部にキャスクカーを固定後、廃棄体を吊り降ろす（図16）。
- ③ 先にセットしたベントナイトブロックと廃棄体および周辺岩盤の隙間に粉末ベントナイト充填後、上部ベントナイトブロックをセットし、

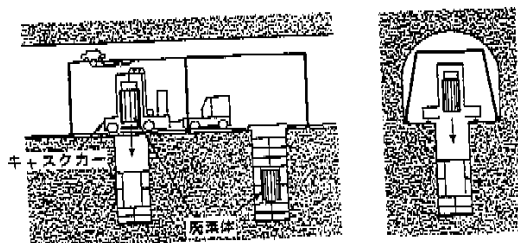


図16 処分孔縦置方式での定置概念図（廃棄体の定置）⁶⁾

さらに粉末ベントナイトを充填する（図17）。

b. 坑道横置方式の場合

- ① 廃棄体の定置に先立ち、下部圧縮ベントナイトブロックを設置し、その後スライディングクレーンにより廃棄体を定置する（図18）。
- ② 廃棄体の上部および次の廃棄体定置位置まで、全断面でベントナイトブロックをセットする（図19）。
- ③ 先にセットしたベントナイトブロックと廃棄体および周辺岩盤の隙間に粉末ベントナイトを充填する（図20）。

(3) 閉鎖技術の検討

処分場建設のために掘削された空洞等を放置した状態に置くと、深部の地層が本来有する、①地下水の動きがきわめて小さい、②化学的な環境が還元性である、③核種の吸着性を有しているといった特性による核種の移行・遅延性能に有為な影響を及ぼすことが考えられる。そこで、掘削により影響を受けた領域・空間を閉鎖といった人為的な手段によって地層が本来有する性能を損なわないよう処置する必要がある。

このような掘削された空洞や掘削により影響を受けた領域が本来有する天然バリア性能に対して、有意な影響を及ぼさないことを確保し、多重バリアシステムの機能を担保することを目的として閉鎖技術開発を進めている。

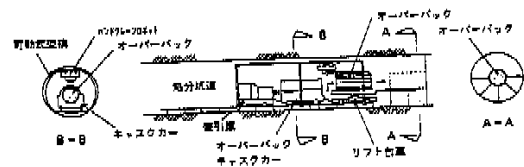
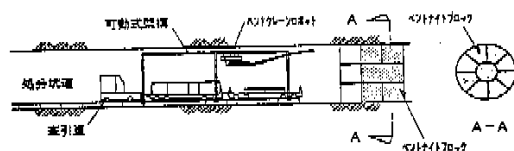


図18 坑道横置方式での定置概念図（廃棄体の定置）⁶⁾

図19 坑道掘削方式での定置概念図（ベントナイトブロックの定置）⁹⁾

1) 候補材料の調査検討

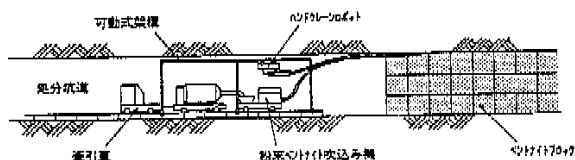
坑道の閉鎖は、廃棄体の定置後地質環境を元の状態にもどすことを目的として実施されるもので、その概念は役割上以下の3つの要素技術から構成されている⁸⁾。

- ① 埋戻し
- ② プラグ
- ③ グラウト

埋戻し材料としては、①低透水性、②核種吸着・遅延性、③長期健全性を考慮すると、天然粘土系材料、特にベントナイト材料が有望と考えられる。そこでベントナイト単一材料およびケイ砂、泥岩粉等を混合した複合材料の膨潤特性、透水特性、強度等の試験の結果、ベントナイト単一材料としての有効性は確認されたが、複合材料としては取得データも少なく種々の混合材について今後多くのデータを取得していくことが必要である。

プラグ材料としては、セメント系、圧縮ベントナイト、現地発生材の適用が考えられるが、セメント系については材料の劣化の問題、圧縮ベントナイトについては強度の問題があり、現地発生材については未検討であるという状況である。本材料の場合、材料を一つに絞り込むのではなく、設置環境条件および要求機能に対応した、柔軟な材料の選択と組み合わせが必要である。

グラウト材料については、セメント系材料および粘土系材料を用い、亀裂の形態、大きさに対するグラウトの注入効果に係わる室内試験を行った。その結果、小さな亀裂にはベントナイトが、大きな亀裂にはセメントが有利であることが確認された。これ

図20 坑道掘削方式での定置概念図（粉末ベントナイトの充填）⁹⁾表4 水理特性⁹⁾

	透水係数 (cm/sec)	間隙率 (%)
岩盤	1.0×10^{-4}	1
掘み堀	1.0×10^{-4}	5
立坑（埋戻し部）	1.0×10^{-5}	33
プラグ	1.0×10^{-12}	34
グラウト	1.0×10^{-13}	34

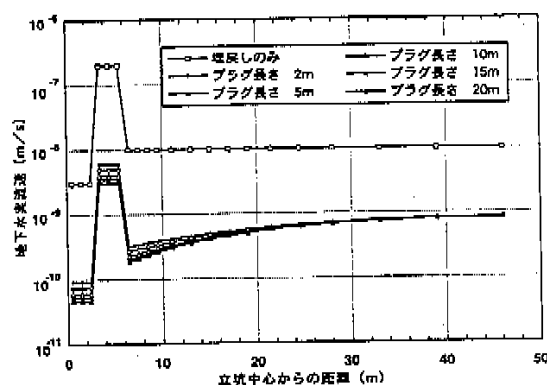
らのことから注入対象、条件によっては、材料を柔軟に選択することも必要となる。

2) 立坑周辺の水理核種移行解析

地層処分におけるシーリングシステムの仕様検討および性能を評価する目的で、プラグ厚さ、プラグおよびグラウトの個数等をパラメータにした立坑周辺の有限要素法による水理・核種移行解析を実施した⁹⁾。

プラグの厚さをパラメータとする立坑周辺の解析モデルは、50m×100m、プラグおよびグラウトの個数をパラメータとする解析モデルは、300m×500mとし、立坑の直径は6.0m、掘削に伴うゆるみ領域は厚さ3.0mとした。また、地層処分場の熱-水連成解析（(2)、3）参照）によると立坑内の動水勾配の最大値が1/1000程度であることから、動水勾配が1/1000の条件で地下水が立坑下部から上部に向かって鉛直上向きの地下水流動を与えることとした。

表4に示す物性値を用いて飽和浸透流解析を行った解析結果の一例を図21、22に示す。プラグの厚さについては、プラグ厚さを2m～20mと長くしても、上部境界付近の地下水流速は多少変化するだけであり、プラグを長くしてもあまり効果のない結果

図21 プラグの厚さの違いによる上部境界での地下水流速分布⁹⁾

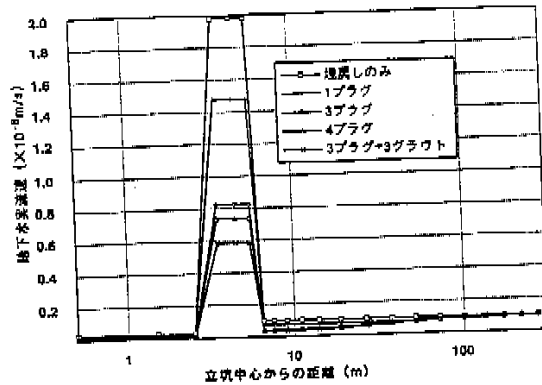


図22 プラグおよびグラウトの設置個数の違いによる上部境界での地下水流速分布⁸⁾

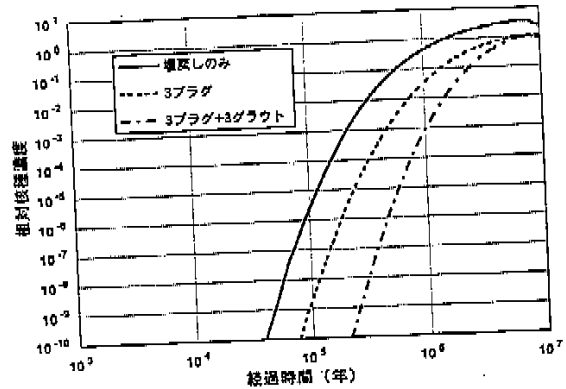


図23 地上部ゆるみ域での相対核種濃度の経時変化⁸⁾

が得られている。プラグの個数については、プラグの設置個数を多くするにしたがって緩み域での地下水流速が低下しており処分深度500mの立坑に3本のプラグを設置すると地下水流速は埋戻しのみに比べて1/3程度になることが分かる。さらにグラウトを併用すると立坑内の地下水流速を低減することができる。核種移行解析は、重要核種の半減期の長いNp-237を用い緩み材の外側から放出されるガラス固化体1本分相当量を立坑下部にポイントソースとして設置して行った。

核種Np-237の岩盤、埋戻し材、プラグおよびグラウトに用いた拡散係数と分配係数の値を表5に示す。岩盤は実測データより設定し、プラグとグラウトは圧縮ベントナイトの値を用いた。また、埋戻し材については岩盤と同じ値を仮定した。

図23に埋戻しのみ、埋戻しにプラグ1箇所または3箇所加えたもの、さらにグラウトを3箇所加えたものの地上埋戻し部での相対核種濃度を示す。処分深度500mの埋戻しをみのケースと3箇所のプラグとグラウトを配置するケースを比べると、シーリングシステムを用いることにより核種の遅延効果が期待できることがわかる。なお、相対核種濃度は立坑を設置しない場合の地上埋戻し部の最大核種濃度を

1とした場合の核種濃度である。

以上の解析結果から立坑内に埋戻し、プラグ、グラウト等の適切なシーリングを行うことにより核種移行制限に関して天然バリアと同等な性能が期待できると考えられる。

5. 費用積算プログラムの開発

地層処分システムの研究開発において、システムの技術的実現性を証明する一つの根拠として、システムが経済的にも成立し得ることを示すことが重要である。このような観点から、地層処分システムの経済性評価研究を進め、その一環として費用積算システムの開発を行った。その目的は、地層処分費用に影響を及ぼすと考えられる次のような要因、すなわち、

- ① 廃棄物の処分量
- ② 処分場全体の設計
- ③ 人工バリアの設計
- ④ 建設・操業・閉鎖のスケジュール
- ⑤ 掘削費、設備費等の単価

の効果を効率的にかつ迅速に評価し、多様な条件設定の基に繰り返し計算でき、かつ見積り内容を具体化できる手法を入手することである。

ここでは、処分費用積算システムの特徴および概要を説明する。

(1) 開発した費用積算システムの特徴

- ① 費用構成要素を処分費用全体に大きな影響を及ぼすグループとあまり影響を与えないグループとに区分し、前者については現段階で可能な限り費用要素を細分化し、後者については比較的簡単な費用要素の構成とした。
- ② 廃棄体配置間隔、処分坑道間距離、坑道形状および処分場全体レイアウト等の設計データ

表5 解析に用いたNp-237核種の拡散係数と分配係数⁹⁾

	拡散係数 (m ² /s)	分配係数 (m ³ /s)
岩盤	1.0×10^{-9}	7.6×10^{-8}
緩み域	1.0×10^{-9}	7.6×10^{-8}
立坑 (埋戻し部)	8.8×10^{-11}	0.12
プラグ	8.8×10^{-11}	0.12
グラウト	8.8×10^{-11}	0.12
半減期 (年)	2,140,000	

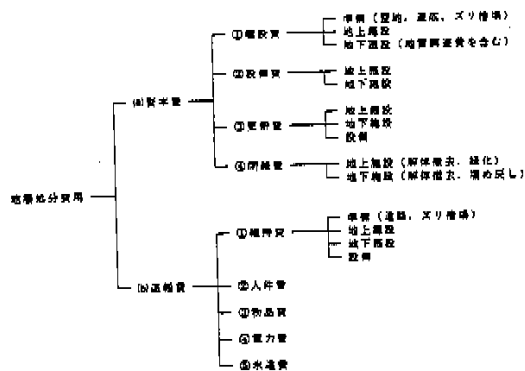


図24 費用要素の基本構成

は別途検討され、本システムの入力条件として与えられるものとした。

③ 費用項目とそれを構成する費用要素を広く想定し、様々な処分概念についての積算に対応可能なシステムとした。

④ 建設・操業・閉鎖のスケジュールが処分費用全体に与える影響を評価できるシステムとした。

(2) 費用積算システムの概要

本システムで想定する費用要素の基本構成を図24に示す。

図24において、資本費には準備費、建設費（設備費を含む）、閉鎖費が含まれる。準備費はサイト決定後のサイト調査、サイト造成、ブリーディング造成に要する費用からなる。

建設費のうち、建設は地上施設、立坑、地下施設の建設を意味し、設備は処分場運転に必要な地上施設および地下設備を意味する。

閉鎖費は、地下、地上施設の解体・撤去、さらに処分孔の埋戻し、処分坑道と主要坑道の埋戻し等の費用からなる。

運転費は、人件費、物品費（オーバーバック等）、維持補修費、ユーティリティ費、一般管理費よりなる。

なお、下記費目については、現段階で不確定な部分が多いため費用算定の費目から除外する。

①研究開発費、②土地購入費、③各種補償費、④サイト外道路、港湾建設費、⑤許認可費用、⑥サイトまでのユーティリティ延長に要する費用、⑦広域環境モニタリング費用、⑧税および保健費

(3) 費用要素の影響評価の例

表6に費用要素の影響を評価した条件を示す。処分岩種は結晶質岩系と堆積岩系とし、それぞれ処分

表6 費用要素の影響を評価した条件

項 目	基 本 設 定 条 件															
処 分 容 量	40,000本															
発 熱 量	670/W															
操 業 期 間	30年															
オーバーバック	材質：炭素鋼 外径：φ1040mm、高さ：1950mm、厚さ：300mm															
緩 衝 材	圧縮ベントナイト（クニゲルV）															
掘 削 し 材	粒度調整すり															
掘削ケース No.	C1	C2	C3	C4	S1	S2	S3	S4								
岩 種	結晶質岩系岩盤								堆積岩系岩盤							
処 分 深 度	1,000m				500m				500m				300m			
廃棄体定置方式 *	A	B	A	B	A	B	A	B								
廃棄体定置間隔	7.0m				4.0m				3.5m							
処分坑道間隔距離	15m				18m				15m							
立 坑	円形 φ5.5m															
坑道寸法	主要・掘削坑道															
	円形 5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															
	円形 φ5.0m															
掘削方法	円形 φ3.0m															

* A:坑道横置方式 B:処分孔縦置方式

** T.B.M:トンネルボーリングマシン R.H:ロードヘッダー

深度、処分形態をパラメータとした4ケース、合計8ケースについて試算を行った。

なお、処分場の大きさは、空洞の安定性と緩衝材の熱的安定性から求められる坑道間隔距離、廃棄体定置間隔によって決められる。

1) 処分深度

処分深度が深くなると掘削、埋戻し数量が増大し、建設費、閉鎖費が割高になる傾向が見られた。

2) 廃棄体定置方式

坑道横置方式は、処分孔縦置方式に比べて緩衝材の数量が多くなることにより閉鎖費が割高になる傾向が見られた。

3) 岩種

堆積岩系は、結晶質岩系に比べて坑道の安定性を確保するために支保が必要になり、建設費が割高になる傾向が見られた。

4) その他

・処分場の掘削数量、閉鎖数量が多量（深度1000mでは700万 m^3 ）となることから掘削単価、閉鎖工事単価、埋戻し材の単価は費用に大きく影響する。

・坑道横置方式では、処分坑道直径を大きくすると緩衝材数量が多く必要となり、費用が増大する。

・緩衝材の単価は、数量の多い坑道定置方式の場合に特に費用に影響する。

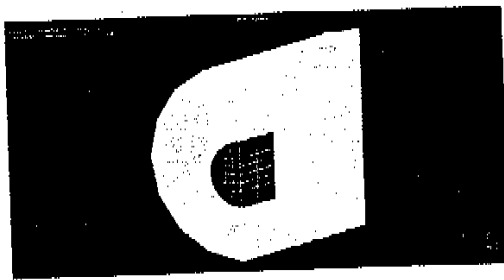


図25 オーバーバックの沈下解析例

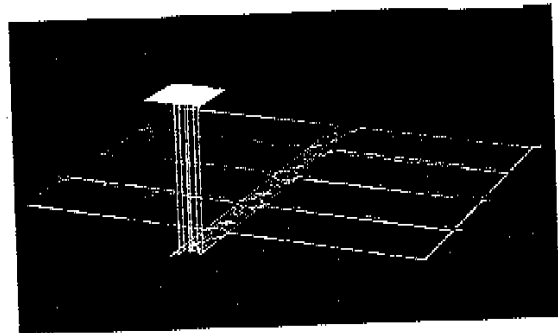


図27 処分場全体の概念例

6. CAEシステムの開発

これまで得られている高レベル放射性廃棄物の地層処分施設に関する設計研究の成果を総合的なシステムにまとめ、今後の設計研究を効率よく進めていくために、計算機を用いた設計支援システム(CAE)を開発することを目的として、CAEシステムの基本設計を行った。このシステムは、機能上、①管理システム、②データベース管理システム、③地質情報処理システム、④設計支援システム、⑤設計解析システム、⑥積算システム、⑦CADシステムに分類される。

また、市販のCAEソフト「I-DEAS」を導入し、地層処分場の設計解析、概念設計を行った。図25、26に汎用非線形解析コード「FINAS」により行った解析結果の一例を、図27に処分場全体の概念の一例を、図28に廃棄体の配置方式の一例を示す。CAEシステムにより、解析結果等をビジュアルに表示することが可能となった。

7. おわりに

処分施設に要求される機能に基づき、結晶質系岩盤と堆積岩系岩盤を対象とした地下施設の空洞安定性や廃棄体の発熱影響等について概略の設計解析を行うとともに、建設・操業・閉鎖の各段階に必要な

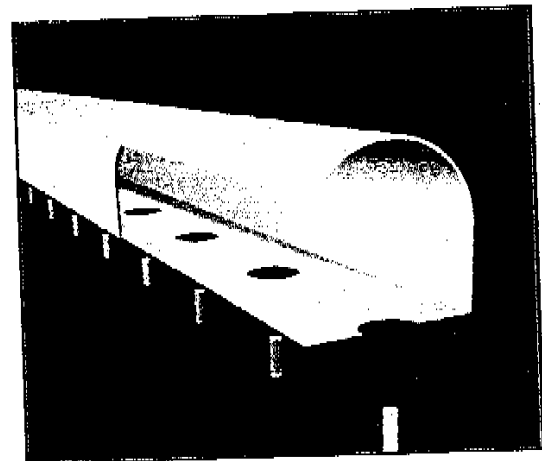


図28 人工バリアの配置方式の一例(処分孔設置方式)

な施工技術の概略検討を行い、処分施設の設計、施工の例示と現状技術の適用性の見通しを示した。

今後、より信頼性の高い設計手法の確立や経済性を含めた処分施設の詳細な検討を進める。

(東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室
原 啓二、五月女敦、藤田朝雄、
棚井憲治、杉田 裕)

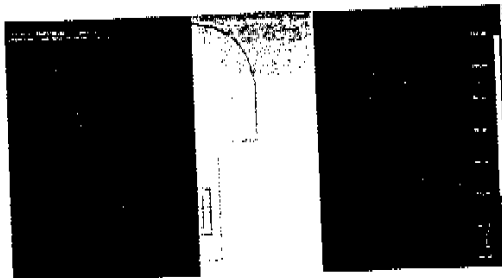


図26 ニアフィールドの熱解析結果の一例

参考文献

- 1) 岡行俊：NATMにおける支保理論，施工技術，Vol.10，No.11，pp. 5-12，(1977)。
- 2) 五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝：地層処分場の空洞安定性の検討，PNC TN1410 92-055，(1992a)。
- 3) 五月女敦，藤田朝雄，原啓二，納多勝：地層処分場の熱的安定性の検討，PNC TN1410 92-054，(1992b)。
- 4) 土木学会：トンネル標準設計書(山岳編)解説(1986)。
- 5) 杉原弘道，棚井憲治：高レベル放射性廃棄物地層処分場の建設技術の検討，PNC TN 1410 92-056，(1992)。
- 6) 岡本二郎，五月女敦，原啓二：高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業システム，PNC TN 8410 92-187，(1992)。
- 7) Jacobi, J.R., A.: Safety Assessment of Projected Waste Reposi-

- tory for HLW during its Operational Phase, Conference on The Treatment and Containment of Radioactive Waste and Disposal in Arid Environments, South Africa (1986).
- 8) 柳井憲治、増田純男：高レベル放射性廃棄物地層処分地のシージング、PNC TN1410 91-050, (1991).
- 9) Saitome, A., Hara, K., and Okamoto, J.: Study on the Performance of Sealing Systems for Access Shafts in a High-Level Waste Repository, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XV, Symposium V at the 1992 MRS Fall Meeting, Boston, USA, DCS (1992).