

デコミッショニング技報

Journal of the RANDEC

巻頭言：3つのリサイクル

—持続的原子力の実現に向けて—

技術的報告：プルトニウム廃棄物処理開発施設の概要と減容・
安定化処理の運転実績

処分事業費用試算システムの開発

鹿島建設における放射性廃棄物処分関連技術の
開発

ワイヤーソーによる鋼管切断技術の開発

財団法人 原子力研究バックエンド推進センター

Radioactive Waste Management and Nuclear Facility
Decommissioning Technology Center

No. **29** 2004

RANDEC

RANDECは、原子力施設のデコミッショニング（廃止措置）技術の確立をめざした活動及びRI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する調査等を行っています。

事業の内容

デコミッショニングに関する試験研究・調査を行います。

◆

デコミッショニングに関する技術・情報を提供します。

◆

デコミッショニングに関する人材を養成します。

◆

RI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する調査等を行います。

◆

デコミッショニング及びRI・研究所等廃棄物の処分地の立地等処理処分事業に関する普及啓発活動を行います。

デコミッションング技報

第29号 (2004年3月)

目次

巻頭言

- 3つのリサイクル：持続的原子力の実現に向けて 1
河田 東海夫

技術的報告

- プルトニウム廃棄物処理開発施設の概要と減容・安定化処理の運転実績 2
福井 雅裕、柴田 祐一、田村 哲郎、
五来 弘康、佐藤 俊一、植田 晴雄
- 処分事業費用試算システムの開発 13
鯉渕 浩人、石黒 秀治、松田 健二
- 鹿島建設における放射性廃棄物処分関連技術の開発 25
広中 良和、戸井田 克、森川 誠司、
奥津 一夫、山本 拓治、古市 光昭
- ワイヤーソーによる鋼管切断技術の開発 43
神山 義則、稲井 慎介

Journal of the RANDEC

No.29 Mar. 2004

CONTENTS

Technical Report

- Operational Experience of Volume Reduction and Stabilization Treatment at PWTF 2
Masahiro FUKUI, Yuichi SHIBATA, Tetsuro TAMURA
Hiroyasu GORAI, Shunichi SATO, Hareo UETA
- Development of LLW and VLLW Disposal Business Cost Estimation System 13
Hiroto KOIBUCHI, Hideharu ISHIGURO, Kenji MATSUDA
- Achievements of Research and Development of Kajima on Radioactive Waste Disposal 25
Yoshikazu HIRONAKA, Masaru TOIDA, Seiji MORIKAWA,
Kazuo OKUTSU, Takuji YAMAMOTO, Mitsuaki FURUICHI
- Development of Cutting Techniques of Steel Pipe by Wire Sawing 43
Yoshinori KAMIYAMA, Shinsuke INAI

Operational Experience of Volume Reduction and Stabilization Treatment at PWTF

Masahiro FUKUI, Yuichi SHIBATA,
Tetsuro TAMURA, Hiroyasu GORAI,
Shunichi SATO and Hareo UETA

J.RANDEC, No29 (Mar. 2004) page 2 ~ 12, 16 Figures, 1 Table

The Plutonium-contaminated Waste Treatment Facility (PWTF) in Tokai Works of Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has entered in hot operation since November 1987.

The purpose of the PWTF are to demonstrate techniques for volume reduction of the plutonium contaminated solid wastes generated from the MOX fuel fabrication facilities and to obtain basic data of solidified body for final disposal. On the basis of the JNC's R&D results, the PWTF was designed to incorporate several unit processing operations in large glove box. The PWTF has two incinerators for combustible wastes and chlorine containing wastes, a electroslag melter for metal wastes and a microwave melter for ash from incinerators.

This report describes the operational experience and achievement accumulated by sixteen years operation of PWTF.

Development of LLW and VLLW Disposal Business Cost Estimation System

Hiroto KOIBUCHI, Hideharu ISHIGURO,
Kenji MATSUDA

J.RANDEC, No29 (Mar. 2004) page 13 ~ 24, 11 Figures, 1 Table

In order to undertake the LLW and VLLW disposal business, various examinations are carried out in RANDEC. Since it is important in undertaking this business to secure funds, a disposal cost must be calculated by way of trial. However, at present, there are many unknown factors such as the amount of wastes, a disposal schedule, the location of a disposal site, and so on, and the cost cannot be determined. Meanwhile, the cost depends on complicated relations among these factors.

Then, a "LLW and VLLW disposal business cost estimation system" has been developed to calculate the dis-

posal cost easily. This system can calculate an annual balance of payments by using a construction and operation cost of disposal facilities, considering economic parameters of tax, inflation rate, interest rate and so on. And the system can calculate internal reserves to assign to next-stage upkeep of the disposal facilities after the disposal operation.

A model of disposal site was designed based on assumption of some preconditions and a study was carried out to make a trial calculation by using the system. Moreover, it will be required to reduce construction cost by rationalizing the facility and to make flat an annual business spending by examining the business schedule.

Achievements of Research and Development of Kajima on Radioactive Waste Disposal

Yoshikazu HIRONAKA, Masaru TOIDA,
Seiji MORIKAWA, Kazuo OKUTSU,

Takuji YAMAMOTO, and Mitsuaki FURUICHI
J.RANDEC, No29 (Mar. 2004) page 25 ~ 42, 28 Figures, 2 Tables

Kajima Corporation has been committed to the construction of nuclear power plant for a long time as a construction company. In 1957 Kajima made its first construction of the main building for the JRR-1 (Japan Research Reactor No.1) of JAERI, which was the first and historical one in Japan. Since then the company has been involved in many projects related to nuclear power generation. In addition to the construction, Kajima has been playing an important role in the technology development of decommissioning system as well as radioactive waste disposal facilities, both of which are now having an increasing importance.

In a sense of technology development, the technology of civil engineering is commonly applicable to the construction of radioactive waste disposal facilities, however some other technology developments have to be made due to the unique characteristics of radioactive waste disposal. Kajima has promoted many research and development projects related to radioactive waste disposal in order to improve the reliability and the feasibility of the nuclear recycling process. This report introduces some of the achievements as follows made by Kajima.

- Construction of radioactive waste disposal facilities
- Natural barrier
- Engineering barrier
- Monitoring

Development of Cutting Techniques of Steel Pipe by Wire Sawing

Yoshinori KAMIYAMA, Shinsuke INAI
 J.RANDEC, No29 (Mar. 2004) page 43~57, 15 Figures,
 7 Tables, 14 Photos

A cutting method has a high cutting efficiency and enable cutting in safe. A wire saw cutting method is used for dismantling of massive concrete structures such as nuclear power plants with an effective and safe mean.

In the case of dismantling of structures with multiple pipes installed at these facilities, an effective method is also demanded. If a wire saw method to remotely cut tar-

get objects in a large block in bulk is applicable, it will be expected an effective dismantling work under severe conditions with radioactivity.

Although the wire saw method has adaptability for any shapes of cutting target objects and is widely adopted in dismantling of concrete constructs, it has few actual achievements in dismantling of steel structures such as steel pipe bundle.

This study aims to verify its cutting characteristics and adaptability as a cutting method by conducting a cutting basic test to develop a diamond wire saw method to efficiently cut constructs with multiple pipes in a bundle.

The test proved that a wire saw cutting method apply to dismantle structures with steel pipe bundle. A wire saw for metal cutting is adaptable in dismantling of bundle of thick carbon steel and stainless steel pipes. And also a wire saw for concrete cutting is adaptable in dismantling of pipe bundle structure with a mortar.

3つのリサイクル：持続的原子力の実現に向けて



核燃料サイクル開発機構
理事 河田 東海夫

昨年は、アイゼンハワー大統領による "Atoms for Peace" 宣言からちょうど50年目ということで、原子力の平和利用や核拡散の問題を議論する会議が国内外で開かれた。安全問題、廃棄物問題、核不拡散問題、地元との共生問題等々、原子力の世界は、技術的にも、社会的にも、そして政治的にも厄介極まりない。それほど限りなく厄介なものを背負い込んででも人類がその技術にコミットし、今後もそうし続けようとするのは、エネルギー資源としての有限性が現実問題として見えてきた化石燃料に代わり、原子力が人類に無尽蔵のエネルギーを提供するという期待からに他ならない。このことから、原子力開発にかかわる者のもっとも重大な責務は、「いかにして頼もしいエネルギー源としての原子力を、21世紀を超えて末永く人類に貢献できるように仕立て上げていくか」ということであるということが出来る。

そのために技術的に達成すべき基本事項は、次の4項目に整理できよう。

- (1) 増殖炉サイクル技術を完成させ、ウラン資源からの無尽蔵に近いエネルギー取出しを可能とすること
- (2) 水素製造など電力以外の形態のエネルギー供給用原子力技術を確立すること
- (3) 放射性廃棄物処分技術を確立し、かつそれが半恒久的に実施可能であるという見通しを示すこと
- (4) 退役原子力施設の合理的後始末方法を確立し、原子力サイトの恒常的な再利用の道を確立すること

(1)については、海水からのウラン回収により、直接処分方式でも無尽蔵のエネルギーを手にできるとの意見もあるが、せっかく回収した資源を1%も有効利用しないまま捨て続ける方式は、結局のところ人類へのエネルギー供給の恒久的な解にはなり難いと思う。超長期にわたり持続的なシステムとするためには、やはり循環型システムを基本にすることが、環境への負荷低減の観点からも必須の要件であろう。その意味で、(2)についても、燃料のリサイクル利用が可能な体系を目指す必要があると思う。

(3)、(4)はどちらもバックエンドにかかわる事項であるが、それぞれの技術の安全性、合理性の追求に加え、きわめて貴重な社会的資源ともいえる処分場や各種原子力サイトが、前者については極力長期にわたり利用でき、また後者については退役施設の廃止措置後も「再生利用」により最大限有効に利用できる道を確立しなければならない。廃止措置技術は単なる施設の後始末技術ではなく、貴重な社会的資源である原子力サイトを再生させ、再利用するための技術でもある。さらに、廃止措置で大量に発生する解体廃棄物のうち、クリアランスレベルを下回りかつ資源として有用なものについて再利用の道が実現できれば、処分場の負担を軽減し、廃止措置終了後の原子力サイトの再利用をより容易にするという効果が期待できる。

こうしてみると、原子力を何世紀にもわたり人類に貢献できるように仕立て上げるためには、核燃料のリサイクル利用、解体廃棄物のリサイクル利用(限定的であるにしても)、原子力サイトのリサイクル利用の3つのリサイクルの実現を目指していく必要がある。このうち特に後の2つのリサイクルの実現に向けては、RANDECの知恵と技術が大いに期待されるところであろう。

現在、原研とサイクル機構の統合準備作業がいよいよ佳境に入りつつある。これにより、わが国唯一の総合的な原子力研究開発機関が誕生することになるが、以上述べたような長期的視点は是非きちんと継承し、生かしていきたいと考えている。

プルトニウム廃棄物処理開発施設の概要と減容・安定化処理 の運転実績

福井雅裕* , 柴田祐一* , 田村哲郎**
五来弘康** , 佐藤俊一* , 植田晴雄*

Operational Experience of Volume Reduction and Stabilization Treatment at PWTF (PWTF: Plutonium contaminated Waste Treatment Facility)

Masahiro FUKUI, Yuichi SHIBATA, Tetsuo TAMURA
Hiroyasu GORAI, Shunichi SATO, Hareo UETA

The Plutonium-contaminated Waste Treatment Facility (PWTF) in Tokai Works of Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has entered in hot operation since November 1987.

The purpose of the PWTF are to demonstrate techniques for volume reduction of the plutonium contaminated solid wastes generated from the MOX fuel fabrication facilities and to obtain basic data of solidified body for final disposal. On the basis of the JNC's R&D results, the PWTF was designed to incorporate several unit processing operations in large glove box. The PWTF has two incinerators for combustible wastes and chlorine containing wastes, a electroslag melter for metal wastes and a microwave melter for ash from incinerators.

This report describes the operational experience and achievement accumulated by sixteen years operation of PWTF.

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構 東海事業所のプルトニウム廃棄物処理開発施設（以下、PWTFと言う）では、MOX（Mixed Oxide：プルトニウム・ウラン混合酸化物）燃料製造施設等から発生するプルトニウム系放射性固体廃棄物（以下、廃棄物と言う）の減容・安定化処理の技術評価及び処理

プロセスの実証を実廃棄物を使用して1987年11月から行っている。

本施設の工程は「前処理選別工程」「焼却工程」「溶融工程」の三つに大別される。前処理選別工程では可燃物、難燃物、不燃物の選別仕分け、使用済み高性能エアフィルタ及び金属板材等の切断・細断を行っている。可燃物焼却工程では可燃物及び切断した高性能エアフィルタを焼却している。

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

**：原子力技術株（Nuclear Technology & Engineering Co.LTD.）

難燃物焼却工程では、細断された難燃物を焼却してきたが、老朽化のため2002年6月から、可燃物および難燃物焼却工程での経験を活かして、第2難燃物焼却工程設備での難燃物焼却の実証試験を実施している。老朽化し運転を停止した難燃物焼却炉は、2003年に解体撤去した。溶融工程には焼却処理によって発生した焼却灰を安定固化する灰溶融工程と、細断した金属板等を溶融する金属溶融工程がある。

2. プルトニウム廃棄物処理開発施設の施設概要

2.1 建家構造

PWTFの建家は、地下1階、地上3階建ての鉄筋コンクリート造り耐震耐火構造であり、建築面積約2,000m²、延床面積約7,300m²である。このうち管理区域は約5,000m²である (Fig.1 参照)。

管理区域は無窓構造で、扉等も漏えいの少ない構造になっている。また管理区域内は給排気設備によって外気に対して負圧に維持され、汚染の可能性が高い区域の負圧を深くして、空気の流れが汚染の可能性の低い区域から高い区域に向かうように空気流線を確認している。管理区域からの排気は、プレフィルタ及び高性能エアフィルタを通して排気筒から大気中に放出している。

また、管理区域内の床・壁は除染処置が容易な平滑面になっており、浸透しにくいエポキシ樹脂等で塗装されている。

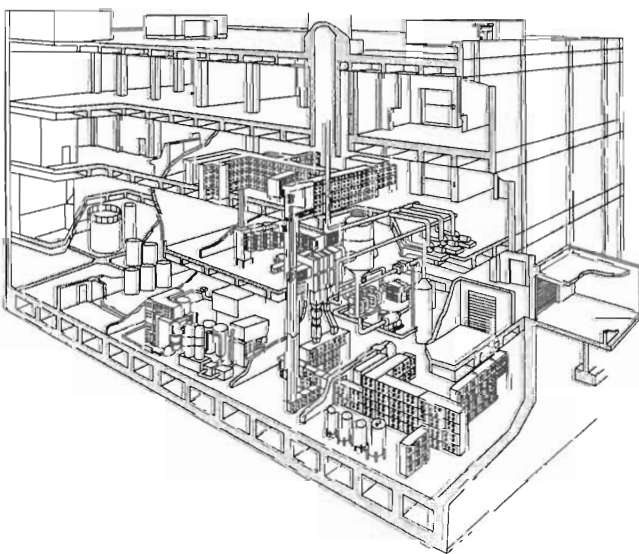


Fig.1 Overhead View of PWTF

2.2 各工程設備の閉じ込め機能・安全対策

作業員の内部被ばくを防止するため、廃棄物はグローブボックス内で取り扱っている。このグローブボックスは、MOX燃料製造施設と同様の閉じ込め包蔵機能を有し、強制排気で工程室内より更に約300Pa (30mmH₂O) の負圧を維持することにより核物質が室内へ漏えいすることを防止している (Fig.2 参照)。また、グローブボックスへの物品の出し入れは、グローブボックスのバッグポートに取り付けられた塩化ビニール製のバッグを使用して行っている (バッグによるグローブボックスへの搬入を「バッグ・イン」、搬出を「バッグ・アウト」と言う)。各工程設備のグローブボックス間の移送は、トンネル等を介して行う構造としている。なお、処理対象廃棄物の搬入は、搬入専用グローブボックスに取り付けられたエアロック装置 (Fig.3 参照) から行っている。

各工程設備はプロセスの自動化を図り、また安全上の管理を特に必要とする設備にはインターロックによる多重安全機構を設けている。

2.3 処理対象物

処理対象の廃棄物は、可燃物では紙・布・木・プラスチック等、難燃物では塩化ビニール・ゴム、不燃物では炭素鋼・ステンレス鋼板である。廃棄物は、可燃物、難燃物及び不燃物毎に分類して、カートンボックス (厚紙製容器: 高さ約350mm×上面約280φ・下面約240φ) 単位で封入し、200リットルドラム缶に収納されている。高性能エア

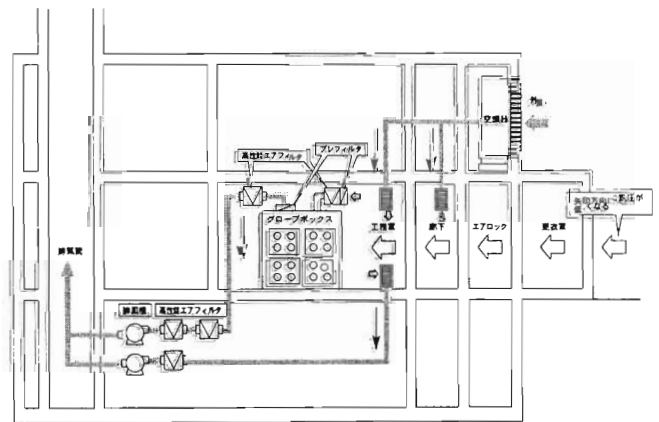


Fig.2 Negative Pressure Conservation System for Building and Glove Box

フィルタ等、カートンボックスに封入できない大きさの廃棄物は塩化ビニール製シートで二重に梱包し、1m³コンテナ等に収納されている (Fig.4参照)。その後、核物質管理 (計量管理) のためWDAS (Waste Drum Assay System: 廃棄物ドラム非破壊測定装置) 等 (Fig.5参照) で、廃棄物中のプルトニウム量を測定し、P W T F で処理を行うまでの間、プルトニウム廃棄物貯蔵施設で保管・管理される。

3. 工程設備概要

本施設では、廃棄物処理フロー (Fig.6参照) 及び廃棄物の流れ (Fig.7参照) を考慮し、物流が交錯しないように主要設備が配置されている。

廃棄物は、200リットルドラム缶等に収納された状態でP W T F の搬入設備で受け入れ、前処理選別工程設備へ搬送される。ここで200リットルドラム缶等は開口され、収納されているカートンボックス等は表面汚染検査・金属混入検査が行

われる。グローブボックスに搬入されたカートンボックス等は開梱・選別仕分けされ、必要に応じて細断処理等が行われる。なお、第2難燃物焼却工程設備はカートンボックスのまま焼却処理でき

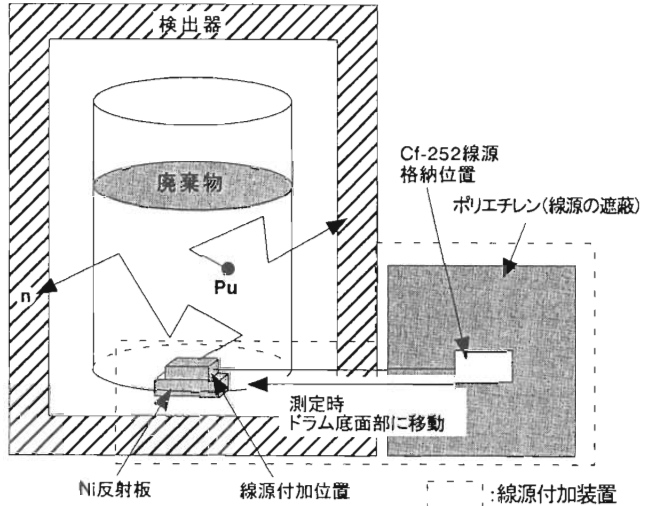


Fig.5 Principle of Waste Drum Assay System (WDAS)

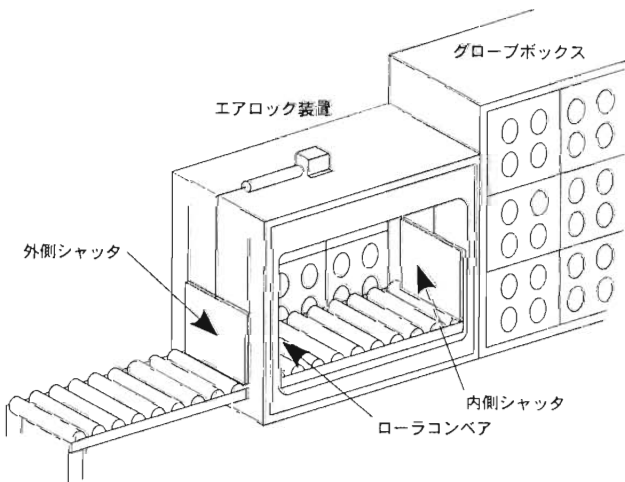


Fig.3 Schematic Illustration of Air Lock Equipment for Waste Instration

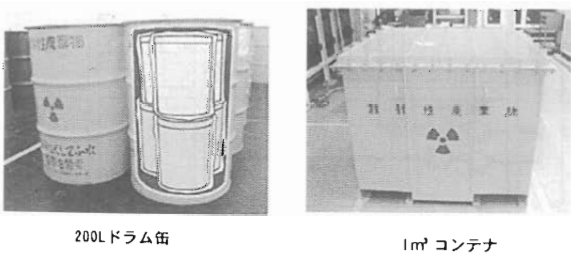


Fig.4 Drum and Container

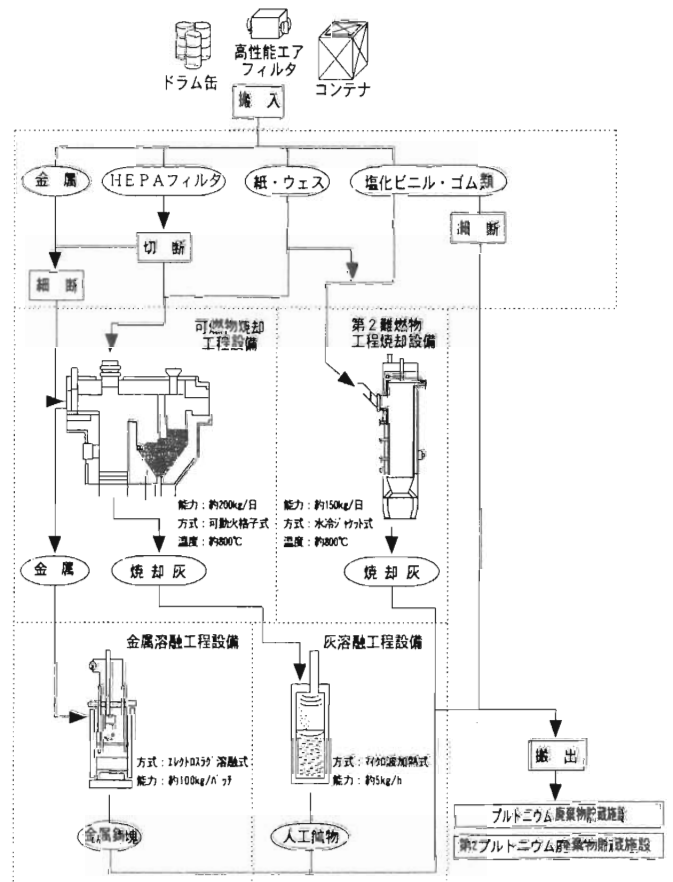


Fig.6 Process Flow of P W T F

る設備なので、難燃性廃棄物カートンボックスは、表面汚染検査と金属混入検査に加え、X線透視装置で異物の混入が無い事を確認して処理する。

3.1 前処理選別工程設備

前処理選別工程設備では、カートンボックス、高性能エアフィルタ及び塩化ビニール製シート等による二重梱包物等を、搬入専用グローブボックスのエアロック装置等から作業用グローブボックスに搬入し、手作業により開梱・選別仕分けを行う (Fig.8 参照)。

(1) 可燃性廃棄物・高性能エアフィルタの前処理
 カートンボックスに収納されている可燃性廃棄物は、バッグ・アウトに使用した塩化ビニール製のビニールバッグと内容物 (紙、布、木片、プラスチック、酢酸ビニール等) に応じてそれぞれ分別し、専用の段ボール箱に詰め替えて、可燃物焼却工程設備へ移送される。高性能エアフィルタは、梱包材の塩化ビニールを取り除き、高性能エアフィルタ自動切断装置で切断して同様の専用

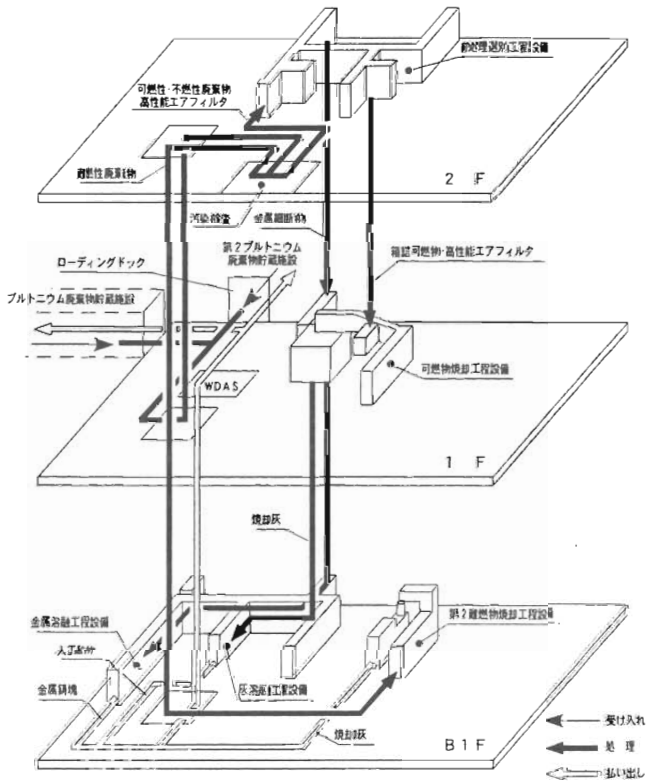


Fig.7 Processing Waste Flow

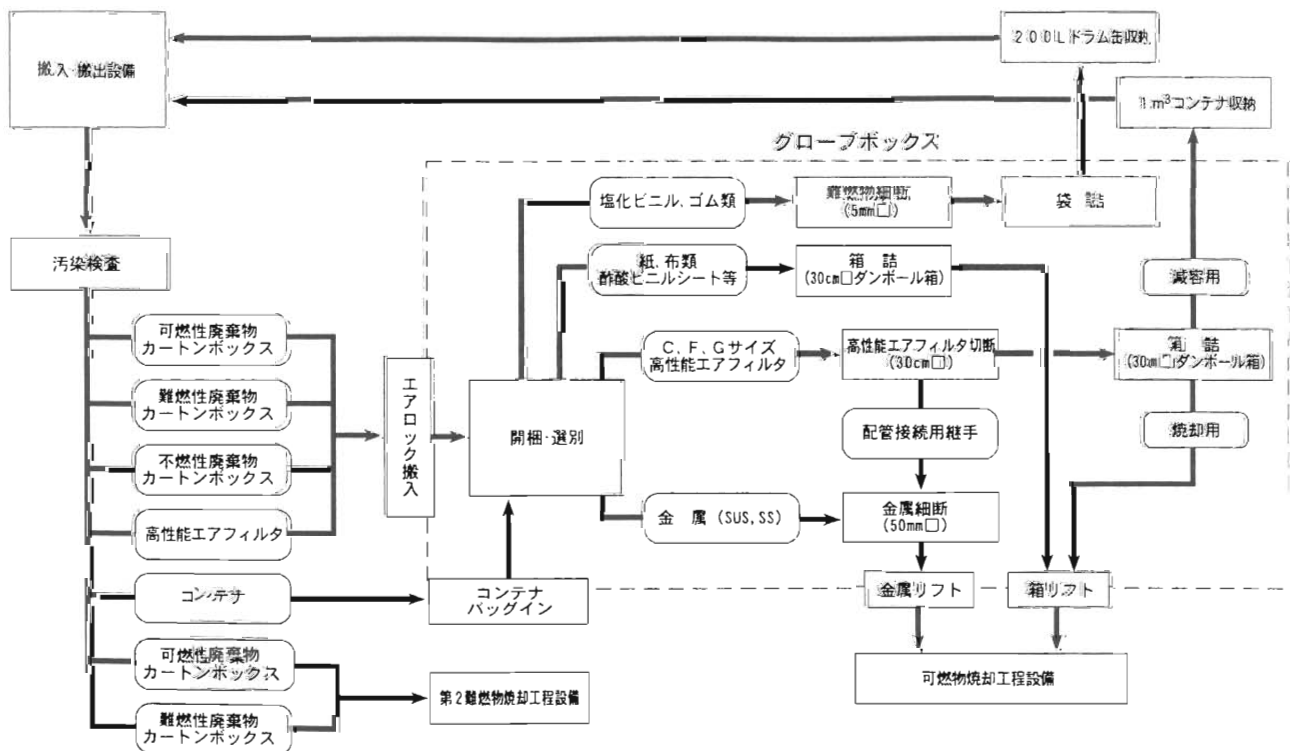


Fig.8 process Flow of Pretreatment

段ボール箱に箱詰めした後、可燃物焼却設備へ移送される (Fig.9 参照)。

(2) 不燃性廃棄物の前処理

炭素鋼・ステンレス鋼板等は、金属細断装置で50mm角に細断後、専用の金属トレイで、可燃物焼却工程設備の金属仮焼棚へ移送される。

3.2 可燃物焼却工程設備

可燃物焼却工程設備 (Fig.10 参照) では、前処

理選別工程設備からの専用段ボール箱詰め可燃物と高性能エアフィルタの切断物を焼却する。また、金属細断物は金属仮焼棚で熱処理し、表面に付着しているペイント等の有機物が熱分解される。本設備は供給、焼却、廃ガス処理、破碎分離工程から構成されている (Fig.11 参照)。

(1) 供給工程

箱詰めされた可燃物及び高性能エアフィルタは、発熱量及び燃焼特性等を考慮して焼却順序を

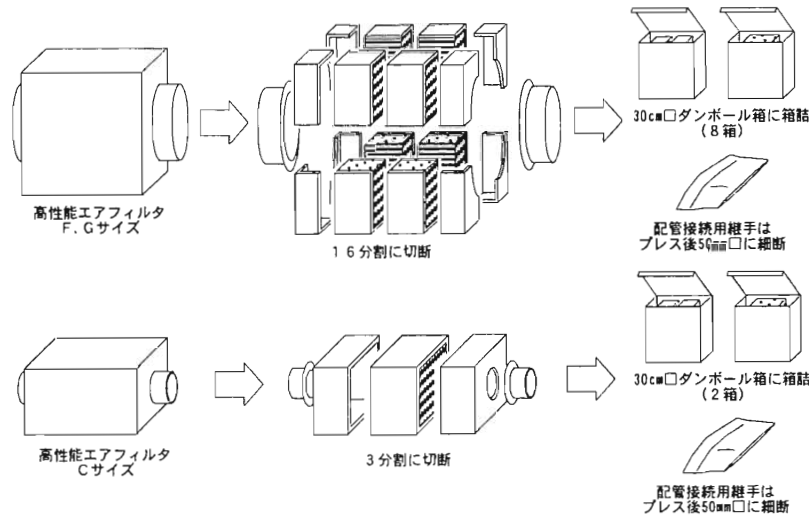


Fig.9 Cutting of HEPA Filter

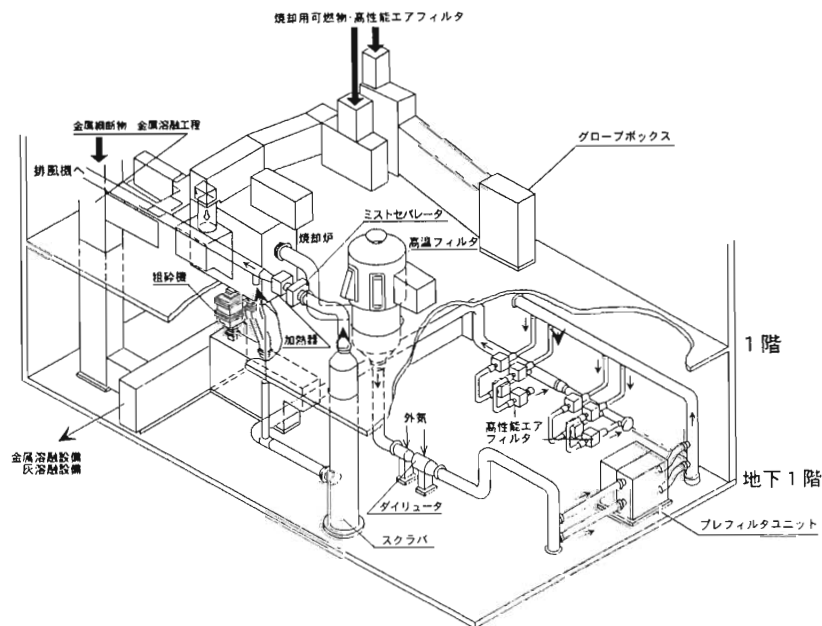


Fig.10 Layout Drawing of Combustible Waste Incinerator

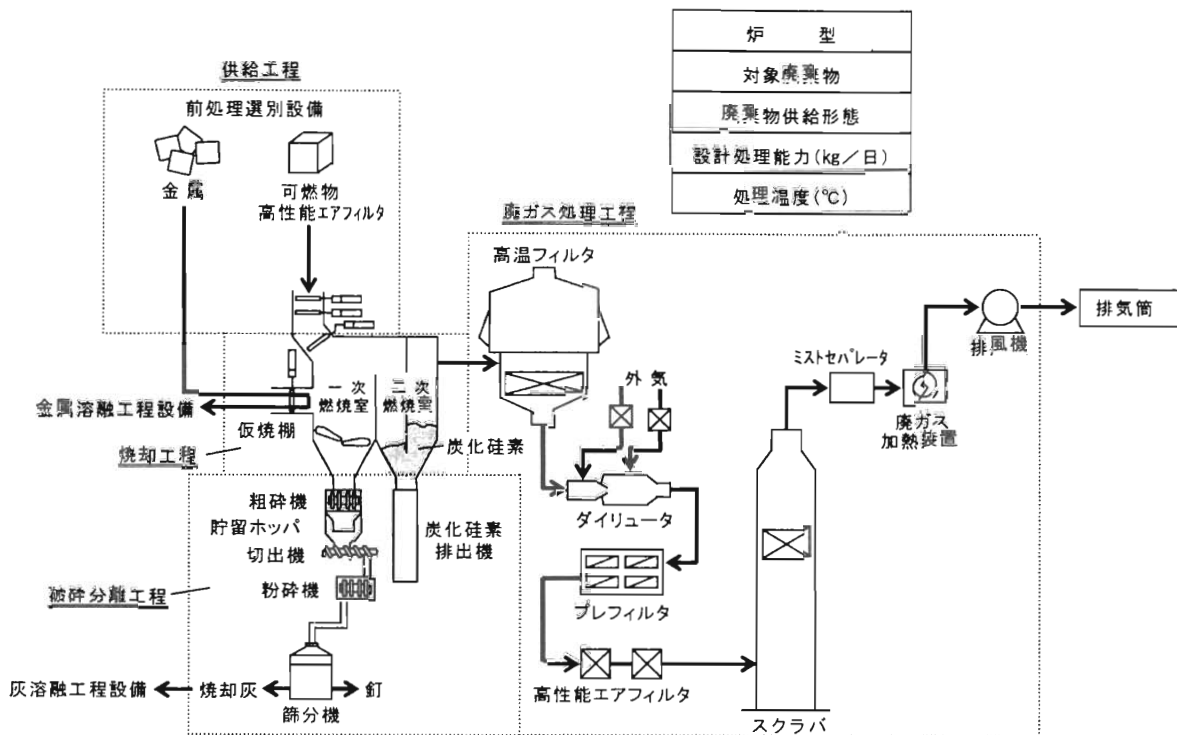


Fig.11 Schematic Illustration of Combustible Wastes Incineration Equipment

決定して焼却炉へ自動投入される。金属細断物は金属トレイに収納され、焼却炉内金属仮焼棚へ挿入される。

(2) 焼却工程

可燃物焼却炉（箱型可動傾斜階段式火格子炉、設計処理能力：200kg／日）本体は、1次燃焼室と2次燃焼室からなる。焼却炉はグローブボックスの外に設置されているが、グローブボックスと同等の包蔵性を有し、本工程設備専用の排気設備によって工程室内より約350Pa (35mmH₂O) の負圧（グローブボックスより約50Pa (5mmH₂O) 負圧）に維持されている。これにより核物質の室内への漏えいを防止し、あわせて焼却によって発生する熱が、グローブボックス側へ逆流することを防止するように空気流線を確認している。

可燃物焼却炉に投入した可燃物及び高性能エアフィルタは、1次燃焼室底部の火格子上で灯油バーナ2基と火格子下部からの燃焼空気により焼却される（燃焼温度は約800～1,000℃）。2次燃焼室内では、充填された炭化ケイ素により1次燃焼室からの飛灰を捕集するとともに、加熱された

炭化ケイ素より廃ガス中の未燃焼物質（タール、煤等）を2次燃焼している。

また、金属仮焼棚に挿入した金属細断物は、1次燃焼室中の輻射熱で加熱され、ペイント等の有機物が熱分解される。冷却後、細断物は金属溶融工程設備へ移送される。

(3) 廃ガス処理工程

2次燃焼室からの廃ガス（約750℃）中に含まれるダストは、高温フィルタで捕集される。高温フィルタからの廃ガスは、除湿した外気とダイリユータで混合して冷却（約120℃）された後、プレフィルタ及び高性能エアフィルタで微細なダスト及び放射性物質を捕集する。放射性物質を除去した廃ガスは、アルカリ洗浄により公害規制物質を除去し、ミストセパレータ及び廃ガス加熱装置で廃ガスの湿度を下げた後、排風機で排気筒から大気中に放出される。

(4) 破砕分離工程

焼却灰は、焼却炉を冷却（<280℃）させた後、火格子を開けて炉内から焼却灰粗砕機へ排出させ灰の塊を破砕後、貯留ホッパで冷却（<50℃）し

ている。その後、焼却灰粉碎機で粉碎し、篩分機で金属片(高性能エアフィルタの木枠固定用に使用されている釘等)を取り除き、灰溶融工程設備へ移送される。

3.3 灰溶融工程設備

灰溶融工程設備 (Fig.12 参照) は、供給、溶融、廃ガス処理、搬出工程からなる。可燃物焼却工程設備で処理した焼却灰はマイクロ波溶融固化法によって溶融固化(設計処理能力:27kg/日)される。

溶融炉は、上部炉体と下部炉体に分割が可能であり、この炉体接続部は溶融処理中のマイクロ波の漏えいを防止するチョーク構造になっている。

焼却灰は、溶融炉の下部炉体内に配置したステンレス製の金属ルツボに連続供給(3~4 kg/hr)され、マイクロ波(2,450MHz、出力5~6 kw)による誘電加熱(約1,400°C)によって溶融され、固化体(人工鉱物)となる。

固化体は、バッグ・アウトして200リットルドラム缶へ8本ずつ封入後、核物質管理(計量管理)のためWDASでプルトニウム量を測定後、プルトニウム廃棄物貯蔵施設へ搬出される。

3.4 金属溶融工程設備

金属溶融工程設備 (Fig.13 参照) は、供給、溶融、破碎、廃ガス処理、搬出工程からなる。可燃物焼却工程設備で付着物を除去した金属細断物が、水冷銅鑄型方式エレクトロスラグ溶融固化法により溶融固化(設計処理能力:100kg/日)される。

水冷銅鑄型内に投入された粉碎スラグ(CaO、Al₂O₃、B₂O₃の混合物)は、タングステン電極からの通電(180kVA)によるジュール熱で溶融され、スラグプールを形成する。この中に金属細断物が投入(40kg/hr)され、溶融スラグの熱(約1,800°C)で溶融後、冷却して固化体(金属鑄塊)となる。

固化体は、バッグ・アウトして特殊ドラム缶へ封入後、これを3体分組み合わせて(200リットルドラム缶と同寸法)、WDASでプルトニウム量を測定後、プルトニウム廃棄物貯蔵施設に搬出される。

3.5 第2 難燃物焼却工程設備

第2 難燃物焼却工程設備 (Fig.14 参照) は、難燃性廃棄物(塩素分を含む難燃物:塩化ビニール、

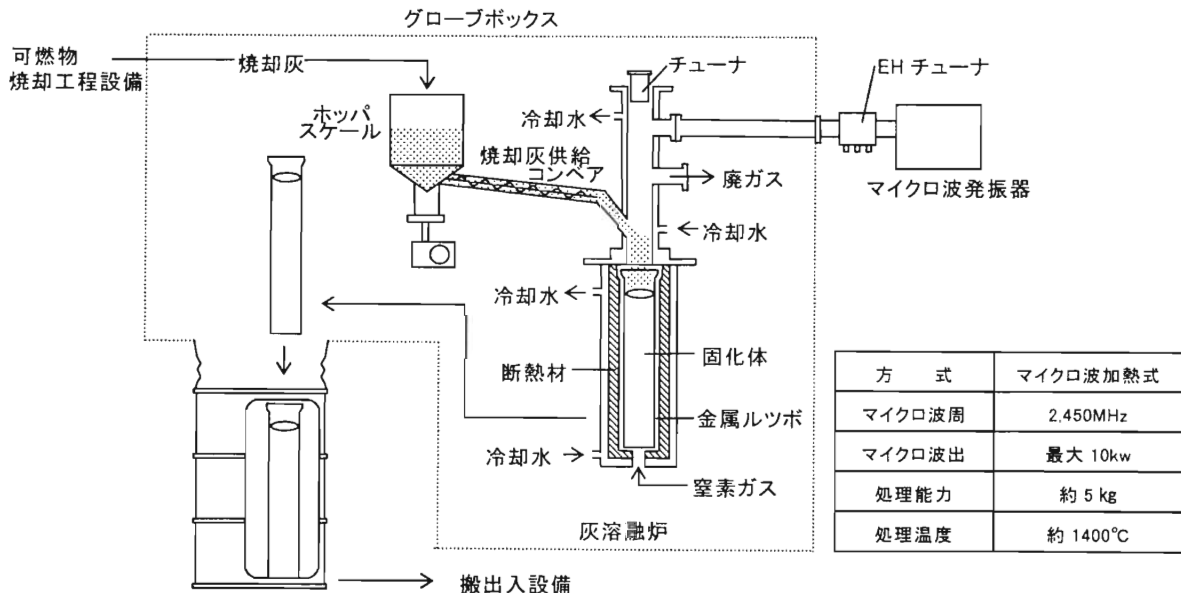


Fig.12 Schematic Illustration of Combustible Wastes Incineration Equipment

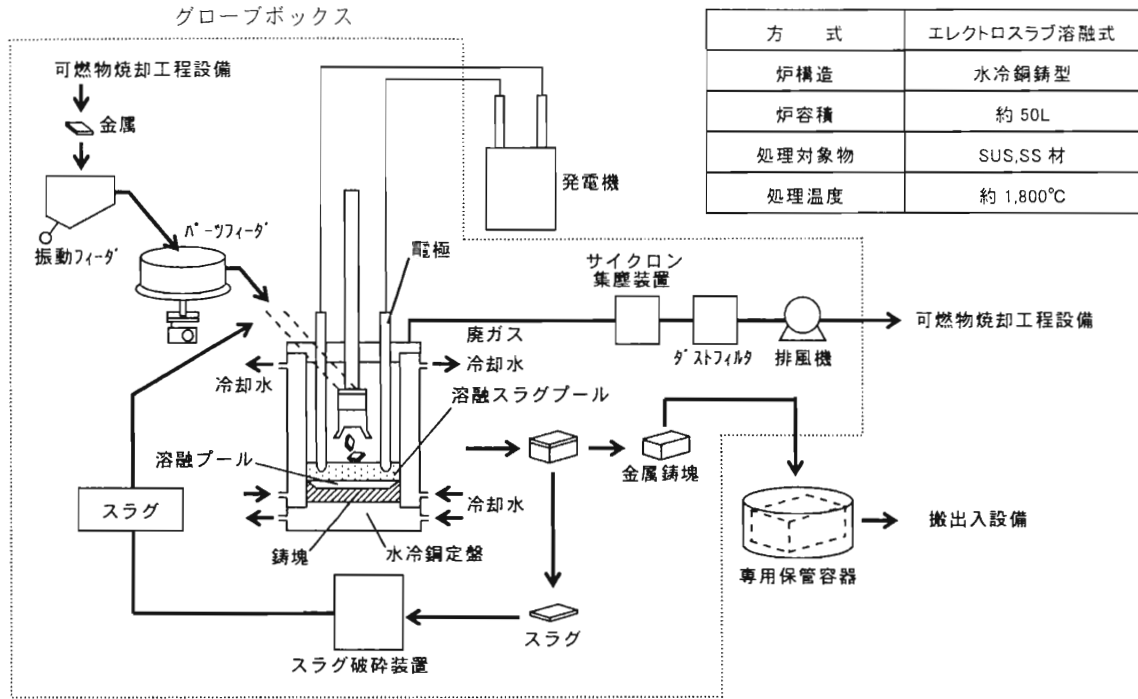


Fig.13 Schematic Illustration of metal melter

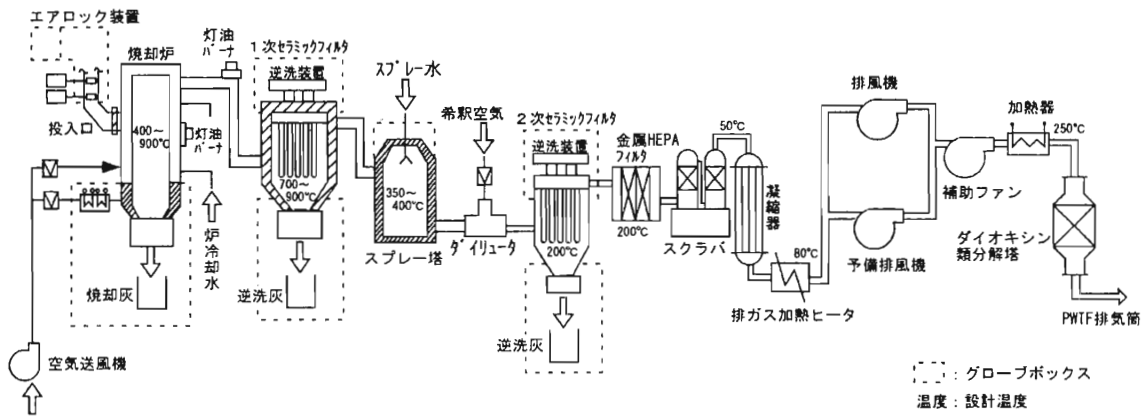


Fig.14 Schematic Illustration of Chlorine Contained Waste Incineration Equipment

ゴム類等)の焼却減容処理を行う設備である。

本設備は1989年から実証試験を実施していた難燃物焼却試験(サイクロン焼却炉)の実績と課題等を反映し、処理量の増大及び機器の耐食性の向上を目標に設計され、1997年に設置された。その後、コールド試験運転を経て2002年6月より実廃棄物を用いた実証試験を開始した。

本設備は供給、焼却(廃ガス処理を含む)及び

灰取出工程で構成されている。

特に本設備は、難燃性廃棄物の焼却時に発生する腐食性ガス(塩素性ガス等)による機器の腐食を防止するために、設備の機器及び配管にニッケル基合金(ハステロイ)、セラミックライニング等の耐食性材料を使用し、さらに機器の温度を管理して機器内部に結露が発生しないように設計されている。

(1) 供給工程

表面汚染検査、金属混入検査およびX線透過装置での異物混入確認を経て焼却可と判定された難燃物カートンボックスは、エアロック装置からグローブボックス内へ搬入し、カートンボックス専用コンベア及びリフト等で焼却炉内へ自動投入される。

(2) 焼却工程

焼却炉本体の形式は、水冷ジャケット式縦型円筒炉を採用している。炉内は排気装置で400mmH₂Oの負圧に制御して、グローブボックスへの熱の逆流を防止している。投入された廃棄物は灯油バーナ及び廃棄物の燃焼熱で焼却され(炉内温度約500℃)、焼却灰と塩素分を含んだ廃ガス成分に分離される。

廃ガスは、灯油バーナで500℃～700℃に維持した1次セラミックフィルタを通して廃ガス中の粉塵の除去と2次燃焼が行なわれる。その後、スプレー塔での水噴霧及びダイリュータで約200℃に冷却し、低融点物質(塩化鉛等)を析出させて、2次セラミックフィルタで除塵される。最後に高性能エアフィルタで放射性物質等を取り除き、スクラバで塩素分を除去して、触媒分解式ダイオキシン分解塔でダイオキシン類が分解され、本工程専用の排風機で排気筒から大気中に放出される。

(3) 灰取出工程

炉底部に堆積した焼却灰は、焼却運転終了後に炉底ダンパから灰冷却用容器に排出して、冷却した後、10リットルポリ容器に回収し、バッグ・アウトして200リットルドラム缶へ6本ずつ収納される。その後、WDASでプルトニウム量を計量し、プルトニウム廃棄物貯蔵施設へ搬出される。

1次及び2次セラミックフィルタで捕集された灰は、逆洗装置で除去され、灰冷却ボックスで冷却した後、逆洗灰として10リットルポリ容器に回収され、焼却灰と同様の方法でプルトニウム廃棄物貯蔵施設へ搬出される。

4. 実証試験運転の実績

4.1 前処理選別工程設備

前処理選別工程設備の処理量を Table.1 に示す。本設備では、これまでに200リットルドラム缶換算で14,100本の廃棄物を受け入れて前処理を

実施した。

また、本設備では高性能エアフィルタの切断・詰替え及び難燃性廃棄物の細断(5mm角)と詰替えを行い、1m³コンテナ及び200リットルドラム缶等への収納効率を向上させて、プルトニウム廃棄物貯蔵施設の貯蔵裕度の確保を図った。これにより高性能エアフィルタの切断・詰替え作業では、200リットルドラム缶換算370本の容積を約1/2の170本に減容できた。また難燃性廃棄物の減容細断作業では、200リットルドラム缶換算4,450本を約1/5の870本に減容できた。

4.2 可燃物焼却工程設備

可燃物焼却工程設備は、運転日数1,383日で約180t(可燃物:約108t、高性能エアフィルタ:約72t)の処理を行った。200リットルドラム缶換算では7815本の廃棄物が193本の焼却灰になったことから、減容効果は約1/40であった。なお、運転開始当初は日勤体制で焼却運転を行っていたが、処理量を増加させるため、1990年より二交替体制に変更した。

これまでの焼却処理量から処理能力の評価を行ったところ、設計処理能力が200kg/日に対し、実績は約130kg/日であった。この要因は、発熱量が高い酢酸ビニールを多量に処理していたので、焼却炉内の温度が上昇し、冷却に時間を要し、単位時間当たりの処理量が減少したためと考える。また、高性能エアフィルタが完全に燃焼するまで焼却時間を延ばしたことも処理能力低下の要因であると考えられる。

Table.1 Actual Achievement of Pretreatment Process

種別	処理量(200Lドラム缶換算)
可燃性廃棄物	4,700本
難燃性廃棄物	4,750本
不燃性廃棄物	1,100本
高性能I7フィルタ C サイズ	1,900本 ^{※1}
高性能I7フィルタ F,G サイズ	1,600本 ^{※2}
1 m ³ コンテナ	140本 ^{※3}
合計	14,100本

※1: Cサイズは2個→1本で換算

※2: F,Gサイズは1個→1.5本で換算

※3: コンテナは1基→4本で換算

なお本設備は設計時の耐用年数が過ぎ、焼却炉内耐火レンガ等の老朽化が進行していることから、現在は実証試験運転を停止し、実証試験運転で得られた知見を基に次世代の可燃物焼却炉の設計検討を行なっている。

4.3 灰溶融工程設備

灰溶融工程設備では、可燃物焼却工程設備から受け入れた焼却灰約18t (200リットルドラム缶換算：193本) を溶融し、768本の固化体 (200リットルドラム缶換算：96本) に減容した。可燃物焼却工程設備の減容効果が1/40で、本設備の減容効果は200リットルドラム缶換算で約1/2であることから、PWTFにおける可燃物及び高性能エアフィルタの焼却・溶融による減容効果は約1/80であることが確認できた (Fig.15 参照)。

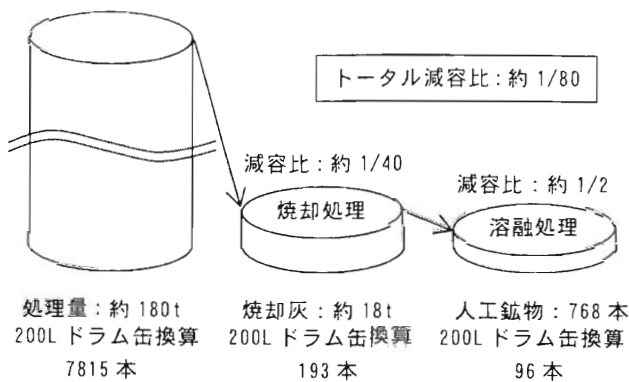


Fig.15 Volume Reduction Effect of Combustible Waste Incineration and Ash Melting

4.4 金属溶融工程設備

金属溶融工程設備では、前処理選別工程設備の金属細断装置により細断した金属 (SUS, SS) 板等約6tを60体の固化体 (金属鑄塊、200Lドラム缶換算：20本) に処理した。

4.5 第2難燃物焼却工程設備

本設備は、2002年6月から実廃棄物を用いた実証試験を開始した。運転体制は焼却運転を行う二交替と、内部耐火物保護及び昇温時間短縮のための温度維持運転を行う三交替で編成されている。現在、200リットルドラム缶換算で約5本/日の焼却処理を行い、これまでの処理実績は、2003年12

月で135日の実証試験を行い、約13t (200リットルドラム缶換算：667本) の難燃性廃棄物を焼却処理し、200リットルドラム缶換算で33本に相当する焼却灰 (セラミックフィルタ逆洗灰を含む) を回収した。この減容効果は約1/20である (Fig.16参照)。今後も処理試験運転および設備の点検・保守を継続しながらデータを取得し、設備の運転特性確認と寿命評価を行なう。また、難燃物焼却灰は塩素分を含有するために溶融処理せずに保管しているが、今後は最終処分するための廃棄体への処理法について検討を行なう。

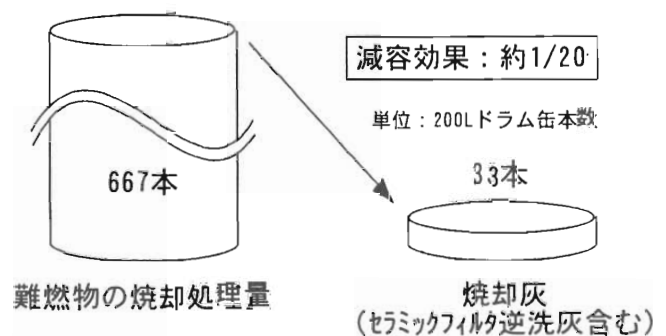


Fig.16 Volume Reduction Effect of Chlorine Contained Waste Incineration

5. 難燃物焼却工程設備

難燃物焼却工程設備は、1988年12月から約10年間、旋回浮遊式サイクロン焼却炉で約7.5t (200リットルドラム缶換算：340本) の難燃物 (5mm角細断片) を焼却処理し、難燃物専焼炉の運転を実証した。しかし、焼却処理で発生する塩素ガス等による腐食により、主要機器の腐食が進行したため、1997年に使用を停止し、2002年3月から約20ヶ月間にわたって解体・撤去した。この設備で得られた知見や摘出された問題点は第2難燃物焼却工程設備の設計に反映されている。

6. 終わりに

プルトニウム廃棄物処理開発施設の可燃物焼却工程設備は、プルトニウム系放射性固体廃棄物の減容・安定化処理に係る実証運転を1987年11月から約16年間行ってきた。しかし、可燃物焼却炉本体は、経年劣化による老朽化が確認されたため

使用を停止し、更新炉の検討を行なっている。本検討には、本焼却炉及び難燃物焼却試験で使
用した焼却炉（巡回浮遊式サイクロン焼却炉：解体撤去済み）の経験を活かし、また、現在稼働中の第2難燃物焼却炉の運転実績・評価を考慮して行なっている。

本施設は、プルトニウム系放射性固体廃棄物の

減容・安定化処理試験ができる国内唯一の施設である。今後も試験運転を継続するとともに多方面の協力を得ながら、処理設備としての技術の確立及び処理プロセスの高度化に向けた技術開発を行ない、その成果を民間のMOX廃棄物処理施設に反映していく。

処分事業費用試算システムの開発

鯉淵浩人*、石黒秀治*、松田健二*

Development of LLW and VLLW Disposal Business Cost Estimation System

Hiroto KOIBUCHI, Hideharu ISHIGURO, Kenji MATSUDA

In order to undertake the LLW and VLLW disposal business, various examinations are carried out in RANDEC. Since it is important in undertaking this business to secure funds, a disposal cost must be calculated by way of trial. However, at present, there are many unknown factors such as the amount of wastes, a disposal schedule, the location of a disposal site, and so on, and the cost cannot be determined. Meanwhile, the cost depends on complicated relations among these factors.

Then, a "LLW and VLLW disposal business cost estimation system" has been developed to calculate the disposal cost easily. This system can calculate an annual balance of payments by using a construction and operation cost of disposal facilities, considering economic parameters of tax, inflation rate, interest rate and so on. And the system can calculate internal reserves to assign to next-stage upkeep of the disposal facilities after the disposal operation.

A model of disposal site was designed based on assumption of some preconditions and a study was carried out to make a trial calculation by using the system. Moreover, it will be required to reduce construction cost by rationalizing the facility and to make flat an annual business spending by examining the business schedule.

1. はじめに

放射性同位元素 (RI) の利用に伴って発生する RI 廃棄物や、試験研究炉や核燃料物質使用施設等の運転や研究活動に伴って発生する研究所等廃棄物の処理処分方策を確立することは、原子力の研究開発利用を進めていく上で解決すべき重要な課題である。このため RANDEC では、RI・研究所等廃棄物の主要発生者である日本原子力研究所 (原研)、核燃料サイクル開発機構 (JNC)、(社) 日本アイソトープ協会 (RI 協会) の三者と「RI・研

究所等廃棄物処理処分事業の推進に関する協力協定」を締結し、三者の協力のもとに RI・研究所等廃棄物処分事業の調査検討を進めている。

処分事業の遂行にあたっては、事業費用等の試算が必要である。このため初期建設費用や総事業費用、年度毎の収支計算等を迅速に試算するために、「処分事業費用試算システム」の開発を進めている。

本システムは、RI・研究所等廃棄物の量に基づき事業費用シミュレーションを行うものである。以下にその概要を紹介する。

* : (財) 原子力研究バックエンド推進センター (RANDEC)

2. 処分事業費用試算にあたっての前提条件

処分事業にかかわる費用を試算するためには、その前提条件として処分場の設計や事業スケジュールが必要となる。現状では処分場の立地も含めて多くの項目が未定であるため、様々な想定のもとに前提条件を定めた。

2.1 対象廃棄物

本検討で対象とする事業の範囲は、「低レベル放射性廃棄物」及び「極低レベル放射性廃棄物」の処分とし、廃棄物の減容や固化等の廃棄物処理及び処分場までの輸送については検討の対象外とした。

対象廃棄物は二種類としたが、処分場における取り扱いを考慮して、廃棄物は同一形状の容器に収容することを想定する。そこで六ヶ所埋設センターの事例¹⁾を参考に、廃棄物を200Lドラム缶に収容したものを「廃棄体」とし、この状態で処分場に受け入れることとした。

2.2 処分場サイト条件

処分場の立地は未定であるため、処分場の敷地として、内陸部の平坦地形を想定する。

平坦地形は洪積台地と沖積低地からなるが、このうち分布面積がより大きい沖積低地は、内陸部に分布する沖積平野（谷底低地、扇状地及び氾濫源）と、海岸部に分布する海岸平野（三角州及び

砂堤列平野）に区分される。一般に洪積台地や扇状地では地下水面深度が地表面下10m以深、谷底低地や海岸平野では数m程度であり、処分場としては地下水面深度が深い洪積台地等が有利である。

しかしながら、洪積台地や扇状地は古代より農地として利用され、近年は都市化している場合が多いため、処分場の適地として残されている可能性は少ない。そこで本検討では地下水面深度の深い扇状地と地下水面深度の浅い谷底低地の2ケースを想定し、埋設施設の設計を行った。

Table.1 にサイトの地質及び水理条件を示す。また、埋設施設の概念図を Fig.1 に示す。

2.3 操業条件

廃棄体の受入総量は、低レベル放射性廃棄物、極低レベル放射性廃棄物合わせて、合計20万～80万体制と想定した。またこの量の廃棄体が50年にわたって発生するものとした²⁾。処分場にはこれを毎年平均して受け入れるものとし、年間の廃棄体受入数量は4千～1万6千体制と想定した。

処分場の操業日数は年間200日とし、1日あたりの廃棄体受入数量は年間受入数量を年間操業日数で平均化した値とした。

2.4 処分場に建設する施設

処分を想定している廃棄物に合わせて低レベル用と極低レベル用の二種類の埋設施設を建設す

Table.1 Geological and Hydraulic Conditions of LLW and VLLW Disposal Site

地質・水理条件	条件 A		条件 B	
地形	扇状地		谷底低地	
地層区分	第四紀沖積層	砂礫混じりシルト・粘土 (15m)	第四紀沖積層	シルト・粘土 (8m)
		砂礫 (5m)	新第三紀層	砂岩・泥岩風化部 (12m)
	新第三紀層	砂岩・泥岩		砂岩・泥岩新鮮部
地下水面深度	GL-15m		GL-2m	
動水勾配	1%		1%	

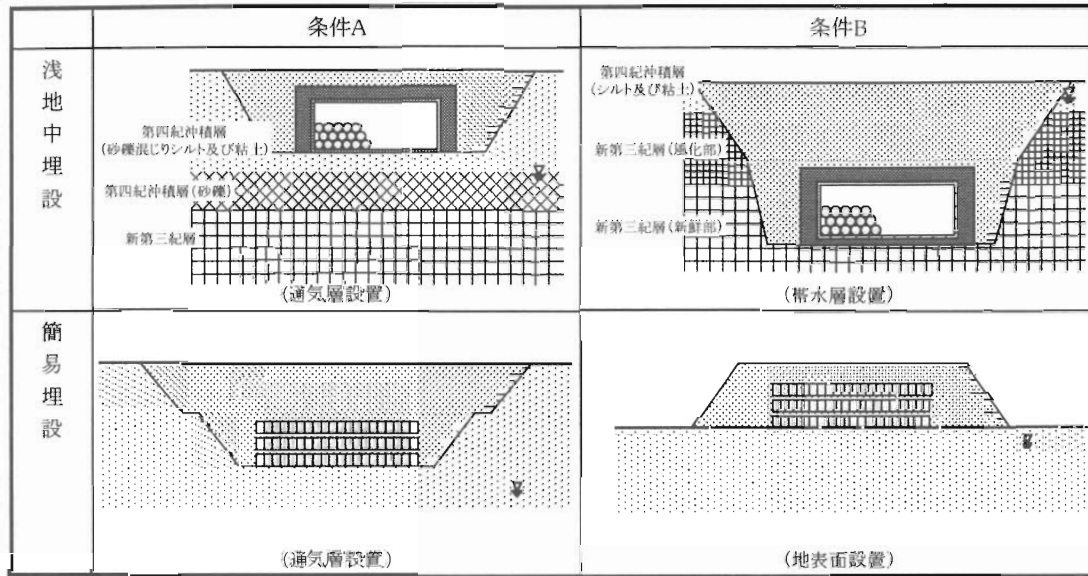


Fig.1 Conceptual Design of LLW and VLLW Disposal Facilities

る。低レベル放射性廃棄物は原子炉等規制法に既に規定されている浅地中の「コンクリートピット処分」とすることを想定した。一方、極低レベル放射性廃棄物は、廃棄体中の放射能濃度等が埋設にかかわる技術基準に適合して安全であることを確認した上で、「素掘り処分」により処分することを想定した²⁾。

処分場に建設する施設や設備は、埋設施設を含めて以下を想定した。

(1) 廃棄体受入・検査施設及び設備

200Lドラム缶を収納容器とする廃棄体を、輸送容器に収納した状態で構外輸送トラックより受け入れ、廃棄体を取り出し、整理番号の確認や外観検査等を行い、埋設施設に向けた搬出のために構内輸送トラックに積載する。輸送容器やドラム缶を取り扱うためのクレーン設備や廃棄体検査設備、廃棄体の受け入れから払い出しまでの間廃棄体を保管することができる一時貯蔵室等を設ける。

廃棄体検査設備は、廃棄体受入・検査施設内に設置する。本設備は、輸送容器から廃棄体を取り出し、廃棄体検査を実施し、検査に合格した廃棄体を埋設施設へ搬出する。気象条件等により埋設施設での定置工事が実施できない場合を想定し、施設内で一時保管することができる一時仮置きスキッドを設ける。

廃棄体検査設備の検査フローを、Fig.2に示す。

実際の操業においては、計算機システムによって輸送容器並びに廃棄体の位置を適正に管理し、その情報をもとに施設内の各設備の制御を行うこととする。

(2) 廃棄体保管庫

処分場の立地場所について具体的な想定はしていないが、立地地域が積雪地帯である場合等、自然条件を含む様々な事情により、廃棄体の輸送が平均化されない場合を考え、廃棄体受入・検査施設の一時貯蔵室とは別に、廃棄体保管庫を建設する。

(3) コンクリートピット型埋設施設

低レベル放射性廃棄物のコンクリートピット処分を行う埋設施設は、六ヶ所埋設センターの事例²⁾を参考に、コンクリートピット型とした。

コンクリートピット型埋設施設の本体部分を構成する埋設設備は、9段5列8行の廃棄体を俵積みした区画を複数有する構造とし、本検討で前提とした廃棄体総量を埋設することができる基数を建設する。

廃棄体は、専用のクレーン設備によって定置する。区画内に予定数量の廃棄体を定置した後は、モルタルを充填して閉鎖する。

覆土は、埋設施設の周囲をベントナイト混合土と掘削した部分を埋め戻す覆土より構成する。覆

土は、埋設地周辺の土壌に比して透水性が大きくなるように、土砂等を締め固めて設置する。ベントナイト混合土や覆土の厚さは、地質・水理条

件を考慮して定めることとする。

コンクリートピット型埋設施設を、Fig.3 に示す。

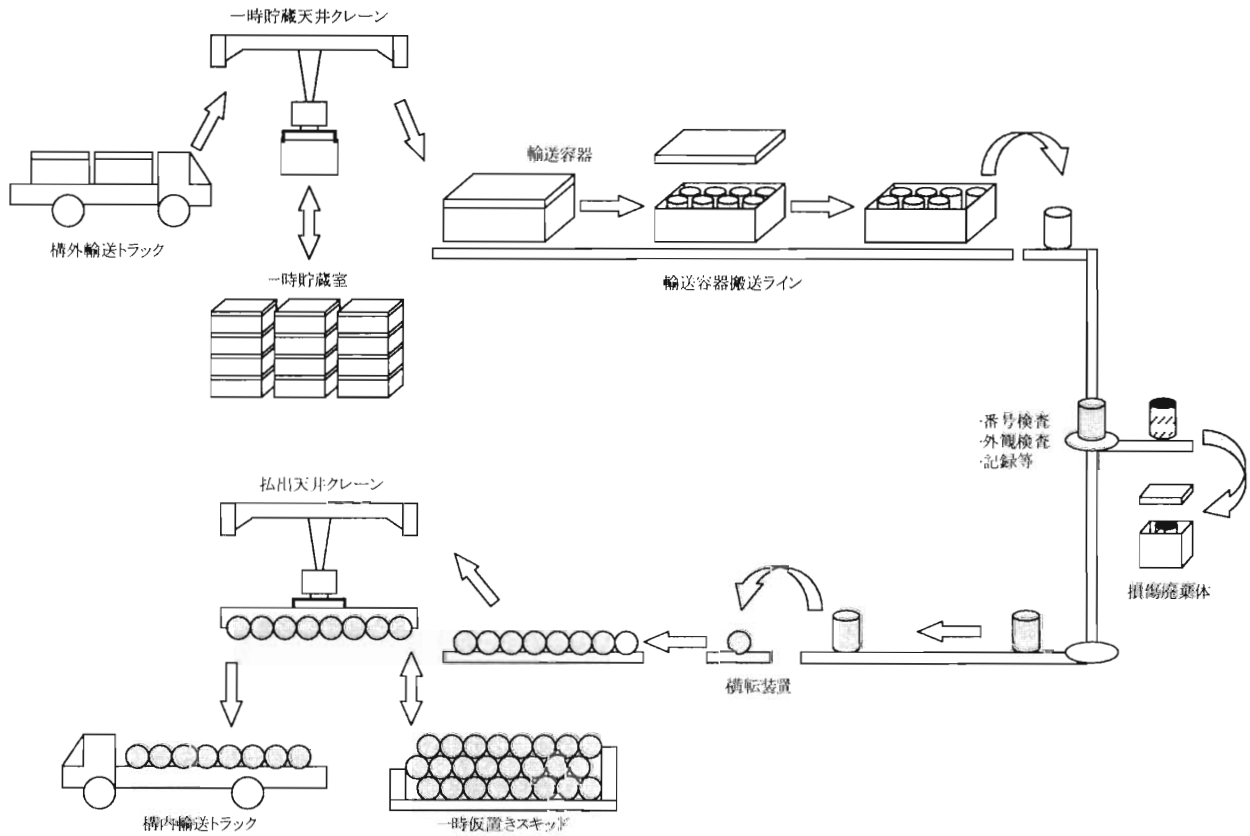


Fig.2 Inspection Flow of LLW and VLLW Packages

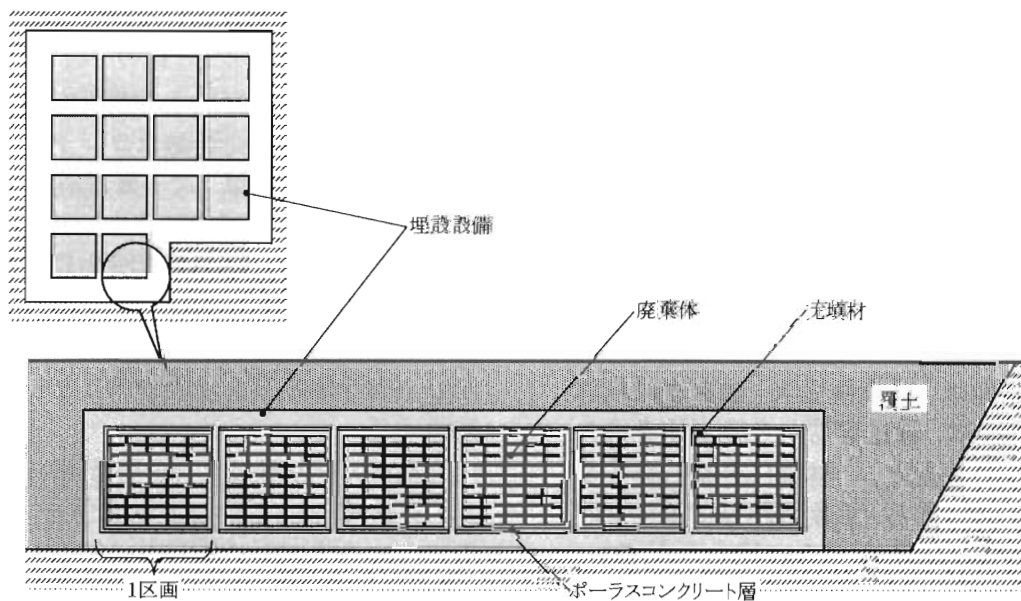


Fig.3 Concrete Pit Type LLW Disposal Facility

(4) 簡易型埋設施設

極低レベル放射性廃棄物の素掘り処分を行う埋設施設は、立地場所の地下水面深度に応じた深度の浅地中にトレンチを掘削して直に廃棄体を埋設するトレンチ型埋設施設、または廃棄体定置と中間覆土を繰り返しながら地上に廃棄体を定置するチュムリ型埋設施設のいずれかのとする。これらの施設を、ここでは「簡易型埋設施設」と呼称する。廃棄体の定置方式は、トレンチ型、チュムリ型

のいずれも縦置きとし、トラッククレーン等で吊り上げて定置する。廃棄体を一段定置したら、雨水等が廃棄体に直接接触することを防止するために、中間覆土を行う。

廃棄体の定置が終了した埋設施設の上面(チュムリ型埋設施設の場合は法面も)は、上部覆土で覆い、その表面には植生等を施すものとする。

トレンチ型埋設施設を Fig.4 に、チュムリ型埋設施設を Fig.5 に示す。

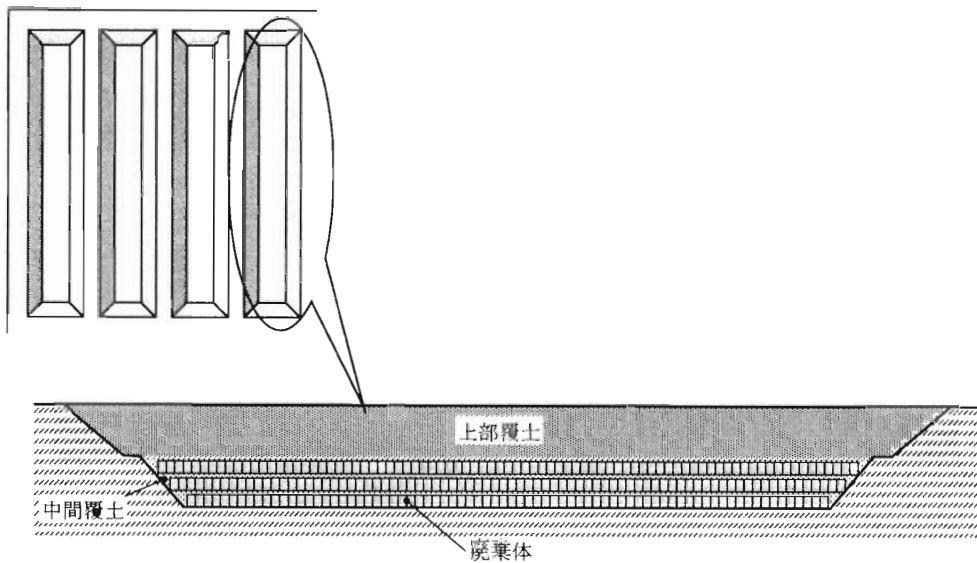


Fig.4 Trench Type VLLW Disposal Facility

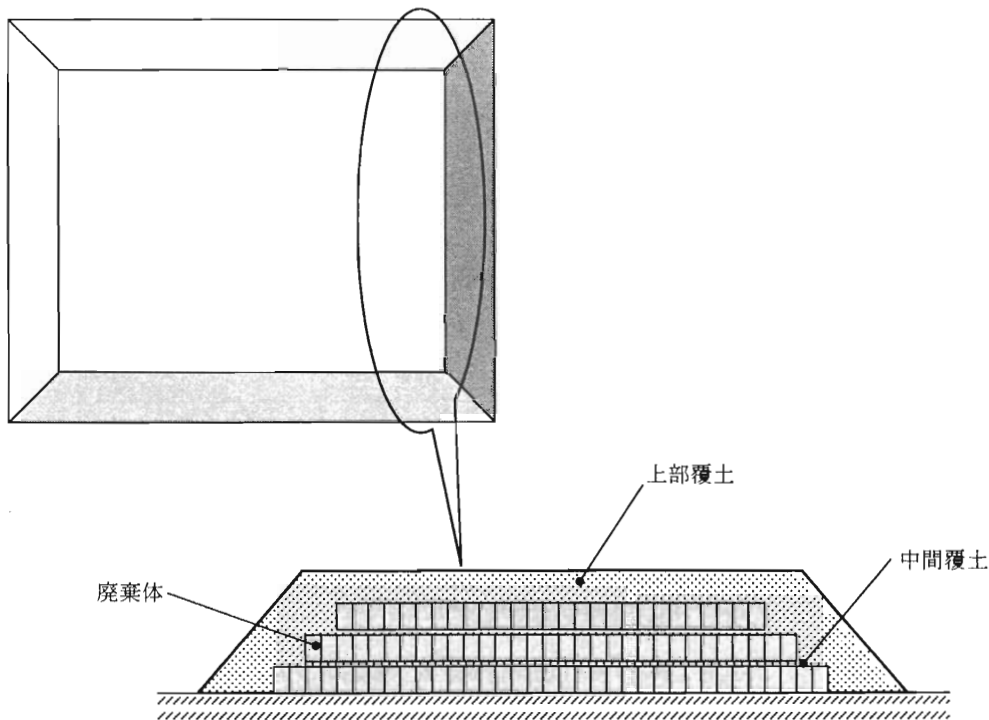


Fig.5 Tumuli Type VLLW Disposal Facility

(5) 共通施設設備

廃棄体受入・検査施設及び二種類の埋設施設のほか、共通施設設備として以下を設ける。

- ・管理棟
- ・気象観測設備
- ・環境分析設備
- ・放射線管理設備
- ・受変電設備
- ・データ管理設備
- ・車庫、資材倉庫

これらの施設を配置した処分場のレイアウト例を、Fig.6に示す。

2.5 事業スケジュール

処分事業のスケジュールは、初期建設期間、操業期間及び段階管理期間³⁾の三段階に分けられる。初期建設期間には、処分事業の許可取得や操業開始までに必要な施設の建設等を行う。操業期間には廃棄体の受入検査、埋設のほか、埋設施設の増設や耐用年数を超えた設備の更新等を行う。段階管理期間には、覆土後の処分場を監視し、放射性物質等が環境中へ移行していないことを確認する。

本検討では、初期建設期間を8年、操業期間を50年、段階管理期間については、コンクリートピット型埋設施設を300年、簡易型埋設施設を50

年と想定した。

3. 処分事業費用試算システムの概要

3.1 システムの全体構成

処分事業費用試算システムは、廃棄体受入スケジュールと事業費用の年度展開データを入力データとし、物価上昇率や税率、金利等の経済性パラメータの影響を加味した事業費用シミュレーションを行い、操業終了年度に段階管理費用に足る内部留保額が残るよう、処分単価を設定することができる。本システムは2.に示した処分場を計算の前提としているが、廃棄体数量や事業スケジュールが変更された場合にも試算することができるよう、事業費用の推定機能が設けられている。

処分事業費用試算システムは、「事業費用データベース」、「事業費用推定システム」及び「処分単価算定システム」から構成される。

処分事業費用試算システムの全体概要をFig.7に示す。

3.1.1 事業費用データベース

事業費用推定システムと処分単価算定システムにて使用し、作成するデータを格納するため、事業費用データベースを構築した。

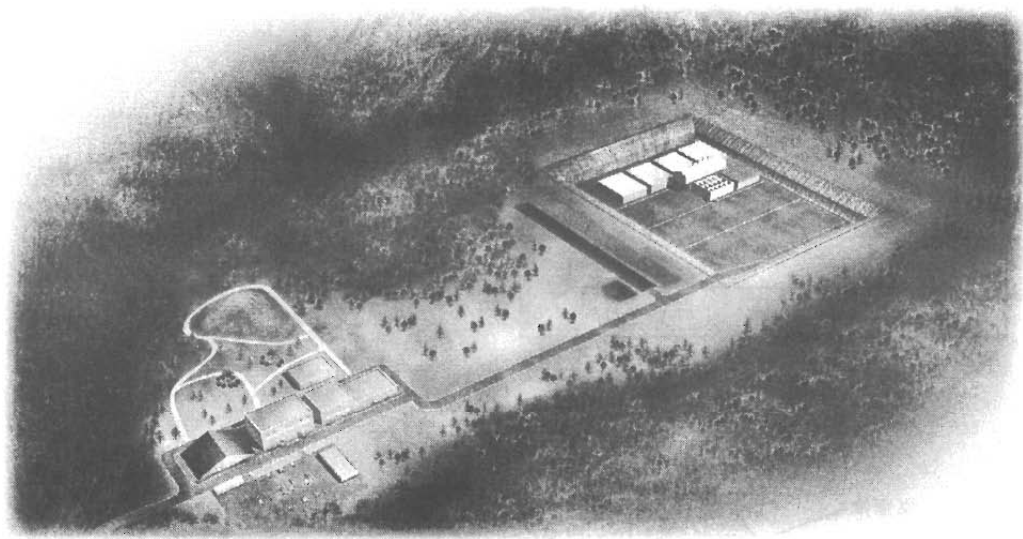


Fig.6 Layout of LLW and VLLW Disposing Site

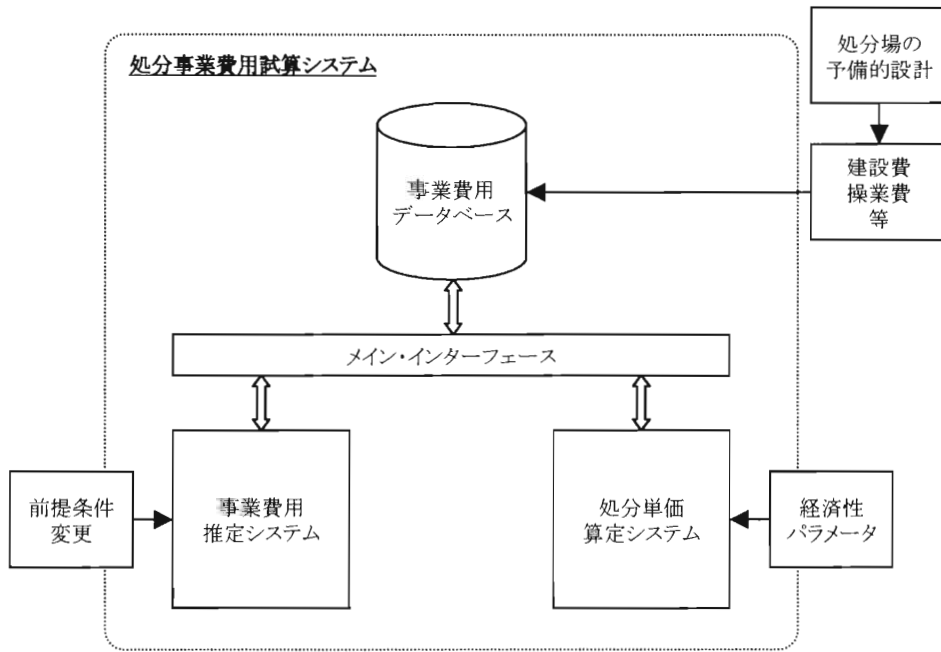


Fig.7 LLW and VLLW Disposal Business Cost Estimation System

本データベースが扱う主なデータは、以下のとおりである。

- ・廃棄体受入スケジュールデータ
- ・施設設備の単価データ
- ・施設設備の建設・操業スケジュールデータ
- ・施設設備の仕様データ
- ・事業費用年度展開データ
- ・固定資産の減価償却データ
- ・経済性パラメータ
- ・段階管理費用及び処分単価データ
- ・負担金データ
- ・シミュレーション結果データ
- ・財務諸表データ

これらのデータのうち、廃棄体受入スケジュールや施設設備に関するデータは、「2. 処分事業費用試算にあたっての前提条件」に基づいて作成されたものであり、事業費用推定システムによって新たに作成されるデータが追加される。経済性パラメータや段階管理費用及び処分単価データ、負担金データは、処分単価算定システムでの処理の過程で使用される。シミュレーション結果データと財務諸表データは、処分単価算定システムにおける処理の結果、作成されるデータである。

3.1.2 事業費用推定システム

2. の処分場の前提条件である廃棄体の総量や廃棄体受入スケジュールは、今後、様々なパターンが検討の俎上に上がることが予想される。それらの変動は、事業費用等に大きな影響を与えることになる。施設の建設、運転等にかかわる前提条件が変更された場合、それに対応した事業費用を得るには処分場を再度設計する必要があるが、事業費用が迅速に求められる場合には既存のデータを用いて推測せざるを得ない。

このような場合を想定し、事業費用推定システムの開発を行った。本システムは事業費用データベースに格納された単価データに基づき、新たな廃棄体受入量や操業期間に対する事業費用の近似計算を行う。計算結果は処分単価算定システムに受け渡され、事業費用シミュレーションに供される。

事業費用推定システムにおいて変更可能な前提条件は、以下のとおりである。

(1) 処分場サイト条件

2.2 にて想定した処分場サイト条件のうち、いずれかひとつを用いて計算する。条件A(扇状地)を選択した場合、コンクリートピット型埋設施設は通気層に設置することとなり、簡易型埋設施設

はトレンチ型となる。条件B(谷底低地)を選択した場合には、コンクリートピット型埋施設は帯水層に設置することとなり、簡易型埋施設はチュムリ型が適用される。

(2) 廃棄体受入スケジュール(廃棄体数量及び操業期間)

廃棄体受入スケジュールは、年度毎の廃棄体数量を発生者別に設定したものである。事業費用推定システムでは、これを変更することができる。

事業費用推定システムは、廃棄体受入スケジュールに基づき事業スケジュールを設定する。初期建設期間は、廃棄体受入スケジュールの事業開始年度から廃棄体受入開始の前年度まで、操業期間は廃棄体受入開始年度から受入終了年度までとした。また廃棄体受入終了の翌年から3年間に覆土等の工事を行う。

(3) 建設・操業スケジュール

廃棄体受入スケジュールを設定することにより、初期建設期間、操業期間、覆土工事を行う期間が算出され、これに基づき暫定的な建設・操業スケジュールが自動的に設定される。

施設ごとの建設・操業スケジュールは、自動的に設定された後、任意に変更することができる。

3.1.3 処分単価算定システム

処分単価算定システムは、事業費用の年度展開データと廃棄体受入スケジュールを入力データとし、物価上昇率や税率、金利等の経済性パラメータを用いて年度毎の事業費用シミュレーションを行う。計算の際には、最終年度における内部留保額が段階管理費用に足る額となるよう、廃棄体の処分単価を設定する。設定された処分単価の妥当性及び事業の成立性は、算定された内部留保額に基づき、ユーザが判断する。妥当でない場合には、処分単価や各パラメータを変更し、妥当な結果が得られるまでシミュレーションを繰り返す。

シミュレーションの結果として、事業開始から終了までの年度ごとの財務三表(損益計算書、貸借対照表、キャッシュフロー計算書)に相当するデータ等を入力する。

処理のフローを Fig.8 に示す。

処分単価算定システムでは、廃棄体の発生者は原研、JNC、RI協会の三者と、その他事業者として大学の研究炉等を想定している。処分事業に必要な費用はこれら発生者が支払う処分料金等によってまかなうこととしている。各発生者が負担する費用の算出は、「応分負担の原則」に基づいて行っている。

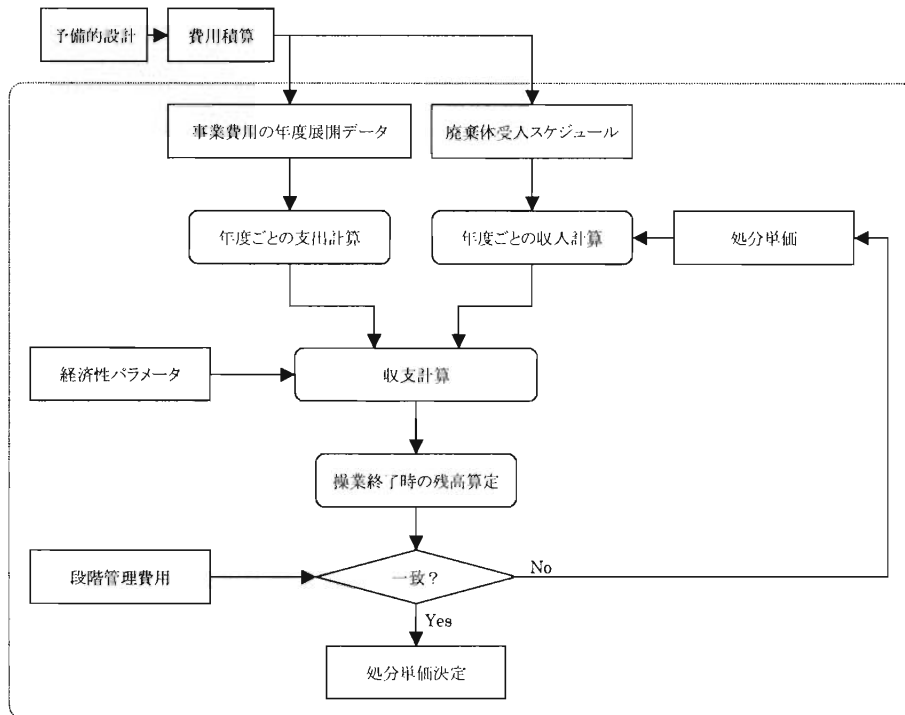


Fig.8 LLW and VLLW Disposal Price Calculation System

3.1.4 応分負担の原則と処理

処分事業全体に必要な費用は、廃棄体の発生者がその処分を予定している廃棄体の数量に応じて負担することとしている。すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{処分事業全体に必要な費用} \\ & = \text{廃棄体の数量} \times \text{処分単価} \end{aligned}$$

となる単一の処分単価を設定することができる。処分単価算定システムではこれを「応分負担の原則」と呼んでいる。

しかし処分事業のスケジュールを想定すれば、操業を開始する前の段階で、多額の建設費等が必要となる等、年度ごとの支出額は一定しない。

また、廃棄体は低レベル放射性廃棄物と極低レベル放射性廃棄物の二種類を想定しており、各々埋設する施設が異なる一方で、廃棄物の区分にかかわらず共用すべき施設も必要となる。これらの施設の建設及び操業費用を、処分料金等からいかなる配分で振り分けるべきか、という問題がある。

処分単価算定システムに応分負担の原則を組み込むために、これらの問題に対して以下の処理を行うこととした。

(1) 負担金と借入金を考慮した応分負担の処理

初期建設期間における施設設備の建設や、操業期間中の埋設施設の増設や設備の更新のために、一時的に多額の資金が必要となる。この分は、処分単価算定システムでは廃棄体発生者が廃棄体の処分に先立って事業費用の一部を支払う「負担金」と、処分事業の実施主体が銀行からの借入金によってまかなうこととした。

廃棄体発生者が処分料金(廃棄体数量×処分単価)と負担金を支払う場合、その合計額が処分事業全体に必要な費用に一致するよう、処分単価を設定する。

$$\begin{aligned} & \text{処分事業全体に必要な費用} \\ & = \text{廃棄体の数量} \times \text{処分単価} + \text{負担金} \end{aligned}$$

一方、実施主体が銀行から資金を借入した場合については、処分料金が処分事業全体に必要な費用に返済金と利息金を加えた額に一致するよう、

処分単価を設定する。

$$\begin{aligned} & \text{処分事業全体に必要な費用} + \text{返済金} + \text{利息金} \\ & = \text{廃棄体の数量} \times \text{処分単価} \end{aligned}$$

処分を予定している廃棄体は、原研、JNC、RI協会の三者の分が大部分を占めることから、この三者については負担金を支払うことができるものと想定した。またその他事業者については廃棄体発生量が少ないことから負担金とせず、銀行からの借入によって資金をまかなうことを想定した。

(2) 事業費用の配分

応分負担の原則では、処分事業に必要な費用は、廃棄体の発生者が廃棄体の数量に応じて負担する。例えば、極低レベル廃棄体のみの発生者は、簡易型埋設施設に関する費用のみを負担し、コンクリートピット型埋設施設に関する費用を負担することはない。

2. で検討した処分場は、低レベルと極低レベルの二種類の廃棄体を処分する想定であり、各々の埋設施設は別個に建設する。一方、廃棄物のレベルに依らず使用する、廃棄体受入・検査施設等の施設設備の建設も想定している。このような共通施設等の費用については、低レベル廃棄体と極低レベル廃棄体の双方の処分費用から、まかなう必要がある。

このため処分単価算定システムでは、これら共通費用を以下に示す配分比によって二分割し、コンクリートピット型埋設施設分の費用と簡易型埋設施設分の費用に割り当てることとした。

- 建設費 : コンクリートピット型埋設施設の建設費総額と簡易型埋設施設の建設費総額の比率
- 操業費 : コンクリートピット型埋設施設の操業費総額と簡易型埋設施設の操業費総額の比率
- 廃棄体量 : 低レベルと極低レベルの廃棄体数量比率
- 任意 : 計算にあたってユーザが設定

事業費用の配分方法を、Fig.9に示す。

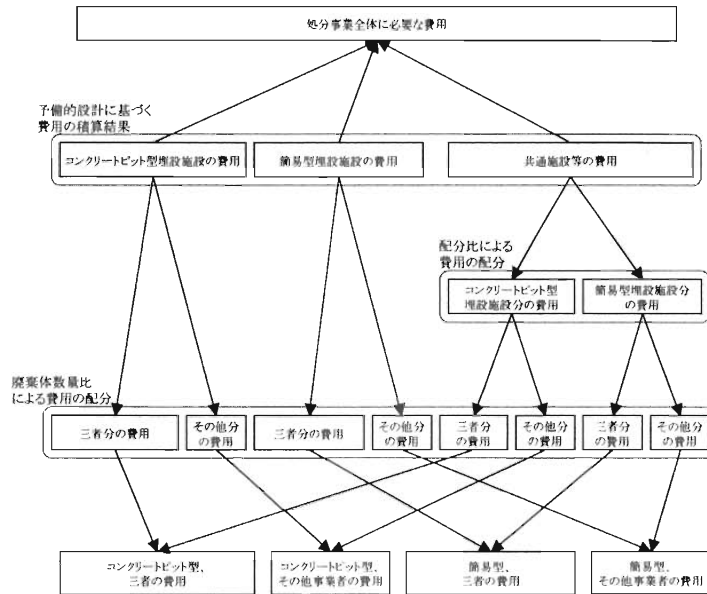


Fig.9 Distribution Method of LLW and VLLW Disposal Cost

3.1.5 計算結果の出力

事業費用シミュレーションの入出力データは、事業費用データベースに格納されるとともに、所定のフォーマットで出力される。

(a) 損益計算書 (Profit Loss Statement)

科目	年度		
売上高			
営業費用	事業費用		
	固定資産税		
	廃棄物税		
営業利益			
営業外収益	受取利息		
	雑収入		
営業外利益	支払利息		
	資金運用経費		
経常利益			
特別利益	固定資産売却益		
特別損失	固定資産除却損		
税引前当期利益			
法人税等			
当期利益			
前期繰越利益			
当期繰越分利益			

(b) 貸借対照表 (Balance Sheet)

科目	年度		
流動資産	現金および預金		
	建物		
	器具備品		
	車両運搬具		
固定資産	土地		
	建設仮勘定		
	減価償却累計額		
	無形固定資産		
	投資等		
繰延資産	研究費		
資産合計			
流動負債	未払法人税等		
固定負債	長期借入金		
負債合計			
資本金			
資本準備金			
利益準備金			
別途積立金			
当期末処分利益			
資本合計			
負債および資本合計			

収支計算結果の出力フォーマットのうち、財務諸表(損益計算書、貸借対照表、キャッシュフロー計算書)に相当するフォーマットを Fig.10 に示す。

(c) キャッシュフロー計算書

(Cash Flow Statement)

科目	年度		
営業活動によるキャッシュフロー			
営業収入			
事業費用			
固定資産税			
廃棄物税			
利息受取額			
利息支払額			
法人税支払額			
投資活動によるキャッシュフロー			
有価証券の取得による支出(運用)			
有形固定資産の取得による支出			
無形固定資産の取得による支出			
その他投資活動による支出			
融資活動によるキャッシュフロー			
短期借入金の取得			
長期借入金の返済による支出			
三者負担額			
配当の支払額			
現金および現金同等物の増加額			
現金および現金同等物の期首残高			
現金および現金同等物の期末残高			
繰上償還費			
繰上受入待受費			
仮受消費税			
仮払消費税			
消費税調整額			

Fig.10 Output Format of the Financial Statements

3.2 処分単価算定システムによる試算

2. で検討した処分場について事業費用シミュレーションを行い、総事業費用を算出した。

処分単価算定システムでは、原研、JNC、RI協会の三者の事業費用は、一部を負担金によってま

かなうことを想定している。そこで、同一の経済性パラメータのもとに、三者による負担金の額及び負担方法を変えて総事業費用を算出した。その結果を、Fig.11 に示す。

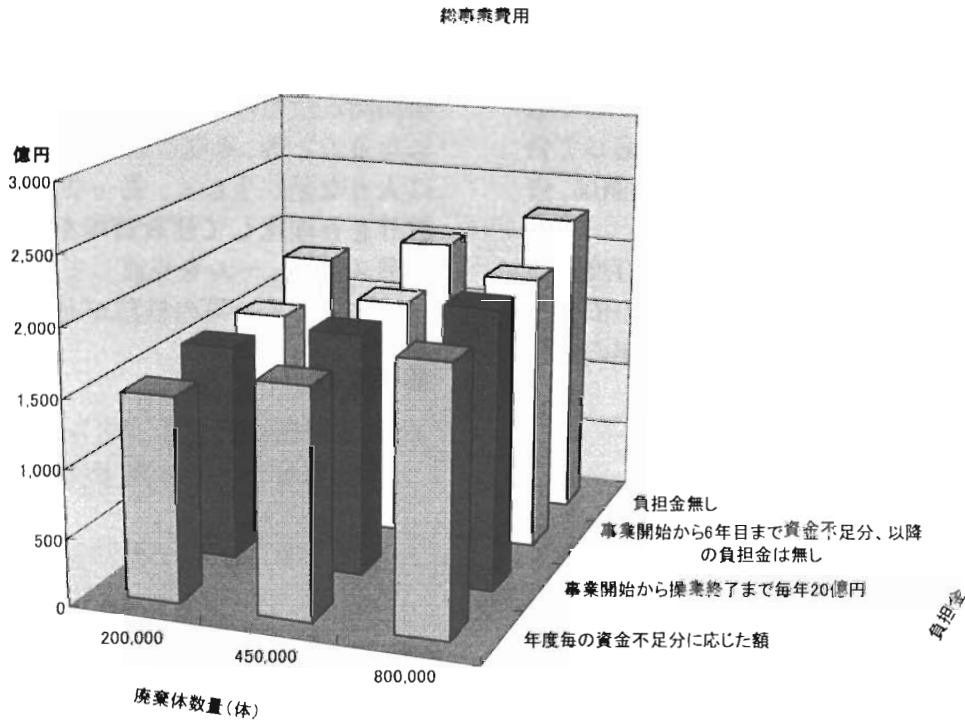


Fig.11a Total LLW and VLLW Disposal Cost (Alluvial Fan)

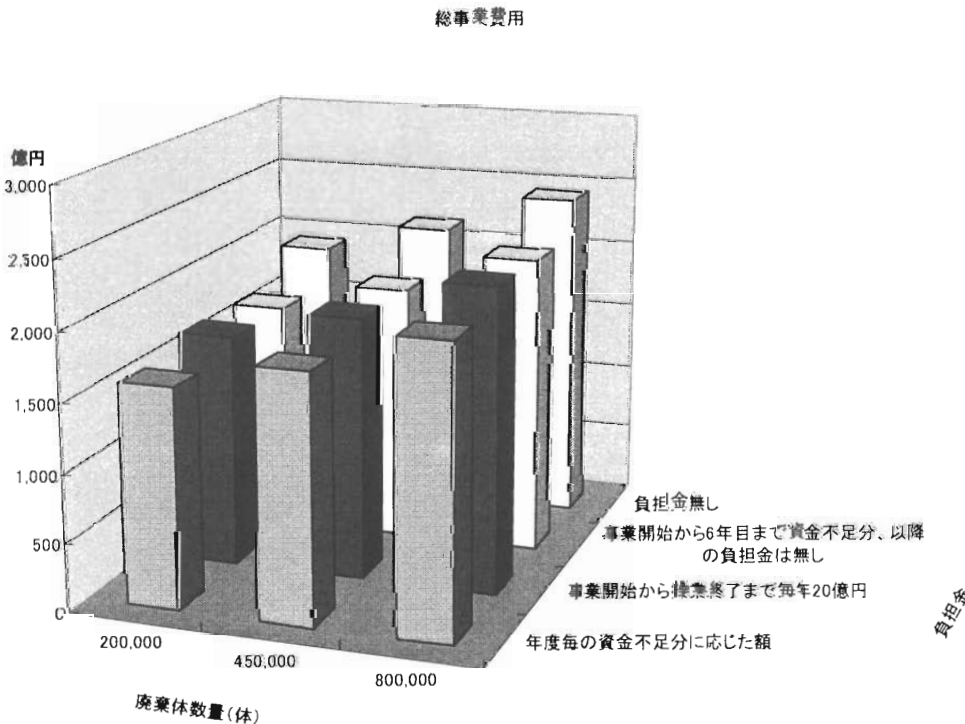


Fig.11b Total LLW and VLLW Disposal Cost (Valley Floor)

計算の結果、廃棄体数量の増加に応じて総事業費用も増加することが確認された。これは、処分場の規模が廃棄体の数量によって決まるためである。

一方、負担金については、負担金なしの場合がもっとも総事業費用が高く、年度ごとの資金不足分に応じて負担金の額を設定する場合がもっとも総事業費用が低くなった。これは、負担金が少ないほど借入金に対する依存度が高まるためである。負担金なしの場合と、資金不足分に応じて負担金額を設定した場合の総事業費用の差額は、借入金利息が大部分を占めている。

負担金の額を低くすれば借入金への依存度が高まり、負担金の額を高くすれば借入金への依存度が低下する。従って負担金の設定は、事業の健全性を考慮して行う必要がある。

4. まとめ

処分事業費用試算システムを開発し、これを使ってRI・研究所等廃棄物処分場の総事業費用を試算した。なお、現状において処分場の規模、立地等が未定であるため、廃棄物量や立地場所の地質・水理条件等について仮定に基づいて試算をしたものである。その結果、一例を挙げれば、廃棄物量がドラム缶換算で45万本であって初期の事

業費用を負担金にてまかなう想定では、処分場を扇状地に建設した場合の総事業費用は約1,800億、同じく谷底低地に建設した場合は約1,900億と推測された。

今回の試算では特に総事業費用に着目したが、年度ごとの収支についても検討することが重要である。初期建設期間には廃棄体受入・検査施設等の施設設備を建設しなければならないことや、操業期間が長期に及ぶため操業中に設備更新が必要になること等、年度によって必要となる事業費用に大きな差が生じる。従って今後は、施設設備の設計を合理化して建設費用を低減させることや、事業スケジュールを見直して年度毎の事業費用を平坦化すること等の検討が必要となる。

参考文献

- 1) 日本原燃株式会社, "六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業許可申請書", (1997).
- 2) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会, "RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について", (1998).
- 3) 原子力安全委員会, "放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方", (1993).

鹿島建設における放射性廃棄物処分関連技術の開発

広中良和*、戸井田 克**、森川誠司***、
奥津一夫*、山本拓治**、古市光昭****

Achievements of Research and Development of Kajima on Radioactive Waste Disposal

Yoshikazu HIRONAKA, Masaru TOIDA, Seiji MORIKAWA,
KAZUO OKUTSU, Takuji YAMAMOTO, Mitsuaki FURUICHI

Kajima Corporation has been committed to the construction of nuclear power plant for a long time as a construction company. In 1957 Kajima made its first construction of the main building for the JRR-1 (Japan Research Reactor No.1) of JAERI, which was the first and historical one in Japan. Since then the company has been involved in many projects related to nuclear power generation. In addition to the construction, Kajima has been playing an important role in the technology development of decommissioning system as well as radioactive waste disposal facilities, both of which are now having an increasing importance.

In a sense of technology development, the technology of civil engineering is commonly applicable to the construction of radioactive waste disposal facilities, however, some other technology developments have to be made due to the unique characteristics of radioactive waste disposal. Kajima has promoted many research and development projects related to radioactive waste disposal in order to improve the reliability and the feasibility of the nuclear recycling process. This report introduces some of the achievements as follows made by Kajima:

- Construction of radioactive waste disposal facilities,
- Natural barrier,
- Engineering barrier,
- Monitoring.

1. はじめに

我が国における放射性廃棄物処分は、既にその一部がスタートしている。日本原燃(株)殿六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいては、現

行の政令濃度上限値以下の低レベル放射性廃棄物のうち、実用発電用原子炉の運転に伴い発生した放射性廃棄物の埋設が平成4年度から開始されている。また、日本原子力研究所殿の動力試験炉(JPDR)の解体から発生した廃棄物のうち極低レ

* : 鹿島建設(株)土木設計本部 : Civil Engineering Design Division, Kajima Corporation

** : 鹿島建設(株)技術研究所 : Kajima Technical Reserch Institute

*** : 鹿島建設(株)ITソリューション部 : I.T. Solutions Department, Kajima Corporation

**** : 鹿島建設(株)原子力部 : Nuclear Power Department, Kajima Corporation

ベル放射性廃棄物については埋設実地試験が行われている。

一方、日本原子力発電(株)による東海発電所廃止措置が進められつつあり、解体に伴い発生する現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物については、一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度(例えば50～100 m)への処分が考えられている¹⁾。また、TRU核種を含む放射性廃棄物やRI・研究所等廃棄物についても、その特性を考慮した処分の基本的考え方が原子力委員会から示され^{2), 3)}、具体化に向けた取り組みが開始されている。高レベル放射性廃棄物地層処分についても原子力発電環境整備機構の主導により、最終処分に向けての歩みが着実に進められており、我が国の放射性廃棄物処分は、技術成果を実工事に適用しながらさらなる開発を進めていく段階にある。

鹿島建設の原子力への係わりの歴史は長く、古くは日本初の原子炉である日本原子力研究所のJRR-1の建屋工事(1957年)に遡る。その後の多くの原子力発電所における土木・建築施設の建設に加え、それに先行して行われる許認可対応など、フロントエンドにおいて様々な側面に関与してきた。さらに、今後ますます重要となるデコミッションや放射性廃棄物処分など、バックエンドにおいても技術開発を推進してきている(Fig.1参照)。本報告では、その内、放射性廃棄物処分

野における技術開発の一部を紹介する。

2. 放射性廃棄物処分における土木分野の技術的課題

放射性廃棄物はその放射能濃度(Fig.2参照)並びに発生する過程により極低レベル放射性廃棄物、現行の政令濃度上限値以下の低レベル放射性廃棄物、現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物、RI廃棄物、研究所等廃棄物、TRU核種を含む放射性廃棄物、ウラン廃棄物及び高レベル放射性廃棄物に分類される。それぞれのカテゴリーに応じた廃棄物処分の基本的考え方が原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会から示されており、その処分の基本は浅地中処分と地層処分に大別される。浅地中処分はさらに、素掘り処分、コンクリートピット処分、地下数十mの岩洞への処分(余裕深度処分)に分類される¹⁾。廃棄物の特性に応じた特徴的な処分概念がそれぞれ考えられているため、一概に論じることは困難であるが、高レベル放射性廃棄物地層処分で見られている例を参考にして⁴⁾、放射性廃棄物処分における土木分野に関連の深い課題をTable 1に整理した。

極低レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物、RI・研究所等廃棄物、TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物に相当する廃棄物については、所要の管理が必要とされる処分概念が

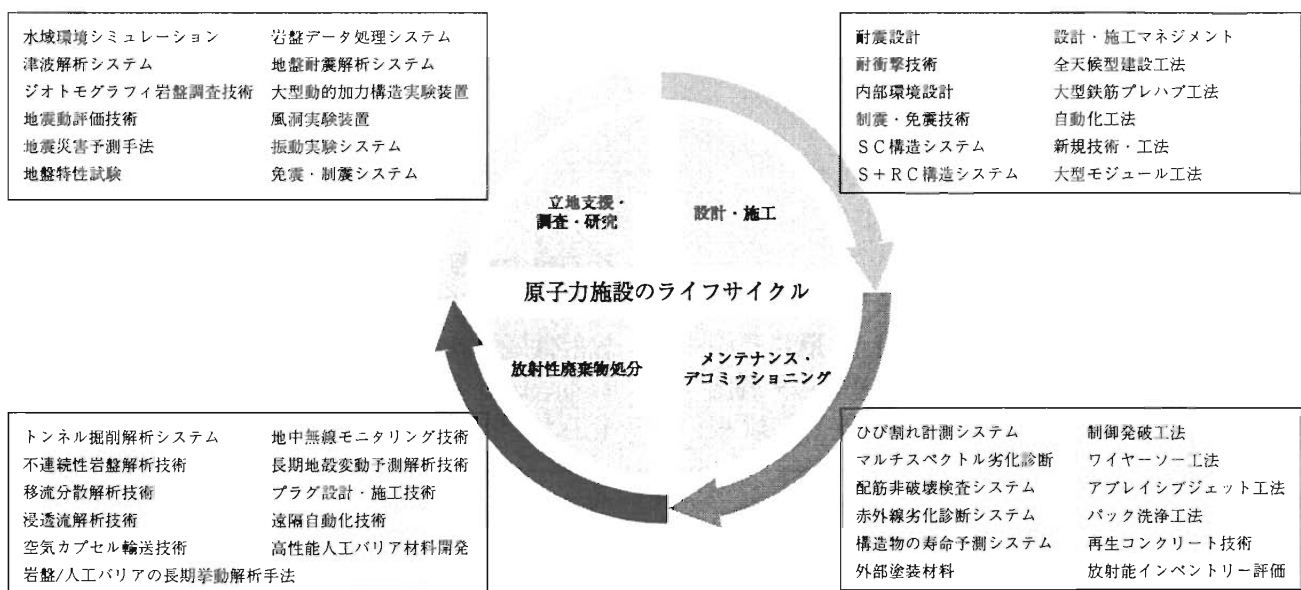


Fig. 1 Nuclear related Technologies of Kajima Corporation

取り込まれること、必要に応じて人工バリアとしてベントナイトに加えてセメント系材料が適用されることなど、高レベル放射性廃棄物の地層処分と若干の差異はあるものの、放射性廃棄物処分に係る土木分野の一連の技術課題は Table1 に網羅されていると考えられる。

このように、放射性廃棄物処分に係る調査・建設・操業・閉鎖の各段階で実施される計画、設計、評価の多くが土木技術に密接に関係している。ただし、一般の土木プロジェクトと放射性廃棄物処分プロジェクトを比較してみると、Table2に示すような違いがある。

このことを踏まえ、鹿島建設ではゼネコンとして培った調査、設計、施工技術をベースに放射性廃棄物処分に係る様々な技術開発を行ってきた。

本報では、Table1 に(*)を記した技術課題に対応するものとして、次の技術を紹介する。

[建設・操業関連技術]

- ・空気カプセル輸送技術

[天然バリア関連技術]

- ・岩盤地下水調査技術
- ・岩盤修復技術
- ・岩盤地下水関連の解析技術
- ・長期地殻変動予測解析手法

[人工バリア関連技術]

- ・ベントナイト系材料
- ・高耐久セメント系材料
- ・人工バリア内の物質移動評価手法

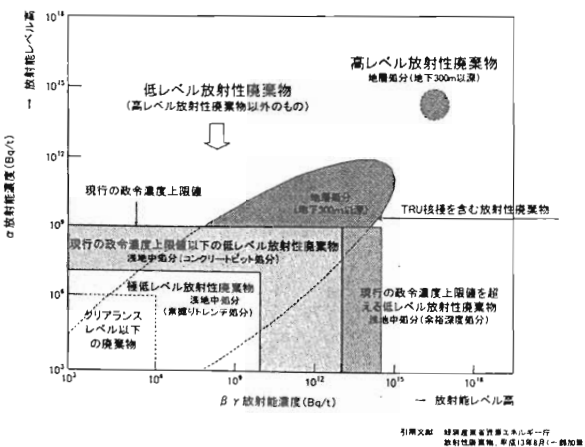


Fig.2 Overview of Radioactive Waste

Table 1 Issues of Radioactive Waste Disposal on Civil Engineering

建設・操業関連技術
処分施設の設計技術
・空洞の力学的安定性評価
処分施設の建設技術
・立坑や処分坑道の建設(*)
操業技術
・廃棄体の搬送・定置、資機材の輸送(*)
天然バリア関連技術
地質環境特性の調査・評価技術
・地質構造の調査・評価(*)
・地下水の流動特性の調査・評価(*)
・地下水の地球化学特性の調査・評価
・岩盤の熱特性、力学特性の調査・評価(*)
地質環境の長期安定性評価技術
・地震、断層活動の評価(*)
・火山、火成活動の評価
・隆起、沈降、侵食の評価(*)
岩盤修復技術
・グラウト技術(*)
人工バリア関連技術
緩衝材(ベントナイト)の設計、製作・施工技術
・材料の検討(*)
・施工技術(*)
・品質管理手法(*)
セメント系材料の設計、製作・施工技術
・材料の検討(*)
・施工技術
・品質管理手法
人工バリアの埋設後の健全性評価技術
・個別現象のベントナイトへの影響評価(Caイオン、海水、ガスなど)
・セメント系材料からの長期Ca溶出挙動評価(*)
・再冠水時の人工バリア挙動評価
・人工バリアの長期構造力学安定性評価
・ガス移行の挙動評価
・人工バリアの熱的安定性評価
閉鎖技術
・材料の検討(*)
・設計手法と施工技術(*)
・プラグ、グラウト技術(*)
・岩盤緩み領域の特性把握
・設計、性能評価手法
システム性能の確認・評価技術
処分場の管理技術
・モニタリング技術(*)
安全評価シナリオの作成技術
シナリオに沿った解析評価技術
性能評価技術
・ニアフィールド環境評価
・ファーフィールド環境評価
・人工バリアの性状変化評価(*)
・物質移動評価(*)

注記) (*)印は本報告で触れるテーマ

Table 2 Characteristics of Radioactive Waste Management

	一般土木プロジェクト	放射性廃棄物処分プロジェクト
全般	<ul style="list-style-type: none"> ・技術体系が完成されている ・規準類に従って設計、施工を行う ・実績が豊富にある 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術体系が完成されていない ・従来の土木技術だけでは対応できない ・実績が極く僅かしかない
主な設計要件	<ul style="list-style-type: none"> ・応力と変形 ・(稀に、水密性、気密性) 	<ul style="list-style-type: none"> ・応力と変形 ・放射性核種の生物圏への影響
耐用年数	・～数十年	・百年～万年オーダー
安全性の確認	・実績を重ねることにより検証が行われてきており、安全性の実証がほぼ可能	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性を実証するのが非常に困難 時間軸 (超長期) 対象エリアの大きさ 対象となる地質及び地下水の不均一性

・カナダ・URLにおけるトンネルシーリング試験

[システム性能の確認・評価技術]

・地中無線によるモニタリング技術
 ・人工バリア・天然バリアのインターフェイスにおける物質移行解析手法

3. 建設・操業関連技術

3.1 空気カプセル輸送技術^{5), 6)}

(1) 背景

放射性廃棄物処分において、廃棄体や緩衝材を地上から地下へ輸送する方法は、アクセス立坑を利用した専用揚重設備 (例えばリフト) によるものやアクセス斜坑を利用した専用の走行式輸送機械 (例えばトレーラー) によるものが考えられている。しかし、これらの方式には以下のような課題が指摘されている。

- ・揚重設備が故障した場合、廃棄体が落下、衝突して重大災害を招く恐れがある。
- ・走行式輸送機械を利用する場合、閉所空間内での長距離輸送は作業員に多大なストレスを与える可能性があり、人為的ミスの発生につながる。
- ・どちらの輸送手段も、輸送深度が深くなるに従い輸送能力が著しく低下する。

そこで鹿島建設では、これらの代替輸送方法として空気カプセル輸送技術に着目し、放射性廃棄物処分場の総合輸送システム の概念を検討している。

(2) 技術の概要

空気カプセル輸送システム の概念図を Fig.3 に示す。システムは主に輸送経路となる輸送管路、輸送物資を搭載するカプセル、輸送管路内に気流を発生させるブローアからなる。本輸送技術は、管路内に発生させた気流を駆動源として、輸送物資を搭載したカプセルを輸送する方法である。空気カプセル輸送技術の特徴を以下に示す。

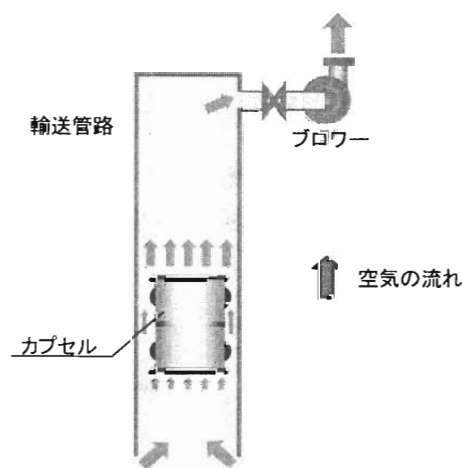


Fig.3 Pneumatic Capsule Pipeline System

- ・安全性、信頼性が高い

本システムは基本的に遠隔操作で行われるため、人為的ミスによる事故が生じる可能性が少ない。また、システムを構成する装置が少ないため、メンテナンスが比較的容易である。輸送は管路内

で行われるため、輸送中に物資が飛散、落下することが無く、安全である。仮に何らかのアクシデントでカプセルが落下したとしても、輸送管路内の空気の圧縮作用により、カプセルの急激な落下や衝突を防ぐことができる。

・輸送物資の自由度が高い

輸送物資はカプセルに搭載して輸送するため、輸送物資の種類、形状を問わず様々な物資を輸送できる。したがって、廃棄体や緩衝材のみならず、処分場の建設資材や掘削ズリ、埋戻し材などの輸送にも適用できる。

・様々なレイアウトに適用できる

空気カプセル輸送は、鉛直方向輸送、水平方向輸送のみならず、斜坑、スパイラル状の坑道を利用して任意の方向・方式で輸送できる。したがって、様々なレイアウトを構築できる。

本システムは鉱山や土木工事現場などで実際に適用されている。Fig.4はトンネル工事現場の掘削ズリ搬出に空気カプセル輸送を適用した事例である*1。輸送は順調に行われ、装置のトラブル、人身事故等は一度も発生していない。このことから、空気カプセル輸送システムの放射性廃棄物処分場への適用性は非常に高いと考えられる。本システムは輸送距離が長くなるほどコストメリットが大きくなるため、特に地層処分場への適用が有望と考えられる。

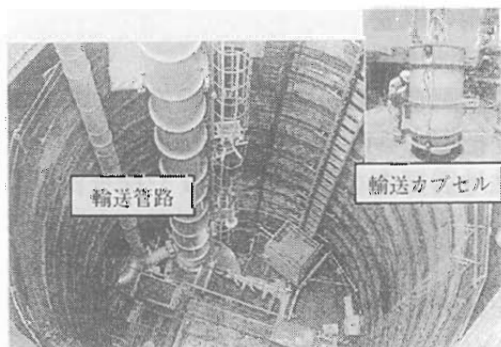


Fig.4 Transportation of Excavated Rock
(Numakuma TSP Construction, Hiroshima)

*1 名称：芦田川流域下水道沼隈幹線（6工区-1）管渠工事、施工場所：広島県福山市、発注者：広島県福山地域事務所

(3) 地層処分場への適用

本システムを使用して物資を鉛直下方向に輸送させる場合、物資の自重が推進力となるため無動力で輸送できる。その際、輸送管路とカプセルの隙間の量を調節することにより、輸送速度を任意に設定できる。輸送経路の傾斜に制限が無いため地上から地下へ最短距離で輸送でき、輸送速度も従来の方法に比べ速く設定できるため効率的に輸送できる。走行式輸送機械と異なり排気ガス、粉塵等が発生しないため、坑道内の作業環境を良好に保つことができる。また、原理的にエアクッション効果により落下・衝突に対して自動制御が働き安全性が確保されるシステムであるため、廃棄体などの危険物の輸送にも適している。

ここで、地上施設から地下施設へ廃棄体を輸送する際に本システムを適用する最大の利点は、積み替え作業を行わずに地下施設の任意の位置に輸送できることである。遠隔操作が求められる廃棄体輸送では、輸送時の安全性確保の観点から、積み替えのような複雑な作業は少ない方が好ましい。

また、空気カプセル輸送システムは輸送経路を自由に設定できるため、安全性の向上に加え、地上施設と地下施設のレイアウトに依存しない最適な輸送経路を採ることができる。

空気カプセル輸送システムは中間貯蔵施設から処分場までの陸上輸送にも適用可能であるため、地層処分事業に係るすべての廃棄体輸送に空気カプセル輸送技術を用いた「地層処分場の総合輸送システム」の概念を構築している（Fig.5参照）。

(4) システム開発の方向性

空気カプセル輸送システムを用いた鉛直輸送、水平輸送の原理及び安全性については、既に技術的検証が行われている。今後は、総合輸送システムの構築に向け、3次元的な輸送経路における輸送カプセルの挙動について、数値解析とともに実証試験を行う計画である。また、廃棄体の輸送を念頭に置いていることから、放射線の影響に対する装置の安全性についても検討する必要があると考えている。

なお、本技術は住友金属工業(株)並びに関西設計(株)と共同で開発中のものである。

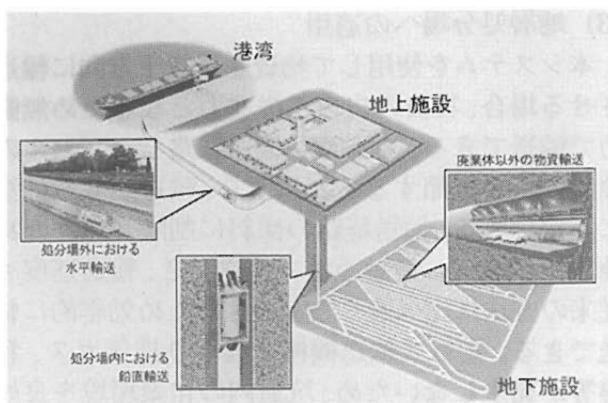


Fig.5 Comprehensive Transportation System for Geological Disposal Facilities

4. 天然バリア関連技術

地層処分においては、天然バリア（岩盤）と人工バリア（ベントナイト系材料、セメント系材料等）から構成される多重バリアで施設の安全性を確保することが重要である。具体的には、Fig.6に示すように天然バリア→人工バリア→天然バリアという地下水流動環境下で、人工バリア内部からの物質流出・移行がある許容範囲内に収まることが求められる。以下に各バリアごとのキーテクノロジーを紹介する。

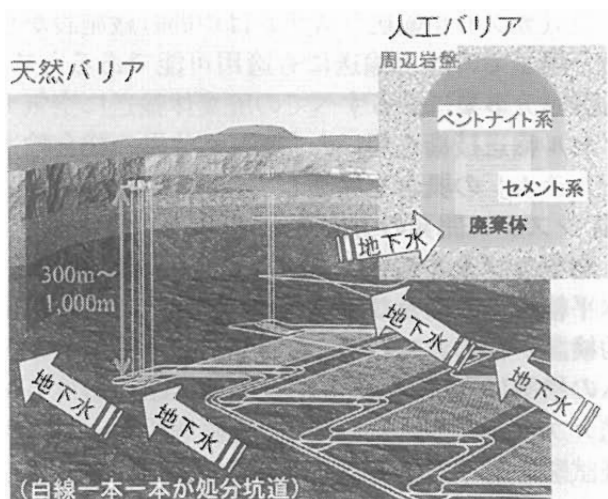


Fig.6 Conceptual Diagram of Natural Barrier and Engineering Barrier

4.1 概要

地層処分の天然バリアに関しては、地下水挙動の把握が重要であることから、i) 比較的広い範囲を対象とした調査・計測・評価が必要であるとともに、ii) 高透水性亀裂等の少ない良好な岩体を選定する、という2点が重要である。また、選定した岩盤中に施設を建設した際に、岩盤が劣化した場合の修復についても対策が必要である。さらに、調査数量については制約があること、調査により超長期の挙動を直接的に予測できるデータを収集するのは困難であることから、解析による評価が重要な役割を担うこととなる。以下に地下水、修復、解析の各分野の主要技術について記す。

4.2 岩盤地下水調査技術

(1) 背景

岩盤を対象とした放射性廃棄物処分を検討する場合、a.放射性物質の移動経路となる可能性のある空洞周辺岩盤（ニアフィールド）での水理特性と、b.核種移行遅延効果に影響を与える広域岩盤（ファーフールド）中の物質移行特性の把握が不可欠である。鹿島建設では、a.として、坑道周辺のゆるみ域の広がりやその透水性を把握するために連続波地中レーダーとゆるみ域透水試験装置の開発⁷⁾を、b.については、原位置試験から物質移行特性を取得するために物質移行総合評価システム（トモグラフィ、水理試験、物質移行試験及び物質移行解析）の開発⁸⁾を進めている。

(2) 技術の概要

①連続波地中レーダー

原位置調査において水みちとなるゆるみ域の広がりやを把握するには従来の非破壊探査手法である屈折法地震探査などでは、精度や探査深度などが必ずしも十分ではない。今回開発した連続波地中レーダーは、周波数を変化させながら連続して電磁波を発受信させることにより入力エネルギーを増大させ、地中レーダーの有する特性である高分解能を維持したまま堆積岩においても探査深度を確保でき、ワイドアングル測定 (Fig.7 参照) を併用することにより、正確なゆるみ域の深度を把握できることが特長である (Fig.8 参照)。

②ゆるみ域透水試験装置

ゆるみ域透水試験装置は、坑道近傍の透水性の変化を把握するため、多連パッカー・微小区間透

水試験装置からなり、6連の孔内パッカーシステムにより、長さ20cmの試験区間を一度に6区間形成し、Fig.9に示すように、各区間に2系統ずつ接続されるラインにより流量制御・圧力計測を行い透水試験が実施できることを特長とする装置である。

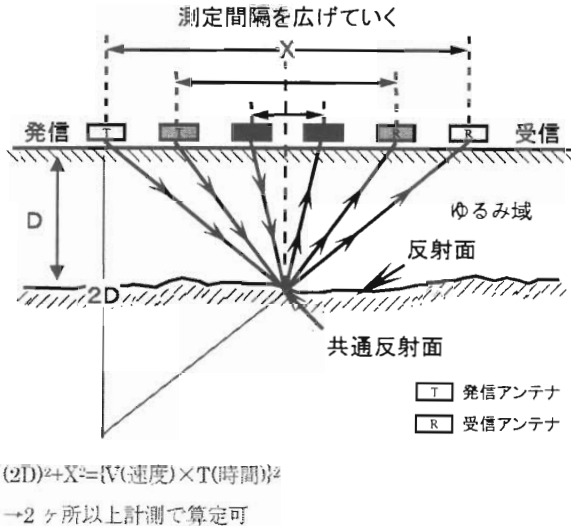


Fig.7 Outline of Wide-angle Measurement Technique

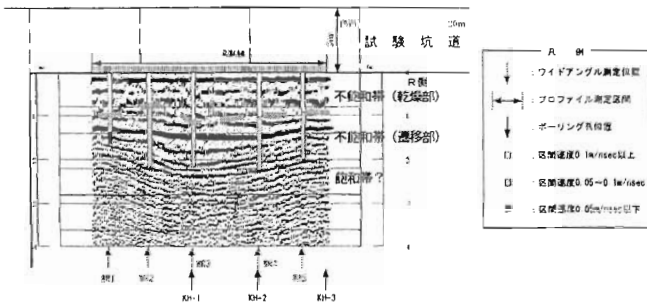


Fig.8 Result of Ground Penetrating Radar with Modulating Frequency

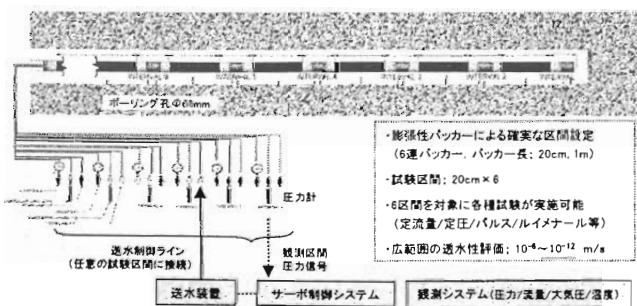


Fig.9 Outline of Mini Multi-Packer System for Excavation Damaged Zone

(3) 今後の展開

現在、鹿島建設では、岩盤地下水調査技術だけではなく、調査に基づき解釈した結果などに含まれる不確実性を把握し、それを低減する方法を検討するために、不完全な情報に基づく判断の不確実性を考慮した意思決定支援ツールの開発⁹⁾なども進めている。

4.3 岩盤修復技術

(1) 背景

前述の調査技術を用いて良好な岩盤を選定しても、処分坑道等を掘削することによって、周辺岩盤をある程度傷めてしまう可能性は否定できない。このような掘削影響領域の性能を修復させるための技術としてグラウト技術が考えられる。

具体的には、掘削によって周辺岩盤中に発生した微小亀裂の止水方法として、従来からダム基礎岩盤などでの遮水性確保のため行われている、セメントグラウトを注入し岩盤亀裂を充填する方法が考えられる。ただし、改良対象が従来の亀裂よりも透水係数の小さい亀裂となることが予想されるため、微細な亀裂にも高濃度、高粘性のグラウト材を効率的に注入することのできる注入工法として、ダイナプレス工法を開発¹⁰⁾した。

(2) ダイナプレス工法の概要

①工法の特徴

通常、岩盤に対する注入工事は、一定の注入圧力でグラウト材を注入する方法が採用されるが、ダイナプレス工法は、Fig.10に示すように、一定の注入圧力に動的な圧力を付加して注入を実施する工法である。その結果、動的圧力によりセメント粒子の分散性や流動性が向上し、岩盤亀裂内の充填物を除去し、岩盤亀裂の断面変化部においてもグラウト材の粒子が目詰まりすることなく注入できる。本工法の利点を要約すると、以下のとおりである。

- a. より微細な亀裂へ多くのグラウト注入が可能 (止水性の向上)
- b. 目詰まりを防止し、富配合のグラウト注入が可能 (止水性の向上・工期短縮)
- c. 追加孔の削減が可能 (工費削減・工期短縮)

②現場注入システム

Fig.11は今回開発した現場注入システムの概要

図である。本注入システムは、従来の注入システムの配管上に、動的圧力発生装置を追加することで、一定の注入圧力に任意周波数（周波数は1～50Hzまで対応可）の動的圧力を与える。計測管理はシンプルな構成となっており、リアルタイムに波形計測用のパソコンで確認し、波形データを保存管理できる。また動的圧力の周波数調整も、ダイヤル操作で簡単に調整できるため、通常のグラウト工事経験者であれば誰でもすぐに使えるシステムである。

(3) ダイナプレス工法の現場適用結果

実岩盤を対象とした注入工事にダイナプレス工法を適用し、従来工法との比較を目的に現場注入試験を実施した結果を以下に示す。注入は花崗岩に削孔したボーリング孔を用いて実施し、ダイナプレス工法の動的圧力の周波数は5～10Hzとした。Fig.12は水セメント比W/C=8のセメントグラウトを使用した場合の注入結果について、ルジオン値とセメント注入量の関係を示したものであ

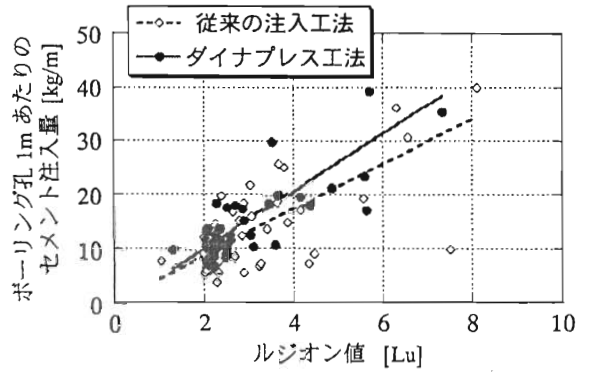


Fig. 12 Relationship between Lugeon Value and Cement Volume

る。ダイナプレス工法を用いることで、より多くのセメントを注入できていることが分かる。多くのセメントを注入できたということは、改良範囲が広がり微細な亀裂にも注入できていると考えられ、止水性の向上が期待できる。

(4) 今後の展開

ダイナプレス工法を適用した現場注入試験から、本工法が修復技術の一つとしてのグラウチングの品質向上と工期短縮、工費削減に貢献できることが確認できており、今後は、さらなる現場適用を図り、岩盤の状況に応じた最適注入仕様の設定基準を明らかにしていく計画である。

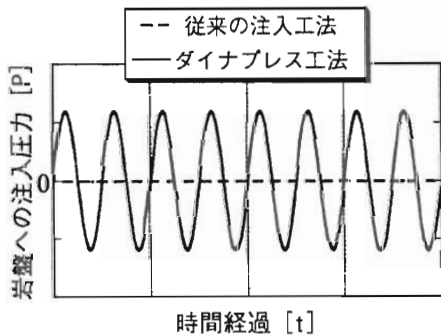


Fig. 10 Injection Pressure of Dynamic-press Method

4.4 岩盤地下水関連の解析技術

(1) 背景

放射性廃棄物処分における天然バリアの信頼性を高精度に評価することが求められている。そのためには、岩盤に内在する不連続面を的確に考慮した解析手法が必要となり、鹿島建設では不連続性岩盤の変形と地下水挙動を連動させた解析システムを開発した。

(2) 技術の概要

不連続性岩盤の等価連続体解析手法の一種であるMBC (Micromechanics Based Continuum) 解析¹¹⁾は、不連続面のすべりに伴う開口現象が考慮できるため、放射性物質の移行経路となる空洞周辺のゆるみ域の水理特性評価を可能にする解析手法として有用である。開発した岩盤解析システムは、MBCモデルを用いた3次元岩盤掘削FEM解析とその解析によって得られた不連続面の開口量

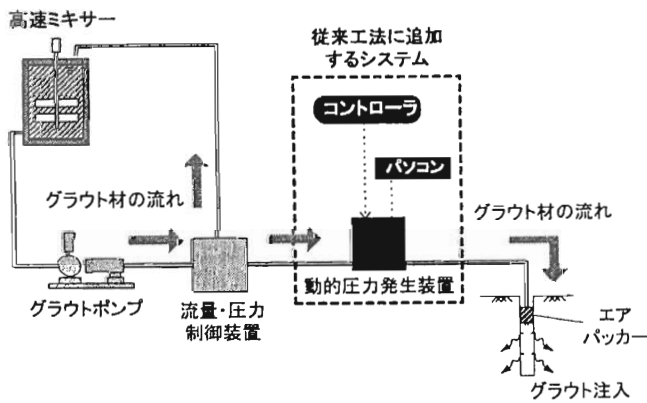


Fig. 11 Outline of Dynamic press Method

分布を各解析ステップごとに自動的に引き継ぐ3次元非定常浸透流FEM解析から構成されている。

この手法を用いることにより、不連続面のすべりや開口を考慮した岩盤の安定性が予測できるとともに、不連続面の開口に伴う岩盤の異方的な透水特性の変化も考慮した岩盤の地下水挙動を予測することが可能になる。Fig.13に空洞掘削時の不連続面の開口を考慮した場合と開口を考慮しなかった場合の地下水圧分布の比較を示す。

(3) 今後の展開

本解析システムの開発によって、これまでの解析モデルでは表現できなかったより現実に近い水理場を考慮した合理的な処分空洞レイアウトの設計が可能となる。今後も本解析システムの高精度化を継続する計画である。

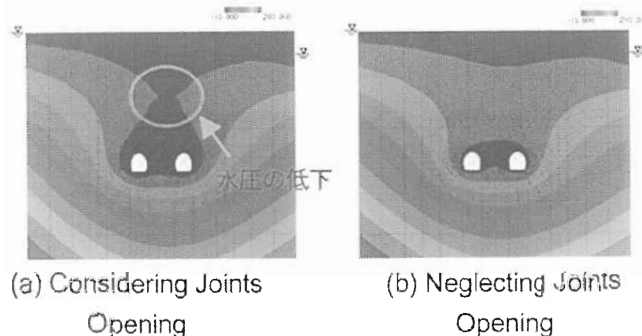


Fig.13 Contour of Underground Water Pressure around Twin Caverns

4.5 長期地殻変動予測解析手法

(1) 背景

放射性廃棄物処分場とその周辺地質の長期的な安定性を評価する際、将来に亘る地殻変動の影響を考慮する必要性が認識されつつある。非常に長期に亘る地殻変動を予測する方法には、確率統計的な予測やナチュラル・アナログによる予測、実験による予測などが考えられるが、様々な要素が絡み合った地殻変動現象を定量的に予測するためにはコンピュータによる数値実験も欠かせない。

そこで、地質の長期安定性評価手法を確立するために、1万年程度の地殻変動現象を計算力学的手法を用いて予測する手法及びこの結果を用いた

岩盤空洞の長期力学的安定性解析手法の開発を行った。

(2) 技術の概要

①地殻変動予測解析¹²⁾

日本列島はプレート運動の影響を大きく受けているため、放射性廃棄物処分空洞に作用する地殻応力も長期的に変化する可能性がある。そこで、処分場近傍数百m領域の地盤の長期安定性を評価するための数値解析モデル(近傍モデル)に対して、近傍モデルを含むより広い範囲(数kmから数十km範囲)のモデル(中域モデル)による検討が必要であり、中域モデルの解析条件設定のためには、さらに広い範囲(数百km範囲)のモデル(広域モデル)による解析が必要であると考えた。

これらの考え方を具現化するために、近畿地方を広域モデル、淡路-六甲地域を中域モデル、仮想の地下空洞を近傍モデルとして3次元力学モデルを作成し、FEM解析を実施した例を以下に示す。Fig.14は対象とした解析領域であり、Fig.15は広域、中域、近傍の各モデルである。広域モデルの解析では地質のブロック構造と東西方向の圧縮応力場を解析条件に考慮し、3次元FEM解析により、地質ブロックの相対横ずれや上昇・沈降量、各地質ブロックに作用する応力などを求め、地質学的な推定や知見と比較検討した。中域モデルの解析ではより詳細に断層をモデル化するとともに、広域モデルで得られた地殻応力をモデル境界に作用させ、詳細な断層変位や地殻応力変化を求め、これを近傍モデルに作用させる長期的な地殻変動応力とした。

②岩盤の長期クリープ解析

処分場近傍の長期安定性を解析する場合、近傍モデルに作用する長期的な地殻応力変化だけでなく、岩盤の時間依存性挙動や粘弾性挙動、すなわちクリープ現象を考慮する必要がある。そこで、岩盤の長期的なクリープ変位やクリープ破壊挙動も考慮できる大久保が提案した非線形粘弾性モデル¹³⁾を用いた解析を実施した。結果の一例¹⁴⁾をFig.16に示す。

(3) 今後の展開

ここでは、FEMによる地殻変動現象の解析手法とその結果を用いた岩盤長期クリープ解析手法

により、天然バリアの長期的な力学的安定性を評価する手法を日本における実際の地域を解析事例にして紹介した。

広域モデルや中域モデルの解析結果は過去千年間で実際に起こったと推測される断層の相対変位や地殻の上昇・沈降傾向と調和的であることが分

かり、モデル化は概ね妥当であったと考えられる。今後も、断層挙動に焦点を当てた地殻変動予測や岩盤クリープ解析に関する手法の高度化を図る計画である。

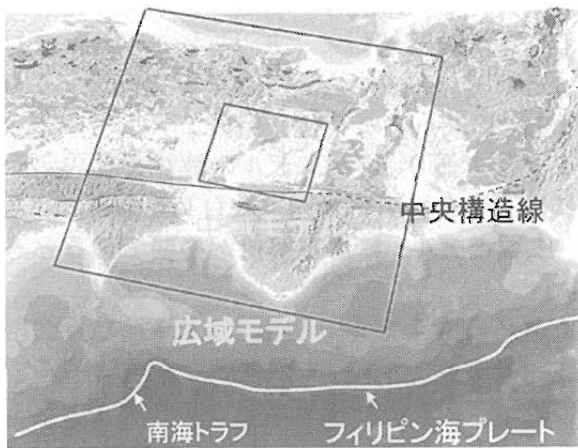


Fig.14 Region for Analysis

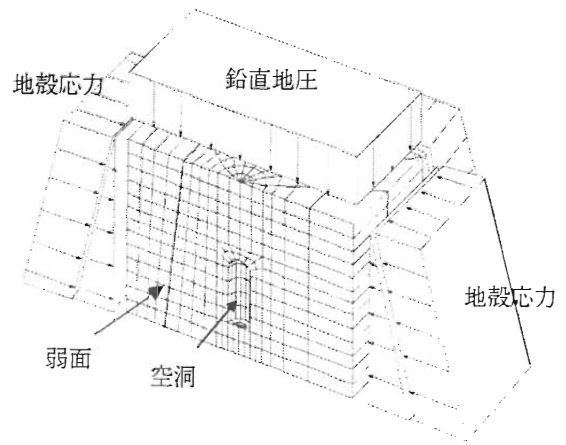


Fig.15(c) Vicinity Model

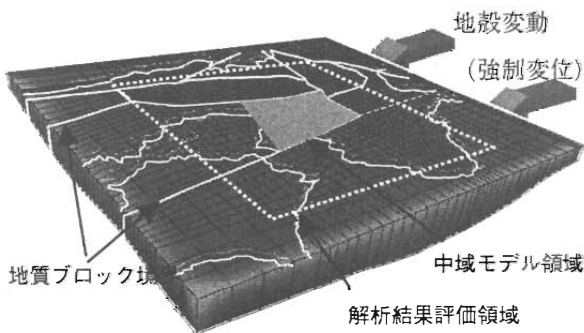


Fig.15(a) Large-scale Model (the Kinki Region)

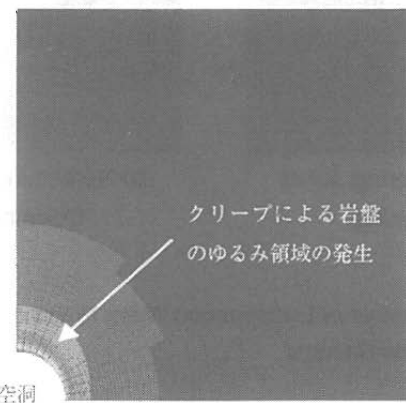


Fig.16 Result of Non-linear Creep Analysis for Radioactive Waste Disposal Cavern (Contour of Compliance after 10,000 years)

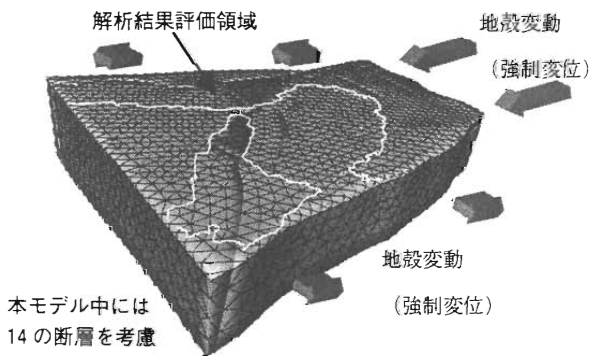


Fig.15(b) Medium-scale Model (the Awaji - Rokko Area)

5. 人工バリア関連技術

5.1 概要

放射性廃棄物処分における人工バリアは、天然バリアと違い、人間がある程度の性能目標を設定して人工的に建設できるものである。したがって、天然バリアよりも様々な面での設計上の自由度が大きいと共に、最新の技術開発成果を迅速に反映させ、その性能を室内・原位置で確認することが重要と判断される。

以下に人工バリアを構成する主な材料であるベントナイト系材料とセメント系材料に関する材料開発関連成果、並びに、人工バリアの性能確認試験研究例を紹介する。

5.2 ベントナイト系材料(礫混りベントナイト)¹⁵⁾

(1) 背景

従来、土木分野において、ベントナイト系の人工遮水材料はフィルダムのコア材や最終処分場の遮水層などに適用されてきた。放射性廃棄物処分施設では、従来の遮水材料に比べ2～3オーダー高い遮水性能、すなわち室内において $10^{-10} \sim 10^{-12}$ m/s程度の透水係数が求められ、これを満たす材料としてベントナイトを用いた人工バリア材料の検討が進められている。鹿島建設では、主に低レベル放射性廃棄物処分を対象にこの遮水材料の高品質化と低コスト化を目的として、ベントナイトに砂と礫を混合した礫ベントナイト混合土の開発を実施した。

(2) 技術の概要

従来のベントナイト混合土は、砂とベントナイトを混合したもの(砂ベントナイト)で、礫ベントナイト混合土は、これに乾土重量比で50%程度のコンクリート用粗骨材を礫材として混合したものである(Fig.17参照)。礫混合の期待効果は、有効透水断面の減少による遮水性能向上、礫材による骨格形成に伴う支持性能向上、さらに同一性能でのベントナイト使用量削減の結果得られる、礫材とベントナイトの単価差によるコストダウンである。

開発に際しては、まず室内要素試験を実施して品質に関わる上記目標性能をいずれも満足することを確認し、次いで、実工事においても室内と同様の性能を満たすための施工条件を明らかにするため、施工機械や施工方法をパラメーターとした現場転圧試験を実施した(Fig.18参照)。その結果、強制二軸ミキサーによる攪拌混合、ブルドーザーによる敷き均し、30tf級の振動ローラーによる転圧の組合せで品質確保が可能であることを確認した。

さらに、現場で要求される止水性能に応じた配合設計に資するため、ベントナイト分と礫分の含有率、締固め密度及び含水比などを変化させた室

内透水試験を実施し、ベントナイト系人工バリア材の透水係数は、諸条件によらず、ベントナイト部分のみの有効湿潤密度(礫と砂を除外した部分の初期湿潤密度)を用いて統一的に評価できることを明らかにした。また、実施工時の品質管理方法についても検討を行い、製造時のベントナイト混合率は、礫ベントナイト混合土に加水して得られる懸濁液の見かけ粘性によって、また、転圧後の締固め密度は重錘落下時の衝撃加速度から各々迅速かつ簡便に推定可能なことを明らかにした。

(3) 今後の展開

以上、新しいベントナイト系人工バリア材料としての礫ベントナイト混合土の開発への取り組みとして、設計、施工、品質保証にいたる幅広い事項についての検討概要を紹介した。現在は、セメントとの化学反応によるイオン交換や溶解変質現象への対応技術、簡便な遮水性能の評価法、並びに人工バリア材料の長期変形挙動評価技術の高度化などに取り組んでいる。

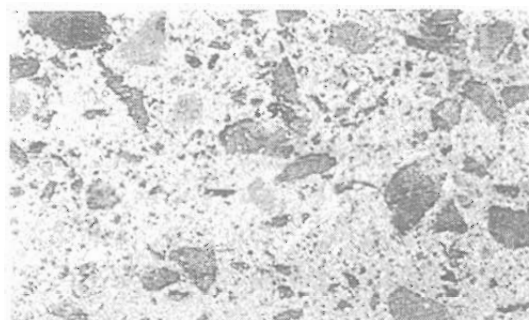


Fig.17 Section of Bentonite-sand mixture with Gravel

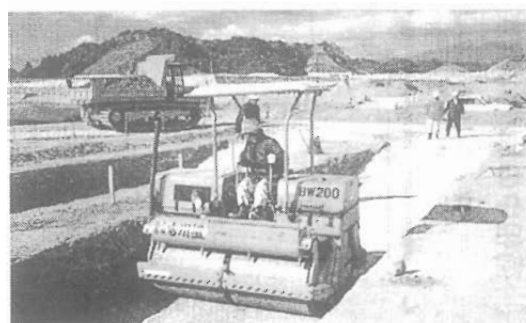


Fig.18 Rolling Compaction Test

5.3 高耐久セメント系材料

(1) 背景

従来、放射性廃棄物処分におけるセメント系材料の検討では、普通ポルトランドセメントを主体としたものが多く、必ずしも最先端のコンクリート技術を用いた検討は行われていない。コンクリートの溶出や塩類によるコンクリートの侵食現象などは、各種イオンがコンクリートの空隙中を移動し、セメント水和物と反応、もしくは水和物そのものが溶解することで生じる。したがって、それらの現象を抑制する手法としては緻密化による物質移動抑制、水和物の組成を改質して溶解度や反応性を低下させることなどが効果的と考えられる。

(2) 技術の概要

鹿島建設では、これまでに低熱ポルトランドセメント（以下LPC）を中心に炭酸化養生による耐久性向上手法を実験的、解析的に検討してきた^{16), 17)}。また、水和反応は示さないものの、炭酸ガスと反応するダイカルシウムシリケート γ 相（以下 γ -C₂S）や徐冷スラグ微粉末を混和材として添加し、炭酸化することによって、緻密化と低溶出性が同時に得られ、耐久性に優れたセメントマトリックスが実現できることを確認している¹⁸⁻²⁰⁾。Fig.19にLPCを標準養生したペーストと強制炭酸化養生したペーストについてカルシウムの溶解曲線を比較して示した。これより、炭酸化養生は溶出に対する抵抗性を格段に増加させることが分かる。

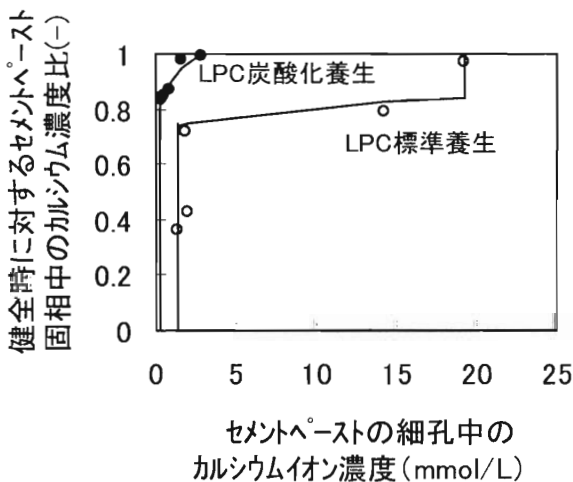


Fig.19 Solubility Test Results of Cement Paste

炭酸化されたコンクリートが5,000年間保存されていたこと²¹⁾からも、本手法は、地下水中における長期の耐久性を確保し、セメント系の人工バリア材料として適用性が高いと考えられる。

(3) 今後の展開

セメント系材料については放射性廃棄物処分以外の分野で開発された最新の技術開発成果も反映させ、人工バリアの品質向上を目指すことが重要と判断される。

5.4 人工バリア内の物質移動評価手法

(1) 背景

コンクリートは、100年程度の歴史しかないものの、放射性廃棄物処分においては、構造物に対して1,000年以上、場合によっては1万年以上もの長期の耐久性が要求される。セメント中のカルシウムは約65mass%を占め、コンクリートの骨格を形成する重要な成分であるとともに、ナトリウム、カリウム、カルシウムなどのアルカリ成分は、周辺の岩盤やベントナイトなどの性能に悪影響を及ぼすことが懸念されている。したがって、コンクリートからのセメント成分の溶出量を低減すること、また、その影響度合いを解析的に評価することが重要である。

(2) 技術の概要

解析的評価に際しては、地球化学解析コードを用いた詳細な物質移動解析が適用されるケースが多いものの、実構造物に対する検証が不十分であり、複雑な現象を評価するには十分なデータが揃っていないなどの問題点も指摘されている。そこで、簡易的かつ合理的に溶出に対する解析評価を行う手法を提案している²²⁾。この解析手法は、化学反応と物質移動を実験及び理論モデルにより構築したものであり、力学性能をも予測できるものである²³⁻²⁵⁾。

30～100年経過した実構造物の変質を本システムにより検証し¹⁶⁾、実測結果と比較したものがFig.20であり、長期間にわたる変質の変遷を精度良く予測できていることが分かる。また、前項で示したようにLPCに混和剤として γ -C₂Sを加え、骨材・セメント材料を最適に配合し、強制炭酸化養生を組み合わせることで、空隙率を大幅に小さくし、溶解度を小さくすることができると考えら

れたため、高耐久コンクリートの性能を解析により評価してみた。その結果、Fig.21に示すように一般的に使用される水セメント比50%の普通ポルトランドセメントのコンクリートに比べて、積算カルシウム溶出量を1/10程度にまで抑制できると算定され、処分場の合理的な設計に寄与する新材料として期待できることが分かった。

(3) 今後の展開

以上のとおり、人工バリア材料の性能をより定量的に評価できる簡便な解析システムについて紹介した。人工バリア材料は、材料開発→性能評価→材料開発へのフィードバックという流れをくり返しなが、研究開発を継続的に進める必要があると考えている。

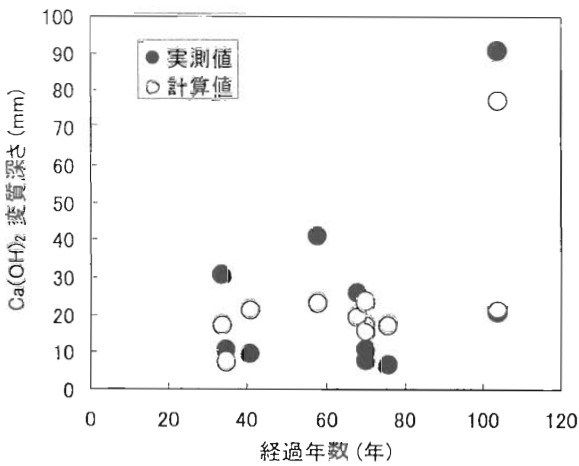


Fig.20 Ca(OH)₂ Alteration Depth of Actual Structures²⁵⁾

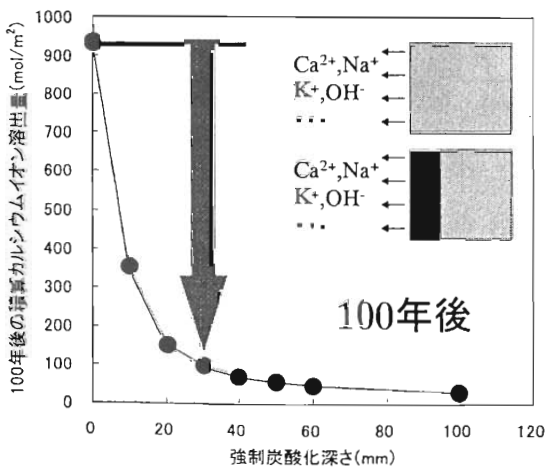


Fig.21 Amount of Calcium ion Leaching at 100 years¹⁶⁾

5.5 カナダ・URLにおけるトンネルシーリング試験²⁶⁾

(1) 背景

放射性廃棄物処分場の操業後の閉鎖フェーズにおいては、廃棄物を地下深部の処分場に運び込む時に利用したトンネルや立坑が放射性廃棄物の人間の生活圏への通路とならないようにシーリング(閉鎖)しておく必要がある。現況のコンセプトとしては、人工バリア材料を用いて埋め戻し、プラグ、グラウトを組み合わせることで適切にシーリングすることが考えられている。

カナダの地下実験場 (URL: Underground Research Laboratory) において AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.) と核燃料サイクル開発機構²⁷⁾の共同研究として実施中のトンネルシーリング試験 (Tunnel Sealing Experiment) は、それらシーリング技術の原位置での性能確認のための原位置試験である。本プロジェクトは、国際共同プロジェクトとして日本の核燃料サイクル開発機構、カナダの AECL の他にフランスから ANDRA、アメリカから DOE が参加している。

(2) トンネルシーリング試験の概要

試験は、カナダ、マニトバ州ウィニペガの北東約 100km に位置する URL の地下 420m で実施された。URL はカナダにおける放射性廃棄物地層処分場の安全評価研究を目的として、処分候補岩体の一つであるカナディアンシールド中に建設された地下実験場である (Fig.22 参照)。試験では、ベントナイトブロックを材料とするベントナイトプラグと低発熱高流動コンクリートを材料とするコンタリットプラグの 2 種類のプラグを高さ 3.5m、幅 4.375m の楕円形の水平トンネルに実スケールで施工した。同時にグラウトや埋め戻しといった技術をプラグ周辺に適用し、シーリング技術全体としての原位置における施工性を確認した。その後、2 つのプラグに挟まれた 11m の区間に水、トレーサー、温水を最大 4MPa で圧入し、各プラグや周辺岩盤への水、トレーサーの浸透状況によりシーリング技術の性能を検証しているところである (Fig.23 参照)。

プラグの施工は 1998 年 9 月に終了し、引き続き水の圧入試験が継続され最終段階に至っている。シーリング性能の評価のため、各プラグの両側で

プラグや周辺岩盤を通過してきた湧水量の計測と共に、プラグ内や周辺岩盤内に設置した700個を超えるセンサーにより水分量、間隙水圧、膨潤圧、温度、変位、ひずみがモニタリングされた。

(3) プラグ施工

本試験サイトにおける地圧は、最大主応力が水平に掘削した試験トンネルに平行な方向で、最小主応力である鉛直方向の約6倍と計測された²⁸⁾。このような偏圧下でトンネルを掘削すると、トンネル周辺岩盤内の応力再配分により主応力方向で岩盤のゆるみが発生する²⁹⁾。このような部分は掘削影響領域 (EDZ: Excavation Damaged Zone) と呼ばれ、健岩部に比べ透水性が大きいため、地下

水に溶出した放射性核種の移行経路になる可能性がある。各プラグ部の周辺でFig.24に示すような拡幅を実施することにより、プラグの力学的安定性を確保すると共に、掘削影響領域に沿った放射性核種の移行を部分的に遮断する役割を持たせている。

ベントナイトプラグの形状はほぼ円柱状とし、約9000個の締めめベントナイトブロック (配合比: ベントナイト70%、珪砂30%、乾燥密度1.9、重量約13kg) を積み上げることにより施工した。岩盤との接触面にはベントナイト吹き付けを行い、岩盤との境界面に生じる隙間を埋めた。その他にベントナイトグラウトは、プラグ周辺岩盤内で掘削影響が顕著な部分の改良のため実施し、バックフィルには、ベントナイトと砂礫の混合材を使用した。

コンクリートプラグの形状は、コンクリート固化時に収縮したプラグが加圧時に岩盤に密着するようキノコ型とした。コンクリートプラグには、AECLが開発した低発熱高流動コンクリート (Low-Heat High-Performance Concrete) を76m³ 打設した。このコンクリートは、カナダにおける実際の処分場において使われることを考慮して、高強度 (一軸圧縮強度70MPa以上)、低透水性 (10^{-12} m/s以下)、低水和熱 (最大温度上昇21度)、低pH (約10) といった特徴を持っている。

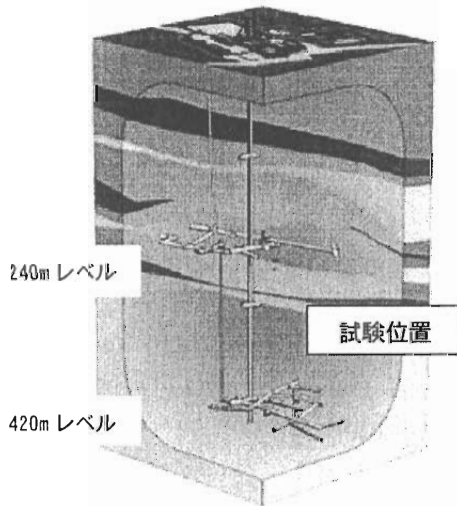


Fig.22 URL Site²⁶⁾

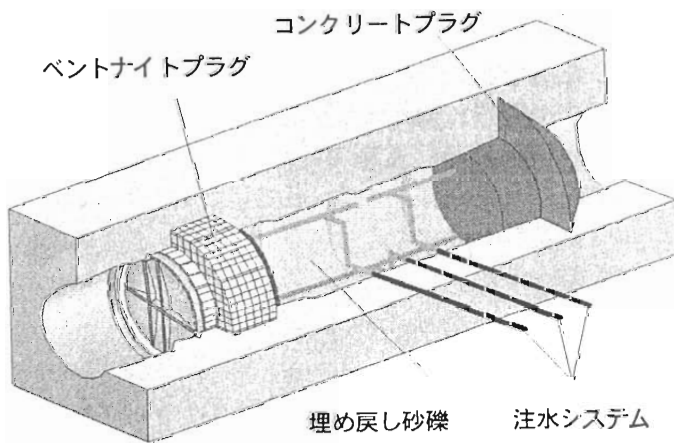


Fig.23 Outline of Tunnel Sealing Project²⁶⁾

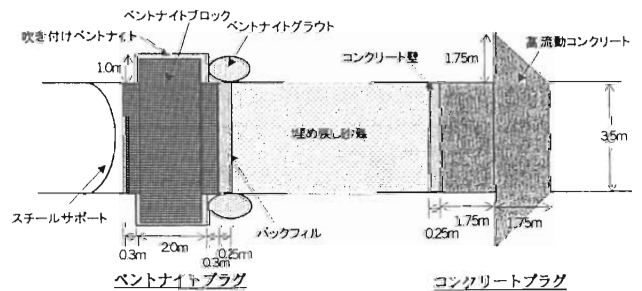


Fig.24 Outline of Bentonite Plug and Concrete plug²⁶⁾

(4) 今後の展開

今回、高レベル放射性廃棄物処分場の概念で検討されているプラグを中心としたシーリング技術を実スケールで現状技術により施工し、その施工性に関する知見を得た。シーリング性能の評価試験は現在も継続中であり、今後、試験結果と数値

解析結果に基づき、さらなる検証を実施していく計画である。

6. システム性能の確認・評価技術

6.1 地中無線によるモニタリング技術

(1) 背景

放射性廃棄物処分におけるモニタリングの位置付けは制度的管理の一つとされており、本質的に passive safeなシステムである地層処分では、その長期安全性を確保することを目的とした処分場閉鎖後の人間の関与（モニタリング等）は必要としないことが原則とされている^{30), 31)}。しかし現在では、関係者を含む社会の合意なくしては地層処分は実現しないという共通認識に至っており、世界各国とも柔軟性を持たせつつ段階的な意思決定を踏まえて処分事業計画を進めることとしており、モニタリングはそのような意思決定に有用な情報を提供できると考えられている。

現状のモニタリング技術では取得データを送信するためには、埋設されたセンサと人間がアクセスできるデータ処理装置の間にデータを送受信するための計測ケーブルが必要となる。これは長期的には地下水の通り道となり、この「水みち」が放射性核種の移行経路となって処分場のバリア性能を低下させる可能性がある。また、調査研究段階においても計測ケーブルの使用による水みちの存在が地下水の流れを変えるため、取得データの精度を低下させるなどの悪影響が問題となっている。この問題を解決するため、鹿島建設では地中無線通信を利用した放射性廃棄物処分におけるモニタリング技術の開発を行っている (Fig.25 参照)。

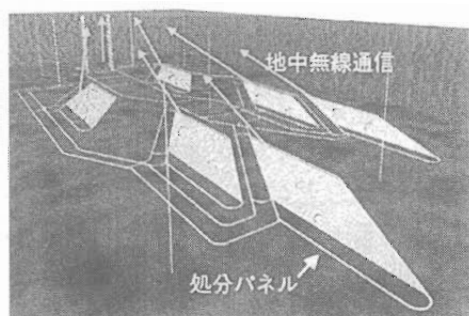


Fig.25 Concept of Post-closure Monitoring with Underground Wireless Communication

(2) 技術の概要

通常の無線通信に用いる高周波の電磁波は、地中では極端に減衰が大きくなるため、通信には利用できない。電磁波はその周波数が低くなるほど媒体中の減衰が小さくなることはよく知られているが、超低周波の電磁波通信は送受信機が巨大になるなどの問題があったため実用的な技術開発は行われてこなかった。本地中無線通信システムは、従来は困難であった超低周波の電磁波による地中での無線通信をコンパクトな装置で可能にしたものである³²⁾ (Fig.26、27 参照)。

地下環境下で本システムの通信性能を確認するため、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB) の Äspö島にある地下研究施設 (ÄspöHRL) において無線通信実験が行われた。ÄspöHRLは火成岩の地盤に地下460mまで、約3,600mの坑道が建設されている。地下水は塩分濃度が高く導電率が高く、また坑道内には金属製の支保工などが存在するため、無線通信の環境条件としては厳しい



Fig.26 Underground Wireless Communication System (Underground Module)

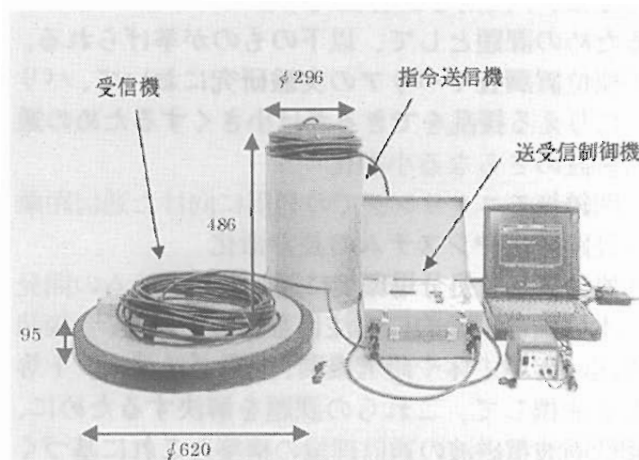


Fig.27 Underground Wireless Communication System (Ground Surface Module)

ものとなっている。坑道内、坑道間など地下の様々な場所において通信実験を行った結果、ほぼ地上と同等の通信性能を確認することができた (Fig.28 参照)。また、坑道や支保工が通信性能に影響を与える可能性があることも確認された³³⁾。

本技術は原位置調査やバリア研究において、水みちを作らないことによる取得データの精度向上、また、処分場の性能を低下させないモニタリングの実施を可能にすることにより閉鎖後モニタリングの実施可能性を開拓するなど、放射性廃棄物処分事業の円滑な推進に大きく貢献できるものと考えられる。

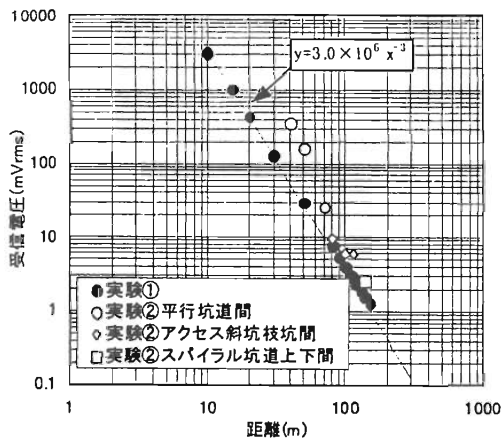


Fig.28 Experimental Result of Communication Characteristics

(3) 今後の展開

今後、本技術を放射性廃棄物処分事業に適用するための課題として、以下のものが挙げられる。

- ①原位置調査やバリアの実験研究において、バリアに与える擾乱をできるだけ小さくするための通信装置のさらなる小型化
- ②閉鎖後モニタリングでの利用に向けた通信距離の長距離化やシステムの長寿命化
- ③処分概念や処分場環境に適したシステムの開発

本技術は国際的にも注目を集めており、今後諸外国の実施主体や研究機関、国際プロジェクト等とも連携して、これらの課題を解決するために、超低周波電磁波の通信理論の構築とこれに基づく伝搬シミュレーション解析技術の整備、また通信システムの合理的な設計手法の開発など、技術の

高度化を図る予定である。

なお、本技術は坂田電気(株)と共同で開発中のものである。

6.2 人工バリア・天然バリアのインターフェイスにおける物質移行解析手法

処分システム全体としての性能を評価するためには、処分場を構成する各パートに着目した検討だけでは不十分である。そこで、人工バリア・天然バリアのインターフェイスをターゲットとした総括的な物質移行検討³⁴⁾にも取り組んでいる。

地層処分には調査数量の制約や超長期的な評価を行う必要があるため、不確実性が介在することは不可避である。たとえば、ICRP Publication 81³⁵⁾では、「将来生じるかもしれない潜在的被ばくが、ある定量的な安全基準を満足することを厳密に証明することは極めて困難である。このことは、処分に対する放射線防護原則の適用が、厳密な意味での科学的証明ではなく、むしろ実践的な意思決定の問題であることを意味し、この中で、安全評価によって提示される定量的な影響の程度は、意思決定のための情報提供として位置づけられるべきである。」としている。また、このような考え方に基づく具体的な防護指針として、予想される潜在的被ばくあるいは対応するリスクが一定の拘束値以下であるという条件の下に、「潜在的被ばくを低減するために、合理的に達成可能な方策を尽くす」ことが求められている。したがって、様々な種類の不確実性の程度を、それぞれ適切な方法で把握することが必要であり、地層処分研究開発及び事業の各段階に含まれる不確実性やリスクを低減するために、「合理的に達成可能な方策を尽くす」責任があるという点に留意が必要である。

すなわち、我々が具体的に実施できる方策としては、適切な処分サイトを選ぶことや、不確実性の影響が顕在化しにくい頑健な人工バリアシステムの設計を行うことに加え、不均一な地質環境特性を理解する際に含まれる不確実性を逐次評価し、これを低減するために効果的な地質環境調査や人工バリア材料・設計の高度化を行うことも含まれ、このような観点から今後も技術開発を進める予定である。

7. おわりに

原子力発電などによる恩恵に与る私たちにとって、放射性廃棄物の安全な処分は、未来へ向けての重要な責務である。鹿島建設はこれまで、ゼネコンとして培った調査、設計、施工技術をベースに、放射性廃棄物処分に関する技術開発を積極的に推進してきた。しかし、課題が全てクリアされた訳ではなく、また、今後はさらなる技術の高度化が必要と考えている。

安全かつ合理的な放射性廃棄物処分の実現に向け、これからもより一層技術開発に注力し、克服すべき数々の困難な課題にチャレンジしていきたいと考えている。

謝辞

本報告で紹介した放射性廃棄物処分関連技術の開発は、当社単独の技術開発の他、電力会社殿、核燃料サイクル開発機構殿及び(財)原子力環境整備促進・資金管理センター殿からの委託研究で開発されたものも含まれます。本報告掲載にあたり、ご協力いただきました多くの方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方について、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(平成10年10月16日)。
- 2) RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(平成10年5月28日)。
- 3) 超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(平成12年3月23日)。
- 4) 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(平成12年10月11日)。
- 5) K.Hane, K.Okutsu, N. Matsui and S. Kosugi, "Applicability of Pneumatic Capsule Pipeline to Radioactive Waste Disposal Facility," Waste

- Management Symposium 02, (2002).
- 6) T. Esaki, K. Okutsu, N. Matsui, T. Fukunaga and K. Saito, "Comprehensive Pneumatic Transportation System for Geological Disposal Facilities," Waste Management Symposium 04, (2004).
- 7) 須山泰宏他, "連続波レーダーによる不飽和領域計測の適用性検討", 日本地下水学会「2003年秋季講演会講演要旨」, pp.2, (2003).
- 8) 須山泰宏他, "沿岸域堆積岩における物質移行総合評価システムの開発", 鹿島技術研究所年報, Vol.49, (2001).
- 9) 須山泰宏他, "不完全な情報に基づく判断の不確か性を考慮した意思決定用評価ツールの開発", 日本原子力学会「2002年春の年会要旨集」, 第40回, M4, (2002).
- 10) 山本拓治他, "亀裂性岩盤を対象にした動的注入工法「ダイナプレス工法」の開発", 建設の機械化, No.630, pp.25-29, (2002).
- 11) H. Yoshida and H. Horii, "Micromechanics-based continuum model for a jointed rock mass and excavation analyses of a large-scale cavern," Int. Jour. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.41, Issue 1, pp.119-145, (2004).
- 12) 佐々木猛他, "放射性廃棄物処分のための長期地殻変動予測", 土と基礎, 46-10, pp.35-38, (1998).
- 13) 太久保誠介, "コンプライアンス可変型構成方程式の解析的検討", 資源と素材, Vol.108, No.8, pp.601-606, (1993).
- 14) 高治一彦他, "ニアフィールドの長期力学安定性評価", サイクル機構技報, No.5, pp.27-35, (1999).
- 15) 田中俊行他, "人工地盤構築材料の開発(その4)一礫混入ベントナイト混合土の品質管理手法の検討一", 鹿島技術研究所年報, 第44号, pp.205-210, (1996).
- 16) 横関康祐他, "炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化", コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.1, pp.555-560, (2002).
- 17) 坂井悦郎他, "低熱ポルトランドセメント硬化体の炭酸化反応", Journal of the Ceramic Society of Japan, vol.107, pp.561-566, (1999).
- 18) 渡邊賢三他, "各種混和材を含んだモルタルの

- 炭酸化養生による高耐久化”、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.25、No.1、pp.653-658、(2003)。
- 19) 盛岡実他、“非水硬性製鋼スラグの中性化抑制効果”、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.25、No.1、pp.647-652、(2003)。
- 20) 渡邊賢三他、“ γ C₂Sを用いたセメント系材料の炭酸化養生による高耐久化”、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.26、(2004)。
- 21) 李最雄、“世界最古のコンクリート”、日経サイエンス、7月号、pp.74-84、(1987)。
- 22) 横関康祐他、“溶脱による劣化を対象とした地下構造物の1,000年耐久性設計”、土木学会コンクリートの化学的侵食・溶脱に関するシンポジウム論文集、(2003)。
- 23) Kosuke Yokozeki et.al., "Prediction of Changes in Physical Properties with Leaching of Hydration Products from Concrete," JCI, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No.2, pp.161-171, (2003)。
- 24) 横関康祐他、“水和反応と温度依存性を考慮したセメント系材料のイオン拡散係数予測モデル”、土木学会論文集、No.725/ V -58、pp.131-142、(2003)。
- 25) 横関康祐他、“カルシウムイオンの溶出に伴うコンクリートの変質に関する実態調査と解析的評価”、土木学会論文集、No.697/ V -54、pp.51-64、(2002)。
- 26) 升元一彦他、“カナダ URL におけるトンネルシーリング試験”、土木学会 年次学術講演会講演概要集第3部(A)、54巻、pp.560-561、(1999)。
- 27) 藤田朝雄他、“JNC/AECL共同研究—トンネルシーリング性能試験の現況について—”、サイクル機構技報、No.1、pp.79-84、(1998)。
- 28) Chandler N. et.al., "In situ Stress Measurement for Nuclear Fuel Waste Repository Design, in Aubertin, M. Hassani, F. and Mitri, H. (eds.)," Rock Mechanics Tools and Techniques, pp.929-936, Balkema, (1996)。
- 29) Read R., "Characterization Excavation Damage in Highly-Stressed Granite at AECL's Underground Research Laboratory," Proc. EDZ Workshop, Int. Conf. Deep Geological Disposal of Radioactive Waste, Canadian Nuclear Society, pp.35-46, (1996)。
- 30) OECD/NEA, "Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Principles Involved," (1982)。
- 31) IAEA, "The Principles of Radioactive Waste Management," IAEA Safety Series No. 111-F, (1995)。
- 32) 遠目塚良一他、“無線による地中通信システムの開発”、最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集、pp.21-26、(1999)。
- 33) 吉村公孝他、“地中無線通信技術の放射性廃棄物地層処分モニタリングへの適用性検討”、物理探査学会第109回(平成15年度秋季)学術講演会予稿集、pp.202-205、(2003)。
- 34) 梅木博之他、“人工バリア・天然バリアインターフェイスにおける核種移行解析手法の開発”、2003原子力学会 春の大会、O32、(2003)。
- 35) 柳澤孝一他、“地質環境特性評価の不確実性解析手法に関する検討—variabilityとignoranceを考慮した不確実性解析の方法論の構築および東濃地域への適用—”、原子力バックエンド研究、Vol.10、No.1及びNo.2合併号(投稿中)、(2004)。

ワイヤーソーによる鋼管切断技術の開発

神山義則 *1、稲井慎介 *1

Development of Cutting Techniques of Steel Pipe by Wire Sawing

Yoshinori KAMIYAMA, Shinsuke INAI

A cutting method has a high cutting efficiency and enable cutting in safe. A wire saw cutting method is used for dismantling of massive concrete structures such as nuclear power plants with an effective and safe mean.

In the case of dismantling of structures with multiple pipes installed at these facilities, an effective method is also demanded. If a wire saw method to remotely cut target objects in a large block in bulk is applicable, it will be expected an effective dismantling work under severe conditions with radioactivity.

Although the wire saw method has adaptability for any shapes of cutting target objects and is widely adopted in dismantling of concrete constructs, it has few actual achievements in dismantling of steel structures such as steel pipe bundle.

This study aims to verify its cutting characteristics and adaptability as a cutting method by conducting a cutting basic test to develop a diamond wire saw method to efficiently cut constructs with multiple pipes in a bundle.

The test proved that a wire saw cutting method apply to dismantle structures with steel pipe bundle. A wire saw for metal cutting is adaptable in dismantling of bundle of thick carbon steel and stainless steel pipes. And also a wire saw for concrete cutting is adaptable in dismantling of pipe bundle structure with a mortar.

1. はじめに

1998年3月、日本原子力発電の東海発電所が運転を停止し、現在廃止措置作業に入っている。また、2003年3月には核燃料サイクル開発機構(旧動力炉・核燃料開発事業団)のふげん発電所がその使命を終了、運転を停止し、廃止措置準備作業に当たっている。これらの発電所の廃止措置は、今後の他の原力発電所の廃止措置におけるガイド

ラインとなるモデルケースとして、解体作業が行なわれると考えられる。

原子力発電所などの原子力関連施設では、多数の配管(鋼管)からなる機器装置が設置されている。これら多数の鋼管を解体する際、内部空間での作業が放射線環境下の場合、作業員が長時間内部にとどまる作業は行えず、非常に長期の解体工程になることが予想される。また、解体対象物が汚染されている場合、廃棄物が収納容器に収ま

*1: 戸田建設(株)原子力室 (Toda Corporation)

る程度の大きさに細断する必要も生じる。

筆者らは原子力施設の中でも特に複雑に配置されたこの束状配管の解体に着目し、これ等に対し、ワイヤーソー工法は、効率的に解体する技術として有効な手段と考えた。しかしながら、一般にワイヤーソー工法は、遠隔操作性、切断対象物形状への対応性はあるが、鉄筋コンクリート構造物の切断を対象としており、鉄骨構造物や配管などの金属構造物に対する切断解体実績はほとんどない。

切断対象物を形状に係わらず、大断面で一括切断でき、かつ遠隔操作も可能で切断効率および作業性のよいワイヤーソー工法の金属構造物へ適用が可能となれば、複雑に入り組んだ多数の束状配管の一括解体が可能となり、放射線環境下など厳しい作業制約条件での作業性向上、工期の短縮などに有効な解体工法として期待される。

本報は、束状銅管を効率的に切断するワイヤーソー切断工法を開発するために行った切断基礎試験から得られた切断特性をもとに、その適応性について検討、評価したものである。

2. 試験概要

2.1 目的

本試験は、原子力施設における、多数の鋼管のうち、束状に設置された鋼管を一括してブロック解体可能なワイヤーソー工法の適用技術を開発するため、解体工法上の切断対象物の形状、材質などをパラメータとした試験により、切断特性の把握と適応性を検証することを目的とした。

Fig.1 はワイヤーソーによる束状配管の切断解体工法の概念図である。

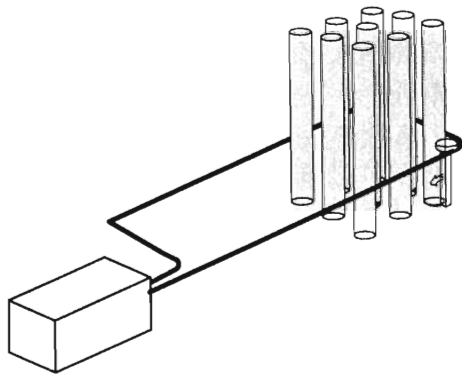


Fig.1 Cutting Concept

2.2 試験装置

(1) 切断装置

切断試験には建築物の解体工事で一般的に用いられているワイヤーソー切断装置を使用した。切断装置の仕様を Table 1 に、装置外観を Photo 1 に、寸法形状を Fig.2 に示す。

Table 1 Specification of Wire Sawing Equipment

諸元/種類	DWS-800
動力	3φ200V 50Hz 37kVA
出力	25 HP
最大循環速度	35m/s
機械寸法	W700×L3300×H1300
重量	400kg/set
主要用途	気中切断一般用

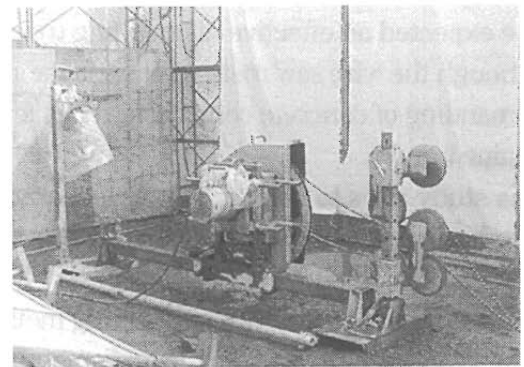


Photo 1 Cutting Machine

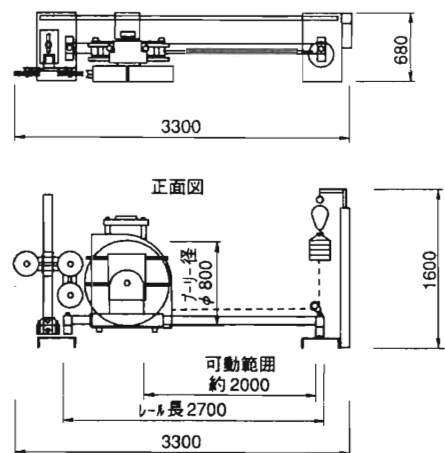


Fig.2 Dimension of Cutting Machine

Fig.3 に、本試験での切断装置と切断試験体の配置を、試験体と治具状況を Photo 2 に示す。なお、試験エリアでは、試験体と切断装置の周囲にワイヤーソー破断時の安全性を確保するために防護柵、シートを敷設した。

(2) ワイヤソー

使用ワイヤーソーの仕様を Table 2 に示す。ワイヤーソーは金属切断用の特製ワイヤーソー（以下「金属用ワイヤー」）および建築解体工事で用いられる一般のワイヤーソー（以下「一般用ワイヤー」）を使用した。それぞれの使用前の拡大写真を Photo 3 に示す。

Table 2 Specification of Wire Saw

金属用	スパーサー	スプリングゴム被覆
	ビーズピッチ	21mm
	外径	10.5mm
一般用	スパーサー	スプリングゴム被覆
	ビーズピッチ	25mm
	外径	10.8mm

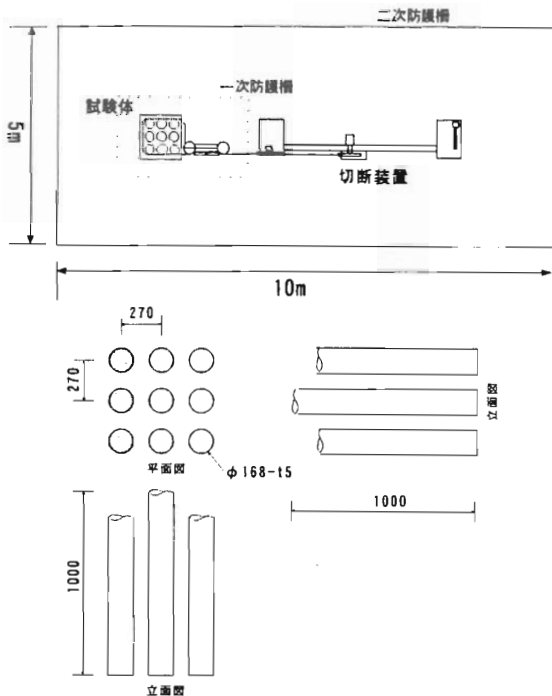


Fig.3 Layout of Machine and Specimen



Photo 3 Enlarged View of Wire Saw

金属用ワイヤーは、鋼構造物切断専用製品化されたワイヤーであり、写真で明らかなように、一般用ワイヤーに比較して表面にダイヤモンドが集中しているのが特徴である。金属用ワイヤーの寸法形状はビーズピッチ等で若干一般用ワイヤーとは異なっている。

2.3 試験体

試験体一覧を Table 3 に、試験体図を Fig.4 に示す。

試験体は試験目的別に分類して製作した。

試験目的であるワイヤー工法の適応性評価として、切断能率の把握、鋼材種への対応性、鋼材量に対する特性、切断効率向上の対策などをあげ、これに基づく試験体を製作した。

試験体 1 は本試験シリーズの基準試験体である。外径 168mm、厚さ 5mm の炭素鋼管 (SS400) 9 本を 270mm 間隔に、たて横に配置し、うち一列は切断時の安定性とワイヤーのドレッシング効

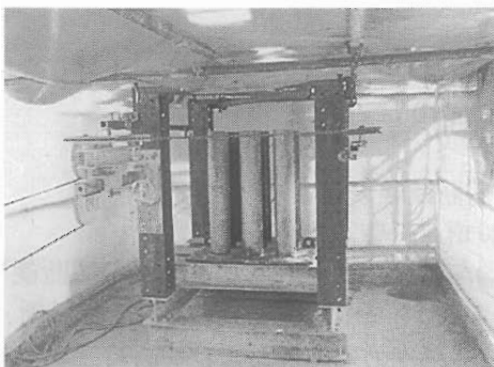


Photo 2 Cutting Equipment and Specimen

Table 3 Specimen

試験体	形状			備考
1	炭素鋼管 φ168、厚 5mm	長さ1m	3本 × 2列	(SS400)
	炭素鋼管 φ168、厚 5mm	長さ1m	3本 × 1列	(SS400) モルタル充填
2	炭素鋼管 φ150、厚 10mm	長さ1m	3本 × 1列	(SS400) 下部モルタル 充填
	炭素鋼管 φ150、厚 20mm	長さ1m	3本 × 1列	(SS400) 下部モルタル 充填
	ステンレ ス鋼管 φ168、厚 5mm	長さ1m	3本 × 1列	(SUS304) 下部モルタル 充填
3	炭素鋼管 φ168、厚 5mm	ブロック 形状 240mm× 240mm× 200mm	1体	(SS400) モルタル被覆
4	炭素鋼管 φ168、厚 5mm	ブロック 形状 240mm× 240mm× 200mm	1体	(SS400) モルタル被覆 +充填

果による切断能率の維持を検証するためにモルタルを充填したものである。

試験体2の試験体形状および配置は、試験体1と同じで配管の断面及び材種が異なっている。本試験体は、切断鋼材断面形状、特に肉厚の厚い炭素鋼管に対する切断特性の把握をするため、基準試験体の鋼管断面積の2倍、4倍相当になる、φ150厚さ10mmと20mmの炭素鋼管を各一列配置した。さらに、厚さ5mmで鋼材種をステンレス鋼(SUS304)とした配管を一列270mmピッチで配置した。配管下部にはいずれもモルタル充填を

施した。

試験体3、4は、炭素鋼管(φ168×5)をモルタルで被覆、充填したブロック試験体である。形状寸法はたて横、高さ240mm×240mm×200mmである。試験体3は鋼管外部のみ被覆し、内部は中空のブロックである。試験体4は、鋼管内外を充填、被覆したブロック試験体である。

ブロック試験体は、モルタル被覆することで一般ワイヤーでの切断が可能となることを考慮したものである。すなわち、コンクリート構造物と同じ形態にすることで鋼管切断を可能とするものである。

試験体2および試験体3の形状写真をPhoto4に示す。

なお、充填および被覆モルタルの強度は30N/mm²とした。

2.4 切断方法

試験体1、2の試験方法をFig.5、Photo5に、試験体3、4の切断方法をFig.6、Photo6に示す。

切断は、いずれも単純引張りの水平切断である。

試験体s1、2では3本の鋼管を同時に切断する場合はFig.5の(1)のように、1本の鋼管のみ切断する場合は(2)のようにワイヤーソーを敷設した。

試験体3、4では、鋼管をモルタル被覆したブロックを水平に各3切断した。

切断中および直後のワイヤーソーのハネによるはずれを防止する適切な走行用ガイドプーリー配置とした。

プーリー距離は、Fig.5に示すように鋼管の終端部からプーリー前面までの距離(d)を示している。

切断中はワイヤーソーの温度が上昇しないよう冷却水を10ℓ/min程度供給した。

2.5 切断試験項目

試験項目一覧をTable4に示す。

試験項目は、ワイヤーソー工法の切断能率、切断特性、ワイヤーソーの磨耗と寿命評価、ワイヤーソー種別の適応性および切断時二次生成物の発生状況などとした。

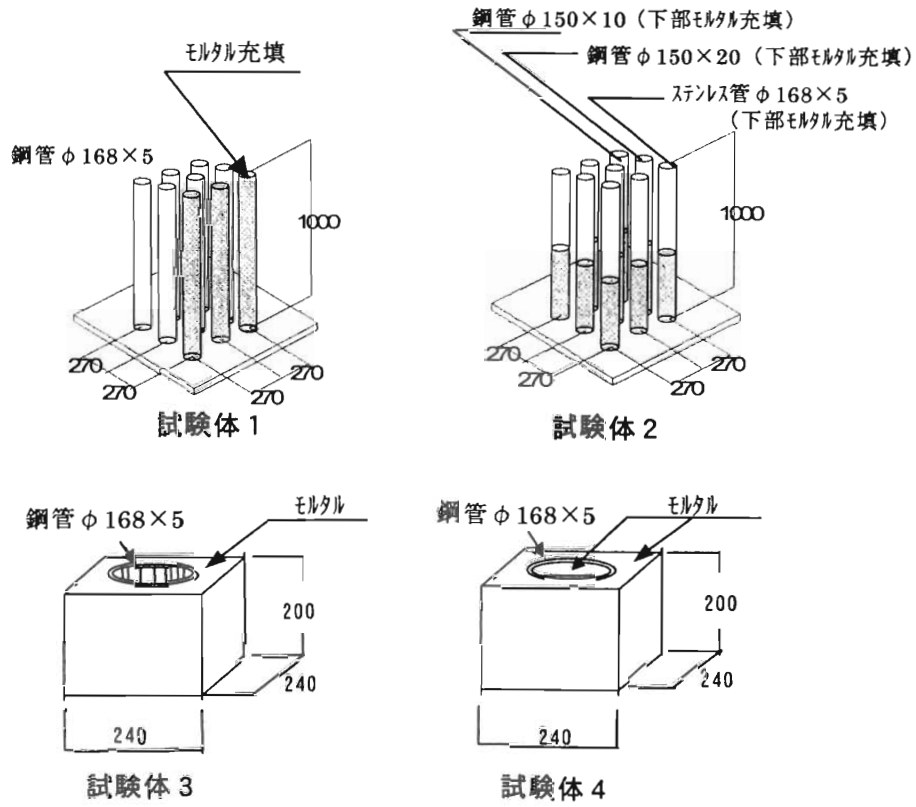
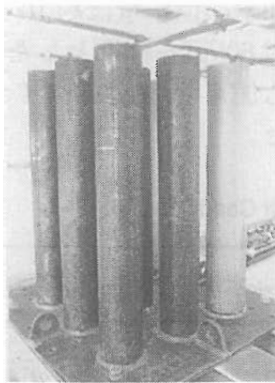
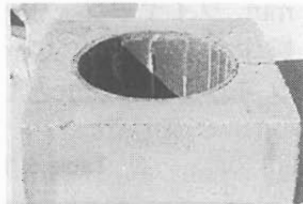


Fig.4 Specimens



試験体 2

Photo 4 View of Specimen



試験体 3

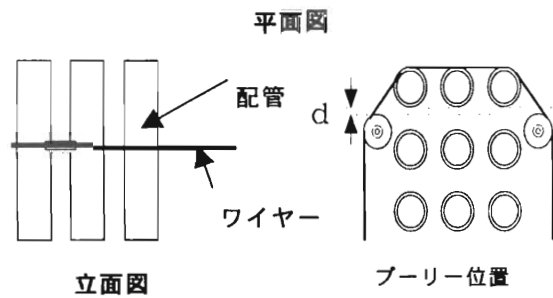
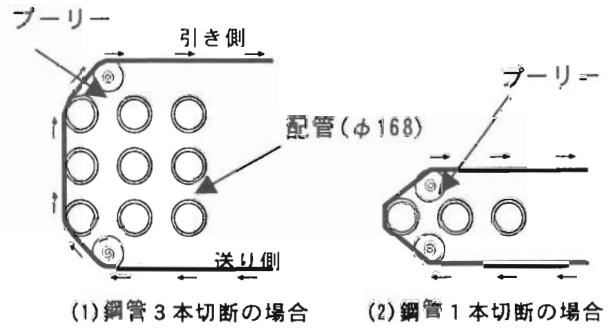


Fig.5 Cutting Method (Specimen #1 & #2)

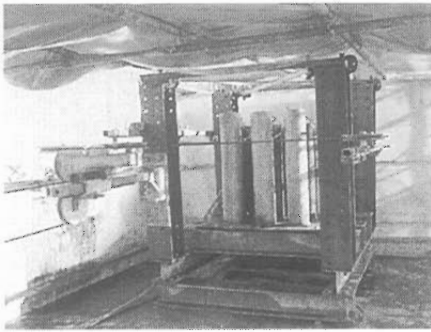
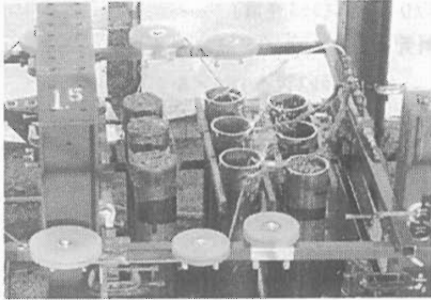


Photo 5 Cutting Test for Pipe Specimen

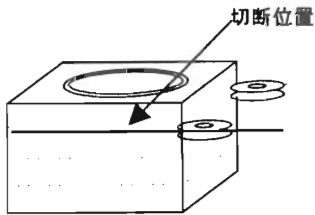


Fig.6 Cutting Method (Specimen #3 & #4)

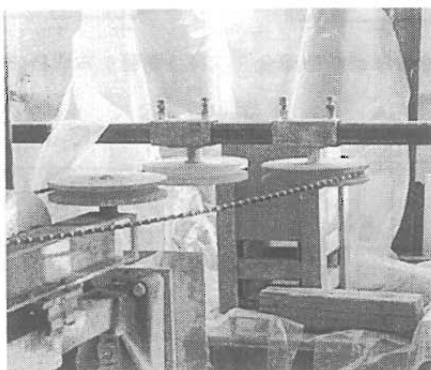


Photo 6 Cutting Test for Block Specimen

Table 4 Test Items

	項目
I	束状配管切断の特性評価 (切断能率など)
II	ワイヤーソーの磨耗量と寿命評価
III	プーリー距離と切断能率と安定性
IV	ワイヤーソー種の違い
V	モルタル充填被覆の効果

切断能率に影響を与える因子として、ワイヤーソーの円弧比に係わるプーリーの位置、張力あるいは施工効率向上をはかる鋼管のモルタル充填あるいはモルタル被覆の試験体に対する切断効率などを検討、評価した。

2.6 切断条件

(1) 試験要因

切断試験要因、水準を Table 5 に示す。

循環速度は、建築解体工事で一般的に適用される 25m/sec にした。冷却水の供給量は約 10 ㎥/min、ワイヤーソー張力は 60kgf を標準とした。試験体 2 では、張力 90kgf も加えた。なお、ワイヤーソーの長さは 20m とした。

Table 5 Test Conditions

要因	水準	備考
ワイヤーソー種類	・金属用 ・一般用	長さ 20m
プーリー距離 (d)	3cm, 10cm, 30cm, 60cm	
モルタル充填、被覆	モルタル非充填 モルタル充填 モルタル被覆 モルタル被覆 + 充填	
ワイヤーソー張力	60kgf 90kgf	
ワイヤーソー循環速度：25m/s 冷却水供給量：10 ㎥/min 切断方法：水平切断		

(2) 試験ケース

試験ケース一覧を Table 6 に示す。

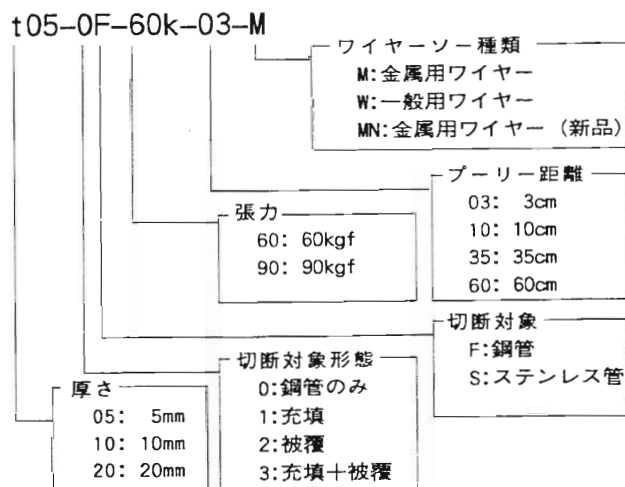
パラメータは、切断本数、使用ワイヤーソー、

鋼管種別 (厚さ、材種)、モルタル充填、モルタル被覆、プーリー位置、張力とした。使用ワイヤーソーは金属用、および一般用 (鉄筋コンクリート

Table 6 List of Cutting Test Case

試験体	試験記号	切断対象		切断形態		使用ワイヤー		張力 (kgf)	プーリー距離 (cm)	備考
		炭素鋼管	ステンレス管	充填	被覆	金属用	一般用			
1	t05-0F-60k-03-M	○				○		60	3	切断本数 1本
	t05-0F-60k-03-M	○				○		60	3	
	t05-1F-60k-03-M	○		○		○		60	3	
	t05-0F-60k-03-W	○					○	60	3	
	t05-1F-60k-03-W	○		○			○	60	3	
	t05-0F-60k-10-M	○				○		60	11	
	t05-0F-60k-35-M	○				○		60	35	
	t05-0F-60k-60-M	○				○		60	60	
	t05-0F-60k-10-W	○					○	60	11	
2	t10-0F-60k-06-M	○				○		60	6	
	t10-0F-90k-35-M	○				○		90	35	
	t10-0F-90k-10-M	○				○		90	10	
	t10-0F-60k-10-W	○					○	60	10	
	t10-1F-90k-10-M	○		○		○		90	10	
	t20-0F-60k-10-M	○				○		60	10	
	t20-0F-90k-10-M	○				○		90	10	
	t20-0F-90k-35-M		○			○		90	35	
	t05-0S-60k-10-MN		○			○		90	10	ワイヤー新品
	t10-0F-60k-10-MN	○				○		60	10	ワイヤー新品
	t05-0S-90k-10-M		○			○		90	10	
	t05-0S-60k-10-W		○				○	60	10	
3	t05-1S-90k-10-M		○	○		○		90	10	
	t05-1S-90k-10-W		○	○			○	90	10	
4	t05-2F-60k-10-W	○			○		○	60	10	
	t05-3F-60k-10-W	○		○	○		○	60	10	

試験体記号の説明



切断用)の2種類とした。

試験体1では、切断方法は1本のみと3本同時切断、プーリー距離は、鋼管端部より3cm~60cmに設定した。

試験体2では、試験ケース1の結果を踏まえたプーリー距離とし、全て列単位で3本同時切断とした。

試験体3、4では、モルタル固化ブロックのため、プーリー位置は切断部でのワイヤーソーの円弧が鋭角にならないように配置した。

なお、本試験開始時に、ワイヤーソーは未使用の新品を使用した。

2.7 計測項目

切断特性の計測項目は、切断時間、切断面積、切断形状とした。

ワイヤーソーの寿命評価として、ビーズ摩耗量、損傷を計測、観察した。摩耗量は各試験切断後に特定した数個のビーズを、ノギスにより計測し平均値をとり算出評価した。ビーズの損傷は、全ビーズについて、スペーサーの寄りやゴムの剥がれなど、ワイヤーソーに異常がないか確認した。

切断溝巾についても、代表的な切断に対し、スケールにより測定した。

また、環境評価のひとつとして騒音測定を行った。切断時の騒音を騒音計により、切断位置近傍5mと遠方30mの地点で測定した。

3. 試験結果

3.1 試験結果一覧

Table 7に試験結果一覧を示す。表中、切断試験を中断したケースについては、切断時間欄を無記入とした。

3.2 切断能率

(1) 各ケースの切断能率

(a) 薄肉鋼管の切断

比較的薄肉の外径168mm厚さ5mmの鋼管に対する切断試験結果を評価検討した。

Fig.7に、プーリー距離3cmにおける、試験体1の金属用ワイヤーと一般用ワイヤーによる各ケースの切断能率を示す。なお、基準試験体では

各ケースにおいて、同一条件で数回の切断を行ったが、切断能率のばらつきは少ない結果となっている。

切断本数が1本と3本では、3本の鋼管を同時に切断する時間は、1本の鋼管を切断する場合の約3倍となっており、一本あたりの切断能率に違いはなかった。金属用ワイヤーの切断能率は高く、一般用ワイヤーの約2倍となっており、金属構造物の切断に適応した高い切断能率を有している。

鋼管にモルタルを充填したケースでは、金属用ワイヤーの切断能率が、非充填材に比し、約35%低下した。しかしながら、切断能率は一般用ワイヤーに比較して高いものであった。一般用ワイヤーの場合は、モルタル充填した場合と非充填の場合との切断能率に大きな差はなかった。

これは、一般用ワイヤーは金属部を切断するのに時間を要するが、もともと鉄筋コンクリート用であるため、ドレッシング効果により、切断能率の改善が見込まれるためと考えられる。

いずれもモルタル部の切断を伴うことから安定した切断となるが、二次生成物として冷却水と切粉によりスラッジが発生する。

Photo 7に薄肉鋼管の切断状況を示す。

(b) 鋼管断面と切断特性

金属用ワイヤーによる鋼管の鋼材切断面積と切断能率の関係を示した結果をFig.8に示す。

対象試験体は、 $\phi 165 \times 5$ (試験体1)、 $\phi 150 \times 10$ 、 $\phi 150 \times 20$ で、張力60kgf、プーリー距離約10cmである。鋼管の肉厚が厚くなるとともに切断能率は低下する。肉厚5mmの鋼管に比べ、肉厚20mm鋼管は約1/3程度の切断能率となっている。

3本切断に要する時間は、肉厚10mmで約29分、20mmで約68分であった。単位時間あたりの能率は、4~6 cm²/minを有しており、能率面から実用性を損なうものではない。しかしながら、より効率化を図るには、適度の張力とプーリー距離の設定が必要である。

一方、一般用ワイヤーでは肉厚5mmの鋼管を切断できたものの厚肉鋼管の切断は難しい状態となった。肉厚10mm、20mmとも、一般用ワイヤーでは実用的な切断能率を確保できていないことか

Table 7 Result of Cutting Test

試験体	試験名	使用ワイヤー	材質	鋼材 切断面積 (cm ²)	切断時間 (min)	切断能率 (cm ² /min)	切断時間 (min/本)	備考
1	t05-0F-60k-03-M	金属	SS	156.0	22.6	6.9	3.8	1本切断
	t05-0F-60k-03-M	金属	"	468.0	66.2	7.1	3.7	
	t05-1F-60k-03-M	金属	"	468.0	99.4	4.7	5.5	
	t05-0F-60k-03-W	一般	"	234.0	66.7	3.5	7.4	
	t05-1F-60k-03-W	一般	"	234.0	76.4	3.1	8.5	
	t05-0F-60k-10-M	金属	"	234.0	18.7	12.5	2.1	
	t05-0F-60k-35-M	金属	"	468.0	30.9	15.1	1.7	
	t05-0F-60k-60-M	金属	"	78.0	4.3	18.2	1.4	
	t05-0F-60k-10-W	一般	"	78.0	20.1	3.9	6.7	
2	t10-0F-60k-06-M	金属	"	141.3	28.8	4.9	9.6	
	t10-0F-90k-35-M	金属	"	141.3	7.7	18.4	2.6	
	t10-0F-90k-10-M	金属	"	141.3	19.2	7.4	6.4	
	t10-0F-60k-10-W	一般	"	39.2	10.0	3.9		10分で中断
	t10-1F-90k-10-M	金属	"	282.6	28.5	9.9	9.5	
	t20-0F-60k-10-M	金属	"	282.6	67.8	4.2	22.6	
	t20-0F-90k-10-M	金属	"	282.6	39.8	7.1	13.3	
	t20-0F-90k-35-M	金属	"	65.5	10.0	6.6		10分で中断
	t05-0S-60k-10-MN	金属	SUS	70.7	25.7	2.7	8.6	
	t10-0F-60k-10-MN	金属	SS	141.3	32.7	4.3	10.9	
	t05-0S-90k-10-M	金属	SUS	70.7	21.4	3.3	7.1	
	t05-0S-60k-10-W	一般	"	18.0	46.0	0.4		46分で中断
	t05-1S-90k-10-M	金属	"	70.7	36.1	2.0	12.0	
t05-1S-90k-10-W	一般	"	8.6	10.0	0.9		10分で中断	
3	t05-2F-60k-10-W	一般	SS	78.0	17.8	4.4	5.9	
4	t05-3F-60k-10-W	一般	"	78.0	10.5	7.4	3.5	

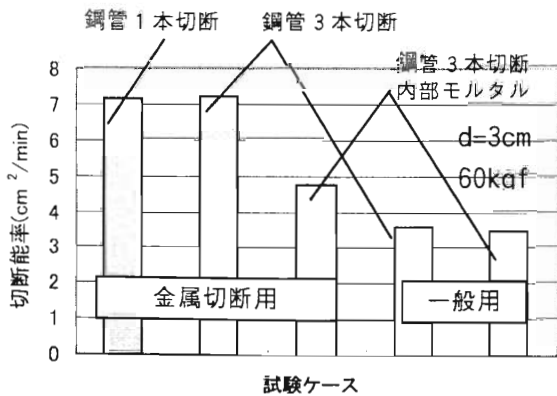


Fig.7 Cutting Efficiency of Specimen #1
(Steel pipe ϕ 168 X 5)

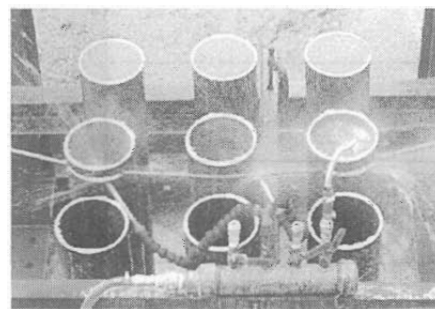


Photo 7 Cross Section of Steel Pipes after Cutting

ら中断した。

厚肉鋼管でモルタル充填の切断においては、試験体1のケースと同じく非充填鋼管に比べ、5mm厚の充填鋼管と同じように、切断能率で30%程度の低下傾向が示された。

(c) ステンレス鋼管への対応

金属用ワイヤーによるステンレス管切断の切断能率について、炭素鋼管(SS400)との比較をFig.9に示す。

一般用ワイヤーによるステンレス管切断では、切断効率が大幅に低下し、45分間切断したが、切り終わるまでに至らず終了した。この間、ワイヤービーズの摩耗は進展しないが、ビーズが平滑な状態になりこれ以上の切断は難しいと判断されたためである。このことからステンレス管切断に

は、実用上適応は難しいと考えられる。

一方金属ワイヤーでのステンレス管切断では、炭素鋼管切断に比べ20%程度に低下し、切断能率は2.75cm²/min (8.25min/本)であった。

本試験体の肉厚(t=5mm)程度であれば、金属用ワイヤーは実用的な切断性能を有している。より効率を上げるためには厚肉鋼管と同様に、プリー位置を離し、張力を増やすことが効果的と考えられる。この場合、切断の安定性とのバランスが重要である。

(d) モルタル被覆材への対応

モルタル被覆材タイプの切断能率をFig.10に、Photo 8にモルタル被覆試験体3の切断状況を示す。

モルタル被覆でブロック形状になった試験体3、4は、鉄筋コンクリート部材と同じ形状条件となることから、一般用ワイヤーを使用して切断した。

モルタル被覆のみで、中空となっている試験体3では、高い切断速度となっており、鋼管のみの

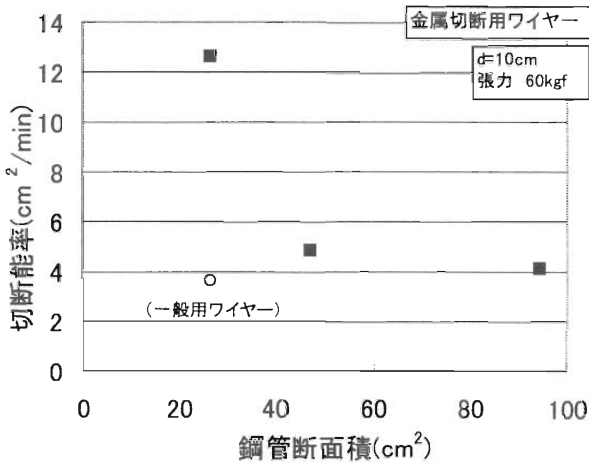


Fig.8 Relationship between Pipe Cutting Area and Cutting Efficiency

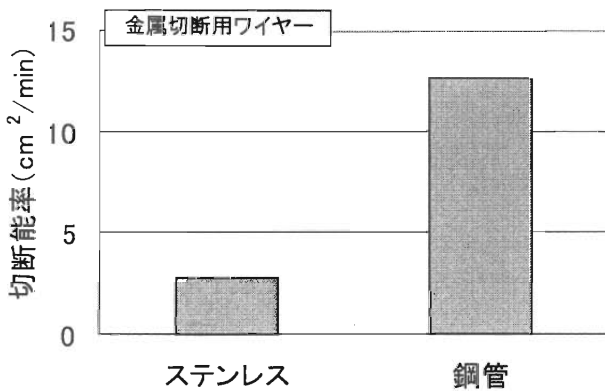


Fig.9 Cutting Efficiency of Stainless Steel and Carbon Steel Pipe

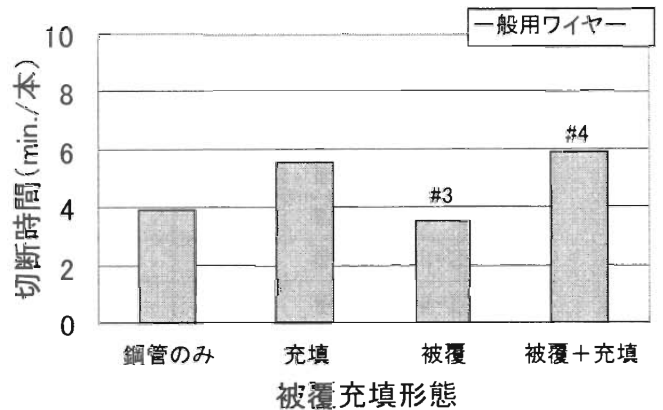


Fig.10 Relationship between Specimen Type and Cutting Efficiency



Photo 8 Mortar block (#3) Cutting

切断とほぼ同じ能率を示した。鋼管部切断時に切粉の火花が配管内に発生した。

被覆のみの試験体3の場合、被覆充填した試験体に比べ、コンクリート切断面積が少ない分、切断能率が高く、鋼管のみの切断に比べても切断能率はほとんど変わらない。むしろドレッシング効果のため切断の安定性と切断能率の保持が見られた。解体工事に適用する場合に施工性など条件があるが、一般用ワイヤーでの束状配管の切断を効率的に行うひとつの方策と考えられる。

被覆に加え、モルタル充填した試験体4の水平切断では、中空の場合に比べ切断時間は多少かかるが、切断安定性、切断能率とも十分な特性であった。

通常、金属とモルタルあるいはコンクリートを同時に切断することで、ワイヤーソーのドレッシング効果をもたらされ切断安定性が確保される。これらのことから切断時の発生粉じんの対策が必要となるが、一般用ワイヤーによる切断は、騒音、切断時の効率安定性などの面からも実用的利用度は高いと考えられる。

(2) プーリー距離と切断能率

Fig.11に基準試験体でのプーリー距離と切断時間の関係を示す。

プーリー距離と切断能率には明確な比例関係がある。プーリー距離が離れるほど、切断の円弧曲率が大きくなり、切断能率は高くなった。しかしながら、プーリー距離が大きくなるほど、ワイヤーソー走行時の外れなどの安全性に問題があり、本試験においては、プーリー距離60cmにおいて、ワイヤーソーの外れが生じた。切断能率と安全性の両者を考慮すると、本試験条件においては、安定した切断が可能な距離として、プーリー距離は10cmから40cmの間が適当であった。

(3) ワイヤーソー張力と切断能率

試験体2で、張力60kgfと90kgfを同一部材について比較検討した。張力60kgfに対し、張力を90kgfとしたものは肉厚10mmの炭素鋼管で1.8倍、ステンレス管で1.2倍の切断能率となっている。ワイヤーソー張力と切断能率については、既往の試験的研究^{1), 2)}でも大きな要因になるデータが示されていることから、安全面の許容範囲で、張力を増やすなどの調整が必要と考えられる。

(4) 累計切断面積と切断能率

累計切断面積と切断能率の関係を Fig.12 に示す。2000cm²を境に、累積切断面積が増えるに従い、切断能率が低下しているが、負荷の大きな部材切断によることも影響している。切断能率としては、5 cm²/min を有している。

本試験での金属用ワイヤーの長さは、20mであり、累計切断面積約3300cm²に対し、約165cm²/mとなる。この段階で5 cm²/min程度の切断能率を保持していることは性能的に十分と考えられる。

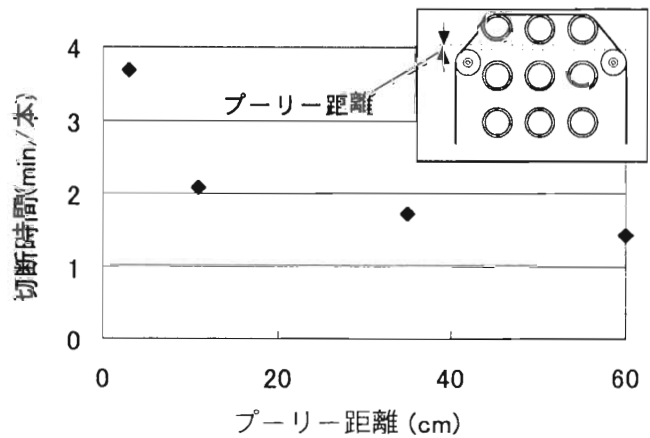


Fig.11 Relationship between pulley Position and Cutting Efficiency

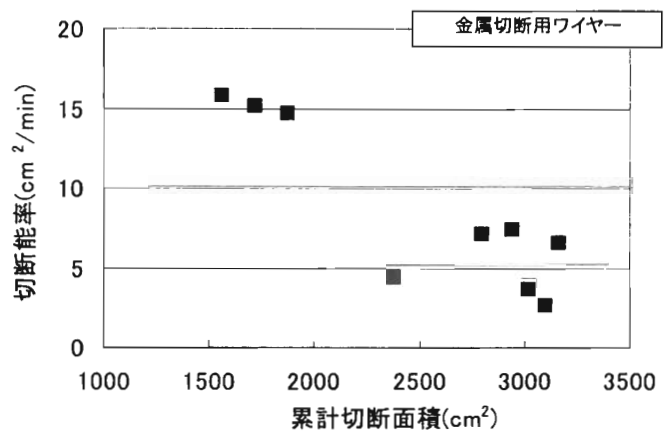


Fig.12 Relationship between Total Cutting Area and Cutting Efficiency

3.3 ワイヤーソーの摩耗

Fig.13は、全試験を通しての累積鋼材切断面積とビーズ磨耗量の履歴を示したものである。累積

切断面積はおよそ 3300cm² である。

鋼管 72 本 (約 2000cm²) までの切断では、金属用ワイヤーはほとんど摩耗しなかったが、鋼材量が 2000cm² を越えてから磨耗の進みが見られた。金属用ワイヤーのビーズの特徴として切断に寄与するダイヤモンドが表面に集中していることから磨耗の進行は比較的早いといえる。しかしながら、本試験範囲では、極端な損傷、ワイヤーの劣化は見られず、切断能率も確保していることから寿命には至っていない。

標準的な金属用ワイヤーの許容範囲は鋼材仕様で異なるが、およそ 100 ~ 400cm² / m といわれていることから本試験 (長さ 20m) の場合でも同程度の寿命となると考えられる。

一般用ワイヤーの磨耗は、累計切断面積が少ないことから、磨耗は少ないが、累積切断面積 500cm² 以降、負荷の大きな鋼材の切断を行ったため磨耗の進展が見られる。ただし、寿命把握には至っていない。

Photo 9 に最終の金属用ワイヤーの状態を示す。

ワイヤーソーの破損は、標準試験体でプーリー距離を 60cm と最大にしたときに一度生じたが、それ以外は引っかかる現象も生じていない。切断時に急激な切断負荷変化がない状態では安定した切断が維持される。

3.4 切断形状

各試験体のおもな切断面形状を Photo 10 に示す。

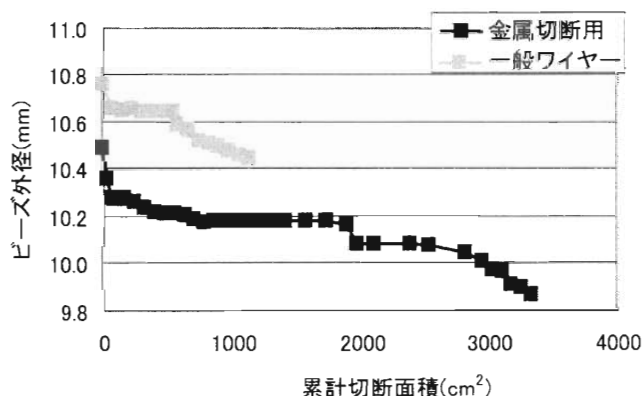


Fig.13 Relationship between Total Cutting Area and Outer Diameter of Bead

金属切断では、いわゆるバリが鋼管の内外に多少見受けられるが切断面は平滑である。モルタル充填の試験体では、切断面はきわめて平滑な形状を示している。

モルタル被覆では、切断面にワイヤーソーの走行形跡で、凹凸のある切断面となり、モルタル充填試験体ほど平滑でない。

鋼管切断時及びモルタル切断時の切溝巾は、11.5mm から 12.0mm 程度であった。ワイヤーソービーズ径に比べ 0.5 ~ 1.5mm 程度の幅広の溝と

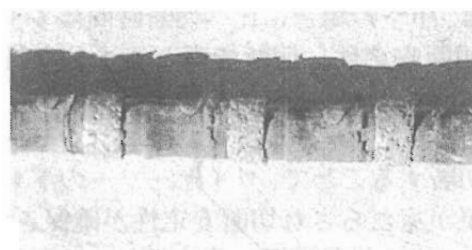


Photo 9 State of Metal Cutting Wire after Tests

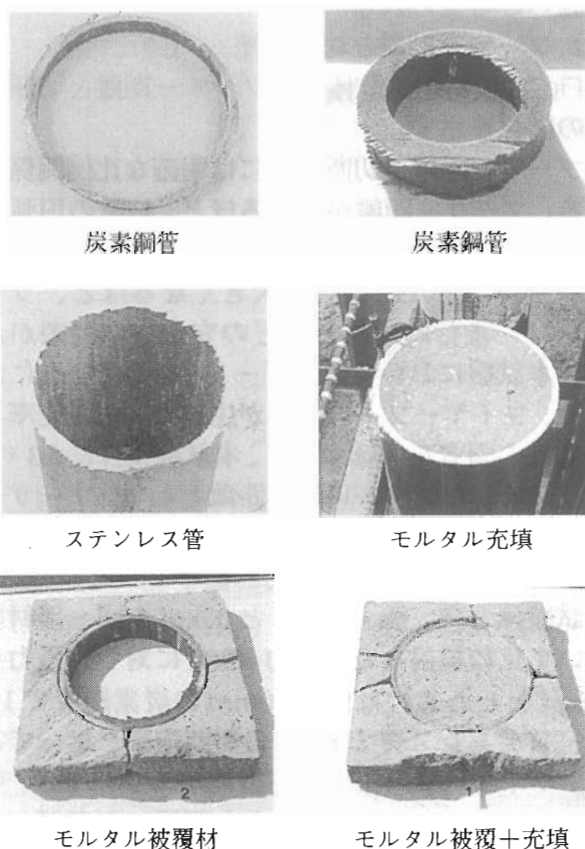


Photo 10 Cutting Surface

なって切断される。Photo 11に切断溝の状況を示す。

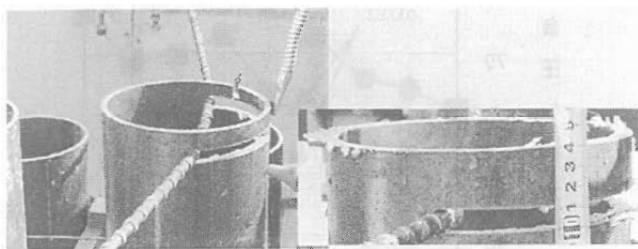


Photo 11 Appearance of Cutting Part

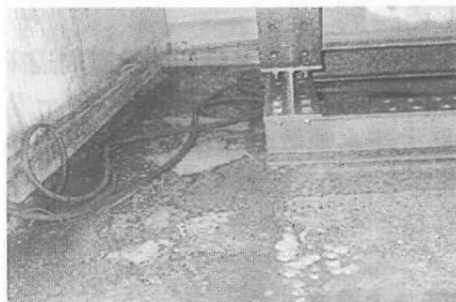


Photo 12: Status of Metal Cutting Chips on the Floor
(Steel Pipe Cutting)

3.5 2次生成物

(1) 切粉

ワイヤーソーの鋼管の切断では、ワイヤーソーの循環走行により、冷却水および金属屑、コンクリート粉などの切粉が飛散する。

切粉はワイヤーソーの引き側に広く飛散し、周辺壁に一部付着する。しかしながらほとんどの切粉は切断箇所直下の床に落下する。

鋼管切断時には火花が発生するが、冷却水により抑えられ、それほど多くはない。火花は冷却され切粉の屑として比較的せまい範囲に飛散する。

飛散状況を Photo 12、Photo 13 に示す。

鋼管内にモルタルを充填した試験体の切断では、モルタルは鋼管内にあるため、モルタルの切粉の飛散は比較的少ない。ほとんどの切粉はモルタル切断部の直下の狭い範囲にとどまる。

モルタル充填被覆した試験体の切断では、モルタルの切粉がマイクロオーダーと非常に細かい粒子のため一時的に空気中に浮遊、飛散する。セメントモルタルと冷却水が混合したスライム状のものが、ワイヤーソーの走路に沿って、飛散する。床の粉じん飛散状況を Photo 14 に示す。

切粉は、天井と引き側の周囲壁を中心に飛散する。天井の飛散は鉛直方向の方向転換プーリーによるものであり、局所的なガードをすることでおさえられる。一方、ワイヤーソーの引き側に対する切粉の飛散防止に対しては、できるだけ飛散防止壁を切断位置に近く設置するなどの対策が必要である。

(2) 浮遊粉じん

鋼管切断時には金属切粉が落下し、冷却水がミ



Photo 13 Metal Cutting Dust on Side Wall



Photo 14 Slime of Mortar on the Floor

スト状になって飛散する。

モルタル充填とモルタル被覆の鋼管切断では、モルタルの切粉と冷却水が飛散し、モルタル粉じんとミスト状の冷却水が一時的に浮遊する。

冷却水および粉じんの飛散範囲はワイヤーソーの引き側走路にプーリーの回転方向に沿って飛散する。

(3) 冷却水の回収

一般に、ワイヤーソー切断では、温度上昇を抑え、劣化損傷を防止するために、切断に冷却水が必要である。今回の試験では各鋼管ごとに、毎分10 $\frac{1}{2}$ 程度の冷却水を何カ所かに分けて、切断部材

に注水した。

供給冷却水のほとんどは切断位置周辺床に落水するが、ワイヤーソーの走行経路、プーリーの配置により冷却水飛散範囲は変わってくる。ただし、飛散水を含め、これら冷却水は、密閉空間であれば容易と考えられる。

3.6 切断時の騒音

Fig.14に鋼管切断時の騒音測定結果を、コンクリート切断時の騒音測定結果とあわせて示した。鋼管切断時の騒音は1 kHz～2 kHzの高周波数成分が多く、金属切断時の音圧レベルは、5 m離れた地点で最大約90dBであった。コンクリート切断時に比較して5m離れた地点で10～20dB、30m離れた地点で15～25dB大きかった。

鋼管切断での騒音は、騒音規制法による勧告値(85dB)に対し、金属切断で5 m地点はこれを越えている。

本試験での計測は、壁側片だけ防音シートで養生し、天井部はオープンで行ったため、音が上部から逃げ周辺にあった構造物の影響により距離減衰は比較的少ない結果となった。シートで全体を覆うことで高周波数域の音を押しさえられるということから、密閉空間にすることで外部環境への影響は押しさえられたと考えられる。

3.7 工法検討事例

金属用ワイヤーは、一般用ワイヤーに比べ高価であること、実績がほとんどないことから、束状鋼管の一括切断を一般用ワイヤーで効率的に行う方法を検討した。

今回の単一試験体の試験結果から、一般用ワイヤーで鋼管を切断するには鋼管を被覆することが効果的である。配管内にモルタルあるいはコンクリートを充填する必要はないが、充填しても、切断にそれほどの負荷増とはならない。施工面、環境保全面を考慮する必要があるが、充填する方が確実の場合には充填・被覆することも一つの方法である。

Fig.15に、工法案の一例を概念図として示す。

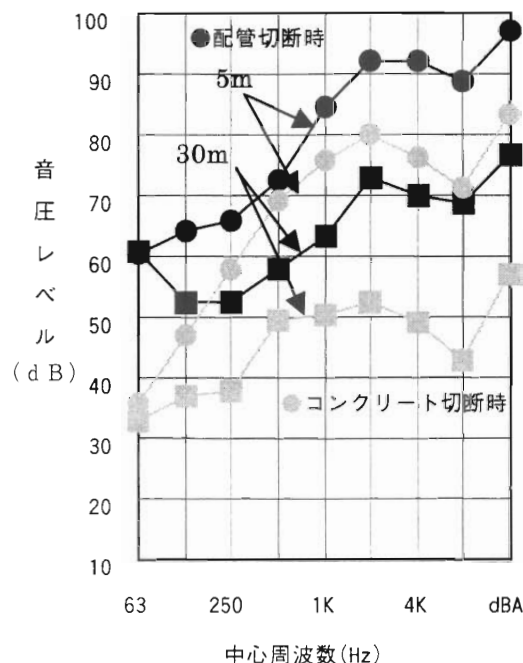


Fig.14 Cutting Noise Measurements

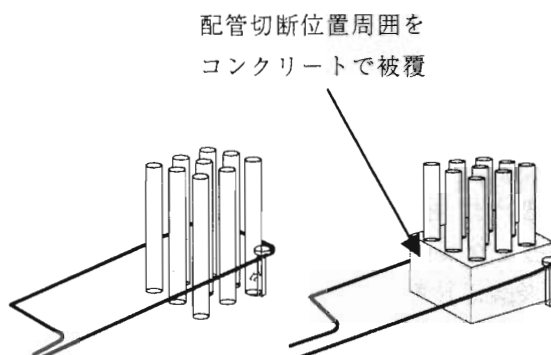


Fig.15 Design Concept of Cutting Method for Bundle Pipes

4. まとめ

本基礎的切断試験から束状鋼管を切断解体する工法として、金属用ワイヤーを使用したワイヤーソー工法は十分適応可能である。金属用ワイヤーはある程度の厚肉鋼管およびステンレス管の切断も可能である。一般用ワイヤーでもモルタル等で鋼管を被覆することで解体工法としての適応が可能である。

以下、本試験で得られた主な事項を示す。

【切断能率】

- ・金属用ワイヤーの切断能率は高く、厚さ5 mm

の配管では一般用ワイヤーのおよそ2倍の切断能率であった。より厚肉となるとその差は大きくなる。

・金属用ワイヤーでモルタル充填鋼管を切断した場合、充填しないケースと比較して切断能率は、およそ30%低下した。

・切断対象物がステンレス鋼(SUS)では、金属用ワイヤーを使用した場合、切断能率は低下するものの十分切断可能であった。一般用ワイヤーでのSUS切断は、著しく切断能率が低下し困難であった。

・一般用ワイヤーで鋼管を切断する方法として、モルタルあるいはコンクリートを被覆しての切断が有効である。ただし、冷却水と切粉がスライム状になって飛散する。

・プーリー距離と張力は切断能率と明確な比例関係があり、プーリー距離あるいは張力が大きいほど切断能率は高くなる。特に、ステンレスや厚肉炭素鋼管など切断負荷が大きいと予想される場合には、考慮する必要がある。能率面、安全面から本試験範囲では、プーリー距離10~30cm程度が適当であった。

【ワイヤーソーの摩耗】

・金属用ワイヤーは、累積切断面積約3303cm²で約0.5mm磨耗したが、寿命評価に至らなかった。しかしながら、2500cm²の切断を境に摩耗量の増加が見られた。

【2次生成物】

・切断時の切粉、粉じん、冷却水は2次生成物として、ワイヤーソーの走路、プーリー設置位置から飛散するが、多くは切断位置周辺に落下する。

【切断時の騒音】

・鋼管切断時の騒音は高周波数成分が多く、音圧レベルは、5m離れた地点で最大約90dBであった。

・コンクリート切断に比べ、金属を切断した場合の方が、5m地点で約10~20dB、30m離れた地

点で約15~25dB大きかった。

5. 今後の課題

今後の課題として、以下の事項が挙げられる。

・本試験において多種多様の鋼管を約90本、切断面積で約3300cm²切断したが、ワイヤーソーの寿命把握まで至っていない。ワイヤーソーの寿命は切断時のコストを算出する上で重要であり、金属用ワイヤーソーの最終状態を把握する必要がある。

・多数の束状鋼管を遠隔で切断するための、プーリーの移動機構、給水機構を含めた切断システムを構築することが必要である。

・ワイヤーソー切断に伴う、冷却水の回収と飛散切粉の合理的な回収方法が望まれる。モルタルあるいはコンクリート固化(充填、被覆)をする場合にはスライム状の粉じんの飛散防止と回収に課題が残る。

参考文献

- 1)宮尾他：“ワイヤーソーによるコンクリート構造物切断技術開発”デコミッションング技報No.10(1994.6).
- 2)宮尾他：“ワイヤーソーによるコンクリート構造物切断技術開発(その2)”、デコミッションング技報No.20(1999.8).
- 3)宮尾他：“ワイヤーソーによる切断技術の開発(1)~(10)”日本原子力学会大会、1993~1999.
- 4)稲井他：“ワイヤーソーによる乾式大断面引張切断技術の開発(1)、(2)”、原子力学会大会2000、2001.
- 5)神山他：“ワイヤーソーによる鋼管切断技術の開発—切断基礎試験—”2003、建築学会大会梗概集.

RANDEC's Capability

Radioactive Waste Management and Nuclear Facility Decommissioning Technology Center (RANDEC) has contributed to the establishment of decommissioning technology, and promoted the investigation on radwaste treatment and disposal business including selection of disposal places for radwaste from RI facilities, institutes etc.

The capability and service of RANDEC are ;

to implement decommissioning research, development and investigation.



to provide technical information on decommissioning.



to train for decommissioning.



to investigate radwaste treatment and disposal business including site selection of disposal place for radwaste from RI facilities, institutes etc.



to inform and enlighten the public about decommissioning and radwaste treatment and disposal business.

© デコミッションング技報 第29号

発行日 : 平成16年 3月31日

編集・発行者 : 財団法人 原子力研究バックエンド
推進センター

〒319-1111 茨城県那珂郡東海村舟石川821-100
Tel. 029-283-3010, 3011
Fax. 029-287-0022

ホームページ : <http://www.randec.or.jp>
E-mail : decomi@randec.or.jp