

JNC TN8400 99-096

# 緩衝材設計の考え方

(研究報告)

1999年12月

核燃料サイクル開発機構

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転写する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33  
核燃料サイクル開発機構 東海事業所  
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :  
Technical Information Section,  
Administration Division,  
Tokai Works,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
1999

## 緩衝材設計の考え方

### (研究報告)

報告者 杉野弘幸\*, 藤田朝雄\*, 谷口航\*  
長谷川宏\*\*, 岩佐健吾\*\*

### 要旨

これまでにサイクル機構では高レベル廃棄物の地層処分研究に関する研究を、「わが国における高レベル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-」として取りまとめ、平成11年11月に国に対して報告している。この第2次取りまとめのうち、「分冊2地層処分の工学技術」においては、オーバーパック、緩衝材の設計から、処分場のレイアウト、操業スケジュールまで、幅広く工学的な知見を取りまとめている。本報告は、このうち、緩衝材の設計に関して、背景となる考え方を第2次取りまとめ分冊2の本文に対比させて解説したものである。

第2次取りまとめの緩衝材の設計においては、仕様設定の考え方を目に見える形で表現することに留意しており、これに対応して緩衝材の設計要件を10項目設定し、この設計要件を満足する緩衝材の乾燥密度と厚さの範囲をグラフ化して表現している。本報告ではこの緩衝材の範囲設定の考え方を中心に、計算で用いた式、背景等を説明した。

---

\* 環境保全・研究開発センター、処分研究部、処分バリア性能研究Gr

\*\* 2000年レポートチーム、統合化グループ

December, 1999

## Design of the HLW Buffer

H. Sugino\*, T. Fujita\*, W. Taniguchi\*

H. Hasegawa\*\*, K. Iwasa\*\*

### Abstract

The Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has prepared a second progress report (entitled H12) on research and development for geological disposal of high-level waste (HLW) in Japan. H12 report consist of a Project Overview Report and three Supporting Reports which cover the three major fields described in the AEC Guidelines: 1) evaluation of the geological environment, 2) repository design and engineering technology, 3) performance assessment. This report is prepared to explain background information of buffer design which is desctried in Supporting Report 2 ( Repository Design and Engineering Technology ).

In buffer design of H12 report, the design requirements of the buffer are assumed and the relationship between buffer thickness and density was shown corresponding design requirement as an area map. This report describes the background information such as the numerical formulations, assumptions, engineering judgement and so on.

---

\* Tokai Works, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Waste Isolation Research Division, Barrier Performance Group

\*\* Tokyo Office, Geological Isolation Research Project, Integration and Reporting Group

## 目 次

1. はじめに	1
2. 設計要件	2
3. 緩衝材の仕様設定	5
3.1 緩衝材の材料	5
3.2 厚さの設定	7
4. おわりに	22

## 1. はじめに

これまで核燃料サイクル開発機構が実施してきた地層処分に関する研究の成果が、平成11年11月に第2次取りまとめとして国に報告された。この中では地層処分の技術的な信頼性を示すために、処分場、人工バリア等の設計の考え方、設計例が示されている。本資料はこのうち、緩衝材の設計に関して第2次取りまとめで報告した内容のうち緩衝材の設計要件に対応する評価の部分を中心に、より詳しく説明するものである。

本報告においては、第2次取りまとめ分冊2の本文を記載し、これに対する補足説明を二重線の四角で囲んで追記する構成としている。

## 2. 設計要件

ここでは、緩衝材の設計をする場合に考慮すべき条件（設計要件）を整理する。地層処分における人工バリアの基本的な役割は、放射性核種を地下環境に漏出しないことである。このために、オーバーパックでガラス固化体を包み込み、地下環境から隔離することとしている。しかしながら、超長期にわたりオーバーパックの健全性を保障することは困難であるため、オーバーパックが破損した後、ガラス固化体から放射性核種が漏出した場合でも、放射性核種の移動を極力押さえることとしている。この中で、緩衝材はオーバーパックと岩盤の間に設置されるもので、長期的な安全確保の観点からは、オーバーパックの保護と放射性核種の移行を抑制することが基本的な要件となる。オーバーパックの保護という要件については、緩衝材には廃棄体の発熱をまわりの岩盤に逃がす機能、オーバーパックを保持する機能、岩盤などの変動を緩衝する機能が求められる。また、放射性核種の移動を抑制するという要件に対しては、核種の溶解の抑制、地下水の移動の抑制、溶解した核種の収着およびコロイドの移動の防止、地下水の化学的環境の改善といった機能が求められる。これらの機能を満たすために緩衝材の設計上考慮すべき項目は、表2-1、表2-2のようになる。

表2-1 緩衝材の放射性核種の隔離のための設計要件

安全確保のための要件	機能／役割	設計上考慮すべき項目（設計要件）	内 容
放射性核種の移行抑制	地下水の移動の抑制	①低透水性を有すること	低透水性を有することにより緩衝材中の地下水の動きを遅くして、結果的に緩衝材中の物質の移動が遅くなるようにするとともに、ガラス固化体の溶解速度や核種の溶出を抑制すること
	溶解した核種の収着	②高い収着性を有すること	ガラス固化体から放射性核種が溶解した場合、それを収着することによって放射性核種の移動を抑制すること
	コロイドの移動の防止	③コロイドフィルトレーション機能を有すること	放射性核種がコロイドとして移動することを防ぐこと
	地下水環境の変動の緩和	④化学的緩衝性を有すること <sup>1)</sup>	地下水のpHや還元性等を化学的に緩衝することにより地下水の化学的条件を好ましいものとすること

\*1：この特性を有していれば、人工バリアの機能向上に寄与することが期待される特性。

表2-1において、「①低透水性を有すること」は、オーバーパックの破損後、地下水のガラス固化体との接触と、ガラス固化体から放射性核種を溶出した地下水が緩衝材外部に漏出するのを遅らせるものである。「②高い収着性を有すること」は、ガラス固化体から放射性核種が溶解した場合、それを緩衝材の中に収着して外部への漏出を遅らせるものである。「③コロイドフィルトレーション機能を有すること」は、放射性核種がコロイドとして緩衝材中を移動するのを防止するため、コロイド化した放射性核種を緩衝材内部に留めるものである。「④化学的緩衝性を有すること」は、地下水の影響を化学的に緩和するものであり、この特性を有していれば人工バリアの機能向上に寄与することが期待される。①から④の項目は、それぞれ単独で評価される

ものではなく、地層処分システムの安全評価を通して総合的に妥当性が判断されることとなる。

廃棄体を処分孔もしくは処分坑道に埋設する場合、施工が可能であることが基本である。廃棄体表面の放射線量が高く、人間が直接近づくことは困難であるため、人工バリアの設置においては、かなりの範囲で遠隔操作が必要となると予想される。遠隔操作を前提とすると、緩衝材、人工バリアの据付精度は余裕を持った、据付誤差などが許容できるものとすることが望ましい。

表 2-2 人工バリアが成立するための緩衝材の設計要件

人工バリアが成立するための要件	機能／役割	設計上考慮すべき項目（設計要件）	内 容
製作・施工が可能であること	施工、その他で生じた隙間等を充填できること	⑤自己シール性を有すること	水を含んだ際の膨潤性により、定置時の周辺岩盤との隙間や緩衝材内に生じた隙間を充填できること
	施工可能な特性を有すること	⑥施工可能な締固め特性を有すること	既存の技術によって所要の密度が得られるような締固め特性を有すること
		⑦施工可能な強度を有すること	ブロック方式による施工を想定した場合、据え付け時のハンドリングに必要な力学的特性を有すること
所要の期間人工バリアの機能に有意な影響を与えないこと	応力緩衝性を有すること	⑧変形能を有すること	廃棄体埋設後、オーバーパックの機能が維持される期間、緩衝材が変形能を有することにより、オーバーパックの腐食膨張と岩盤のクリープ変形を力学的に緩和できること
	オーバーパックを力学的に安定に支持できること	⑨力学的に安定に支持できる強度を有すること	廃棄体埋設後、オーバーパックの機能が維持される期間、オーバーパックを力学的に安定に支持でき、地震に対しても健全性を維持できる力学的特性を有すること
	ガラス固化体及び緩衝材の変質の抑制	⑩良好な熱伝導性を有すること	良好な熱伝導性を有することにより、ガラス固化体の発熱を外部に伝え、ガラス固化体の安定な形態を損なうような熱による変質を生じさせないこと 人工バリアの性能にかかる熱移動、水分移動、核種移行、応力緩和などに関する性質に有意な影響を及ぼすような緩衝材の熱的な変質が生じないこと

これに対して表 2-2 に示す、「⑤自己シール性を有すること」を利用することにより、岩盤と緩衝材、緩衝材と廃棄体の間の隙間を埋めることができると期待される。また、緩衝材の設置の方法として、現場での締め固めを採用する場合、「⑥施工可能な締固め特性を有すること」が必要であり、ブロックのようにあらかじめ成型した緩衝材を組み立てる方式を採用する場合、緩衝材が「⑦施工可能な強度を有すること」が必要である。また、所要の期間、人工バリアの機能に有意な影響を与えないため、緩衝材が「⑧変形能を有すること」により、緩衝材が岩盤のクリープ変形、オーバーパックの腐食膨張を吸収することが望ましい。「⑨力学的に安定に支持できる強度を有すること」により、オーバーパックを所定の位置に支持するとともに、地震などで緩衝材の機能が損なわれないように対応する。また、「⑩良好な熱伝導性を有すること」は、

ガラス固化体の温度上昇とそれにともなう再結晶により放射性核種が地下水に溶出しやすくなるのを防止するとともに、緩衝材自身の温度が過剰に上昇してその特性が変化するのを防ぐことが目的となる。

表2-1、表2-2に示した設計要件は、埋設前、及び埋設後の人工バリアの挙動を想定し、これに対して、整理されたものである。このため、根本的に異なった人工バリアコンセプトが採用される場合は、その内容は変化すると考えられる。

第2次取りまとめにおける緩衝材の設計では、以下に示す条件を大きな意味での前提としている。

・人工バリア形態

第2次取りまとめにおいては、人工バリアは、ガラス固化体とそれを格納する容器（以下オーバーパックという）、岩盤とオーバーパックの間に充填される緩衝材で構成される構造を前提とした。他の概念としてたとえば緩衝材、オーバーパック、廃棄体を金属製の容器にパッケージした構造（Toyota and McKinley, 1998）が示されているが、第2次取りまとめではレファレンスとして、諸外国においても採用されている図に示す構造を対象としている。

・処分場の深度

軟岩サイトは深度500m、硬岩サイトは深度1000mを想定している。実際のサイト選定においては地質環境、岩盤物性、性能評価の結果、経済的合理性などを基に総合的に判断されるものと考えられる。しかしながら第2次取りまとめにおいては仕様設定の前提条件として、仮にこれらの深度を設定している。

設計要件の内容も、基本的には、上述の前提条件を基本としている。

人工バリアの埋設後の健全性の観点から、以下の項目についても設計上配慮しておくことが重要である。これらの項目は、諸外国の検討でも取り上げられており、設計上もたとえば材料の選定などで配慮が求められるものである。このため、これらの項目が一連の設計を通じて設定した人工バリアに期待される長期的な性能に有意な影響を及ぼさないことについて解析を行い、その結果を安全評価に資するとともに、人工バリアおよび処分施設の仕様設定に適宜反映していくことが重要である。

- 再冠水にともなう人工バリアの挙動：廃棄体定置後、周辺岩盤から緩衝材への地下水の浸潤にともなう緩衝材の飽和、膨潤までの期間やその状態がオーバーパックの腐食挙動や緩衝材の機能に有意な影響を及ぼさないこと。
- オーバーパックの腐食膨張、岩盤のクリープによる変形：長期に及ぶオーバーパックの腐食膨張と岩盤のクリープ変形が緩衝材に力学的に有意な影響を及ぼさないこと。
- 廃棄体の沈下：廃棄体の自重が長期にわたって作用することにより有意な沈下が生じないこと。
- 人工バリアの耐震安定性：人工バリアが定置された後、地震が生じても、人工バリアの力学的な健全性に有意な影響が及ばないこと。

- ガスの移行：地下水の還元によるオーバーパックの腐食にともなって発生する水素ガスがオーバーパックと緩衝材の間に蓄積し、ある程度のガス圧が生じたとしても、水素ガスが透過することによって、緩衝材や周辺岩盤に有意な影響を及ぼさないこと。緩衝材中では、ガスが透過しても、その経路が水みちとならないように、自己シール性により閉塞されること。
- 緩衝材の岩盤内浸入：緩衝材は膨潤によって周辺岩盤の割れ目中に侵入し、長期間のうちに少しづつ流出する可能性に対し、流出にともなう緩衝材の密度低下が安全評価上有意な影響を及ぼさないこと。

### 3. 緩衝材の仕様設定

#### 3.1 緩衝材の材料

緩衝材の材料に関しては、海外の研究機関（スウェーデン SKB、スイス Nagra、カナダ AECL など）では、これらの機能を満足しうる材料として、Na型ベントナイトを候補材料とした研究が進められている。わが国でも、Na型ベントナイトを基本材料として検討しており、第1次取りまとめでは、とくに国産製品のNa型ベントナイトを乾燥密度  $1.8 \text{ Mg m}^{-3}$  に圧縮成型したものを候補材料とし、特性評価および性能評価が行われ、数多くの知見が得られている（動燃炉・核燃料開発事業団、1992a）。第1次取りまとめ以降も、Na型ベントナイト材料を中心に研究を進め、工学規模試験などを実施し、緩衝材の物性評価や設計要件、ならびに施工技術や品質管理手法に関する検討を行ってきた。ここでは、ベントナイト単体に比べ施工性や経済性の観点から有利と見られる、ベントナイト（参照材料として国産製品のNa型ベントナイトであるクニゲル V1 を用いた）にケイ砂を混合した材料についても、検討の対象とした。性能の観点からは、ケイ砂を混合することにより、熱伝導性、透気性などの向上が期待できる一方、膨潤応力、低透水性などは低くなる傾向にあることも考慮して、求められる機能を満たすことができるケイ砂の混合比および乾燥密度を検討した。国産のNa型ベントナイトについては、これまでに数種の国産製品について、カタログ調査や特性試験を実施してきている（Ishikawa et al., 1990）。また、とくに締固め特性の向上を目的に、粒径を調整してベントナイトを作成し、その特性評価も実施している（第2次取りまとめ分冊2、4.1.2.1.3 参照）。実際にサイトが特定されれば、数種のベントナイトの特性評価結果、入手のしやすさや経済性など、さまざまな要素を考慮し、適切な候補材料が決定されることとなる。

諸外国において、たとえばスウェーデンでは、緩衝材に裕度を持たせるという観点から、ベントナイト 100wt% のものを緩衝材として採用している。カナダにおいては、膨潤圧を下げる観点から、ベントナイトに 50wt%程度のケイ砂を混合した緩衝材の仕様が計画されている。

ケイ砂を混合することにより、締固め特性、単位重量あたりのコストなどは、有利

な方向に改善される。他方、緩衝材の膨潤応力、強度などは低くなる方向に変化する。定性的には、有効粘土密度と緩衝材の平均乾燥密度をなるべく大きく取る方が、緩衝材の膨潤応力、強度などは大きくなる。現場締固め方式による大型締固め試験では、ベントナイト単体の場合の乾燥密度は  $1.3 \text{ Mg m}^{-3}$  であり、ケイ砂を 30wt%程度混入した場合の乾燥密度は  $1.7 \text{ Mg m}^{-3}$  であった。

締固め特性の他に、コロイドフィルトレーション機能に着目し、ケイ砂混合率と乾燥密度によって緩衝材の特性がどのように変化するかを検討すると、これらの機能を満たすことができる特性の範囲は、図 3-1 のようになる。その図に示された仕様の範囲の中から、緩衝材の施工方法として、現場締固め方式<sup>1)</sup>と機械成型加工方式<sup>2)</sup>の両方を行うことが可能となるような緩衝材仕様（ケイ砂混合率と乾燥密度）を考えると、たとえば、ベントナイト 70wt%とケイ砂 30wt%混合、膨潤後乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  と設定することが可能である。この場合、透水係数は  $4.5 \times 10^{-13} \text{ m s}^{-1}$  程度ときわめて小さい値を示している（松本ほか、1997）。また、熱伝導性に関しても、含水比が自然含水比 10%程度においては、第 1 次取りまとめ評価したベントナイト 100%、乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  の場合とほぼ同等以上の値を示していることが確認されている（谷口航ほか、1999）。緩衝材の流出挙動に関しては、緩衝材の亀裂への侵入現象による流出距離は、ケイ砂混合した場合、ベントナイト 100%に比べ小さくなる傾向が得られている。このことから、流出に関しても、ケイ砂を混合する方が有利であることが確認されている（菅野・松本、1997）。機械成型加工方式の 1 つとして、2 つのブロックで緩衝材全体を製作する方式（一体型方式）については、ケイ砂（0wt%～20wt%）混合、乾燥密度  $2.0 \text{ Mg m}^{-3}$  で製作できることが確認されている（志村ほか、1995）。この材料についても、透水性、熱伝導性などに関し十分な性能を有していることが示されている（電力中央研究所・電気事業連合会、1999）。

以上の検討結果を踏まえ、ここでは、緩衝材材料の一例として、ベントナイト 70 wt%とケイ砂 30 wt %混合、乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  と設定する。ちなみに、この仕様に対する緩衝材の膨潤圧は、 $0.5 \text{ MPa}$  程度と予想される。

<sup>1)</sup>含水比調整した緩衝材材料を処分坑道や処分孔に供給し、現場で締固め機械を用いて高密度の緩衝材を施工する方法。

<sup>2)</sup>金型プレス機や冷間等方圧プレスなどの加圧製作装置により予め製作した緩衝材ブロックを、現場で据え付け定位する方法。緩衝材全体を輪切り状に分割（輪切りをさらに複数に分割する場合もある）した小型のブロックを用いるブロック方式と、ブロックの個数を極力少なくし中空円筒状の胴体部と蓋の部分の 2 つにより構成される一体型方式がある。

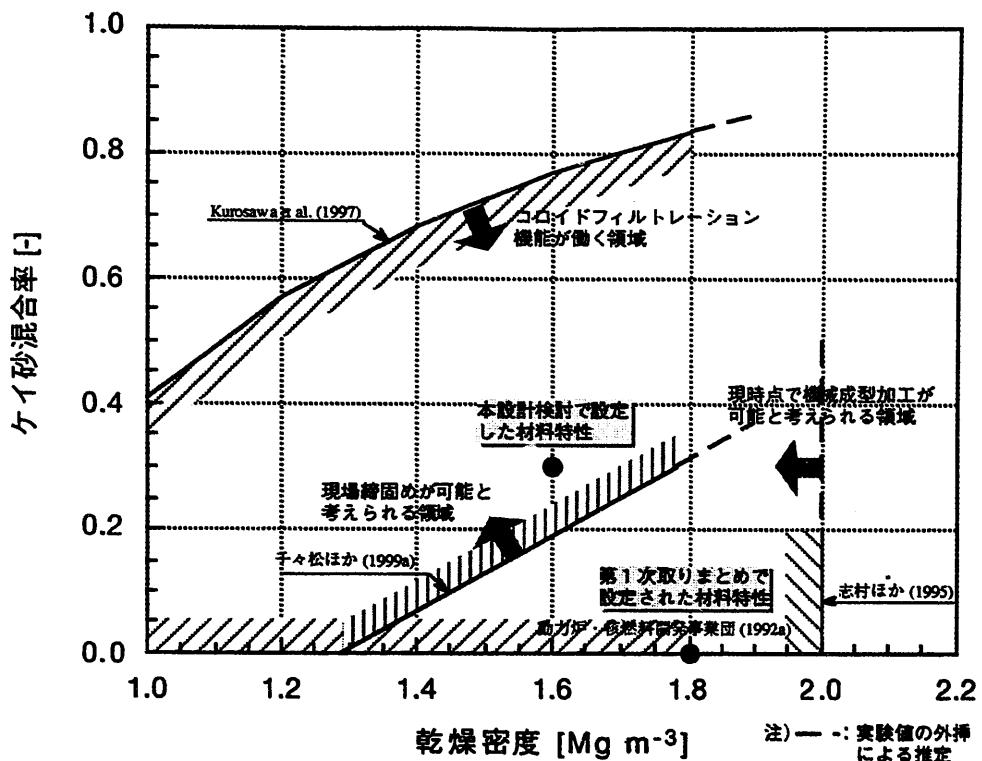


図 3- 1 緩衝材の特性とケイ砂混合率及び乾燥密度との関係

ここでは、現場締固め方式、機械成型加工方式の両方において、求められる機能を満足すると考えられる緩衝材の材料仕様（ケイ砂混合比、乾燥密度）の一例として、ケイ砂混合比 30%、乾燥密度  $1.6 \text{Mg m}^{-3}$  を設定した。例えば、ここで考慮した現場締固め方式による制約も、この方式を採用しない場合は制約条件とならないことも考えられる。今後サイトが特定されれば、その具体的な地質環境条件に応じて緩衝材の材料仕様に関連する設計要件が適宜設定され、緩衝材の施工方法や経済性なども考慮して緩衝材仕様（ケイ砂混合比、乾燥密度）の最適化が図られると考えられる。

### 3.2 厚さの設定

緩衝材の厚さの設定に関する設計要件としては、放射性核種の移行抑制の観点から核種収着（移行遅延）性、人工バリアが成立する観点から応力緩衝性、自己シール性、熱伝導性、製作性などが挙げられる。このうち核種移行遅延性は、地層処分システムの長期的安全性を確保するうえで非常に重要な要件である。しかしながら、核種移行遅延性能は、安全評価において人工バリアと天然バリアを組み合わせた多重バリアに関する核種移行解析結果に基づき確認されるものであり、それぞれのバリアにどれだけの遅延性能を担保させるかを、設計の段階で一義的に決定することはできない。したがって、設計においては、まず応力緩衝性に着目して緩衝材の厚さを設定し、その設定値に対して自己シール性、熱伝導性、製作性などの他の設計要件も満足されていることを確認することとする。第 2 次取りまとめ分冊 3 では、ここで設定した

設計上の厚さに基づき安全評価が行われ、核種移行遅延性能が確認されることとなる。さらに、将来実際に処分サイトが特定されれば、具体的な地質環境条件に応じて緩衝材の厚さに関する設計要件が適宜設定され、設計と安全評価を密接に関連させてくり返し評価がなされ、緩衝材の厚さの最適化が図られる。

### (1) 炭素鋼オーバーパックの場合

#### a. 応力緩衝性

緩衝材には、人工バリア周辺での力学的変動に対する応力緩衝機能が期待される。ここでは、炭素鋼オーバーパックを想定し、オーバーパックの腐食生成物の影響を考慮したオーバーパックと緩衝材の力学的相互作用に着目して、緩衝材の応力緩衝性について検討した。オーバーパックの腐食生成物による緩衝材の圧密反力はオーバーパック自身にも作用し、この圧力は緩衝材厚さと密度に依存する。たとえば、1)において例示した緩衝材の材料（30 wt %ケイ砂混合体で乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$ ）の場合、緩衝材の圧密反力と緩衝材厚さの関係などに基づき、オーバーパック耐圧厚さと緩衝材厚さの関係を求めると図 3- 2 のようになる。この図から、緩衝材厚さが増加するとオーバーパック耐圧厚さは薄くなり、その変化の傾向は緩衝材厚さが 30cm（硬岩系岩盤データセット）あるいは 40cm（軟岩系岩盤データセット）程度から急激に緩やかになり、70cm 程度以上になると耐圧厚さの減少量はわずかとなることがわかる。すなわち、緩衝材厚さを大きくすると応力緩衝性能は向上するが、緩衝材厚さを 30cm（硬岩系岩盤データセット）あるいは 40cm（軟岩系岩盤データセット）程度を境に、それより厚くなると向上の度合いは緩やかになり（たとえば、緩衝材厚さを 2 倍してもオーバーパック耐圧厚さの減少量は数 cm 程度）、70cm 程度を超えると応力緩衝性はほとんど変わらなくなる。したがって、材料仕様がケイ砂 30 wt % 混合、乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  の場合、緩衝材のオーバーパックに対する応力緩衝性の効果という観点からは、緩衝材の厚さとして 40cm 程度から 70cm 程度の範囲の中で設定しておけば合理的であると考えることができる。ただし、この関係はオーバーパックの腐食量、岩盤クリープ量、緩衝材の仕様（密度）に応じて変化することに注意する必要がある。

ここでは、地質環境の不確実性に対して応力緩衝性能に余裕を見込み、オーバーパックの腐食量、岩盤クリープ変形量が地質環境に応じて変りうることにともなう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 70cm とし、後段においてこの厚さが他の設計要件を満足することを確認することとする。なおここで行った応力緩衝性の検討では、耐圧計算上の安全率、腐食膨張率、岩盤クリープが早期に終了するなど設計上保守的に評価している条件があり、今後知見の蓄積により現実的な評価が可能になれば、緩衝材厚さとオーバーパック耐圧厚さの関係を示す曲線は全体的に左に移動するものと考えられる。

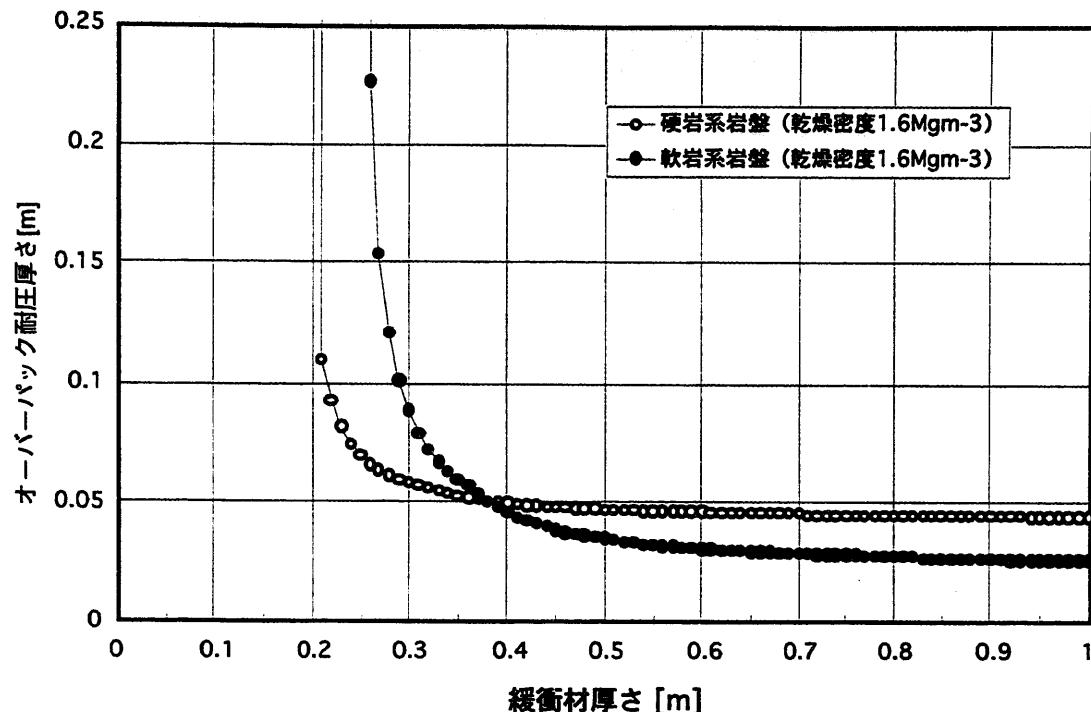


図 3- 2 オーバーパック耐圧厚さと緩衝材厚さの関係

(30 wt%ケイ砂混合体、膨潤後乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  : 胴部)

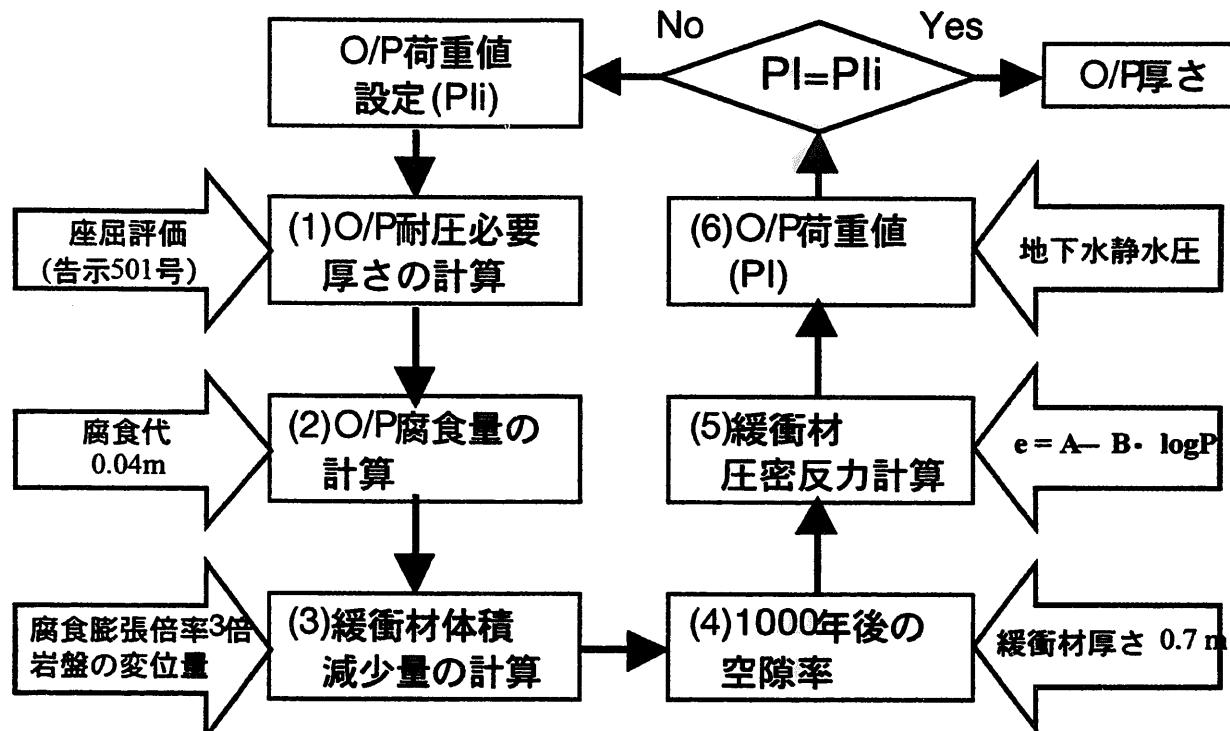
図 3- 2は、オーバーパックの耐圧厚さと、緩衝材の厚さとの相互作用を考慮して設定している。

具体的には、

- ・周辺岩盤がクリープ変形<sup>1)</sup>しオーバーパックが腐食して膨張すると、緩衝材が圧密されて、その体積が減少する。
  - ・緩衝材の体積が減少すると緩衝材の圧密反力が増加する。
  - ・緩衝材の圧密反力が増加するとオーバーパックの耐圧強度に必要な厚さが増加し、オーバーパックの寸法が変化する。
  - ・オーバーパックの寸法が変化すると、緩衝材はオーバーパックの周りに一様な厚さで取り巻いているため、緩衝材の初期の体積が変化する。
- ことになる。図 3- 2は、これらを考慮して次の図に示す手順で収束計算を実施し、収束した結果をグラフ化したものである。

<sup>1)</sup> 硬岩系岩盤においては、岩盤クリープ解析結果（高治他, 1999）から、岩盤クリープ変形は生じないものと考えた。また、軟岩系岩盤については同じ解析検討の結果（1000年間で 15.4mm）から岩盤クリープ変形量を 20mm と想定し、オーバーパックの腐食膨張が始まる前に、緩衝材の圧密反力と均衡するまで進行する、もしくは岩盤のクリープ変形量分緩衝材が圧密されるとする考え方を採用した。

# O/Pの耐圧上必要な厚さの計算



上図の(1)～(6)式の説明を以下に付す。

なお、式中の記号の説明は次の通りである。

$P_1$  : オーバーパックにかかる圧力(MPa)

$t_{ob}$  : オーバーパック胴部板厚 (m)

$t_{oc}$  : オーバーパック蓋部板厚 (m)

$V_{bi}$  : 緩衝材初期体積 ( $m^3$ )

オーバーパック内面半径 (0.22m)

h<sub>1</sub> : オーバーパック内面高さ(1.35m)

t : 緩衝材厚さ (m)

オニバニパック腐食袋(0.04m)

・クリープによる岩盤の変位量(軟岩系岩盤:0.03m 硬岩系岩盤:0m)

#### V : 腐食によるオーバーパック体積変化 ( $m^3$ )

### V : 岩盤クリープによる緩衝材の体積変化 ( $m^3$ )

### (i) O/P の耐圧強度上必要な厚さ(1)

O/P の耐圧上必要な厚さは「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第 501 号）」を参考に設定した。胴部の板厚  $t_{ob}$  は、外圧に対する座屈強度の評価式を基として近似式を作成した。

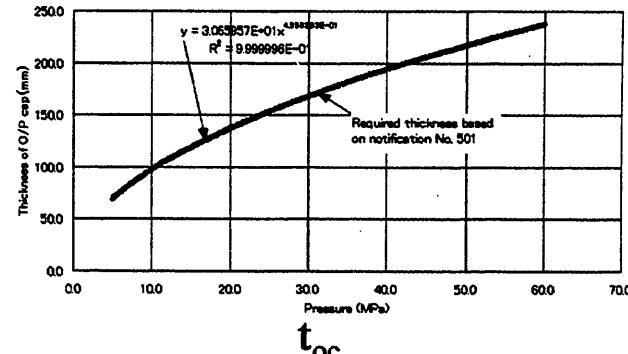
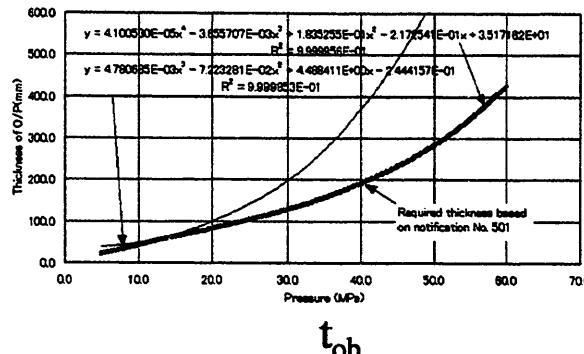
鏡部分は、平板形状の鏡の評価式を基として、近似式を作成した。

$$t_{ob} = \min(t_{ob1}, t_{ob2})$$

$$t_{ob1} = 0.000004780685 \cdot P_i^3 - 0.00007223281 \cdot P_i^2 + 0.004488411 \cdot P_i - 0.0002444157$$

$$t_{ob2} = 0.0000000410053 \cdot P_i^4 - 0.000003655707 \cdot P_i^3 + 0.0001835255 \cdot P_i^2 - 0.0002172541 \cdot P_i + 0.03517162$$

$$t_{oc} = 0.03065957 \cdot P_i^{0.4998293}$$



#### (ii) O/P の腐食膨張量(2)

O/P 腐食量は、O/P の外面が一様に腐食代分腐食するとして設定した。腐食生成物の体積が元の体積の 3 倍になるとすると、O/P の腐食膨張量は、O/P の腐食量の 2 倍の量となる。

$$V_{oc} = 2 \cdot (\pi \cdot (r_{oi} + t_{ob} + t_c)^2 \cdot (h_{oi} + 2 \cdot t_{oc} + 2 \cdot t_c) - \pi \cdot (r_{oi} + t_{ob})^2 \cdot (h_{oi} + 2 \cdot t_{oc}))$$

#### (iii) 岩盤のクリープによる緩衝材の体積減少量(3)

岩盤がクリープすることにより処分/処分孔が変形すると、その分、緩衝材の体積が減少する。岩盤のクリープは、緩衝材の反力が岩盤の有効応力と釣り合うまで進行するとして、岩盤がクリープした後の緩衝材の体積を下式でもとめた。

$$V_{pc} = \pi \cdot (r_{oi} + t_{ob} + t_c + t_b)^2 \cdot (h_{oi} + 2 \cdot t_{oc} + 2 \cdot t_c + 2 \cdot t_b) - \pi \cdot (r_{oi} + t_{ob} + t_c + t_b - t_{ic})^2 \cdot (h_{oi} + 2 \cdot t_{oc} + 2 \cdot t_c + 2 \cdot t_b)$$

$$e_i = (d_i - d_{id}) / d_{id}$$

$$e_{ic} = \max(e_i - (1 + e_i) \cdot V_{pc} / V_{bi}, A - B \cdot \log(P_r))$$

$$V_{pc}' = V_{bi} \cdot d_{id} \cdot (1 + e_{ic}) / d_i$$

#### (iv) 1000 年後の緩衝材の空隙率(4)

岩盤がクリープした後、更にオーパックが腐食膨張した分、緩衝材が圧密される。この時の緩衝材の空隙率は、下式で求められる。

$$e_{oc} = e_{ic} - (1 + e_{ic}) \cdot V_{oc} / V_{pc}'$$

#### (v) 緩衝材の圧密反力(5)

岩盤がクリープし、さらにオーバーパックが腐食膨張した後の緩衝材の空隙率に対応した平均的な緩衝材の圧密反力は、下式で求められる。

$$P_b = 10^{((A - e_{oc})B)}$$

#### (vi) オーバーパックに対する荷重(6)

オーバーパックに対する荷重は下式のように、緩衝材の反力と地下水静水圧（緩衝

材の間隙水圧) の足し合わせで求めることができる。

$$P_i = 10^{((A-e_{\infty})B)} + P_h$$

### b. その他の設計要件

ここでは、乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  に対して応力緩衝性の観点から設定した緩衝材の厚さ 70cm が、自己シール性、熱伝導性（緩衝材が熱変質を受けないこと）、製作性、コロイドフィルトレーション等の設計要件に対しても満足していることを確認することとする。なお、緩衝材の施工においては、緩衝材と岩盤もしくは緩衝材とオーバーパックとの間に隙間が必要であり、緩衝材の初期乾燥密度（膨潤前の乾燥密度に相当）は、隙間分の膨潤による密度低下を考慮して、膨潤した後に所定の乾燥密度 ( $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$ ) となるような乾燥密度としておく必要がある。

上記のその他の設計要件のうち、熱伝導性や製作性は膨潤前の緩衝材に対して満足されなければならない要件であり、自己シール性やコロイドフィルトレーション機能は膨潤後の緩衝材に対して満足されなければならない要件である。このため設計要件を満足する緩衝材の厚さと密度の関係を、それぞれの状態に対応して、現場締め方式では図 3-3 (膨潤前), 図 3-4 (膨潤後) となり、ブロック方式では図 3-5 (膨潤前), 図 3-6 (膨潤後) となる。

これらの図で、自己シール性に関しては、膨潤後に、施工などによって生ずる隙間を埋める能力を確保出来るように設定した。具体的には、デシケータを用いた膨潤試験の実績に基づけば、1)で設定した緩衝材は、乾燥密度  $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$  程度まで膨潤する能力があることから、初期の乾燥密度からその密度 ( $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$ ) まで膨潤する能力を有していると仮定した。自己シール性の線は、想定した隙間量（現場締め固めではオーバーパックと緩衝材の間に 20mm, ブロック方式ではこれに加え、緩衝材と岩盤の間に 40mm の隙間を想定）の 2 倍以上の量膨潤した後も膨潤後の乾燥密度が  $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$  となる緩衝材厚さと、初期の密度の関係を示している。

自己シール性の線は設置時に想定した隙間が緩衝材の膨潤能力で埋められる範囲として設定した。緩衝材の膨潤能力は、密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  の緩衝材をデシケータ中で膨張させた結果、体積で 2 割程度、則ち、乾燥密度で  $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$  程度まで膨張したことから、 $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$  程度までは緩衝材が膨潤するとして、据付状態の緩衝材に必要な密度を下式で求めた。

$$\gamma_e = \gamma_s \cdot \frac{(V_s + v_g \cdot (F_s - 1))}{(V_s - v_g)}$$

ここで、 $\gamma_e$ ：据付時の緩衝材密度  $\gamma_s$ ：膨潤できる密度 ( $1.33 \text{ Mg m}^{-3}$ )

$V_s$ ：膨潤後の緩衝材の体積 ( $\text{m}^3$ )  $v_g$ ：据付時の隙間量 ( $\text{m}^3$ )

$F_s$ ：膨潤に対する裕度

である。

熱伝導性に関しては、廃棄体 1 本あたり  $300\text{m}^2$  程度の比較的大きな範囲をモデル化し、人工バリアおよび近傍の岩盤の特性で定まる緩衝材の最高温度が  $100^\circ\text{C}$  になるときの、緩衝材厚さと密度を示したものである（谷口航ほか, 1999）。

廃棄体の発熱による緩衝材の温度上昇は、廃棄体が等間隔で設置されることから、おおまかには廃棄体から地表面に向かっての鉛直方向の平均的な温度勾配と、廃棄体周りの局所的な温度勾配の足しあわせとして考えることができる。鉛直方向の平均的な温度勾配は、廃棄体の間隔を広げてゆくことにより小さくなるものの、その効果は面積が増すほど小さくなり、廃棄体周りの局所的な温度勾配が支配的となってくる。このため、廃棄体 1 本あたりの専有面積を増してゆくと、埋設後に緩衝材が到達する最高温度は低くなっているが、専有面積を大きくすればするほど、その効果は小さくなる。このため、最高温度が  $300\text{m}^2$  でほぼ収束する（谷口航ほか, 1999）という結果に基づいて一つの目安として廃棄体 1 本あたりの面積を  $300\text{m}^2$  程度となるよう解析モデルの範囲を設定して、廃棄体の温度解析を実施し、埋設後の緩衝材の最高温度が  $100^\circ\text{C}$  となる緩衝材の乾燥密度と、緩衝材の厚さの関係を解析的に求めた。

製作性に関しては、現場締固め方式のケースでは、締固め試験により現場での施工が確認された上限の密度として、

釜石原位置試験場（釜石鉱山）において実施した緩衝材の施工性の確認試験の結果を基に設定した。試験においては、豊置きの処分孔の中で既存の現場締固め工法を用いて  $10\text{cm}$  づつ緩衝材を施工し、施工された緩衝材の密度等に対するデータを取得している。その結果、OT-9607 の場合、乾燥密度に換算して  $1.57\sim1.74\text{ Mg m}^{-3}$  の範囲で施工できたことが確認されている（Sugita et al., 1999）。これに対して、別途実施した現場締固め試験において、OT-9607 の乾燥密度  $1.647\text{ Mg m}^{-3}$  に対して、ケイ砂混合体（30wt%）では  $1.78\text{ Mg m}^{-3}$  で施工できることが確認されている（千々松ほか, 1999a）。この 2 つの結果を踏まえて、乾燥密度  $1.7\text{ Mg m}^{-3}$  を確認された現場締固め方式での上限とした。

自重のみで緩衝材を積み上げたときの密度を現実的な下限の密度として示している。

緩衝材の粉末を自然含水比の状態で圧密することなく積み上げると、そのカサ密度はある一定の値よりも大きくなる。自重で上から振り掛けただけでこの密度が達成されるわけであるから、このカサ密度を下回る緩衝材の施工は現実的ではないと考え、この密度を現実的な乾燥密度の下限とした。

ブロック方式については、周方向 6 分割を想定した緩衝材ブロックに対して、有限要素法解析により、ブロックが圧裂試験により求めた引っ張り強度に基づき、自重に対して強度的に自立すると考えられる密度の下限を推測したものである。

あらかじめ緩衝材を一定の形状に整形しておき、積み重ねてゆく方式においては、運搬、および定置の段階でそのブロックが元の形状を保つことが必要である。

コロイドフィルトレーションに関しては、コロイド透過試験においてコロイドが透

過しなかった密度を元にコロイドフィルトレーション機能を有すると考えられる下限密度を設定した。

コロイドの透過に関しては、乾燥密度  $1.0 \text{ Mg m}^{-3}$ 、飽和度 100% のベントナイト供試体に対して、金のコロイドを用いた透過試験を実施した (Kurosawa et al., 1997)。この透過試験において、ベントナイト供試体のケイ砂混合率をパラメータとした試験の結果は、下表の通りとなっている。

乾燥密度 [ $\text{Mg m}^{-3}$ ]	ケイ砂混合率 [%]	有効粘土密度 [ $\text{Mg m}^{-3}$ ]	試験結果
1.0	0	1.00	N.D.
1.0	30	0.79	N.D.
1.0	40	0.70	N.D.
1.0	50	0.61	+
1.8	50	1.35	N.D.

中) N.D. : 金コロイドが検出限界値以下、+ : 金コロイドが透過

表で示されるように、ケイ砂混合率 30% の条件では金コロイドが検出限界値以下であることが確認されており、この結果から、コロイドをフィルトレーションする限界の密度を  $1.0 \text{ Mg m}^{-3}$  と設定した。

オーバーパックの耐圧厚さが 15cm に収まる範囲の線は、第 2 次取りまとめ分冊 2, 4.1.1.2 において設定した、オーバーパック厚さ 19cm (放射線の影響 15cm + 腐食代 4cm) に対して、腐食代 4cm がすべて腐食するとしたときに必要となるオーバーパックの耐圧厚さが、15cm を超えない緩衝材の密度の範囲を示したものである。

オーバーパックの耐圧厚さを胴部、蓋部とも 15cm とすると、オーバーパックの耐圧強度は、胴部で定まり、 $23.96 \text{ MPa}$  となる。オーバーパックに対して緩衝材と緩衝材の間隙水からかかる荷重をこの値、 $23.96 \text{ MPa}$  となる緩衝材の厚さと乾燥密度の関係は以下の手順で求められる。

(i) 緩衝材に許容されるオーバーパックへの反力  $P_b$

オーバーパックへの荷重は緩衝材の反力と緩衝材の間隙水圧を加えあわせたものであるから、緩衝材に許容される反力はオーバーパックの許容荷重  $P_{op}$  から間隙水圧  $P_{ov}$  を差し引いたものとなる。

$$P_b = P_{op} - P_{ov}$$

(ii) 緩衝材の反力に対応した緩衝材の間隙比  $e_b$

緩衝材の反力  $P$  と緩衝材の空隙比  $e$  の関係は、緩衝材の圧密試験結果 (高治, 鈴木, 1999) を基に、

$$e = 0.27 - 0.62 \cdot \log P$$

と設定している。

この関係を基に、緩衝材の反力に対応した緩衝材の間隙比  $e_b$  は

$$e_b = 0.27 - 0.62 \cdot \log P_b$$

として求められる。

(iii) 緩衝材の反力に対応した緩衝材の乾燥密度  $\rho_b$

緩衝材の真密度を  $2.7 \text{ Mg m}^{-3}$  とすると、間隙比  $e_b$  を用いて下式で求められる。

$$\rho_b = \frac{2.7}{1+e_b}$$

(iv) 緩衝材据付時の緩衝材厚さ  $t_b$  と緩衝材乾燥密度  $\rho_{bi}$  の関係

緩衝材が据え付けられ、オーバーパックが腐食膨張した後の緩衝材の乾燥密度が  $\rho_b$  となればよいため、緩衝材の厚さと据付時の緩衝材乾燥密度  $\rho_{bi}$  の関係は緩衝材の据付時の体積  $V_i$  とオーバーパックの腐食膨張などにより減少する体積  $V_c$  を用いて下式となる。

$$\rho_{bi} = \frac{\rho_b \cdot (V_i - V_c)}{V_i}$$

ここで  $V_i$  は緩衝材厚さ  $t_b$  の関数となるため、上式により緩衝材厚さ  $t_b$  と緩衝材密度  $\rho_{bi}$  の関係を定めることができる。

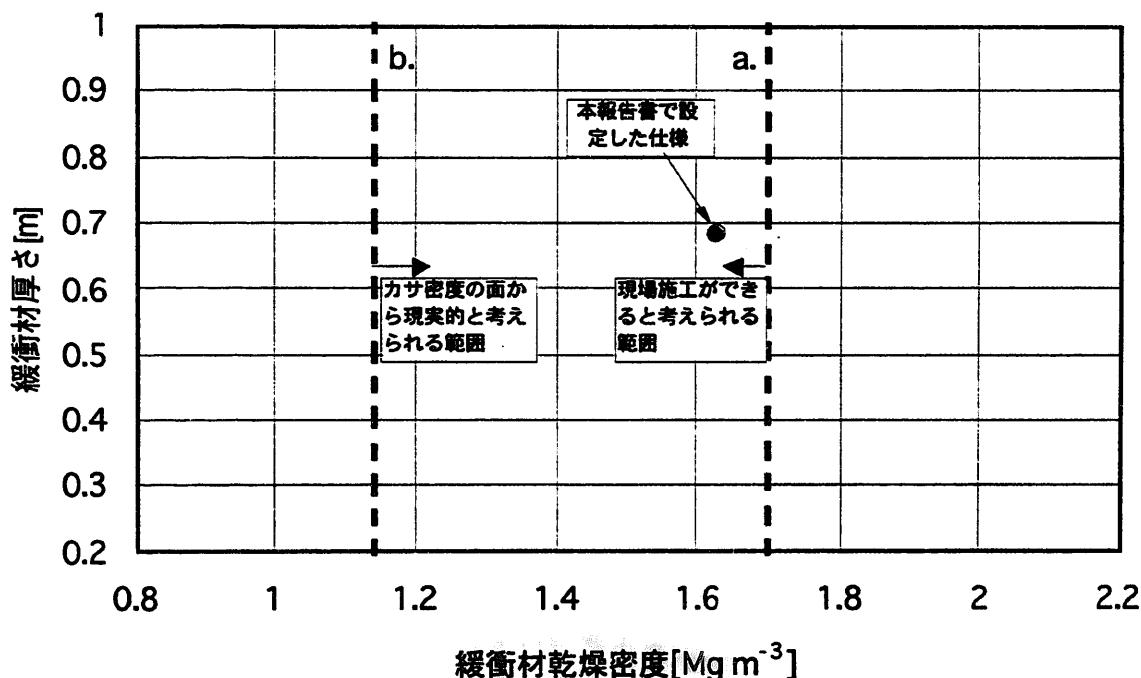


図 3-3 設計要件を満足する緩衝材厚さと乾燥密度の関係  
(現場締め固め、膨潤前)

ライン a.: 室内、および現場での締固め試験により緩衝材の現場施工が確認された上限の密度を示す。今後施工方法などが改善されれば、線の位置は右にシフトされる。

ライン b.: 絶乾状態の緩衝材を自重で積み上げて得られた乾燥密度。緩衝材の乾燥密度をこれより小さく施工するのは現実的ではないと考えた。

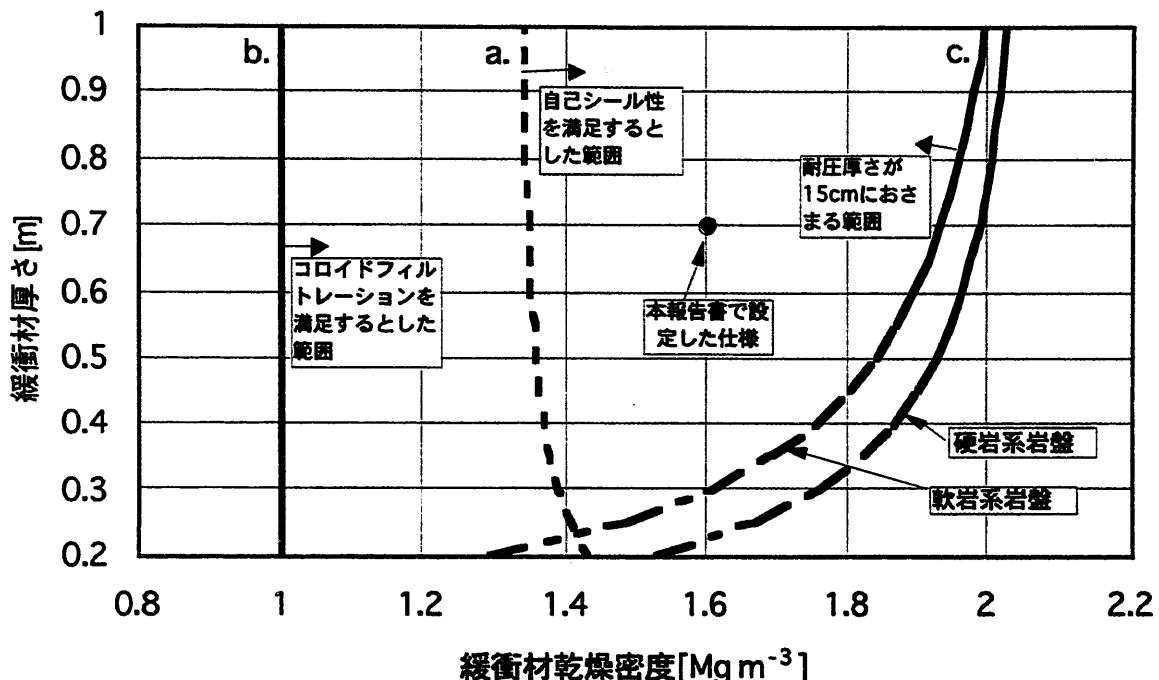


図 3-4 設計要件を満足する緩衝材厚さと乾燥密度の関係  
(現場締め固め、膨潤後)

ライン a.: 自己シール性により隙間をふさぐことが期待できる下限を示す。据付時のオーバーパックと緩衝材の隙間を 2cm と設定し、緩衝材の膨潤量がこの隙間の 2 倍以上確保されるものとして検討した。

ライン b.: コロイドの透過試験により、コロイドが透過しないことが確認された緩衝材の密度を示す。線より右側は、コロイドフィルトレーション機能が働くことが期待されると考えられる。

ライン c.: 放射線分解による腐食の促進を避けることも考慮して設定した、オーバーパック厚さ 19cm (放射線の影響 15cm+腐食代 4cm) に対して、腐食代 4cm がすべて腐食するとしたときに必要となるオーバーパックの厚さが、15cm を超えない緩衝材の密度の範囲を示したものである。この線は腐食代に依存しており、腐食代を 4cm より小さく設定できる場合には右にシフトする。また、今後知見の蓄積により腐食膨張率、耐圧計算上の安全率などに関して現実的な評価が可能になれば、右にシフトしていく。

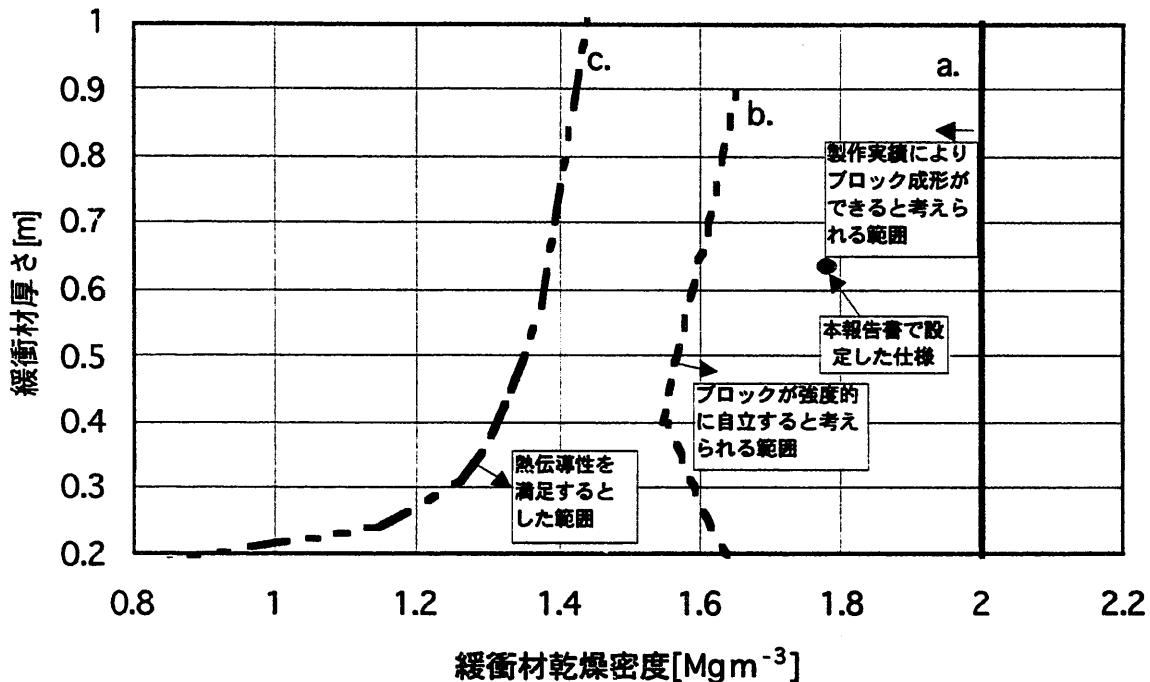


図 3-5 設計要件を満足する緩衝材厚さと乾燥密度の関係  
(ブロック方式、膨潤前)

- ライン a. : 試験により一体型緩衝材の成型が確認された密度。今後成型方法の改善があれば、ラインは右にシフトする。
- ライン b. : 周方向 6 分割のブロックを想定した場合に、緩衝材の強度の下限を示す。自立可能な緩衝材の密度の範囲を、有限要素法解析により推測したものである。
- ライン c. : 緩衝材の最高温度を 100°C 以下に制限できる緩衝材仕様の下限を示す。有限要素法のパラメータサーベイで定めており、この線の左側は廃棄体の埋設ピッチを拡大しても、緩衝材の最高温度を 100°C 以下に制限することが困難になると考えられる。なお、この線は、地温、岩盤および緩衝材の熱物性、廃棄体の発熱量などに応じて変化する。

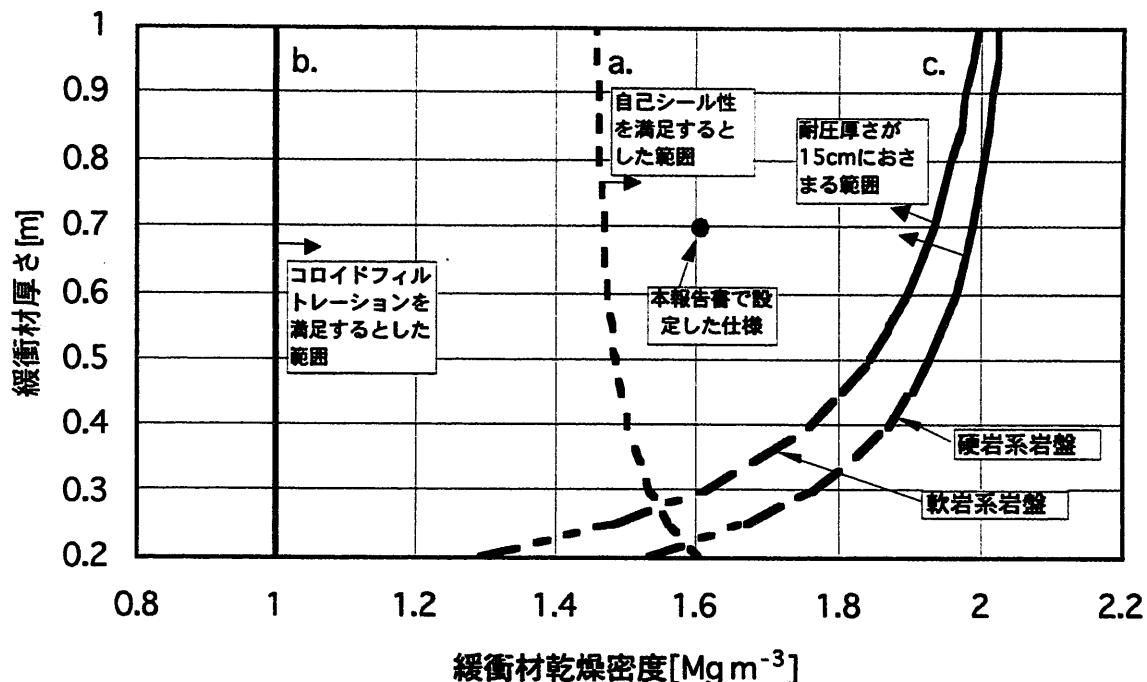


図 3-6 設計要件を満足する緩衝材厚さと乾燥密度の関係  
(ブロック方式, 膨潤後)

ライン a.: 自己シール性により隙間をふさぐことが期待できる下限を示す。据付時のオーバーパックと緩衝材の隙間を 2cm、緩衝材と処分坑道の隙間を 4cm (緩衝材厚さ 70cm の場合の隙間 4cm を基に、厚さの変化に応じて緩衝材の外径に比例させた) と設定し、緩衝材の膨潤量がこの隙間の 2 倍以上確保されるものとして検討した。

ライン b.: コロイドの透過試験により、コロイドが透過しないことが確認された緩衝材の密度を示す。線より右側は、コロイドフィルトレーション機能が働くことが期待できると考えられる。

ライン c.: 放射線分解による腐食の促進を避けることも考慮して設定した、オーバーパック厚さ 19cm (放射線の影響 15cm+腐食代 4cm) に対して、腐食代 4cm がすべて腐食するとしたときに必要となるオーバーパックの厚さが、15cm を超えない緩衝材の密度の範囲を示したものである。この線は腐食代に依存しており、腐食代を 4cm より小さく設定できる場合には右にシフトする。また、今後見の蓄積により腐食膨張率、耐圧計算上の安全率などに関して現実的な評価が可能になれば、右にシフトしていく。

図3-3～図3-6において示されるように、乾燥密度  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$ 、緩衝材の厚さ70cmの位置は、現場締固め方式、ブロック方式ともそれぞれの線で囲まれた領域のほぼ中央部にあることから、これらの設計要件に対しても余裕を有していることがわかる。

また、緩衝材中の物質移行が、移流支配もしくは拡散支配によるものかを判断する指標として、ペクレ数  $Pe$  がある (Fried and Combaranous, 1979)。このペクレ数は、次式に示すように、移流効果（右辺の分子）と拡散効果（右辺の分母）の比で表される無次元数である。拡散効果が移流効果よりも大きければ、ペクレ数は1よりも小さくなる。

$$Pe = \frac{vL}{De} = \frac{kiL}{De} \quad (3.1.2- 1)$$

ここで、 $v [\text{m s}^{-1}]$ は地下水流速、 $L [\text{m}]$ は地下水の流れの中にある物体の代表的な長さ、 $De [\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$ は実効拡散係数、 $k [\text{m s}^{-1}]$ は透水係数、 $i [-]$ は動水勾配を表す。地下深部の温度を  $60^\circ\text{C}$ 、動水勾配を 0.07 と仮定し、緩衝材の実効拡散係数についてはウランを、代表長さには緩衝材の厚さである 0.7 m を用いると、ペクレ数は次のようになる。

$$Pe = 1.0429^{+16} \cdot \exp(-42.1 + 2.3547\rho_b - 2.1232\rho_b^2) \quad (3.1.2- 2)$$

有効粘土密度  $0.4 \sim 1.8 \text{ Mg m}^{-3}$  の範囲におけるペクレ数は、 $10^{-4} \sim 10^{-2}$  程度の範囲となり、1よりも十分小さいことから、緩衝材中に存在する核種は拡散によって移行すると考えてよい (松本ほか, 1997)。

## (2) 複合オーバーパックの場合

### ・チタン - 炭素鋼複合オーバーパック

耐食材料としてチタンを用いる複合オーバーパックの場合には、第2次取りまとめ分冊2の4.1.1.3.2に示したように、すきま腐食の発生しない環境条件で使用することとしているため、腐食量は無視しうるほど小さいと考えられることから、腐食生成物による緩衝材の圧密反力はほとんど作用しないと考えることができる。したがってこの場合には、緩衝材厚さは応力緩衝性以外の緩衝材厚さに関連する設計要件を考慮することとなる。自己シール性、熱伝導性、製作性、コロイドフィルトレーション機能については、オーバーパックの材料に関わらず図3-3から図3-6に示した関係となる。したがって、チタン - 炭素鋼複合オーバーパックの場合も、炭素鋼オーバーパックの場合と同様に緩衝材厚さ 70cm とすることができる。

### ・銅 - 炭素鋼複合オーバーパック

耐食材料として銅を用いる複合オーバーパックの場合には、第2次取りまとめ分冊2の4.1.1.3.2に示したように、1000年間の腐食深さは保守的にみても 39mm 程度と評価されている。したがって、この場合、腐食生成物の影響を考慮した応力緩衝性に関しては、銅の腐食膨張倍率を炭素鋼と同程度と考えれば、腐食代 4cm がすべて腐食

するとして検討した炭素鋼におけるオーバーパック耐圧厚さと緩衝材厚さの関係(図3-2)とほぼ同様の結果となる。また、自己シール性、熱伝導性、製作性、コロイドフィルトレーション機能については、オーバーパックの材料に関わらず図3-3から図3-6に示した関係となることから、銅-炭素鋼複合オーバーパックの場合も、炭素鋼オーバーパックの場合と同様に緩衝材厚さ70cmとすることができる。

### 3.3 処分孔堅置き方式で遮蔽上必要となる厚さ

ガラス固化体を収納する廃棄体は、表面線量当量率が数mSv/hと高いため、廃棄体定置中の操業区画は管理区域となる。処分孔堅置き方式の場合、各処分孔に緩衝材(厚さ700mm)および廃棄体の定置が完了した後も、処分孔道内の空間線量当量率は数100 $\mu$ Sv/hと依然として高く、処分坑道の埋め戻しの際も管理区域として操業をすることが強いられる。しかしながら、廃棄体の埋設が終了した後、処分坑道の埋め戻し作業中は非管理区域としておくことができれば、処分坑道の埋め戻しの作業性が大幅に向向上する。そのためには、各処分孔の廃棄体および緩衝材の定置完了後、処分孔道内の空間線量当量率が管理区域条件以下に下がるまで、何らかの方法で遮へいする必要がある。

堅置き方式の処分孔に対しては、定置の際に遮へい材として、緩衝材の上に適切な厚さ(図3-7のt)の埋め戻し材を設置することによって、定置後の処分坑道内の空間線量当量率が管理区域条件を十分下回るよう設計することも、合理的な選択の一つとなる。ここでは、埋め戻し材を緩衝材と同仕様の材料としたときに遮蔽に必要な厚さを設定する。なお、埋め戻し材は、その遮蔽特性が満足されれば、この検討で用いた材料以外の別の材料に置き換えることは可能である。

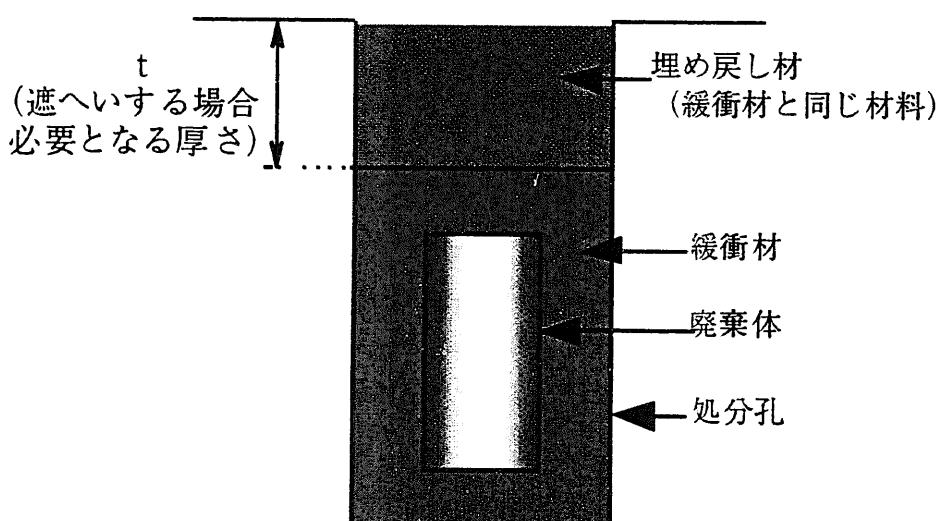


図3-7 遮へいに必要な緩衝材の厚さ

#### (1) 目標線量当量率

炉規制法第五十一条の十六第一項および第二項においては、外部放射線にかかるる

線量当量が、1週間につき  $300\mu\text{Sv}$  を超えるおそれのある区域について管理区域とすることが定められている。

したがって、処分孔道内を非管理区域とするためには、上記条件以下とする必要がある。1週間で6日間、8時間労働とした場合は、時間あたりの線量当量は  $6.25\mu\text{Sv h}^{-1}$  であり、1週間7日間、24時間を対象とした場合（誰でもいつでも入域可能）の、時間あたり線量当量は  $1.78\mu\text{Sv h}^{-1}$  となる。ここでは、保守側に目標線量当量率を  $1.78\mu\text{Sv h}^{-1}$  とした。

## (2) 計算条件

1次元輸送計算コード ANISN を使用し、緩衝材表面における線量当量率を計算して、遮蔽に必要な概略の寸法を求めた。計算では、隣接する廃棄体からの線量寄与を模擬するため、保守側に無限平板モデルとした。

## (3) 結果

埋め戻し材（ここでは組成密度を緩衝材と同じとしている）の中の線量当量率減衰曲線を図 3-8 に示す。処分孔道内の空間線量当量率を、目標線量当量率  $1.78\mu\text{Sv h}^{-1}$  以下とするには、オーバーパック表面から 1700mm 必要であることがわかる。したがって、埋め戻し材としては、緩衝材 700mm を差し引いて 1000mm 必要となる。

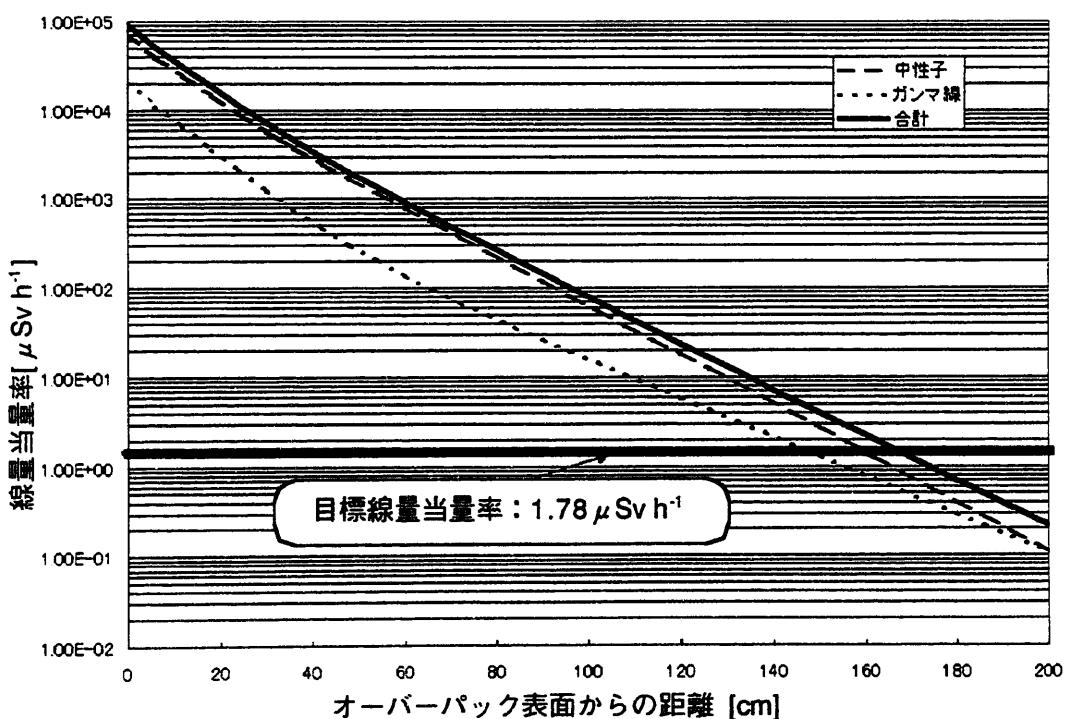


図 3-8 埋め戻し材厚さと表面線量当量率

#### 4. おわりに

第2次取りまとめで報告した緩衝材の設計に関してより詳しく説明した。

本報告でも示されるように、緩衝材の設計に関してはその密度と反力の関係に着目し、単純化した形でオーバーパック、岩盤との力学的な相互作用を取り扱っている。

他方、第2次取りまとめでも示されているように、緩衝材の力学的な挙動に関しては、関口-太田モデルなど、3次元的な挙動を取り扱うことのできるモデルも開発されている。今後はこれらのモデルと組み合わせた設計手法の確立が、より合理的な人工バリアの仕様設定に必要となってくると考えられる。

### 参考文献

千々松正和, 杉田裕, 雨宮清(1999a): 緩衝材の製作・施工技術に関する検討, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-35

電気事業連合会, 電力中央研究所 (1999): 高レベル放射性廃棄物地層処分事業化技術, 報告書準備中

動力炉・核燃料開発事業団 (1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－, PNC TN1410 92-081.

Ishikawa, H., Amemiya, K., Yusa, Y. and Sasaki, N. (1990): Comparison of Fundamental Properties of Japanese Bentonite as Buffer Material for Waste Disposal, Proc. of the 9th International Conference, Sci. Géol., Mém., 87, pp.107-115.

菅野毅, 松本一浩 (1997): ベントナイト緩衝材の流出特性の評価 (I), PNC TN8410 97-313.

Kurosawa, S., Yui, M. and Yosshikawa, H. (1997): Experimental Study of Colloid Filtration by Compacted Bentonite, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.465, Materials Research Society, pp.963-970

松本一浩, 菅野毅, 藤田朝雄, 鈴木英明 (1997): 緩衝材の飽和透水特性, PNC TN8410 97-296.

志村聰, 赤坂秀成, 中山祐美子, 朝野英一, 川上進, 二宮伸雄, 加藤一行 (1995) : 冷間等方圧プレスによる一体型緩衝材の試作研究(その4) —まとめと実規模緩衝材成型の可能性—, 日本原子力学会「1995秋の大会」, p651

Sugita, Y., Chijimatsu, M. and Fujita, T. (1999): VERIFICATION OF THE BUFFER MATERIAL EMPLACEMENT TECHNIQUE, JNC TN8430 99-009

高治一彦, 鈴木英明(1999): 緩衝材の静的力学特性, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-041

谷口航, 鈴木英明, 杉野弘幸, 松本一浩, 千々松正和, 柴田雅博 (1999): 熱的特性の緩衝材仕様に与える影響, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-052.