

# オーバーパックスの基本特性

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- ・わが国の様々な地質環境条件に対応したオーバーパックス腐食寿命評価の信頼性向上
- ・合理的なオーバーパックス設計・製作

## 2. 必要性

- ・支保工、緩衝材などニアフィールド構成要素による炭素鋼の腐食への影響、長期経過後の腐食挙動に関する基礎データ取得・拡充及び1000年間の寿命担保の確認（腐食生成物による影響など専門家により意見の異なる現象への取り組みも含む）
- ・代替オーバーパックスの基礎データの整備及び腐食寿命評価手法の確立



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- ・炭素鋼オーバーパックスの長期信頼性を向上させるため、緩衝材及び支保工の影響、腐食生成物堆積による影響(物性値取得も含む)などを実験的に把握するとともに、長期試験データの取得を行う。原位置試験に向けて試験概念検討、室内対応試験を実施
- ・合理的な炭素鋼オーバーパックス設計に資するため、溶接、材質など材料因子の影響を把握
- ・銅オーバーパックスに関し、信頼性の高い寿命評価を行うため、局部腐食発生条件、腐食の局在化、還元性環境での耐食性に及ぼす環境因子(硫化物等)の影響について実験データを取得するとともに、寿命評価手法を検討
- ・チタンオーバーパックスに関し、信頼性の高い寿命評価を行うため、還元性環境でのチタンの耐食性、水素吸収挙動、水素脆化に関する実験データを取得するとともに、寿命評価手法を検討

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
炭素鋼オーバーパックス	緩衝材、セメント、材料因子等の影響、腐食生成物物性・腐食への影響把握、長期試験開始				データ拡充、長期試験継続		平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査及び国の安全審査基本指針の策定に反映
・基礎データ拡充							
・原位置試験対応	試験概念検討、室内対応試験				幌延地下水特性の影響把握		
チタンオーバーパックス						長期試験などデータ拡充	
・基礎データ取得			腐食速度、水素吸収等のデータ取得				
・水素脆化の評価					最新データによる評価手法検討と寿命評価		
銅オーバーパックス						長期試験などデータ拡充	
・基礎データ取得			局部腐食、硫化物影響等のデータ取得				
・腐食寿命評価					最新データによる評価手法検討と寿命評価		

基盤情報の整備

基盤情報の拡充

### (3) 成果

#### ◆炭素鋼オーバーパックス

##### これまでの成果

- ・緩衝材中における炭素鋼の不動態化に及ぼすセメントの影響(図1)、緩衝材仕様の影響を把握(図2)

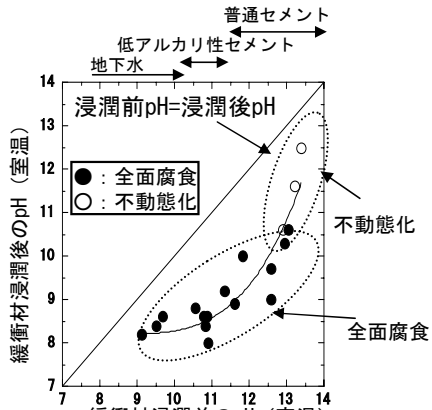


図1 緩衝材中における炭素鋼の不動態化条件

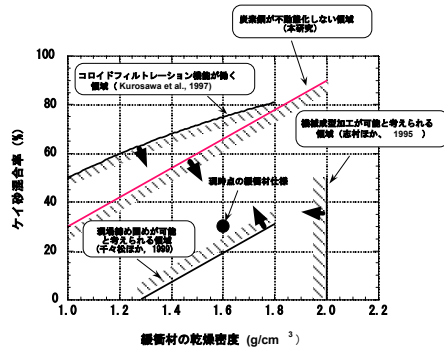


図2 緩衝材ケイ砂混合率と乾燥密度に対する炭素鋼の不動態化条件および緩衝材の特性

- ・マグネタイト共存下での炭素鋼の腐食機構に関する知見取得
- ・ナノインデント法を用いた実際の腐食生成物の弾性係数の測定の見通し
- ・20年以上の長期試験方法の検討と還元条件での長期試験開始



##### 期待される成果

- ・腐食局在化に及ぼすセメントの影響把握
- ・マグネタイトによる寿命への影響把握
- ・材質、溶接による影響把握
- ・腐食生成物の物性取得
- など基礎データの拡充、基盤情報の整備

#### ◆代替オーバーパックス

##### これまでの成果

- ・純銅のアノード分極特性に及ぼすアニオン濃度の影響(図3)と緩衝材の影響を把握

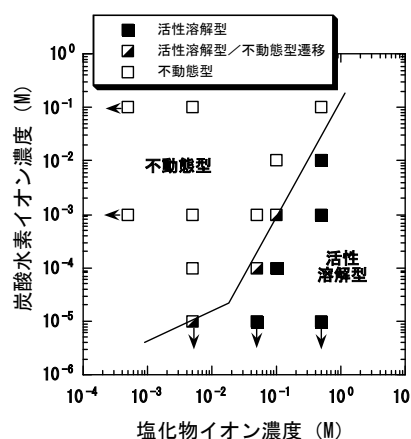


図3 純銅のアノード分極挙動に対する炭酸水素イオン濃度と塩化物イオン濃度の影響

- ・還元性環境におけるチタンの腐食速度、水素吸収率について、短期の試験データを取得(図4)

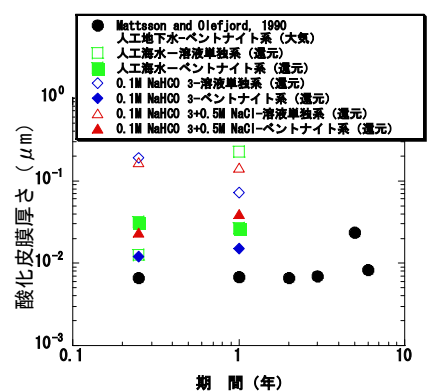


図4 還元性環境における純チタンの皮膜成長挙動



##### 期待される成果

- ・純銅の局部腐食生起・進展、硫化物影響に関する基礎データの拡充
- ・還元性環境におけるチタンのより長期の試験データ、水素脆化条件など基礎データの拡充
- ・代替オーバーパックスに関する基盤情報の整備と寿命評価手法の確立

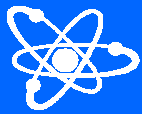
## 4. 技術開発計画・目標(平成15年度)

#### ◆炭素鋼オーバーパックス

- ・炭素鋼: 材料因子による腐食影響の検討の一環として、溶接部の耐食性を実際に溶接された試料を用いた実験により評価

#### ◆代替オーバーパックス

- ・銅: 還元性環境での銅の熱力学的安定性を損なう化学種である硫化物による腐食挙動への影響を実験的に評価
- ・チタン: 還元性環境での腐食速度、水素吸収挙動について、1年以上のデータを取得し、短期データ(平成13年度取得)と併せてより長期的な挙動を確認得られた基礎データ等の成果を基盤情報として整備



# 緩衝材の基本特性

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- わが国の様々な地質環境条件に対応しうる緩衝材の基本特性データベースとデータ取得手法の標準化に必要な基盤情報の提供

## 2. 必要性

- 実際の地質環境条件を考慮したデータの拡充とデータベースの整備
- パラメータ相互の関係式の一般化
- データ取得手法に関する標準化



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- 緩衝材基本特性データを構築するため、実際の地質環境条件を考慮した塩濃度や熱（温度）の影響に関するデータの拡充及びデータベース化
- 緩衝材の基本特性に関わる、主として有効粘土密度と透水係数や膨潤応力の相関関係について、既存データ及び新規取得データを基にした関係式の一般化
- 熱特性および膨潤応力特性データ取得手法の標準化に必要な基盤情報の整備

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
データの拡充及び関係式の一般化							平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査及び国の安全審査基本指針の策定に反映
・ 透水特性		塩濃度	▼	温度+塩濃度	▼	幌延地下水	
・ 膨潤特性			降水+温度	▼		海水+温度	
・ 力学特性			機械強度試験準備	▼		機械強度試験（品質劣化による影響）	
・ 熱特性			予備試験	▼	熱物性の取得	▼	
標準化						測定手法及び評価手法の標準化に必要な基盤情報の整理	
						データベースの構築	
						データベースの更新	
						基盤情報の整備	

### (3) 成果

#### ◆緩衝材基本特性データの拡充

##### これまでの成果

- 実際の地質環境条件を考慮した場合の海水条件による影響評価（人工海水による透水性データの拡充）

- 試験温度25℃、乾燥密度1.2~1.8Mg/m<sup>3</sup>の範囲における有効粘土密度(ρ<sub>b</sub>)と人工海水の透水係数(k)との間に関係式を導出  
 $k = \exp(-25.64 + 8.29\rho_b - 5.689\rho_b^2)$

- 透水性データに関しては、降水系に比べ、海水の影響により緩衝材の透水係数が一桁程度大きくなる傾向があることが判明（図1）

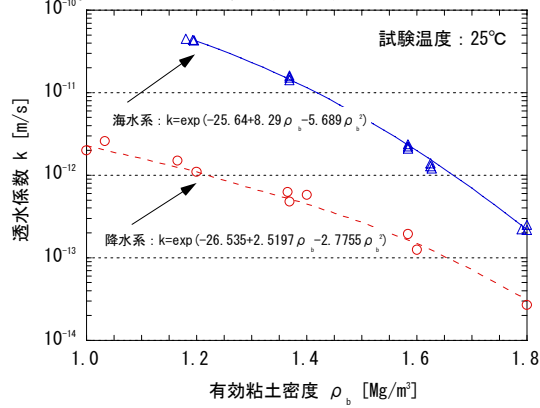


図1 人工海水および蒸留水を比較した透水係数

#### ◆データ測定手法の標準化に必要な基盤情報の整備

##### これまでの成果

- 供試体形状が緩衝材の膨潤特性に与える影響に関する検討  
⇒供試体形状を変えることによって、膨潤応力の値が変化することが判明（図2）

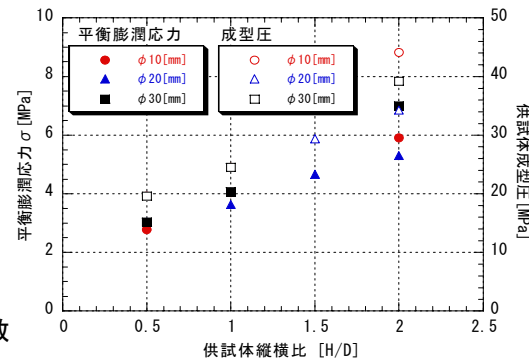


図2 供試体縦横比と平衡膨潤応力並びに成型圧との関係

- 異なる測定手法による緩衝材の熱特性データの比較検討  
⇒熱特性測定手法（線熱源法及び面熱源法）の比較検討の結果、手法の違いによる影響はほとんどない（図3）

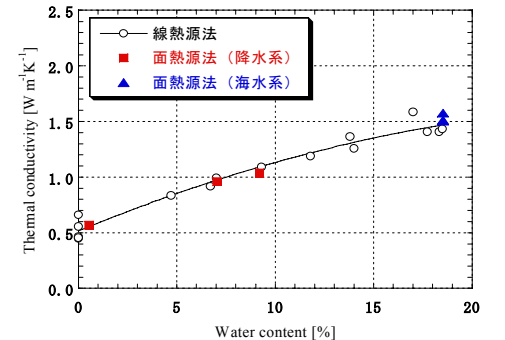


図3 熱伝導率の測定結果の比較

##### 期待される成果

緩衝材の透水、膨潤、力学及び熱特性に関する基本特性データベースの構築

##### 期待される成果

データ測定手法の標準化に必要な基盤情報の整備

## 4. 技術開発の計画・目標（平成15年度）

#### ◆緩衝材基本特性データの拡充とデータベース化

- 塩濃度や温度条件を考慮した各種基本特性データ取得の継続及び関係式の一般化
- 緩衝材の透水性に対する塩濃度依存性に関する検討を行うため、X線回折装置を用いた底面間隔測定試験の実施
- 緩衝材基本特性に関するデータベースのシステムを構築

#### ◆データ測定手法の標準化に必要な基盤情報の整備

- 供試体形状が緩衝材の膨潤特性に与える影響を評価するため、膨潤特性に関する詳細なデータの取得及び測定手法に関する検討の継続
- 面熱源法を用いた熱特性試験の詳細データの取得
- 膨潤特性及び熱特性データ取得の基本的手法を整備



# 人工バリアの性能保証に関する基盤情報整備

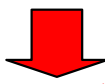
核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

人工バリアの長期挙動を中心として、人工バリア等の処分場を構成する各要素（オーバーパック、緩衝材等）に期待する性能（性能保証項目）を明確にし、この性能を保証する具体的な方法（評価方法、データベース等）を示す。  
これを基とし、設計段階における評価方法、用いるデータベース、製作・建設・施工における品質管理内容、モニタリングにおける計測項目等を示す。また、現状との比較により取り組むべき課題も抽出する。

## 2. 必要性

処分場の長期的安全性を確保するためには、人工バリア等の処分場を構成する各要素について処分場の長期的安全性の観点から性能保証項目（何を保証するのか）を明確にし、この項目がどのように保証されるかを具体的に示す必要がある。



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- 処分場の長期的安全性の観点から処分場を構成する各要素について、性能保証項目、それを評価する具体的な評価方法・データベース等を整理または他の個別研究の最新成果を取り入れ、見直しつつ、基盤情報として整備
- 上記の整理を基とし、幌延での原位置試験に向けて、人工バリア試験における計測項目・方法、人工バリアの定置に係わる機能の検討を実施  
これらは、人工バリア性能に関するモニタリング技術、定置装置の要求性能の基盤的な情報となる。

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
性能保証項目の明確化 ・保証項目の抽出 ・保証方法の具体化 ・基盤情報として整備	各要素の保証項目の整理		評価方法、データベース等	最新の成果による見直し			平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査及び国の安全審査基本指針の策定に反映
	幌延に向けた検討		海外の考え方の整理		計測方法・技術の調査・計測項目の考え方整理		
	腐食への影響確認試験	準備	長期試験				
幌延に向けた検討 ・計測項目・方法 ・定置に係わる技術	緩衝材均一膨潤予備試験		緩衝材均一膨潤試験、モデル開発		長期試験		

基盤情報の提供

基盤情報の更新・提供

### (3) 成果

#### ◆人工バリアの性能保証項目の明確化

##### これまでの成果

処分場を構成する各要素に対しての性能保証項目、保証する評価方法、第2次取りまとめを基とした現状との差異による課題の抽出

**要素**：オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材、プラグ、処分孔/坑道、各坑道

**時期**：廃棄体の定置開始からの時間の経過に伴う性能保証すべき項目の変化

設計段階での緩衝材性能保証項目整理表（部分）

時期	何を性能保証するか		どう保証するのか（方法、解説）		現状（B） 第2次取りまとめでの取り扱い	今後の課題 （C=A-B）
	緩衝材の役割	基準のポイント（緩衝材）	設計の要件	評価内容（A） （評価方法、データベース）		
廃棄体定置時～埋め戻し	廃棄体を支持する	廃棄体の荷重に対して有意な影響を受けないこと	廃棄体荷重でせん断破壊しないこと	乾燥状態から飽和状態までの過程で、廃棄体の自重によるせん断応力によるき裂の発生等の現象を、弾性（弾塑性）解析により把握する。	不飽和状態における廃棄体自重に対する評価は行っていない。	不飽和緩衝材の力学特性（破壊強度）データ拡充。 現象把握のための弾性解析や弾塑性解析の実施。
埋め戻し	放射線を遮蔽する	廃棄体からの放射線に配慮されていること	遮蔽を考慮した埋め戻し材厚さとすること	緩衝材、埋め戻し材（処分孔）の仕様に基づき、信頼性の高い計算コードにより遮蔽計算を行い、埋め戻し工程において放射線の影響が無いことを確認する。	埋め戻し材と部表面における腐食当量率を1次元輸送計算コードを用いて計算、処分坑道内を非管理区域となる埋め戻し材の厚さを設定した。	計算に用いるための緩衝材、埋め戻し材材料の放射線減衰係数の把握。 実際の環境に基づいた遮蔽計算の実施。
緩衝材膨潤中～膨潤後	緩衝材の膨潤を抑制する	水みちが過ぎず、緩衝材厚さが一定以上減少しないこと	十分な膨潤能力を有すること	各種条件下における膨潤能力を、標準化された実験手法に基づいて定量化する。	降水系地下水、室温条件下（一部高温）での特性を定量化しているが、海水系や温度条件を考慮したデータが不十分である。	埋戻度、密度、温度等を考慮したデータ取得、各パラメータとの関係の一般化。 膨潤特性試験手法の標準化に関する基盤情報整備。



##### 期待される成果

人工バリア等の各要素について、性能保証に係わる項目が明確となり、基盤情報として整備

#### ◆幌延に向けた検討

##### これまでの成果

- 人工バリア試験での計測項目・方法に関して、海外における人工バリア性能モニタリングに関する考え方、検討状況を調査・整理
- 人工バリアの定置に係る技術の検討として、緩衝材の定置精度（ブロック隙間、岩盤-緩衝材間等）の腐食への影響や、緩衝材膨潤挙動に関する予備試験を実施。隙間膨潤試験では、短期のデータを取得。腐食への影響試験では、短期では顕著な影響が無いことを確認。

（図1、図2、図3）

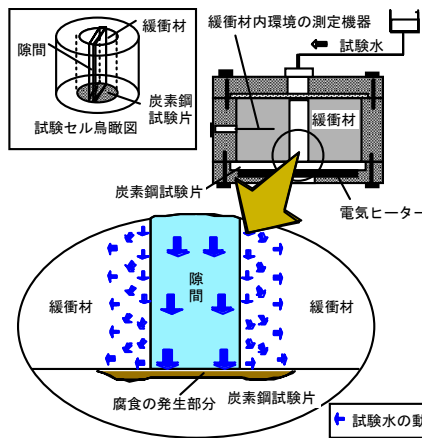


図1 緩衝材ブロック隙間を模擬した腐食試験のイメージ

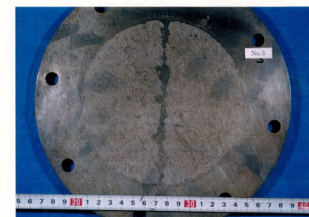


図2 腐食試験後の炭素鋼試験片外観例（除錆後）

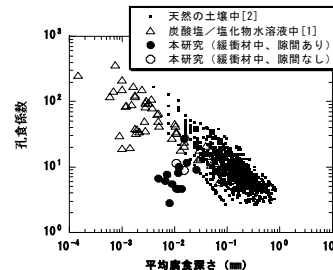


図3 腐食試験における炭素鋼の平均腐食深さと孔係数の関係

##### 期待される成果

人工バリア性能に関するモニタリング技術、定置装置の要求性能を取りまとめるための基盤情報として提供

## 4. 技術開発計画・目標（平成15年度）

### ◆人工バリアの性能保証項目の明確化

- 個々の処分技術に関する研究の最新の情報を取り込みつつ、人工バリア等の性能保証に関する評価手法、データベース、課題の体系化を実施

### ◆幌延に向けた検討

- 人工バリア試験のための計測項目・方法の検討として、温度、水理、応力、地下水化学等を対象とした原位置計測技術・方法に関する国内外の調査及び整理を実施
- 人工バリアの定置に係る検討として、緩衝材定置における緩衝材の隙間膨潤挙動試験を継続して実施し、データを拡充するとともに、隙間膨潤挙動を評価するモデル構築を検討

これらを基盤情報として取りまとめて実施主体に提供

# 人工バリア等の変形・変質等の長期挙動に関する研究

## 核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

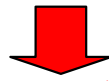
### 1. 目的

- 実際の地質環境条件に基づく人工バリアの長期変形・変質挙動に係る評価手法の提供

### 2. 必要性

実際の地質環境条件で想定されるシナリオに対し、人工バリアの長期性能を保証するために、基盤データ蓄積、評価モデルの信頼性向上が必要

- 堆積岩と緩衝材の連成挙動による緩衝材の塑性流動
- 緩衝材の流出による密度低下
- セメント（支保）影響による緩衝材の変質



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

### 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

#### (1) 目標

- ◆緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究
  - 各種モデルの適用性比較と信頼性の高いモデルを選定
  - 緩衝材／岩盤の連成挙動の把握
  - 処分環境変化（水質、温度、乾湿繰り返し）影響の把握
- ◆緩衝材の流出・侵入挙動に関する研究
  - 侵食現象におけるコロイド発生を定量的に評価
  - 緩衝材の密度低下による人工バリア性能への影響評価と長期予測モデルの構築
- ◆人工バリアの変質・劣化挙動に関する研究
  - 鉄腐食生成物、セメント材料との相互作用を評価

#### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究 ・信頼性の高いモデル選定	室内試験検証によるモデル選定			▼ 模型試験によるモデル検証			平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査に反映
	部分的連成評価			▼ 完全連成評価			
緩衝材／岩盤の連成挙動把握 ・処分環境変化影響把握	岩盤熱、乾湿繰り返し影響把握			▼ 海水影響評価等			
	流速と発生粒子径分布関係の把握			▼ 評価手法構築			
緩衝材の流出・侵入挙動に関する研究 ・コロイド発生の定量的評価 ・緩衝材密度低下影響評価	降水系データ蓄積			▼ 評価手法構築			
	・海水系データ蓄積 ・X線CT密度計測			▼ 評価手法構築			
人工バリアの変質・劣化挙動に関する研究 ・鉄腐食生成物、セメント材料との相互作用評価 ・変質・劣化挙動のレビュー	・鉄型化変質加速試験 ・高アルカリ下での溶解速度式導出			▼ 人工バリア特性への影響把握			
				▼ 専門委員会における検討			

#### (3) 成果

##### ◆緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究

###### これまでの成果

- 緩衝材長期力学特性評価に適したモデルの抽出及び室内試験との対比によるモデルの適用性比較  
→足立-岡モデルの方がやや適用性あり（図1）
- 乾湿繰り返し、熱影響に対する大久保モデルパラメータの評価及びニアフィールドへの影響評価  
→クリープ応力度が小さいほど乾湿繰り返し、熱の影響による破壊時間の短縮が顕著（図2）

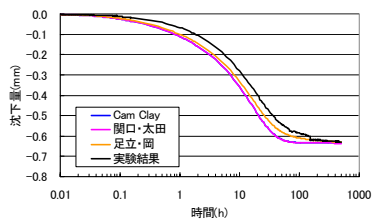


図1 モデルの適用性比較（緩衝材の力学的変形挙動）

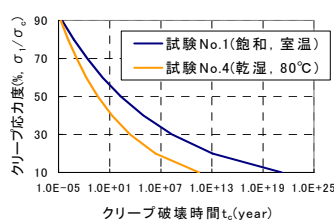


図2 長期影響予測（岩盤の力学的変形挙動）

###### 期待される成果

緩衝材及び岩盤の基本的な長期力学挙動評価モデルの構築

##### ◆人工バリアの変質・劣化挙動に関する研究

###### これまでの成果

- 室内試験やナチュラルアナログとの連携によりベントナイトの鉄型化の可能性把握
- 鉄型ベントナイトの特性把握  
→Ca型に類似するが、自己シール特性は発揮する（図4、図5）

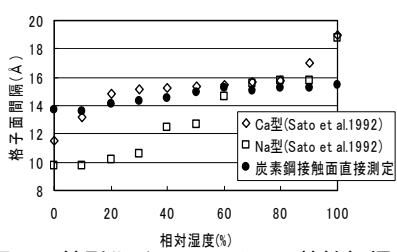


図4 鉄型化ベントナイトの特性把握（鉄型がCa型と類似挙動）

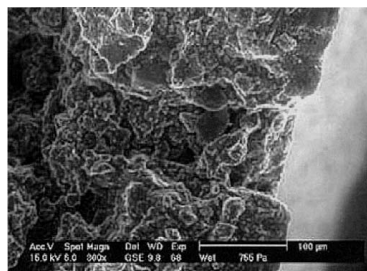


図5 自己シール確認

- pHをパラメータとしたスメクタイトの溶解速度データ取得により溶解速度式の導出

###### 期待される成果

- 鉄腐食生成物及びセメントが人工バリア特性に与える影響の定量的評価
- 変質・劣化挙動及び評価手法のレビューに基づく緩衝材長期性能の確認

##### ◆緩衝材の流出・侵入挙動に関する研究

###### これまでの成果

- 流出  
流速-排出コロイド径の関係を把握  
→流速増加に伴い侵食粒子径も大
- 侵入  
亀裂幅、ベントナイト含有量をパラメータとした時間と侵入距離の関係を把握  
→関係式  $y = A(d, Bc)\sqrt{t}$  で表すことが可能（図3）
- 非破壊検査（X線CT法）及び模型試験による密度分布の把握
- 海水系侵入挙動データ拡充
- 予測モデルの妥当性検討

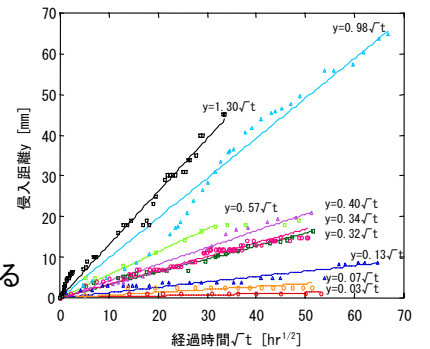


図3 ケイ砂混合率、亀裂幅及び乾燥密度をパラメータとした侵入距離と時間の関係

###### 期待される成果

- コロイド流出量の定量的評価手法の構築
- 侵入距離および密度低下の定量的評価手法の構築

### 4. 技術開発計画・目標（平成15年度）

- ◆緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究
  - クリープ破壊試験の継続と試験結果にもとづく破壊挙動評価モデルを選定
  - 長期圧密試験、クリープ試験などの長期試験の実施
  - 模型試験（腐食膨張模擬試験、ニアフィールド模擬試験）の継続と評価モデルによる検証
- ◆緩衝材の流出・侵入挙動に関する研究
  - 緩衝材の粘性係数の取得
  - 非破壊検査（X線CT法）による侵入域密度分布を把握
  - 海水系のデータ取得
- ◆人工バリアの変質・劣化挙動に関する研究
  - 緩衝材の変質劣化における課題解決策の検討
  - 鉄との相互作用評価のための変質加速試験
  - 高アルカリ条件でのスメクタイト溶解試験による溶解速度式の導出



# 熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究

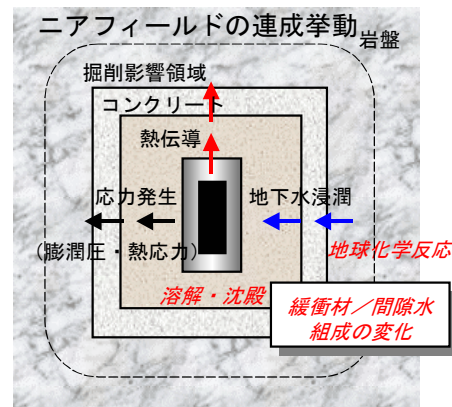
核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- 熱的、水理的、力学的、化学的なプロセスが相互に影響を及ぼし合うニアフィールド連成挙動の時間的/空間的変遷を数値実験に基づき現実的に理解、把握する

## 2. 必要性

- 人工バリア設計評価(オーバーパック腐食等)や性能評価(核種移行等)の信頼性向上に不可欠なニアフィールド環境条件(緩衝材間隙水化学など)のリアリティ向上
- 実際の地質環境におけるニアフィールドの時間的/空間的変遷の理解、把握
- 長期的かつ複雑な現象について異なる専門家間での理解共有



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

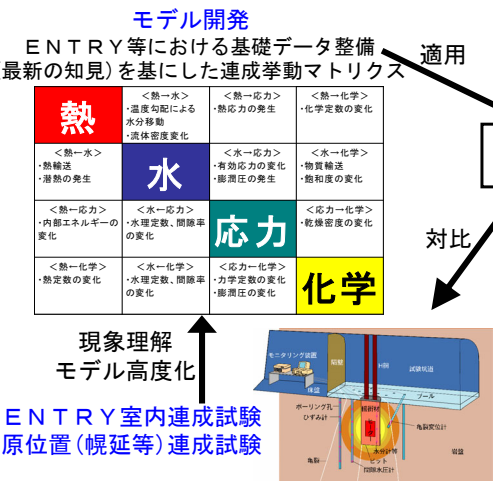
## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの開発
- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの検証・確認
- 開発コードによるニアフィールド連成挙動数値実験

国際共同研究でのベンチマークテスト

ニアフィールド連成挙動数値実験



人工バリア設計や性能評価の信頼性向上  
実施主体の概要調査及び国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

### (2) スケジュール

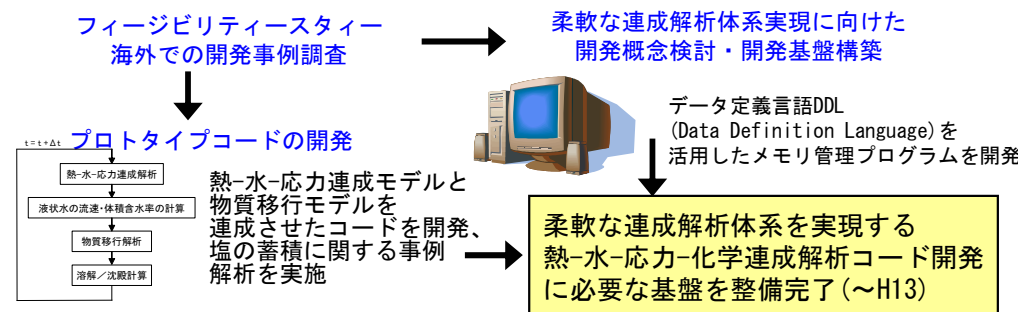
	12	13	14	15	16	17	反映先等
連成モデル/解析コードの開発 ・開発基盤整備	フィジビリティスタディ						平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査及び国の安全審査基本指針の策定に反映
・基礎的連成モデルに基づく解析コード構築	開発基盤構築・解析コード試作						
・連成モデル/解析コードの高度化		鉱物の溶解/沈殿、スメクタイトのイオン交換			緩衝材変質、セメント影響等の考慮		
連成モデル/解析コードの検証・確認	DECOVALEX III				DECOVALEX IV		
・国際共同研究でのベンチマークテスト			試験設備改良			データ取得	
・ENTRYにおける室内連成試験							
ニアフィールド連成挙動数値実験		仮想地質環境に対する試験解析			具体的地質環境(幌延でのボーリングデータ等を用いた解析)		

仮想地質環境に対するニアフィールド連成挙動数値実験  
具体的地質環境に対するニアフィールド連成挙動数値実験

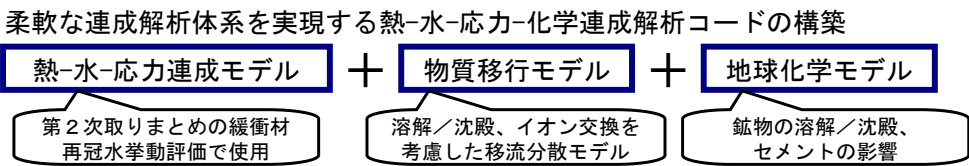
### (3) 成果

- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの開発
- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの検証・確認
- 開発コードによるニアフィールド連成挙動数値実験

#### これまでの成果



#### 期待される成果



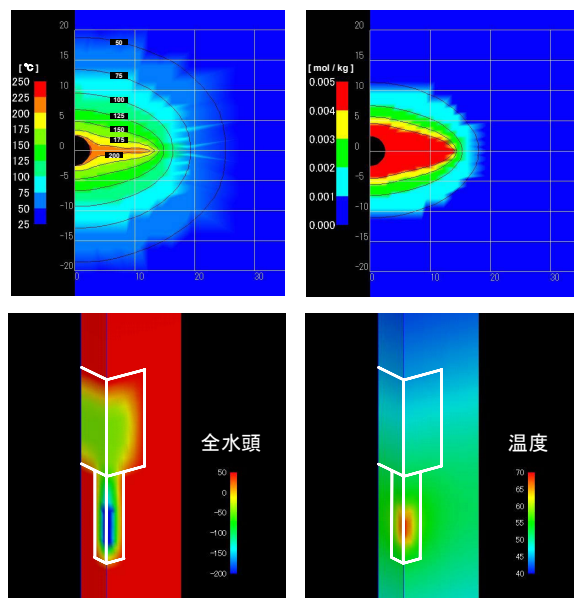
- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの検証・確認
- 開発コードによるニアフィールド連成挙動数値実験

#### これまでの成果

- 国際共同研究 DECOVALEX III にて、原位置人工バリア試験等の予測解析(下図の上)やベンチマークテスト解析を実施(下図の下)

#### 期待される成果

- 検証・確認を踏まえた連成モデル/解析コードによる具体的地質環境に対するニアフィールド連成挙動数値実験



ユッカマウンテン(DST試験)をテーマとした予測解析例

加熱開始4年後の温度分布(左)及びS<sub>i</sub>濃度分布(右)

緩衝材再冠水挙動をテーマとしたベンチマークテスト解析例

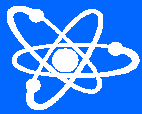
廃棄体定置10年後の全水頭分布(左)及び温度分布(右)

## 4. 技術開発計画・目標(平成15年度)

- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの開発
  - 平成14年度開発の熱-水-応力-化学連成解析コードについて、取り込み事象の拡張(緩衝材の変質挙動、セメント影響等の考慮)等の高度化を実施
- 熱-水-応力-化学連成モデル/解析コードの検証・確認
  - 国際共同研究 DECOVALEX IIIにおいて、原位置人工バリア試験結果との対比、他国の連成モデル/解析コードとの比較
  - ENTRYの連成試験設備COUPLEにて、ニアフィールド熱-水-応力-化学連成試験を開始し、データ取得を実施
- 開発コードによるニアフィールド連成挙動数値実験
  - 平成15年度開発の連成解析コードにて、仮想地質環境に対するニアフィールド連成挙動数値実験を実施

### 連成試験設備 COUPLE





# 人工バリア性能の維持限界条件に関する研究

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- ・実際の地質環境条件に基づく人工バリア性能の安全裕度を評価するための手法の提供

## 2. 必要性

- ・緩衝材中のガス移行挙動に関する基礎データの拡充及び評価モデルの構築
- ・断層運動による人工バリアのせん断変形挙動に関する基礎データの取得及び限界条件の明示



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- ・炭素鋼オーバーパックの腐食による水素ガス発生の影響については、実際の地質環境条件（地下水圧や温度など）を考慮したデータの拡充ならびにX線CT法を用いたメカニズムの理解を通して、ガスの移行挙動を定量的に評価するためのモデルを開発する。
- ・断層運動による人工バリアのせん断変形については、人工バリアの限界性能を実験的並びに解析的に明らかにするとともに、限界条件を明示する。

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
緩衝材ガス透気回復挙動に関する研究 ・データ取得 ・現象理解 ・モデル開発	降水+室温	降水+室温	降水+温度	降水+温度	海水+室温	海水+室温	平成15年度末及び平成17年度末に実施主体に情報提供
	パラメータ相互関係把握		X線CT法による可視化研究				
	二相流モデルの限界把握/モデル開発		ガス移行モデルの改良・高度化		基本モデルの構築		
人工バリアせん断応答挙動に関する研究 ・データ取得 ・解析評価	予備試験/装置の改良		飽和/せん断試験によるデータの取得				限界条件の明示
	予備解析		ABAQUSを用いたシミュレーション		基本的影響評価		

### (3) 成果

#### これまでの成果

- ・ガス移行挙動については、地下水圧を考慮した試験や可視化研究に関する予備的検討などを進め、試験結果によりガス移行経路の閉塞条件を把握（図1）

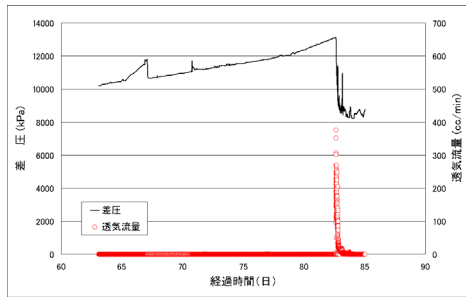
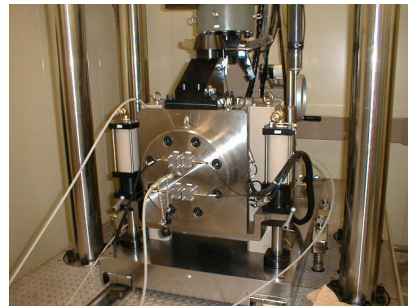
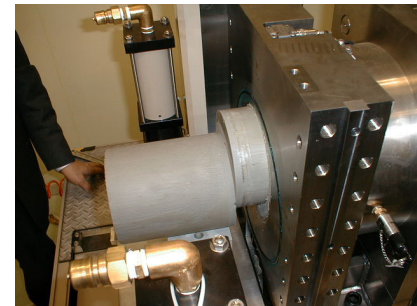


図1 地下水圧条件を考慮したデータの取得

- ・人工バリアのせん断変形挙動については、試験結果のシミュレーションを行い、解析結果と試験結果がほぼ一致することを確認（図2）



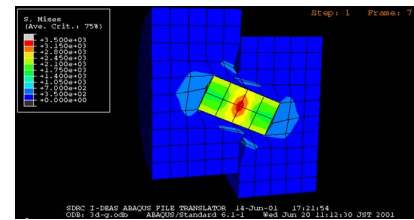
(試験装置)



(試験体取り出し状況)



(せん断後の試験体)



(シミュレーション解析)

図2 断層模擬試験の概要

#### 期待される成果

- ・処分システムに与える影響を定量的に評価するための手法を開発するとともに、限界条件を明示

## 4. 技術開発計画・目標（平成15年度）

### ◆緩衝材ガス透気回復挙動

- ・ガス移行試験装置を用いて、地下水圧や温度をパラメータとした透気特性データを拡充
- ・X線CT法を用いた可視化試験やガス移行試験による現象の把握を通してガス移行挙動に関する基本モデルを構築
- ・国際ワークショップを開催し、これまでのモデル開発の妥当性についてチェックアンドレビューを実施

### ◆人工バリアせん断応答挙動

- ・断層模擬試験装置を用いた変形挙動データの拡充を図り、断層運動が人工バリアに与える影響を評価



# 人工バリア等のナチュラルアナログ研究

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- 人工バリア等の長期的な変質・劣化挙動や核種閉じ込め機能に係る評価手法について自然界における実データを用いた時間的検証を行うとともに、その結果に基づいて国民の理解促進を図る。

## 2. 必要性

- 処分システムの天然環境における長期健全性について、室内実験では不可能な時間スケールの事例を示せる研究方法として必要である。
- 第2次取りまとめの評価の保守性の確認については、意見の異なる専門家から出される疑問について長期事例の提示ができる。



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

ガラスの溶解変質：

深部における長期埋没火山ガラスの変質状況・埋没環境評価に基づきガラス表面変質層の核種浸出バリア機能を評価

金属腐食：

考古学的鉄器試料を用いた長期腐食挙動調査により、従来データが少なかった1000年前後の腐食する見積もりの妥当性を提示

ベントナイト変質：

高アルカリ条件下でのベントナイト変質事例調査によりセメントによる影響評価を実施

核種移行：

処分システムに類似したウラン鉱床を中心とした放射性元素分布調査により性能評価手法の保守性を提示

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
長期間埋没火山ガラスの変質状況・埋没環境評価		深層ボーリングコア調査					
考古学的鉄器試料を用いた長期腐食挙動調査	国内事例調査			出雲大社等出土事例調査			平成17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査に反映
高アルカリ条件下でのベントナイト変質事例調査		国内事例調査		マカーリン国際共同研究参加			
処分システムに類似したウラン鉱床を中心とした放射性元素分布調査			ウラン鉱床事例調査				

### (3) 成果

◆深部における長期間埋没火山ガラスの変質状況・埋没環境評価

**これまでの成果**

一部モンモリロナイト、沸石への変質を検出  
(深度約2000m、推定約50万年天然ガラス)



**期待される成果**

現在のガラス溶解挙動の保守性を確認

◆考古学的鉄器試料を用いた長期腐食挙動調査

**これまでの成果**

約750年前の還元環境であったと推定される埋没鉄器の腐食データを入手  
(図1、図2)

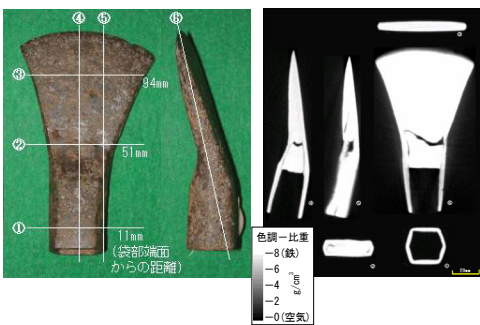


図1 約750年前の埋没鉄器の鋳(鑄：チヨウナ) (左)とそのX線CT画像(右)

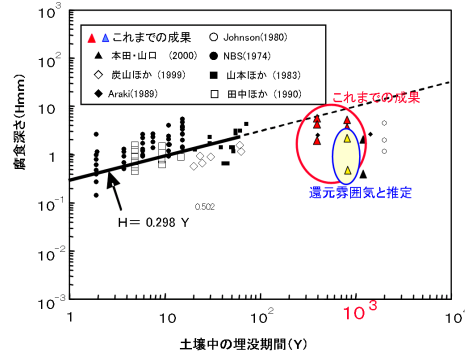


図2 長期腐食に関するナチュラルアナログデータ

**期待される成果**

腐食寿命評価の妥当性が1000年程度の実データにより提示

◆高アルカリ条件下でのベントナイト変質事例調査

**これまでの成果**

ヨルダン・マカーリン地区におけるpH12.9の地下水湧出地点での変質に関する基礎情報を入手



**期待される成果**

高アルカリ影響に関する世界的に貴重なデータを入手し、粘土鉱物の変質評価に関する妥当性を示す事例を提示

◆処分システムに類似したウラン鉱床を中心とした元素分布調査

**これまでの成果**

シガーレイクウラン鉱床のサンプルを入手し分析を開始した。一部、粘土中でウラン二次鉱物生成データを取得(図3、図4)

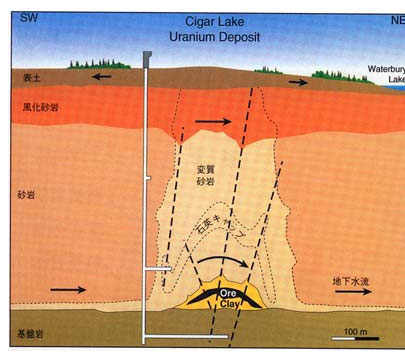


図3 シガーレイク鉱床の構造(AECL, 1994)

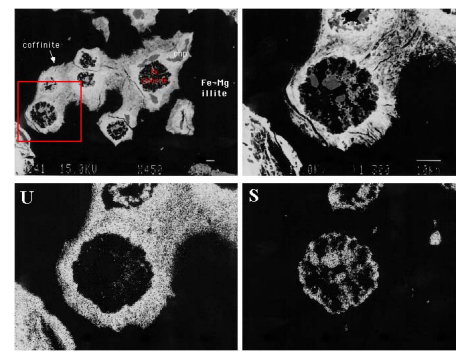


図4 粘土鉱物周辺に析出したウラン二次鉱物(coffinite)の画像

**期待される成果**

性能評価で使用される分配係数に対して保守性を示す事例を提示

## 4. 技術開発計画・目標(平成15年度)

◆深部における長期間埋没火山ガラスの変質状況・埋没環境評価

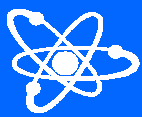
他の観測用井掘削時のボーリングコアに関する調査を引き続き実施し、データの蓄積を図り、より詳細な評価を実施

◆考古学的鉄器試料を用いた長期腐食挙動調査

出雲大社遺跡について、埋没環境の地球化学データ取得を実施し、試料の置かれていた酸化還元環境を評価

◆高アルカリ条件下でのベントナイト変質事例調査

国際共同研究を通じてマカーリン地区で採取した岩石を分析し、岩石中の粘土鉱物等の変質やヨウ素などの物質移行を評価



# 閉鎖技術の検証試験

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

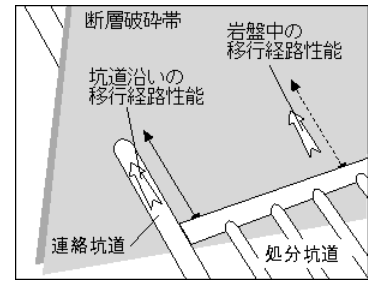
## 1. 目的

- 閉鎖システムを構成する埋め戻し、プラグ及び立坑（すなわち人工物）が支配的な核種移行経路にならないことを示す。

## 2. 必要性

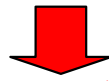
わが国の処分概念に適用する閉鎖性能評価と閉鎖技術基盤情報の提供

- 閉鎖シナリオ構築
- 閉鎖システムの核種移行評価
- 閉鎖性能の評価および基盤情報の整備



閉鎖性能の概念例

〔処分パネルー断層破碎帯間〕  
ここでは、連絡坑道が人工物



実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

### (1) 目標

- 閉鎖シナリオを構築するため、実際の地質環境条件で得られた坑道周辺岩盤等の水理特性等を整理
- シナリオに基づき閉鎖システム（埋め戻し、プラグおよび立坑）の核種移行評価を実施
- 海外の地下研で得られたデータに基づき、結晶質岩における閉鎖性能評価及び基盤情報を整備

### (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等	
閉鎖シナリオ構築		閉鎖シナリオの構築/評価					平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査に反映	
		掘削影響領域の評価手法						
閉鎖システム（埋め戻し、プラグおよび立坑）の核種移行評価		検証データ（埋め戻し、プラグ）の取得						
		検証データを取り入れた閉鎖システムの核種移行評価						
結晶質岩における閉鎖性能評価及び基盤情報の整備				結晶質岩に対する閉鎖技術の性能確認を原位置試験により例示		性能評価手法及び基盤情報の整備		

### (3) 成果

#### ◆閉鎖シナリオ構築

##### これまでの成果

- 閉鎖に関する諸外国の考え方国際ワークショップ等への参加：
  - 具体的な評価例はないが、岩盤と同等程度の性能を要求
  - 水平坑道埋め戻しの場合、天盤周辺の施工困難さを例示
- パネルに接続する連絡坑道等の掘削影響領域の影響評価（図1）
- プラグ等に用いるコンクリート材料等の影響評価

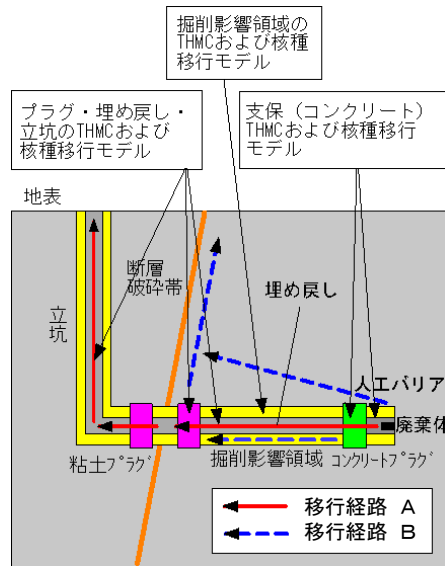


図1 閉鎖技術に係る移行経路模式図

##### 期待される成果

- わが国の処分概念、地質環境条件における閉鎖シナリオの構築
- 掘削影響領域の水理特性の評価情報の整理（広がり、特性変化の程度）

#### ◆閉鎖システム（埋め戻し、プラグ及び立坑）の核種移行評価

##### これまでの成果

T S X試験におけるプラグからの湧水量計測及び解析評価から、プラグからの湧水量は小さく、湧水はプラグ周囲の掘削影響領域から発生していることが分かった。  
解析結果はこれまでの計測値を表現できることが分かった。  
また、プラグ切欠き部の有効性が示された。

（図2、図3、図4）

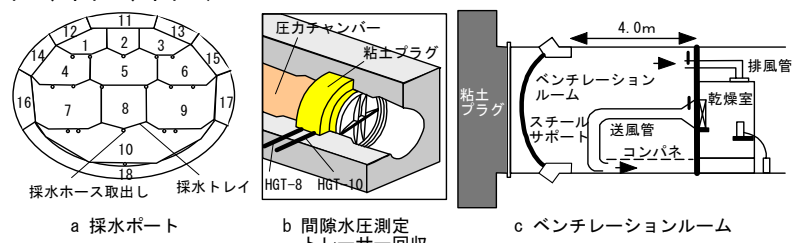


図2 粘土プラグ周辺における湧水測定ポイント

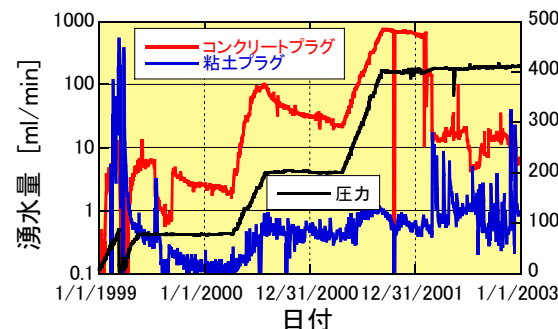


図3 加圧室圧力及び湧水量の経時変化

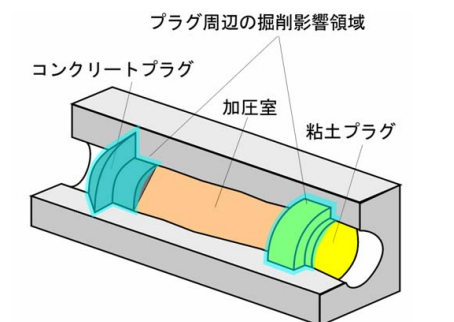


図4 試験結果から推測される湧水経路

## 4. 技術開発計画・目標（平成15年度）

#### ◆閉鎖シナリオ構築

- 閉鎖シナリオの構築及び関連する情報の整備
- 掘削影響領域の岩盤水理挙動の評価手法の検討（国内外）

#### ◆閉鎖システム（埋め戻し、プラグおよび立坑）の核種移行評価

- 結晶質岩における検証試験
  - T S X試験 プラグの止水性能に関する検証データ取得の継続
  - P R P試験 埋め戻しの検証データ取得の継続
- 解析評価
  - 粘土プラグの再冠水解析、プラグ及び周辺岩盤における水理解析（T S X試験）
  - 人工バリア及び周辺岩盤におけるTHM連成挙動評価モデルの3次元化（P R P試験）

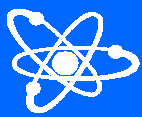
#### ◆結晶質岩における閉鎖性能評価および基盤情報の整備

- 閉鎖性能評価手法の検討の継続
- 検証された施工技術に基づく閉鎖システム性能のデータベース化の継続

##### 期待される成果

海外共同研究で検証されたプラグ施工技術に基づく閉鎖性能評価手法の構築（結晶質岩への適用性）





# 人工材料の開発

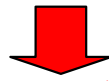
核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

## 1. 目的

- ・処分事業において普通コンクリートの代替材料の位置付けにある低アルカリ性コンクリート\*を技術的実現性のあるものとする事を目的とする。
- \*：普通ポルトランドセメント（OPC）にシリカヒューム（SF）とフライアッシュ（FA）を多量に混入させることにより、高pHの原因である水酸化カルシウムの生成を抑制する。現状：OPC：SF：FA=2：2：6および4：2：4の配合で検討。

## 2. 必要性

- ・技術的実現性のあるものとするためには実工事（平成17年からの幌延の地下施設建設）での実績が必要であり、そのためには事前に現状の施工管理技術で施工が可能であり、施工された構造物が要求品質を満足することを確認しておく必要がある。

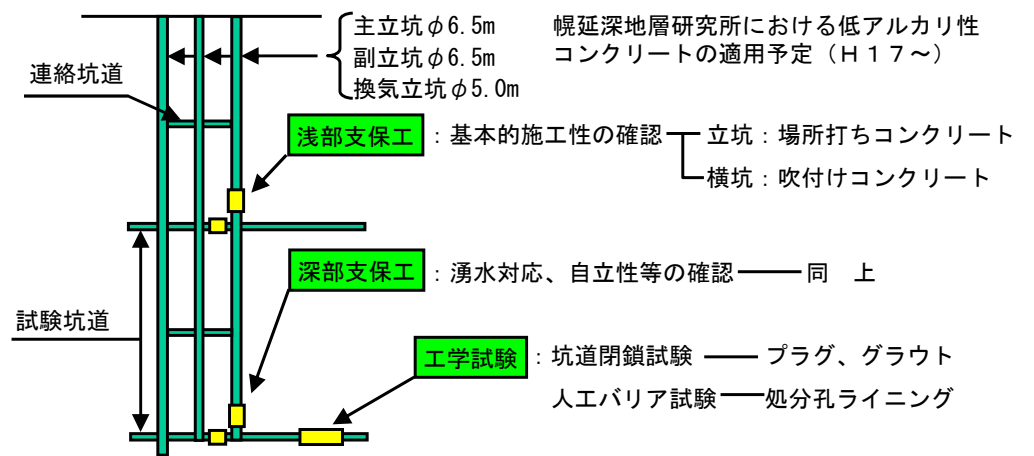


実施主体が進める概要調査地区の選定及び概要調査並びに国の安全審査基本指針の策定に必要な基盤情報

## 3. 技術開発の目標・スケジュール及び成果

(1) 目標 及び (2) スケジュール

	12	13	14	15	16	17	反映先等
施工性の確認 ・吹付けコンクリート ・場所打ちコンクリート ・グラウト	実規模実験		材料選定	施工性確認⇒注入効果確認			平成15年度末及び17年度末に情報を提供し、実施主体の概要調査に反映
目標品質の達成 ・圧縮強度吹付け18N/mm <sup>2</sup> 場所打30N/mm <sup>2</sup> ・pH<11(混練後5年で)	室内実験⇒目標達成確認		長期pH低下状況調査				
品質変動の把握 ・FA品質の影響把握	室内実験		室内実験				
耐久性の評価 ・鉄筋腐食に対する耐久性確認	屋外暴露試験⇒長期腐食状況調査		耐久性評価・対応策				



適用性の見通し → 確認

### (3) 成果

#### ◆施工性の確認

これまでの成果

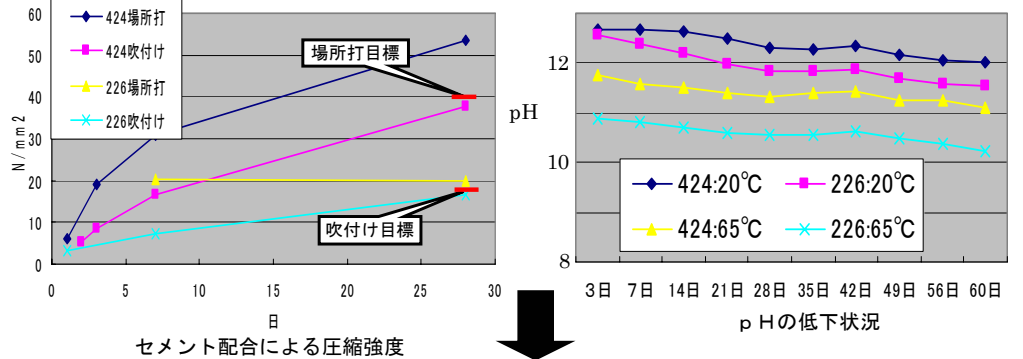


期待される成果

現状技術で施工可能であることを確認

#### ◆品質の確認

これまでの成果



期待される成果

目標強度を達成するとともにpHが11以下となるコンクリート配合を選定

#### ◆品質変動の把握

これまでの成果

FA品質が圧縮強度に及ぼす影響を把握

期待される成果

品質変動を考慮した上で目標強度が達成しうることを確認

#### ◆耐久性の評価

これまでの成果

屋外暴露試験による鉄筋腐食の評価



期待される成果

鉄筋コンクリート構造物としての耐久性を確認

## 4. 技術開発計画・目標（平成15年度）

- ◆施工性：選定されたグラウト候補材料の注入実験 ⇒ 施工性、グラウト効果の確認
- ◆目標品質：pH低下挙動の継続計測 ⇒ pH11以下となる期間の予測評価
- ◆幌延の地下施設における施工性確認の計画立案

- ◆品質変動：FA品質とコンクリート圧縮強度の相互関係の分析 ⇒ 圧縮強度の予測評価
- ◆耐久性：暴露試験の継続、鉄筋腐食調査 ⇒ 構造物耐久性評価等の対応策の立案