

堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ  
報告書  
概要

(昭和60年度)

1986年3月

三菱金属株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1986年3月

## 堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ※

打越肇※※

## 要 旨

本試験は高レベル廃棄物地層処分技術開発の一環として実施されたものであり、第2段階の処分予定地の選定に係わる既存空洞を用いた試験・研究の第1年度にあたる。

本年度は第2段階において実施すべき既存空洞を用いた原位置試験を実施すべく、新たな試験空洞の開削と開削に伴う岩盤挙動の調査および空洞開削面の調査、TRU模擬核種を用いた室内核種収着試験、模擬廃棄物固化体の埋設および環境調査を実施した。各調査・試験の実施内容および成果の概要は次の通りである。

堆積岩に関する原位置試験フェーズⅡにおいて実施する原位置試験用空洞として、 $W 4.0 \times H 2.0 \times L 3.0$  m、 $W 2.0 \times H 2.3 \times L 4.0$  mおよび $W 4.0 \times (H 3.0 \times L 1.0 + H 4.0 \times L 2.0)$  mの大きさの3空洞を得た。各空洞とも開削後鋼製支保施工を行った。

空洞の開削に伴う岩盤挙動は、試験孔を用いた透水試験、孔壁観察、孔内載荷試験およびひずみ測定により調査した。透水試験からは、空洞側壁面から約1 m以上離れた岩盤においては開削による透水性への影響は認められなかった。しかし、約1 m以内においては断層等の割れ目の存在による透水性の増大が一部で認められた。孔壁観察結果からは、開削による影響として微小割れ目および新規剝離部の発生が認められたが、開口割れ目あるいは顕著な割れ目の発生は認められなかった。孔内載荷試験からは、各試験位置ともほぼ同様の非弾性的な変形特性が得られた。ひずみ測定からは一部で掘進に伴う典型的な応力変化（圧縮状態から応力解放状態への変化）が認められたものの、測定位置での地質性状の相違が応力状態に大きな影響を与えることがわかった。

これらから、試験対象岩石が非弾性的、脆性的であるために、開削に伴う割れ目の発生は顕著でなく、したがって岩盤の水理的・力学的挙動は開削前後では大きな変化を示さないことがわかった。また、開削工法の相違よりも地質性状の相違の方が水理的・力学的挙動により大きな影響を与えることがわかった。

空洞開削面の調査からは新規開削空洞周辺岩盤の割れ目の性状・分布パターンが明らかとなり、単一割れ目トレーサ試験等の位置選定のために有益な情報が得られた。

TRU模擬核種を用いた室内収着試験では、試験対象核種としてランタニドおよびバリウムを、収着媒体としてモンモリロナイトを用いて、収着媒体の諸特性の測定、バッチ試験法による試験対象核種の分配係数の測定と分配係数に影響を与える諸要因の考察を行い、これら核種のTRU模擬核種としての代替性を検討した。

模擬廃棄物固化体としてガラス、各種金属片を感天立坑下8番坑付近の坑道の側壁に埋設した。さらに、埋設箇所周辺の環境調査として岩盤側壁面のスケッチ、湧水の採取・分析を実施した。埋設試料のうち一部は埋設後3ヶ月後に取り出し、ガラス片は動燃殿に送付するとともに金属片の腐食状況等を調べた。その結果、3ヶ月間の埋設ではSUS304およびハステロイC-276には腐食は認められなかった。

※ 本報告書は、三菱金属株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果の概要である。

※※ 三菱金属株式会社原子力事業本部開発部

MARCH 1986

In Situ Tests in Sedimentary Rock (Phase II)\*

Hajime Uchikoshi\*\*

Abstract

This study has been conducted as part of the R & D on high level waste disposal. The purpose is to develop suitable techniques which make it possible to acquire data which is necessary to assess the isolation capacity of geological formations. FY 1985 is the first year of the second phase of the R & D. The excavation of test rooms used for in situ test of the second phase, examination of hydrological and mechanical rock properties induced by excavation, geological investigation of faces of excavated rooms, laboratory nuclide sorption experiment of lanthanides and barium, and burial of glass and metal materials have been done in FY 1985. The results are as follows;

Three drifts have been excavated as in situ test rooms, whose size are W4.0xH2.0xL30, W2.0xH2.3xL40, and W4.0x(H3.0xL10+H4.0xL20) in meters.

Core observation, borehole wall observation, water injection test, borehole jack test, and strain measurement in boreholes revealed that although part of strain measurement showed typical features induced by the development of a face, almost hydrological and mechanical rock properties did not change significantly between pre- and post- excavation. This may be derived from the fact that Hosokura tuff (altered dacitic tuff breccia) is very plastic, brittle, and composed of very fine grained secondary minerals such as clay minerals. And, the difference between the effects to rock properties by a conventional blasting method and a smooth blasting method was not distinct.

The geology and geological structure of excavated drifts have been surveyed by detailed geological investigation of the roof, wall and floor of the drifts. And, a fracture used in Tracer Migration Test in a Single Fracture which plans to be studied in the next few years was determined.

Distribution coefficients of lanthanides and barium were determined, using Na-montmorillonite as sorptive solid, and the influences of factors such as initial pH · Eh, temperature, cation exchange capacity, coexistence of other cations, etc. to those Kd values were studied.

Glass and metal materials were emplaced in small holes drilled slightly inclined to a wall in a drift. The holes have been filled with groundwaters. And, materials of SUS 304 and hastelloy C-276 were found to be uncorroded after 3 month emplacement. All the test samples will be moreover examined for a long time to grasp the relationship between natural environment and processes such as leaching and corrosion.

---

\* Work Performed by Mitsubishi Metal Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

\*\* Mitsubishi Metal Corporation, Nuclear Energy Division, Development Department.

## 1. まえがき

第1段階の最終年度である昭和59年8月7日に原子力委員会の下部組織である放射性廃棄物対策専門部会は第1段階の研究開発成果を総括して「放射性廃棄物処理処分方策について」と題する中間報告をまとめた。さらに、昭和60年10月8日に同専門部会は同中間報告の一部を再検討した。現時点での4段階の開発手順は以下の通りである。

- ① 有効な地層の選定（終了）
- ② 処分予定地の選定
- ③ 処分予定地における処分技術の実証
- ④ 処分場の建設・操業

昭和60年度は第2段階の「処分予定地の選定」の第1年度にあたる。

4段階の地層処分技術開発スケジュールにおける第2段階の研究開発において、動燃は第1段階からの継続課題として、第2段階における調査・研究に資する評価データの蓄積を図るため第1段階における「天然バリアに関する研究」および「人工バリアに関する研究」を発展的に継続する役割を担うこととされており、両研究とも既存空洞を利用した試験を行うことが示されている。

本「堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ」はまさにこの既存空洞を利用した試験に相当するものであり、積極的な調査・研究を押し進めて、「処分予定地の選定」に資する有効なデータ・評価方法の取得に努める必要がある。

## 2. 試験場の開削

第2段階において実施する原位置試験の試験場は本年度および次年度にて開削するものである。本年度に開削した空洞は既存の原位置試験場の手前に設けたもので、A、B、C、の三つの空洞より構成され、それぞれ以下の規模を有している。

A空洞：幅2.0 m×高さ2.45 m×長さ30 m

B空洞：幅2.3 m×高さ2.45 m×長さ40 m

C空洞：幅4.3 m×（高さ3.15 m×長さ10 m＋高さ4.15 m×長さ20 m）

このうちA空洞は開削時の岩盤挙動の調査を実施するために必要な試験孔を開削する空洞として、B空洞は次年度以降実施する予定の地下水浸透試験、単一割れ目トレーサ試験用空洞として、C空洞は模擬パッケージ埋設試験用空洞として設けたものである。

これら空洞は最終的に天盤および側壁からの落石、崩壊等を防止し、安全に試験ができるように、H鋼製枠組および鋼矢板等を使用した鋼製支保構造とし、最終的に得られた空洞規模は以下の通りである（Fig. 1参照）。ただし、A空洞については既存の坑道をも含めた支保構造である。C空洞床面にはコンクリートを打設した。

A空洞：幅4.0 m×高さ2.3 m×長さ30 m

B空洞：幅2.0 m×高さ2.3 m×長さ40 m

C空洞：幅4.0 m×（高さ3.0 m×長さ10 m＋高さ4.0 m×長さ20 m）

空洞の開削順序は基本的にA、B、Cの順とし、C空洞の一部を除き、普通発破工法にて掘削した。A空洞開削後、A空洞に直交する方向で、かつC空洞に向かってほぼ水平に透水試験（および孔内載荷試験）用2孔（長さ15.5 m、径76 mm）およびひずみ等力学特性測定用6孔（長さ15 m、一部14.3 m、径76 mm）を掘削した。（Fig. 2参照）。全孔ともオールコアドリリングとし、コア調査を行った。

B空洞掘削後のC空洞の掘削は、まず、幅2.3 m、高さ2.45 mの矩形断面で15 m間を普通発破工法で掘削し、続く15 m間を制御発破工法で掘削した。両工法による掘削時に次項で示す岩盤挙動の調査を実施した。その後、追切開削して所定の空洞を得た。

## 3. 空洞開削時の岩盤挙動の調査

本調査はC空洞の開削の前後を通じて行ったもので、合わせて開削工法の相違による岩盤挙動の相違についても把握した。

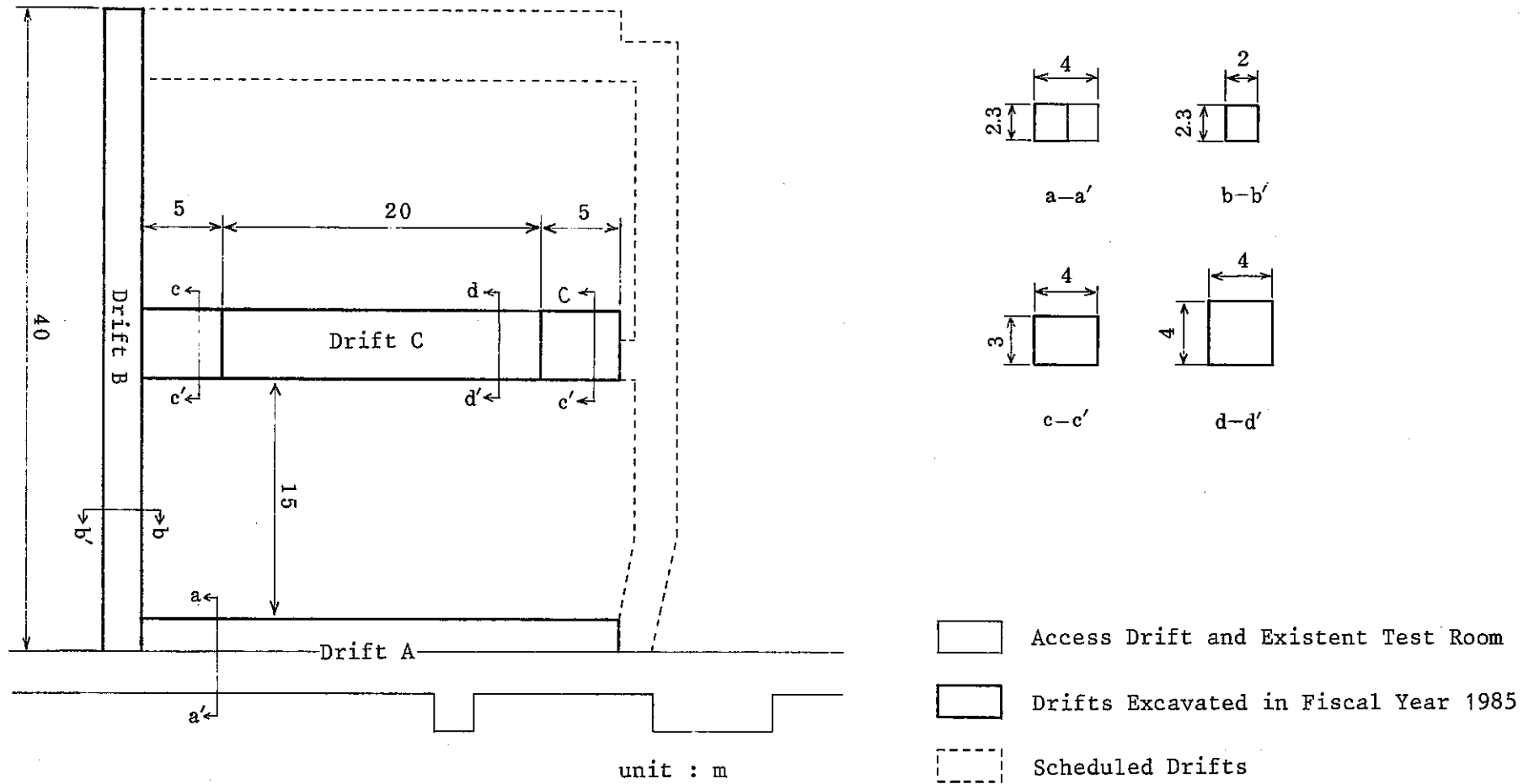


Fig. 1. Location and Specification of Drifts Excavated in Fiscal Year 1985.

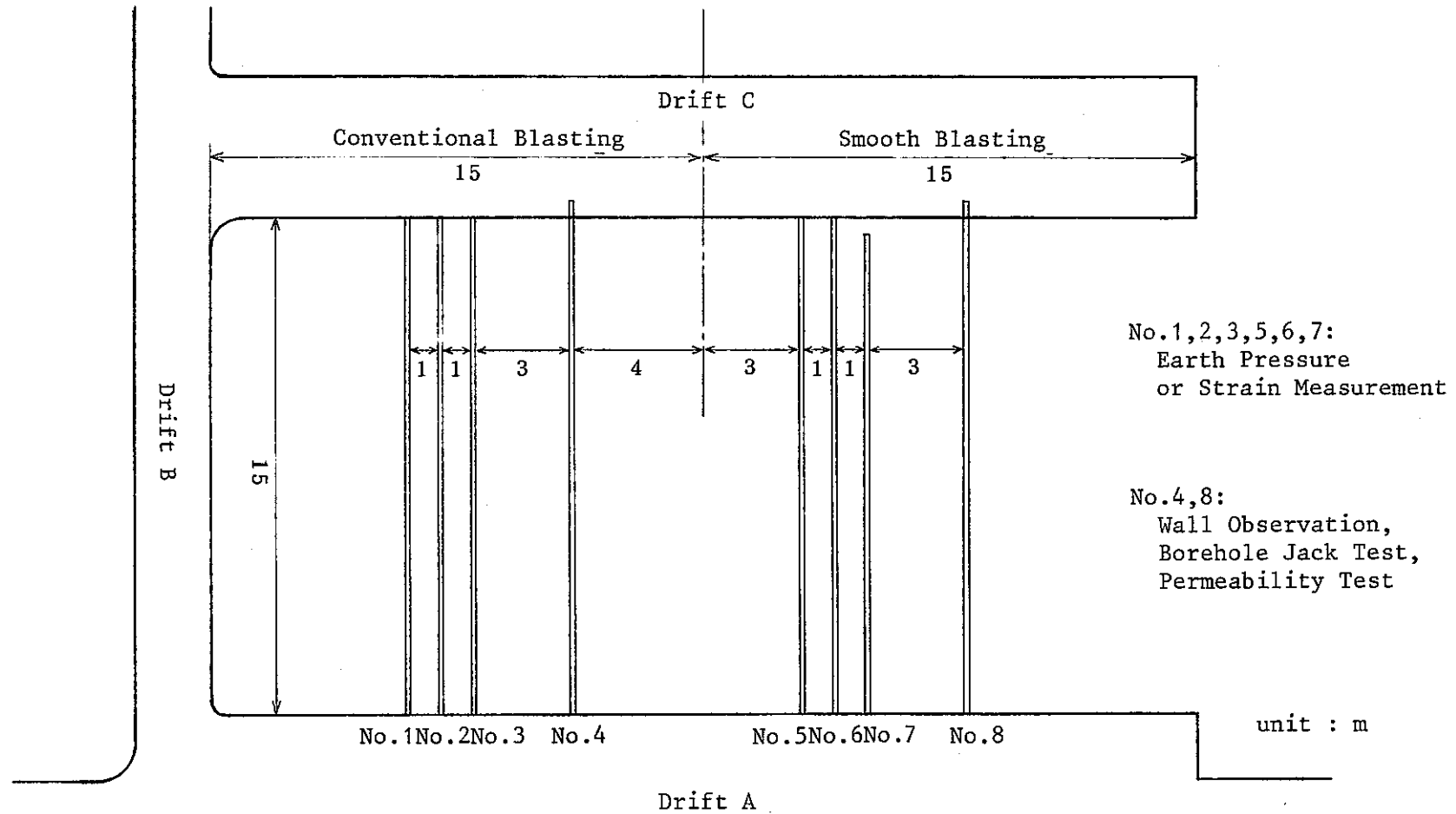


Fig. 2 Layout of Boreholes for Measurement of Mechanical and Hydrological Properties of Hosokura Tuff.



岩盤挙動調査用試錐孔掘削後、C空洞開削前に透水試験用2孔を用いて、孔内載荷試験、透水試験、孔壁観察を行った。さらに、C空洞の普通発破、制御発破工法による矩形小断面の空洞掘削終了後、再度同様の調査・試験を逆の順序で実施した。

ひずみ等力学的挙動測定孔内にはC空洞開削前にひずみ計を埋設し、30m間の矩形小断面の開削期間中測定を継続した。

孔壁観察結果からは、普通発破用測定孔、制御発破用測定孔とも、開削壁面から1m間において、開削後に一部で微小割れ目と剝離が生じたのが認められたが、それらは小規模のものであり、また開口割れ目の発生は認められなかった。また、開削工法の相違の影響については特に把握できなかった。

透水試験の実施区間とコア観察結果との対比および試験結果をFig. 3およびTable 1に示す。表に示されるように、一部の区間では開削により孔壁面が破損したため、パッカの設置が不可能となり、透水係数が得られていない。試験が可能であった区間においては、開削後の透水性は高くなった箇所もあるが、ほとんど変化のない箇所もある。これらの透水係数および試験実施区間と割れ目の分布との関係から、開削壁面から2～3m離れた部分では既存の割れ目の有無に係わりなく、透水性は岩盤開削の影響を受けていないと言える。また、開削壁面から1m程度の近接区間では、得られたデータが少ないことと、開削後の試験区間が若干ずれていること等から開削の透水性に与える影響を評価することは不可能である。また、開削工法の相違の透水性に与える影響については、試験結果に対して地質の性状の影響の方がより強く試験結果に表れたため、評価するに到らなかった。

孔内載荷試験結果の一例をFig. 4に示す。他の箇所の結果も同様のパターンを示した。すなわち、開削後はいずれも変形しやすくなっており、調査孔周辺岩盤が掘削により劣化した可能性を示している。しかし、試験孔の掘削からかなり時間が経過した時点で試験を実施していること、間に透水試験を行っており、吸水・乾燥を受けたことによる孔壁の劣化が考えられること等からそれらの影響も考えられる。試験結果は本試験岩盤の非弾性的特性が良く表れており、そのため、開削工法の相違が変形特性に与える影響については充分把握できなかった。

ひずみの測定結果をFig. 5に示す。一部は開削面の進展に伴う典型的なひずみの発生状態を示しているが、変化の緩慢な箇所もある。後者は開削面との間に存在する割れ目のためと思われる。

以上の試験結果から、岩盤の力学的挙動は非弾性的な岩盤特性が強く表れた結果となっており、水理的挙動も大きな変化は得られなかった。また、その岩質特性ゆえ、開削工法の相違がこれら岩盤挙動に与える影響は明瞭でなかった。

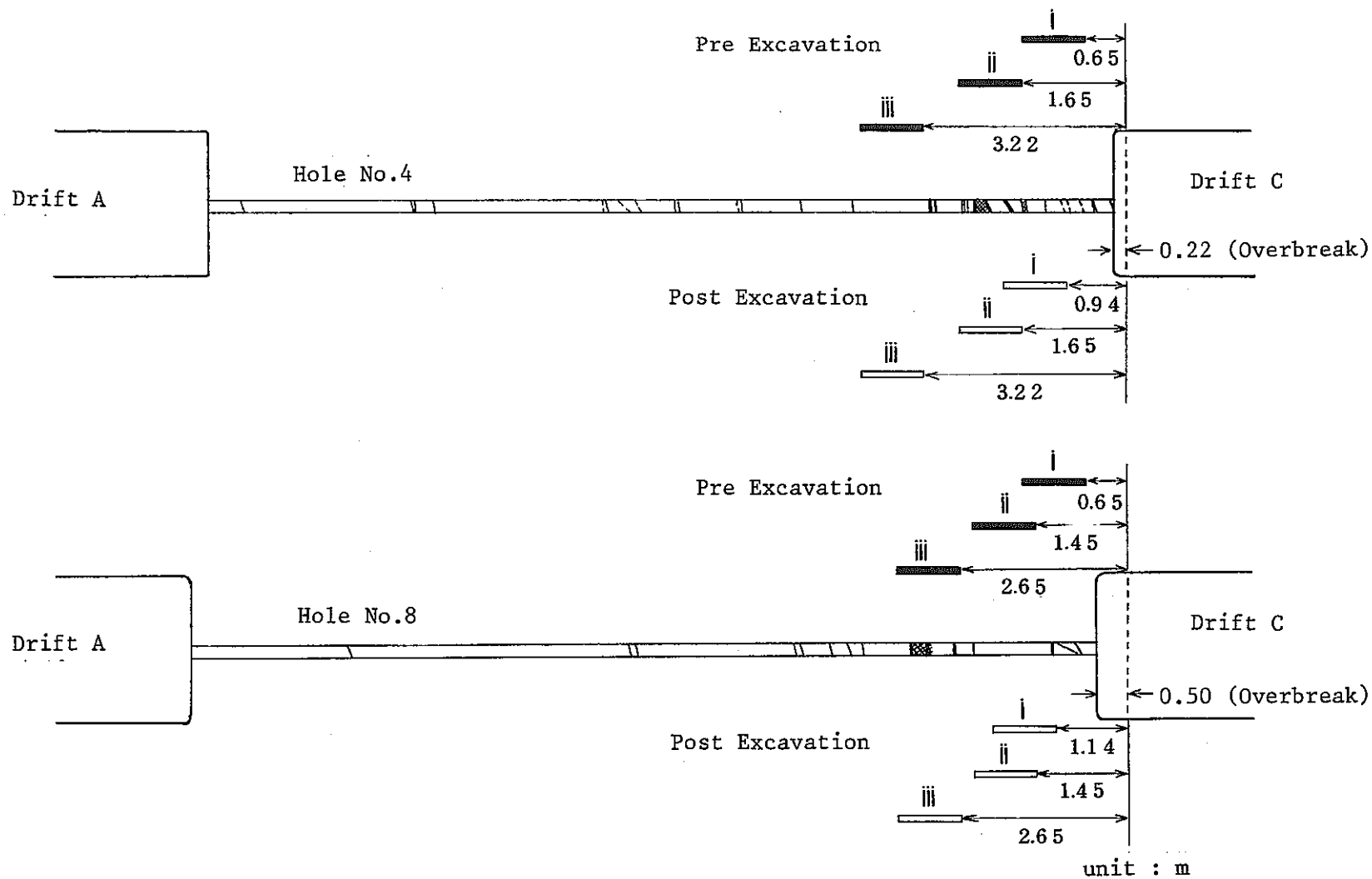


Fig. 3 Position of Injection Intervals in Each Permeability Test and the Comparison with the Result of Core Observation.

Table 1 Result of Permeability Test.

Position	Hydraulic Conductivity k (m/s)	
	Pre Excavation	Post Excavation
No.4-i	$9.4 \times 10^{-8}$	-
No.4-ii	-	-
No.4-iii	$4.2 \times 10^{-12}$	$3.2 \times 10^{-12}$
No.8-i	$3.3 \times 10^{-11}$	$2.7 \times 10^{-10}$
No.8-ii	$1.2 \times 10^{-11}$	$6.3 \times 10^{-12}$
No.8-iii	$3.3 \times 10^{-8}$	$2.6 \times 10^{-9}$

Pre Excavation  $\Rightarrow$  Post Excavation

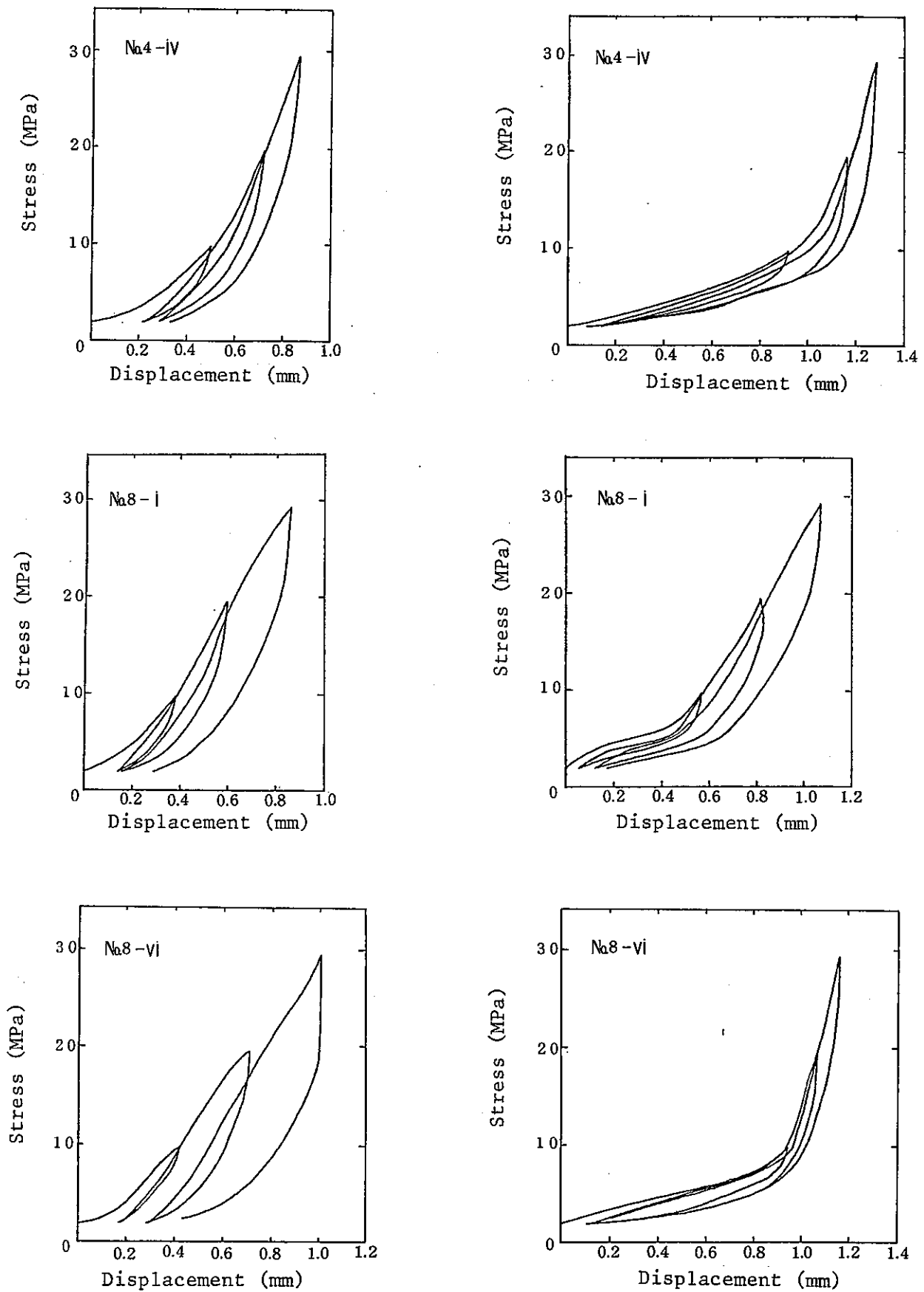


Fig. 4 Result of Borehole Jack Test.

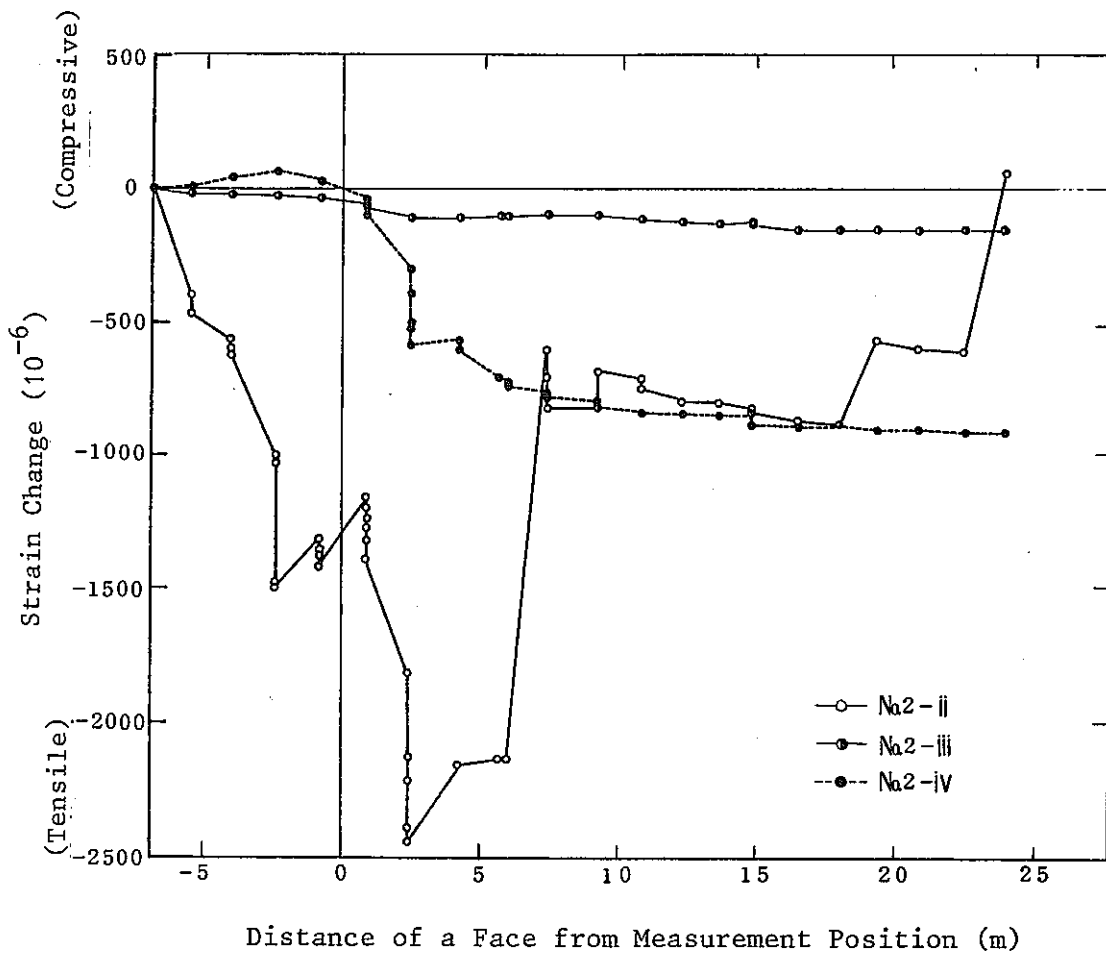


Fig. 5 Strain Changes Induced by Face Advancing.

#### 4. 空洞開削面の調査

A・B・C各空洞の側壁および天盤のスケッチを行い、開削空洞周辺の割れ目の分布状況を把握した。その結果、次年度以降実施される予定の単一割れ目トレーサ試験で対象とする割れ目として、B空洞からC空洞へ延びる、粘土を充填物として伴う割れ目（帯）を選定した。

Fig.6に天盤のスケッチと同試験用に選定した割れ目を示した。

また、C空洞において次年度以降実施される予定の模擬パッケージ埋設試験用試験孔埋設箇所周辺の床岩盤の洗い出しを行い、割れ目調査を実施した。その結果、C空洞中心部の床岩盤は、南北系と東西系の割れ目が比較的多数交差している部分であることがわかった。

#### 5. TRU模擬核種を用いた室内収着試験

高レベル放射性廃棄物等にはTRU核種が含まれるため、TRU核種を対象とした原位置試験が必要である。原位置におけるTRU核種の使用は実際には困難であるので、本年度から始まる第二フェーズの試験においては、核種のトレーサとしてTRU核種の模擬核種を使用することが望まれる。

本試験においては模擬核種候補元素としてランタニド（ランタン、セリウム、ネオジウム、ユーロピウム）およびバリウムの安定同位元素を使用し、原位置試験場の岩石中に多く含有され、また他の岩石中あるいは割れ目中に一般的に含まれているモンモリロナイトを対象としてバッチ法により分配係数を求めた。得られた結果をモンモリロナイトの陽イオン交換容量、液相のpH・Eh、共存イオン、液存化学種の影響等との関係で考察し、模擬核種候補元素の収着特性を把握した。

その結果、本試験条件でのモンモリロナイトは十分な陽イオン交換容量を持っていること、pHの増大に伴い分配係数が小さくなると、バリウム以外は混合条件で類似の収着挙動を示すこと、pHが高くなると分配係数が小さくなることがわかった。さらに、TRU核種について多くの既往の研究があるものの、上記模擬核種候補元素の模擬核種として使用することの妥当性については同様の試験条件でデータを得て比較する必要があるため、今回模擬核種候補元素について実施した試験方法と同様のTRU核種に関する試験を実施することが望まれる。

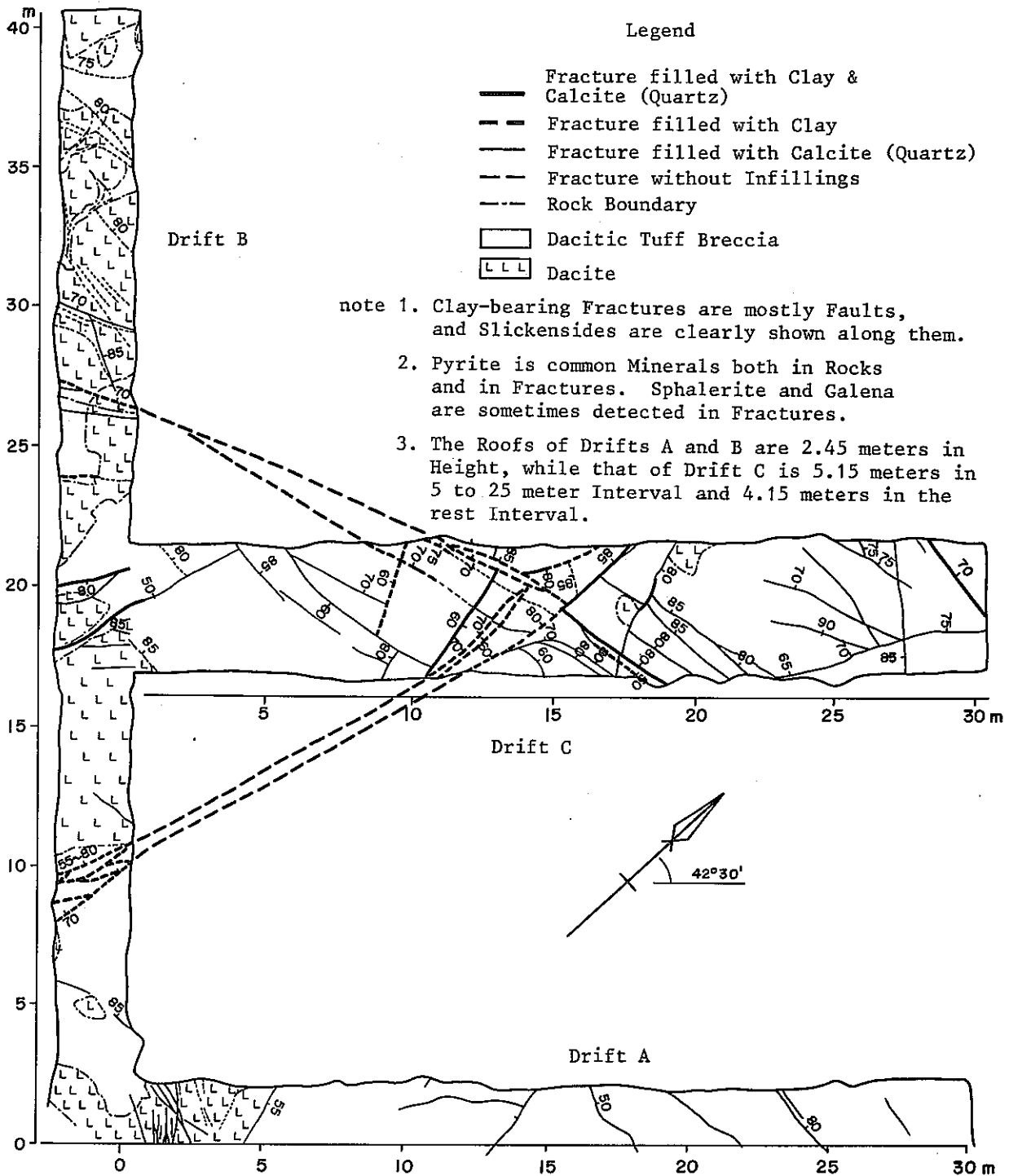


Fig. 6 Fracture Distribution Pattern around Drifts A, B and C.

## 6. 模擬廃棄物固化体の埋設および環境調査

適量の地下水の認められる箇所として、細倉鉾山坑内の下8番坑の感天立坑の南約70m付近の坑道の側壁を選定し、同箇所の地質および地下水の状況を調査した。調査項目は地質・割れ目等の観察、湧水状況の観察、湧水量の測定および湧水のpH・Ehの測定、水質分析(Ca、Mg、Na、K、Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Cu、Al、Cl、SO<sub>4</sub>、SiO<sub>2</sub>、Br、I、Co、Sr、Cs、T-CO<sub>2</sub>、Electric Conductivity  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )である。

上記調査終了後、側壁に向かって $-5^{\circ}$ ～ $-10^{\circ}$ 程度の傾きで径50mm、深度50cmの孔をさく岩機を用いて12孔掘削した。各孔にガラス固化体、ミニキャニスタ入ガラス固化体、ガラス固化体+圧縮ベントナイト、ミニキャニスタ入ガラス固化体+圧縮ベントナイト、金属材料(ステンレス鋼、純チタン、ハステロイC-276、軟鋼、無酸素銅)を埋設した。Table 2に埋設試験体の一覧表を示す。

埋設孔1孔ごとに試験体各一種類を埋設した。埋設期間を約3ヶ月、1年、2年、3年、4年の5つの異なる期間に分けた。したがって、各孔とも径5個(あるいはセット)の埋設個数となる。各孔内に地下水の流出が少ないか、認められない場合には、埋設箇所周辺の坑道内に流出する地下水を埋設孔内にチューブ等を用いて導き入れる方法を採用した。

埋設期間3ヶ月の試験体については、埋設期間終了後各孔よりそれぞれ試験体1個を回収した。他の試験体は所要の期間を経過するまで引き続き埋設する。回収した試験体のうち金属材料については腐食形態の観察、腐食生成物の同定、腐食減量の測定等を行った。その結果、SUS304およびハステロイC-276の試験体には腐食は認められなかった。また、純チタン、軟鋼、無酸素銅の腐食速度はそれぞれ、 $0.00026\text{mm}/\text{y}$ 、 $0.0280\text{mm}/\text{y}$ 、 $0.0030\text{mm}/\text{y}$ 程度であることがわかった。金属材料以外の試験体については動燃殿に試料を送付した。

その他、本埋設試験に係わる試験方法として、充填材等を埋設する場合の埋設方法および回収方法、埋設体の加熱方法および観測方法、水サンプリングの方法等について検討した。



Table 2 List of Test Samples

(Lower : Sample No.)

Emplacement Period Test Samples		About 3 months	1 Year	2 Years	3 Years	4 Years	Hole No.	
Glass Waste Form Two Pieces in one set		1 set G-1-1	1 set G-1-2	1 set G-1-3	1 set G-1-4	1 set G-1-5	G-1	
Glass Waste Form in Minicanister		1 piece G-2-1	1 piece G-2-2	1 piece G-2-3	1 piece G-2-4	1 piece G-2-5	G-2	
Glass Waste Form +Compacted Bentonite		1 piece G-3-1	1 piece G-3-2	1 piece G-3-3	1 piece G-3-4	1 piece G-3-5	G-3	
Glass Waste Form in Minicanister +Compacted Bentonite		1 piece G-4-1	1 piece G-4-2	1 piece G-4-3	1 piece G-4-4	1 piece G-4-5	G-4	
Metal Materials	Stainless Steel SUS 304	Coupon	1 piece M-1-1	1 piece M-1-2	1 piece M-1-3	1 piece M-1-4	1 piece M-1-5	M-1
		Double U Bend	1 piece M-2-1	1 piece M-2-2	1 piece M-2-3	1 piece M-2-4	1 piece M-2-5	M-2
	Commercially Pure Titanium	Coupon	1 piece M-3-1	1 piece M-3-2	1 piece M-3-3	1 piece M-3-4	1 piece M-3-5	M-3
		Double U Bend	1 piece M-4-1	1 piece M-4-2	1 piece M-4-3	1 piece M-4-4	1 piece M-4-5	M-4
	Hastelloy C-276	Coupon	1 piece M-5-1	1 piece M-5-2	1 piece M-5-3	1 piece M-5-4	1 piece M-5-5	M-5
		Double U Bend	1 piece M-6-1	1 piece M-6-2	1 piece M-6-3	1 piece M-6-4	1 piece M-6-5	M-6
	Mild Steel	Coupon	1 piece M-7-1	1 piece M-7-2	1 piece M-7-3	1 piece M-7-4	1 piece M-7-5	M-7
	Pure Copper	Coupon	1 piece M-8-1	1 piece M-8-2	1 piece M-8-3	1 piece M-8-4	1 piece M-8-5	M-8