

【小特集】

地層処分基盤研究施設における
第二期試験設備の概要

内田 雅大 菅野 毅 棚井 憲治
柴田 雅博 佐々木康雄 黒澤 達
澤田 淳 井尻 祐二 千々松正和

東海事業所 環境技術開発部

資料番号：102-4

An Overview of ENTRY-2 Program - Engineering Scale
Laboratory Experiments for Geologic Disposal

Masahiro UCHIDA Takeshi KANNO Kenji TANAI
Masahiro SHIBATA Yasuo SASAKI Susumu KUROSAWA
Atsushi SAWADA Yuji IJIRI Masakazu CHIJIMATSU
Waste Technology Development Division, Tokai Works

東海事業所環境技術開発部においては、地層処分基盤研究施設 (ENTRY) 第二期試験設備の増設を平成9年3月に完了した。

第二期試験設備においては、地層処分システムの性能評価上重要な諸現象の特定、詳細モデルの開発および性能評価入力データの取得を目的とした8種類の主要な試験を行う。具体的には、緩衝材中のガスの透気、緩衝材の亀裂中への流出、地下水の水質形成、不均質多孔質媒体中の水理・物質移行、亀裂ネットワーク中の水理・物質移行、低酸素濃度下での化学平衡データの取得、坑道周辺の不飽和領域の発生、コロイド移行に関する試験装置の整備を行った。

At the Waste Technology Development Division, PNC Tokai Works, the second-generation test equipment was completed in March, 1997 as an extension to the Engineering Scale Test and Research Facility (ENTRY).

Eight major facilities has been prepared to identify important features/processes for performance assessment of geologic isolation system, to develop detailed model, and to obtain input data for performance assessment. Eight facilities comprise equipments for testing gas penetration through the bentonite buffer, extrusion and erosion of the bentonite buffer, groundwater evolution, flow and mass transport within heterogeneous porous media, flow and mass transport within fracture network, acquisition of chemical data under reducing condition, desaturation around drift, and colloidal transport.

キーワード

廃棄物処分、室内実験、モデル開発、ベントナイト浸食/流出、ガス透気、地下水化学、多孔性媒体、亀裂ネットワーク、不飽和領域、コロイド

Waste Disposal, Laboratory Experiments, Model Development, Bentonite, Extrusion/Erosion, Gas Penetration, Groundwater Chemistry, Porous Media, Fracture Network, Desaturation, Colloid

1. はじめに

東海事業所環境技術開発部においては、地層処分研究開発に資するため地層処分基盤研究施設 (Engineering Scale Test and Research Facility、以下通称 ENTRY と呼ぶ) の第一期試験設備における試験を1993年より開始した。本年3月に、より複雑かつ大型の試験を実施するための第二期試験設備の増設が完了したので、設備の概要を紹介する。

地層処分においては、1 万年以上の長期にわたる安全性を評価する必要があるが、この場合には、実験や運転による直接的な安全性の評価が不可能であり、モデルを用いた間接的な安全性の評価が必要となる。このため、モデル化すべき現象を特定し、そのモデルおよびデータの信頼性を確保することが重要な課題となる。

このため、ENTRY においては、①地層処分システムの性能評価上重要な現象の特定、②地層処

分システムの性能評価上重要なプロセスに関する詳細モデルの開発、および③性能評価入力データの取得を目的とした研究を実施している。

ENTRYの特徴の一つは、工学規模の試験が可能なことである。モデル開発またはモデルの検証を行うため、通常、実験室規模での試験または野外で行う原位試験が行われるが、前者はスケールの小さく、後者はスケールが大きいが実験の制御が十分に行えないという欠点がある。この点、ENTRYでは、工学規模での試験を行うことにより、実験室より大型かつ複雑な試験を行うことが可能であるとともに、原位試験に比べ正確に制御した試験を行うことが可能である。

第二期試験設備においては、緩衝材中のガスの透気、緩衝材の亀裂中への流出、地下水の水質形成、低酸素濃度下での化学平衡データの取得、コロイド移行、亀裂ネットワーク中の水理・物質移行、不均質多孔質媒体中の水理・物質移行、坑道周辺の不飽和領域の発生に関する試験、に関する合計8つの主要試験装置を導入した。

以下に、個々の装置の概要について述べる。

2. ニアフィールドガス移行試験設備 (HYDROGEN II)

(1) 目的

地層処分における人工バリアの一つである炭素鋼オーバーパックは、地下深部の還元性環境下において腐食し水素ガスを発生する。

ここで考慮しなければならないことは、緩衝材の透気性が小さい場合、腐食によって発生した水素ガスが緩衝材とオーバーパック間に蓄積し、その圧力によっては、緩衝材の構造を変化させる要因となることである。

現在考慮されている人工バリアの各要素は、地層処分システムとしての性能を発揮するための諸機能を有しているが、その信頼性は構造が力学的に安定であることを前提としている。

したがって、構造力学的安定性に影響を及ぼす可能性のある事象の一つとして、オーバーパックの腐食により発生する水素ガスの影響を定量的に評価することが必要であり、それによって最終的には緩衝材の詳細設計へと反映されることになる。

本設備では、緩衝材の基本的な透気特性データの取得およびそれらのデータ等から想定されるガスの移行挙動メカニズムについて調査することを目的とする。

(2) 試験の概要

1) 第一期設備の現状と課題

緩衝材のガス移行特性を把握するために、現在、ベントナイト単一材料を用いた試験を進めている。これらの試験から、

- ① ベントナイトの透気性は非常に小さく、飽和度によって変化し得ること。
- ② ガスがベントナイトを透気する際の圧力は、ベントナイトが有する膨潤圧程度であること。等がわかっている。

一方、以下に示すような課題も挙げられる。

- ① 一つの試験にかなりの時間（3～4カ月）を必要とする。
- ② 4 cm厚さの試料を用いた場合、現状の最大ガス供給圧力（9.5MPa）では不十分である。
- ③ 実際の処分環境下においては、地下水圧および地圧等の外力が作用しているが、現状の設備では考慮されていない。
- ④ 緩衝材の仕様の一つとして考えられているベントナイトプラスケイ砂混合材料を扱う場合、低圧で制御する必要がある。

また、緩衝材を透気したガスは、最終的には人工バリア周辺岩盤へと放出されることから、ニアフィールド性能を評価する上では、岩盤自体の透気特性も把握しておく必要がある。

そこで、これらの課題等を解決するために、第二期設備（以下、「HYDROGEN II」という。）の製作を行なった。

2) HYDROGEN IIの概要

HYDROGEN IIは、小型容器3台および中型容器1台からなる一軸試験装置と三軸試験装置から構成されている。

一軸試験装置は、既設の装置の問題点を考慮し、高圧および低圧両方の圧力制御を可能とするとともに、最大ガス供給圧力を40MPaとした。また、中型容器については、試料の飽和に要する時間を短縮するために、試料全周から水を供給できるような構造とした。さらに、各試験容器を温水を循環させたジャケットで覆い、ある程度の温度管理が可能な構造となっている。

三軸試験装置については、背圧および拘束圧を負荷できるようなシステムとし、容器全体を恒温槽内に設置することで最大90℃までの温度制御が可能である。また、従来の装置とは異なり定流量制御が可能である等幅広い試験が実施できるようなシステムとなっている。

3) 装置の主な仕様

一軸および三軸試験装置の基本仕様を以下に示

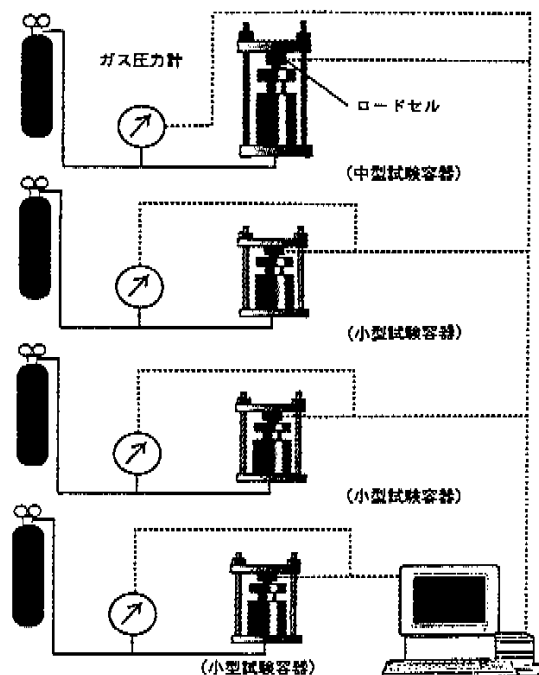


図1 HYDROGEN II 装置概念図

す。

① 一軸試験装置

- ・ 試料寸法： $\phi 50\text{mm} \times H50\text{mm}$ (最大)
〔小型容器〕
 $\phi 50\text{mm} \times H100$ または 300mm
〔中型容器〕
- ・ ガス圧力：最大40MPa
- ・ 試験温度：最大60℃

② 三軸試験装置

- ・ 試料寸法： $\phi 38\text{mm} \times H76\text{mm}$ (最大)
- ・ ガス圧力：最大35MPa
- ・ 試験温度：最大90℃

これら装置の一例として、一軸試験装置の概念図を図1に示す。

3. 緩衝材岩盤内挙動試験設備(BENTFLOW II)

(1) 目的

処分環境下において、地下水の流れに対する緩衝材の長期的安定性を評価するためには、処分孔(または処分坑道)から周辺岩盤中の亀裂への緩衝材の流出挙動を定量的に把握する必要がある。この流出現象は、緩衝材の膨潤による亀裂への侵入(extrusion)および地下水流によるベントナイトの浸食の二つの現象が複合して起こるものと考えられており¹⁾²⁾、既存の緩衝材流出試験設備(BENTFLOW)において、これらの現象に対応した試験を行っている。

本試験設備はこの BENTFLOW 設備の延長として新たに計画されているもので、試験岩体としてこれまで用いてきたアクリルに加え、新たに実岩体を用いることができ、これにより緩衝材の流出現象に対する亀裂の幾何学形状および岩-ベントナイト間の化学的な影響等について検討することが可能となる。

(2) 試験の概要

1) 試験計画

図2に試験装置の概念を示す。ここで、試験岩体としては、アクリル板、人工平滑岩盤および天

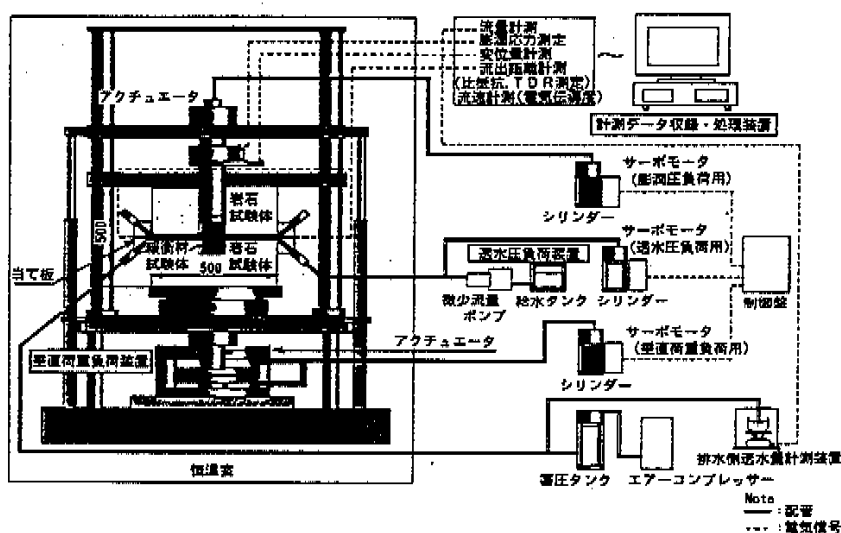


図2 BENTFLOW II 装置概念図

然岩盤を順次使用することとし、岩体の中心に緩衝材を設置後、流水条件下で緩衝材流出試験を実施する。また、流出液をサンプリングし、亀裂内を通過したベントナイトコロイドの同定を行う。

以下に、3段階からなる本試験設備における試験計画を記す。

Phase 1；この段階の主な目的は装置の作動試験である。特に、ベントナイトフロントの位置の把握に用いるセンサー類(比抵抗等)の作動チェックを行う。ここでは上部試験岩体として透明アクリルを用い、センサーによる計測と同時に緩衝材流出フロントの位置を直接目視により観測し、センサー類の作動および適用性を確認する。

Phase 2；試験岩体として人工平滑岩盤を用いる。

Phase 3；試験岩体として天然岩盤を用いる。

2) 装置の主な仕様

試験装置の主な仕様を以下に示す。

① 試験岩体寸法：

L500mm×W500mm×H500mm

② 緩衝材試験体寸法：φ50mm×H50mm

③ 模擬地下水注水圧：1MPa (max.)

④ 垂直載荷荷重：25tonf (max.)

⑤ 緩衝材膨潤圧：10MPa (max.)

⑥ 模擬地下水流量：50ml/min (max.)

3) 取得データ

取得するデータは以下のとおりである。

① 模擬地下水流速

② 緩衝材流出距離

③ 緩衝材膨潤圧

④ 岩体亀裂開口幅

⑤ 岩体亀裂表面粗さ

⑥ 温度

⑦ 流出ベントナイトコロイド分析

4. ニアフィールド化学環境変化試験設備

(化学反応フロント試験装置：GEO-FRONT)

本試験装置は、異なる目的を有する三つの独立した試験系からなる。試験装置はいずれも、低酸素濃度の窒素気制御グローブボックス中に設置されるカラム試験装置を基本としているが、各試験系の目的に応じた設計となっている。(図3)

4.1 還元性地下水水質形成試験系

(1)目的

地域や岩種を特定せずに、一般的な知見に基づき深部地下水組成の幅を決定する地下水水質形成のモデル化に資する。具体的には、雨水を起源とした地下水水質形成の過程で考えられる、地下水

と土壤あるいは地下水と岩石／鉱物との相互作用を実験的に再現し、モデル化で考慮すべき反応を抽出することにより、深部地下水が還元性で弱アルカリ性であることを示すことを目的としている。

(2)試験の概要

本試験系は、土壤水反応タンクと岩石／鉱物試験カラムからなる。土壤水反応タンクでは、我が国の天然土壤の分類に基づき、土壤による水の還元(溶存酸素量や酸化還元電位の変化)、pHや液組成の変化を測定し、土壤の持つ還元能力等の地下水水質に与える影響を把握する。さらに、土壤と反応した溶液は岩石・鉱物を充填したカラムに導き、カラム内でのEh(酸化還元電位)測定および透過液の組成分析、試験後の試料中の二次鉱物の同定等を行う。カラム試験の結果は、物質移行と地球化学(鉱物の溶解速度を含む)を連成させた計算コード(TRACE:TRANSPORT and Chemical Evolution modeling code)を用いて解析を実施する。

4.2 酸化／還元フロント試験系

(1)目的

建設操業時の坑道掘削に伴い、処分場周辺の岩盤に酸素が拡散し、酸化状態の領域が形成されることが考えられる。処分場閉鎖後、この酸化領域の鉱物による還元挙動に着目する。また、ガラス固化体近傍で、地下水の放射性分解により生成することが懸念される酸化性溶液のニアフィールド内での移行現象にも着目する。これらの現象に伴う酸化還元フロントの発生と移動に関して、シナリオ解析の観点から現象理解を進める。

(2)試験の概要

模擬的な酸化性溶液(大気平衡水、過酸化水素水等)をニアフィールドの構造材料(模擬オー

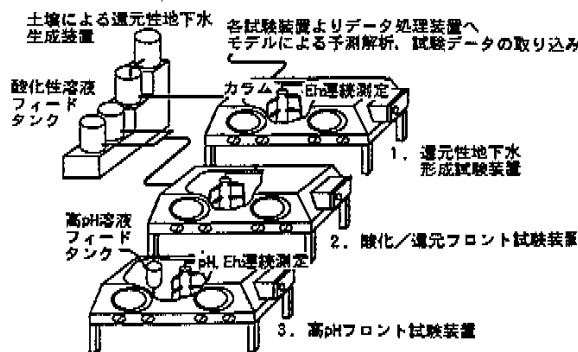


図3 GEO-FRONT 装置概念図

バーバック亀裂、ベントナイト／ケイ砂混合物、粉碎岩石等）に透過し、溶液の溶存酸素濃度、酸化還元電位、pH等の変化、および固相の変化を観察する。さらに、供給液中に液中化学種が酸化還元敏感なトレーサ（非放射性）を添加し、酸化還元フロントが核種移行挙動に与える影響を調査する。

4.3 高pHフロント試験系

(1)目的

TRU廃棄物では、廃棄体マトリックスおよび充填材としてセメント系材料が利用される。本試験系では、セメント系材料の存在により発生する高pH溶液による、ニアフィールド内での高pHフロントの形成とその移行、および高pH溶液によるニアフィールド構成物質（人工バリア、岩盤）の変化の可能性とその程度を明らかにする。

(2)試験の概要

セメント系材料との接触により発生する高pH溶液を模擬した溶液を、ベントナイト／ケイ砂混合物、粉碎岩石等に透過し、溶液組成、pH等の変化を測定する。固相については、電子顕微鏡、X線回折等により材料の変化を観察する。

さらに、供給液中に、液中化学種がpH等に敏感なトレーサ（非放射性）を添加し、高pHフロントの進展に伴う核種移行挙動に関するデータ取得を実施する。

4.4 装置の主な仕様

- ① 雰囲気制御グローブボックス（各系1基）
雰囲気：アルゴン（酸素濃度1ppm以下）
- ② 土壌／地下水反応タンク
（還元性地下水水質形成試験系のみ、2基）
材質：ステンレス（テフロンライニング）
容量：約20ℓ
pH、Eh連続測定、溶存酸素測定、容器上部ガスサンプリングが可能
- ③ グローブボックス内反応カラム（各系1基）
材質：ステンレス（テフロンライニング）
寸法：φ50mm×H500mm
ただし、予備品として高さ300mmおよび150mmのカラムを準備し、高さは可変である。
- ④ 温度制御装置（高pHフロント試験系のみ）
反応を加速するために、カラム温度を最高温度90℃まで昇温・制御する。
- ⑤ pH・Eh電極（各系数基）
参照電極には、電極内部液の流出が少ない特殊電極を使用。Eh作用電極には、白金線をらせん状に巻き付けることで、電極面積を増大し、応答性を高めている。

5. ニアフィールド化学環境変化試験設備 （化学平衡反応試験設備：EDAS II）

(1)目的

EDAS 設備では、深地層での化学的雰囲気模擬するため、酸素濃度・二酸化炭素濃度を制御

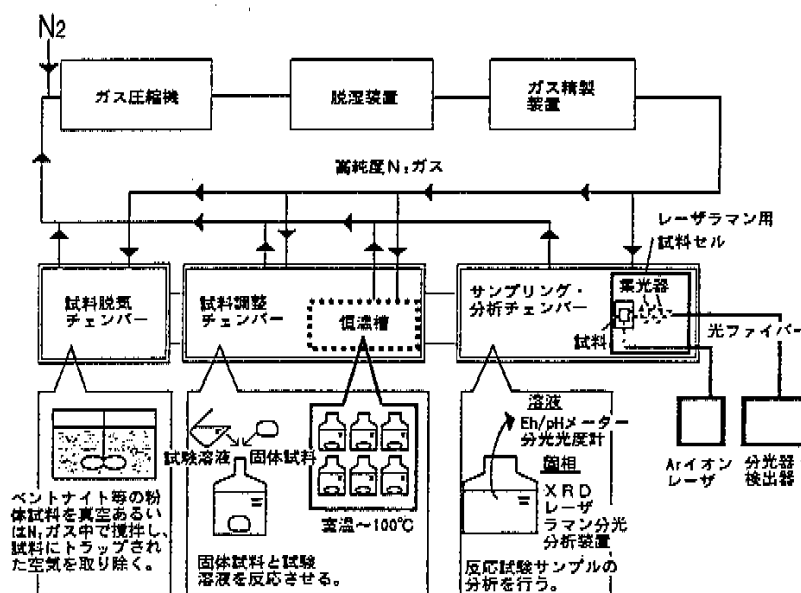


図4 EDAS II 設備構成図

した環境を作りだし、その環境下で多重バリアの構成要素（ガラス固化体・オーバーバック・ベントナイト緩衝材・岩石）と地下水との化学反応を調査する。これまで、第一期設備（EDAS）においては、低酸素濃度・任意の二酸化炭素濃度に制御した雰囲気下でのデータを取得している。第二期設備（EDAS II）においては、さらに温度を制御した条件下での試験を行う。また、EDAS IIには、レーザラマン分光分析装置を導入し、処分環境でのバリア材料の腐食生成物の同定を行う。

(2)試験の概要

EDAS IIは、深地層中の雰囲気を模擬した気密チェンバと、チェンバ内の雰囲気を制御するための設備および気密チェンバ内で利用可能な分析設備で構成される。EDAS IIの設備構成を図4に示す。

気密チェンバ設備は、試料脱気チェンバ、試料調整チェンバ、サンプリング・分析チェンバにより構成される。試料脱気チェンバは、粉末・固体試料に付着した酸素・水分を真空条件下で加熱および攪拌し、脱気する設備である。試料調整チェンバは、試験に供する溶液の脱気、脱気した溶液および粉末/固体試料の調整を行う設備である。また、サンプリング・分析チェンバは、試験終了後、試験試料のサンプリング・分析を行うための設備である。それぞれのチェンバの基本仕様を以下に示す。

雰囲気： O_2 <0.1ppm

CO_2 <0.1ppm

温度：常温～100℃

チェンバ容積：約2.7m³（各チェンバの合計）

主な分析設備：pH、Ehメータ、分光光度計、溶存酸素計、XRD用気密試料セル、レーザラマン分光分析装置

EDAS IIにおいて取得する試験の種類と取得データを以下に示す。

① 緩衝材・地下水反応試験

圧縮ベントナイトと地下水との化学反応試験を実施し、処分環境条件における圧縮ベントナイト空隙水組成（元素濃度、pH、Eh）に関するデータを取得し、緩衝材・地下水反応に関するモデル化の確証を行う。

② 緩衝材・オーバーバック・地下水反応試験

緩衝材・オーバーバック境界においてオーバーバックの腐食生成物の同定に関する試験を実施する。また、腐食生成物が人工バリア材中の地下水変遷に与える影響を確認するための試験を実施する。

③ 岩石・水反応試験

深部地下水のモデル化について、熱力学データが欠如している鉱物、あるいは、平衡論的に取り扱えないと判断された鉱物のうち、酸化還元反応に関係する鉱物（例えば、黒雲母、黄鉄鉱、水酸化第一鉄等）について、バッチ試験を実施することにより、熱力学データおよび反応速度に関する試験データを取得する。

6. コロイド移行試験設備 (COLLOID)

(1)目的

ガラス固化体から地下水中に溶出した核種は、地層中をイオンの形態で移行する他、一部は地下水中のコロイドに吸着したり、あるいは自らがコロイドを形成して移動する可能性がある。したがって、高レベル廃棄物の地層処分システムの性能評価においては、地層中の核種移行挙動に及ぼすコロイドの影響について評価を行うことが必要である。

本試験設備を用いた研究では、とくに亀裂性岩盤中でのコロイドを伴う核種移行に関して、コロイド・核種・岩石の3者間の相互作用の影響を評価し、性能評価研究において考慮すべき因子の抽出と、それを考慮したコロイドと核種の移行モデルの開発を行うことを目的とする。

(2)試験の概要

1) 試験項目

試験設備の概略を、図5に示す。本試験では、亀裂を有する岩石を充填したカラムに対して、コロイドとトレーサの混合液を通液する試験を実施する。この際、本研究では、前述の「緩衝材岩盤内移行試験設備（BENTFLOW II）」から得られるベントナイトコロイドも試験に供する。そして、流出液の経時的分析結果をもとに、コロイドやトレーサ元素の移行挙動が、コロイド・核種・岩石間に働く相互作用力にどのように影響されるかを評価する。

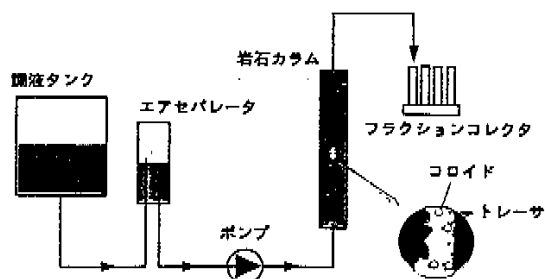


図5 コロイド移行試験設備の概略図

以下に、実施する予定のコロイドとトレーサの移行試験項目を示す。

- ①非吸着性コロイドと非吸着性トレーサ
- ②非吸着性コロイドと吸着性トレーサ
- ③吸着性コロイドと吸着性トレーサ
- ④ベントナイトコロイドと吸着性トレーサ

この際のコロイドおよびトレーサのカラム中の移行挙動が、

- ①コロイド-トレーサ元素
- ②コロイド-岩石
- ③トレーサ-元素-岩石

間の相互作用の大きさと相関が認められる場合には、その相互作用力を数学的モデルを使って説明し、コロイドおよび核種の移行モデルの開発に反映させる。

2) 装置の主な仕様

本試験設備は、主にコロイドとトレーサ元素を送液するポンプと、亀裂を有する岩石を充填したカラムにより構成される。以下にその仕様を記す。

- ・供給ポンプ（極微量定量型）
流量範囲：約 5~50ml/h
最大吐出圧：約 100kg/cm²

- ・岩石カラム
使用岩石：主に花崗岩
寸法：φ100mm×H300mm

その他、試験に必要な分析機器（ゼータ電位計、コロイド粒径分布測定装置等）を揃えている。

7. 亀裂ネットワーク岩体水理物質移行試験設備 (NETBLOCK)

(1)目的

本装置は複数の亀裂を含む岩体を対象とした水理試験、物質移行試験を行う試験装置で、次に挙げる項目を目的とした試験を実施する予定である。

① 亀裂交差部における水理学的特性の把握

特に、亀裂交差部に沿った方向の透水特性を把握する。

② 亀裂交差部における物質移行特性の把握

亀裂交差部に沿った方向の物質移行特性の把握ならびに、亀裂交差部における溶質の混合比率を把握する。

③ 亀裂ネットワーク構造による分散効果の把握

①については、2枚の亀裂が交差した場合にその交線に沿って高透水性のチャンネルが形成され、そこが核種の選択的移行経路となる可能性があることが指摘されている^{3),4)}。しかしながら、亀裂交差部の詳細な地質学的調査と水理試験の比較に基づく定量的な評価はなされていないのが現

状であり、亀裂交差部を含む岩体を用いて、室内試験において亀裂交差部の水理特性調査と交差部の空隙構造の幾何学的調査を含む地質学的調査を併せて実施する必要がある。

②については、①と同様に亀裂交差部に沿った方向の水理特性の調査に併せて、物質移行特性を調査する必要がある。また、亀裂交差部において成分の異なる地下水が分岐合流する際に溶質が混合する（ミキシング効果）割合は、亀裂ネットワーク構造における分散効果に影響を及ぼすと考えられる⁵⁾。ミキシング効果は、流速や亀裂交差部の幾何形状に影響されることから、その評価については、人工亀裂を用いた実験や数値解析による評価⁵⁾を踏まえ、実岩体を用いて実験的に評価を行う必要がある。

③については、①②の成果に基づき、試験体スケール（～1m）における亀裂ネットワーク構造による分散効果を把握する。

(2)試験の概要

本試験装置では、最大1m×1m×1mの立方体岩石試料の各表面に10列×10列の注排水ポートを設置し、透水試験ならびに塩水（1%程度）を用いた物質移行試験を実施することが可能である。装置鳥瞰図を図6に示す。注排水ポートは、圧力容器内で最大1MPaの封圧により止水性を確保される。

注排水はサーボポンプ（最大50ℓ/h）によって制御され、一面の全ポートからの注排水や、任意のポート間での注排水が可能である。以下では、単純な亀裂交差部を一つ含む岩石試料を用いた試験手順の概略を記す。

試験岩体の各面に注排水ポートを設置し、任意のポート間の透水試験を繰り返して実施し、その結果を基に逆解析手法等⁶⁾を用いて岩体内部の透水量係数分布を推定する。本試験を通じて、亀裂交差部に沿ったパイプ状のチャンネルの透水特性を把握する。

亀裂交差部での溶質混合比率を把握するためのトレーサ試験においては、トレーサの注入側で一方の亀裂からは水を注入し、もう一方の亀裂からトレーサを注入する。回収側ではトレーサ濃度の経時変化を測定する。この際、流量をパラメータとして変化させる。モデル化に際しては、透水試験で推定した透水量係数分布に基づいた水理解析ならびに物質移行解析を実施し、亀裂交差部における水収支と本試験で得られたトレーサの分配比率を比較検討する。

亀裂交差部に沿った方向についてもトレーサ試

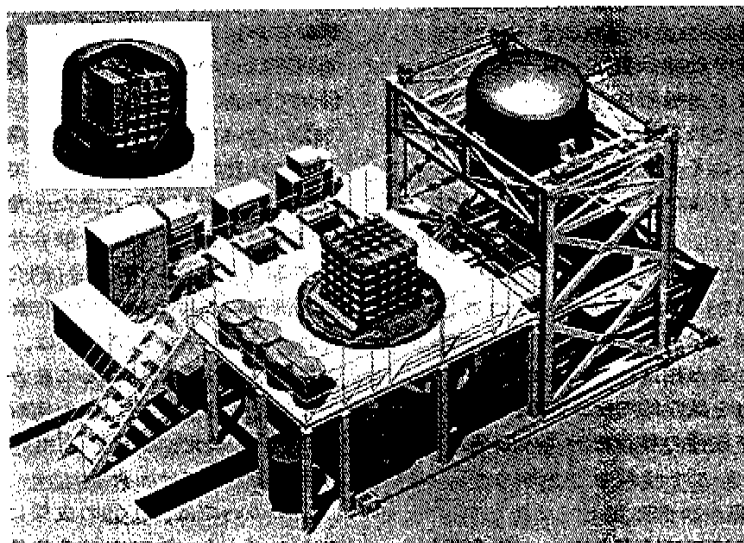


図6 NETBLOCK 鳥観図

験を実施し、亀裂交差部に沿った方向の物質移行特性を把握する。

8. 不均質多孔質岩体トレーサ試験設備 (MACRO II)

(1) 目的

MACRO II 試験では、場の不均質性や処分環境の変化が核種移行に及ぼす影響を把握することを目的としている。場の不均質性に関しては、MACRO II の前身である MACRO で実施しているような透水場の不均質性及び及ぼす影響だけでなく吸着場の不均質性及び及ぼす影響についても検討を行う。処分環境の変化に関しては、性能評価上のシナリオとして、海水準の上昇に伴う塩水クサビ（海側の塩水が陸側の淡水中に侵入する現象）の内陸側への移動による処分場周辺の水理環境や化学環境の変化が核種移行に及ぼす影響について検討する。すなわち、地層変化や断層を考慮した場での塩水クサビの進展状況を把握するとともに、化学環境の変化に伴う溶解・沈殿現象が水理環境に及ぼす影響について検討を行う。

(2) 試験の概要

1) 試験計画

MACRO II では場の不均質性と処分環境の変化に着目し、不均質性を考慮した吸着試験、塩水クサビ試験、溶解・沈殿試験を実施する。以下にそれぞれの試験の概要を述べる。

吸着試験では、吸着性のイオン交換樹脂ビーズと非吸着性ビーズを用いて不均質な吸着場を作成

し、吸着の不均質性が物質移行に及ぼす影響を把握するための試験を行う。

塩水クサビ試験では、粒径の異なるガラスビーズを用いて地層変化や断層を模擬した場を作成し、海水準の変動に伴う塩淡水境界の進入・後退現象を把握するための試験を行う。

溶解・沈殿試験では、流れ場とトレーサに異なる溶液（例えば、硫酸銅と水酸化ナトリウム）を用いて化学反応により沈殿を生じさせることによって、沈殿が水理場に及ぼす影響を把握するための試験を行う。

2) MACRO II の概要

MACRO II 試験設備は、図7に示すように多孔質媒体装置、注水・トレーサタンク装置およびデータ処理装置より構成される。

多孔質媒体装置は、さらにフローセルと上流側の注水槽および下流側の排水槽から構成され、フローセル (L2000mm×W100mm×H1000mm) 内にガラスビーズを充填することによって多孔質媒体を模擬した流れ場が形成される。なお、MACRO と同様にフローセル内を小ブロック (L50mm×W10mm×H50mm) に分割して、ブロック毎に特性の異なるガラスビーズやイオン交換樹脂ビーズを充填することにより、不均質場を作成することができる。フローセル前面は、染料トレーサを用いた場合に目視観察できるようにアクリル製の透視板からなり、フローセル背面には、トレーサ注入ポート、計測用ポートおよび溶解・沈殿試験用のサンプリングポートが配置されている。した

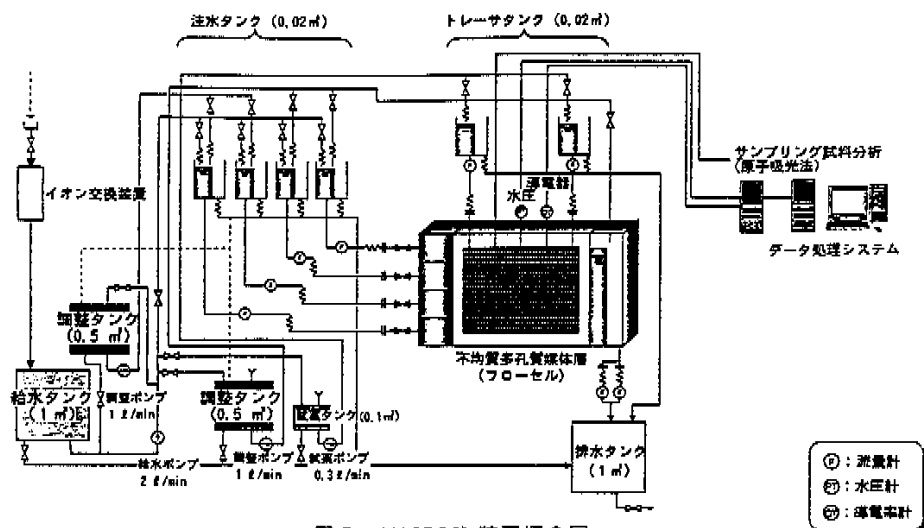


図7 MACROII 装置概念図

がって、トレーサポートから焼結金属製の注入管を介して、単孔式だけでなく孔間式トレーサ試験も可能である。注水槽は、4つのセルに分割され、各セルとフローセルの間には通水を遮断するシャッターが配備されているため、いずれかのセル内をトレーサに変えることにより、線状のトレーサの注入も可能な構造となっている。排水槽は、高さ可変式の越流堰により任意の水位が確保され、越流した排水量は流量計により自動計測される。

注水・トレーサタンク装置は、昇降可能な越流式の4つの注水タンクと二つのトレーサタンクから構成され、注水槽の各セルとトレーサ注入管はそれぞれ任意の水位に固定可能となっている。

データ処理装置は、コンピュータにより制御され、サンプリング間隔等の計測条件を設定することにより、フローセルや注水・排水槽内の導電率(最大100点)と間隙水圧(最大25点)、および注水槽からの注水流量、トレーサ注入流量、排水槽からの排水流量が同時に自動計測され、計測されたデータはファイルに保存される。

9. 不均質多孔質岩体水理トレーサ試験設備 (多孔質媒体不飽和水理試験装置: CLUE)

(1) 目的

処分坑道の周辺には坑道の掘削や処分操業時の排水・換気の影響で不飽和領域が発生すると考えられる。不飽和領域の形成により、坑道周辺の岩盤内に空気が侵入するほか、液相中に侵入した空気(酸素)は地下水中へ溶解し、酸化還元電位に影響を与える。また、周辺岩盤中の鉱物が酸化され核種の収着性も変化すると考えられる。これら

の現象の中でも特に本試験においては、オーバーバックの腐食深さの評価に大きな影響を与えると考えられる、岩盤および地下水に蓄積された酸素量および埋め戻し後の再冠水時間を評価するために、気相/液相中の流れおよび2相の界面の動きをモデル化することを目的として試験を行う。本試験では、このような処分坑道周辺に生じる不飽和領域の進展メカニズムを実験的に明らかにし、モデルの構築/検証を行う。

(2) 試験の概要

1) 試験手順

本試験では、水槽Aと水槽Bの2つの水槽を使用して、以下に示す試験を行い、不飽和領域の進展について観測する。試験装置の概念を図8に示す。

- ・ガラスビーズを用いた現象観察を主眼にした試験(水槽A)
- ・実際の地下坑道を想定し、岩石を用いた加压条件下の試験(水槽B)

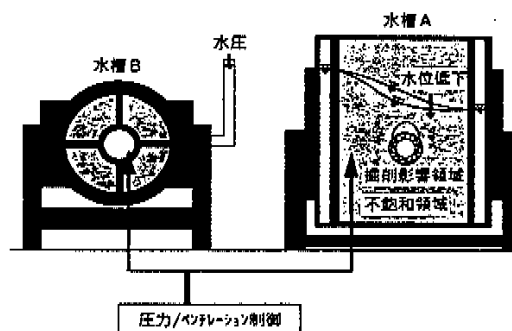


図8 CLUE 装置概念図

各水槽を用い、掘削影響領域を考慮した処分坑道周辺岩盤を人工的に作成し、坑道掘削後の坑道への湧水量、間隙水圧を計測するとともに、不飽和領域の広がりを観察する。また、坑道埋め戻し後の水位回復状況、再冠水に伴う不飽和領域（侵入した空気）の挙動についての試験も行なう。

2) 装置の主な仕様

(水槽A)

- ・型式：オーバーフロー水位制御式水槽
- ・寸法：L300mm×W1300mm×H1450mm
- ・最大使用水圧：0.02MPa
- ・材質：水槽；SUS304、アクリル

(水槽B)

- ・型式：圧縮ガス加圧式水圧制御水槽
- ・寸法：φ800mm×D380mm（円筒）
- ・最大使用水圧：0.5MPa
- ・材質：水槽；SUS304、アクリル

(ガラスビーズ供試体、水槽A)

- ・サイズ：粒径0.1、0.2、0.5、1、2、3mm

(岩石供試体、水槽B)

- ・寸法：L200mm×W400mm×H400mm
- ・加工：坑道モデル孔（φ50mm×L20mm：1孔）
計測孔（φ10mm×L100mm：20孔）
- ・材質：天然岩石（2種類）

3) 取得データ

- ・不飽和領域進展状況（画像データ）
- ・模擬坑道内部への湧水状況（画像データ、湧水量、蒸発量）

・媒体内部の諸物性：間隙水圧

（ポテンシャル）

電気伝導度（濃度）

10. おわりに

本年3月に導入を終了したENTRYII期設備について概要を述べた。ENTRYII期設備は、岩盤、緩衝材、オーバーバックの個々または組み合わせにおける性能評価上重要な課題の解決を目指しており、今後、地層処分システムの性能評価上重要な諸現象の特定、詳細モデルの開発、性能評価入力データの取得を通じて、地層処分の第2次取りまとめに反映していく予定である。

参考文献

- 1) R.Pusch: "Stability of bentonite gels in crystalline rock - physical aspects", *SKBF/ SKB Technical Report 83-04* (1983).
- 2) T.Kanno, H.Wakamatsu: "Experimental study on bentonite gel migration from a deposition hole", *Proc. 3rd Int. Conf. Nuclear Fuel Reprocessing and Waste Management (RECOD'91)*, Sendai (1991).
- 3) Abelin, H. et al.: "Channeling Experiment", SKB TR 90-13, (1990).
- 4) Shimo, M.: "Laboratory Contribution to Fracture Network Flow Study", *Proceedings of international Workshop on Research and Development of Geological Disposal*, pp. III81-87, *PNC TN120094-003*, (1994).
- 5) Li, C.: "Low Peclet Number Mixing Behavior at Fracture Junctions", *Doctoral Dissertation, New Mexico Institute of Mining Technology, Socorro*, (1995).
- 6) Najita, J. and Karasaki, K.: "Inversion of Hydraulic Well Test Using Cluster Variable Aperture Simulated Annealing", *LBL progress report*, (1995).