



JAEA-Research

2006-015



JP0650369

埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等の 性能保証項目に関する評価ツールの現状

Status of Assessment Tools on the Performance Guarantee Contents
of Backfill, Bulkhead, Tunnel and Pit

川上 進 藤田 朝雄 油井 三和

Susumu KAWAKAMI, Tomoo FUJITA and Mikazu YUI

地層処分研究開発部門
ニアフィールド研究グループ

Near-Field Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

JAEA-Research

March 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report was issued subject to the copyright of Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :

Intellectual Resources Section,
Intellectual Resources Department
2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN
Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2006

埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等の性能保証項目に関する評価ツールの現状

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門 ニアフィールド研究グループ
川上 進・藤田 朝雄・油井 三和

(2006年1月30日受理)

国が策定する緩衝材に関する安全基準、指針等に資するため、埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等の性能保証項目に対し、現状の評価方法を確認し、ツールの整備状況として一覧表形式でまとめた。また、一覧表に記載した評価ツール内容の具体例を示した。

示している内容は、埋め戻し材、緩衝材の基本特性（膨潤特性、力学特性、透水特性）、埋め戻し材の変形・変質の長期挙動に関する現象（流出、岩盤への侵入）、コンクリート材料によるアルカリ影響（緩衝材、岩盤の変質・劣化、オーバーパックの腐食挙動）、岩盤の力学的変形挙動であり、それぞれの項目で確認する具体的な内容、評価方法（実験による確認により評価がなされるもの、実験式およびデータベースから推定されるもの、モデル計算より導出するもの）の種類、研究の概要およびその最新の結果を示した。

Status of Assessment Tools on the Performance Guarantee Contents of Backfill,
Bulkhead, Tunnel and Pit

Susumu KAWAKAMI, Tomoo FUJITA and Mikazu YUI

Near-Field Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 30, 2006)

In order to contribute to the safety standards and guidelines which a regulator will decide, a state-of-the-art assessment method is investigated and summarized in tables about performance guarantee contents of backfill, bulkhead, tunnel (access, main, connecting, disposal) and disposal pit. In addition, examples of assessment tools are described.

In this report, summary of (1) basic properties of bentonite, including swelling, mechanical and hydraulic properties, (2) long-term behavior of bentonite, including extrusion / erosion into host rock, and alteration, (3) effect of high pH plume from cementitious material and (4) mechanical stability of the near-field is described.

Check points, assessment methods for (based on the data obtained from the experimental results, the estimation value obtained from empirical equations and database, and the modeling calculations) and latest results of these R&D programs were also summarized.

Keywords: Assessment Tool, Safety Standard, Guideline, Performance Guarantee, Backfill, Bulkhead, Tunnel, Disposal Pit

目 次

1. はじめに	1
2. アプローチ	1
3. 埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等の安全評価・基準 に関する評価内容と評価ツール	2
3.1 埋め戻し材・プラグ	2
3.1.1 埋め戻し材	2
3.1.2 プラグ	3
3.2 坑道・処分孔等	6
3.2.1 坑道	6
3.2.2 処分孔等	6
4. 評価方法に関する研究概要	12
4.1 埋め戻し材の基本特性	12
4.2 埋め戻し材の流出・侵入現象	13
4.3 緩衝材の力学的変形挙動	14
4.4 コンクリート材料によるアルカリ影響	14
4.5 止水プラグの特性	17
4.6 坑道・処分孔等の空洞安定性	19
4.7 支保材料の特性評価	21
5. おわりに	22
参考文献	23

Contents

1. Introduction	1
2. Approach	1
3. Assessment Tools on the performance guarantee contents of backfill, bulkhead, tunnel and disposal pit	2
3.1 Backfill and bulkhead	2
3.1.1 Backfill	2
3.1.2 Bulkhead	3
3.2 Tunnel and disposal pit	6
3.2.1 Tunnel	6
3.2.2 Disposal pit	6
4. Outline of studies on evaluation methods	12
4.1 Basic properties of the backfill	12
4.2 Extrusion and erosion behavior of the buffer	13
4.3 Mechanical behavior of the buffer	14
4.4 Effect of high pH plume from the cementitious material	14
4.5 Properties of the clay bulkhead	17
4.6 Evaluation of the mechanical stability of the tunnel and pit	19
4.7 Evaluation of chemical properties of support material	21
5. Conclusion	22
References	23

図 目 次

図 3.1-1	閉鎖の概念	2
図 3.2-1	処分場における坑道	6
図 3.2-2	処分孔および処分坑道	7
図 4.1-1	有効粘土密度と体積膨潤比の関係	12
図 4.1-2	有効粘土密度と平衡膨潤応力の関係	12
図 4.1-3	有効粘土密度 ρ_e [Mg m ⁻³] と固有透過度 κ [m ²]との関係	13
図 4.2-1	降水系および海水系地下水条件下における経過時間と侵入距離の関係	14
図 4.4-1	コンクリート支保の厚さをパラメータとしたモンモリロナイトの溶解率に関する試算結果	16
図 4.4-2	緩衝材中における炭素鋼の不動態化条件	17
図 4.4-3	低酸素濃度雰囲気におけるチタンの水素ガス発生量、水素吸収量に及ぼす pH の影響	17
図 4.5-1	カナダの TSX 試験 (Tunnel Sealing Experiment) における圧力、温度と粘土プラグからの湧水量の経時変化	18
図 4.5-2	粘土プラグの含水比分布	18
図 4.5-3	3 次元トレーサ解析結果	19
図 4.6-1	緩衝材の応力状態	20
図 4.6-2	EDZ の分布結果	20
図 4.7-1	セメントペースト硬化体・モルタルの間隙率と透水係数との関係	21

表 目 次

表 3.1-1	埋め戻し材の安全評価・基準に関する具体的評価ツール	4
表 3.1-2	プラグの安全評価・基準に関する具体的評価ツール	5
表 3.2-1	坑道の安全評価・基準に関する具体的評価ツール(1/2)	8
表 3.2-2	坑道の安全評価・基準に関する具体的評価ツール(2/2)	9
表 3.2-3	処分孔等の安全評価・基準に関する具体的評価ツール(1/2)	10
表 3.2-4	処分孔等の安全評価・基準に関する具体的評価ツール(2/2)	11
表 4.6-1	岩盤の解析用物性値 (幌延深度 450m)	20
表 4.6-2	処分孔の壁面変位結果	20

This is a blank page.

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全規制に係わる基本的考え方 「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）」¹⁾において示され、ここでは今後安全審査、安全確認等に係る指針・技術基準を策定していくことが示されている。また、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」²⁾では、国および関係機関が最終処分の安全規制・安全評価のために必要となる研究開発を積極的に進めていくことを求めてい。これら安全規制に係わる指針・基準を策定していくためには適宜最新の技術情報を整備しておく必要がある。

このような背景を受けて、「高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関わる研究の進め方と反映先」³⁾および「高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関わる進め方と反映先（その2）」⁴⁾の検討（以下、「進め方と反映先報告書」とする）では、処分場の構成要素について長期安全性の観点から性能を保証すべき項目を抽出し、以下の観点で整理を行った。

- ・ 長期安全性能をどのように評価するのか
- ・ 評価に必要なデータベースは何か
- ・ 現状に照らして今後の課題は何か

また、「人工バリア等の性能保証に関わる研究のサイクル機構における取り組み」⁵⁾および「人工バリア等の性能保証に関わる研究のサイクル機構における取り組み」⁶⁾の検討（以下、「取り組み報告書」とする）では、「進め方と反映先報告書」で整理された各課題に対しての核燃料サイクル開発機構（現、日本原子力研究開発機構、以下、「原子力機構」とする）における具体的な取り組み状況、今後の取り組み予定をまとめた。

本書は、これらの整理をうけて埋戻し材、プラグ、アクセス・連絡・主要・処分の各坑道および処分孔等を対象に性能保証項目（案）を評価するツール（以下、「評価ツール」とする）となるモデル、評価手法やデータベースなどを原子力機構がこれまでにとりおこなった研究成果から取りまとめた。

2. アプローチ

これまでの検討で示された整理表（「進め方と反映先報告書」や「取り組み報告書」）に基づいて、3章以降において具体的な評価ツールを整理した。

評価ツールは、性能保証項目（案）ごとに示されている評価内容を実施する（モデルによる評価や実験による確認）ために必要なモデル、そのモデルに必要となるデータベースや具体的な実験手法などである。整理においては、評価ツールに対する論文や文献等の公開されている資料が存在していること、その内容はできるだけ最新の情報（一部検討途中のものも含む）であることを意識した。

また、評価ツールに対する具体的な取り組みとして、これまでに原子力機構で行われている評価ツールに対する研究の概要を4章以降に記述した。

評価ツールに対する研究は、個別に独立に行われている研究（個別研究：ある1つの項目で完結する内容のもの）と、人工バリア等の物理化学特性の変化を反映させ行われている研究（環境条件の変化を想定した研究：複数の項目にまたがる内容のもの）がある。例えば、透水係数、膨潤能力やイオン強度をパラメータとした条件での試験など基礎データの取得やモデル化への取り組みは個別研究である。一方、支保工の設置による埋め戻し材やプラグの物理化学特性変化を考慮した研究は、埋め戻し材などの個々の研究とともに、環境条件の変

化を想定した研究も必要となり、これらの研究が同時に進められている。

なお、4章以降の研究概要の本文中には、評価ツールを用いて行われる「モデルによる評価」や「実験による確認」（以下、「評価方法」とする）が、次の3種類のどれかに該当しており、どれが該当する項目かを述べた。

- ・ 実験手法を整備（すなわち実験方法をマニュアル化）し、想定された条件でデータの取得を行うもの
- ・ 実験結果のデータベース集や実験式を整備し、想定された条件に対してデータの推定を行うもの（念のため実験で確認することも含む）
- ・ モデル（パラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で導出するもの

3. 埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等の安全評価・基準に関する評価内容と評価ツール

処分場構成要素のうち埋め戻し材、プラグ、坑道（アクセス、連絡、主要、豎置き方式の処分坑道）および処分孔等（処分孔、横置き方式の処分坑道）に関する性能を保証のための具体的な評価ツールの検討を行った。検討結果は、構成要素ごとに表としてまとめている。また、表には、評価ツールに関する文献等も示した。

3.1 埋め戻し材・プラグ

図3.1-1に示すように、埋め戻し材は、坑道そのものを埋め戻すものであり、プラグは、処分坑道の両端部に設置する強度プラグ（コンクリートプラグ）、断層破碎帯と交差する坑道の前後等に設置する止水プラグ（粘土プラグ）がある⁷⁾。埋め戻し材およびプラグは、処分場の閉鎖に関わる重要な構成要素である。

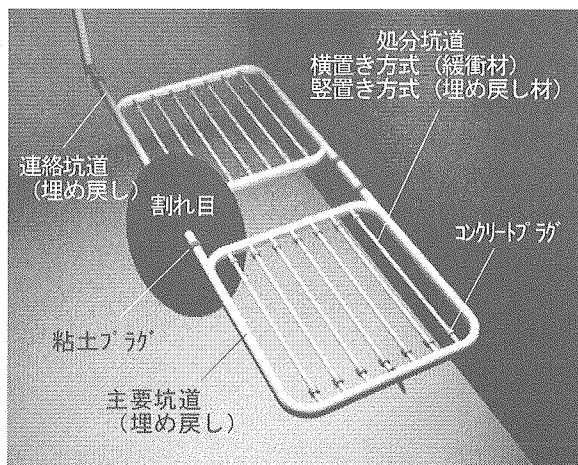


図3.1-1 閉鎖の概念⁷⁾

3.1.1 埋め戻し材

埋め戻し材は、地下施設に人工バリアを定位した後に残置された坑道（アクセス・連絡・主要・処分坑道）を埋め戻すものであり、骨材（掘削ずり等）と粘土材料を混合したものである。埋め戻し材の役割としては、坑道内が核種移行のクリティカルパスにならないこと、緩衝材等の人工バリアの性能発揮に悪影響を与えないことが求められる。

坑道内の核種移行抑制の観点からは、埋め戻し材の隙間充填性能や止水性能、埋め戻し材自身の流出評価となり、人工バリアの性能発揮へ悪影響を与えないことからの観点からは、緩衝材の膨出の抑制、緩衝材に対して悪影響を与えない材料の選定となる。

これらの要求に対応した埋め戻し材の具体的な評価ツールの検討を行い、検討結果を表 3.1-1 に示す。表中の斜線部分は、その項目が斜線部分の評価ツールを用いた評価を実施しないことを示している。これは、他の構成要素の表も同様である。

また、本検討の対象としていないが、数 100m を超えるボーリング孔に対しても、寸法的な制約を考慮した材料の選択、孔内への充填、効果の確認といった埋め戻し技術の確立が必要である。

3.1.2 プラグ

プラグは、強度プラグと止水プラグに大別される。強度プラグは、処分坑道に定置される人工バリア（豎置き方式の場合は、処分坑道内は埋め戻し材）を処分坑道内に封じ込め、人工バリアに使用される緩衝材あるいは埋め戻し材の密度低下が発生しないように設置される。材料としては、緩衝材などの膨潤圧に耐えられるだけの強度を期待するものとしてコンクリート材料が考えられているが、コンクリート材料に特有の高 pH プルームに起因する高アルカリ性環境による緩衝材や埋め戻し材への影響を定量的に評価しておく必要がある。また、このような化学的影響を低減する材料として、低アルカリ性コンクリートが検討されている（例えば、Chandler et al.⁸⁾、サイクル機構⁹⁾）。

止水プラグは、地下施設の坑道（たとえば処分パネルを連結する連絡坑道）が核種移行の経路になるとされる避けるべき割れ目帯と交差する場合に、その交差部分を隔離するために割れ目帯の前後の坑道に設置される。また、アクセス坑道の手前やパネル間など坑道に沿った地下水の移動を遮断したい場合にも設置される。したがって、止水プラグには低透水性で長期において化学的に安定な材料で、かつその性能を維持することが求められる。

強度プラグに求められる要件としては、主要坑道が埋め戻される前までの操業段階における緩衝材や埋め戻し材の膨潤圧に対する強度の維持となり、主要坑道の埋め戻し以降を含めた長期については、人工バリアなどの性能発揮に悪影響を与えない、もしくはその影響が評価できることとなる。止水プラグに求められる要件としては、プラグ部分の透水性を低くすること、支保工および掘削影響領域（以下、「EDZ」という）を含めたプラグ周囲の低透水性の確保と連続性の遮断することとなる。

これらの要求に対応したプラグの具体的な評価ツールの検討を行い、検討結果を表 3.1-2 に示す。

表 3.1-1 埋め戻し材の安全評価・基準に関する具体的評価ツール

時期	何を性能を証するか(評価の内容)	どう保証するか(方法、型式)		実験による評価 モデルによる評価	実験による評価 データベース	備考	関連項目
		設計書 実験	部材内容 部材方法、データベース				
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	地盤の大きさ 地下構成により、各部位とした膨脹性が異なるため、その他の部位に比べてより大きな影響を及ぼす。	(1) 松田・菊池、JNC TS8430 2002-003 (2) 菊池ほか、JNC TS8430 2003-008 (3) 菊池・鶴井、JNC TS8430 2004-005		
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	液は浮遊的溶解ツールを適用した長期には行うべきである。また、溶解性の評価を行なうと、溶出量を考慮した充填密度を行なう。	(1) 森野・松本、PNC TS8410 97-313 (2) 森野・菅原、JNC TS8400 99-040 (3) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-006 (4) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-035 (5) 森本・鶴井、JNC TS8400 2004-026		
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	液は浮遊的溶解ツールを適用した長期には行うべきである。また、溶解性の評価を行なうと、溶出量を考慮した充填密度を行なう。	(1) 松田・菊池、JNC TS8430 2002-003 (2) 菊池ほか、JNC TS8430 2003-008 (3) 菊池・鶴井、JNC TS8430 2004-005		
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	地下水条件(人手による評価地)による評価結果を、地盤の透水性を実験的に定量化すること。 ※3	(1) 松田・菊池、JNC TS8410 97-313 (2) 森野・菅原、JNC TS8400 99-040 (3) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-006 (4) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-035 (5) 森本・鶴井、JNC TS8400 2004-026		
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	継続材の影響評価に対して、形状を大きく変形させ、または変形抑制能を有能なこと(降伏点)。	(1) 松田・菊池、JNC TS8410 97-313 (2) 森野・菅原、JNC TS8400 99-040 (3) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-006 (4) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-035 (5) 森本・鶴井、JNC TS8400 2004-026		
実験後	人手による評価	人手による評価	人手による評価	継続材を劣化させる要因となるべき性質を有能なこと。	(1) 松田・菊池、JNC TS8410 97-313 (2) 森野・菅原、JNC TS8400 99-040 (3) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-006 (4) 森本・鶴井、JNC TS8400 2003-035 (5) 森本・鶴井、JNC TS8400 2004-026		

*1：メントナイトにて行われる膨脹性の材料は膨脹性のみになります
 *2：房材の透水性及び膨脹影響領域の透水性の材料は漬け対応になります
 *3：メントナイトにて行われる膨脹性の材料は漬け対応になります

表 3.1-2 プラグの安全評価・基準に関する具体的評価ツール

時期	何を生産実証するか(基準の内容)	基準のポイント	どう実証するのが(方法、評価指標)		モデルによる評価	実験による確認	備考	関連項目
			(評価方法、データベース)	(a)				
初期	埋め戻し材、気密性等を押さえられる強度(強度プラグ)	プラグ本体そのものの強度の評価と、それに、改修する沿岸条件(強度、危険度、掘削影響範囲の広がり等)に基づくプラグ開閉形状の設計・施工を含む、それを実現する点が強度評価に含まれること。	試験の要件 評価指標、評価指標	モデル	データベース	実験による確認	備考	関連項目
中期	埋め戻し材、気密性等を押さえられる強度(強度プラグ)	プラグ本体そのものの強度の評価と、それに、改修する沿岸条件(強度、危険度、掘削影響範囲の広がり等)に基づくプラグ開閉形状の設計・施工を含む、それを実現する点が強度評価に含まれること。	試験の要件 評価指標、評価指標	モデル	データベース	実験による確認	備考	関連項目
埋め戻し後	人日本ペリアの性能登録記録、強度(強度プラグ)	コンクリートを用いた場合、コンクリートの強度が悪い影響を受けること。 人日本ペリアの性能登録記録、強度(強度プラグ)	当該部位に低透水性の材料で縫接を設けることによるベントナイトを組合せること。	透水(透水性)の評価、透水性評価(透水性評価指標)	ヘンタノイド材料を対象としてして実施した有効圧上溶度と透水率との関係(10), (11), (30)	ヘンタノイド材料を対象としてして実施した有効圧上溶度と透水率との関係(10), (11), (30)	⑩ 杉田・菊池、JNC TN8430 2002-04-03 ⑪ 菊池ほか、JNC TN8430 2003-09-09 ⑫ 杉田ほか、JNC TN8430 2002-04-11 ⑬ 杉田ほか、JNC TN8430 2002-04-15 ⑭ 小田ほか、JNC TN8430 2002-04-05 ⑮ Martino et al., CNIM, 2005	⑩ 杉田・菊池、JNC TN8430 2002-04-03 ⑪ 菊池ほか、JNC TN8430 2003-09-09 ⑫ 杉田ほか、JNC TN8430 2002-04-11 ⑬ 杉田ほか、JNC TN8430 2002-04-15 ⑭ 小田ほか、JNC TN8430 2002-04-05 ⑮ Martino et al., CNIM, 2005

*1: 鋼製、セラミック、岩石等のプラグの検討対象になりえる。
 *2: アルカリ変質については、低アルカリセメントにより問題となるものと仮定しており、既往型化による評価がなされている。普通ボルトランドセメントが用いられる場合、スマックタイトの溶解速度、それに伴う2次鉱物の同定、緩衝材性能の変化の程度を把握し、緩衝材の劣化評価を行う必要がある。
 *3: ベントナイトに付わる吸透水性の材料は検討対象になりえる。

3.2 坑道・処分孔等

3.2.1 坑道

坑道には、図 3.2-1 に示すように地上と地下の施設を結ぶアクセス坑道、廃棄体を定置するための処分坑道、処分坑道を取り囲む主要坑道と、主要坑道間を結ぶ連絡坑道がある⁴⁾。

坑道の役割としては、建設や操業などに必要な空間を確保すること、坑道閉鎖後では坑道および坑道周辺部分が卓越した核種移行の経路とならないこと、坑道の支保材として主として用いられるコンクリート材料に起因する高アルカリ性環境が人工バリアや岩盤に有意な影響を与えないことがあげられる。また、地盤状態により建設時に地盤改良として使用される可能性のあるセメントグラウトに関しては、その影響を適切に判断することが困難なため検討対象より除外しているが、コンクリート材料と同様にその影響も懸念されることから今後評価が必要と考えられる。

これらの要求に対応した坑道の具体的な評価ツールの検討を行い、検討結果を表 3.2-1～表 3.2-2 に示す。

ここで、坑道における核種移行に係る要件においては、複数の構成要素（埋め戻し材、支保工、岩盤）を総合した評価内容となるが、評価ツールに関しては個別の内容として示した。これは、処分孔等も同様とした。

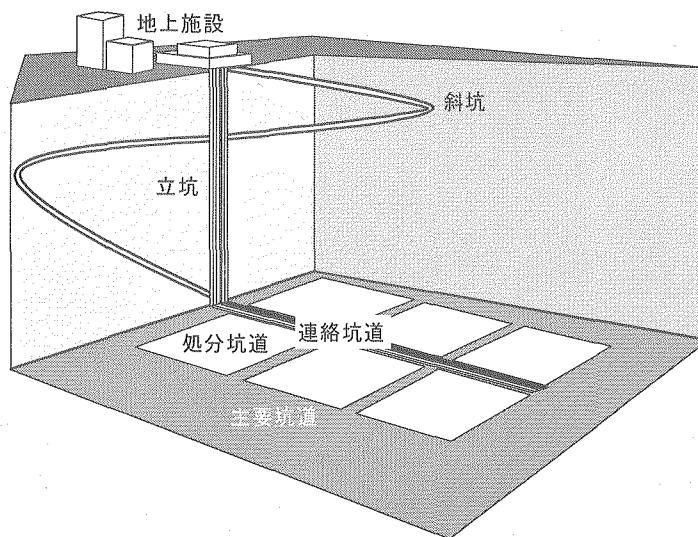


図 3.2-1 処分場における坑道⁴⁾

3.2.2 処分孔等

ここで対象とするのは、豎置き方式の処分孔および横置き方式の処分坑道である。処分孔は、豎置き方式において処分坑道の床盤に一定間隔で掘削され、基本的に裸孔で直径 2.2m、深さ 5.0m であり、横置き方式の処分坑道は直径 2.2m で軟岩の場合は支保工が設置される⁷⁾。図 3.2-2 に、豎置き方式および横置き方式における処分孔、処分坑道の概念を示す。

処分孔等に求められる役割としては、人工バリアを内部に定置する観点から空洞安定性を確保すること、人工バリアの性能発揮の観点から悪影響を与えない湧水状態、形状寸法、亀裂状態であること、処分孔等に沿った核種移行のクリティカルパスにならないこと、処分坑道（横置き方式の場合）の支保材として主として用いられるコンクリート材料に起因する高アルカリ性環境が人工バリアや岩盤に有意な影響を与えないことがあげられる。

処分孔と処分坑道は緩衝材を設置するところであり、緩衝材の定置に影響する湧水や岩盤の亀裂（孔壁）の状態も重要な検討項目となる。

これらの要求に対応した処分孔等の具体的な評価ツールの検討を行い、検討結果を表 3.2-3～表 3.2-4 に示す。

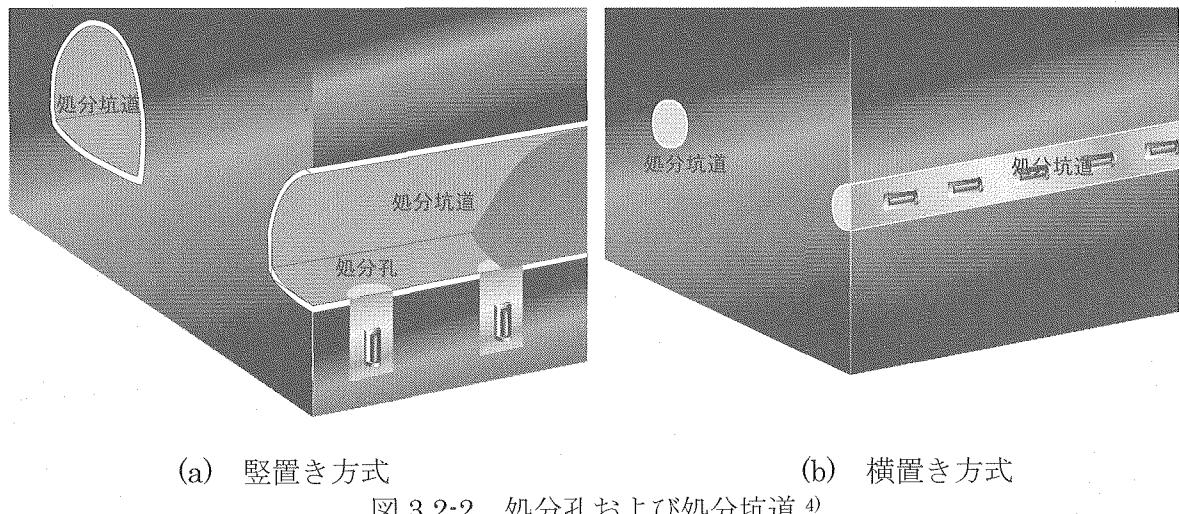


図 3.2-2 処分孔および処分坑道⁴⁾

表3.2-1 坑道の安全評価・基準に関する具体的評価ツール(1/2)

3.2.2 坑道の安全評価・基準に関する具体的評価ツール (2/2)

研究にモチベーションの社会

334 鮎川義久

44: アルカリ変性について

スクレーフタイトの溶解速度、それに伴う

第1章 第1節

56 : 第2次取扱い

八：狂歌取材考

今後編の概要

普通ボルトラン

る。その場合、高圧溶継続に

卷之三

の評価が必要となる。

表 3.2.3 凧引孔等の安全評価・基準に関する具体的評価ツール (1/2)

時期	役割	何を性能化しているか、(実際の内容)	基盤のポイント	設計の要件	どう検討するのか (方法、評価方針、評価内容)	モデル	モードルによる評価		実験による確認	備考	閲覧項目
							データベース	データベース			
建設、 機器、 人工パリアを 内部に設置す る場合、 内部に設置す る場合	設計	空間安定性が確保される こと。	・弹性、強度性、剛性、 地盤持続性など、 人工パリアを考慮する。 ・安全性が確保され ること。	・安全性が確保され ること。	<初期阶段評価モデル> ①完全塑性モデル(Mohr-Coulomb) ②修正カムクレーリ(BRAO)37), 38), 39), 40) ③せん断モデル (0.5円筒歪み軟化) ④Burgersモデル(37), 38), 40) ⑤コンブライアンスモデル ⑥応力透過成形多孔隙塑性理論 ※空洞部生性評価 (支保付)において は、現状①を採用しているもの、①+ ②の①で手法の検討を実施)。	<初期阶段評価モデル> ①弾性係数(E)、抗剪強度(M) ②ボアン比(λ)、剛性(G) ③表面強度係数(η)、外端強度定数 (η _{out})、内端強度定数(η _{in})、残留強度定数 (η _{res})、初期強度定数(η ₀)、ダイ レーシヨン角(φ) ④(3) ピン锚 ⑤くぼみ強度(ε _d)>10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 ⑥(3) ピン锚 ⑦GM, RM, TM, TK, RL, K ⑧耐荷力(c), 内端強度定数(η _{in})、ボアン比 (λ), ヤング率(E), ブラウダ(α, n) ⑨本質部生性係数(K), セン断強度係数(G), ヤ ング率(E), 積荷強度(φ), 抗剪強度(η ₀)、 透水系係数(β), 压密強度(α), 多孔隙性(λ), データ(α, β, n, K)	7) サイタル機構、INC TN400 99-022 32) 井上・南、INC T18400 2002-061 33) 井上・南、INC T18400 2004-005 34) サイタル機構、INC TN400 2003-304 35) サイタル機構、INC TN400 2004-007 36) サイタル機構、INC TN5101 2004-001 37) 桜木ほか、INC TN5101 2005-002 38) 桜木ほか、INC TN5400 2005-004 39) 桜木ほか、INC TN5400 2003-001 40) 田本ほか、INC T15400 2003-005 41) 大久保、INC T18400 2003-051 42) 大久保 43) 宮野前田ほか、INC TS8400 2002-015 44) 宮野前田ほか、INC TS8400 2003-051	4.6			
絞材、 機器、 人工パリアが 所定の性能と 一致する	設計	絞材の性能に悪影響を与えない流れ水状 態であることを。	・流れ水はやる部分及び引下水での定 滑り地盤が絞材の剥離や剥離を評価する。	絞材の性能に悪影響を与えること。	[絞材における危険度評価] により、絞材が物理的なほどへの影響がな いと判断できることから、流れ水系地下水管 は、絞材が直面しておらず、自己シール性 の影響を評価するとしており、評価水、 地下水、処分水試験に対する影響を検討する(10, 12, 49)。						
絞材 剥離後	設計	絞材の性能に悪影響を与えない流れ水状 態であることを。	・絞材の性能に悪影響を与えること。	絞材の性能に悪影響を与えること。	[絞材における危険度評価] により、絞材が物理的なほどへの影響がな いと判断できることから、流れ水系地下水管 は、絞材が直面しておらず、自己シール性 の影響を評価するとしており、評価水、 地下水、処分水試験に対する影響を検討する(10, 12, 49)。						
絞材 剥離後	設計	絞材の性能に悪影響を与えない流れ水状 態であることを。	・絞材の性能に悪影響を与えること。	絞材の性能に悪影響を与えること。	[絞材における危険度評価] により、絞材が物理的なほどへの影響がな いと判断できることから、流れ水系地下水管 は、絞材が直面しておらず、自己シール性 の影響を評価するとしており、評価水、 地下水、処分水試験に対する影響を検討する(10, 12, 49)。						

表 3.2-4 処分孔等の安全評価・基準に関する具体的評価シート（2/2）

時期	何を性能保証するか、基準の内容	設計の要件	設計の要件	モデル	データベース	実験による確認	備考	関連項目
後期	何を性能保証するか、基準の内容	評価内容 (評価方法、データベース)	支保工部材移行評価	模型				
初期	何を性能保証するか、基準の内容	評価内容 (評価方法、データベース)	模型					
初期	何を性能保証するか、基準の内容	評価内容 (評価方法、データベース)	模型					

*1: TR研究にて実施した（サイクル機器、2005）
 *2: オーバーハングの底盤に使うメタクリタイトの底盤化劣化変化については、現在その可能性についての検討が実施されており、今後影響の把握が求められる可能性がある。
 *3: アルカリ反応に対するメタクリヤメントによる問題は、既にCaO酸化による評価がなされている。並述がトランジントが用いられる場合、
 *4: メタクリタイトの溶解度測定については、底アルカリ性と酸性との間に2段階物質の問題、緩衝材劣化性の変化の程度を把握し、緩衝材劣化性の変化を行う必要がある。その場合、底アルカリ性によるスルメタタイトの溶解に伴うpH
 *5: 緩衝材に100度以上の条件が設定される場合、緩衝材中のシリカの溶解・沈殿による割合のセメントーションについての評価が必要となる。

4. 評価方法に関する研究概要

4.1 埋め戻し材の基本特性

埋め戻し材には、坑道内の核種移行を抑制するために埋め戻し施工時に発生する隙間や支工の長期的な変質によるセメントペーストの溶解による体積減少に対応した隙間充填性が要求されることが考えられる。また、低透水性、膨潤性・剛性などの性能が要求される。

埋め戻し材に関する評価方法としては、粘土材料を基本とする緩衝材の基本特性に関するものとほぼ同様である。

膨潤特性や透水特性等の評価方法は、実験結果のデータベースや実験式を整備し、想定された条件に対してデータの推定を行うもの（念のため実験で確認することを想定して実験に係る情報の提供も行う）に該当する。

緩衝材の基本特性に関して、第2次取りまとめまでに、主に降水系地下水条件下を模擬したデータの整備が、第2次取りまとめ以降は、実際の地質環境条件を考慮するため、人工海水、幌延地下水および塩濃度をパラメータとして、海水系地下水条件下を模擬した緩衝材の飽和透水特性、膨潤特性、熱特性、力学特性データの整備が行われている。その一例として、供試体作製時の有効粘土密度と初期体積に対する膨潤後の体積比（以下、「体積膨潤比」という）の関係を図4.1-1に示す。図中にはこれまでに得られた成果および参考文献データを併せて示す^{11,12,50)}。また、降水系および海水系地下水条件下における有効粘土密度と平衡膨潤応力の関係を図4.1-2、有効粘土密度と固有透過度の関係を図4.1-3に示す¹²⁾。埋め戻し材の有効粘土密度は、第2次取りまとめ仕様では0.64Mg m⁻³となる。

さらに、緩衝材に関する飽和透水特性、膨潤特性、力学特性データから海水系地下水条件下における人工バリアの長期挙動および安全評価解析に資する関係式が一般化されている^{11,12,51)}。

これらの成果は、第2次取りまとめまでの知見および、平成15年度末までに取得した海水系地下水条件に関する各特性データをデータベースとして構築中である。

埋め戻し材と同様に止水プラグである粘土プラグの基本特性についても、緩衝材と同様の材料、仕様であることから、その基本特性の評価方法としては上述した内容が適用できるものと考えられる。

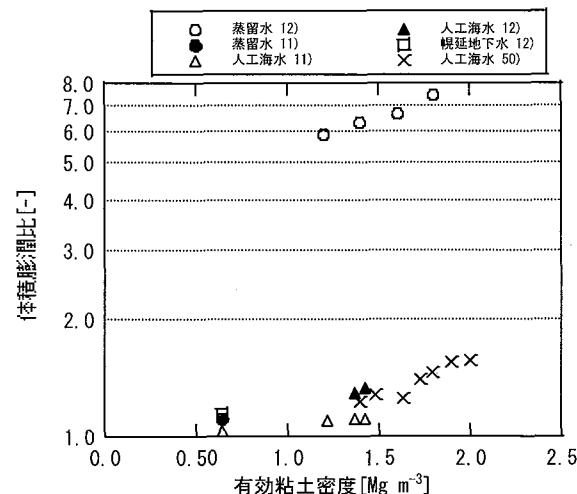


図4.1-1 有効粘土密度と体積膨潤比の関係

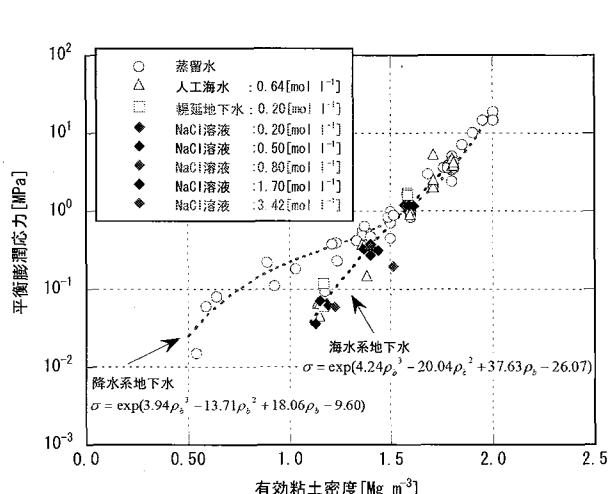
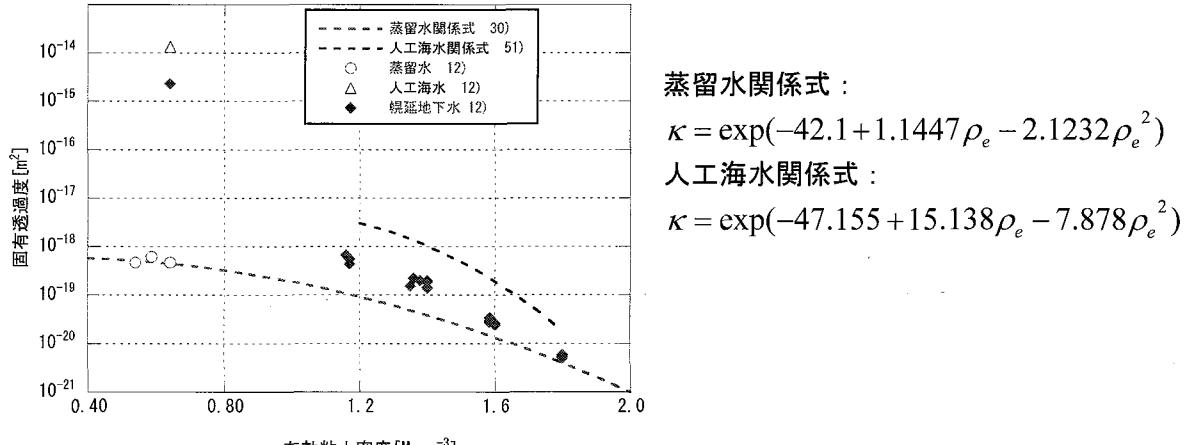


図4.1-2 有効粘土密度と平衡膨潤応力の関係

図 4.1-3 有効粘土密度 ρ_e [Mg m⁻³] と固有透過度 κ [m²]との関係¹²⁾

4.2 埋め戻し材の流出・侵入現象

埋め戻し材では、長期の期間において坑道内の透水性を低く維持することが求められてしまい、岩盤の亀裂中への流出・侵入現象に係る長期評価が必要である。

緩衝材においては、人工バリア埋設後における緩衝材の物理的安定性や核種移行評価を行う上で、これらの現象を定量的に評価することが重要であるとして、同様に岩盤亀裂中への流出・侵入挙動に対する長期評価モデルの確立に向けた検討が行われている。埋め戻し材についても緩衝材に対する長期評価モデルの適用が考えられる。

したがって、ここでの評価方法は、モデル（モデルで用いるパラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で求めるものに該当する。一方、緩衝材の浸食現象に関しては、想定された条件下でのベントナイト起源コロイドの発生条件等に関するデータ取得を行うものに該当する。

(1) 侵入現象

緩衝材では、降水系地下水（蒸留水）および海水系地下水（人工海水、幌延地下水）における亀裂侵入速さの指標である比例係数データを取得し、海水系地下水では、ベントナイトの亀裂への侵入が降水系地下水と比較して顕著に小さい結果を得ている（図 4.2-1）。また、ベントナイトの侵入挙動は、イオン強度が小さい水質ほど侵入し、逆にイオン強度が大きくなるほど、侵入が抑制されることが分かった¹⁷⁾。

これらの実験的な知見より、海水系地下水においては岩盤亀裂侵入による緩衝材の物理的安定性への影響が顕著でないと判断でき、安全評価において降水系地下水条件下で留意すべき事象であることが示された。

侵入現象のモデル化においては、第 2 次取りまとめに用いた外挿、推定に基づいたモデル化におけるベントナイトの物性データについて、実測値を取得するなどしてデータの信頼性向上を図り、モデルに適用した。また、非破壊検査によって亀裂侵入密度分布を測定し、得られた結果を用いたモデルの妥当性を評価している。今後は、新しい知見を適時モデルへ反映することにより、モデルの高度化が図られるものと考えられる。

(2) 浸食現象

現象をより詳細に捉えるための手法の検討やデータの信頼性向上、ならびに、コロイド影響による核種移行評価への寄与という観点で、降水系地下水（蒸留水）および海水系地下水（NaCl 溶液）を用いたデータの取得を行った。その結果、降水系地下水では、本実験系の平均流速 2×10^{-6} [m s⁻¹]において、浸食コロイドの生成が確認された。したがって、降水系地下水条件下において浸食現象が発生する臨界流速値は、これよりも小さい流速場である可能性が

示唆された¹⁶⁾。一方、海水系地下水では、本実験系の平均流速 $8 \times 10^{-6} [\text{m s}^{-1}]$ において、浸食コロイドの生成が認められないことから、浸食現象が発生する臨界流速値は、これよりも大きい流速場であることを概略的に把握した¹⁷⁾。これら両者の知見より、浸食現象は、海水系地下水よりも降水系地下水環境において留意すべき事象であることを概略的に把握した。

現状では、データは十分ではなく、性能評価研究に反映するまでには至っていないが、今後データが充足されることで、水質や流速などの地質環境による浸食挙動に関して、コロイドが発生する臨界流速等の知見が得られるものと考えられる。

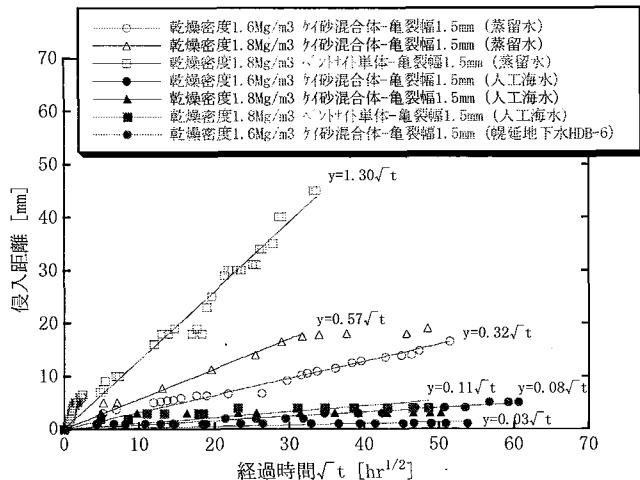


図 4.2-1 降水系および海水系地下水条件下における経過時間と侵入距離の関係

4.3 緩衝材の力学的変形挙動

緩衝材の処分孔からの膨出挙動に対して、第2次取りまとめにおいては、緩衝材の膨潤応力特性と埋め戻し材の弾性特性から、線形解析による簡易的な評価を行っている。

緩衝材の力学的変形挙動の評価方法は、モデル（モデルで用いるパラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で求めるものに該当する。

緩衝材の力学的変形挙動を評価するための構成モデルの候補としては、その材料特性や高レベル放射性廃棄物の地層処分という緩衝材の置かれる環境を考慮し、「関口・太田モデル」⁵²⁾と「足立・岡モデル」⁵³⁾が選定され、これら2つのモデルで使用するパラメータの検討も行い、考え方を提案している^{54,55)}。

また、上記で示されたモデルならびにパラメータを用いてオーバーパックの自重沈下解析と腐食膨張解析が行われている⁵⁵⁾。

4.4 コンクリート材料によるアルカリ影響

堆積岩等における岩盤の支保や強度プラグの材料としてコンクリート材料が考えられている。このコンクリート材料の使用においては、コンクリート材料に由来する高pHブルームによるアルカリ影響により、緩衝材、オーバーパックや岩盤等の強度、透水、腐食挙動等の特性が変化することが想定される。これらの変化は、核種移行評価における人工バリア性能等に影響を及ぼすことから、コンクリート材料によるアルカリ影響を定量的に評価することが重要である。

ここでは、アルカリ影響に対する緩衝材の変質・劣化評価、岩盤の変質・劣化評価、オーバーパックの腐食挙動評価に関する具体的な研究概要を以下に示す。

(1) 緩衝材の変質・劣化

緩衝材は長期にわたり初期の性能が維持されることが期待されている。第2次取りまとめにおける緩衝材の長期安定性評価では、緩衝材温度を100°C以下とすることおよびコンクリート材料として低アルカリ性セメントを利用し高アルカリ環境を回避することにより、緩衝材の顕著な変質を避けることができるとしている。一方、オーバーパック腐食生成物との相互作用については長期の挙動を推定するデータが必ずしも十分でないことや、アルカリ性環境での緩衝材変質に関するデータの充実が必要であることを指摘している。

人工バリアの変質は、その現象が多岐にわたり、各々の研究の進展度合いが異なっており、処分環境条件で起こりうる変質現象の抽出方法が検討されている²¹⁾。検討では、緩衝材の長期安定性評価フローを作成し、現在想定される環境条件（降水系もしくは海水系地下水、緩衝材温度100°C以下、セメント支保工の利用は考慮する）において安全評価上の重要性を考慮して、セメント溶液によるスメクタイトの溶解が研究課題の1つとして抽出されている。以下に評価方法を示す。

・セメント浸出液によるスメクタイトの溶解

評価方法については、実験結果のデータベース集や実験式を整備し、想定された条件に対してデータの推定を行うもの（なお、念のため実験で確認することを想定して実験に係る情報の提供も行う）に該当するものである。しかし、溶解速度の実験式導出のため、スメクタイト溶解速度試験やAFMによる正確な反応表面積の導出の検討が行われている段階である²¹⁾。

なお、核種の収着性のうち、変質したベントナイトに該当するものについては嶺ほかによつてまとめられている⁵⁶⁾。使用において実験条件の確認は必要であるが、変質劣化条件におけるデータとして利用可能である。また、今後は変質後安定な鉱物の特定が行われた後、当該条件における核種の収着性の研究が必要となる。

(a) マスバランス計算

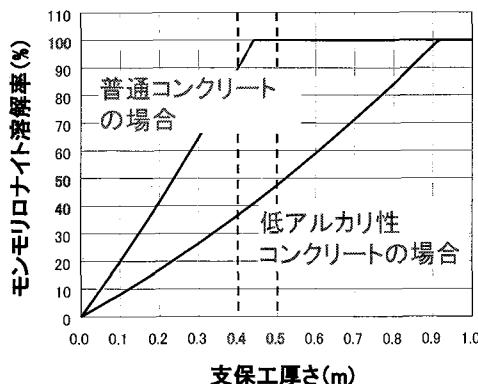
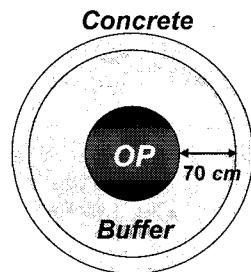
セメント由来の水酸化物イオンがすべて粘土との反応に消費されると仮定したマスバランス計算を行い、横置き方式（第2次取りまとめの支保工厚さ）の結果では、溶解は保守的に見積もっても20%程度であった（図4.4-1）。

(b) 溶解速度計算

スメクタイトの溶解と2次鉱物の沈殿を考慮する場合、評価方法はモデル（モデルで用いるパラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で求めるものに該当する。物質移行と地球化学反応とをカップリングさせた1次元解析コード（PRECIP）を用いた緩衝材の変質進展に関する解析を行っている。今後はより精緻なスメクタイトの溶解速度データの取得、緩衝材の圧縮状態を考慮した溶解速度式の導出、二次鉱物選定の妥当性確認や二次鉱物の沈殿による緩衝材性能への影響データの取得が必要である²¹⁾。

例えば、既往の室内実験の結果に基づけば、pH>12.5のCa濃度に富む溶液で、100°C以下の条件において、C-S-HゲルやC-A-S-Hゲルの生成が認められている。今後は長期間経過後どのような鉱物が安定に存在するかを把握する必要がある。

ベントナイトとコンクリート支保の断面面積比が1.1になるとベントナイト中のスメクタイトが全量溶解すると仮定



普通コンクリートの場合

→支保工の厚さが40～50cmで、ベントナイト中のスメクタイトが全量溶解

低アルカリ性コンクリートの場合

→普通セメント(OPC)の量が120kg/cm³と普通コンクリートの半分以下。

スメクタイトの溶解率も普通コンクリートの場合に比べて、半分程度。

図 4.4-1 コンクリート支保の厚さをパラメータとしたモンモリロナイトの溶解率に関する試算結果

(2) 岩盤の変質・劣化

岩盤に対するアルカリ影響による変質・劣化評価としては、TRU廃棄物研究において検討されている⁴⁸⁾。

TRU研究では、セメントに由来する高pHプルームの天然バリア中における時間的・空間的広がりを評価するために、既往の知見に基づき変質過程を例示し、この例示に基づき多孔質媒体近似の岩盤に対して、1次元の化学反応・物質移動連成モデルを構築して、鉱物学的変化、地下水組成の変化および岩盤の物質移動特性の変化を評価している。

本評価は、モデル（モデルで用いるパラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で求めるものに該当する。しかしながら、岩盤の変質・劣化評価における解析は、知見の不足などの不確実性を含んでおり、今後も鉱物変質シナリオやモデル構築に資する試験の実施が求められる。

(3) オーバーパックの腐食挙動

オーバーパックの腐食挙動では、想定される地下水条件（緩衝材間隙水）や温度等の環境条件において、所定の期間の核種の閉じ込め性を有するために必要な腐食寿命を定量的に評価することが必要となる。評価では、想定される環境条件に対して腐食形態、腐食速度等について電気化学試験や浸漬試験等の腐食試験によりデータを取得し、これらのデータに基づいて処分環境条件を考慮した長期寿命評価が必要である。

オーバーパックの腐食挙動に関する評価方法は、実験手法を整備（すなわち実験方法をマニュアル化）し、想定された条件でデータの取得を行うものに該当する。

オーバーパック材料の腐食挙動へのアルカリ影響としては、これまでの腐食試験データに基づいて、pHが約13を超える地下水が浸潤した場合に、炭素鋼では不動態化する可能性があり（図4.4-2）、また、チタンでは不動態が不安定になる可能性がある（図4.4-3）ことから、使用を避けることが望ましい環境と評価されている⁹⁾。銅については、実験データが整備されておらず、今後の検討課題となっている。

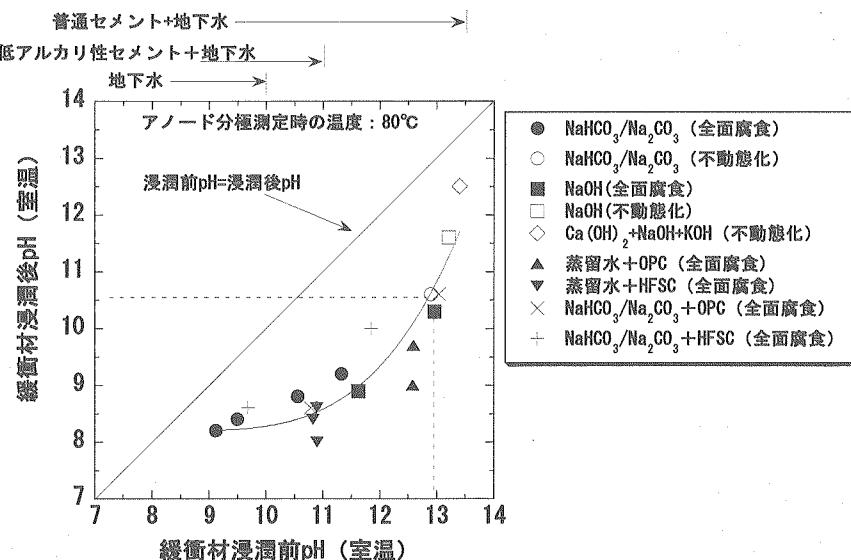


図 4.4-2 緩衝材中における炭素鋼の不動態化条件

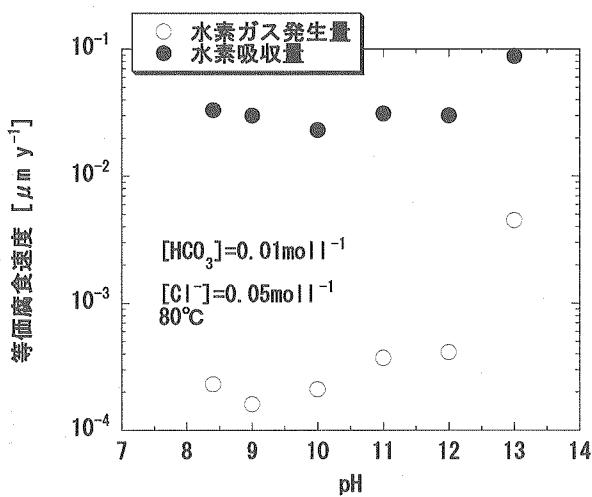


図 4.4-3 低酸素濃度雰囲気におけるチタンの水素ガス発生量、水素吸収量に及ぼす pH の影響

4.5 止水プラグの特性

止水プラグ（粘土プラグ）は、緩衝材と同様のベントナイトを主材料としている。基本的な特性（透水性）については、4.1 に示した。止水プラグでは、坑道の掘削時に発生する掘削影響領域を含めたプラグ周囲の低透水性を確保することが求められる。したがって、止水プラグの材料特性だけの評価ではなく、プラグ周囲の岩盤（EDZ）を含めた評価が必要である。

止水プラグの止水性能の評価方法としては、実験結果のデータベース集や実験式を整備し、想定された条件に対してデータの推定を行うもの（念のため実験で確認することを想定して実験に係る情報の提供も行う）に該当する。

坑道の EDZ も含めた止水プラグの止水性能に関する評価としては、カナダの URL で実施された TSX 試験（Tunnel Sealing Experiment）があり、本試験では実規模の粘土プラグを地下 450m レベルの坑道に設置し、止水性能や強度特性等のデータを取得した³¹⁾。図 4.5-1 に測定データの 1 例として、止水プラグにおける湧水量の経時変化を示す。

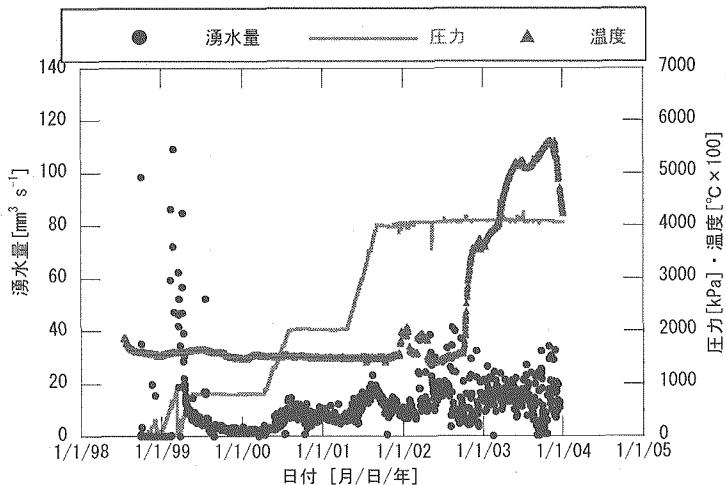


図 4.5-1 カナダの TSX 試験 (Tunnel Sealing Experiment) における圧力、温度と粘土プラグからの湧水量の経時変化

この結果から、止水プラグ全体（プラグ周辺の EDZ も含む）の透水係数は 10^{-11}m/s という値が得られている。TSX 試験の解体・サンプリングによって得られた粘土プラグの上下流方向各断面における含水比分布を図 4.5-2 に示す⁹⁾。粘土プラグ断面の含水比分布から、いずれの断面においても、同一断面内では高含水比領域は粘土プラグ外周面の吹き付けベントナイト部分との境界部に分布し、この領域の密度低下が見られた。このことから、中央領域に比べ粘土プラグ外周面の吹き付けベントナイト部分の透水性が高いことが考えられる。

また、プラグ周囲の EDZ 等の岩盤も含めた透水経路を把握するためにトレーサ試験を行い、この試験データに基づいた周辺岩盤を含めた止水プラグの止水性能に関する解析評価を実施した⁹⁾。解析結果を図 4.5-3 に示すが、本モデルにおいては、トレーサは EDZ を選択的に移行していることが示されている。

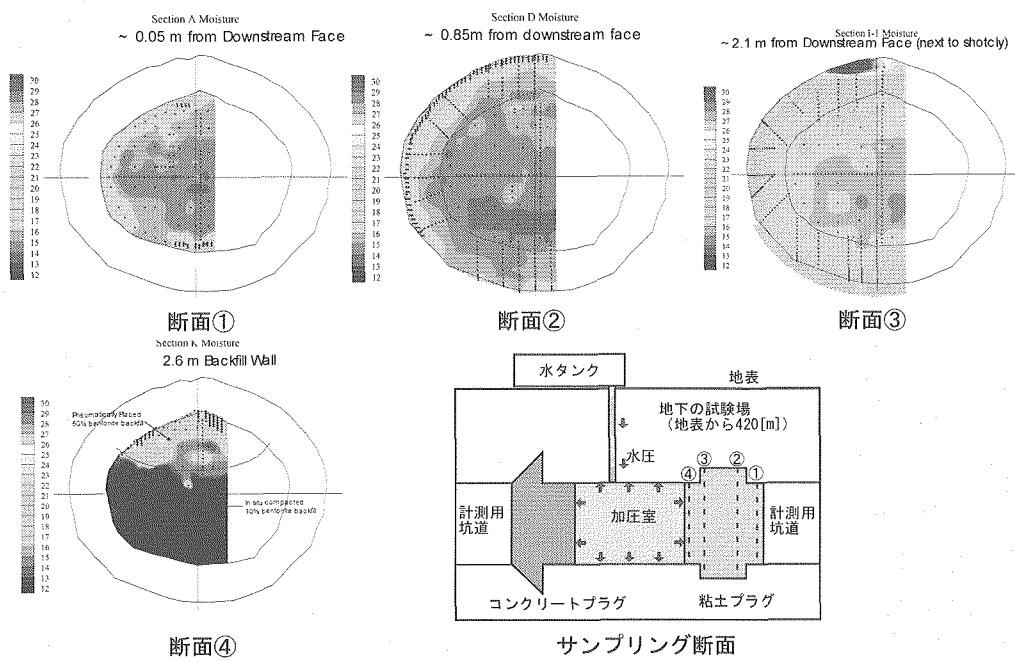
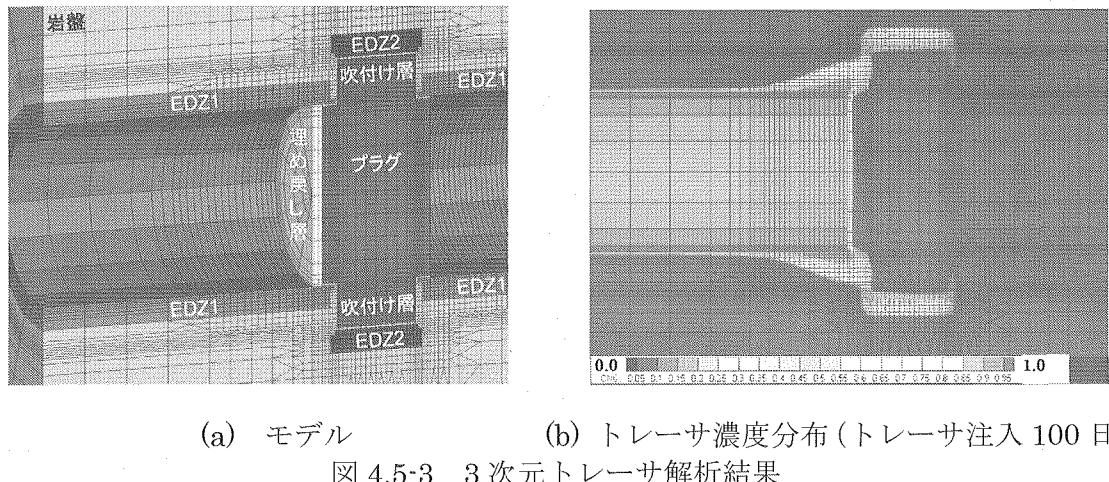


図 4.5-2 粘土プラグの含水比分布



4.6 坑道・処分孔等の空洞安定性

地下深部に空洞を掘削すると、地質条件によっては空洞周辺岩盤が破壊し時間経過とともにその領域（EDZ）が拡がり、水みちが形成される懸念がある。さらには、長期的な空洞壁面の変位による緩衝材の厚さ減少、圧縮破壊、せん断破壊が生じる懸念がある。よって、ニアフィールドの応力場を適切に評価し、長期におけるEDZの拡がりや空洞壁面の変位量をモデルにより予測する必要がある。

坑道・処分孔等の空洞安定性の評価方法は、モデル（モデルで用いるパラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で求めるものに該当する。

ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価の一例⁹⁾として、幌延地区の深度450m（稚内層硬質頁岩）（表4.6-1）における豎置き式処分孔周辺岩盤を対象とした、定置から1万年後のクリープ変形量（表4.6-2）、緩衝材の応力状態（図4.6-1）、EDZの拡がり（図4.6-2）に関する解析結果を示す。解析では、岩盤の挙動はコンプライアンス可変型構成方程式とMohr-Coulombの破壊基準に基づくものとし、緩衝材、オーバーパックは線形弾性体とし、2次元FEMコード⁵⁷⁾を用いて計算した。岩盤に関する解析用物性値を表4.6-1に示す。なお、緩衝材（線形弾性体）は、幌延地下水仕様とし、幌延地下水を用いた室内試験結果¹²⁾より、ヤング率18.31MPa、ポアソン比0.4、オーバーパックは（線形弾性体）、第2次取りまとめと同様にヤング率210,000MPa、ポアソン比0.2とし、人工バリアは掘削後直ちに定置することとした。解析結果より、幌延地区の深度450mの地質環境条件では、異方圧の影響でEDZは主応力と直交する方向（点A）に卓越し、およそ0.5d（d：処分孔内径）の領域まで拡がることが予測された。処分孔の壁面変位についても点Aが顕著であるが、緩衝材の応力状態は、1万年後まで弾性領域（破壊接近度=1以下）にあり、健全性が保たれることが予測された。

ただし、本検討では以下のニアフィールドに生じる以下に示す挙動を再現していない。

- ① 緩衝材の膨潤
- ② 緩衝材のクリープ挙動
- ③ オーバーパックの腐食膨張
- ④ オーバーパックの沈下

これらは、緩衝材の応力状態をより複雑にするとともに、①、③は岩盤に対して内圧として作用しEDZの拡がりや壁面変位を抑制する作用がある。よって、ニアフィールドの長期力

学挙動予測の信頼性をより向上するため、①～④の影響を考慮した、岩盤－緩衝材の連成モデル開発が望まれる。

表 4.6-1 岩盤の解析用物性値（幌延深度 450m）

初期ヤング率 : E [MPa]	2,500
初期ポアソン比 : ν	0.186
粘着力 : C [MPa]	5.2
内部摩擦角 : ϕ [°]	25.0
定数 : n,m	30,20
初期鉛直応力 : σ_v [MPa]	7.21
初期応力比 (鉛直:水平最大:水平最小)	1:1.3:0.9

表 4.6-2 処分孔の壁面変位結果

経過時間 [年]	1	100	10,000
点 A の変位 [mm]	8.6	12.7	17.0
点 B の変位 [mm]	2.9	4.1	5.8

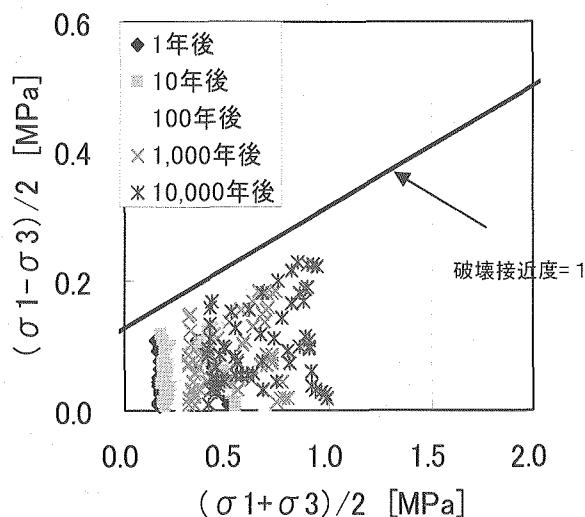


図 4.6-1 緩衝材の応力状態

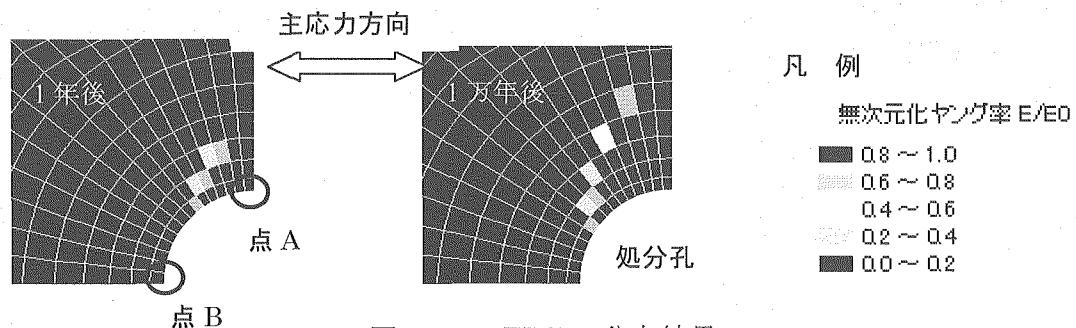


図 4.6-2 EDZ の分布結果

4.7 支保材料の特性評価

支保材料であるセメント系材料は、地下水との接触により長期的に徐々に可溶性成分が溶脱し、その透水係数もそれと同時に変化していく。この長期的な変化を評価するために、セメントペースト硬化体を用いた通水試験によって得られたデータに基づき透水係数と間隙率の関係が示されている⁵⁸⁾。図4.7-1にその関係式を示す⁴⁸⁾。

これらの透水係数は、セメントモルタルにひび割れの無い健全な状態での透水係数である。長期的な挙動を考慮すると、セメント中のペースト部分が流出してしまった場合の間隙率は0.46となり、この時の透水係数を微細砂と同程度とした場合には 10^{-5}m/s が設定される（例えば、今井⁵⁹⁾。実際には、セメント水和物のCa(OH)₂やC-S-Hゲルが多量に存在する場合には、地下水中の炭酸イオンとの反応によるカルサイトなどの沈殿により、ひび割れは自己修復される可能性があるが、定量的な評価は十分にはできていないことから、第2次TRUレポートでは砂程度の透水係数が設定されている。

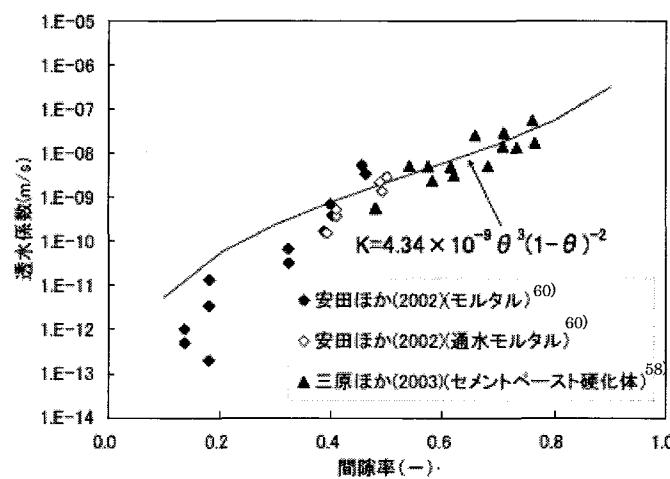


図4.7-1 セメントペースト硬化体・モルタルの間隙率と透水係数との関係⁴⁸⁾

5. おわりに

埋め戻し材、プラグ、坑道および処分孔等に関する安全基準・安全規制の策定に資することを目的として、それぞれに期待される役割について具体的な評価ツールの現状を表 3.1-1～3.1-2、表 3.2-1～3.2-4 に網羅的に示した。評価方法については以下の結果が得られた。

- ・ 「実験手法を整備（すなわち実験方法をマニュアル化）し、想定された条件でデータの取得を行うもの」については、整備は行われていた。今後オーバーパックの代替材料である銅に関して、想定される環境条件のうち未実施の条件（高 pH 環境等）におけるデータの整備が求められる。
- ・ 「実験結果のデータベース集や実験式を整備し、想定された条件に対してデータの推定を行うもの（念のため実験で確認することも含む）」については、整備は行われていた。今後は、実験式やデータベースが実際の処分場環境を想定した場合、それらの影響の度合い・改良の必要性の程度を確認しておくことが必要と考えられる。
- ・ 「モデル（パラメータの取得も含む）を整備し、想定された条件に対して計算で導出するもの」については、スメクタイトの変質ならびに岩盤の力学的変形挙動を除く項目については、保守性を考慮したモデル化は可能であった。しかし、例えば不飽和・飽和条件下での熱・水・応力・化学連成モデルの構築等、モデルの改良・統合およびモデルに必要となるパラメータの取得は引き続き実施する必要はあると考えられる。また、岩盤のアルカリ影響による変質・劣化評価のためのデータの整備、モデルの構築や支保材料の長期特性の評価等に関する検討も必要である。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会：“高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）”，原子力安全委員会，平成12年11月6日（2000）。
- 2) 通商産業省：“特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針”，通商産業省告示591号，平成12年10月2日（2000）。
- 3) 川上 進，杉田 裕，栗原雄二，神徳 敬，谷口直樹，油井三和，棚井憲治，柴田雅博，本間信之：“高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関する研究の進め方と反映先”，JNC TN8400 2002-026 (2003).
- 4) 杉田 裕，栗原雄二，川上 進，神徳 敬，油井三和：“高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関する研究の進め方と反映先（その2）”，JNC TN8400 2003-015 (2003).
- 5) 川上 進，油井三和，栗原雄二，神徳 敬，杉田 裕：“人工バリア等の性能保証に関する研究のサイクル機構における取り組み”，JNC TN8400 2003-037 (2004).
- 6) 栗原雄二，藤田朝雄，川上 進，神徳 敬，油井三和，杉田 裕：“人工バリア等の性能保証に関する研究のサイクル機構における取り組み（その2）”，JNC TN8400 2003-053 (2004).
- 7) サイクル機構：“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 (1999).
- 8) Chandler, N., Dixon, D., Gray, M., Hara, K., Cournut, A. and Tillerson, J. (1998): "An in situ Demonstration of Technologies for Vault Sealing", Proc. 19th Annual Conference of Canadian Nuclear Society (1998).
- 9) サイクル機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－平成17年取りまとめ－一分冊2 工学技術の開発－”，JNC TN1400 2005-015 (2005).
- 10) 杉田 裕，菊池広人：“人工バリアにおける緩衝材の隙間膨潤挙動に関する基礎研究”，JNC TN8430 2002-003 (2002).
- 11) 菊池広人，棚井憲治，杉田 裕：“海水系地下水条件下における埋め戻し材特性に関する基礎試験”，JNC TN8430 2003-008 (2003).
- 12) 菊池広人，棚井憲治：“幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験”，JNC TN8430 2004-005 (2005).
- 13) 菅野毅，松本一浩：“ベントナイト緩衝材の流出特性の評価(I)”，PNC TN8410 97-313 (1997).
- 14) 杉野弘幸，菅野 毅：“拡散モデルを用いた緩衝材の流出挙動の解析的予測”，JNC TN8400 99-040 (1999).
- 15) 松本一浩，棚井憲治：“ベントナイト緩衝材の流出特性の評価(□)”，JNC TN8400 2003-006 (2003).
- 16) 松本一浩，棚井憲治：“緩衝材の流出/侵入特性”，JNC TN8400 2003-035 (2004).
- 17) 松本一浩，棚井憲治：“緩衝材の流出/侵入特性(II) - 幌延の地下水(HDB-6孔)を用いた緩衝材の侵入特性評価 - ”，JNC TN8400 2004-026 (2005).
- 18) 高治一彦，杉野弘幸：“ニアフィールドの長期構造安定性評価”，JNC TN8400 99-043 (1999).
- 19) 杉田 裕，升元一彦：“トンネルシーリング性能試験におけるプラグの設計・施工技術”，JNC TN8400 2002-005 (2002).
- 20) 平井 卓，棚井憲治，菊池広人，高治一彦，大沼 敏：“緩衝材のオーバーパック支持力性能に関する検討”，JNC TN8400 2003-031 (2004).
- 21) 柴田雅博，笹本広，神徳敬，油井三和：“緩衝材の長期安定性評価技術の現状”，JNC TN8400 2004-010 (2004).
- 22) 柴田雅博，陶山忠宏：“緩衝材の鉄型化に関する予察解析”，JNC TN8400 2003-007 (2003).
- 23) 石川博久，柴田雅弘，藤田朝雄：“放射性廃棄物地層処分における緩衝材の変質シミュレーション”，粘土科学，Vol.34, No.3, pp.149-156 (1994).
- 24) Karnland O., Sanden T. and Johannesson L. E.: "Long Term Test of Buffer Material, Final Report on the pilot parcels", SKB Technical Report Tr-00-22 (2000).
- 25) Yui, M. et al. : "JNC Thermodynamic Database for Performance Assessment of High-level Radioactive Waste Disposal System", JNC Technical Report, JNC TN 8400 99-070 (1999).

- 26) 小田治恵, 柴田雅博：“ベントナイト-水相互作用の実験とモデル化”, JNC TN8400 99-032 (1999)
- 27) 小田治恵, 柴田雅博, 油井三和：“地層処分研究開発第2次とりまとめにおける緩衝材間隙水化学の評価”, JNC TN8400 99-078 (1999).
- 28) Kamei G., Oda C, Mitsui S, Shibata M, and Shinozaki T. : “Fe(II)-Na ion exchange at interlayers of smectite: adsorption-desorption experiments and a natural analogue”, Engineering Geology, pp.15-20 (1999).
- 29) Sato, H. : “Data Setting for Effective Diffusion Coefficients (De) of Nuclides in the Buffer for Reference Case in Performance Assessment of the Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste (I)”, PNC TN8410 98-097 (1998).
- 30) 松本一浩, 菅野毅, 藤田朝雄, 鈴木英明：“緩衝材の飽和水理特性”, PNC TN8410 97-296 (1997).
- 31) Martino, J.B., Dixon, D.A., Kozak, E.T., Vignal, B., Sugita, Y., Fujita, T. and Masumoto, T. : “The Tunnel Sealing Experiment: A Review”, Canadian Nuclear Society, Waste Management, Decommissioning and Environmental Restoration for Canada’s Nuclear Activities: Current Practices and Future Needs, Ottawa, Ontario, Canada, May 8-11 (2005).
- 32) 井上博之, 南 浩輔：“軟岩の長期力学的変形挙動研究”, JNC TJ8400 2002-061 (2003).
- 33) 井上博之, 吉野尚人, 宮野前俊一, 水谷和彦, 野田兼司：“軟岩の長期力学的変形挙動研究(II)”, JNC TJ8400 2004-005 (2004).
- 34) サイクル機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成14年度報告－", JNC TN1400 2003-004 (2003).
- 35) サイクル機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成15年度報告－", JNC TN1400 2004-007 (2004).
- 36) サイクル機構：“幌延深地層研究計画における地下研究施設の空洞安定性評価および支保設計”, JNC TN5401 2004-001 (2004).
- 37) 松永浩一, 田村彰教, 村川史朗, 西山誠治, 青木七郎, 布施正人, 興三智彦, 高橋剛弘：“幌延深地層研究計画 地下施設実施設定一設計報告書一”, JNC TJ5410 2005-002 (2005).
- 38) 松井裕哉, 棚井憲治, 佐藤稔紀, 川上進, 西村繭果, 青柳茂男, 藤田朝雄, 谷口直樹, 菊池広人, 松本一浩, 油井三和：“設計技術（地下施設設計、人工バリア設計、閉鎖設計）の実際の地質環境条件への適用性評価”, JNC TN5400 2005-004 (2005).
- 39) 山本卓也, 青木智幸, 瀧 治雄, 城まゆみ：“堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究”, JNC TJ5400 2003-001 (2003).
- 40) 山本卓也, 青木智幸, 瀧 治雄, 城まゆみ：“堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究(その2)”, JNC TJ5400 2003-005 (2004).
- 41) 大久保誠介：“ニアフィールド岩盤の長期安定性評価手法の検討”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TJ8400 2003-081 (2004).
- 42) 大久保誠介：“軟岩の長期挙動に関する研究”, JNC TJ8400 2002-062 (2003).
- 43) 宮野前俊一, 小川豊和, 井上博之, 梨本 裕：“軟岩の長期力学的変形挙動に関する研究”, JNC TN8400 2002-015 (2002).
- 44) サイクル機構：“超深地層研究所地層科学研究基本計画”, JNC TN7410 2001-009 (2001).
- 45) POSIVA : “Safety assessment of spent fuel disposal in Hastholmen, Kivetty, Olkiluto and Romuvaara”, TILA-99, Posiva Oy (1999).
- 46) サイクル機構：“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1 わが国の地質環境”, JNC TN1400 99-021 (1999).
- 47) サイクル機構：“釜石原位置試験総括報告書”, JNC TN7410 99-001 (1999).
- 48) 電事連, サイクル機構：“TRU廃棄物処分技術検討書”, JNC TY1400 2005-013 (2005).
- 49) 杉田 裕, 菊池広人, 棚井憲治：“人工バリアにおける緩衝材の隙間膨潤挙動に関する基礎研究(II)”, JNC TN8430 2003-007 (2003).
- 50) 田中幸久, 中村邦彦, 小峯秀雄, 川西光弘：“ベントナイトの膨潤性に及ぼす人工海水濃度の影響”, 土木学会, 土木学会第57回年次学術講演会 CS10-037, pp.455-456 (2002).
- 51) 菊池広人, 棚井憲治, 松本一浩, 佐藤治夫, 上野健一, 鐵 剛志：“緩衝材の透水特性-II”,

- JNC TN8430 2003-002 (2003).
- 52) Sekiguchi H. et al. : "Induced anisotropy and time dependency in clays", Proc.9th ICSMFE, special session9, pp.229-237 (1977).
- 53) Adachi T. et al. : "Constitutive equations for normally consolidated clay based on elasto-viscoplasticity", Soil and Foundation, Vol.22, No.4, pp.55-70 (1982).
- 54) 重野喜政, 並河努, 高治一彦：“緩衝材長期力学挙動構成モデルの検討(II)”, JNC TJ 8440 2003-002 (2003).
- 55) 高治一彦, 重野喜政, 下河内隆文, 白武寿和, 田村博邦：“緩衝材長期力学挙動構成モデルの検討(III)”, JNC TJ8440 2004-007 (2004).
- 56) 嶺達也, 三原守弘, 加藤大生：“セメント系材料の影響を受けた環境条件での圧縮成型ベントナイトに対する核種の分配係数”, JNC TN8430 99-012 (1999).
- 57) 野本康介, 宮野前俊一, 松井幹雄, 梨本裕, 大久保誠介：“コンプライアンス可変型構成方程式を用いた増分法 FEM 解析手法の開発”, 土木学会第 58 回年次学術講演概要集, III-523 (2003).
- 58) 三原守弘, 大澤勉, 大井貴夫, 藤田英樹, 根岸久美, 横関康裕, 渡邊賢三：“TRU 廃棄物処分における N.F.水理場の変遷に関する研究(6)－セメント系材料の変遷と水理・力学特性の変化－”, 日本原子力学会, 2003 年秋の大会予稿集(第Ⅲ分冊), p.580 (2003).
- 59) 今井五郎：“わかりやすい土の力学”, 鹿島出版会 (1985).
- 60) 安田和弘, 横関康裕, 河田陽介, 吉澤勇二：“カルシウム溶出に伴うコンクリートの物理性能及び物質移動性能の変化に関する検討”, セメント・コンクリート論文集, No. 56, pp.492-498 (2002).