

JAERI-Research

JP0050835

2000-039



RI・研究所等廃棄物に係わる統合化処分 システムについて

2000年9月

萩原 茂・坂本 義昭・武部 慎一・奥田 勝三*・小川 弘道

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
人手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布を行っております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

R I ・ 研究所等廃棄物に係わる統合化処分システムについて

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部

萩原 茂・坂本 義昭・武部 慎一^{*}・奥田 勝三^{*}・小川 弘道

(2000年7月28日受理)

R I ・ 研究所等廃棄物の処分は、その放射能濃度に応じて、素掘り処分、コンクリートピット処分、及び地下深部埋設処分に区分することが考えられている。これまで、これらの処分は個別のサイトで、それぞれの安全評価などが進められている。しかし、わが国では処分場立地の困難さがあり、限られた処分サイトを有効に活用する方法として、同一サイト内でこれらの処分システムを立体的に配置する統合化処分システムについて検討を行った。

ここでは、この統合化処分システムについて、新第三紀以降に形成された堆積岩中への処分場建設を想定し、岩盤力学的な観点から処分場の概念設計、及びその結果に基づく建設費の算定を行った。これらの結果から、新第三紀以降に形成された堆積岩において、地上に素掘り処分場、地下50m付近に地下空洞式浅地中埋設処分場、及び地下100mまたは200mに地下深部埋設処分場を、立体的に設置することは十分に可能であることが分かった。

また、処分場建設の観点からは、国内における処分場用地取得の困難さを考慮すると、必要な用地面積が個別処分場の設置に比べ半分で良いことからも、統合化処分システムは有効であることが分かった。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

^{*}バックエンド技術部

*中央開発株式会社

Integrated Disposal System Concerning to Waste of RI and Research Institute

Shigeru HAGIWARA, Yoshiaki SAKAMOTO, Shinichi TAKEBE[†], Katsuzo OKUDA^{*}
and Hiromichi OGAWA

Department of Fuel Cycle Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 28, 2000)

Radioactive wastes arising from radioisotope utilization facilities and nuclear research facilities should be disposed of according to radioactivity concentrations, sorting out the trench type disposal system, the concrete-vault type disposal system and the sub-surface disposal system. A traditional way about these disposal system has been supposed to dispose in the individual sites. The site selection of several disposal sites would be difficult in Japan. Consequently, feasible study of integrated disposal system has been performed to utilize the site effectively. In this system, the each disposal system will be arranged vertically.

In this work, assuming the construction of this integrated disposal system into the Neogene-Tertiary sedimentary rocks, concept of design from the viewpoint of the rock mechanics, and construction cost have been investigated.

From the results, it has been fully possible to construct the integrated disposal system into the Neogene-Tertiary sedimentary rocks. The trench type disposal is built at the surface of the earth, the concrete-vault type disposal system is built in the depth of 50 meters from ground level and the sub-surface disposal is built in the 100 or 200 meters.

The site area of the integrated disposal system is about half of the traditional system, allowing for the difficulty to obtain the disposal site. Therefore, it seems effective to construct this integrated disposal system.

Keywords ; Radioactive Waste, Integrated Disposal System, Site Area, Construction Cost

[†] Department of Decommissioning and Waste Management

^{*} Chuo Kaihatsu Co., Ltd.

目 次

1 概 要	1
2 検討上の前提条件	2
2.1 R I・研究所等廃棄物の処分形態と廃棄物区分及び 処分量の設定	2
2.2 処分場が備えるべき機能及び深度等	3
2.2.1 浅地中埋設処分場	3
2.2.2 地下深部埋設処分場	3
2.2.3 地下空洞による処分場の備えるべき機能	4
2.3 処分場建設予定地の自然条件	4
2.3.1 処分場建設予定地の一般的地形・地質	4
2.3.2 処分場建設予定地の水文地質環境	5
2.3.3 処分場建設予定地の地質	5
2.4 コスト評価等	9
2.4.1 処分場の建設条件	9
2.4.2 概算建設費	9
3 処分場の概念	10
3.1 処分場施設全体の基本的施設の構成と機能	10
3.1.1 処分場施設の構成と機能	10
3.1.2 廃棄体の運搬方式及び収納方式	14
3.2 素掘り埋設処分場	15
3.2.1 処分場施設の構造型式	15
3.2.2 処分場の基数及び所要敷地面積	22
3.2.3 概算建設費	24
3.3 コンクリートピット式埋設処分場	25
3.3.1 処分場施設の構造型式	25
3.3.2 処分場の基数及び所要敷地面積	26
3.3.3 概算建設費	29
3.4 地下空洞式埋設処分場	30
3.4.1 効率的に優れた構造型式	30
3.4.2 地下空洞の形状、寸法と設置深さ	38
3.4.3 地下空洞の形状、寸法と岩種別の離隔距離	43
3.4.4 地下空洞の基数及び所要敷地面積	55
3.4.5 アクセス施設設備の考え方	58
3.4.6 概算建設費	59
3.5 地下深部埋設処分場	60
3.5.1 効率的に優れた構造型式、寸法及び設置深さ	60
3.5.2 地下空洞の形状、寸法と岩種別の離隔距離	65
3.5.3 地下空洞の基数及び所要敷地面積	65

3.5.4 概算建設費	67
3.6 統合化処分システム	69
3.6.1 全体レイアウト	69
3.6.2 概算建設費	74
4 検討結果及び考察	76
4.1 統合化処分と個別処分（従来型）の比較	76
4.2 検討結果のまとめ	82
4.3 今後の課題及び提言	85
謝 辞	85
参考文献	86
添付資料	87

Contents

1 Outline	1
2 Reconditions of the Investigation	2
2.1 Classification and Volume of the Radioactive Wastes	2
2.2 Providing Functions, the Depth and so on of the Disposal Site	3
2.2.1 Shallow-Ground Disposal Site	3
2.2.2 Geological Disposal Site	3
2.2.3 Providing Functions of the Cave Type Site	4
2.3 Natural Conditions at the Disposal Site	4
2.3.1 Geography and Geology at the Disposal Site	4
2.3.2 Hydrogeological Circumstances at the Disposal Site	5
2.3.3 Geological Conditions around the Disposal Site	5
2.4 Evaluation of Construction Cost	9
2.4.1 Conditions of Construction for the Disposal Site	9
2.4.2 Rough Estimation of Construction	9
3 Concept of the Disposal Site	10
3.1 Conditions and Functions of the Fundamental Facilities all over the Disposal Site	10
3.1.1 Components and Functions	10
3.1.2 Method of Transport and Reception of the Waste Package	14
3.2 Trench type disposal	15
3.2.1 Structural Form of the Disposal Site	15
3.2.2 Scale and Area of the Disposal Site	22
3.2.3 Rough Estimation of Construction	24
3.3 Concrete Pit Type Disposal	25
3.3.1 Structural Form of the Disposal Site	25
3.3.2 Scale and Area of the Disposal Site	26
3.3.3 Rough Estimate of Construction	29
3.4 Cave Type Disposal Site in the Underground	30
3.4.1 Better Structural Form	30
3.4.2 Form, Size and Depth of Foundation of the Cave	38
3.4.3 Shape and Size, the Distance between the Caves	43
3.4.4 Scale and Area of the Required Site	55
3.4.5 Facilities for Access	58
3.4.6 Rough Estimation of Construction Cost	59
3.5 Sub-Surface Disposal Site	60
3.5.1 Better Structural Form, Size and Depth of Foundation	60

3.5.2 Shape and Size, the Distance between the Caves.....	65
3.5.3 Scale and Area of the Required Site.....	65
3.5.4 Rough Estimation of Construction.....	67
3.6 Integrated Disposal System.....	69
3.6.1 Totally Layout	69
3.6.2 Rough Estimation of Construction.....	74
4 Summary and Discussion	76
4.1 Comparison between the Integrated Disposal System and the Individual Disposal System.....	76
4.2 Summary.....	82
4.3 Future Works.....	85
Acknowledgment	85
References	86
Appendix	87

1 概 要

核燃料サイクル以外の原子力研究開発機関等から発生する放射性廃棄物は、原子炉施設、核燃料使用施設及びR I 使用施設からの放射性廃棄物が混在したものである。これらは、「多くの場合、その放射能レベルは低いが、幅広い放射能レベルを有する」、「雑多な物質・形態からなる」、「汚染形態は種々である」といった特徴を有している。このような特徴を有するR I ・研究所等廃棄物の処理処分方策については、原子力委員会の基本方針¹⁾が策定され、現在のところ、関連法規の整備が進められている。

R I ・研究所等廃棄物の区分とその処分形態に関する原子力委員会の基本方針は、次のとおりである。

表-1.1 廃棄物の区分と処分形態

廃棄物の区分		想定される処分形態
α 核種の放射能濃度が約 1 GBq/t を超える放射性廃棄物 ^{注1)}		今後検討される処分方策に準じる ^{注3)}
現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物		今後検討される処分方策に準じる ^{注4)}
現行の政令濃度上限値以下の低レベル放射性廃棄物		コンクリートピット処分
極低レベル放射性廃棄物	安定なコンクリート等	素掘り処分
	その他	「管理型処分」 ^{注2)} と同様な処分
クリアランスレベル以下のもの		再利用又は産業廃棄物と同様な処分

注1) TRU核種を含む放射性廃棄物のうち区分目安値(α 核種の放射能濃度:約1GBq/t)を超える廃棄物に相当する放射性廃棄物である。

注2) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律で示されている「管理型処分」。

注3) 平成12年3月に処分方策が策定された(原子力委員会 バックエンド対策専門部会²⁾)

注4) 平成10年10月に処分方策が策定された(原子力委員会 バックエンド対策専門部会³⁾)

このような背景に基づき、日本原子力研究所では、R I ・研究所等廃棄物の処分について、廃棄物の区分に応じた処分システムの概念を構築するため、調査・研究を進めている。

しかし、これらの考え方は、異なるレベルの廃棄物処分を、素掘り埋設処分、コンクリートピット式埋設処分、及び地下深部埋設処分に分類し、それぞれ個別に処分場を立地することを想定したものが多いた。

一方で、我が国では国土が狭いこと等を考慮した場合、複数の処分場の用地を取得することの困難性や、同一処分サイトでも大規模な処分場が望めない可能性が想定される。このため、処分サイトを有効に利用する観点から、これら複数の処分施設を同一サイト内で

立体的に配置するという統合化処分システムの検討を行った。

本報告は、このような統合化処分場の基本概念を構築する目的で、処分場施設の概略的な検討を行ったものである。検討に用いた地質条件は、地質調査の一部として平成11年度にまとめた、東北日本太平洋側に広域的に分布する新第三紀層中の砂岩・泥岩・凝灰岩の3岩種とした⁴⁾。

これら3岩種を対象に、表-1.1に示した処分場を個別に設置する場合に対して、地盤工学的な観点から処分施設の概念検討を行った。また、これらの処分施設を同一平面上に立体的に配置する統合化処分システムに対して、必要となる深度や処分施設の概念等について、地盤工学的な観点から検討を行った。

これらの検討結果に基づき、各処分形態の概算建設費を算定し、処分システム毎の概算建設費の比較検討を行った。

2 検討上の前提条件

2.1 RI・研究所等廃棄物の処分形態と廃棄物区分及び処分量の設定

RI・研究所等廃棄物は、含まれる放射能濃度により、浅地中埋設処分（素掘り処分、コンクリートピット処分あるいは地下空洞処分）・地下深部埋設処分（地下空洞処分）として、それぞれ異なる処分施設に処分される。

それぞれの廃棄物の区分とそれに対応する検討用処分量は、原子力委員会の考え方¹⁾に基づき、表-2.1のように設定した。

表-2.1 廃棄物の処分形態と区分及び処分量

処分形態	浅地中処分		地下深部処分	
	素掘り	コンクリートピット あるいは地下空洞	地下空洞	
処分廃棄物 の区分	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	高βγ ^{注1)} 廃棄物相当	TRU ^{注2)} 廃棄物相当
R I 廃棄物	82,000本	10,000本	2,000本	1,500本
研究所等廃棄物	257,000本	134,000本	3,000本	30,000本
合 計	339,000本	144,000本	5,000本	31,500本
			36,500本	
処分場規模 検討用処分量	ドラム缶 110,000本 +コンクリート塊 230,000 本；計 340,000本 (68,000m ³)	ドラム缶 150,000本 (30,000m ³)	ドラム缶 40,000本 (8,000m ³)	

注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

注2) α核種の放射能濃度が約1 GBq/tを超える放射性廃棄物

処分場の所要容積を検討するには、廃棄体の形状等を設定する必要がある。本報告では、コンクリートピット処分及び地下空洞処分については、ドラム缶 200 ドル詰めを想定した。一方、素掘り処分については、コンクリート廃棄物が多くなると予想されるため、ドラム缶 200 ドル詰めとコンクリート塊とに区分した。

2.2 処分場が備えるべき機能及び深度等

本報告で検討する処分場は、処分する廃棄物の区分ごとに（表-2.1）、地表及び地下空間を利用して建設されるものである。

処分場に必要な施設として、地下には、廃棄物を収納する空間と収納するためのアクセス立坑・連絡坑道、地上には、管理棟・受入れ施設及び運搬道路があげられる。

廃棄物を収納する空間が備えるべき機能及び深さの設定について、以下に示す。

2.2.1 浅地中埋設処分場

(1) 素掘り埋設処分場

これは、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」の放射能濃度上限値（以下、「原子炉等規制法における埋設処分に係る放射能濃度上限値」）以下の極低レベル廃棄物を対象とする処分場であり、地表付近の通気層内（地下水位面以浅）に設置する。開削工法で施工するため、収納時には雨水の浸入を防止する必要がある。この処分場の大きさについては、日本原子力研究所東海研究所の北地区にある廃棄物埋設実施試験施設の事例を参考とした⁵⁾（以下、「東海研北地区の事例」とする）。

(2) コンクリートピットあるいは地下空洞式埋設処分場

この施設は、「原子炉等規制法における埋設処分に係る放射能濃度上限値」（第 13 条の 9 表一・二）以下の低レベル放射性廃棄物を対象とする処分場である。本報告の目的は、各処分場を三次元的に配置することであるので、原則として開削方式ではなく、地下空洞として構築する。ただし、比較案として、日本原燃株式会社「低レベル放射性廃棄物埋設センター」のコンクリートピット式についても考慮した（以下、「埋設センターの事例」⁶⁾とする）。

設置する深度については、分布する地層の物性値、空洞の形状、及び空洞の構築によって生じる地表付近の変状等を考慮した。また、隣接する空洞間の離隔距離についても検討した（詳細な検討の結果は、3.4 項に示す）。

2.2.2 地下深部埋設処分場

この処分場は、高 β γ 廃棄物相当（現行の政令濃度上限値を超える低レベル放射性廃棄物）・T R U 廃棄物相当（ α 核種の放射能濃度が約 1GBq/t を超える放射性廃棄物）を対象とするものである。

この処分場は地下空洞式として構築する。設置する深度は、扱う廃棄物・土被り厚さ・上位の埋設処分場の深さ等を考慮し、地下100m以深とした。隣接する空洞間の離隔距離については、浅地中埋設処分場（地下空洞式）の検討結果に準拠した（詳細な検討の結果は、3.5項に示す）。

なお、「原子炉等規制法における埋設処分に係る放射能濃度上限値」（第13条の9表一・二）以下の低レベル放射性廃棄物も、この地下深部埋設処分とする考え方もある。この場合、処分量は併せて200メドラム缶19万本である。地下空洞の建設費を試算すると、浅地中埋設処分と地下深部埋設処分との組み合わせと比べ、少なくとも35%増となる。したがって、経済性を考慮すると明らかに有利とは言えないので、ここでは検討外とした。

2.2.3 地下空洞による処分場の備えるべき機能

地下空洞式処分場は、空洞の安定化に必要な覆工を行う。この他、放射性廃棄物からの放射性物質の漏出を防止するため、人工バリアを構築する。

この人工バリアは、ベントナイト混合土とする。厚さは、「埋設センターの事例」では、2.0mの混合土を施工していることから、浅地中埋設処分場では同様に2.0mとした。地下深部埋設処分場では、施工性及び周辺地盤の透水性が低いと想定される等の観点から、1.0mの覆土を施すこととした。

また、地下空洞の廃棄物収納が完了した場合、その処分場までのアクセス坑道等は、全て前述の人工バリアに準じた材料で閉塞するものとした。

ただし、処分場の管理に必要な施設は、所定の期間^{注1)}耐えうる施設として維持、確保する。

2.3 処分場建設予定地の自然条件

2.3.1 処分場建設予定地の一般的地形・地質

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、長期安定性や地質環境特性から、広域的に分布する基盤岩類（花崗岩類、変成岩類などの結晶質岩と非晶質岩の堆積岩）を対象に多くの研究成果が得られている⁷⁾。

一方、低レベル放射性廃棄物では、幅広い放射能濃度を持つことから、表層から地下数百m程度の深度までの地質条件を考慮する必要がある。

新第三紀に形成された堆積岩類は日本各地に分布しており、その大半は、東北日本の広い範囲に分布している。このうち、太平洋側の地域はグリーンタフ変動の影響が弱く、そのため顕著な断層や褶曲が少ない比較的単純な地質構造を示す。また、地形は一般に低平な丘陵状を呈し、地下水の動水勾配が小さい等の特徴を有している。

このような広域的地形・地質環境から、処分場建設予定地の地層は、数百mまで同種の

^{注1)} 具体的な管理期間は、処分される放射性廃棄物の種類や濃度を考慮して、処分場毎に適切に決めるべきものである。目安として、300～400年が考えられている。

岩種が分布するものと想定し、浅地中埋設及び地下深部埋設処分施設とも平坦な地形をモデルとして選定した。

また、処分場に必要な敷地面積は、処分量（表-2.1）から判断して素掘り埋設処分場が最大となる。その大きさは 10^5 m^2 程度となることから、敷地全体は長方形で、地形は平坦と想定し検討した。

2.3.2 処分場建設予定地の水文地質環境

放射性廃棄物の埋設処分において、基本的には地層の分布と後述する地層の特性、及び地下水の物理的・化学的特性とそれらの長期的変化を幅広く理解し、把握する必要がある。

特に、地下水の分布と賦存状態の把握は、地層（岩体）自体の水理特性とともに、局所的から広域的な地表水・地下水を含めた水文サイクルを理解する上で重要である。

また、地下水は、処分施設の構造形式によっては、極めて大きな外力として作用することになる。従って、本報告では、工学的な検討に必要な条件等を、次のように整理した。

(1) 浅層地下水位について

前述したように、処分場建設予定地の地形は平坦で、基盤岩の上位には層厚 10m 程度の海岸砂（砂丘砂層）が分布することを想定した。浅層地下水位はこの海岸砂の中に存在し、地表面下 7.0m と仮定した。

(2) 岩種別の透水係数について

放射性廃棄物の埋設処分の安全性評価において、透水係数は重要な水理パラメータである。既存データから得られた岩種別の透水係数は、多くの場合「パッカー法」^{注1)}によるものではばらつきも大きい。以下に、既存データから得られた砂岩・泥岩・凝灰岩について、原位置試験による透水係数の範囲と代表値を示す⁴⁾。

	〈代表値〉	〈範 囲〉
砂岩	$5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	($2 \sim 9 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$)
泥岩	$1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$	($1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$)
凝灰岩	$1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	($1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$)

2.3.3 処分場建設予定地の地質

既往報告⁴⁾によると、東北日本の太平洋側を中心とする広い地域には、比較的安定した地層群が分布している。この調査結果に基づき、多くの広域的に分布する地層群の中から、関東以北に広く存在する新第三紀堆積岩のうち、砂岩・泥岩・凝灰岩の 3 岩種を選択して検討を行った。岩石の力学特性として、新第三紀堆積岩類は、その一軸圧縮強さが一般的に 100 kgf/cm^2 (9.8 MPa) 以下を示し、いわゆる「軟岩」に定義される。

(1) 新第三紀堆積岩の岩種と一軸圧縮強さ

注1) パッカー法：岩盤の透水性を調べるために、ボーリング孔をパッカーで遮断し、その区間に圧力をかけた水を注入する方法。ダムなどの調査にしばしば用いられる。

岩石の固結度の尺度として、室内試験による一軸圧縮強さ (q_u) がある。太平洋側の堆積岩のデータは、網羅的ではないが、下北地区の鷹架層（砂岩・凝灰岩）、仙台地区の竜の口層（泥岩・凝灰岩）・七北田層（砂岩）、東海地区の多賀層群（泥岩）が主なものである。表-2.2 に、一軸圧縮強さ (q_u) の範囲を示す⁴⁾。

表-2.2 新第三紀堆積岩の岩種と一軸圧縮強さ

岩種	地区名	地層名	一軸圧縮強さ q_u (kgf/cm ²) (MPa)	
砂岩	下北地区	鷹架層	※※[40+]	[3.9+]
	仙台地区	七北田層	※40~52	3.9~5.1
泥岩	仙台地区	竜の口層	※50~69	4.9~6.8
		竜の口層	45.3 (三本木)	4.44
泥岩	東海地区	多賀層群	※17.0 (70m 未満)	1.66
			※27.67 (100m 未満)	2.72
凝灰岩	富岡	富岡層	32	3.13
	横浜	三浦層群	21 (シルト岩)	2.06
	神戸	神戸層	26.8	2.63
凝灰岩	下北地区	鷹架層	[50+]	[4.9+]
	仙台地区	竜の口層	※14~34	1.4~3.3
		竜の口層	15~29 (三本木)	1.5~2.8
	宇都宮	大谷凝灰岩	47.0	4.6
		大谷凝灰岩	136	13.3

※平均値、※※[]鷹架層での岩盤支持力試験結果の上限降伏値。

(2) 本報告の検討に使用した地盤の工学的物性値

本報告の目的は、統合化処分システムの概念を構築することである。検討するモデル地盤として、岩種別の主な地盤工学的物性値は、表-2.3 のように設定した。

各岩種の物性値の主な特徴は、次のとおりである。

- ・砂質土；地表付近に分布し、締まりが良い砂丘砂である。粘着力は期待できないが、内部摩擦角 ϕ として 35° 程度は見込める。地下水位以上での施工を想定し、各定数は地下水位以上のものである。
- ・泥 岩；東海地区に発達する多賀層群中の泥岩を想定している。一軸圧縮強さ q_u は、深度方向に増加する ($q_u = (3D + 50) \times 9.8 \times 10^{-3}$ MPa)。単位体積重量は、他の岩種と比較してやや小さい (16.4 kN/m³)。
- ・凝灰岩；青森県下北地区に分布する鷹架層から、物性値を想定している。一軸圧縮強さ

q_u は、深度に関係なく一定(=2.45 MPa)とした。内部摩擦角 ϕ は 40° である。

・砂 岩；仙台地区に分布する七北田層から、物性値を想定している。これも、一軸圧縮強さ q_u は、深度に関係なく一定(=3.92 MPa)である。単位体積重量は、他の岩種より大きい傾向を示す。

・透水係数；全体に $10^{-4} \sim -5$ (cm/sec) オーダーである。

なお、本報告では、変形解析は原則として実施しないが、3 岩種とも、ポアソン比 0.35、変形係数 $E = 3000 \text{kgf/cm}^2$ (294 MPa) 程度と想定するのが妥当と考えられる。

表-2.3 岩種別の主な地盤工学的物性値（本報告の検討モデル地盤）

岩種	地層名	工学的特性値			地盤の透水係数 k (cm/s)	備考
		γ (tf/m ³) (kN/m ³)	ϕ (°)	q_u (tf/m ²) (MPa)		
砂質土	締まつた砂丘	1.80 (17.7)	35	$C = 0$	地下水位は GL-7.0m	γ 、 ϕ 、 C は地下水位 以上の N=10~15
泥岩(シルト岩)	多賀層	1.55 (15.2)	22	$3 \cdot D + 50$ $((3D+50) \times 9.8 \times 10^{-3})$	3.80×10^{-4}	γ 、 ϕ 、 q_u は東海研の 平均値、D は土被り(m) k は那珂研の平均値
凝灰岩	鷹架層	1.70 (16.7)	40	250 (2.45)	1.30×10^{-5}	γ 、 ϕ 、 q_u は下北地区 の平均値 k は下北地区的最大値
砂 岩	七北田層	1.80 (17.7)	30	400 (3.92)	1.10×10^{-4}	γ 、 ϕ 、 q_u は仙台の平 均値、 k は最大値
なお、敷地形状は正方形とし、その範囲の地形は平坦とし、地盤は同一地層が分布するものとしてモデル化する。 γ ：単位体積重量、 ϕ ：内部摩擦角、 q_u ：一軸圧縮強さ						

(3) 地下空洞の深さと地山強度の関係

本報告で扱う低固結度の堆積軟岩は、固結度が低いという問題を持つ。これにより、深部埋設処分施設の空洞には、押し出し性あるいは膨張性の地圧が働くことによって、縮小が発生する。

膨張性地圧は、次式で示される地山強度比 α が 2 以下の場合に、圧倒的に多く発生することが知られている。

$$\alpha = q_u / \gamma_t \cdot D \quad (2.1)$$

ここに α : 地山強度比

q_u : 地山の乱さない試料の一軸圧縮強さ (MPa)

γ_t : 地山の単位体積重量 (kN/m³)

D：土被り厚さ(m)

これは地山の強度（一軸圧縮強さ q_u ）が、地下空洞に作用する土被り自重 ($\gamma_t \cdot D$) による集中応力（水平土圧係数 $K_0=1.0$ のときは、空洞壁面部で $2\gamma_t \cdot D$ ）に耐えられなかった時

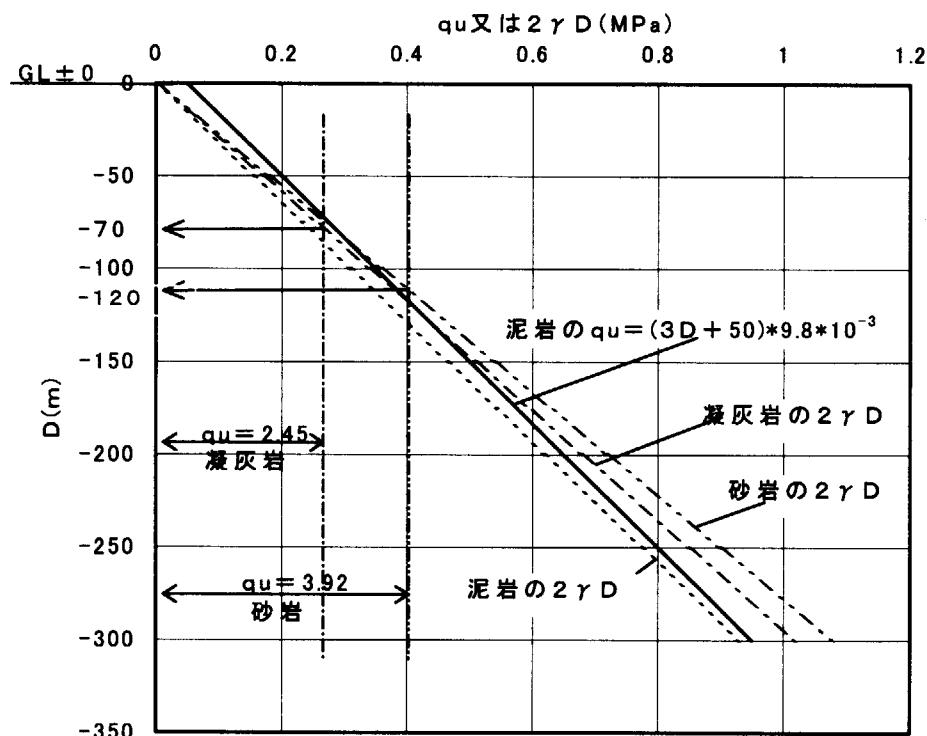


図-2.1 岩種別深度と q_u と $2\gamma_t D$ の関係

に、せん断破壊が生じることを示している。

このようなせん断破壊が生じる土被り厚について、3岩種の物性値（表-2.3）から検討した結果を図示する（図-2.1）。この図によると、せん断破壊が生じる範囲 ($q_u < 2\gamma_t \cdot D$) は、凝灰岩では 70m 以深、砂岩では 120m 程度以深となる。泥岩の場合は、一軸圧縮強さ q_u が深度に依存しているので、土被り自重と一軸圧縮強さ q_u は、常にはほぼ等しい値を示す。

以上より、地山強度の検討によると、地下深部埋設処分場の建設に際しては、処分深度により支保工等が必要となる。

2.4 コスト評価等

2.4.1 処分場の建設条件

廃棄物発生量の経時的予測が可能であれば、その発生量に合わせて処分場施設を段階的に整備していくことが考えられる。この段階的整備方法の経済的利点は、掘削土の残土処分は最終的に必要な敷地内で効率的に行えること、残土仮置場等の用地確保が必要ないこと、また、建設中の利子等の縮減が図れる等である。しかし、現状では、廃棄物発生量の経時的予測が困難であることから、本報告では、表-2.1 に示した処分量が全て収納できる処分場施設を、一度に建設することとして、以下の検討を進めた。

2.4.2 概算建設費

(1) 条件

RI・研究所等廃棄物処分場の建設に伴う費用は、立地選定のための諸調査・建設・操業・閉鎖後のモニタリングまで、長期にわたって各段階毎に必要である。ここでは処分場施設の建設工事費のうち、地上の管理施設・操業に必要な機械及び電気設備を除いた土木工事について概算した。

工事数量は「3.1.1 処分場施設の構成と機能」に示した主要施設の概要に基づいて概算した。各工種毎の単価については、比較的類似している工事と考えられる水力発電所の実績等からまとめられた「発電計画工事費積算基準」⁸⁾を準用した。今後、適切な「積算基準」等を検討する必要がある。なお、採用した単価は、諸経費込みのものである。

(2) 主な工種の建設単価

前述した資料及び本報告に関連した既存資料等から、主な工種の建設単価は以下に示す値を使用する。これにより、各処分場施設の建設費を概算した。

i) 用地取得費	15,000 円/m ²
ii) 掘削 (開削式)	4,200 円/m ³
(トンネル)	40,000 円/m ³
(立坑)	23,000 円/m ³
(地下空洞)	23,600 円/m ³
iii) コンクリート (地上)	42,000 円/m ³ (型枠、支保工込み)
(トンネル覆工)	46,000 円/m ³ (型枠、支保工込み)
(立坑覆工)	49,000 円/m ³ (型枠、支保工込み)
(地下空洞覆工)	52,000 円/m ³ (型枠、支保工込み)
(地下空洞内部仕切り)	46,000 円/m ³ (型枠、支保工込み)
iv) 鉄筋	205,000~246,000 円/ton
v) 内部仕切内充填工	48,000~49,000 円/m ³
vi) 人工バリア (ペントナイト混合土)	26,500 円/m ³
vii) 残土処分	5,000 円/m ³

3 処分場の概念

3.1 処分場施設全体の基本的施設の構成と機能

3.1.1 処分場施設の構成と機能

廃棄物の処分にあたっては、廃棄物を収納する地下空洞等の処分施設以外にも、廃棄体の受入・検査等を行う地上施設、地上施設と処分施設を連絡するアクセス立坑、連絡坑道および操業時の換気や避難坑、並びに事前・操業時・閉鎖後のモニタリング設備が必要である。

以下に、これらの施設に必要とされる機能、主要施設の概要等について記述する。

(1) 地上施設

1) 地上施設の機能及び構成

地上施設の主な機能としては、次に示すものがあげられる。

- ① 廃棄体および資材の受入、搬送
- ② 地下施設の建設、操業、閉塞支援
- ③ 処分場施設の全体維持管理機能

これ等の機能を確保するために必要な主要の地上施設は以下のとおりである。

- ① 廃棄体受入・検査施設
- ② 中央管理施設（気象観測、区域放射線管理等）
- ③ 充填材製造施設
- ④ 緩衝材製造施設
- ⑤ 埋戻し材製造施設
- ⑥ 換気施設
- ⑦ 排水処理施設
- ⑧ 機器、車輌修理施設
- ⑨ 受変電設備
- ⑩ 運搬用場内道路
- ⑪ 地下空洞等掘削に伴う残土処分場（仮置場合む）

2) 主要施設の概要

① 廃棄体受入・検査施設

当該施設は、輸送容器を受入れて一時的に仮置きするとともに、廃棄体を取り出して受入検査を実施する施設である。また、廃棄物を形態に応じて処分用コンテナに収納・固型化した後、地下施設に搬送する。受入設備には搬送クレーンが必要である。コンテナの一時保管容量は、処分場が港湾施設を有している場合、一船分として計画する。

② 中央管理施設

当該施設は、各施設の操業状況の監視、廃棄体等の物流管理、およびデータ記録を管理するための集中制御機能、一般事務、放射線管理および環境試料の分析を実施する施設である。

③ 充填材・緩衝材等製造施設

建設・操業および閉塞に使用する人工バリア材および埋戻し材は、セメント系材料およびペントナイト混合土を基本材料としている。これ等の材料の製造・調整は、原則として地上で実施するものとした。

本設備の主要設備としては、下記のような設備があげられる。

- ・堀削土仮置ヤード
- ・骨材製造設備
- ・セメントサイロ
- ・ペントナイトサイロ
- ・充填材製造設備
- ・埋戻し材製造設備
- ・緩衝材製造設備

(4) 排水設備

地下からの排水は、中継ポンプ基地を経て地上排水設備に移送される。地上排水設備は、放射性排水処理設備と濁水処理設備から構成される。

(2) アクセス施設

1) アクセス施設の機能

アクセス施設は、位置的には地上施設と地下施設の間にあり、この2つの施設を連絡する役割を担う。このアクセス施設が備えるべき機能として、以下に示すような事項があげられる。

- ① 建設機器、資材の搬入及び堀削ズリの搬出経路
- ② 廃棄体及び緩衝材等の搬入経路
- ③ 操業時の管理員等関係者及び設備機器の運搬経路
- ④ 地下施設の換気・排水経路
- ⑤ 埋戻し材の閉塞材料の搬入経路
- ⑥ 緊急時の避難経路
- ⑦ その他（アクセス施設を利用した長期モニタリング等）

2) アクセス施設の概要

① アクセス施設の形状、本数

アクセス施設の形状を決定する要素としては、以下の事項があげられる。

- ・廃棄体、物質等の特性
- ・廃棄体を運搬する一単位の大きさ、及び運搬機械の大きさ、性能
- ・廃棄体の物量と処分スケジュール
- ・地質、岩盤の力学特性
- ・建設、閉塞のスケジュール及び経済性

アクセス施設の形態としては、地上の廃棄体受入検査施設から地下処分空洞までの運搬システムによって、(a)立坑と横坑の組合せと(b)斜坑に分けられる。

(a)の搬送設備はエレベーターとキャリラーの組合せ、(b)は大型トレーラ等の搬送車輌となる。いずれの形態にするかは、処分サイドが選定された後、施設の詳細設計を行う時点で決定されるべきと考える。本報告での検討は統合型処分場であり、処分場全体のコンパクト化等に配慮すれば、立坑と横坑の組合せが望ましい。

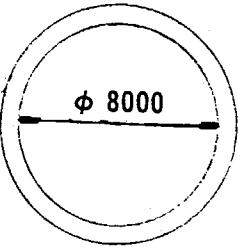
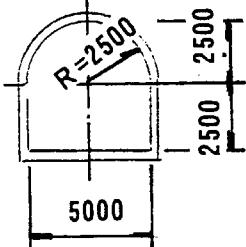
なお、立坑等アクセス施設は、諸外国の例、及び避難路の確保、換気用の給排気口に利用すること等より、2経路以上を確保することとする。

3) アクセス施設の断面形状

アクセス施設の断面形状は、運搬設備（キャリアー）、施設内に配慮される給排水設備・換気設備、および電力供給設備等に必要な形状寸法と、立坑あるいは横坑の建設可能性と経済性で決定される。したがって、断面形状の決定についても、処分サイトが選定された時点での詳細な検討を行うことは言うまでもない。場合によっては、斜坑を施工する可能性のある立地もありうる。

今回の検討においては、前述したように処分場敷地のコンパクト化のため、アクセス施設の断面形状は次のように設定した（表-3.1）。

表-3.1 アクセス施設の断面形状

施設名 項目	アクセス立坑	連絡坑道
寸法	内径 8.0m の鉄筋コンクリート円形断面	内径 5.0m の幌形トンネル断面
断面形状		

また、アクセス方法等に関する事例を巻末資料に示す。

(3) 地下施設

1) 地下施設の機能

地下施設は、前述したアクセス施設も含まれるが、この項では廃棄体を処分する空洞について述べる。

地下設備が持つべき基本要件としては、以下に示す事項があげられる。

- ① 各施設に要求される機能を満足する断面寸法、形状、容量を有すること。
- ② 運搬する物量、処分スケジュール及び処分量等の観点から、必要とされる本数基数、延長を満足すること。
- ③ 地下空洞が外力（土圧、地下水圧）及び自重などに対し十分安全であること。
- ④ 地下空洞の安全性は、少なくとも処分施設閉塞まで、持続しなければならない。
- ⑤ 処分施設全体の安全性を損なわないよう、躯体とともに人工バリア等が確実に施工できること（処分場閉鎖後の核種移行経路にならないこと、人間の侵入の経路にならないこと等）。

2) 主要施設の概要

① 連絡坑道

アクセス立坑と処分空洞の接続経路として、廃棄体・各種資材の搬入、及び工事の際の堀削ズリ等を搬出する径路、並びに供用時の換気、給排水、照明用ケーブルを設

置するスペース、緊急避難路経路を確保する。

② 処分空洞

処分空洞については、岩種を考慮し事例を参考にしながら、処分できる有効容量に着目し、トンネル・卵型空洞・サイロ型空洞について比較検討した。

なお、処分空洞の一区画の大きさについては、現在のところ法的規定が地下については明らかではないので、「埋設センターの事例」に準じて、面積 50 m²、処分量 250 m³毎に内部仕切壁を設けることとした。

3) 処分空洞の断面形状と空洞の大きさ

処分空洞の断面形状については、前述のように地下空洞の事例から、トンネル、卵型空洞（地下式発電所、石油備蓄での事例）及びサイロ型空洞（海外の放射性廃棄物処分場の事例）を選定した。

また、断面寸法については、地山強度と構築可能な空洞スパンの関係がまとめられている（図-3.1）⁹⁾。これに基づき、本検討で対象とする3岩種が、一軸圧縮強度 50kgf/cm² (4.9 MPa) 程度を見込めるこことにより、空洞スパンの最大を 20m程度とした。

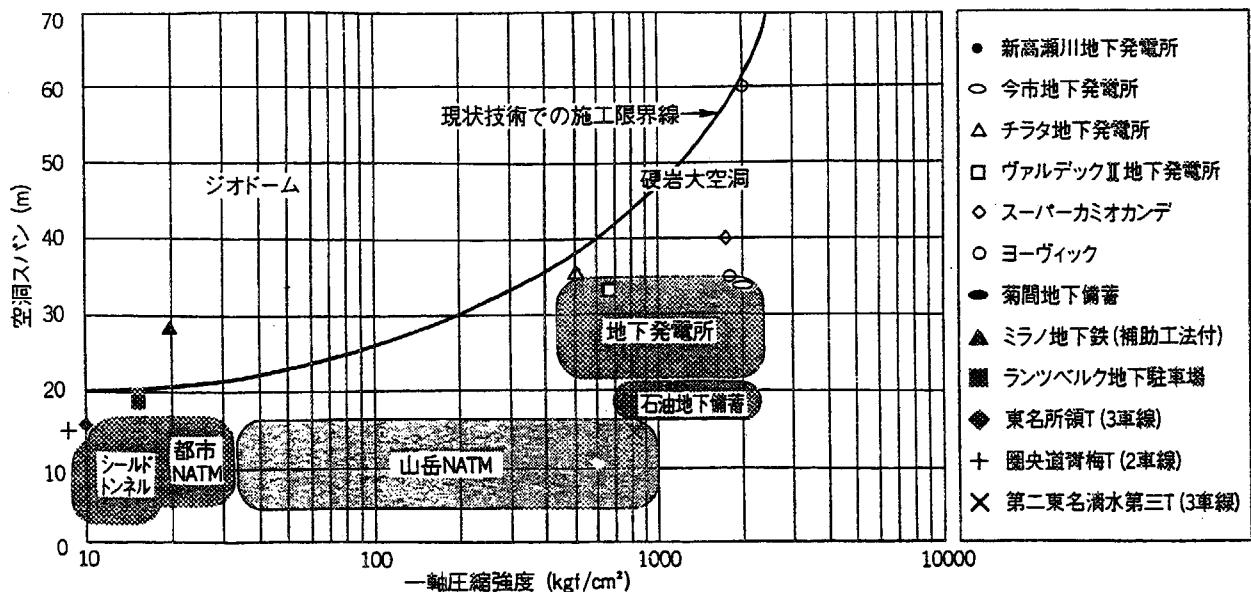


図-3.1 地盤強度と構築可能な空洞スパンの関係

3.1.2 廃棄体の運搬方式及び収納方式

(1) 運搬方式

廃棄体は、処分場まで種々雑多な形状で運搬されてくるものと考えられる。本検討では素掘り埋設処分場の廃棄体を除き、全て 200 ドラム缶に固化されて搬入された状態を想定した。

各機関から運搬され、地上の検査室を経て一時、貯蔵庫にストックされた廃棄体は、アクセス立坑・連絡坑道を経由して地下空洞に収納される。

運搬方法としては、アクセス立坑内は貨物用エレベーター、連絡坑道はリフトカー、またはリフトを装備したキャリアカーを想定した。

また、効率的な運搬のため、ドラム缶 4 本を 1 パッケージとして運搬することを想定した。

(2) 地下空洞での収納方式

廃棄体の地下空洞での収納方式は、ドラム缶 4 本のパッケージをタテ積とする場合と俵積にする場合が考えられる。いずれにするかは、地下空洞の構造型式によって異なる。

タテ積、俵積とも容量は同一であるが、前述した内部仕切壁を設ける一区画の大きさを定めるため、ドラム缶 4 本 1 パッケージの寸法は以下のとおりとした（図-3.2）。

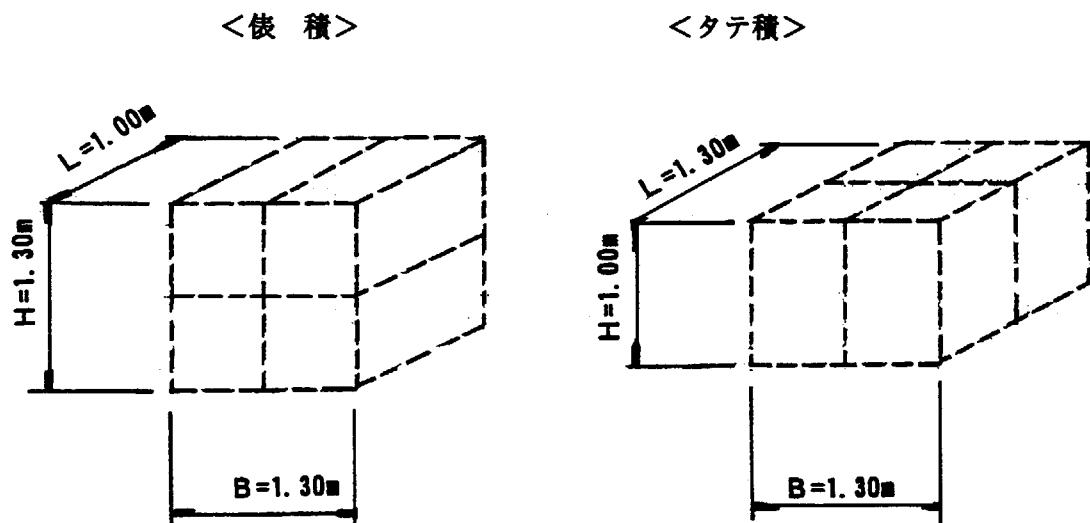


図-3.2 収納方式

3.2 素掘り埋設処分場

3.2.1 処分場施設の構造型式

素掘り埋設処分場では、R I ・研究所等廃棄物のうち、放射性濃度が極めて低いものを対象とする処分場である。

原子炉等の解体実施に当たっては、極低レベル放射性廃棄物が大量に発生することが予測される。その合理的な処分方策を、確立することが必要である。具体的には、コンクリート片等を素掘りトレーンチにそのまま処分することが考えられている。

日本原子力研究所では、上記のような考え方を受け、科学技術庁からの受託事業として1985年度から「極低レベル固体廃棄物合理的処分安全性実証実験」（「東海研北地区の事例」）⁵⁾を実施した。その一環として、J P D R解体実地試験により発生した、放射性レベルが極めて低いコンクリート廃棄物を用いて、廃棄物埋設の実地試験を行っている。

本報告で対象とするR I ・研究所等廃棄物のうち、極低レベル放射性廃棄物の安定なコンクリート等を対象とする素掘り埋設処分場は、この事例を準用することとした。

「東海研北地区の事例」の構造型式は、以下のとおりである。

地表付近の通気層内（地下水位以上）に、開削方式で素掘りの埋設用トレーンチを施工する。そこに、ポリエチレン・ポリエスチル等で三重化されたフレキシブルコンテナ（約0.8m³）にコンクリート片を納め、クレーンにより定置した後、約2.5m厚さの土砂で覆う。その上面に植生（芝）を施す（図-3.3 参照）。

なお、埋設用トレーンチは、長さ45.0m×幅16.0m×深さ3.5mの寸法を一基とし、掘削工法は垂直堀りとし、側面には土留めのため親杭（H型鋼）木製横矢板を施した構造となっている。

開削工法で施工するため、収納時には雨水の浸入防止施設が必要となるため1区画は幅8.0m×長さ15.0mとしている。

なお、この地区で掘削の対象となる地盤は、良く締まった砂質土層である。

素掘り埋設処分場の検討は、トレーンチ側面をH型鋼の親杭と木製の横矢板で土留めした「東海研北地区の事例」（表-3.2C）の他に、トレーンチ側面を勾配を持った斜面とした処分場についても比較した（表-3.2A・B）。この検討結果では、用地面積及び残土処分量等の経済性において、「東海研北地区の事例」が最も有利であることが分かった。

したがって、幅16.0m×深さ3.5mのトレーンチ（図-3.4 参照）を親杭横矢板で土留めするものと想定して、以下の検討を進めた。

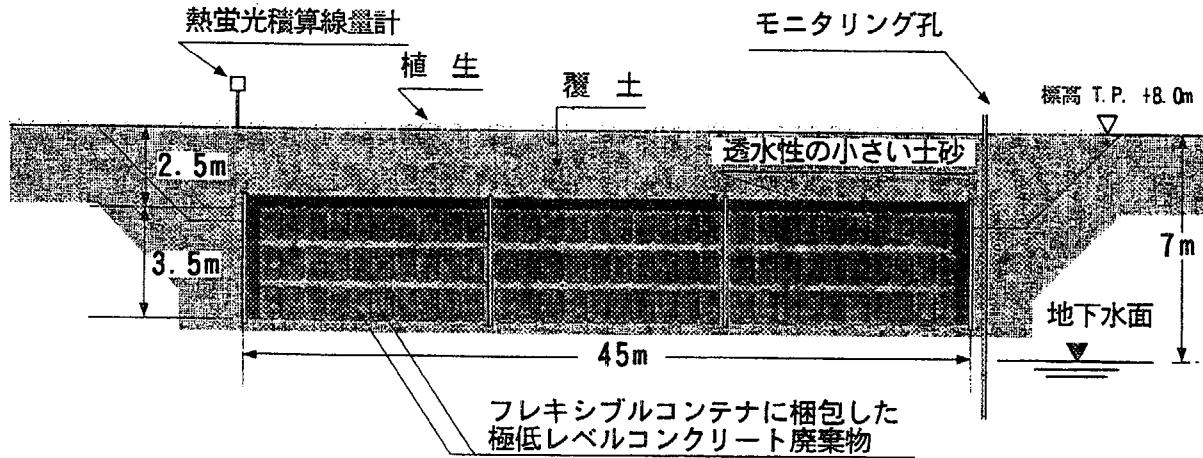


図-3.3 埋設実施試験施設の断面図「東海研究所北地区の事例」

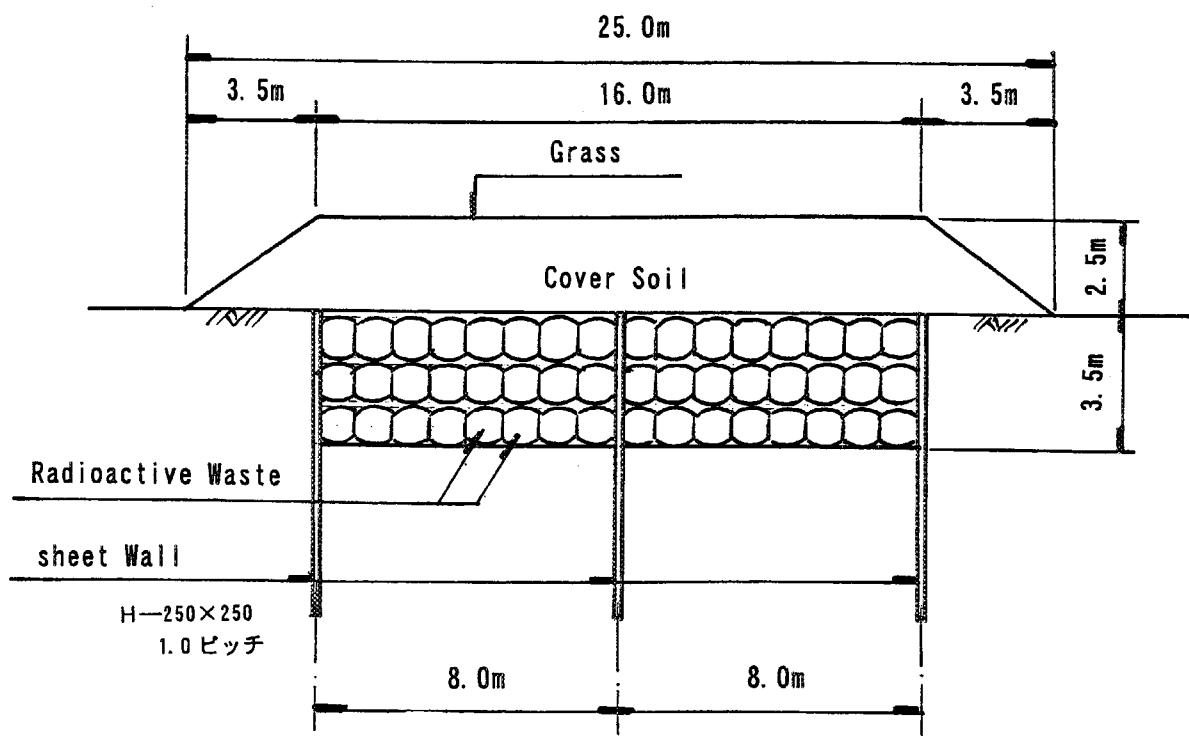


図-3.4 素掘り埋設処分場（トレンチ式）一基の標準断面

表-3.2 ピット式埋設処分場の形状比較表

比較 案	形 状 、 寸 法	1基当たりの工事数量			廃棄体 収納率	所要敷地 面積	概算工事費 (百万円)	評価
		工種	単位	数量				
A		掘削	m³	3,318	(340,000×0.2) ÷1,670 =41 基 △	土工1,115 用地費 1,300 計2,415 100 %		
		覆土	〃	3,684				
		残土処分	〃	3,318				
		用地面積	m²	2,546				
B		掘削	m³	7,131	(340,000×0.2) ÷1,670 =41 基 A=2,546× 41=104,386 m² Σ A=13× 10⁴ m²	土工1,952 用地費 1,300 計3,252 135 %		
		覆土	〃	3,813				
		残土処分	〃	7,131				
		用地面積	m²	2,546				
C		掘削	m³	2,520	(340,000×0.2) ÷1,670 =41 基 A=1,850×41 =76,260 m² Σ A=10⁶ m² 86 %	土工800 用地費 1,005 土留工260 計2,065 86 %		
		覆土	〃	2,370				
		残土処分	〃	2,520				
		土留工(H 鋼)	本	170(250) ×250)				

(1)自立式土留工の構造検討

この項では、自立式の親杭（H型鋼）について、表-2.3に示した海岸砂の地盤工学的物性値を用いて、3.5m掘削時の安全性を確保できる根入れ長^{注1)}及び部材寸法を検討した。

1) 設計条件

ア. 土留め構造

自立式親杭横矢板型式

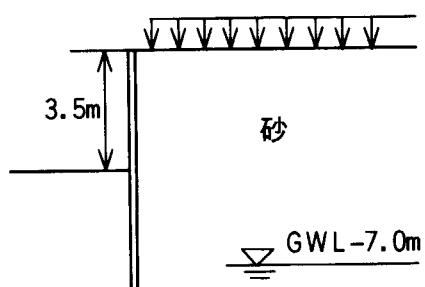
親杭；H型鋼-250×250 1.0m ピッチ

横矢板；松材木

$q=1.0 \text{ tf/m}^2$

(9.8 kPa)

イ. 土質定数

単位体積重量； $\gamma = 1.80 \text{ tf/m}^3 (17.6 \text{ kN/m}^3)$ 内部摩擦角； $\phi = 35^\circ$ 粘着力； $C = 0$ 弾性係数； $E = 100 \text{ kgf/cm}^2 (9.8 \text{ MPa})$ 水平地盤反力係数； $k_n = 0.24 \text{ kgf/cm}^3 (2.35 \text{ MN/m}^3)$ 

ウ. その他

地下水；なし

図-3.5 検討条件図

上載荷重； $q = 1.0 \text{ tf/m}^2 (9.8 \text{ kPa})$

親杭の許容変位量； 掘削深さの3%・0.1mとした。

(2)根入れ長の計算

土留め杭下端に関するモーメントのつりあいと水平方向の力のつりあいから、根入れ長を算定した。

砂質土ではクーロン土圧、粘性土ではランキン土圧を用いた。

砂質土の主働土圧； $P_a = K_a \{ \sum \gamma h + q - P_w \} + p_w \quad (3.1)$

受働土圧； $P_a = K_p \{ \sum \gamma h - p_w \} + p_w \quad (3.2)$

ただし、 K_a は砂質土の主働土圧係数、 K_p は砂質土の受働土圧係数

粘性土の主働土圧； $P_a = \sum \gamma h - 2c + q \quad (3.3)$

受働土圧； $P_p = \sum \gamma h + 2c \quad (3.4)$

主働側；モーメントの合計 $M_a = 24.416 \text{ tf}\cdot\text{m} (239.38 \text{ kN}\cdot\text{m})$ 水平力の合計 $P_a = 20.989 \text{ tf} (205.83 \text{ kN})$ 受働側；モーメントの合計 $M_p = 24.421 \text{ tf}\cdot\text{m} (239.49 \text{ kN}\cdot\text{m})$ 水平力の合計 $P_p = 20.995 \text{ tf} (205.89 \text{ kN})$ モーメントの比 $M_p/M_a = 24.421/24.416 = 1.00$ 掘削深さ $H = 3.500 \text{ m}$ つりあい深さ $Z = 2.896 \text{ m}$

^{注1)} 根入れ長；構造物や矢板・杭などで、地中に入っている部分の長さ

根入れ長 $D = Z \times 1.2 = 3.475$

よって親杭の長さは、 $3.500\text{ m} + 3.475 = 6.975 \approx 7.0\text{ m}$ とした。

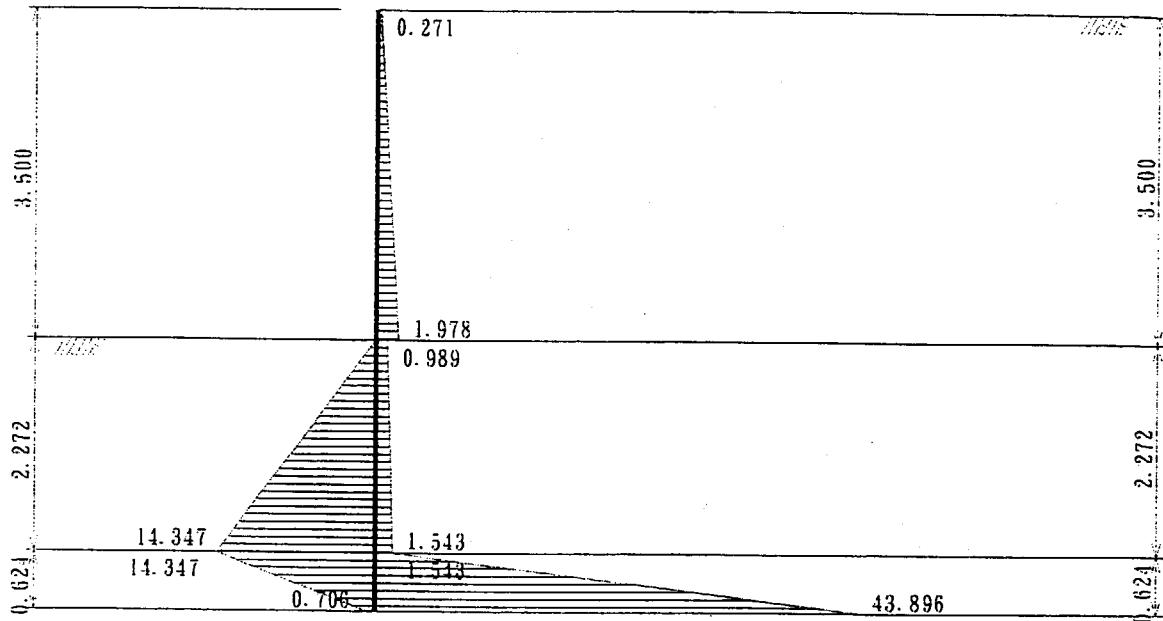


図-3.6 土圧図

(3) 親杭の断面計算

1) 計算条件

根入れ先端を固定端とする片持梁について検討した。

土圧は「根入れ計算用土圧」と同じ土圧を用いた。

片持梁スパン $L = 6.396\text{ m}$

曲げモーメント $M_{max} = 8.875\text{tf}\cdot\text{m}(87.03\text{ kN}\cdot\text{m})$ (地表面から $x = 4.813\text{ m}$)

せん断力 $S_{max} = 4.016\text{tf} (39.38\text{ kN})$ (地表面から $x = 3.663\text{ m}$)

たわみ $\delta = 44\text{ mm}$ (地表面位置)

2) 断面計算の結果一覧表

表-3.3 結果一覧表

検討ケース	曲げモーメント $M_{max} (\text{tf}\cdot\text{m}) \quad [\text{kN}\cdot\text{m}]$	せん断力 $S_{max} (\text{tf}) \quad [\text{kN}]$
自立時	8.875 [87.03]	4.016 [39.38]

以上より、設計断面力は、曲げモーメント $M = 8.875\text{tf}\cdot\text{m} (87.03\text{ kN}\cdot\text{m})$

せん断力 $S = 4.016\text{tf} (39.38\text{ kN})$ となる。

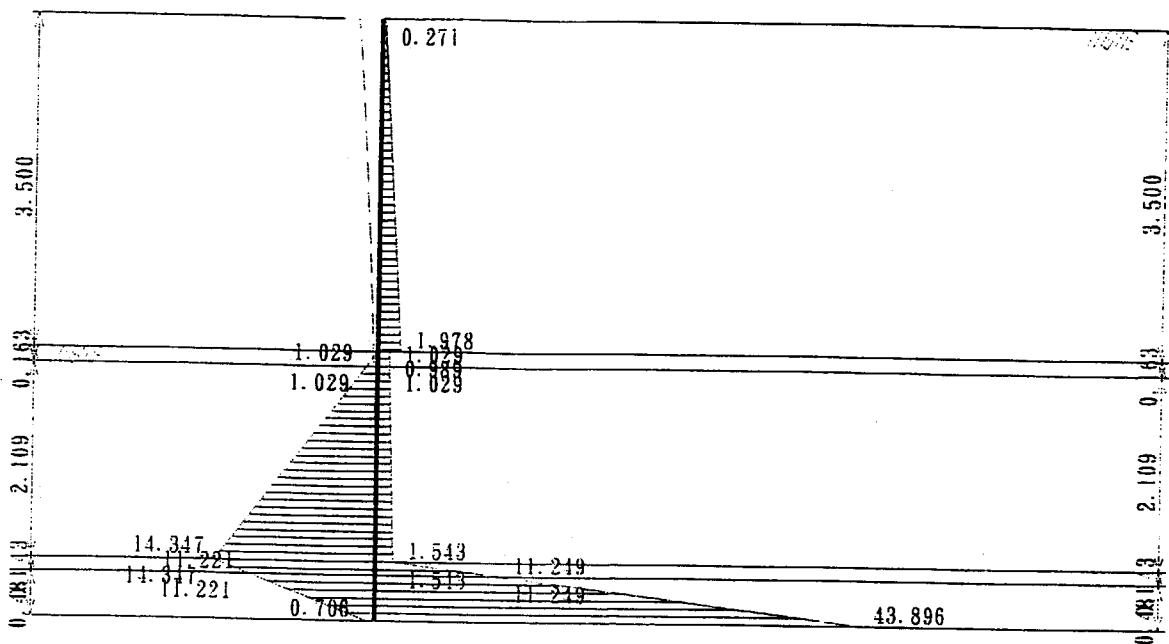


図-3.7 土圧図

3) 応力度計算

使用鋼材 H-250×250×9×14 ($Z = 867\text{cm}^3$ 、 $A_w = 19.98\text{cm}^2$)

曲げ応力度

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{8.875 \times 10^5}{867} = 1024 \leq 2100 \text{ kgf/cm}^2 (205.9 \text{ MPa}) \quad (3.5)$$

せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{A_w} = \frac{4.016 \times 10^3}{19.98} = 201 \leq 1200 \text{ kgf/cm}^2 (117.6 \text{ MPa}) \quad (3.6)$$

(4) 横矢板の計算

横矢板の必要板厚は最終掘削深さでの土圧を荷重とし、親杭のフランジ間をスパンとして求めた。なお、横矢板として、松材木を用いる。

掘削底面までの最大土圧 $p = 1.978 \text{ tf/m}^2 (19.40 \text{ kPa})$ スパン $l = \text{親杭間隔} - \text{フランジ幅} / 2 = 1.000 - 0.125 = 0.875 \text{ m}$

$$\text{曲げモーメント } M = \frac{p \times l^2}{8} = \frac{1.978 \times 0.875^2}{8} = 0.189 \text{ tf} \cdot \text{m} (1.85 \text{ kN} \cdot \text{m}) \quad (3.7)$$

$$\text{せん断力 } S = \frac{p \times l}{2} = \frac{1.978 \times 0.875}{2} = 0.865 \text{ tf} (8.51 \text{ kN}) \quad (3.8)$$

必要板厚は、次式のうち大きい方とする。

$$t_1 = \left(\frac{6 \times M}{b \times \sigma a} \right)^{0.5} = \left(\frac{6 \times 0.189 \times 10^5}{100 \times 135} \right)^{0.5} = 29 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$t_2 = \left(\frac{1.5 \times S}{b \times \tau a} \right) = \left(\frac{1.5 \times 0.865 \times 10^3}{100 \times 10.5} \right) = 12 \text{ mm} \quad (3.10)$$

ここに、
b ; 横矢板の幅 = 1.0 (m)

σa ; 横矢板の許容曲げ応力度 (kgf/cm²) (MPa)

τa ; 横矢板の許容せん断応力度 (kgf/cm²) (MPa)

以上より、横矢板の必要板厚は $t = 30 \text{ mm}$ (必要長さ $L = 0.955 \text{ m}$) となる。

これまでの計算結果をまとめると、次のとおりである。

●根入れ長の計算結果

表-3.4

検討ケース	掘削深さ (m)	根入れ長 (m)	全長 (m)
自立時	3.500	3.475	6.975

●断面計算の結果

表-3.5

検討ケース	掘削深さ (m)	曲げモーメント M_{max} (tf·m) {kN·m}	せん断力 S_{max} (tf) {kN}
自立時	3.500	8.875 {87.03}	4.016 {39.38}

以上より、設計断面力は、曲げモーメント $M = 8.875 \text{ tf} \cdot \text{m}$ (87.03 kN·m)

せん断力 $S = 4.016 \text{ tf}$ (39.38 kN) となる。

これらの計算結果をまとめると、次のとおりである。

使用鋼材 ; H-250×250×9×14 $Z = 867 \text{ cm}^3$, $A_w = 19.98 \text{ cm}^2$

曲げ応力度 ; $\sigma = 1024 \leq 2100 \text{ kgf/cm}^2$ (205.9 MPa)

せん断応力度 ; $\tau = 201 \leq 1200 \text{ kgf/cm}^2$ (117.7 MPa)

横矢板 ; 必要厚さ $t = 30 \text{ mm}$ 必要長さ $L = 0.955 \text{ m}$

3.2.2 処分場の基数及び所要敷地面積

(1) 処分場の基数

素掘り埋設処分場のトレーニチの構造型式・寸法は、前述のように「東海研北地区の事例」を準用した。この事例におけるトレーニチ 1 基あたりの容積は、次のとおりである。

$$1 \text{ 基当たりの容積} V_0 = \text{約} 16.0 \text{ m} \times \text{約} 45.0 \text{ m} \times \text{深さ} \text{ 約} 3.5 \text{ m} = \text{約} 2520 \text{ m}^3$$

実際に処分された廃棄物は、1670 t(16.37 MN)であった⁵⁾。しかし、処分施設は、廃棄物のかさ密度を約 1.0 t/m³(9.8 kN/m³)とし、2520 t(24.70 MN)を処分できるように設計されている。ここでは、廃棄物の実処分量として、この値を用いて検討する。

また、素掘り埋設処分の対象となる廃棄体のパッケージは、事例のようなフレキシブルコンテナとともに、ドラム缶詰も想定される。ドラム缶詰の場合、4 本を 1 パッケージとすると収納効率は俵積の場合約 44%である。

素掘り埋設処分場の規模を決定するに当たっては、表-2.1 に示した処分量と上記収納効率が必要である。

設定された素掘り埋設処分量は、ドラム缶詰 110,000 本(200% ドラム缶換算) 及びコンクリート塊 230,000 本(200% ドラム缶換算) である。

したがって、全体の処分場容積は次のとおりとなる。

全体の素掘り埋設処分場容積 V

$$\begin{aligned} V &= \frac{110,000 \times 0.2}{0.44} + 230,000 \times 0.2 \\ &= 50,000 + 46,000 = 96,000 \\ &\approx 100,000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

素掘り埋設処分場の 1 基当たりの大きさを幅 16.0m × 長さ 100m × 深さ 3.5m とする(図-3.9) と、必要なトレーニチの基数は次のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \text{トレーニチの基数 } n &= 100,000 \div (16 \times 100 \times 3.5) \\ &= 17.9 \approx 18 \text{ 基} \end{aligned}$$

(2) 所要敷地面積

トレーニチを複数基設置する場合、廃棄体運搬用の道路用及びクレーンの設置スペースがトレーニチ間に必要となる。その用地として 9 m の空間を設け、トレーニチの中心間隔は 25.0m と設定した(図-3.8)。

以上、検討したトレーニチの 1 基当たりの寸法・トレーニチ中心間隔・トレーニチの基数・敷地内の道路配置及び受け入れ管理棟スペースを考慮し、素掘り埋設処分場の全体配置は図-3.9 のとおりとした。敷地は縦横 316m の正方形とし、面積は約 10⁵ m² である。

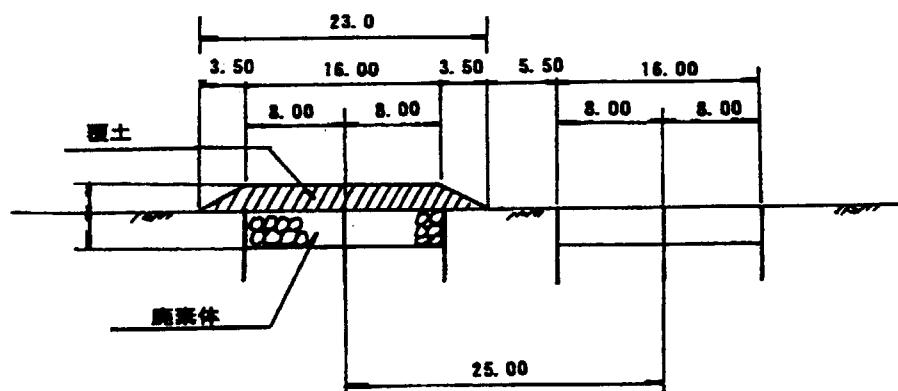


図-3.8 トレンチの中心間隔

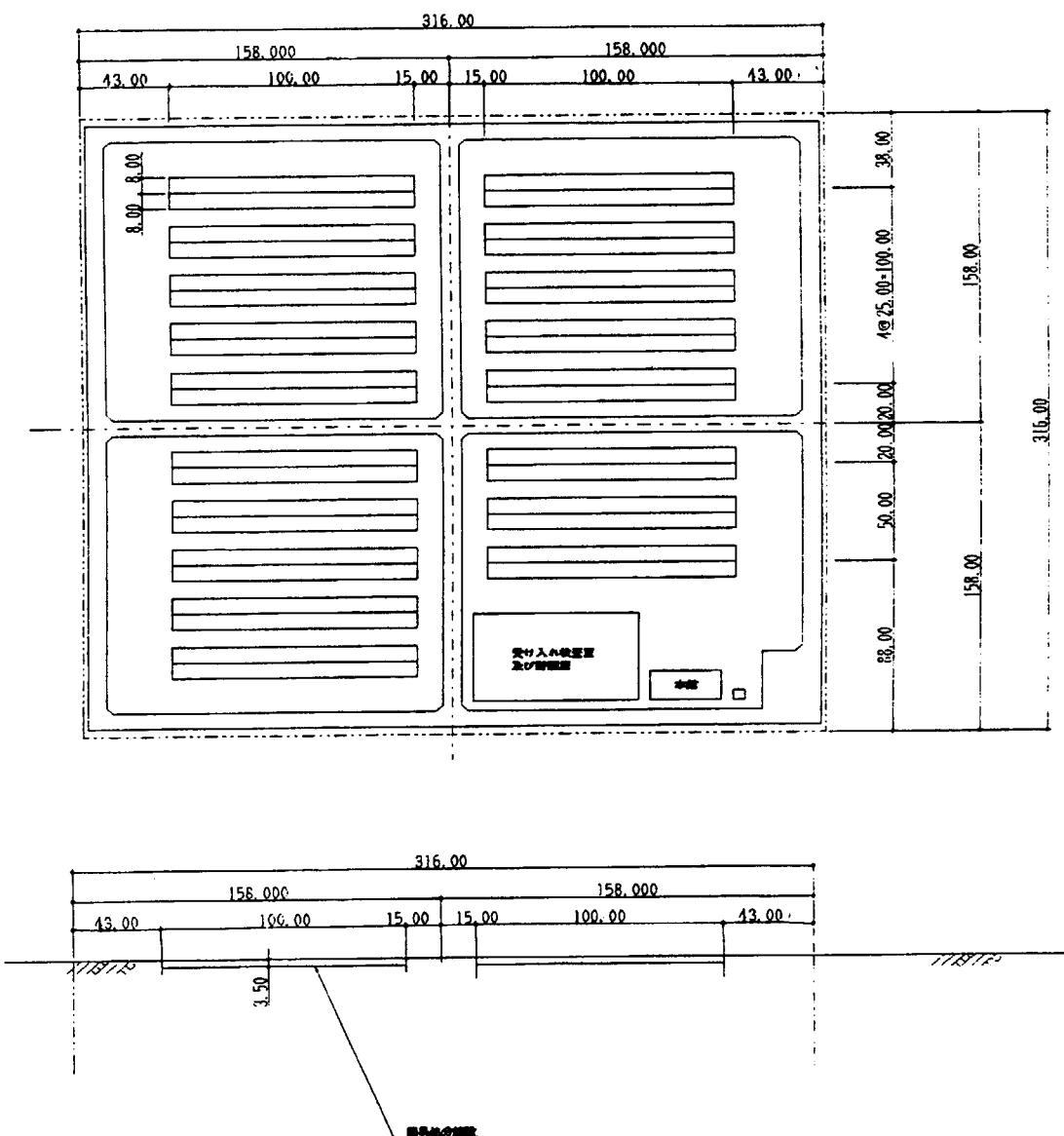


図-3.9 素掘り埋設処分場（トレンチ式）の基本図

3.2.3 概算建設費

素掘り埋設処分場の基本図（図-3.9）のうち、管理棟等の地上建物を除く土木工事費について、3.2.2(1)・(2)・(3)で得た結果に基づいて概算した。その結果を表-3.6に示す。

参考値として、土木工事費を廃棄体処分量(68,000m³、340,000本)で除した建設単価を求めるとき、以下のとおりである。

廃棄体 1m³当り建設単価 41,530円／m³

廃棄体 ドラム缶詰 1本当り建設単価 8,310円／本

表-3.6 素掘り埋設処分場概算建設費

工種	単位	数量	単価(円)	工事費(千円)	備考
用地費	m ²	100,000	15,000	1,500,000	10 ⁵ m ²
掘削工	m ³	120,900	4,200	507,800	覆土工含む
運搬道路	m ²	1,800	102,000	183,600	
土留工	親杭材料	t	3,530	100,000	H-250×250 W=71.8kg/m
	親杭打設	本	7,000	10,000	H-250×250 L=7.0m
	横矢板材料	m ³	1,100	33,000	松材木 t=4.5cm
	横矢板設置	m ²	24,500	4,500	110,250
	小計	式	1		569,550
残土処分費	m ³	12,600	5,000	63,000	覆土95,000m ³
計	式	1		2,824,000	

3.3 コンクリートピット式埋設処分場

3.3.1 処分場施設の構造型式

コンクリートピット式埋設処分場は、廃棄物区分のうち、放射能レベルの低いものを対象としている。

コンクリートピット式埋設処分場の構造型式としては、「埋設センターの事例」⁶⁾がある。これは、原子力発電所の運転に伴って発生する液体及び固体状の低レベル放射性廃棄物を、適切な方法で処理し、セメントを用いた固化などの方法でドラム缶に封入し、浅地中に埋設処分したものである。

「埋設センターの事例」の構造型式は、以下のとおりである。

埋設ピットは、地表から開削工法で約12m掘り下げ、基盤岩を基礎とした鉄筋コンクリート造りとして築造されている。1基当たりの外形寸法は、24m×24m×深さ6mである。ピット内に廃棄体としてのドラム缶が収納されると、一区画毎にセメント系充填材（モルタル）を注入し、廃棄体の隙間を完全にふさいでいる。コンクリートピットの周囲には、難透水性覆土層（ペントナイト混合層）を厚さ2.0mで施工し、さらにその上層には約4.0mの覆土が行われている。概念図を示すと、図-3.10 のとおりである。

コンクリートピット式埋設処分場の構造型式は、「埋設センターの事例」のようなコンクリートピット式の他、後述する地下空洞式も考えられている。この項では、R I・研究所等廃棄物のうち、低レベル放射性廃棄物相当の数量150,000本(200ℓ/ドラム缶換算)を、開削方式によるコンクリートピットを築造して処分する場合の施設について、「埋設センターの事例」に準拠して検討した。

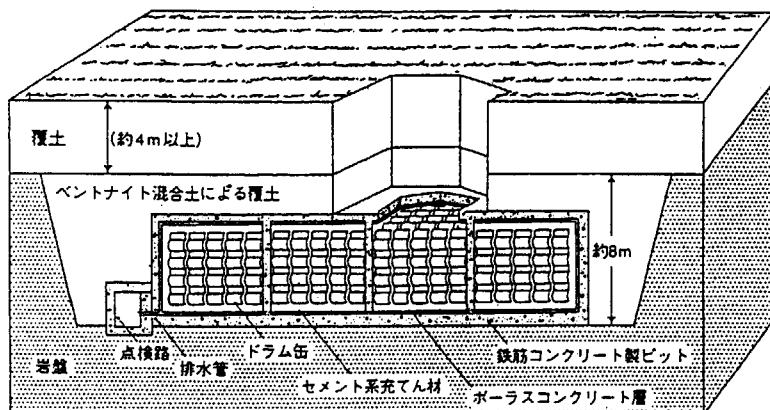


図-3.10 コンクリートピット処分施設の例⁶⁾

(1) 廃棄物埋設の区画設定（内部仕切壁）

外周仕切設備を設置する方法により埋設を行う場合の廃棄物埋設施設について、廃棄物埋設規則第六条「廃棄物埋設施設等の技術上の基準」第2項第3号により規定されている。これによると、「開口部の面積が 50m^2 を超える、または埋設容量が 250m^3 を超える廃棄物埋設地は、（中略）1区画の面積がおおむね 50m^2 を超えないように区画し、又は1区画の埋設容量がおおむね 250m^3 を超えないように区画すること」が必要になる。

埋設設備の区画は、一般に大きいほど廃棄体当たりの使用材料は減少する。ここでは、区画内寸法として次のように設定した。

・開口部（平面）	36m^2 ($6\text{m} \times 6\text{m}$)
・区画高	5m
・容量	180m^3

(2) 埋設設備の設定

埋設設備が大きくなると、建設時や廃棄体投入時のクレーンが巨大化する。

ここでは、「埋設センターの事例」と同一とし、1基当たりの型は一辺 24m の正方形で、高さ約 6m とした。

(3) コンクリートピットの部材厚

「埋設センターの事例」を参考にして、底版及び側壁は 0.6m 、覆いは 0.5m 、内部仕切壁は 0.4m 程度とした。1基当たりの標準断面を示すと、図-3.11 のとおりである。

3.3.2 処分場の基数及び所要敷地面積

(1) 処分場の基数

「埋設センターの事例」によれば、1区画の中にドラム缶を俵積として収納している（図-3.11参照）。

1区画の内空容積に対するドラム缶の本数は320本であり、収納効率は44.8%である。

$$\text{1区画の内空容積 } B5.4\text{m} \times L5.4\text{m} \times H4.9\text{m} = 143\text{m}^3$$

$$\text{ドラム缶収納本数 } \text{俵積 } 8\text{本} \times 8\text{段} \times 5\text{列} = 320\text{本}$$

$$\text{収納効率 } \frac{320 \times 0.2}{143} \times 100 = 44.8\%$$

$$\text{1基当たりの区画数 } 4 \times 4 = 16\text{区画}$$

$$\text{1基当たりのドラム缶本数 } 320\text{本} \times 16 = 5120\text{本}$$

R I・研究所等廃棄物のうち、低レベル放射性廃棄物相当の量は、表-2.1 に示したように200リッルドラム缶換算で150,000本である。

したがって、コンクリートピットの所要基数は、次のように30基となる。

$$150,000 \div 5120\text{本} / \text{基} = 29.3 \approx 30\text{基}$$

(2) 所要敷地面積

1基当たりの所要面積は、コンクリートピット周囲の管理用通廊も入れると約 650m^2 で、全体としては $650\text{m}^2 \times 30\text{基} \approx 19,500\text{m}^2$ となる。所要敷地面積としては、この他に掘削斜面用地及び敷地周囲の運搬道路用地が必要であり、全体所要敷地面積は図-3.12 に示すように $223 \times 260 \approx 58,000\text{m}^2$ となる。

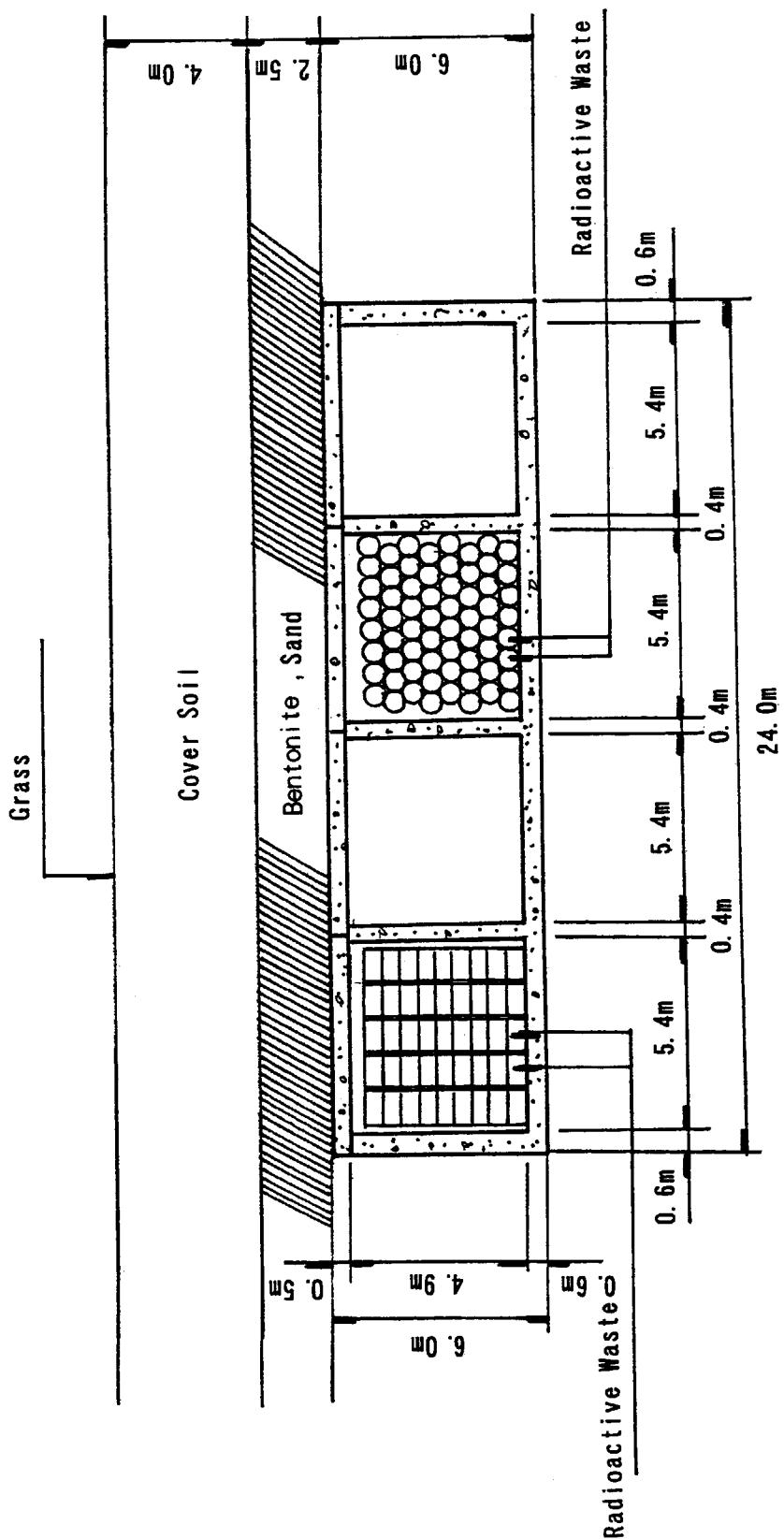


図-3.11 コンクリートピット式埋設処分場の標準断面図

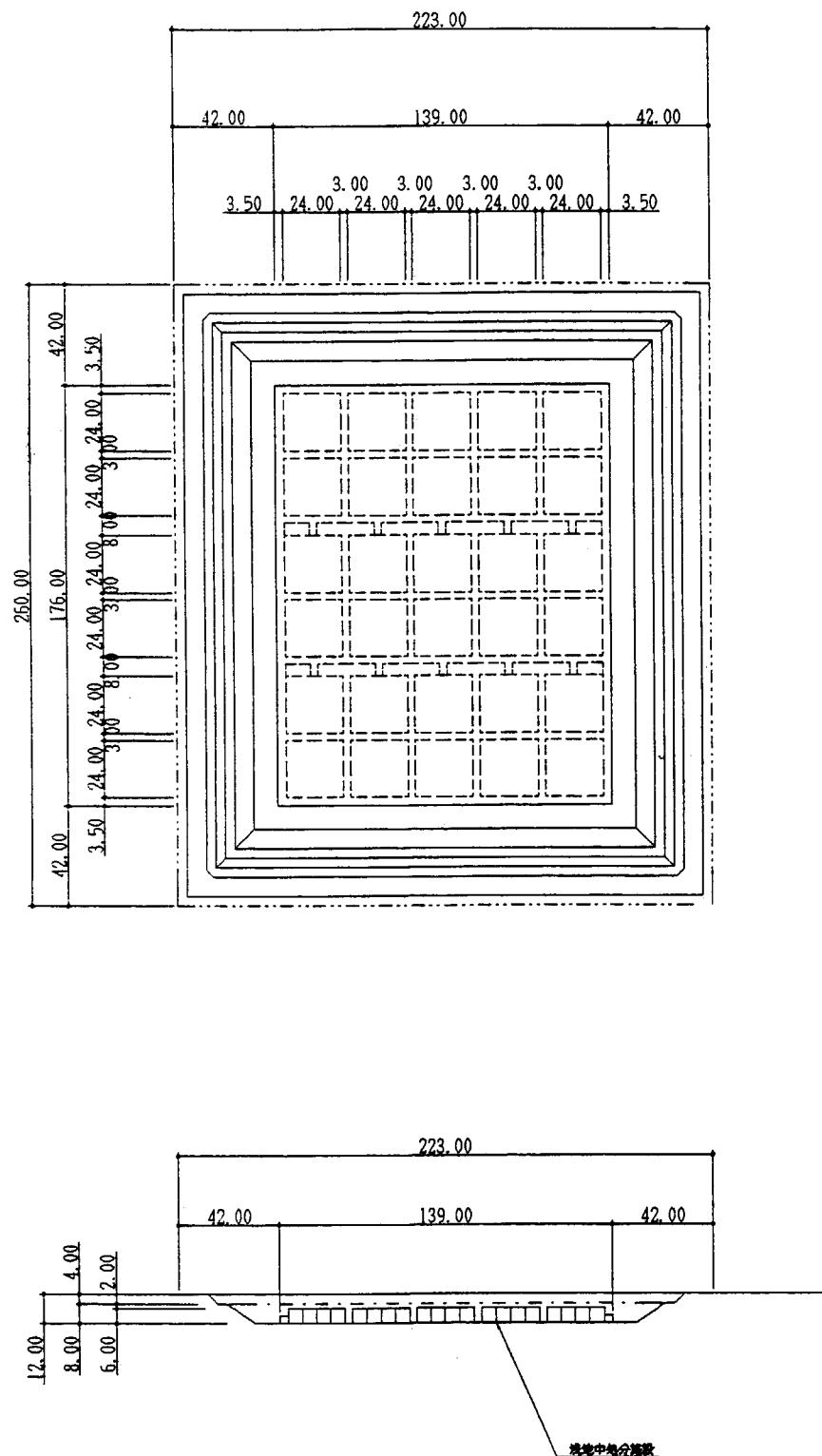


図-3.12 コンクリートピット式埋設処分場の基本図

3.3.3 概算建設費

コンクリートピット式埋設処分場の基本図（図-3.12）のうち、維持管理に必要な管理通廊を除く土木工事費について概算した。その結果を表-3.7 に示す。

参考値として、土木工事費を廃棄体処分量（30,000m³、150,000本）で除した建設単価を求めるとき、以下のとおりである。

廃棄体 1 m ³ 当たり建設単価	403,715 円/m ³
廃棄体 ドラム缶詰 1 本当たり建設単価	80,743 円/本

表-3.7 コンクリートピット式埋設処分場の概算建設費

工種	単位	数量	単価(円)	工事費(千円)	備考
用地費	m ²	58,000	15,000	870,000	
運搬道路	m ²	900	102,000	91,800	
掘削工	m ³	442,000	4,200	1,856,400	
コンクリートピット	コンクリート	m ³	35,000	42,000	1,470,000
	鉄筋	t	2,450	205,000	502,250
	充填工	m ³	38,000	48,000	1,824,000
	小計	—	—	3,796,250	
ベントナイト混合土	m ³	156,000	26,500	4,134,000	
残土処分費	m ³	272,600	5,000	1,363,000	
計	式			12,111,450	

3.4 地下空洞式埋設処分場

3.4.1 効率的に優れた構造形式

本項では、素掘り埋設処分場の地下に地下空洞式の埋設処分場を立体的に配置し、用地面積の縮減及び立地の優位性をねらいとして検討を行った。この埋設処分場も、放射能レベルの低い廃棄物を対象とするものである。

我が国において、廃棄物処分場としての地下空洞の実績はない。外国においては、スイスの山岳トンネル型処分場（計画）¹⁰⁾、フィンランド及びスウェーデンのサイロ型処分場¹¹⁾がある。また、我が国でも鉄道・道路等のトンネル¹²⁾、石油備蓄基地¹³⁾や地下発電所の卵型・きのこ型等、地下空洞の施工実績は多く、空洞の構築に関する技術的な問題は少ないと考えられる。

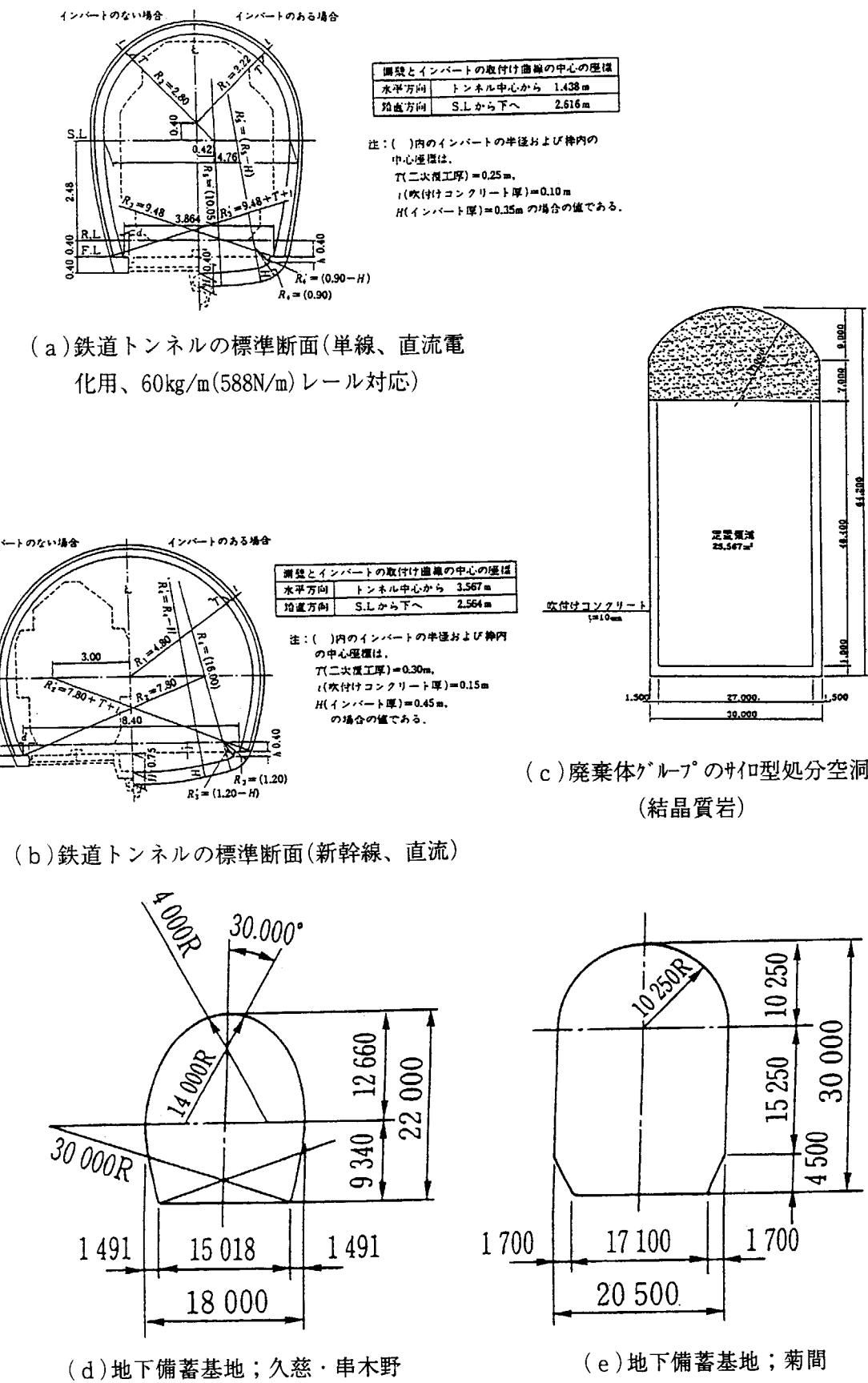
このようなことから、地下空洞式の埋設型処分場の構造形式としては、図-3.13に示すようなトンネル、卵型及びサイロ型空洞を検討の対象とした。

各構造形式の地下空洞は、それを構築するために岩盤掘削及び空洞の安定を確保するための支保工や、覆工コンクリートの施工を行う。また、この場合も内部仕切壁、人工バリア（ペントナイト混合土）等が必要となる。

(1) 地下空洞内的人工バリア厚さ及び内部仕切壁の区画

検討上の前提条件の項で述べたように、地下空洞内的人工バリア（ペントナイト混合土）は、内部仕切壁の周囲に少なくとも2.0mの厚さで施工することとした。

一方、内部仕切壁の1区画の大きさについては、地下空洞としての法的整備がなされていないので、廃棄物埋設規則第六条「廃棄物埋設施設等の技術上の基準」を準用した。



(2) 比較検討

構造形式は前述のようにトンネル、卵型及びサイロ型地下空洞とし、大きさは表-3.8に示すケースとした。また、これらについて収納方式をタテ積み、俵積みの2ケースについて比較を行い、廃棄体自体の容積が地下空洞に占める割合を効率と仮称し、効率によって有利な構造形式、大きさ、収納方式を評価することとした。

例えば、鉄道トンネルの単線直流電化用の寸法による地下空洞の場合、図-3.14に示すように覆工コンクリートの内側に人工バリア2.0mを確保することとすると、廃棄体としてのドラム缶は断面的に1本しか収納できない。この場合の収納方式は俵積みとなり、効率は0.7%と極めて非効率的な構造形式、寸法と評価される。

各構造形式、大きさ毎に同様の検討を行った結果を整理すると、表-3.8のとおりである。

なお、各ケースの断面形状等は、巻末に参考資料として添付した。

また、各構造型式と大きさ別に覆工コンクリートの厚さ（巻厚）と強度を考慮して決定する方法は、外力としての荷重、特に土圧の状態や、覆工の力学的な作用等が明確でないため、現状では確立されたものはない。

さらに、本報告の目的は概念の構築であることから、比較検討に用いた巻厚については、図-3.15に示した過去の事例等を参考に設置した。

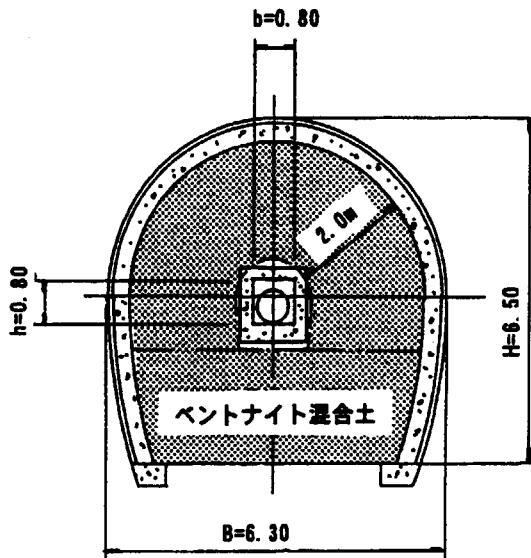
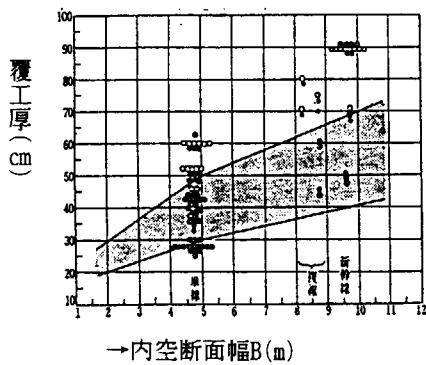
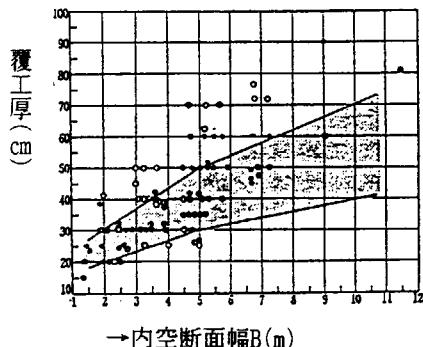
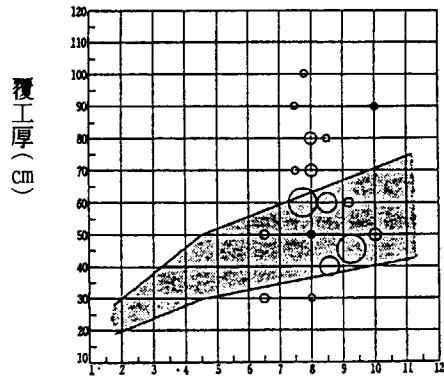


図-3.14 トンネルの場合の断面

表-3.8 地下空洞の構造形式・寸法と効率

構造形式	基本形状	1m当たり工事量		鉢形体処分方法	1区画(内部仕切壁)当たりの積元		空洞取扱い当たりの積元 (メントナイト混和土による人工パリアの厚さ 2.0m)	
		基本寸法 (m)	Ae (m ³ /m)		面積 V ₀ (m ²)	1区画の容積 V _w (m ³)		
トンネル (普通)	車輪直流水化用 	B=6.3 H=6.5	33.3 (1=0.3m)	6.0 ドラム缶 4本/バック	0.8×0.8×390 タテ板	249.6 390	31.3 1本/0.9m 0.22	0.67
トンネル (普通)	新幹線(直線) 	B=0.5 H=4.25	72.7 (1=0.5m)	15.9 ドラム缶 4本/バック	4.0×1.5×41.0 タテ板	246 492	98.4 40 12本/0.9m 2.67	3.62
半室空洞 (石油 罐)		B=9.0 H=12.2	89.5 (1=0.5m)	17.0 ドラム缶 4本/バック	2.6×3.0×32.0 タテ板	249.6 480	51.2 102.4 96 42	41.0 16本/0.9m 3.56
半室空洞 (石油 罐)		B=12.5 H=15.3	139.8 (1=0.6m)	25.5 ドラム缶 4本/バック	5.2×4.4×10.0 タテ板	22.88 228.8	243.36 228.8 480	39.4 16本/1.2m 2.67
半室空洞 (石油 罐)		B=15.0 H=18.0	201.4 (1=0.7m)	35.8 ドラム缶 4本/バック	6.5×6.5×6.0 タテ板	42.25 240.24	102.4 102.4 100	42 42.6 10.67
半室空洞 (石油 罐)		B=17.5 H=21.4	274.1 (1=0.8m)	47.8 ドラム缶 4本/バック	8.0×4.4×7.0 タテ板	211.25 246.4×2 228.8×2	500 504×2=1008 480	100 40.9 96.0 43.7
サイロ型 (荷物 射出 機器物 処分場)		B=10.0 H=	78.5 (1=0.6m)	14.9 ドラム缶 4本/バック	2.6×2.6×30.0 タテ板	480×2=960 232.96×4 29.12×4	192.0 201.6 409.6 409.6 384.0	42 144本/0.9m 32 11.67
サイロ型 (荷物 射出 機器物 処分場)		B=12.5 H=	122.7 (1=0.6m)	22.4 ドラム缶 4本/バック	4.0×4.0×15.0 タテ板	202.8 240	96.0 108 54.0	47.3 16本/0.9m 3.56
サイロ型 (荷物 射出 機器物 処分場)		B=15.0 H=	176.7 (1=0.7m)	31.4 ドラム缶 4本/バック	5.2×5.2×7.0 タテ板	189.28 27.04	560 112.0	59.2 80本/0.9m 17.78
サイロ型 (荷物 射出 機器物 処分場)		B=17.5 H=	240.5 (1=0.8m)	41.9 ドラム缶 4本/バック	8.0×2.6×12.0 タテ板	249.6×2 516×2=1152	230.4 46.2	96本/0.9m 21.33
サイロ型 (荷物 射出 機器物 処分場)		B=20.0 H=	314.2 (1=0.9m)	54.0 ドラム缶 4本/バック	8.0×4.0×7.0 タテ板	224.0×2 504×2=1008	201.6 45	144本/0.9m 32 10.18

(a) トンネル覆工の設計厚さの実施例
; 鉄道トンネル(c) トンネル覆工の設計厚さの実施例
; 発電水路トンネル(b) トンネル幅と覆工設計厚さの実施延長別実
施例 ; 道路トンネル
注 ; 1) 円の面積は施工延長に比例
2) 図上の範囲は昭和39年度土木学会制定
トンネル標準仕方書第48条表-3数値の範囲

(備考)建設省昭和30~35年資料による。

注(1)昭和31~35年の労働省調査資料よりトンネル幅(B)、巻厚(t)、地質の関係を求めたもの。

(2)図上の点および数字は件数を示す。ただしトンネル延長については考慮されていない。

(3)図上の範囲は第48条表-3の数値の範囲を示す。

(4)凡例 \oplus 無欠の堅岩 $\textcircled{①}$ 成層または亀裂があるが大塊状をなす堅岩

$\textcircled{②}$ 小塊状をなす堅岩 \bullet 変質してない破碎岩または砂層、砂礫層

\circ 風化軟岩または粘土層、砂質粘土層 $\textcircled{③}$ 膨張性変質岩または膨張性粘土層

図-3.15 巻厚の実例¹⁴⁾

(3) 検討結果

1) 収納方式と収納効率について

収納方式は、タテ積と俵積がある。サイロ型地下空洞では上部よりクレーン等で吊り下ろし、ドラム缶4本1パッケージを何段かに積み重ねるため、安定上、タテ積のみとした。一方、トンネル、卵型地下空洞では、どちらの方式も採用可能である。

トンネルではタテ積・俵積とも、収納効率^{注1)}はほとんど同じである。一方、卵型地下空洞では、大きさにかかわらず俵積の方が収納効率はよい、という結果を得た（表-3.9）。

表-3.9 構造形式・基本寸法・処分方法毎の収納効率（空洞単位当たり）

構造形式	基本寸法		収納効率(%)	
	BまたはD (m)	H(m)	俵積	タテ積
トンネル	6.30	6.50	0.67	—
	10.5	8.25	3.62	2.71
卵型空洞	10.0	12.2	3.98	2.98
	12.5	15.3	7.63	7.63
	15.0	18.0	11.03	9.93
	17.5	21.4	11.67	11.67
	20.0	24.4	15.89	14.90
	10.0	—	—	4.54
サイロ型 空洞	12.5	—	—	6.52
	15.0	—	—	10.06
	17.5	—	—	8.87
	20.0	—	—	10.18

2) 地下空洞の大きさと収納効率について

トンネル型式は2ケース、卵型地下空洞とサイロ型地下空洞は5ケース、計12ケースについて収納効率を求めた。

その結果の要約を表-3.9に示す。当然の結果ながら、空洞が大きいほど収納効率は向上する。ただし、この結果は、単位延長当たりの検討であり、表-2.1に示したドラム缶換算で150,000本全体を処分する地下空洞の大きさにおいては、所要敷地面積等に差が生じ、経済的な構造型式、大きさを求める必要がある。

このことについては後述するが、結果としては卵型地下空洞の構造型式が有利であり、地下空洞式埋設処分場の断面形状は、図-3.16に示すとおりとした。

また、卵型地下空洞の詳細寸法は表-3.10のとおりとし、以下の検討を進めた。

注1) 地下空洞の全容積に対する廃棄体の実容積。巻末資料参照。

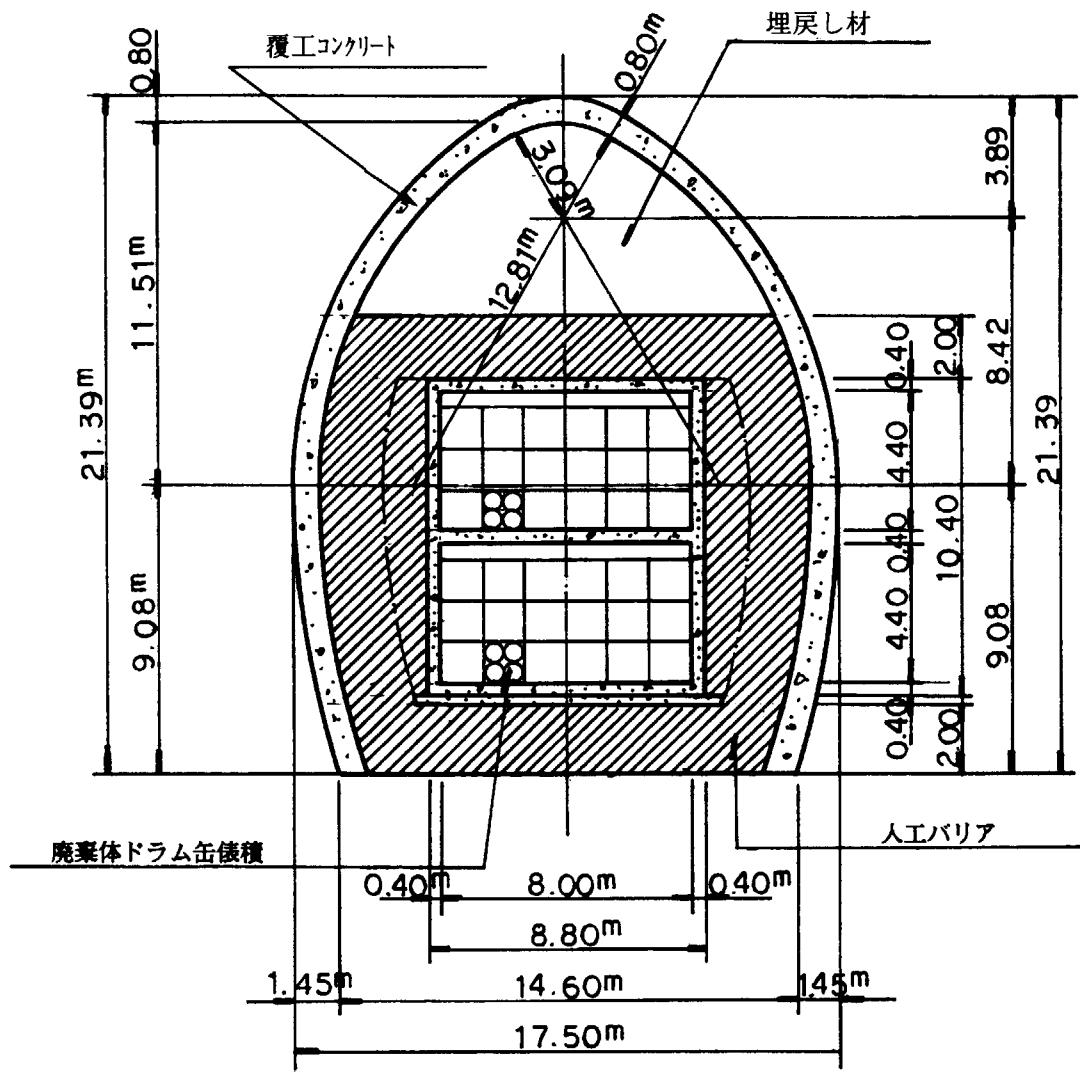


図-3.16 地下空洞式埋設処分場の断面形式

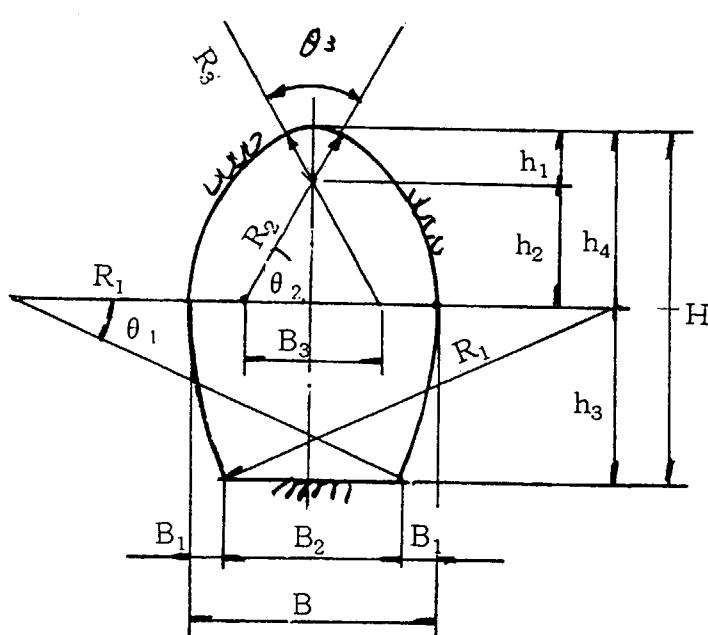
表-3.10 卵型空洞の断面寸法等諸元表

符号	算定式(Bの関数)	空洞の最大幅B(m)					
		10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	
B ₁ (m)	5/3·B(1-cos θ ₁)	0.828	1.035	1.242	1.450	1.657	
B ₂ (m)	B-2B ₁	8.344	10.430	12.516	14.600	16.686	
B ₃ (m)	5/9·B	5.556	6.944	8.333	9.722	11.111	
R ₁ (m)	5/3·B	16.667	20.833	25.000	29.167	33.333	
R ₂ (m)	7/9·B	7.778	9.722	11.667	13.611	15.556	
R ₃ (m)	2/9·B	2.222	2.778	3.333	3.889	4.444	
h ₁ (m)	R ₃ 2/9·B	2.222	2.778	3.333	3.889	4.444	
h ₂ (m)	5/18·B·tan θ ₂	4.811	6.014	7.217	8.420	9.623	
h ₃ (m)	5/3·B·sin θ ₁	5.189	6.486	7.783	9.081	10.378	
h ₄ (m)	h ₁ +h ₂	7.033	8.792	10.550	12.309	14.067	
H(m)	h ₃ +h ₄	12.222	15.278	18.330	21.390	24.445	最大高さ
Σl(m)	2.917·B	29.170	36.463	43.755	51.05	58.34	周囲
A _e (m ²)	0.8951·B ²	89.5	139.3	201.4	274.1	358.0	堀削量
t(m)	覆工コンクリートの厚さ	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	参考値
A _c (m ²)	覆工コンクリートの量	17.0	25.6	35.8	47.8	61.5	

$$\theta_1 = 18^\circ 08' 23''$$

$$= 18.1397^\circ$$

$$\theta_2 = \theta_3 = 60^\circ 00' 00''$$



3.4.2 地下空洞の形状、寸法と設置深さ

本報告では、浅地中埋設処分場を、第三紀に形成され東北日本太平洋側に分布する堆積軟岩層中に構築することを前提とした。この地層は、一般的には比較的安定した地盤条件で形成されているが、地下空洞を構築するには耐荷力が十分ではなく、沈下・変状が生じ、崩壊を起こしたり、地表に大きな変形を及ぼすことも考えられる。

このような現象が予想される岩石や地層を対象とするトンネルは、特にアーストンネルと呼ばれて岩石トンネル（ロックトンネル）と区分されている。

アーストンネルは、土被り厚さが小さいと、施工法にもよるが、掘削趾端を通るすべりが生じたり、空洞天端における引張り応力のため天井崩壊を起こしやすいと言われている。この天井崩壊が遂時拡大すると、地表に大きな変状や陥没が生じることになる。

この崩壊を防止する技術として、施工的には工法選定、支保工の早期設置による変形量の抑制等がある。

一方、空洞の大きさに対し、十分な土被り厚さを計画的に確保することによって、上記の影響を軽減できることも知られている。このようなことから本項では、浅地中地下空洞としての土被り厚さの目安を検討した。

(1) グランドアーチの大きさからの検討

地下空洞掘削後の応力状態によって岩盤が破壊されると、空洞周辺の岩盤は岩塊の集合体に変化する。このような状態では、空洞天端が支持されない限り、岩塊は空洞内に崩壊し、逐次その現象が進行する。しかし、そのうちに安定した一つのゾーンが形成されると考えられ、その安定した形状をTerzaghi はグランドアーチと言っている¹⁵⁾。このグランドアーチを形成する深さの限界 h_a は、地下空洞の幅（または直径） B 及び高さ H と関係しており、安藤(1938)によれば $h_a > 5B$ 、Terzaghi によれば $h_a > 1.5(B + H)$ である（図-3.17）¹⁶⁾。

h_a を地下空洞の設置深さ（土被り厚）の目安として、Terzaghi の式より求めると、卵型地下空洞の大きさ別の設置深さ h_a は、表-3.11 のとおりである。

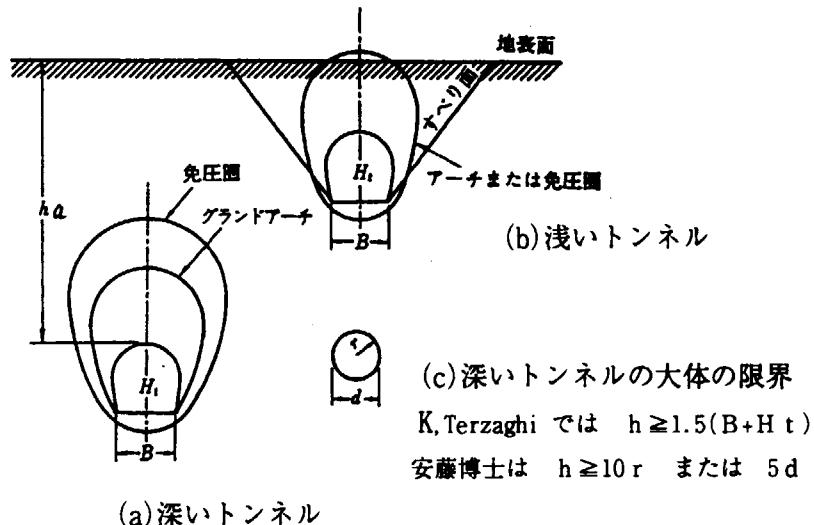


図-3.17 深いトンネルと浅いトンネルの概念¹⁶⁾

表-3.11 地下空洞の設置深さ

B : 幅または直径 (m)	H : 高さ (m)	$h_a = 1.5(B + H)$ (m)	備 考
10.0	12.2	33.3	
12.5	15.3	41.7	
15.0	18.3	42.5	
17.5	21.4	58.4	採用可能
20.0	24.4	66.6	△

この結果と効率(表-3.9)から判断して、幅17.5mと20.0mの空洞が採用可能と考えられる。

(2) 地山強度からの検討

地中に空洞を構築すると、それまで拘束されていた地山の応力(初期応力)が開放され、応力集中が空洞周囲あるいは形状によっては部分的に生じる。この応力集中が山はねを起こす、と言われている。

応力集中の大きさは、最大で地山地圧(土被り重量の3倍)であり、深さ(土被り厚さ)Dと地山強度 q_u が次式で示される関係にあれば、山はねは生じないことになる。2.3項で述べた岩種別の物性値を用いて、山はねを生じない深さDを求めると、表-3.12のとおりであり、平均的には50m程度となる。

$$\gamma \cdot D \leq q_u / 3 \quad (3.11)$$

ここに、 γ ：岩盤の単位体積重量(tf/m^3) $\{\text{kN/m}^3\}$

D：土被り厚さ(m)

q_u ：岩盤の圧縮強度(tf/m^2) $\{\text{MPa}\}$

表-3.12 岩種別地山強度と土被り厚さの関係

岩種	地層名	γ (tf/m^3) $\{\text{kN/m}^3\}$	q_u (tf/m^2) $\{\text{MPa}\}$	D (m)
泥岩 (シルト岩)	多賀層全体	1.55 {15.2}	$3 \cdot D + 50$ $\{(3D+50) \times 9.8 \times 10^{-3}\}$	30.3
	多賀層上部	1.55 {15.2}	170 {1.67}	36.5
凝灰岩	鷹架層	1.70 {16.7}	250 {2.45}	49.0
砂岩	七北田層	1.80 {17.7}	400 {3.92}	74.0

(3) 地表に生じる変位量による設置深さの検討

1) 解析手法と条件

岩盤の挙動をシミュレーションするには、岩盤の不連続性や物性値等を工学的に評価する必要がある。現実の岩盤をそのまま細かく表現するのは不可能であり、理想化・単純化

された形で、いくつかの解析手法が提案されている。これらの解析手法の中で有限要素法(FEM)解析は最も一般化された手法であり、多くの実績により工学的評価のノウハウが蓄積されている。

この項では、FEM解析により地下空洞を卵型($B=17.5\text{m}$, $H=21.4\text{m}$ 、土被り厚さ 50m)として、地表面沈下量・周辺地山の状態を概略的に求め、設置深さ 50m の妥当性について検証した。

- ① 解析メッシュは、図-3.18に示すとおりであり、地盤状況は地表下 10m までを海岸砂、地表下 $10\sim 50\text{m}$ を泥岩とした二層構造とし、全土被りは 50m とした。
- ② 地山各層の物性値は、次表の値を使用した。

表-3.13 地山各層の物性値

	単位体積重量 γ (tf/m ³) [kN/m ³]	変形係数E (kgf/cm ²) [MPa]	粘着力C (tf/m ²) [MPa]	内部摩擦角 ϕ (°)
海岸砂	1.80 {17.7}	100 {9.8}	0 {0}	35
泥岩 (シルト岩)	1.55 {15.2}	3000 {294}	57 {0.56}	22

泥岩の粘着力Cは一軸圧縮強度($q_u=170\text{ tf/m}^2$ {1.67 MPa})と内部摩擦角から、次式により推定した。

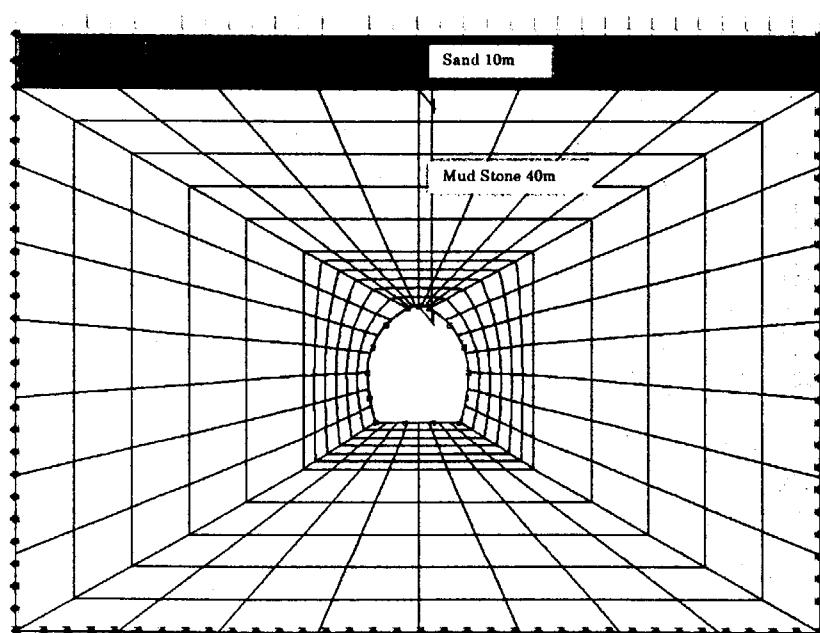
$$C = \frac{q_u}{2} \cdot \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \quad (3.12)$$


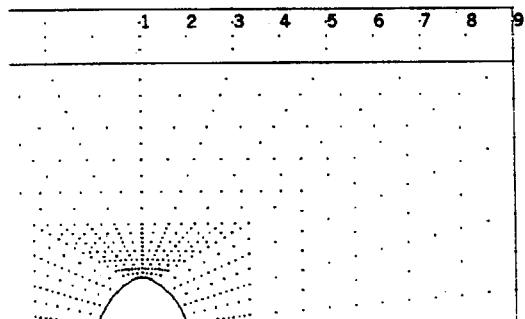
図-3.18 解析メッシュ図

2) 解析結果

掘削に伴う変位量は下表のとおりである。傾斜角は、最大で $2/10,000$ (rad)程度の微小な値となった。また、地表面沈下量の最大は、26.3mmという結果が得られた。

地表面沈下量

No.	トンネルセンター からの離れ(m)	地表面沈下 量(mm)
1	0.00	26.3
2	8.75	25.9
3	17.50	24.8
4	26.25	23.3
5	35.00	21.8
6	43.75	20.6
7	52.50	19.7
8	61.25	19.1
9	70.00	18.9



内空変位量

No.	x座標(m)	y座標(m)	水平変位 (mm)	鉛直変位 (mm)
1	-0.048	0.035	0.0	43.1
2	-4.774	-2.634	14.3	39.1
3	-6.956	-5.459	19.5	31.1
4	-8.329	-8.755	23.2	20.2
5	-8.798	-12.295	25.3	7.9
6	-8.635	-15.368	25.0	-1.5
7	-8.150	-18.406	21.4	-10.1

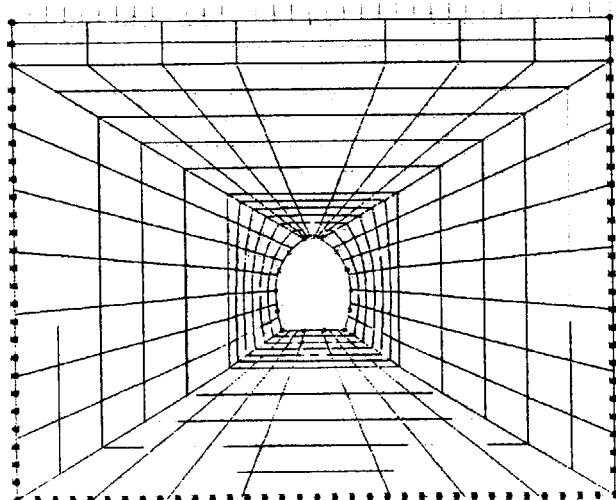
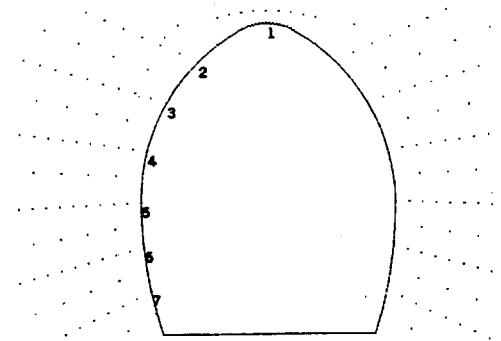


図-3.19 変位分布図

3) 解析結果の評価

地表面沈下量の許容値をどのように設定するかは、地下空洞上部の地表面の用途によって異なる。常識的には、処分場敷地内は管理用地として厳重に制約されることになり、建物等の建設は許容されないものと想定される。

しかし、処分場施設としての地上施設（例えば受け入れ管理棟、一次貯蔵庫等）を、用地確保の都合上設置する可能性もある。また、統合化処分システムとして、素掘り埋設処分場の直下に、地下空洞式埋設処分場を構築することを考慮する必要がある。

これらのことから、地表面での地盤の許容沈下量値を、「建築構造設計基準」¹⁷⁾により評価した。

即時沈下時の沈下量を対象とすると、「建築構造設計基準」では許容相対沈下量

($\theta_{cr}(\text{rad})$) は、RC造りの場合 : 1/2000~1/1000

ブロック造りの場合 : 1/3300~1/1000

となっている。解析結果は1/5000程度であるので、問題はない。

一方、許容最大沈下量の目安は表-3.14 のとおりであり、解析の結果得られた地表面最大沈下量26.3mm（図-3.19）は、ほぼ問題ないと思われる。

特に、この計算値は施工手順や吹付コンクリート、ロックボルト等の支保工を考慮していない安全側のものであることから、現段階においては地下空洞式埋設処分場の設置深さ50mは、ほぼ妥当な値と評価出来る。

表-3.14 地盤の許容沈下量の目安 ¹⁷⁾

①許容相対沈下量は、(3.13)式及び(3.14)式による。

$$\begin{array}{lll} \text{RC構造} & \theta_{cr} = \alpha \cdot 10^{-3} & 1.0 \leq \alpha \leq 2.0 \quad (\text{圧密沈下時}) \\ & & 0.5 \leq \alpha \leq 1.0 \quad (\text{即時沈下時}) \end{array} \quad (3.13)$$

$$\begin{array}{lll} \text{ブロック造} & \theta_{cr} = \alpha \cdot 10^{-3} & 0.5 \leq \alpha \leq 1.0 \quad (\text{圧密沈下時}) \\ & & 0.3 \leq \alpha \leq 1.0 \quad (\text{即時沈下時}) \end{array} \quad (3.14)$$

θ_{cr} : 変形量の許容値(rad)

α : 上限は有害なひび割れが発生する確率が、極めて高い状態を示す。下限は有害なひび割れが発生するかしないかの境界状態を示す。

②許容最大沈下量は、下表による。

許容最大沈下量(標準値) 単位；mm

沈下種別	構造種別	鉄筋コンクリート造			ベタ基礎
		コンクリートブロック造	連続(布)基礎	独立基礎	
即時沈下時の沈下量		15	20	25	40*
圧密沈下時の沈下量		20	50	100	150*

*) 大きい梁せいあるいは2重スラブなどで、剛性が十分大きい場合

3.4.3 地下空洞の形状・寸法と岩種別の離隔距離

単独の地下空洞では安定であっても、複数の地下空洞を構築すると、隣接空洞との離隔距離によっては、安定性が損なわれることが考えられる。

これに関して、旧国鉄及び石油備蓄の検討結果があるので、その要約を以下に引用する。

旧国鉄においては、輸送力増強に伴う線路増設工事において、既設線の単線トンネルに近接して増設線の単線トンネルが掘削されるケースが多く、双設トンネルの離隔距離に関する問題を検討している。その結果は、以下のとおりである¹⁴⁾。

(1)強度の大きい完全弾性体とみなされる地質の場合、単線1号型の断面形で、両トンネルの中心間隔(D)が $D > 2B$ のときは、周辺応力にほとんど影響を与えない(Bはトンネルの幅)。

(2)岩目(亀裂)の発生した均質異方性の軟弱地質の場合でも、 $D > 5B$ にとれば周辺応力に影響を与えない。

(3)応力的見地からは、設計上の問題と爆破方法・支保工の強弱など施工上の問題、および岩石・岩盤の状態・地質的分離面などの地質条件によって、Dの値を判断すべきである。

(1), (2)については、ごく近傍の周辺応力には影響を及ぼさないが、掘削によって地山内部にできる応力圏や主応力線の形が変わることがある。これは地山物質が破壊している場合に相当し、トンネルの土圧(荷重)が変化して、土圧の増加や偏圧が作用する問題が生じことがある。

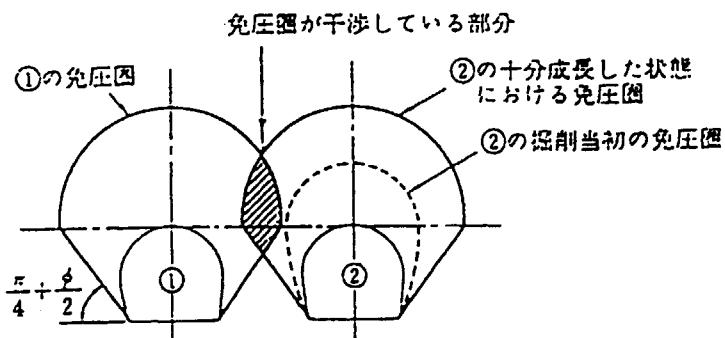


図-3.20 水平層または均質な地山に掘削された双設トンネルの問題¹⁴⁾

①には既に自己の免圧圏の中で安定した応力状態をもっている。②を掘削するときは支障がなかったが、やがて、②の免圧圏が成長して①の免圧圏を干渉する。したがって、①の応力状態を再び乱すことになり、①には変圧が作用し、変状が生ずるようになる。②についても同様である。

②があまり近いと(①が建設時崩壊しているときは、その拡大免圧圏について)、②の掘削中に①の変圧・変状を招く。②は地圧の作用を受ける。

石油備蓄の連接空洞の離隔距離は、力学的条件と地下水理学的条件から決定されている¹³⁾。前者の条件は空洞間の力学的相互作用をある程度まで低減することを目的とし、後者は、空洞からの貯蔵危険物の移流を防ぐ目的である。

力学的条件については、消防法によって、岩盤タンクの空間的相互間の距離は、次に定める値（L）以上を確保することと定められている（図-3.21）¹³⁾。

$$L = \frac{B_1 + H_1 + B_2 + H_2}{4} + R_1 + R_2 \quad (3.15)$$

ここに、L：確保すべき距離（岩盤タンク内壁面から、隣接空間の内壁までの距離）

$B_1, H_1, B_2, H_2, R_1, R_2$ ：下図参照

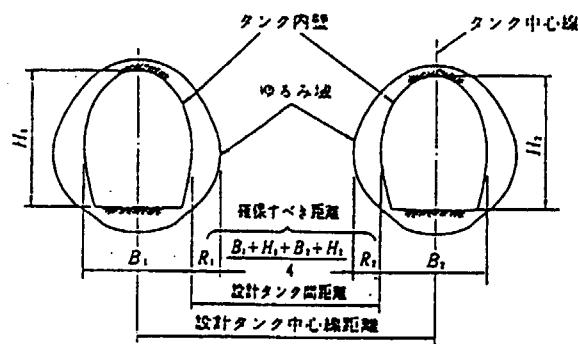


図-3.210 確保すべき距離の概念図

久慈、串木野、菊間の各石油備蓄基地の設計においては、解析手法として2次元線型弾性解析により、ゆるみ域 R_1, R_2 は、局所安全係数 $F_S < 1.5$ の範囲として求められ、中心間の距離は久慈・串木野基地は50m、菊間基地は65mに設定されている（いずれも中心距離は $(B_1 + H_1)/2$ の2.5倍）。

本報告においては、ゆるみ域の範囲 R_1 を以下のように定義し、各岩種別に、空洞の形状・寸法により離隔距離（中心間隔）を求め、その数値は、

$$3 \times \frac{B_1 + H_1}{2} \quad (3.16)$$

以上を確保することとした。

トンネル半径を R_a 、トンネル中心から塑性領域と弾性領域の限界までの半径を R_0 、岩種別の「ゆるみ領域係数」を β とすると、

$$R_0 = \beta \cdot R_a, R_1 = R_0 - R_a = \beta \cdot R_a - R_a = R_a (\beta - 1) \quad (3.17)$$

となる。

(1) 岩種別のゆるみ領域係数 β

一般的には、鉛直方向の地圧は水平方向の地圧よりもかなり大きい。褶曲作用その他の作用によって、ほぼ等しい場合や上回る地圧を示すこともある。

Kastner¹⁸⁾はこのような場合、側圧係数が1（静水圧状態）において塑性領域が生ずる地山を想定し、トンネル周辺の応力状態を導いている。

トンネルの半径を R_a と、トンネル中心から塑性領域と弾性領域の限界までの半径 R_0 との関係は、次式で与えられる。

$$R_0 = R_a \left(\frac{2}{\alpha + 1} \cdot \frac{P(\alpha - 1) + qu}{qu} \right)^{\frac{1}{\alpha - 1}} \quad (3.18)$$

ここに P : 地山の鉛直土圧 $P = \gamma \cdot D$ (tf/m^2) (MPa)
 γ : 地山の単位体積重量 (tf/m^3) (kN/m^3)
 D : 土被り厚さ (m)
 q_u : 地山の一軸圧縮強度 (tf/m^2) (MPa)
 α : $\alpha = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$
 ϕ : 地山の内部摩擦角 ($^\circ$)

$R_0 = \beta R_a$ であるので、 $\beta \leq 1$ の場合ゆるみは生じないことになる。
ここで、ゆるみ領域係数 β は次式で表される。

$$\beta = \left(\frac{2}{\alpha + 1} \cdot \frac{P(\alpha - 1) + q_u}{q_u} \right)^{\frac{1}{\alpha - 1}} \quad (3.19)$$

上式から明らかなように、 β は地下空洞の土被り厚さ D と、地山の強度（内部摩擦角 ϕ 、一軸圧縮強度 q_u ）によって値が影響される。また、 β の値によって隣接する地下空洞の離隔距離、さらには処分場の敷地面積の大きさに影響を与えることになる。

したがって、この項では前述した岩種別の地盤工学的物性値を参考に、それぞれの岩種、強度について、土被り厚を変化させて影響の程度を検討した。その結果は以下のとおりである。

(2) 岩種別の地盤工学的物性値とゆるみ領域係数 β

本検討で対象とする岩種は、泥岩・凝灰岩・砂岩の堆積岩であり、既存のデータでは、地盤工学的物性値は相当のバラツキが認められている。

本検討では、代表的な岩種別の物性値を、以下のとおり設定した。

多賀層に関しては、一軸圧縮強度 q_u が深度方向に増加する場合 (β_1) と、これ以外に、深度 50m 付近で $q_u = 150 (\text{tf}/\text{m}^2)$ {1.47 MPa} とした場合 (β_2)、及び深度 200m 付近で $q_u = 350 (\text{tf}/\text{m}^2)$ {3.43 MPa} とした場合 (β_3) についても検討した。

計算結果は、表-3.16・図-3.22 のとおりである。

土被り厚 50m までは、 β_2 の場合 (単位体積重量 $\gamma_{\text{sat}} = 15.2 \text{ kN}/\text{m}^3$) 以外は、いずれの岩種でもゆるみが生じない計算結果となっている。

一方、泥岩の強度 q_u が深度方向に増加するように設定した場合 (β_1)、深度 300m 付近までにゆるみは生じない。他の場合はゆるみが生じ、ゆるみ領域係数 β は深度 70~100m 間で 1.0 ~ 1.2 である。

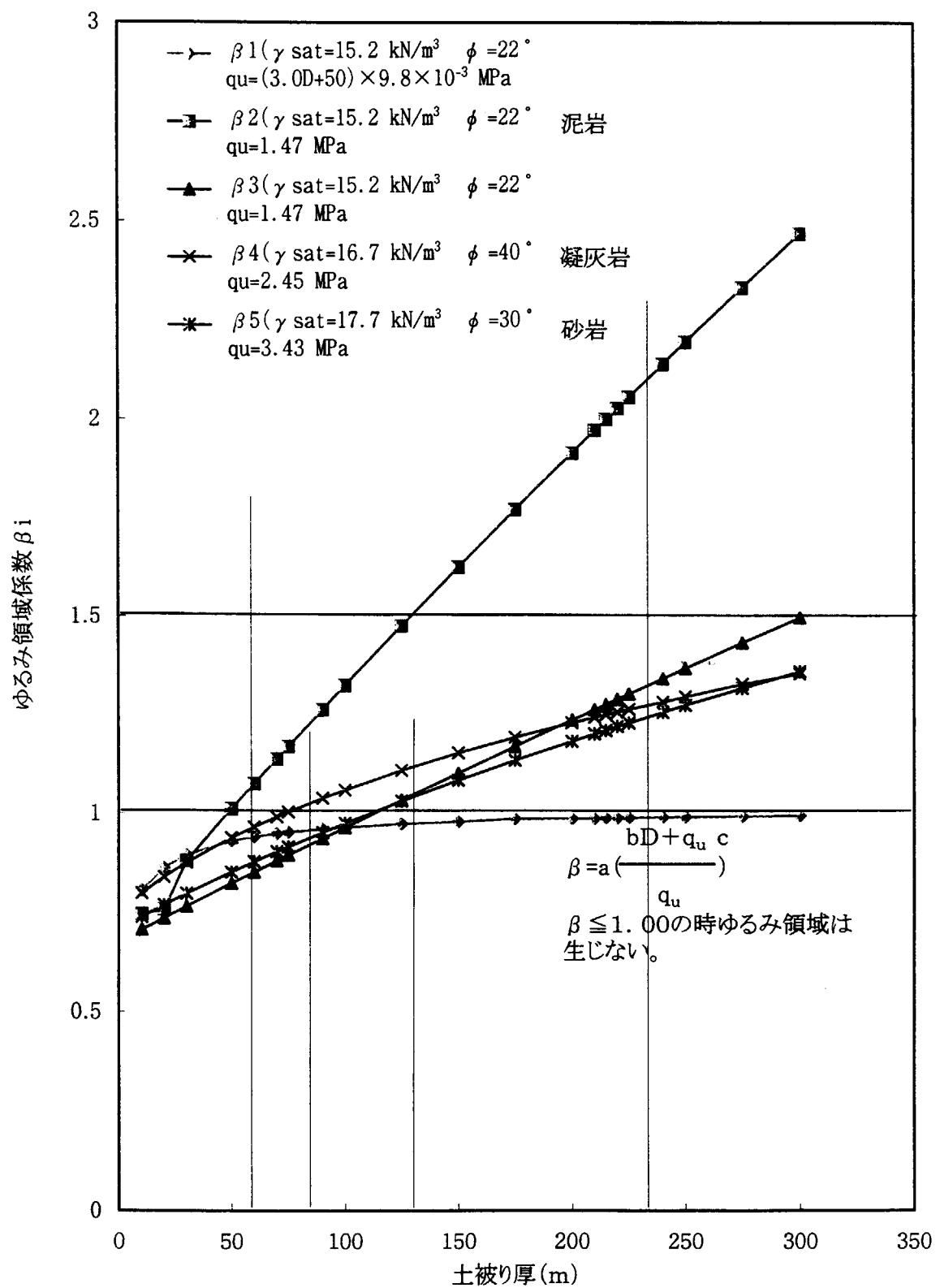
表-3.15 岩種別の地盤工学的物性値

岩種 物性値	泥 岩			凝灰岩	砂岩
	多賀層 深度方向增加	多賀層 50m付近 平均	多賀層 200m付近 平均	鷹架層	七北田層
γ (tf/m ³) {kN/m ³ }	1.55 {15.2}	1.55 {15.2}	1.55 {15.2}	1.70 {16.7}	1.80 {17.7}
ϕ (°)	22	22	22	40°	30°
q_u (tf/m ²) {MPa}	3D*+50 {(3D+50) × 9.8 × 10 ⁻³ }	150 {1.47}	350 {3.43}	250 {2.45}	400 {3.92}

* D: 深さ (m)

表-3.16 岩種別の地盤工学的特性値とゆるみ領域係数 β_i

岩種	泥岩			凝灰岩	砂岩
γ_{sat} (tf/m ³)	1.55			1.7	1.8
(kN/m ³)	15.2			16.7	17.7
ϕ (度)	22			40	30
qu(tf/m ²)	3.0D+50	150	350	250	400
(MPa)	(3.0D+50)*9.8*10 ⁻³	1.47	3.43	2.45	3.92
係数 a	0.676	0.676	0.676	0.751	0.707
b	4.857	4.857	4.857	6.118	3.6
c	0.835	0.835	0.835	0.278	0.5
土被り厚	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
D=10m	0.805	0.745	0.706	0.798	0.738
20	0.862	0.757	0.735	0.839	0.768
30	0.894	0.880	0.765	0.875	0.797
50	0.929	1.011	0.823	0.938	0.851
60	0.940	1.075	0.851	0.965	0.877
70	0.948	1.138	0.880	0.991	0.903
75	0.952	1.170	0.894	1.003	0.915
90	0.960	1.263	0.936	1.038	0.951
100	0.964	1.325	0.964	1.059	0.975
125	0.973	1.476	1.034	1.109	1.031
150	0.978	1.624	1.102	1.153	1.084
175	0.986	1.770	1.170	1.193	1.135
200	0.987	1.913	1.237	1.230	1.183
210	0.987	1.970	1.263	1.244	1.202
215	0.988	1.998	1.276	1.251	1.211
220	0.988	2.026	1.290	1.257	1.221
225	0.989	2.054	1.303	1.264	1.230
240	0.990	2.138	1.342	1.283	1.257
250	0.991	2.194	1.368	1.296	1.275
275	0.992	2.331	1.433	1.328	1.318
300	0.994	2.467	1.497	1.354	1.360

図-3.22 岩種別の地盤工学的特性値とゆるみ領域係数 β_i

(3) 地山の地盤工学的物性値とゆるみ領域数 β との相関

前述のように、ゆるみ領域係数 β は $\gamma \cdot \phi \cdot q_u$ の関数である。一般に、これらにはバラツキ等があり、一つの正しい数値を設定することは困難である。これに対処するため、ある範囲を設けたり安全率を配慮することが、実際の構造設計には取入れられている。

これらに関連した考え方から、本項では、求めるゆるみ領域係数 β に対して、物性値の変化がどの程度影響するかを検討した。

検討ケース及び検討結果は、表-3.17・表-3.18・図-3.23及び図-3.24 のとおりである。これらの図表から次のことが言える。

- ① 土被り厚さ $D = 50m \cdot 100m \cdot 200m$ でみると、深い方が物性値の変化によって、 β は大きな影響を受ける。
- ② 物性値（単位体積重量 γ ・地山の内部摩擦角 ϕ ・一軸圧縮強さ q_u ）のうち、 q_u の変化が β へ最も大きい影響を与える。
- ③ γ の変化が $1.7 \sim 1.9 \text{tf/m}^3$ ($16.7 \sim 18.6 \text{kN/m}^3$) の範囲では、 β は $1 \sim 4\%$ の影響を受ける。
- ④ 検討した物性値の変化程度では、地下空洞の幅を最大 $20m$ としても、ゆるみ領域は $5.0m$ 以内の差しか生じない。

(4) 隣接する空洞との中心間隔の検討

隣接する地下空洞の中心間隔は、双設トンネルでの経験式や、岩盤タンクについての消防法の規定等から求められた。この項では、(2)で求めた岩種別のゆるみ領域を利用して、地下空洞の中心間隔を検討した。

その結果は、表-3.19 のとおりである。これは、浅地中埋設の場合、深度 $50m$ 付近ではいずれの岩種とも、ゆるみ領域は生じない計算結果を示している ($\beta < 1.000$)。

一方、近接トンネルの離隔距離に関しては、地質条件によって変化し、トンネル中心間隔を掘削径の 2 倍（地山が完全弾性体と考えられる場合）～5 倍（軟弱な地山の場合）とされている^{1,2)}。

本検討で対象としている軟岩について、上記の考え方で中心間隔を地下空洞幅の 3 倍程度とすれば、表-3.19 の右端の欄に示したように、前述した岩種別の中間隔の値は内包される。したがって、以下の検討では、地下空洞幅の 3 倍の値を採用することとした。

表-3.17 物性値の与える β_i の影響度

検討目的	物性値		土被り厚さ D=50mの時の β_i		土被り厚さ D=100mの時の β_i		土被り厚さ D=200mの時の β_i	
	一定	変化	β_i	比率	β_i	比率	β_i	比率
γ の変化 と β_i	$\phi = 30^\circ$ $qu = 400$	$\gamma = 1.70$	0.844	1.000	0.962	1.000	1.162	1.000
		1.80	0.851	1.008	0.975	1.057	1.183	1.018
		1.90	0.859	1.018	0.987	1.070	1.204	1.036
	$\phi = 35^\circ$ $qu = 350$	$\gamma = 1.80$	0.885	1.000	1.006	1.000	1.192	1.000
		1.90	0.893	1.023	1.018	1.012	1.210	1.015
	$\phi = 35^\circ$ $qu = 400$	$\gamma = 1.80$	0.868	1.000	0.978	1.000	1.150	1.000
		1.90	0.875	1.008	0.989	1.011	1.167	1.015
ϕ の変化 と β_i	$\gamma = 1.80$ $qu = 350$	$\phi = 30^\circ$	0.870	1.000	1.007	1.001	1.236	1.037
		35°	0.885	1.017	1.006	1.000	1.192	1.000
	$\gamma = 1.80$ $qu = 400$	$\phi = 30^\circ$	0.851	1.000	0.975	1.000	1.183	1.029
		35°	0.868	1.020	0.978	1.003	1.150	1.000
	$\gamma = 1.90$ $qu = 350$	$\phi = 30^\circ$	0.878	1.000	1.021	1.003	1.259	1.040
		35°	0.893	1.017	1.018	1.000	1.210	1.000
	$\gamma = 1.90$ $qu = 400$	$\phi = 30^\circ$	0.859	1.000	0.987	1.000	1.204	1.033
		35°	0.878	1.022	0.989	1.002	1.167	1.000
qu の変化 と β_i	$\gamma = 1.80$ $\phi = 30^\circ$	$qu = 350$	0.870	1.022	1.007	1.033	1.236	1.045
		400	0.851	1.000	0.975	1.000	1.183	1.000
	$\gamma = 1.80$ $\phi = 35^\circ$	$qu = 350$	0.885	1.020	1.006	1.029	1.192	1.037
		400	0.868	1.000	0.978	1.000	1.150	1.000
	$\gamma = 1.90$ $\phi = 30^\circ$	$qu = 350$	0.878	1.022	1.021	1.034	1.259	1.046
		400	0.859	1.000	0.987	1.000	1.204	1.000
	$\gamma = 1.90$ $\phi = 35^\circ$	$qu = 350$	0.893	1.023	1.018	1.029	1.210	1.037
		400	0.873	1.000	0.989	1.000	1.167	1.000

比率は各項の β_i 最小値を1.000としたときの比を示す。

SI単位比較表

γ		qu	
(tf/m ³)	(kN/m ³)	(tf/m ²)	(MPa)
1.70	16.7	350	3.43
1.80	17.7	400	3.92
1.90	18.6		

表-3.18 物性値の相違とゆるみ領域係数の変化

γ_{sat} (tf/m ³)	1.8				1.9				1.7
(kN/m ³)	17.7				18.6				16.7
ϕ	30		35		30		35		30
qu (tf/m ²)	400	350	400	350	400	350	400	350	400
(MPa)	3.92	3.42	3.92	3.42	3.92	3.42	3.92	3.42	3.92
係数 a	0.707	0.707	0.728	0.728	0.707	0.707	0.728	0.728	0.728
b	3.600	3.600	4.842	4.842	3.800	3.800	5.111	5.111	4.842
c	0.500	0.500	0.372	0.372	0.500	0.500	0.372	0.372	0.372
D=10 ^m	0.738	0.742	0.760	0.739	0.740	0.744	0.761	0.766	0.736
20	0.768	0.776	0.789	0.797	0.771	0.780	0.792	0.801	0.765
30	0.797	0.809	0.817	0.828	0.801	0.814	0.821	0.821	0.792
50	0.851	0.870	0.868	0.885	0.859	0.878	0.875	0.893	0.844
60	0.877	0.899	0.892	0.912	0.886	0.909	0.900	0.920	0.869
70	0.903	0.927	0.915	0.937	0.912	0.938	0.923	0.946	0.893
75	0.915	0.941	0.926	0.949	0.925	0.952	0.935	0.959	0.905
90	0.951	0.981	0.958	0.984	0.963	0.994	0.968	0.995	0.939
100	0.975	1.007	0.978	1.006	0.987	1.021	0.989	1.018	0.962
125	1.031	1.069	1.026	1.058	1.046	1.085	1.038	1.071	1.015
150	1.084	1.127	1.070	1.106	1.101	1.145	1.084	1.121	1.066
175	1.135	1.183	1.114	1.150	1.154	1.204	1.127	1.167	1.115
200	1.183	1.236	1.150	1.192	1.204	1.259	1.167	1.210	1.162
210	1.202	1.257	1.165	1.208	1.224	1.280	1.182	1.227	1.180
215	1.211	1.267	1.173	1.216	1.233	1.291	1.190	1.235	1.189
220	1.221	1.277	1.180	1.224	1.243	1.301	1.198	1.243	1.198
225	1.230	1.287	1.187	1.232	1.252	1.312	1.205	1.251	1.207
240	1.257	1.317	1.208	1.255	1.280	1.343	1.227	1.274	1.233
250	1.275	1.336	1.220	1.269	1.299	1.363	1.241	1.290	1.250
275	1.318	1.383	1.256	1.305	1.344	1.411	1.275	1.326	1.292
300	1.360	1.429	1.288	1.339	1.387	1.459	1.308	1.361	1.332

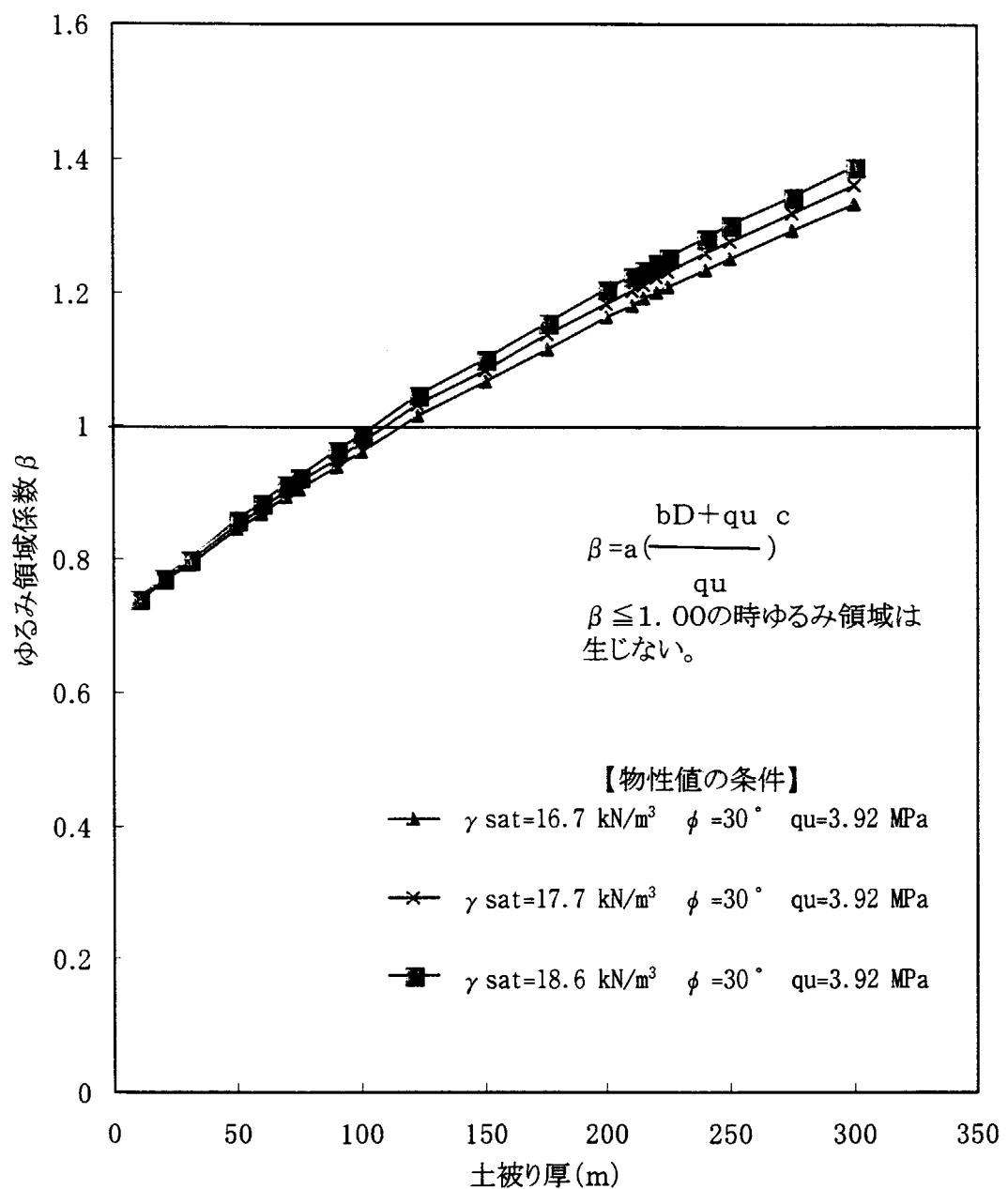


図-3.23 物性値の相違とゆるみ領域係数の変化(1)

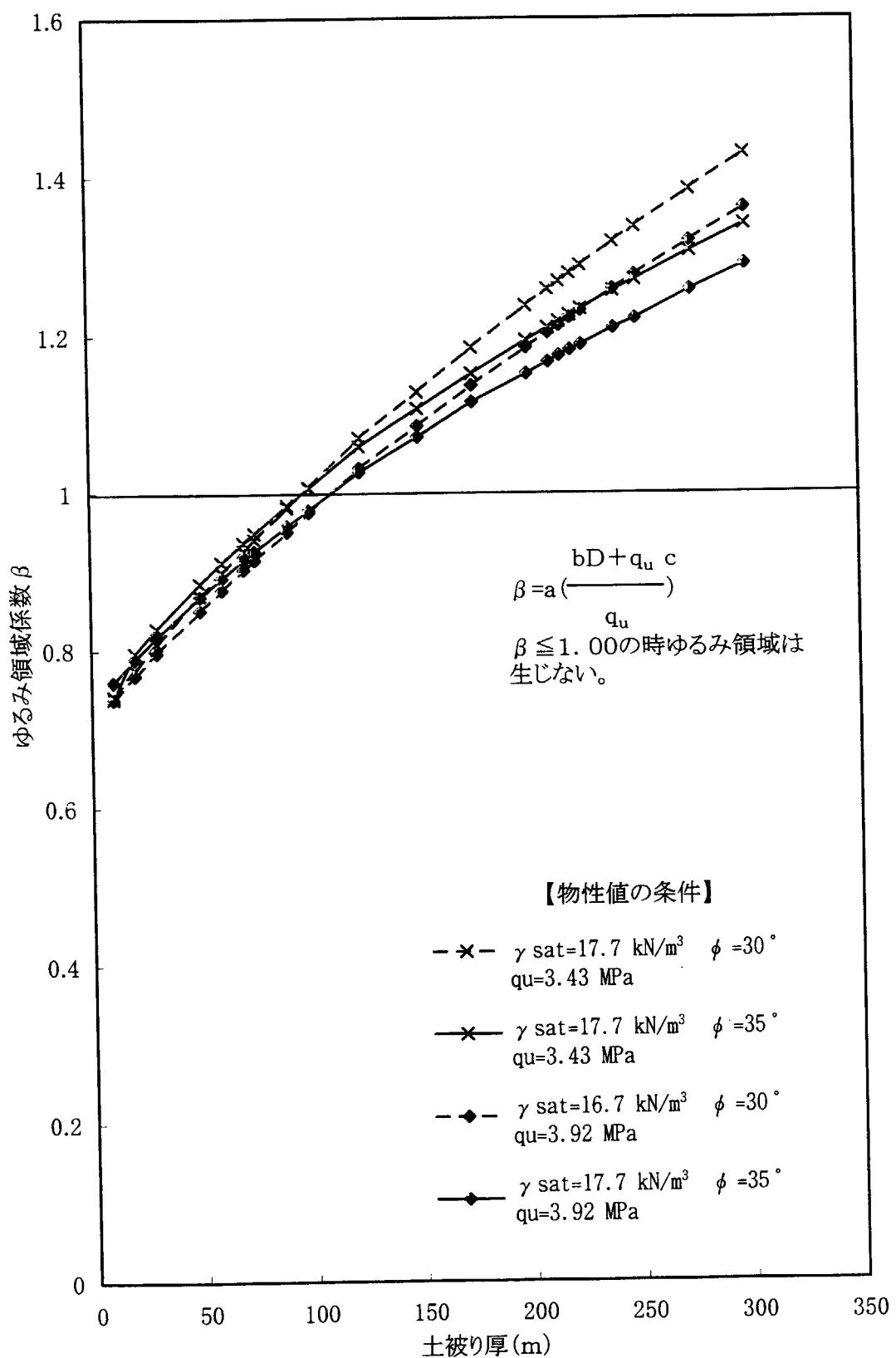


図-3.24 物性値の相違とゆるみ領域係数の変化（2）

表-3.19 地下空洞の構造・寸法と、岩種別の隣接する空洞との中心間隔（地下50m）

浅地中埋立

構造形式	基本寸法			岩種別隣接する空洞との中心間隔（計算値）										深川町 $3 \times \left(\frac{B + H}{2} \right)$ (m)	
	最大幅 B (m)	最大高さ H (m)	土盛り D' (m)	泥 岩			凝灰岩			砂 岩			$\gamma_{\text{sat}}=1.80, \phi'=30^\circ, q_u=100$		
				β	$2 \cdot R_a$	$L = \frac{B_1 + H}{2} + 2 \cdot R_a$	β	$2 \cdot R_a$	$L = \frac{B_1 + H}{2} + 2 \cdot R_a$	β	$2 \cdot R_a$	$L = \frac{B_1 + H}{2} + 2 \cdot R_a$			
トンネル (鉄道)	6.3	6.5	6.4	53.3	0.933 <1.00	6.4	12.8=15.0 <1.00	0.947 <1.00	6.4	12.8=15.0 <1.00	0.860 <1.00	6.4	12.8=15.0 <1.00	20.0	
10.5	8.3	9.4	9.4	54.2	0.934 <1.00	9.4	18.8=20.0 <1.00	0.950 <1.00	9.4	18.8=20.0 <1.00	0.862 <1.00	9.4	18.8=20.0 <1.00	30.0	
12.5	12.2	11.1	11.1	56.1	0.936 <1.00	11.1	22.2=25.0 <1.00	0.955 <1.00	11.1	22.2=25.0 <1.00	0.867 <1.00	11.1	22.2=25.0 <1.00	35.0	
15.3	15.3	13.9	13.9	57.7	0.938 <1.00	13.9	27.3=30.0 <1.00	0.959 <1.00	13.9	27.3=30.0 <1.00	0.871 <1.00	13.9	27.3=30.0 <1.00	42.5	
16.0	18.3	16.7	16.7	59.2	0.939 <1.00	16.7	33.4=35.0 <1.00	0.963 <1.00	16.7	33.4=35.0 <1.00	0.875 <1.00	16.7	33.4=35.0 <1.00	52.5	
17.5	21.4	19.5	19.5	60.7	0.941 <1.00	19.5	39.0=40.0 <1.00	0.967 <1.00	19.5	39.0=40.0 <1.00	0.879 <1.00	19.5	39.0=40.0 <1.00	60.0	
20.0	24.4	22.2	22.2	62.2	0.942 <1.00	22.2	44.4=45.0 <1.00	0.971 <1.00	22.2	44.4=45.0 <1.00	0.883 <1.00	22.2	44.4=45.0 <1.00	67.5	
10.0	40.0	25.0	25.0	50.0	0.948 <1.00	25.0	50.0=50.0 <1.00	0.991 <1.00	25.0	50.0=50.0 <1.00	0.903 <1.00	25.0	50.0=50.0 <1.00	75.0	
12.5	40.0	26.3	26.3	52.6	0.948 <1.00	26.3	52.6=55.0 <1.00	0.991 <1.00	26.3	52.6=55.0 <1.00	0.903 <1.00	26.3	52.6=55.0 <1.00	80.0	
15.0	40.0	27.5	27.5	55.0	0.948 <1.00	27.5	55.0=55.0 <1.00	0.991 <1.00	27.5	55.0=55.0 <1.00	0.903 <1.00	27.5	55.0=55.0 <1.00	82.5	
17.5	40.0	28.9	28.9	57.8	0.948 <1.00	28.9	57.8=60.0 <1.00	0.991 <1.00	28.9	57.8=60.0 <1.00	0.903 <1.00	28.9	57.8=60.0 <1.00	87.5	
20.0	40.0	30.0	30.0	60.0	0.948 <1.00	30.0	60.0=60.0 <1.00	0.991 <1.00	30.0	60.0=60.0 <1.00	0.903 <1.00	30.0	60.0=60.0 <1.00	90.0	

* $D'=(50.0+50.0)/2$ (m)

3.4.4 地下空洞の基数及び所要敷地面積

(1) 地下空洞の基数

地下空洞の構造型式・形状・寸法については、3.4.1項で述べたとおりである。

図-3.16 に示した標準断面を採用する。

内部仕切の一画の大きさを、幅8.0m×高さ4.4m×長さ7.0mとする。これを上下2段に重ねる。各区画の境は、厚さ0.4mのコンクリート壁とした。

1基あたりの延長は、後述するモデル敷地形状を考慮して285mと設定した。所要の基数は次のとおりとなる。

$$1\text{区画の内空体積} : B8.0\text{m} \times H4.4\text{m} \times L7.0\text{m} = 246.4\text{m}^3$$

$$\text{ドラム缶収納本数} : 4\text{本} 1\text{パック} \text{ 俵積}$$

$$4\text{本} \times 6\text{パック} \times 3\text{段} \times 7\text{列} \times 2 = 1,008\text{本}$$

$$1,008 \times 0.2$$

$$\text{収納効率} : \frac{1,008}{246.4 \times 2} \times 100 = 40.9\%$$

$$1\text{基あたりの区画数} : 285\text{m} \div 7.4\text{m} \quad (1\text{区画延長}) = 38.3 \rightarrow 38\text{区画}$$

$$1\text{基あたりのドラム缶本数} : 1,008\text{本} \times 38\text{区画} = 38,304\text{本}$$

R I・研究所等廃棄物のうち、浅地中処分相当の量は、表-2.1に示したように200ドルドラム缶換算で150,000本である。

したがって、B=17.5m、H=21.4m、L=285mの卵型地下空洞の所要基数は、次のように4基となる。

$$150,000\text{本} \div 38,304\text{本} / \text{基} = 3.92\text{基} \rightarrow 4\text{基}$$

(2) 所要敷地面積

地下空洞の所要敷地面積は、地下空洞を4基配置し（一基あたり延長285m）、3.4.3項で述べた離隔距離（中心距離65.0m）及びアクセス用立坑、連絡坑道を考慮すると、基本図（図-3.25）のように、316m×230m=72,800m²となる。

なお、比較検討として、1基あたりの延長をモデル敷地形状に合わせて250m程度と設定した場合について、地下空洞の構造形式・寸法ごとに、その基数、所要敷地面積を求めた（表-3.20）。これからも明らかなように、単線直流電化用トンネルでは収納効率が極めて悪いために、全体の所要面積は非現実的な $3.6 \times 10^6\text{ m}^2$ となる。

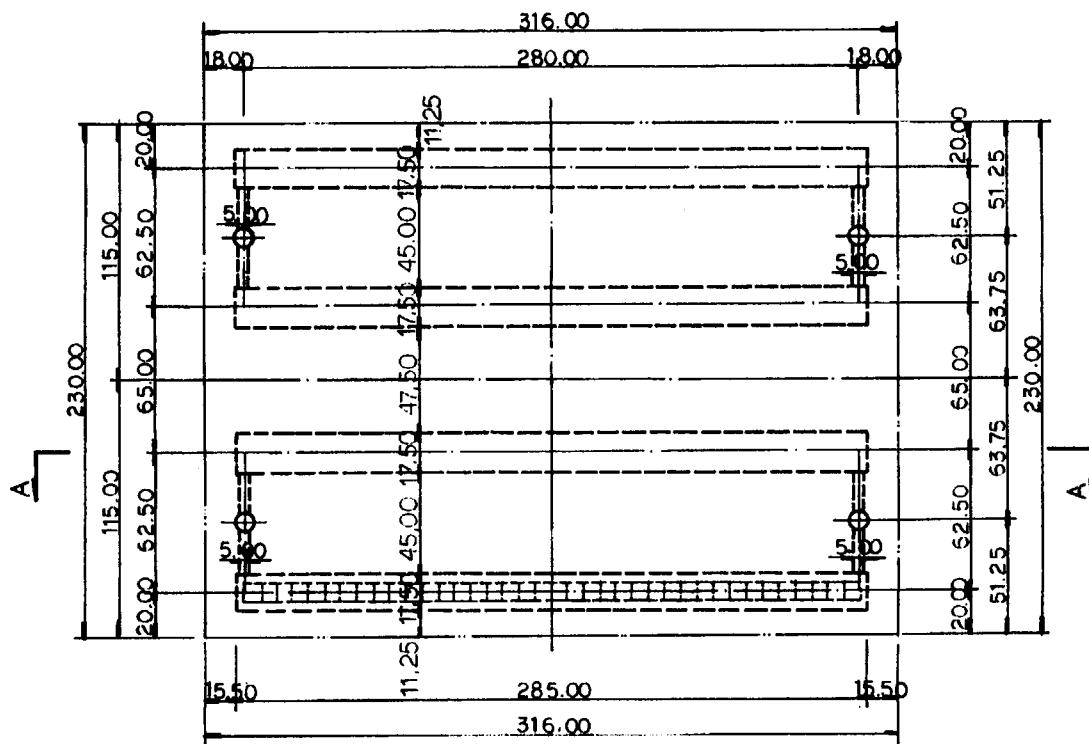
また、本報告のおもな目的である統合化処分システムの構築に関しては、素掘り埋設処分場の直下に地下空洞式埋設処分場を設置することになる。

したがって、検討の結果によると、 10^5 m^2 以内の所要敷地面積で配置可能な卵型地下空洞が有利であると考えられる。

表-3.20 地下空洞式処分場の構造形式、寸法と処分場の規模

構造形式	基本形状	1m当たり工事量		底盤体観察方法		1区画(内施仕切)の諸元		処分場下空洞1基当たりの諸元		見分の規範		
		基本寸法(m)	鋼製(m ²)	運搬	収納方式	1区画の大きさ(m)	ドラム缶(200L)取納本数(本)	空洞1基当たりの底長、深さ	空洞1基当たりの底長、深さ	空洞の所要面積(m ²)	空洞の所要面積(基)	所要面積(ha)
トンネル (鉄道)	半導電液化用トンネル	B=6.3 H=6.5	33.3 (i=0.3)	6.0 4本/1バ'ガ	後側 ドラム缶 4本/1バ'ガ	b×h×l 0.8×0.8×250	250	250	250×1×250 =6,000	150,000÷250=600	360	×
	新幹線直通トンネル	B=10.5 H=8.3	73.7 (i=0.5m)	15.9 4本/1バ'ガ	後側 ドラム缶 4本/1バ'ガ	4.0×1.5×41	492	250	492×6=2,952	300×30=9,000	150,000÷2,952=51	46
単層 (石炭搬送)	B=10.0 H=12.2	89.5 (i=0.5m)	17.0 (i=0.5m)	ドラム缶 4本/1バ'ガ	後側 タテ横 4.0×1.2×52	480	265	480×6=2,400	300×30=9,000	150,000÷2,400=63	57	×
	B=12.5 H=15.3	139.5 (i=0.6m)	25.5 (i=0.6m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	2.6×3.0×32.0 2.6×2.4×39.0	512	260	512×8=4,096	300×35=10,500	150,000÷4,096=37	39	×
複層 (石炭搬送)	B=15.0 H=18.3	201.4 (i=0.7m)	35.8 (i=0.7m)	2.4×4.4×10.5 タテ横	5.2×6.5×5.0 6.3×6.5×5.0	480	250	480×6=2,880	300×35=10,500	150,000÷2,880=52	55	×
	B=17.5 H=21.4	274.1 (i=0.8m)	47.5 (i=0.8m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	5.2×6.5×5.2 6.3×6.5×5.2	512	260	512×8=4,096	300×35=12,750	150,000÷4,096=37	39	×
D=10.0 H=30.0	B=20.0 H=24.4	358.0 (i=0.9m)	61.5 (i=0.9m)	2.4×4.4×10.5 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=2,048	480	250	480×6=2,880	300×35=12,750	150,000÷2,880=52	55	×
	D=12.5 H=30.0	432.0 (i=0.5m)	78.5 (i=0.5m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=1,920	480	250	480×6=2,880	300×35=12,750	150,000÷2,880=52	55	×
サイロ型 (油外貯蔵、 生産物処分場)	D=15.0 H=30.0	507.0 (i=0.7m)	14.9 (i=0.5m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=1,920	480	30m	480×1=480	75×75×5,625 =2,812,500	150,000÷480=313	176	×
	D=17.5 H=30.0	581.0 (i=0.8m)	22.4 (i=0.6m)	2.4×4.4×10.5 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=2,048	540	30m	540×2=1,080	80×80=6,400	150,000÷6,400=23.4	9	○
D=20.0 H=30.0	D=20.0 H=30.0	655.0 (i=0.9m)	34.0 (i=0.9m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=2,048	560	30m	560×4=2,240	82.5×82.5=6,806	150,000÷6,806=22.1	46	×
	D=22.5 H=30.0	730.0 (i=0.5m)	42.4 (i=0.5m)	2.4×4.4×10.0 タテ横	5.2×5.8×7.8 312×2×2■=2,048	580	30m	580×4=2,320	87.5×87.5=7,656	150,000÷7,656=19.6	50	×

平面图



A~A断面

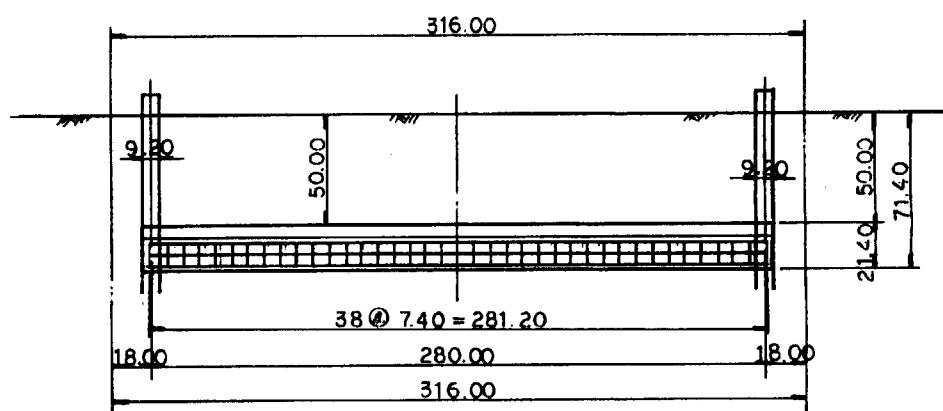


図-3.25 地下空洞式埋設処分場の基本図

3.4.5 アクセス施設設備の考え方

地下空洞式埋設処分場のアクセス施設は、立坑と連絡坑道の組み合わせとする。供用時における廃棄体の運搬は、立坑内では貨物用エレベーター（2t用）、連絡坑道内では輸送容器等によるものとする。

なお、立坑等アクセス施設は、避難路の確保や換気用給排気口に利用すること等により、2経路以上確保することが望ましいと思われる。

また、地下空洞の構築に際しては、工期にもよるが、資機材運搬、掘削残土運搬等が錯綜すると考えられるので、地下空洞2基を1工区とし、1工区あたり2本の立坑を設けることにした。

立坑の大きさは、エレベーターホール・給排気・給排水及び電線等のダクトのスペースを考慮して、内径8.0m程度の円形とした。

わが国の研究事例及び諸外国のアクセス施設を含む全体の概念図事例を、巻末資料として添付した。

3.4.6 概算建設費

地下空洞式埋設処分場の土木工事費を、基本図（図-3.25）に基づき概算した。概算工種は、①用地費・②アクセス施設費（立坑・連絡坑道）・③空洞費（掘削・コンクリート・鉄筋）・④安全対策費（充填工・人工バリア・埋戻し）・⑤残土処理費である（この工種は以下の項も共通）。その結果を表-3.21に示す。

参考値として、土木工事費を廃棄体処分量（30,000m³、150,000本）で除した建設単価を求めるとき、次のとおりである。

廃棄体 1 m³あたり建設単価 736,555円／m³

廃棄体 ドラム缶詰 1 本あたり建設単価 147,320円／本

表-3.21 地下空洞式埋設処分場の概算工事費

工 種			単位	数 量	単価 (円)	工事費 (千円)	備考	
① 用地費			m ²	72,700	15,000	1,090,500		
② アクセス施設費	立坑	掘削	m ³	213,00	23,000	489,900		
		コンクリート	〃	5,200	49,000	254,800		
		鉄筋	t	210	216,000	45,360		
	連絡坑道	掘削	m ³	4,050	40,000	162,000		
		コンクリート	〃	820	46,000	37,720		
		鉄筋	t	25	246,000	6,150		
③ 空洞費	地下空洞 B=17.5 m H=21.4 m	掘削	m ³	312,500	23,600	7,375,000		
		コンクリート	覆工	〃	55,000	52,000	2,860,000	
		内部仕切	〃	25,000	46,000	1,150,000		
		鉄筋	覆工	t	2,750	236,000	649,000	
		内部仕切	〃	1,250	246,000	307,500		
		充填工	m ³	44,300	49,000	2,170,700		
④ 安全対策費		人工バリヤ	〃	93,500	26,500	2,477,750		
		埋め戻し	〃	60,500	22,000	1,331,000		
		⑤ 残土処分費	〃	337,850	5,000	1,689,250		
計			式	1		22,096,630		

3.5 地下深部埋設処分場

3.5.1 効率的に優れた構造形式、寸法及び設置深さ

地下深部埋設処分場はR I・研究所等廃棄物のうち、高 $\beta\gamma$ 相当及びT R U相当の長半減期の廃棄物を対象としている。

わが国においては、放射性廃棄物処分場として地下深部空洞を施工した実績はなく、様々な機関で研究が進められているのが実情である。

この項では、トンネル・卵型地下空洞及びサイロ型地下空洞について検討した。これは、3.4項で述べた地下空洞式の浅地中埋設処分場と同様である。

(1) 地下空洞内的人工バリア厚さ及び内部仕切壁の区画

検討上の前提条件の項2.2.2(p.3)で述べたように、地下深部埋設処分場としての地下空洞内的人工バリア(ペントナイト混合土)は、内部仕切壁の周囲に1.0m以上の厚さで施工することとした。

内部仕切壁による一区画の大きさは、地下空洞としての法的整備が現状ではなされていないので、地下空洞式の浅地中埋設処分場の取り扱いと同様とした。

(2) 比較検討

比較検討した構造形式は、前述のようにトンネル・卵型地下空洞、及びサイロ型地下空洞とした。大きさは、地下空洞式の浅地中埋設処分場と同様に、表-3.22に示すケースを選定し、収納効率によって評価した。

検討の結果として、表-3.22に要約を、表-3.23にその詳細をしめす。なお、各ケースの断面形状・収納形態は、巻末に参考資料として添付した。

また、覆工コンクリートの厚さは、巻厚の実例(図-3.14)を参考に設定した。

検討結果の一例として、地下空洞式の浅地中埋設処分場の項と同様に、卵型トンネルによる地下空洞の場合をまとめる。この場合、図-3.25に示すように覆工コンクリートの内側に人工バリア1.0mを確保すると、廃棄体としてのドラム缶は断面的に俵積では6本、タテ積では4本程度の収納で、収納効率は11~18%程度となる(浅地中埋設処分場の場合は人工バリア厚2.0mのため6~10%)。

(3) 検討結果

1) 収納方式と収納効率について

収納方式は、既述のようにタテ積と俵積がある。

トンネルでは、わずかにタテ積が有利である。卵型地下空洞では、大きさにかかわらず、俵積の方がやや効率よいという結果を得た(表-3.22)。各構造形式の検討の詳細は、表-3.23に示すとおりである。

表-3.22 構造形式・基本寸法・処分方法毎の収納効率（空洞単位当たり）

構造形式	基本寸法		収納効率(%)	
	BまたはD (m)	H(m)	俵積	タテ積
トンネル	6.3	6.50	3.99	3.99
	10.5	8.25	9.65	10.85
卵型空洞	10.0	12.2	11.92	11.92
	12.5	15.3	15.89	14.31
	15.0	18.0	15.89	15.89
	17.5	21.4	20.75	19.46
	20.0	24.4	19.86	17.88
サイロ型 空 洞	10.0	—	—	10.19
	12.5	—	—	11.59
	15.0	—	—	12.57
	17.5	—	—	13.31
	20.0	—	—	18.11

2) 地下空洞の大きさと収納効率について

トンネル型式は2ケース、卵型地下空洞とサイロ型地下空洞は5ケース、計12ケースについて効率を求めた。

その結果の要約を見ると（表-3.23）、浅地中埋設処分場の場合と同様に、当然の結果ながら、空洞が大きいほど収納効率は向上する。ただし、この場合も単位延長当たりの検討であり、ドラム缶換算で40,000本（表-2.1）全体を処分するために必要な敷地面積等を含め、経済性を考慮する必要がある。

結果として、卵型地下空洞の構造型式が有利であり、地下深部埋設処分場の断面形状は、図-3.26 に示すとおりとした。

(4) 地下深部埋設処分場の設置深さ

地下深部埋設処分場は、高 β γ 廃棄物相当及びTRU廃棄物相当の廃棄物を対象としている。本報告では、より深い処分として100m・200mの土被りとしての検討を進めた。

なお、工学的見地からは、3.4項で述べたように、浅地中埋設処分場の土被り厚50mに比較して、土被り厚100m・200mの地下空洞は、地表で生じる変位等に関する問題は少ない。

しかし、地下深部ほど土圧がかかるため、空洞周辺の変形等は大きくなることが予想される。したがって、施工手順や支保工の諸元等、施工に際しては細心の注意が必要となる。

表-3.23 地層処分場の構造形式・寸法と収納方式による効率 (深度200m)

構造形式	基本形状	基本寸法 (m)	1m当たり工事量		跳葉体処分方法		1区画 (内部仕切壁)当たりの指元		空稱単位当たりの指元						
			Ae (m ³ /m)	Ae (m ³ /m)	掘削	収納	1区画の大きさ (m)	開口部断面 積 (m ³)	1区画の容積 V ₀ (m ³)	跳葉体のドラム缶 収納本数	効率 η _w (%)	施設体積 V _w (m ³)	効率 η _w (%)	ドラム缶取 扱本数 (本)	施設体積 V _w (m ³)
単純直流水化用		B=6.3 H=6.5	33.3	6.0 (l=0.3m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	1.4×2.2×80	3.08	246.4	480	96.0	39.0	6本/0.9m	1.33	3.99
トンネル (鉄道)	新幹線 (直線)	B=0.5 H=8.25	73.7	15.9 (l=0.5m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	1.4×2.2×80	3.08	246.4	488	97.6	39.6	8本/1.2m	1.33	3.99
		B=10.0 J=2.2	89.6	17.0 (l=0.5m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	5.4×3.0×15.0	16.2	243	465	93.0	38.3	32本/0.9m	7.11	9.65
		B=2.5 H=15.3	139.8	25.5 (l=0.6m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	5.4×3.2×14.4	17.3	248.8	528	105.6	42.4	18本/1.2m	8.00	10.85
		B=15.0 J=18.0	201.4	35.8 (l=0.7m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	6.5×6.5×5.5	42.25	232.4	480	96.0	41.0	48本/0.9m	10.67	11.92
		B=20.0 J=24.4	358.0	61.5 (l=0.9m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	4.0×4.5×13.0	18.0×4	234.0×4	468×4=1872	374.4	40.0	144本/0.9m	32.00	15.89
		B=21.4 J=21.4	274.1	47.8 (l=0.8m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	4.0×4.5×13.0	18.0×4	234.0×4	480×4=1920	384.0	41.0	192本/1.2m	32.00	15.89
		B=20.0 J=24.4	358.0	61.5 (l=0.9m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	5.2×5.4×8.0	28.08×4	224.64×4	512×4=2018	409.6	45.6	256本/0.9m	56.89	20.75
		B=14.9 J=0.5a	78.5	14.9 (l=0.5m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	4.0×4.0×15.0	16.0	240	540	108.0	45.0	364本/0.9m	8.00	10.19
		D=2.5 H=	122.7	22.4 (l=0.6m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	6.2×5.2×9.0	27.04	243.36	576	115.2	47.3	64本/0.9m	14.22	11.59
		D=15.0 H=	176.7	31.4 (l=0.7m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	6.5×6.5×5.0	42.25	211.25	500	100.0	47.3	100本/0.9m	22.22	12.57
		D=17.5 H=	240.5	41.9 (l=0.8m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	8.0×4.0×7.0	32.0×2	224.0×2	504×2=1008	201.6	45.0	144本/0.9m	32.00	13.31
		D=20.0 H=	314.2	54.0 (l=0.9m)	ドラム缶 4本/バック	鉄筋	5.2×5.2×9.0	27.04×4	243.36×4	576×4=2304	460.8	47.3	256本/0.9m	56.89	18.11

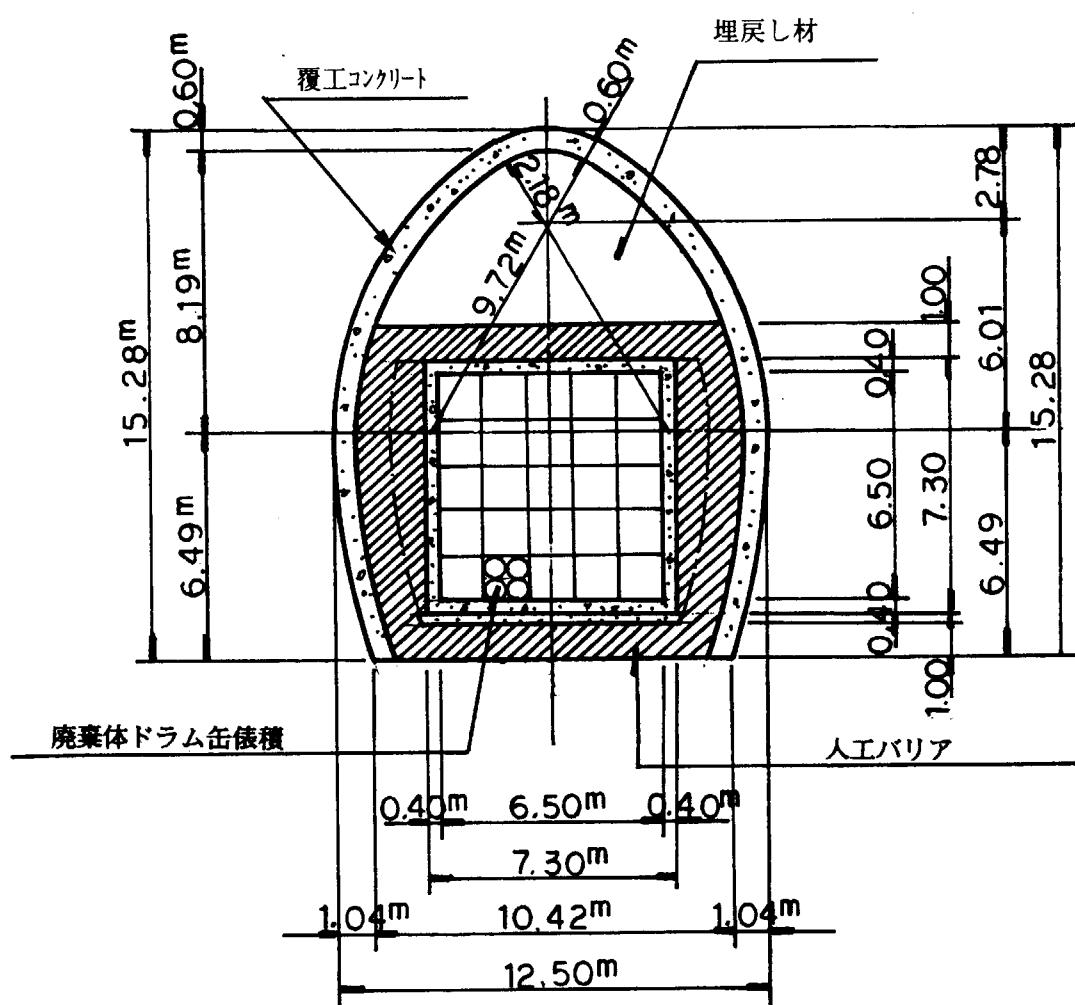
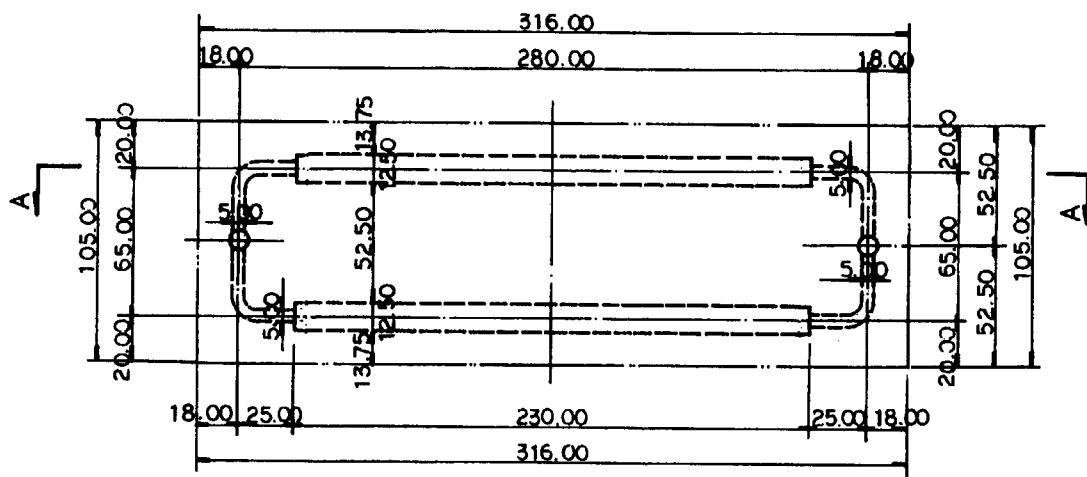


図-3.26 卵型地下空洞の基本図

平面図



A~A断面

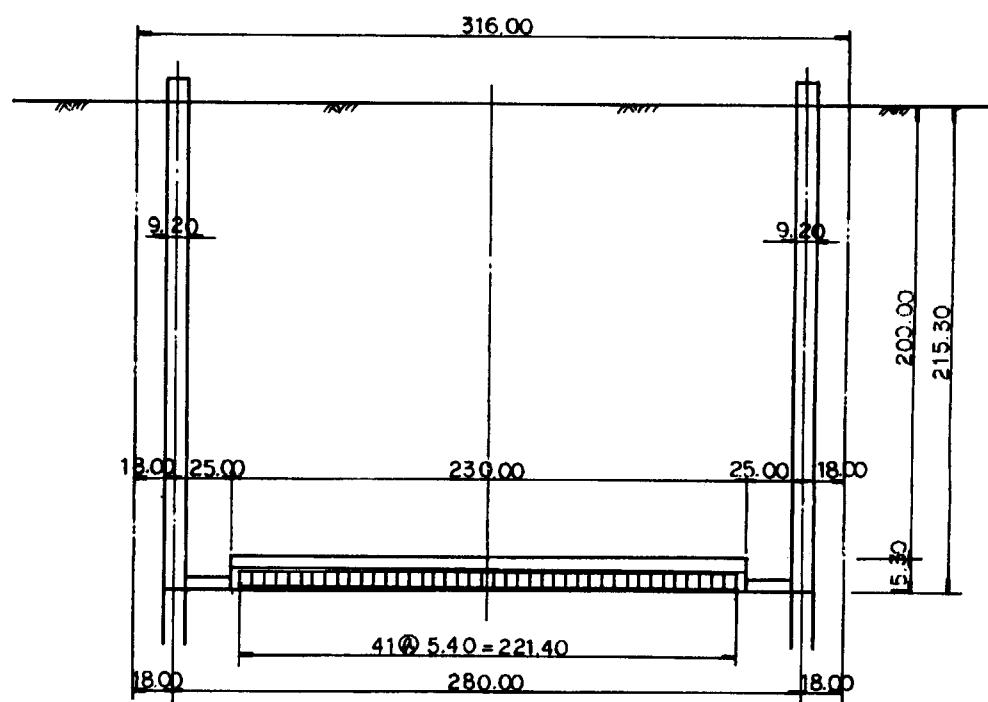


図-3.27 地下深部埋設処分場の基本図

3.5.2 地下空洞の形状、寸法と岩種別の離隔距離

地下空洞の形状・寸法と岩種別の離隔距離については、設置深さと関係はなく、3.4.3項と重複するので省略する。つまり、地下深部の場合も浅地中と同様の結果となるので、形状・寸法と岩種別の地下空洞中心間隔は、表—3.19を準用する。

ただし、FEM解析によっては異なる結果を得ることも考えられるが、これについては今後の検討に譲ることとし、本報告では解析を行わない。

3.5.3 地下空洞の基数及び所要敷地面積

(1) 地下空洞の基数

地下空洞の構造形式・形状・寸法については、3.5.1項で述べたとおりであり、図—3.26に示した標準断面を採用する。

地下空洞内の内部仕切一区画の大きさを、幅6.5m×高さ6.5m×長さ5.0mとする。各区画の間は、厚さ0.4mのコンクリートで隔てる。地下空洞一基あたりの延長は、モデル敷地形状を考慮して230m程度と設定する。空洞の両端は、厚さ4m程度のコンクリートで遮蔽する。

$$1 \text{ 区画の内容体積} : B6.5m \times H6.5m \times L5.0m = 211m^3$$

$$\text{ドラム缶収納本数} : 4 \text{ 本} \times 1 \text{ パック}$$

$$4 \text{ 本} \times 5 \text{ パック} \times 5 \text{ 段} \times 5 \text{ 列} = 500 \text{ 本}$$

$$\text{収納効率} : \frac{500 \times 0.2}{211} \times 100 = 47.4\%$$

$$1 \text{ 基あたりの区画数} : (230 - 8) m \div 5.4 m = 41.1 \rightarrow 41 \text{ 区画}$$

$$1 \text{ 基あたりドラム缶本数} : 500 \text{ 本} \times 41 \text{ 区画} = 20,500 \text{ 本}$$

R I・研究所等廃棄物のうち、地下深部埋設処分相当の量は、200tでドラム缶換算で40,000本である（表—2.1）。したがって、B=12.5m・H=15.3m・L=230mの卵型地下空洞の所要基数は、次のように2基となる。

$$40,000 \text{ 本} \div 20,500 \text{ 本} / \text{基} = 1.95 \approx 2 \text{ 基}$$

(2) 所要敷地面積

地下深部埋設処分場の所要敷地面積は、1基当たりの延長が230mの地下空洞を2基設置するとして、3.4.3項で述べた離隔距離（中心距離65m）及びアクセス用立坑・連絡坑道の配置を考慮して求められる。この場合、基本図（図—3.27）のように、単独に設置すると、面積は $316m \times 105m = 33,180m^2$ となる。

なお、構造形式・寸法ごとに、モデル敷地形状を考慮して1基当たりの延長を250m程度とした場合について、地下空洞の基数・所要敷地面積を比較検討した（表—3.24）。

アクセス立坑・連絡立坑等は、1工区あたり2本を設置する（3.4.5項）ことから、所要本数は偶数となる。また、素掘り埋設処分場の直下に、後述する統合化処分システムを設置可能とする目的も考慮し、 $10^5 m^2$ 以内の所要面積に配置可能な構造形式を選定した場合、表—3.24から卵型地下空洞が有利であることがわかる。

表-3.24 地下深部埋設処分場の構造形式、寸法と所要面積

構造形式	基本形状	基本寸法 (m)	掘削 (m ²)	運行コガリ-ト (m ²)	施業体処分方法	1区画(内部仕切)の諸元	処分地下空洞1基当たりの諸元			処分の規模			
							1区画の大きさ (m)	ドラム缶 取納本数 (本)	空洞1基当たりの延 長、深さ	空洞1基当たりの ドラム缶取納本数	空洞1基当たりの 所要面積 (m ²)	空洞の所要面積 (基)	所要面積 (ha)
トンネル (鉄道)	単純直線化用トンネル	B=6.3 H=6.5	33.3	6.0 (i=0.3)	ドラム缶 4本/1バ'ッ	底積 1.4×2.2×80	480	240	1200m×20m =6,000	40,000÷1,440=28	17	X	
	新幹線直線トンネル	B=10.5 H=8.3	73.7	15.9 (i=0.5m)	ドラム缶 4本/1バ'ッ	タテ積 1.4×2.2×80	488	240	488×3=1,464	300×20=6,000	40,000÷1,464=28	17	X
	異型 (石油罐)	B=10.0 H=12.2	89.5	17.0 (i=0.5m)	ドラム缶 4本/1バ'ッ	底積 5.2×4.5×10.0	480	250	480×25=12,000	300×35=10,500	40,000÷12,000=3.4	5	O
		B=12.5 H=15.3	139.5	25.5 (i=0.6m)	"	タテ積 5.2×4.5×10.5	512	250	512×23=11,776	300×35=10,500	40,000÷11,776=3.4	5	O
		B=15.0 H=18.3	201.4	35.8 (i=0.7m)	"	底積 6.5×6.5×5.5	500	250	500×49=24,500	300×32.5=12,750	40,000÷24,500=1.7	3	O
		B=17.5 H=21.4	274.1	47.8 (i=0.8m)	"	タテ積 4.0×13.0	468×2×2.7=1,872	250	480×44=21,120	300×32.5=12,750	40,000÷21,120=1.9	3	O
		B=20.0 H=24.4	358.0	61.5 (i=0.9m)	"	底積 4.0×13.0	480×2×2.7=1,920	250	1,872×18=33,696	300×32.5=15,750	40,000÷33,696=1.2	3	O
		D=30.0 H=30.0	78.5	14.9 (i=0.5m)	ドラム缶 4本/1バ'ッ	底積 5.2×5.4×8.0	512×2×2.7=2,048	250	1,920×18=34,560	300×32.5=15,750	40,000÷34,560=1.2	3	O
		D=30.0 H=30.0	122.7	22.4 (i=0.6m)	"	タテ積 5.2×5.4×8.0	480×2×2.7=1,920	250	2,048×30=61,440	300×60.0=18,000	40,000÷61,440=0.7	2	O
		D=30.0 H=30.0	176.7	31.4 (i=0.7m)	"	タテ積 5.2×5.4×8.0	480×2×2.7=1,920	250	1,920×30=57,600	300×60.0=18,000	40,000÷57,600=0.7	2	O
		D=30.0 H=30.0	240.5	41.9 (i=0.8m)	"	タテ積 8.0×4.0×7.0	504×2=1,008	30m	2,240×35=78,400	300×67.5=20,250	40,000÷78,400=0.5	2	O
	サイロ型 (油外貯蔵物 処分場)	D=20.0 H=30.0	314.2	54.0 (i=0.9m)	"	タテ積 5.2×5.2×9.0	576×4=2,304	30m	1,920×37=71,040	300×67.5=20,250	40,000÷71,040=0.6	2	O

3.5.4 概算建設費

地下深部埋設処分場の土木工事費を、基本図（図-3.27）により概算した。その結果を表-3.25 に示す。

(a) 処分場：土被り200mの場合

参考値として、土木工事費を廃棄体処分量（8,000m³、40,000本）で除した建設単価を求めるとき、以下のとおりである。

廃棄体 1 m³あたり建設単価： 781,046円／m³

廃棄体ドラム缶詰1本あたり建設単価： 156,210円／本

表-3.25 (a) 地下深部埋設処分場の概算建設費) (土被り200m)

工種		単位	数量	単価 (円)	工事費 (千円)	備考
① 用地費		m ²	33,200	15,000	498,000	
② アクセス施設費	立坑	掘削	m ³	30,600	23,000	703,800
		コンクリート	ヶ	7,500	49,000	367,500
		鉄筋	t	300	216,000	64,800
	連絡坑道	掘削	m ³	6,000	40,000	240,000
		コンクリート	ヶ	1,200	46,000	55,200
		鉄筋	t	36	246,000	8,856
③ 空洞費	地下空洞 B=17.5 m H=21.4 m	掘削	m ³	64,300	23,600	1,517,480
		コンクリート	ヶ	11,750	52,000	611,000
		内部仕切	ヶ	6,300	46,000	289,800
		鉄筋	覆工	t	700	236,000
		内部仕切	ヶ	380	246,000	93,480
		充填工	m ³	9,200	49,000	450,800
④ 安全対策費	人工バリア		ヶ	12,300	26,500	325,950
	埋め戻し		ヶ	16,000	22,000	352,000
	⑤ 残土処分費		ヶ	100,900	5,000	504,500
計		式	1		6,248,366	

(b) 処分場：土被り100mの場合

参考値として、土木工事費を廃棄体処分量で除した建設単価を求めるとき、以下のとおりである。

廃棄体 1 m³あたり建設単価： 700,477円／m³

廃棄体ドラム缶詰 1 本あたり建設単価： 140,096円／本

表一3.25 (b) 地下深部埋設処分場の概算建設費) (土被り100m)

工種			単位	数量	単価 (円)	工事費 (千円)	備考	
① 用地費			m ²	33,200	15,000	498,000		
② アクセス施設費	立坑	掘削	m ³	15,300	23,000	351,900		
		コンクリート	ヶ	3,750	49,000	183,750		
		鉄筋	t	150	216,000	32,400		
連絡坑道		掘削	m ³	6,000	40,000	240,000		
		コンクリート	ヶ	1,200	46,000	55,200		
		鉄筋	t	36	246,000	8,856		
③ 空洞費	地下空洞 B=17.5 m H=21.4 m	掘削	m ³	64,300	23,600	1,517,480		
		コンクリート	ヶ	11,750	52,000	611,000		
		内部仕切	ヶ	6,300	46,000	289,800		
		鉄筋	覆工	t	700	236,000	165,200	
		内部仕切	ヶ	380	246,000	93,480		
④ 安全対策費		充填工	m ³	9,200	49,000	450,800		
		人工バリア	ヶ	12,300	26,500	325,950		
		埋め戻し	ヶ	16,000	22,000	352,000		
⑤ 残土処分費			ヶ	85,600	5,000	428,000		
計			式	1		5,603,816		

3.6 統合化処分システム

3.6.1・全体レイアウト

(1) 基本的考え方

従来、各種の放射能レベルの処分場は、個別に立地する考えで検討されてきた。これに対し、本報告の主な目的は、放射能レベルが異なる廃棄物を、埋設深度を変えて一つの地域に処分する統合化処分システムについて、検討を行うことである。

まず、前項までに検討した個別の埋設処分場について、その概要をまとめる（表-3.26）。

○素掘り埋設処分場

この処分場は、短半減期の核種のみを含む規制値以下の極低レベルの廃棄物を対象としており、地表にトレンチ方式で構築される。トレンチ側面は、H型鋼を親杭とする横矢板で保護する。所要敷地は一辺316mの正方形で、面積は約 10^5 m^2 である。

○コンクリートピット式埋設処分場

放射能レベルの低い廃棄物を対象とする処分場で、開削方式によるコンクリートピット式（「埋設センターの事例」）である。所要敷地は縦223m・横260mで、面積は約 $5.8 \times 10^4\text{ m}^2$ となった。

○地下空洞式埋設処分場

上記のコンクリートピット方式は開削方式であるため、素掘り埋設処分場と同一平面上には構築できない。従って、用地面積の縮小・立地の容易性を目指して、素掘り埋設処分場の地下に構築が可能なように、地下空洞式の浅地中埋設処分場を検討した。

検討の結果、設置深度は地下空洞構築によって生じる地表の変位等を考慮すると50mとした。埋設する廃棄物の量から、地下空洞は延長285mのものが4基必要となり、空洞間の離隔距離を考慮すると、所要敷地は縦230m・横316mで、面積は約 $7.3 \times 10^4\text{ m}^2$ である。

○地下深部埋設処分場

これは長寿命核種（高 $\beta\gamma$ 相当、TRU核種相当）の廃棄物を対象とする処分場で、処分形態は原子力委員会の基本方針で示され²⁾、具体化に向けての検討が進められている。

ここでは、浅地中埋設処分場のさらに下位に地下空洞として構築するものとした。設置深度は、対象となる廃棄物の特性及び上位の処分場との位置関係を考慮し、100mと200mの場合を検討した。

検討の結果、構造型式は卵型地下空洞が最も収納効率が良く、その寸法は幅12.5m・高さ15.3mである。埋設処分する廃棄物の量から、空洞延長230mのものが2基必要となり、所要敷地は縦105m・横316mで、面積は約 $3.3 \times 10^4\text{ m}^2$ となった。

上記のような個別の処分場の特徴をふまえ、統合化処分システムを構築する基本的な考え方には、次のとおりである。また、統合化処分システムの概念は、図-3.28に示すとおりである。

- ① 国土の狭い我が国では、処分場の用地取得が困難を伴うと予想され、立地の容易性、所要敷地面積の縮減を図るために、各処分場を同一敷地内に立体的に配置する。
- ② ①のことから、低レベル放射性廃棄物埋設処分場の構造型式は、「埋設センターの

「事例」によるコンクリートピット方式ではなく、地下空洞式の構造を採用することが前提になる。地下空洞式の浅地中埋設処分場の設置深さは、掘削によって生じる地表付近の許容変位量から、土被り厚さ50mを確保する。

- ③ 地下深部埋設処分場は、地盤工学的な検討により、土被り厚さ100mまたは200mの地中に地下

空洞として構築され、上部に構築される処分場には影響を与えないものとした。ただし、全体レイアウトを検討する際には、立坑等の間隔について今後配慮する必要がある。

表—3.26 個別の処分場施設の諸元表

項目	浅地中埋設処分場			地下深部埋設 処分場	摘要
	素掘り	コンクリートピット式	地下空洞式		
処分廃棄物の区分	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		高βγ及びTRU廃棄物相当	
廃棄物処分量	340,000本 (68,000m ³)	150,000本 (30,000m ³)		40,000本 (8,000m ³)	200ト ^ル ドラム缶換算本数
設置深度	地表下-3.5m	地表下-12.0m	土被り50m	土被り100m 及び200m	—
処分場の構造形式	親杭横矢板トレンチ	コンクリートピット	卵型地下空洞	卵型地下空洞	—
処分場1基当たりの寸法(m)	B=16.0 L=105 H=3.5	B=24 L=24 H=6.0	B=17.5 L=285 H=21.4	B=12.5 L=230 H=15.3	—
所要基數	18	30	4	2	—
内壁1区画の寸法(m)	B=8.0 L=105 H=3.5	B=6.0 L=6.0 H=5.0	B=8.0 L=7.0 H=4.4	B=6.5 L=5.0 H=6.5	—
離隔距離(中心間隔)	25m	—	62.5m	65.0m	3岩種共通
所要敷地(m) 面積(m ²)	316×316 10 ⁵	223×260 5.8×10 ⁴	316×230 7.3×10 ⁴	316×105 3.33×10 ⁴	個別の場合
廃棄体運搬施設	地表道路	地表道路	立坑エレベータ	立坑エレベータ	—
立坑の寸法	—	—	D=8.0m H=80m	D=8.0m H=230m	—
立坑基數	—	—	4本	2本	—
ハンドリング方式	クレーン	クレーン	フォークリフト等	フォークリフト等	—
人工バリア等の構成	覆土2.5m	ペントナイト混合土2.0m、 覆土4.0m	ペントナイト混合土2.0m	ペントナイト混合土1.0m	緩衝材
備考	東海研北地区の事例を準用	埋設センターの事例を準用	—	—	—

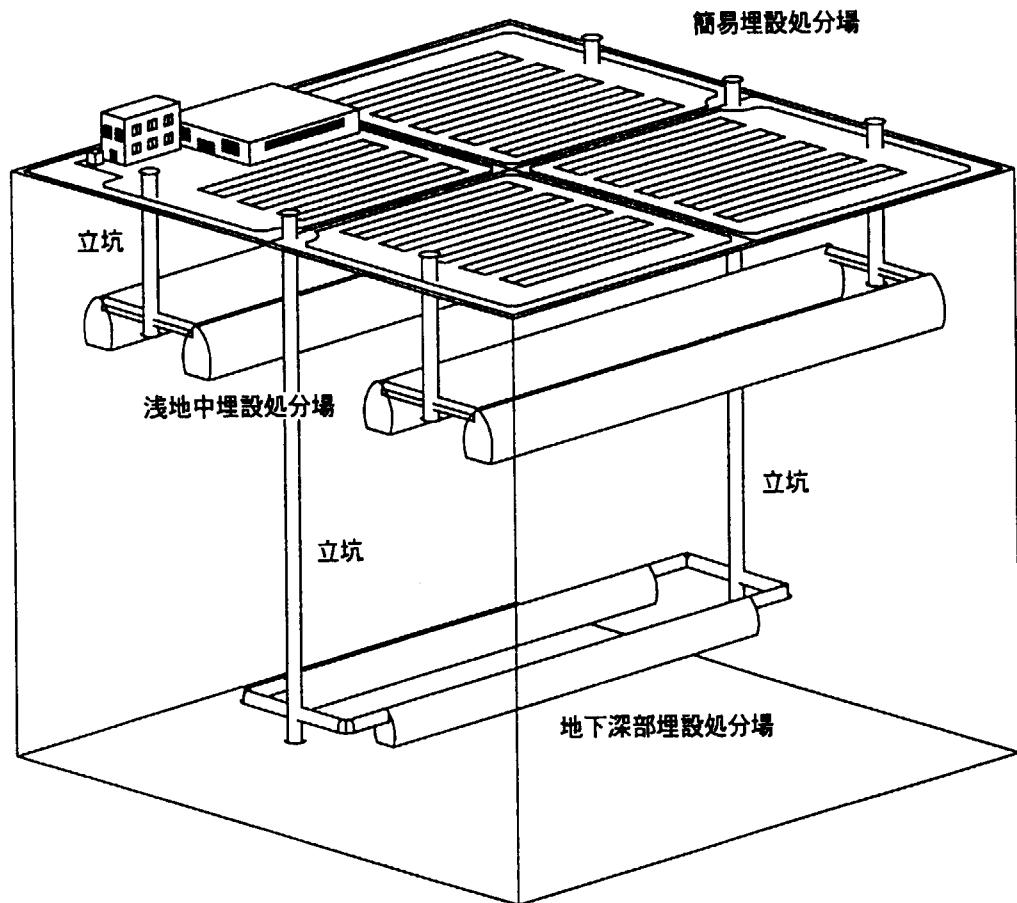
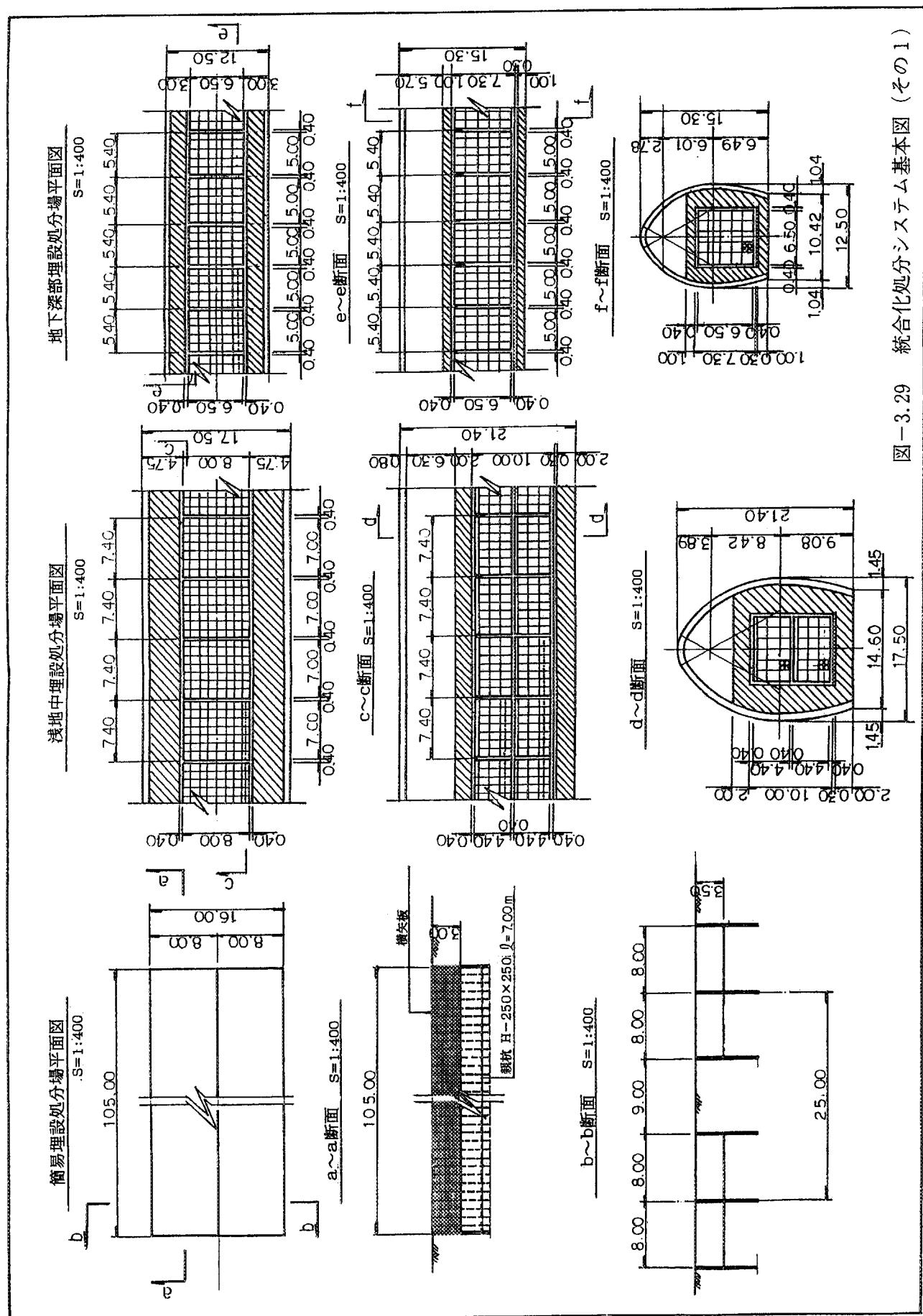


図-3.28 統合化処分システムの概念図



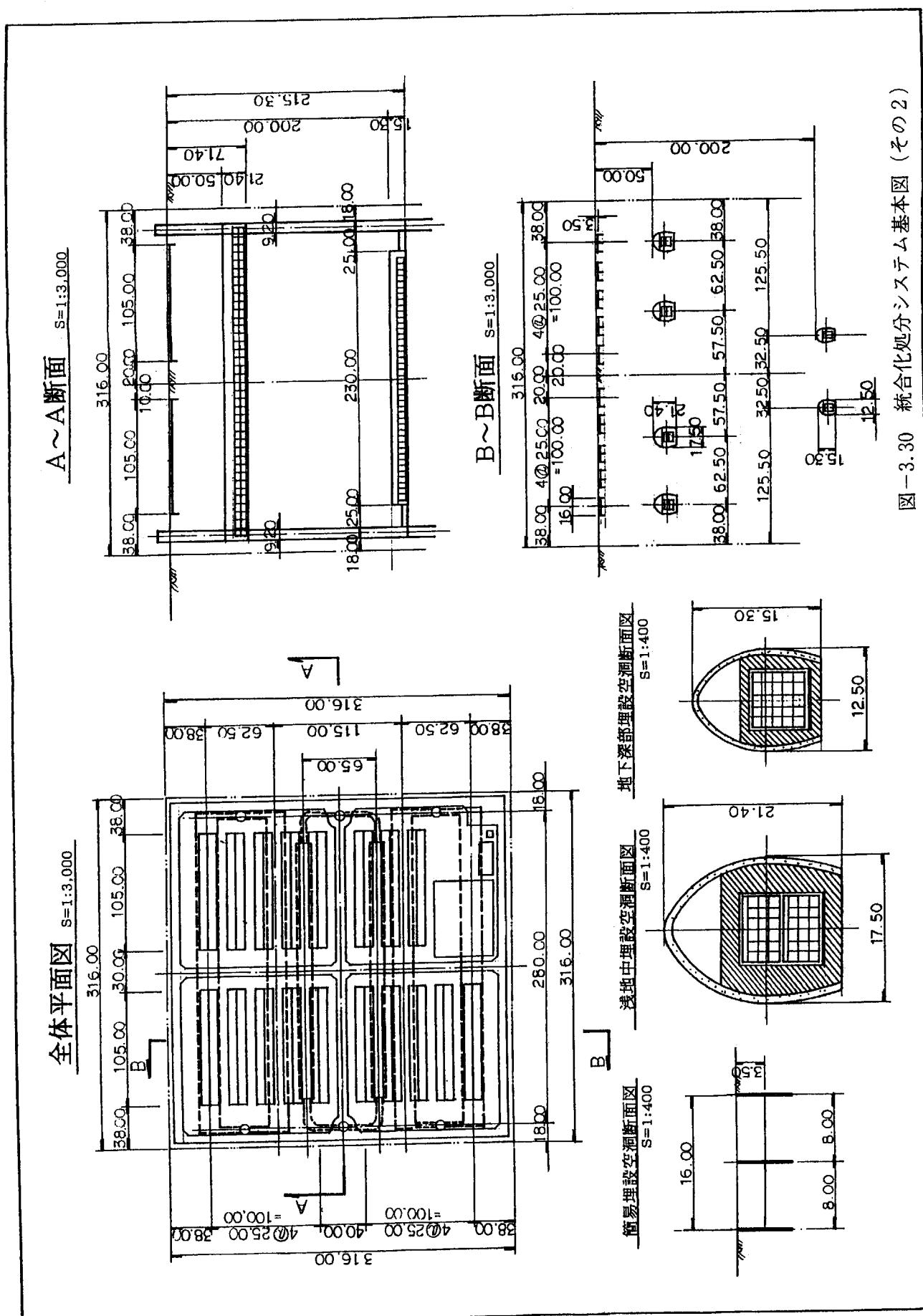


図-3.30 統合化処分システム基本図（その2）

(2)全体レイアウト

各処分場を個別に構築する場合の所要面積を、前項までに検討した。これによれば、処分場の最も多い素掘り埋設処分場の用地面積が最大となる（表-3.26 参照）。

全体レイアウトとしては、地表の確保用地として、トレント式の素掘り埋設処分場18基の面積に、運搬道路・管理棟等の地上施設に必要な敷地を考慮し、約 10^5 m^2 として平面配置を決定した。

全体レイアウトの概念図を図-3.28、基本図を図-3.29・図-3.30 に示す。

3.6.2 概算建設費

前項で述べた統合化処分システムの全体レイアウトの概念図及び基本図に基づき、個別の処分場毎に算定した概算建設費を引用し、全体の建設費をまとめた（表-3.27）。

なお、建設費は管理棟等の地上建物を除き、諸経費を含む土木工事である。

(a) 地下深部埋設処分場；土被り200mの場合

表-3.27(a) 統合化処分システムの概算建設費（土被り200m）

施設名	工種		工事費（千円）	備考
素掘り埋設処分場 (地表トレント)	① 用地費		1,500,000	内訳は表-3.6 参照
	② アクセス施設；運搬道路		183,600	〃
	③ 掘削工		507,800	〃
	④ 安全対策費；土留め工		569,550	〃
	⑤ 残土処分費		63,000	〃
	計		2,823,950	
浅地中埋設処分場 (地下空洞式)	② アクセス施設費	立坑	790,060	内訳は表-3.21 参照
		連絡坑道	205,870	〃
	③ 空洞費	地下空洞	12,341,500	〃
	④ 安全対策費		5,979,450	〃
	⑤ 残土処分費		1,689,250	〃
	計		21,006,130	
地下深部埋設 処分場 (地下空洞)	② アクセス 施設費	立坑	1,136,100	内訳は表-3.25(a) 参照
		連絡坑道	304,056	〃
	③ 空洞費	地下空洞	2,676,960	〃
	④ 安全対策費		1,128,750	〃
	⑤ 残土処分費		504,500	
	計		5,750,366	
合 計			29,580,446	

(b) 地下深部埋設処分場；土被り100mの場合

表-3.27(b) 統合化処分システムの概算建設費（土被り100m）

施設名	工種		工事費(千円)	備考	
素掘り埋設処分場 (地表トレンチ)	① 用地費		1,500,000	内訳は表-3.6 参照	
	② アクセス施設；運搬道路		183,600	〃	
	③ 掘削工		507,800	〃	
	④ 安全対策費；土留め工		569,550	〃	
	⑤ 残土処分費		63,000	〃	
	計		2,823,950		
浅地中埋設処分場 (地下空洞式)	③ アクセス施設費	立坑	790,060	内訳は表-3.21 参照	
		連絡坑道	205,870	〃	
	③ 空洞費	地下空洞	12,341,500	〃	
			5,979,450	〃	
	⑤ 残土処分費		1,689,250	〃	
	計		21,006,130		
地下深部埋設 処分場 (地下空洞)	③ アクセス 施設費	立坑	568,050	内訳は表-3.25(b) 参照	
		連絡坑道	304,056	〃	
	③ 空洞費	地下空洞	2,676,960	〃	
			1,128,750	〃	
	⑤ 残土処分費		504,500	〃	
	計		5,105,816		
合計			28,935,896		

- ・統合化処分システムの概算建設費は、地下深部埋設処分場の深度を100mと200mに設定した場合、それぞれ288億円と294.5億円となった。
- ・このうち、地下空洞式の浅地中埋設処分場の建設費が210億円となり、全建設費のうちの71.3~72.9%をしめてる。

4 検討結果及び考察

4.1 統合化処分と個別処分（従来型）の比較

統合化処分システムは、素掘り埋設処分場、地下空洞式の浅地中埋設処分場及び地下深部埋設処分場を、同一敷地内に立体的に構築するものである。その詳細は、3.6の項で述べたとおりである。

本項では、統合化処分システムと、各処分場を個別に立地する従来型の処分システムとの比較を行った。

(1) 比較ケース

ケース1：統合化処分システム

ケース2：従来型処分システム

2-1：コンクリートピット式の浅地中埋設処分場

2-2：地下空洞式の浅地中埋設処分場

(2) 所要敷地面積の比較

比較の結果は、次のとおりである。

- ・統合化処分システムの場合(ケース1)、必要な敷地面積は、最上位の素掘り処分場のみで済み、約 10^5 m^2 である。
- ・従来型の場合(ケース2)、それぞれ約 $1.9\sim 2.1 \times 10^5\text{ m}^2$ の敷地が必要となる。統合化処分システムの約2倍である。
- ・必要な敷地面積からみれば、統合化処分システムが有利である。

表-4.1 各比較ケースの所要敷地面積

比較ケース	所要面積 ($\times 10^4\text{ m}^2$)				計
	素掘り処分	浅地中処分	地下深部 処分*		
ケース1： 統合化処分システム	10.0	—	—	—	10.0
ケース2： 従来型	ケース2-1： 浅地中はコンクリート ピット式	10.0	5.8	3.3	19.1
	ケース2-2： 浅地中は地下 空洞式	10.0	7.3	3.3	20.6

*) 土被り100mでも変わらない。

(3) 概算建設費の比較

(a) 地下深部埋設処分場：深度200mの場合

表-4.2 (a) 概算建設費の比較

単位：千円

施設名	工 種	統合化処分 ケース1	従来型個別処分：ケース2	
			ケース2-1： コンクリート ピット式	ケース2-2： 地下空洞式
素掘り埋設 処分場 (トレンチ 式)	① 用 地 費	1,500,000	1,500,000	1,500,000
	② アクセス施設；運搬道路	183,600	183,600	183,600
	③ 掘 削 工	507,800	507,800	507,800
	④ 安全対策費；土留め工	569,550	569,550	569,550
	⑤ 残土処分費	63,000	63,000	63,000
	小 計	2,823,950	2,823,950	2,823,950
浅地中 埋設処分場	① 用 地 費	-	870,000	1,090,500
	② アクセス施設；運搬道路	-	91,800	-
	③ 掘 削 工	-	1,856,400	-
	② アクセス施設	立 坑	790,060	790,060
		連絡坑道	205,870	205,870
	③ 空洞費・ピット費	地下空洞、 コンクリートピット	12,341,500	4,134,000
	④ 安全対策費		5,979,450	3,796,250
	⑤ 残土処分費		1,689,250	1,363,000
	小 計	21,006,130	12,111,450	22,096,630
	① 用 地 費	-	498,000	498,000
地下深部 埋設処分場	② アクセス施設	立 坑	1,136,100	1,136,100
		連絡坑道	304,056	304,056
	③ 空洞費	地下空洞	2,676,960	2,676,960
	④ 安全対策費		1,128,750	1,128,750
	⑤ 残土処分費		504,500	504,500
	小 計	5,750,366	6,248,366	6,248,366
合 計		29,579,446	21,183,766	31,168,946
ケース2-1を基準とした比率 (%)		140	100	147

・概算建設費は、統合化処分システム(ケース1)が295.8億円、従来型個別処分(ケース2)では、浅地中処分場がコンクリートピット式の場合が211.9億円、浅地中処分場が地下空洞式の場合が311.7億円となった。

・建設費の高低差は、おもに浅地中埋設処分場の形式にある。つまり、浅地中埋設処分場は、地下空洞費が約123.4億円、コンクリートピット式が約41.4億円で、その差82億円となっている。

・統合化処分システム(ケース1)と従来型個別処分の地下空洞式浅地中埋設処分場(ケース2-2)との建設費の差は、約15.9億円である。これは、用地取得費の差である。

(b) 地下深部埋設処分場：深度100mの場合

表-4.2 (b) 概算建設費の比較

単位：千円

施設名	工種	統合化処分 ケース1	従来型個別処分：ケース2	
			ケース2-1： コンクリート ピット式	ケース2-2： 地下空洞式
素掘り埋設 処分場 (トレンチ 式)	① 用地費	1,500,000	1,500,000	1,500,000
	② アクセス施設；運搬道路	183,600	183,600	183,600
	③ 掘削工	507,800	507,800	507,800
	④ 安全対策費；土留め工	569,550	569,550	569,550
	⑤ 残土処分費	63,000	63,000	63,000
	小計	2,823,950	2,823,950	2,823,950
浅地中 埋設処分場	① 用地費	-	870,000	1,090,500
	② アクセス施設；運搬道路	-	91,800	-
	③ 掘削工	-	1,856,400	-
	② アクセス施設	立坑	790,060	-
		連絡坑道	205,870	-
	③ 空洞費・ピット費	地下空洞、 コンクリートピット	12,341,500	4,134,000
	④ 安全対策費		5,979,450	3,796,250
	⑤ 残土処分費		1,689,250	1,363,000
	小計	21,006,130	12,111,450	22,096,630
地下深部 埋設処分場	① 用地費	-	498,000	498,000
	② アクセス施設	立坑	568,050	568,050
		連絡坑道	304,056	304,056
	③ 空洞費	地下空洞	2,676,960	2,676,960
	④ 安全対策費		1,128,750	1,128,750
	⑤ 残土処分費		428,000	428,000
	小計	5,105,816	5,603,816	5,603,816
合計		28,935,896	20,539,216	30,524,396
ケース2-1を基準とした比率 (%)		141	100	147

・地下深部埋設処分場の深度を100mとした場合、建設費に関する多少の差の特徴は、深度200mの場合と同様である。

(4) 各ケースの工種別比率

各処分システムの全体建設費に占める主な工種の比率を、各処分システムについて検討した（表-4.3(a)・(b)、図-4.1(a)・(b)）。

(a) 地下深部埋設処分場：深度200mの場合

表-4.3(a) 比較ケース別の主な工種の比率 単位：百万円

工種	処分場	ケース1 統合化処分		従来型個別処分			
		金額	比率 (%)	ケース2-1		ケース2.2	
				金額	比率 (%)	金額	比率 (%)
①用地	素掘り	1,500		1,500		1,500	
	浅地中			870		1,090	
	地下深部			498		498	
	小計	1,500	5.1	2,868	13.6	3,088	10.0
② アクセス施設	素掘り	184		184		184	
	浅地中	996		92		996	
	地下深部	1,440		1,440		1,440	
	小計	2,620	8.9	1,716	8.2	2,620	8.5
③ 掘削	素掘り	508		508		508	
	浅地中	12,342		5,990		12,342	
	地下深部	2,677		2,677		2,677	
	小計	15,464	52.5	9,113	43.3	15,464	49.8
④ 安定対策	素掘り	570		570		570	
	浅地中	5,980		3,796		5,979	
	地下深部	1,129		1,129		1,129	
	小計	7,617	25.9	5,434	25.8	7,617	24.5
⑤ 残土処分	素掘り	63		63		63	
	浅地中	1,689		1,363		1,689	
	地下深部	505		505		505	
	小計	2,249	7.6	1,923	9.1	2,249	7.2
計		29,580	100.0	21,184	100.0	31,169	100.0
ケース2-1を基準とした比率 (%)		140		100		147	

- 工種別の比率としては、③掘削費が全体的に高い値を示す。
- とくに、浅地中埋設処分場を、地下空洞式とする場合、掘削費は全体の約50%となる。
- ④安全対策費は、土留工・充填工・人工バリア・埋戻し工を含むもので、各ケースとも全体の約25%をしめる。
- 用地費①は、統合化処分システムの場合(ケース1)が最も有利で、ケース2-1の約37%、ケース2-2の51%である。
- アクセス施設②、残土処分⑤の費用は、各ケースに大きな差はない。

(b) 地下深部埋設処分場の深度：100mの場合

表-4.3(b) 比較ケース別の主な工種の比率

単位：百万円

工種	処分場	ケース1 統合化処分		従来型個別処分			
		金額	比率 (%)	ケース2-1		ケース2.2	
				金額	比率 (%)	金額	比率 (%)
①用地	素掘り	1,500		1,500		1,500	
	浅地中			870		1,090	
	地下深部			498		498	
	小計	1,500	5.2	2,868	14.0	3,088	10.2
②アクセス施設	素掘り	184		184		184	
	浅地中	996		92		996	
	地下深部	874		872		872	
	小計	2,052	7.1	1,148	5.6	2,052	6.8
③掘削	素掘り	508		508		508	
	浅地中	12,342		5,990		12,342	
	地下深部	2,677		2,677		2,677	
	小計	15,464	53.7	9,113	44.7	15,464	50.8
④安定対策	素掘り	570		570		570	
	浅地中	5,979		3,796		5,979	
	地下深部	1,129		1,129		1,129	
	小計	7,617	26.5	5,434	26.6	7,617	25.1
⑤残土処分	素掘り	63		63		63	
	浅地中	1,689		1,363		1,689	
	地下深部	428		428		428	
	小計	2,173	7.5	1,846	9.1	2,172	7.1
計		28,936	100.0	20,540	100.0	30,525	100.0
ケース2-1を基準とした比率 (%)		141		100		149	

・地下深部埋設処分場の深度が100mの場合、工種別の積算費に見られる特徴は、深度200mの場合とほぼ同様である。

・工種別積算費の比率を図示すると、次ページのとおりである。

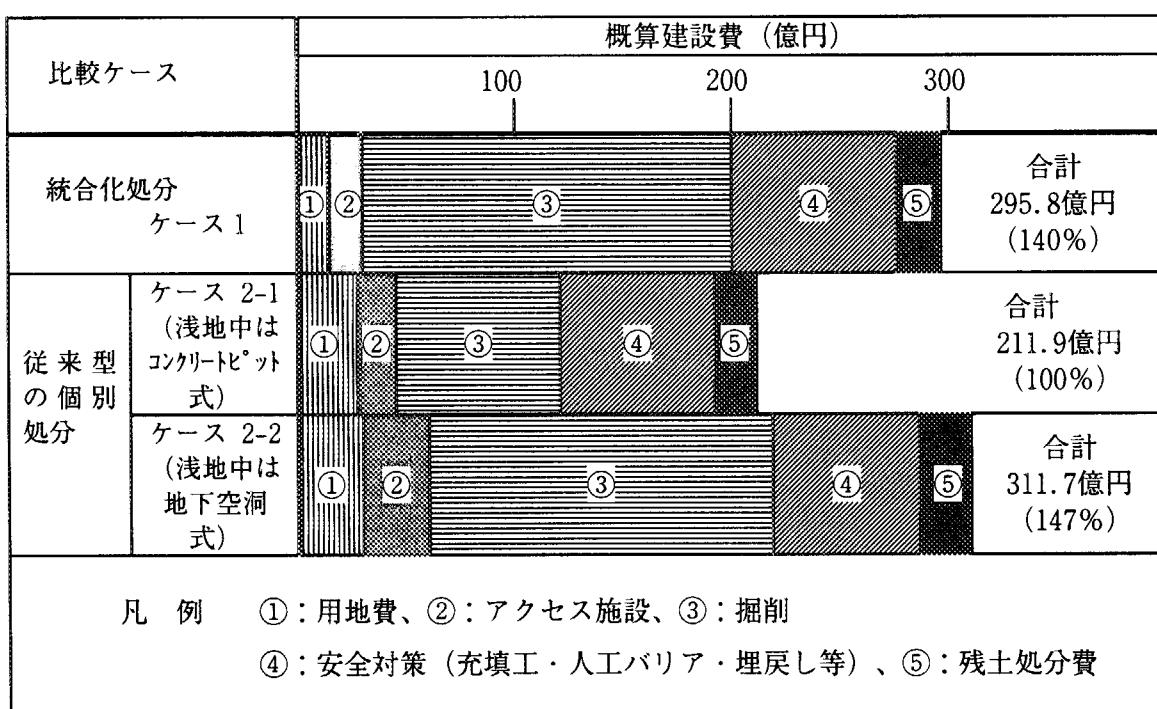


図-4.1 (a) 各ケースの工種別建設費の比較：地層処分場深度200mの場合

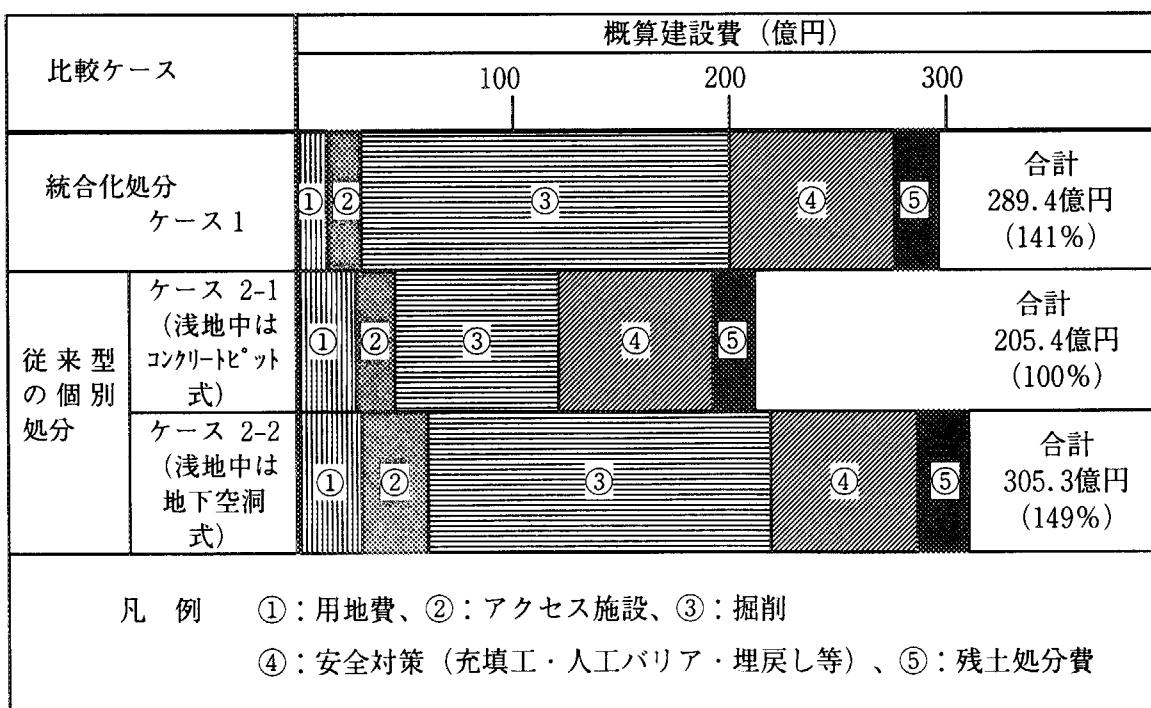


図-4.1 (b) 各ケースの工種別建設費の比較：地層処分場深度100mの場合

4.2 検討結果のまとめ

これまでの検討結果を整理すると、以下のとおりである。

1) 統合化処分システムの概念

R I・研究所等廃棄物の処分量は、その種類別に表-4.4 の条件とし、統合化処分システムはこれら廃棄物を、必要な施設に一括建設するものである。

統合化処分システムの場合、浅地中埋設は素掘り埋設と同一敷地内で行うため、地下空洞式を検討した。また、高 $\beta\gamma$ 相当及びTRU相当の廃棄物は、基本方針では今後検討される処分方策に準じるとなっているが、原子力委員会の検討結果³⁾を参考にし、ここでは地下利用に十分余裕を持った深度（例えば地下50~100m）、及び上位の浅地中処分空洞との距離を考慮して、土被り100mと200mの地下深部埋設を検討した。

検討の結果、地下空洞の形式は廃棄物収納の効率を考慮すると、卵型が最も有効であることが分かった。また、アクセス方式、ハンドリング方式は埋設方式に従って、道路、立坑、クレーン、エレベーター、フォークリフト等が採られることになる。

人工バリア等の構成は埋設方式に従い、普通土・ペントナイト混合土の厚さを変えて行うこととした。

表-4.4 処分システムの諸元表

埋設方法	浅 地 中			地 下 深 部	
	素掘り	コンクリートピット	地下空洞	200m	100m
処分廃棄体の種類	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		高 $\beta\gamma$ 相当、及びTRU相当	
処分量：本* (m ³)	340,000 (68,000)	150,000 (30,000)		40,000 (8,000)	
設置深度	地表下 -3.5m	地表下 -12.0m	土被り 50m	土被り 200m	土被り 100m
処分場形状	トレンチ	コンクリートピット	卵型地下空洞	卵型地下空洞	同左
アクセス方式	道路	道路	立坑	立坑	〃
ハンドリング方式	クレーン	クレーン	エレベーター、 フォークリフト等	エレベーター、 フォークリフト等	〃
人工バリア等の構成	普通土の覆土 2.5m	ペントナイト混合 土 t=2.0m	ペントナイト混合 土 t=2.0m	ペントナイト混合 土 t=1.0m	〃

*) 200リッドラム缶の本数

2) 処分施設の規模・寸法等

処分施設の規模・寸法等の検討に用いた条件は、次のとおりである。

想定サイトは、敷地全体が平坦な地形とした。地表から開削方式で施工する素掘り埋設処分場と、コンクリートピット方式の浅地中処分場に関して、地質条件は砂質土とした。また、地下水位は施工基面以下とした。

一方、地下空洞を想定したサイトの地質は、新第三紀層の泥岩・凝灰岩・砂岩の三岩種

とした。結果として、岩種よりも強度が支配的であり、本検討の簡易な解析においては、離隔距離に大きな差は生じないといえる。

廃棄体の放射能濃度を考慮した各処分場の規模、所要敷地面積及び処分場躯体の大きさは、表-4.5 のとおりある。

所要敷地面積は、各処分場を個別に構築した場合には約 $2 \times 10^5 \text{ m}^2$ となり、統合化処分システムの場合には約 $1 \times 10^5 \text{ m}^2$ である。

表-4.5 処分施設の規模・寸法等

処分形態	浅地中埋設処分場			地下深部 処分場
	素掘り	コンクリートピット	地下空洞	
所要敷地面積 ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	10.0	5.8	7.3	3.3
躯体の形式	トレンチ (親杭横矢板式 土留め)	コンクリートピット	卵型地下空洞	卵型地下空洞
一基当たりの形 状寸法	B=16.0m L=120.0m H=3.5m	B=24.0m L=24.0m H=6.0m	B=17.5m L=285.0m H=21.4m	B=12.5m L=230.0m H=15.3m
所要基数	18	30	4	2
1区画の寸法	B=8.0m L=120.0m H=3.5m	B=6.0m L=6.0m H=5.0m	B=8.0m L=7.0m H=4.4m	B=6.5m L=5.0m H=6.5m
地下空洞離隔距 離(中心距離) (m)	25.0 (トレンチ中心間隔)	—	65.0	65.0
立坑の寸法 (m)	—	—	D=8.0m H=80m	D=8.0m H=230m
立坑本数 (本)	—	—	4	2
連絡坑道の寸法 (m)		B=3.5m H=3.5m	B=5.0m H=5.0m	B=5.0m H=5.0m

3)概算工事費

エレベーター、キャリア及び操業時の換気・照明等の設備費を除く土木工事費について概算した。その結果は表-4.3に示すとおりである。概要をまとめると下表のとおりである。

表-4.6 各処分場単独の土木工事費

処分場の形態		総額 単位:百万円	1m ³ 当たり 単位:円	ドラム缶 1 本当 たり 単位:円
浅地中埋設 処分場	素掘り式	2,823.5	41,530	8,310
	コンクリートピット方式	12,111.5	403,715	80,743
	地下空洞方式	22,096.7	736,555	147,320
地下深部 処分場	深度 100m	5,603.9	700,477	140,096
	深度 200m	6,248.4	781,046	156,210

主な特徴は次のとおりである。

- ・浅地中埋設の工事費は、処分量が多いために高くなる。特に、地下空洞式とする場合、コンクリートピット方式の約2倍である。
- ・地下深部埋設処分の工事費は、深度100mと200mの間に大きな差はない。
- ・処分量単位当たりの費用は、浅地中埋設を地下空洞式とした場合と地下深部埋設処分との間に大きな差はない。

また、浅地中埋設処分場と地下深部埋設処分場の工事費を合計すると、下表の金額となる。

表-4.7 処分場合計の土木工事費

ケース	型	地下深部処分 深度 100m		地下深部処分 深度 200m	
		総額(百万円)	比率 (%)	総額(百万円)	比率 (%)
1	統合化システム	28,935.9	141	29,580.5	140
2	従来型（浅地中はコンクリートピット式）	20,539.3	100	21,183.8	100
3	従来型（浅地中は地下空洞式）	30,524.4	149	31,169.0	147

主な特徴は以下のとおりである。

- ・統合化システムの工事費は約289～296億円で、浅地中埋設をコンクリートピット式とする従来型より、約84億円高く、浅地中埋設を地下空洞式とする従来型より約16億円低くなる。
- ・従来型の2つの方式間には、約100億円の差がある。

4.3 今後の課題及び提言

本研究では、地下空洞の施工性・安全性についての具体的な検証はなされていない。今後、予定サイトの地質工学的な特性値等が具体的に設定された段階で、有限要素法等を用いて支保工・覆工コンクリートの厚さ等を検討し、精度の向上を図る必要がある。

本研究では、地下空洞の構造型式として卵型を採用した。この構造型式での軟岩における実績は、わが国ではこれまでほとんど無いといって良い。したがって、構造形式の選定は、施工性・経済性に大きく影響すると考えられるので、早い段階でのシミュレーションや実証プラントによる諸検証が望まれる。

一方、統合化システムの概算工事費は、従来型の個別処分（浅地中埋設はコンクリートピット方式）に比較して、40%程度割高となる。しかしながら、我が国においては国土が狭いこと、及び処分場の立地選定には困難を伴うことは避けられないと考えられ、施設用地は出来るだけコンパクト化を指向することが望まれる。また、このシステムは地上施設を共有化できるメリットも有している。

同様の意味において、残土処分量が極力少ない計画が有利と考えられる。さらに、残土処分量を少なくするため、掘削残土のリサイクルが望まれる。つまり、充填材、地下空洞の埋め戻し材、混合土に掘削残土を活用することによって、残土処分量を縮減できる可能性がある。

また、実際の建設土木工事には不確定要素が数多くあると考えられるので、この統合化処分の安全評価の検討を、具体的な施工計画に基づいて、今後実施することが必要と思われる。

謝 辞

本研究を進めるにさいし、中央開発株式会社の荒木邦夫氏と村田 昇氏には、研究内容に関してご討論をいただくとともに、粗稿に目を通させていただき有益なご助言をいただいた。また、中央開発株式会社の高木 厚氏には、図面類の作成に際しあ世話をなった。さらに、処分安全研究室の方々には、有益なご助言をいただいた。これらの方々に厚く感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会：R I・研究所等廃棄物処理処分の基本的考え方について（1998）。
- 2) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会：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（2000）。
- 3) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会：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（1998）。
- 4) 奥田勝三、武部慎一、坂本義昭、萩原 茂、小川弘道：関東北部・東北地方太平洋側に分布する新第三紀堆積岩の特性調査、JAERI-Review99-023（1999）。
- 5) 阿部昌義、大越 実、吉森道郎：極低レベルコンクリート廃棄物の埋設実地試験、デコミッショニング技法、第15号、pp.50-58（1996）。
- 6) 日本原燃（株）：六ヶ所村低レベル放射性廃棄物埋設センター、廃棄物埋設事業変更許可申請書（1997）。
- 7) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ（1999）。
- 8) 通産産業省資源エネルギー庁発電課、（財）新エネルギー財團水力本部編：発電計画工事費積算基準（1996）。
- 9) 「大規模地下空洞」連載講座小委員会：連載講座 大規模地下空洞（3）大規模地下空洞の設計、トンネルと地下、第29巻7号、pp.67-74（1998）。
- 10) NAGRA：Projekt Gewähr, NGB85-09, Jan, (1985).
- 11) St.John,C.M. : Repository Design, Underground Space, vol.6, pp.247-258 (1982)
- 12) 土木学会編：トンネル標準示方書【山岳工法編】・同解説、土木学会（1996）。
- 13) 土木学会編：大規模地下空洞の情報化施工、土木学会、pp.255（1996）。
- 14) 土木学会編：土木技術者のための岩盤力学（改訂版）、土木学会（1975）。
- 15) Terzaghi, K. : Theoretical Soil Mechanics. John Wiley & Sons, p.195 (1966).
- 16) 宮崎政三、高橋彦治著：土木地質学、鹿島出版会（1970）。
- 17) (社) 公共建築協会：建設構造設計基準、建設大臣官房官厅常総部監修（1993）。
- 18) 天野礼二、長友成樹編著：新体系土木工学Ⅰ、山岳トンネル、技報堂出版（1980）。

添付資料

～～～内 容～～～

- | | |
|--|-----|
| 1. 地下空洞式埋設処分場の構造形式、大きさ別廃棄体収納断面、収納効率
(人工バリア厚さ 2.0m、地下 50m) | 88 |
| 2. 地下深部埋設処分場の構造形式、大きさ別廃棄体収納断面、収納効率
(人工バリア厚さ 1.0m、地下 200m) | 100 |
| 3. 放射性廃棄物処分場の事例 | 112 |
| 4. 地下空洞式埋設処分場の概略有限要素法解析結果 | 114 |

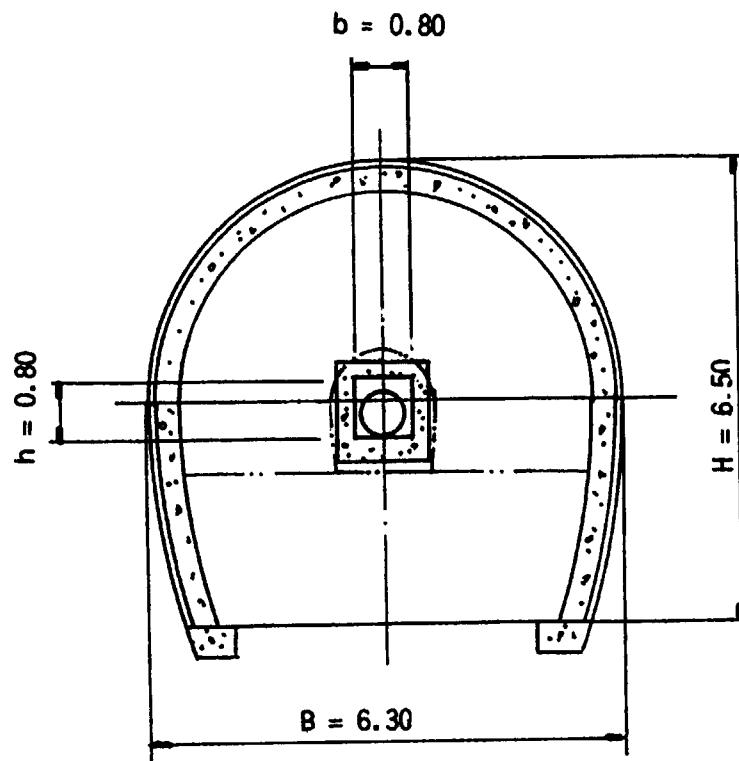
1. 地下空洞式埋設処分場の構造型式、大きさ別廃棄体収納断面、収納効率
(人工バリア厚さ 2.0m、地下 50m)

これは放射能レベルが低い廃棄物を対象にして、素掘り埋設処分場に下位に配置するものである。トンネル型・卵型・サイロ型の空洞について、大きさを変えて廃棄体の収納断面を検討し、収納効率を求めた。結果の大要は下表のとおりである。

表-A1.1 構造形式・基本寸法・処分方法毎の収納効率（空洞単位当たり）

構造形式	基本寸法		収納効率(%)	
	B または D (m)	H(m)	俵積	タテ積
トンネル	6.30	6.50	0.67	—
	10.5	8.25	3.62	2.71
卵型空洞	10.0	12.2	3.98	2.98
	12.5	15.3	7.63	7.63
	15.0	18.0	11.03	9.93
	17.5	21.4	11.67	11.67
	20.0	24.4	15.89	14.90
サイロ型 空洞	10.0	—	—	4.54
	12.5	—	—	6.52
	15.0	—	—	10.06
	17.5	—	—	8.87
	20.0	—	—	10.18

資料 1-1 トンネル型空洞



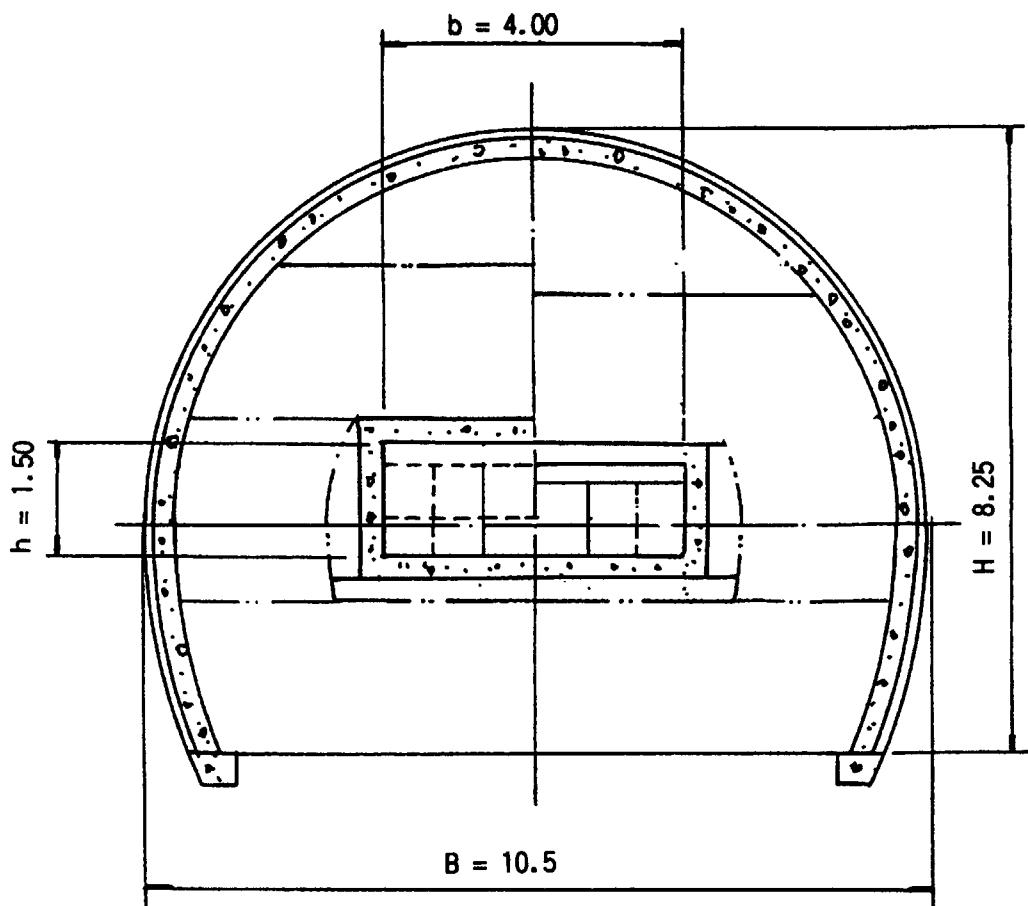
俵 積

大幅 B	=	6.3	(m)
最大高さ H	=	6.5	(m)
掘削量 Ae	=	33.3	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.3	(m)
覆工コンクリート量 Ac	=	6.0	(m ³ /m)
人工バリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量 Ab	=	25.3	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	1	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	=	0.22	(m ³ /m)
b×h×L	=	0.6×0.8×390	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	0.67	(%)

タテ積

最大幅 B	=	6.3	(m)
最大高さ H	=	6.5	(m)
掘削量 Ae	=	33.3	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.3	(m)
覆工コンクリート量 Ac	=	6.0	(m ³ /m)
人工バリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量 Ab	=	25.3	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	0	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	=	0	(m ³ /m)
b×h×L	=		(m)
収納効率 Aw/Ae	=	0	(%)

図 1-2 トンネル型空洞



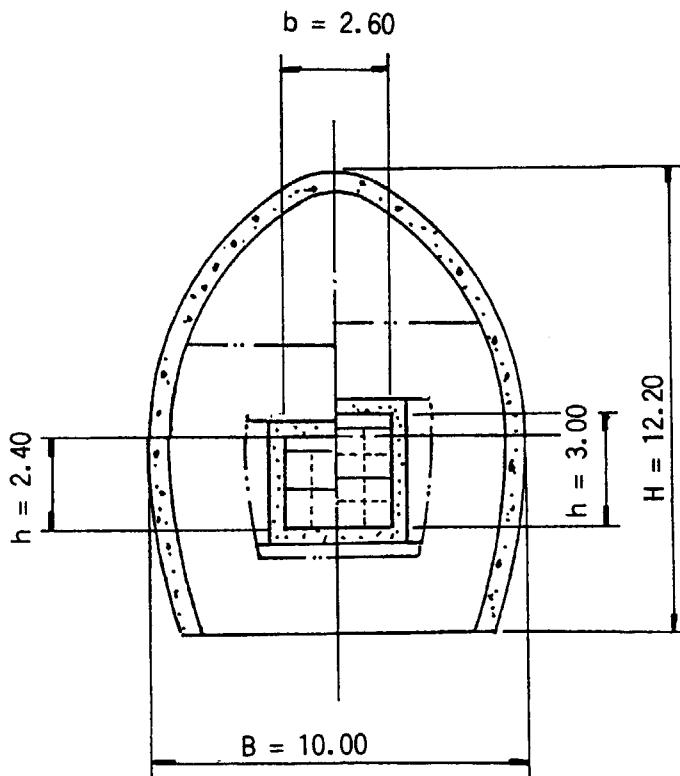
俵 積

最大幅	B =	10.5	(m)
最大高さ	H =	8.25	(m)
掘削量	Ae =	73.7	(m³/m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	15.9	(m³/m)
人工バリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab =		(m³/m)
廃棄体実体積 Aw'	=	12	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	=	2.67	(m³/m)
b×h×L	=	4.0×1.5×41.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	3.62	(%)

タテ積

最大幅	B =	10.5	(m)
最大高さ	H =	8.25	(m)
掘削量	Ae =	73.7	(m³/m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	15.9	(m³/m)
人工バリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab =		(m³/m)
廃棄体実体積 Aw'	=	12	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	=	2.00	(m³/m)
b×h×L	=	4.0×1.2×52.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	2.71	(%)

資料 1-3 卵型空洞



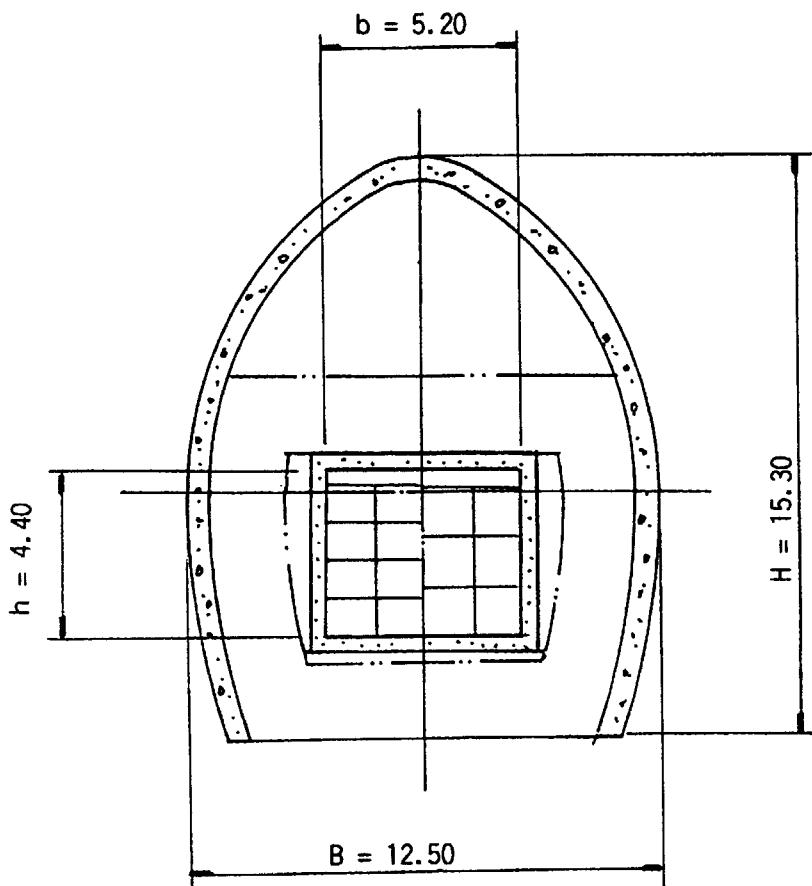
タテ積

最大幅	B =	10.0	(m)
最大高さ	H =	12.2	(m)
掘削量	Ae =	89.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	17.0	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工パリア量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	16	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	=	2.67	(m ³ /m)
b×h×L	=	2.6×2.4×39.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	2.98	(%)

俵積

最大幅	B =	10.0	(m)
最大高さ	H =	12.2	(m)
掘削量	Ae =	89.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	17.0	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工パリア量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	16	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	=	3.56	(m ³ /m)
b×h×L	=	2.6×3.0×32.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	3.98	(%)

資料 1-4 卵型空洞



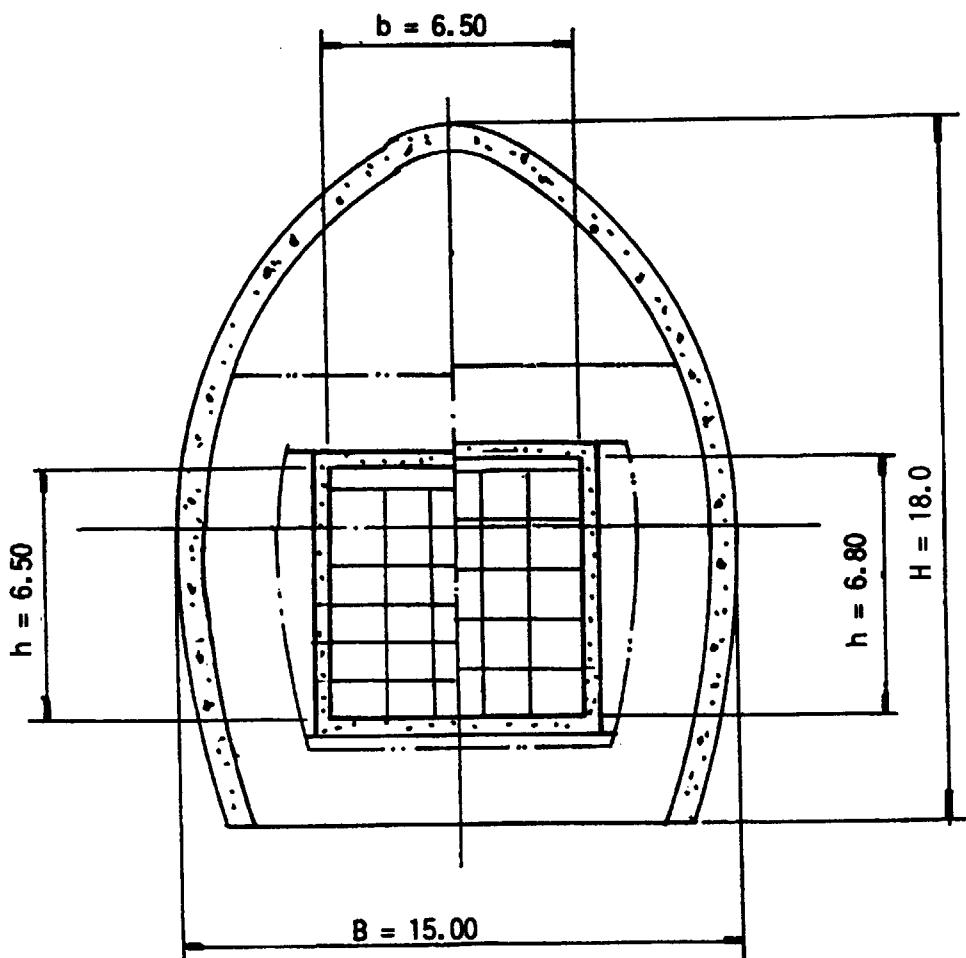
タテ積

最大幅	B	=	12.5	(m)
最大高さ	H	=	15.3	(m)
掘削量	Ae	=	139.8	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ	T	=	0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	25.5	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab	=		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	=	64	(本/1.2m)
廃棄体実体積	Aw	=	10.67	(m ³ /m)
b×h×L		=	5.2×4.4×10.5	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	7.63	(%)

俵 積

最大幅	B	=	12.5	(m)
最大高さ	H	=	15.3	(m)
掘削量	Ae	=	139.8	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ	T	=	0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	25.5	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab	=		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	=	48	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw	=	3.56	(m ³ /m)
b×h×L		=	5.2×4.4×10.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	7.63	(%)

資料1-5 卵型空洞



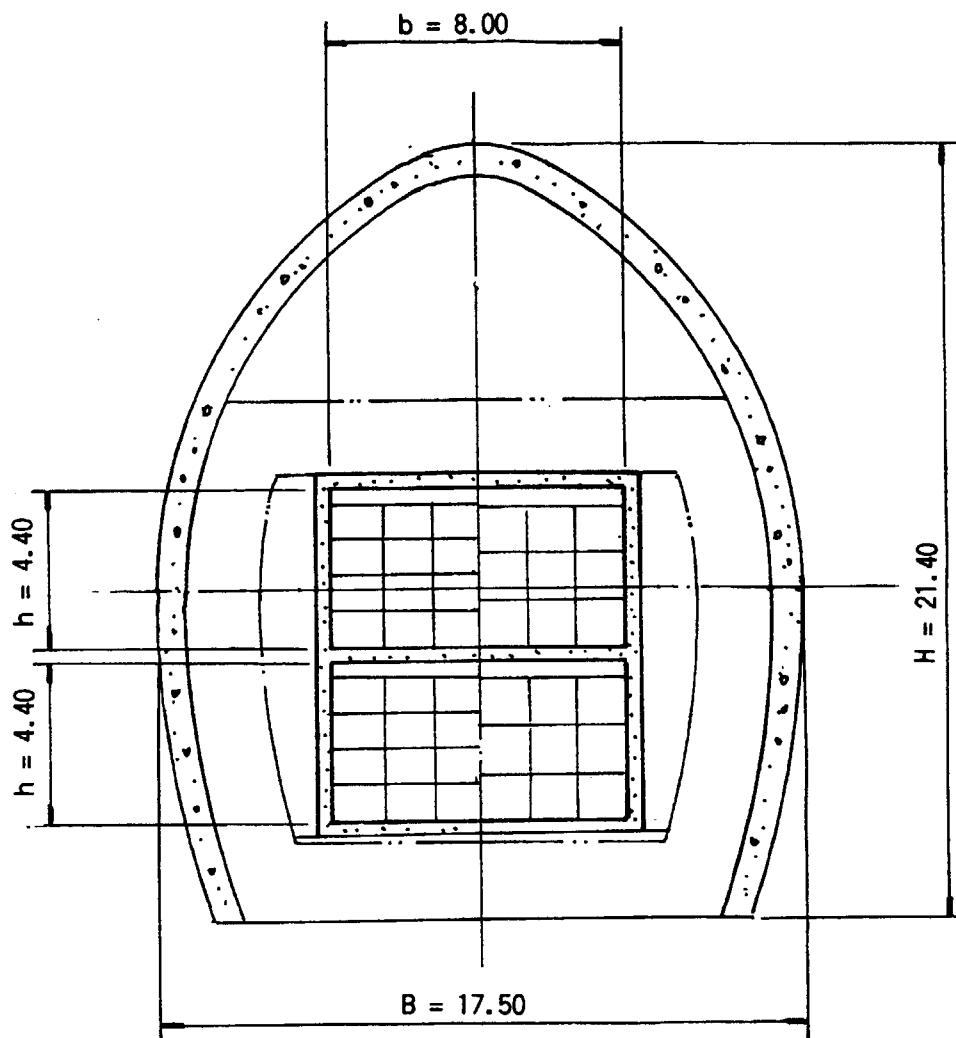
タテ積

最大幅	$B = 15.0$	(m)
最大高さ	$H = 18.0$	(m)
掘削量	$A_e = 201.4$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.7	(m)
覆工コンクリート量 A_c	= 35.8	(m ³ /m)
人工パリア厚さ T_b	= 2.0	(m)
人工パリア量 A_b	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 A_w'	= 120	(本/1.2m)
廃棄体実体積 A_w	= 20.0	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $6.5 \times 6.5 \times 5.2$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 9.93	(%)

俵 積

最大幅	$B = 15.0$	(m)
最大高さ	$H = 18.0$	(m)
掘削量	$A_e = 201.4$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.7	(m)
覆工コンクリート量 A_c	= 35.8	(m ³ /m)
人工パリア厚さ T_b	= 2.0	(m)
人工パリア量 A_b	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 A_w'	= 100	(本/0.9m)
廃棄体実体積 A_w	= 22.22	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $6.5 \times 6.5 \times 5.2$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 11.03	(%)

資料1-6 卵型空洞



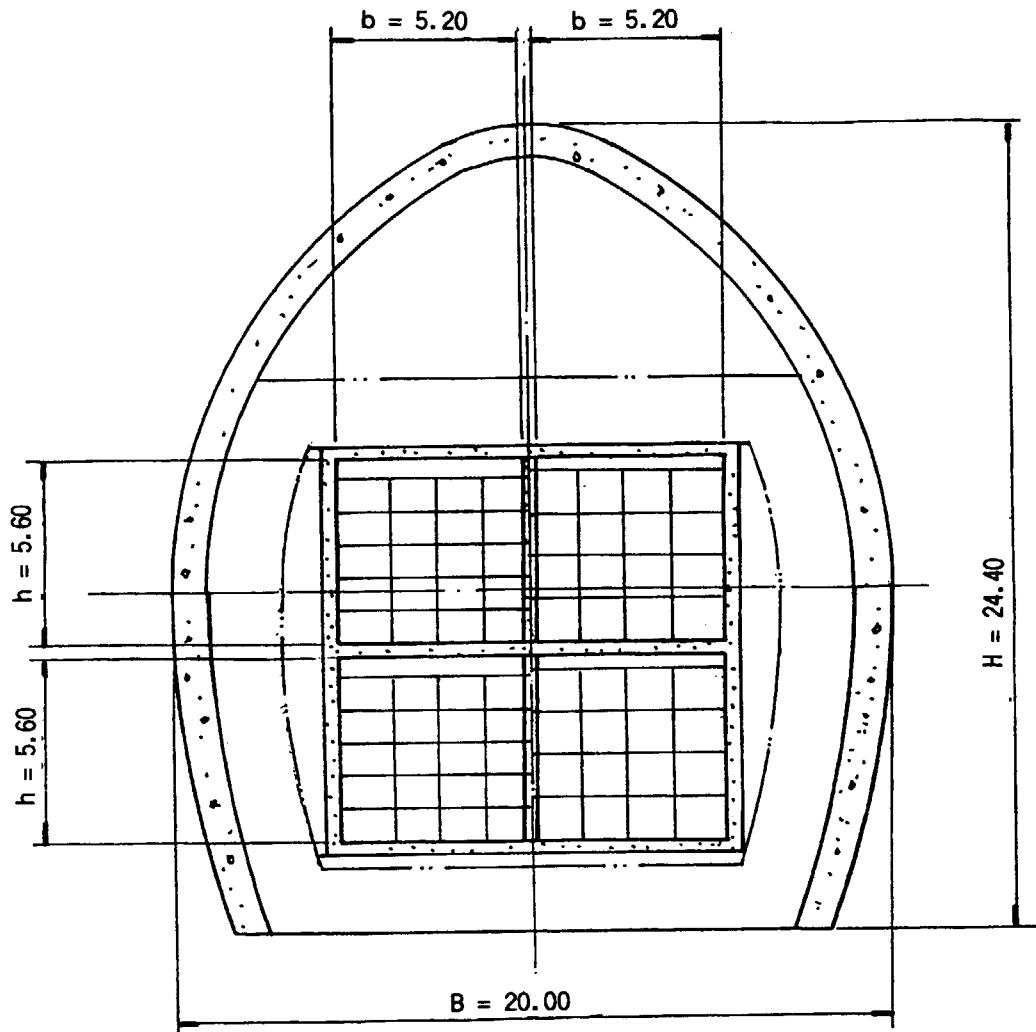
タテ積

最大幅	$B = 17.5$	(m)
最大高さ	$H = 21.4$	(m)
掘削量	$A_e = 274.1$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.8	(m)
覆工コンクリート量 A_c	= 47.8	(m ³ /m)
人工バリア厚さ T_b	= 2.0	(m)
人工バリア量 A_b	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 A_w'	= 96 (192)	(本/1.2m)
廃棄体実体積 A_w	= 32.0	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $8.0 \times 4.4 \times 6.5$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 11.67	(%)

俵積

最大幅	$B = 17.5$	(m)
最大高さ	$H = 21.4$	(m)
掘削量	$A_e = 274.1$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.8	(m)
覆工コンクリート量 A_c	= 47.8	(m ³ /m)
人工バリア厚さ T_b	= 2.0	(m)
人工バリア量 A_b	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 A_w'	= 72 (144)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 A_w	= 22.22	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $8.0 \times 4.4 \times 6.5$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 11.67	(%)

資料1-7 卵型空洞



タテ積

最大幅	B =	20.0	(m)
最大高さ	H =	24.4	(m)
掘削量	Ae =	358.0	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.9	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	61.5	(m ³ /m)
人工ハ'リヤ厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工ハ'リヤ量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	80 (320)	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	=	53.33	(m ³ /m)
b×h×L	=	5.2×5.6×7.8	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	14.90	(%)

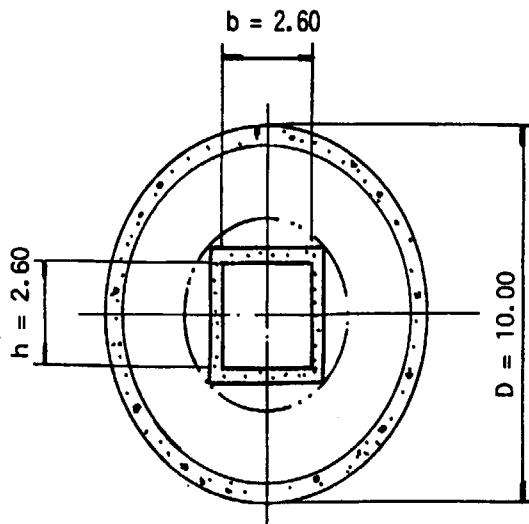
俵 積

最大幅	B =	20.0	(m)
最大高さ	H =	24.4	(m)
掘削量	Ae =	358.0	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.9	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	61.5	(m ³ /m)
人工ハ'リヤ厚さ Tb	=	2.0	(m)
人工ハ'リヤ量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	=	64 (256)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	=	56.89	(m ³ /m)
b×h×L	=	5.2×5.6×8.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	15.89	(%)

資料 1-8 サイロ型空洞

タテ積

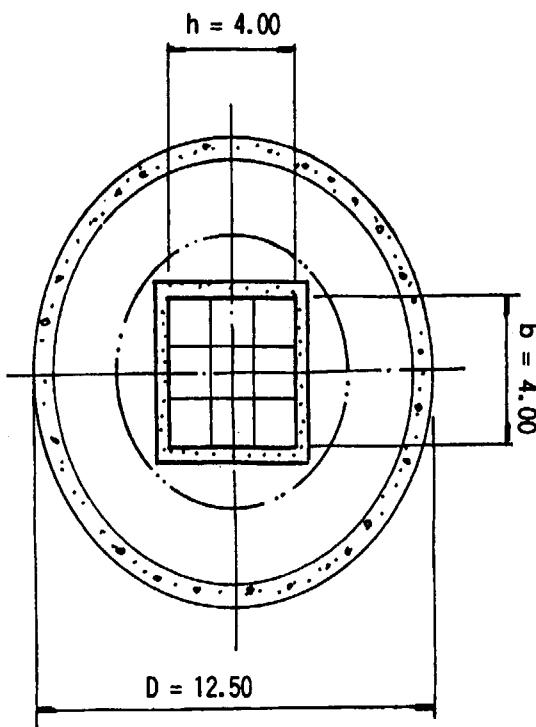
掘削径	D = 10.0	(m)
掘削量	Ae = 78.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 14.9	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ Tb	= 2.0	(m)
人工パリヤ量	Ab = 44.0	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 16	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 3.56	(m ³ /m)
b×h×L	= 2.6×2.6×30	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 4.54	(%)



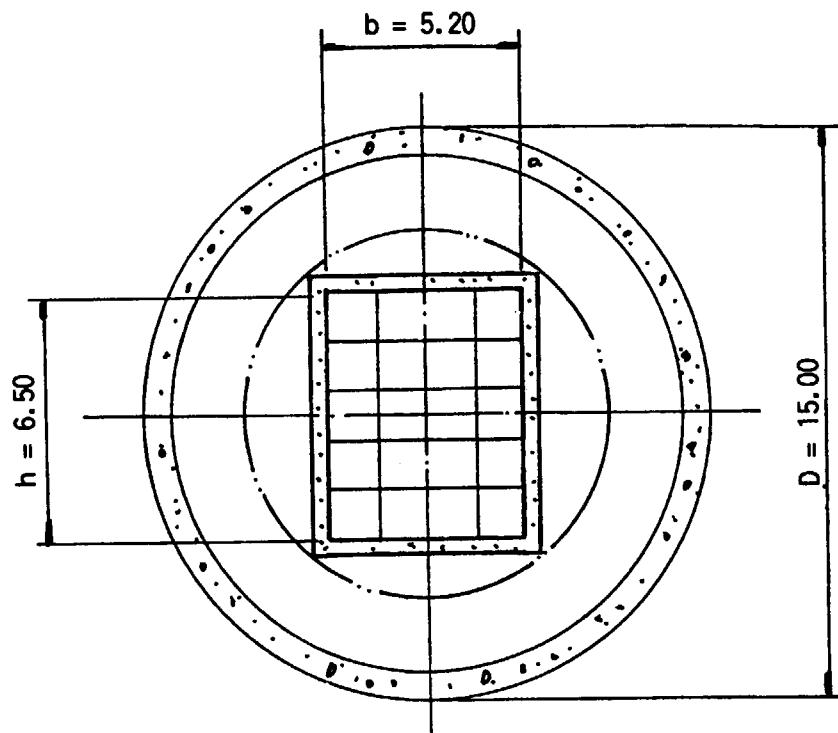
資料 1-9 サイロ型空洞

タテ積

掘削径	D = 12.5	(m)
掘削量	Ae = 122.7	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 22.4	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ Tb	= 2.0	(m)
人工パリヤ量	Ab = 58.4	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 36	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 8.0	(m ³ /m)
b×h×L	= 4.0×4.0×15.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 6.52	(%)



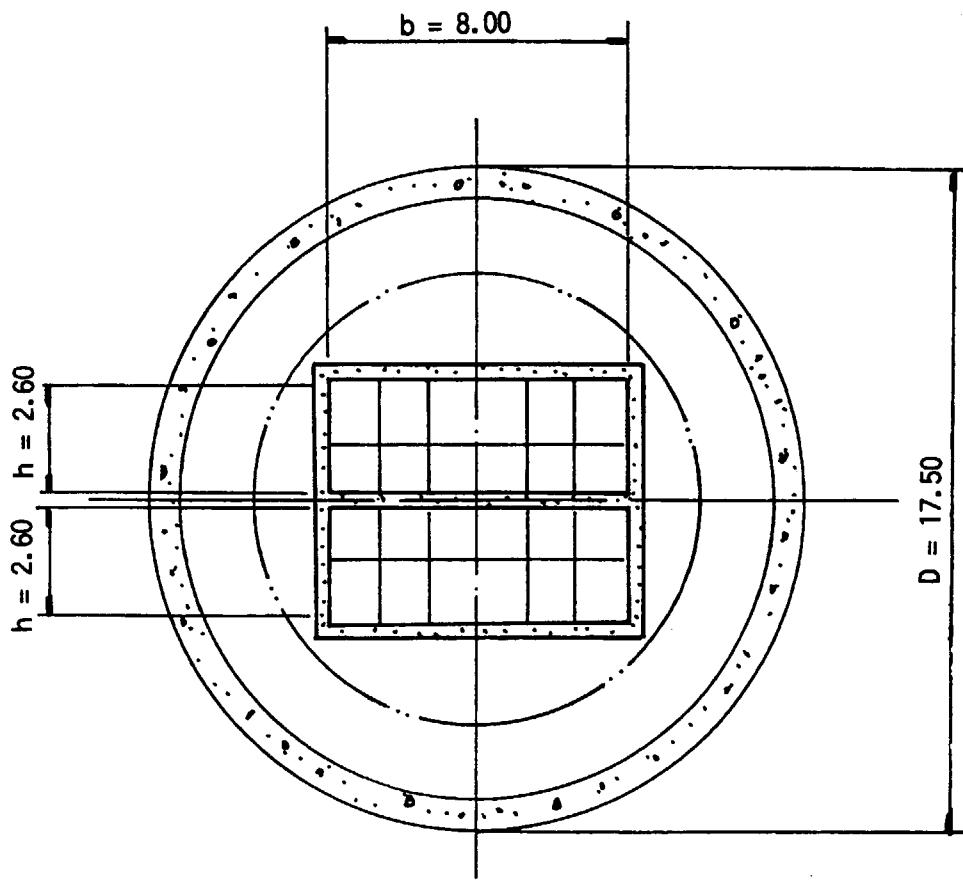
資料 1-10 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	D	=	15.0	(m)
掘削量	Ae	=	176.7	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ	T	=	0.7	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	31.4	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab	=	72.9	(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	=	80	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw	=	17.78	(m ³ /m)
b×h×L		=	5.2×5.2×7.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	10.06	(%)

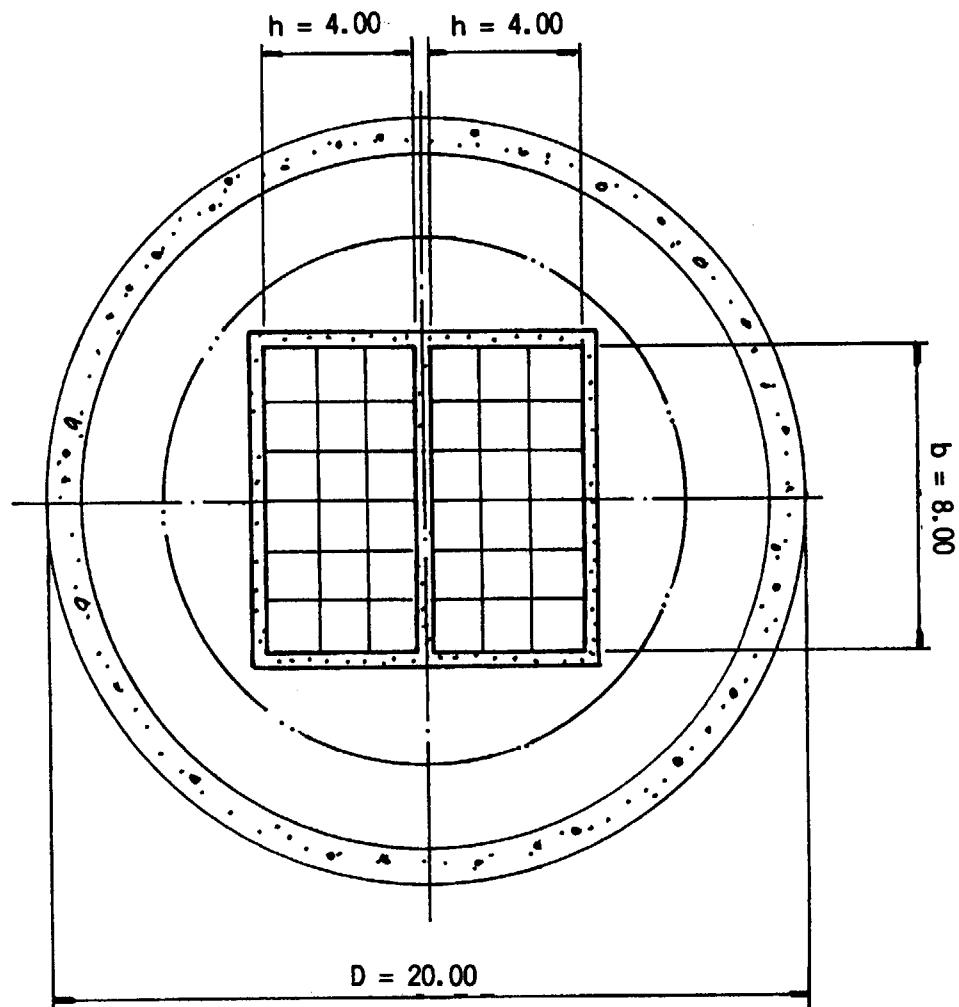
資料 1-11 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	D	=	17.5	(m)
掘削量	Ae	=	240.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		=	0.8	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	41.9	(m ³ /m)
人工バリア厚さ Tb		=	2.0	(m)
人工バリア量	Ab	=	87.3	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'		=	48 (96)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw		=	21.33	(m ³ /m)
b×h×L		=	8.0×2.6×2.6	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	8.87	(%)

資料 1-12 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	$D = 20.0$	(m)
掘削量	$A_e = 314.2$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.9	(m)
覆工コンクリート量	$A_c = 54.0$	(m ³ /m)
人工バリア厚さ T_b	= 2.0	(m)
人工バリア量	$A_b = 101.8$	(m ³ /m)
廃棄体実体積	$A_w' = 72$ (144)	(本/0.9m)
廃棄体実体積	$A_w = 32.0$	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $8.0 \times 4.0 \times 7.06$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 10.18	(%)

2. 地層処分場の構造型式、大きさ別廃棄体収納断面、収納効率

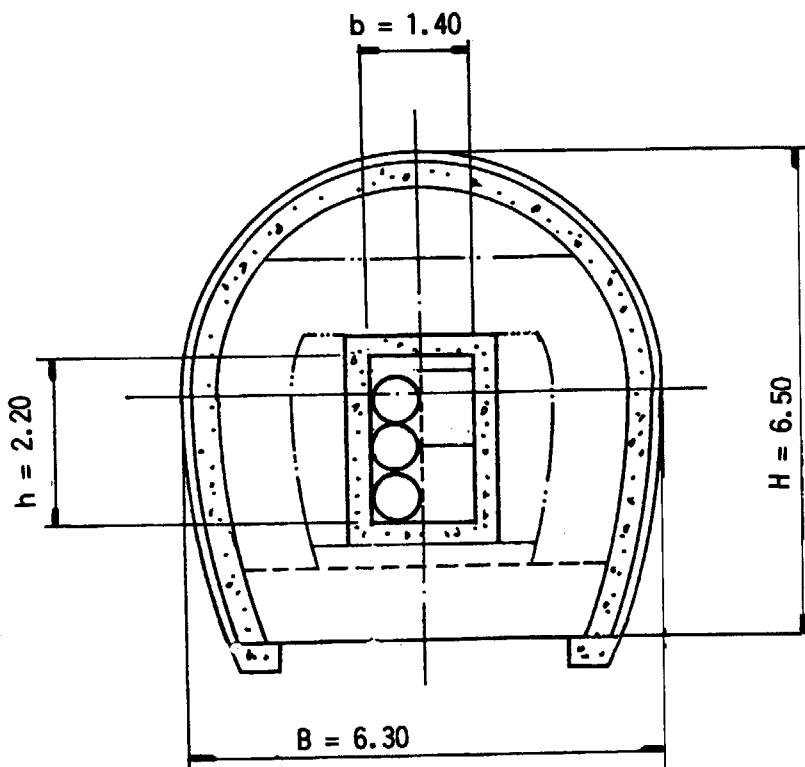
(人工バリア厚さ 1.0m、地下 200m)

これは高 β γ 廃棄物相当およびTRU 廃棄物相当の廃棄物を対象にして、地下深部（100～200m）に配置するものである。トンネル型・卵型・サイロ型の空洞について、大きさを変えて廃棄体の収納断面を検討し、収納効率を求めた。結果の大要は下表のとおりである。

表-A1.2 構造形式・基本寸法・処分方法毎の収納効率（空洞単位当たり）

構造形式	基本寸法		収納効率(%)	
	B または D (m)	H(m)	俵積	タテ積
トンネル	6.3	6.50	3.99	3.99
	10.5	8.25	9.65	10.85
卵型空洞	10.0	12.2	11.92	11.92
	12.5	15.3	15.89	14.31
	15.0	18.0	15.89	15.89
	17.5	21.4	20.75	19.46
	20.0	24.4	19.86	17.88
サイロ型 空洞	10.0	—	—	10.19
	12.5	—	—	11.59
	15.0	—	—	12.57
	17.5	—	—	13.31
	20.0	—	—	18.11

資料 2-1 トンネル型空洞



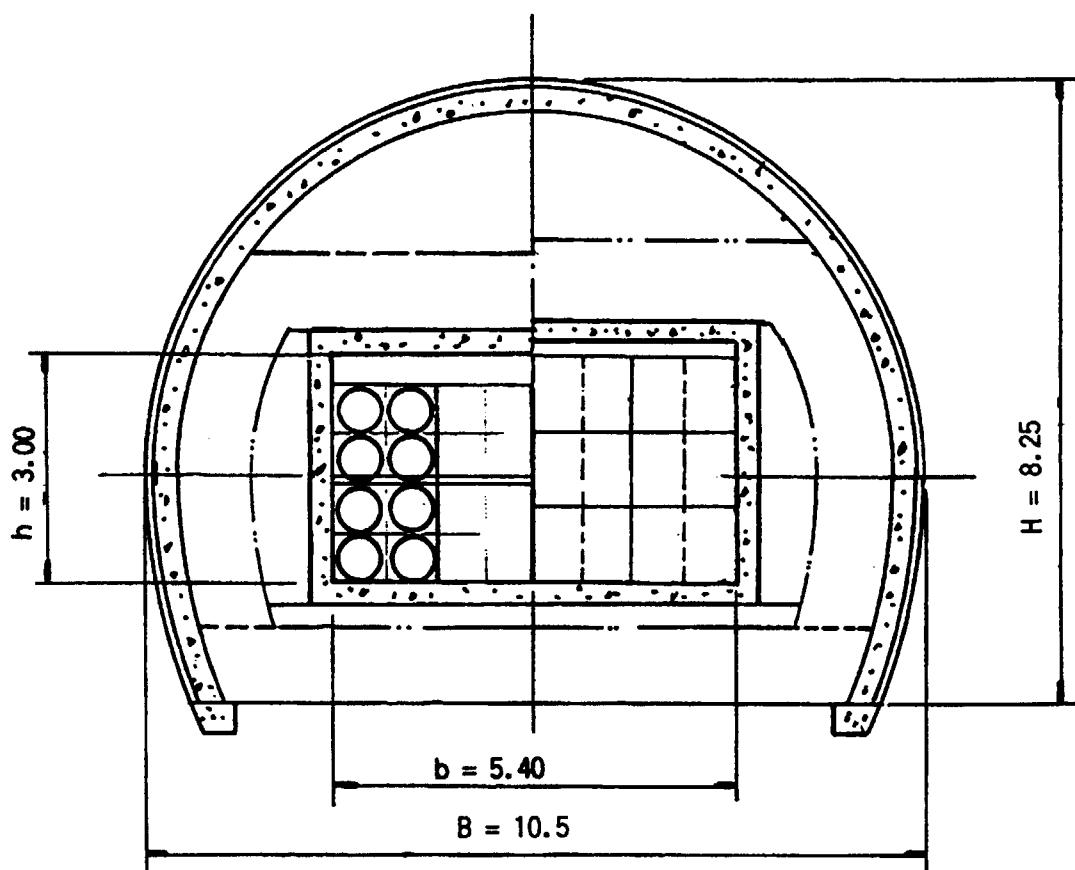
俵 積

最大幅	B =	6.3	(m)
最大高さ	H =	6.5	(m)
掘削量	Ae =	33.3	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.3	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	6.0	(m ³ /m)
人工ハ'リ亞厚さ	Tb =	1.0	(m)
人工ハ'リ亞量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw' =	6	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw =	1.33	(m ³ /m)
b×h×L	=	1.4×2.2×80.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	3.99	(%)

タテ積

最大幅	B =	6.3	(m)
最大高さ	H =	6.5	(m)
掘削量	Ae =	33.3	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	=	0.3	(m)
覆工コンクリート量	Ac =	6.0	(m ³ /m)
人工ハ'リ亞厚さ	Tb =	1.0	(m)
人工ハ'リ亞量	Ab =		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw' =	8	(本/1.2m)
廃棄体実体積	Aw =	1.33	(m ³ /m)
b×h×L	=	1.4×2.2×80.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	=	3.99	(%)

資料2-2 トンネル型空洞



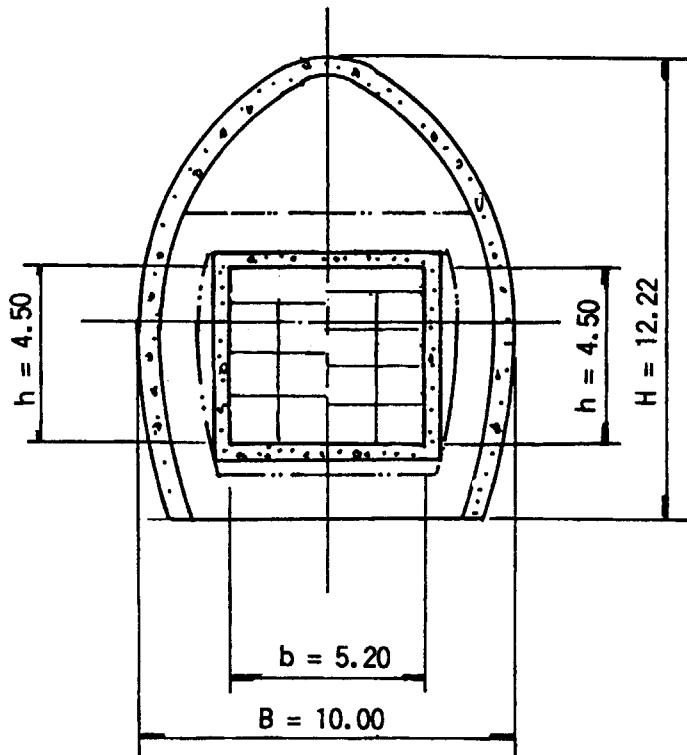
俵 積

最大幅	B	=	10.5	(m)
最大高さ	H	=	8.25	(m)
掘削量	Ae	=	73.7	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	15.9	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	=	1.0	(m)
人工バリア量	Ab	=		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	=	32	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw	=	7.11	(m ³ /m)
b×h×L		=	5.4×3.0×15.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	9.6	(%)

タテ積

最大幅	B	=	10.5	(m)
最大高さ	H	=	8.25	(m)
掘削量	Ae	=	73.7	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		=	0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac	=	15.9	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	=	1.0	(m)
人工バリア量	Ab	=		(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	=	48	(本/1.2m)
廃棄体実体積	Aw	=	8.0	(m ³ /m)
b×h×L		=	5.4×3.0×14.4	(m)
収納効率 Aw/Ae		=	10.9	(%)

資料2-3 卵型空洞



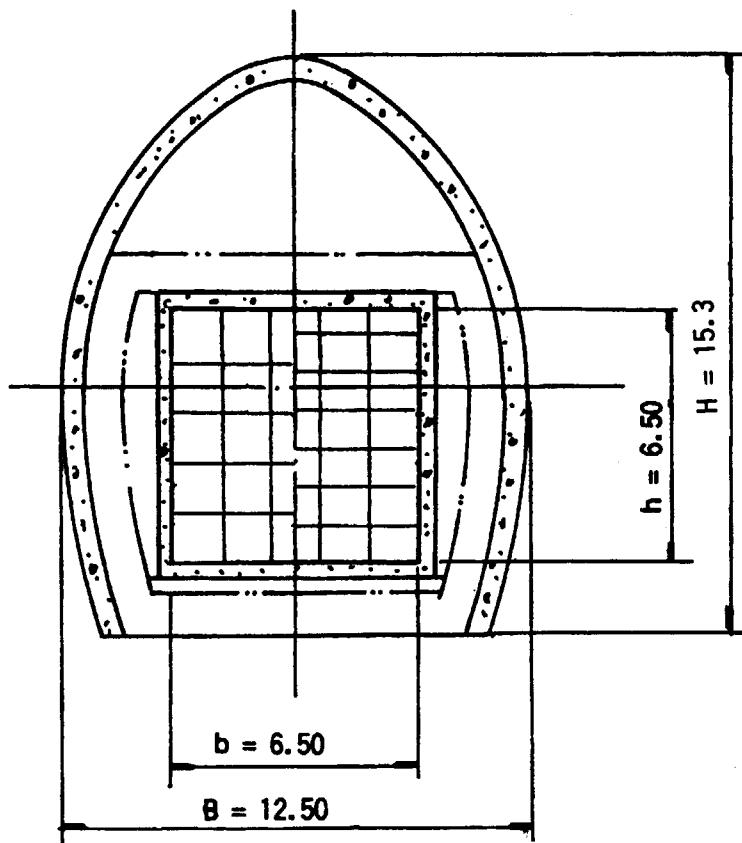
俵 積

最大幅	B	= 10.0	(m)
最大高さ	H	= 12.2	(m)
掘削量	Ae	= 89.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac	= 17.0	(m ³ /m)
人工ハ'リヤ厚さ	Tb	= 1.0	(m)
人工ハ'リヤ量	Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	= 48	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw	= 10.67	(m ³ /m)
b×h×L		= 5.2×4.5×10.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 11.92	(%)

タテ積

最大幅	B	= 10.0	(m)
最大高さ	H	= 12.2	(m)
掘削量	Ae	= 89.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac	= 17.0	(m ³ /m)
人工ハ'リヤ厚さ	Tb	= 1.0	(m)
人工ハ'リヤ量	Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	= 64	(本/1.2m)
廃棄体実体積	Aw	= 10.67	(m ³ /m)
b×h×L		= 5.2×4.5×10.5	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 11.92	(%)

資料2-4 卵型空洞



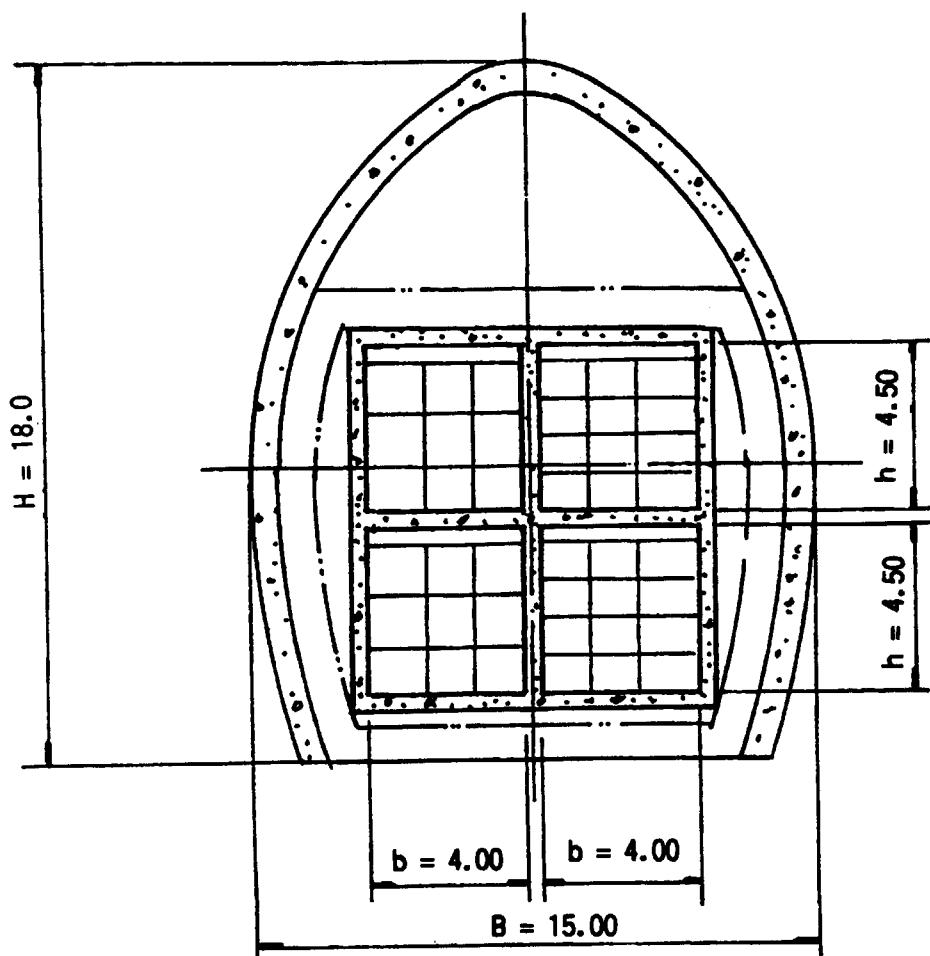
俵積

最大幅	B = 12.5	(m)
最大高さ	H = 15.3	(m)
掘削量	Ae = 139.8	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 25.5	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリア量	Ab =	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 100	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 22.22	(m ³ /m)
b×h×L	= 6.5×6.5×5.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 15.89	(%)

タテ積

最大幅	B = 12.5	(m)
最大高さ	H = 15.3	(m)
掘削量	Ae = 139.8	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 25.5	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリア量	Ab =	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 120	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	= 20.00	(m ³ /m)
b×h×L	= 6.5×6.5×5.5	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 14.31	(%)

資料2-5 卵型空洞



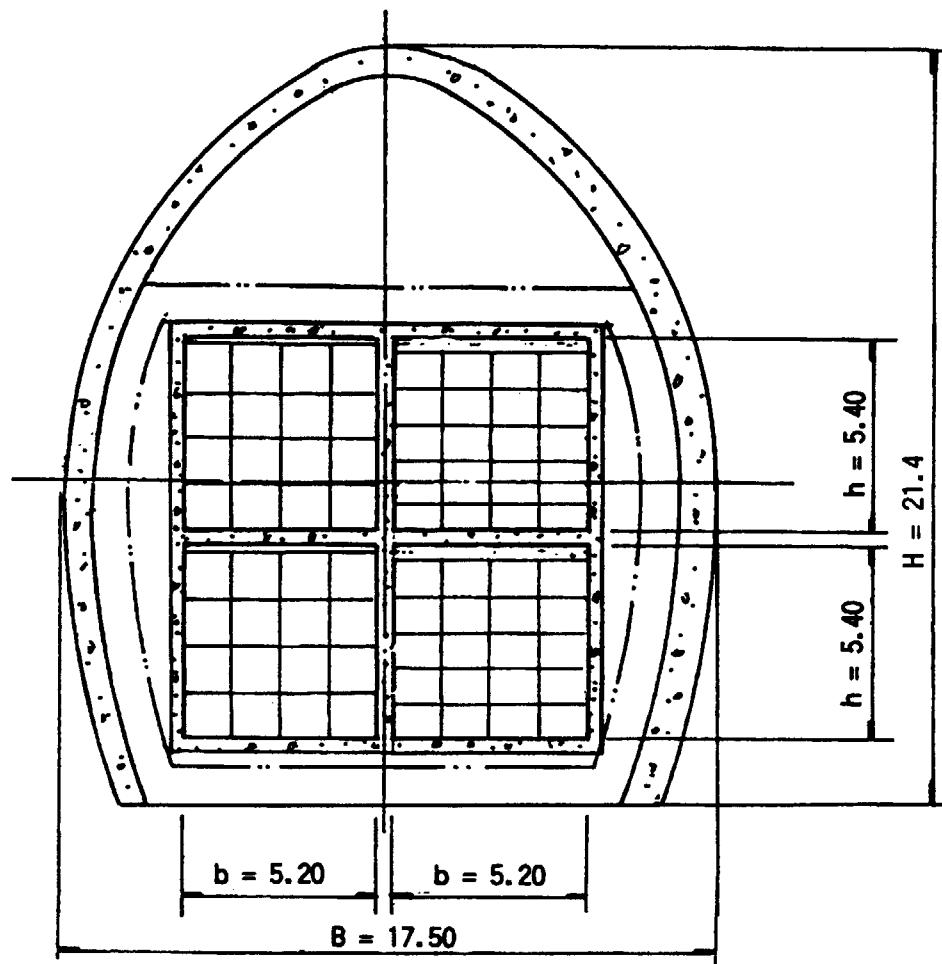
俵積

最大幅	B	= 15.0	(m)
最大高さ	H	= 18.0	(m)
掘削量	Ae	= 201.4	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.7	(m)
覆工コンクリート量	Ac	= 35.8	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	= 1.0	(m)
人工バリア量	Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	= 36(144)	(本/0.9m)
廃棄体実体積	Aw	= 32.0	(m ³ /m)
b×h×L		= 4.0×4.5×13.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 15.89	(%)

タテ積

最大幅	B	= 15.0	(m)
最大高さ	H	= 18.0	(m)
掘削量	Ae	= 201.4	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.7	(m)
覆工コンクリート量	Ac	= 35.8	(m ³ /m)
人工バリア厚さ	Tb	= 1.0	(m)
人工バリア量	Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積	Aw'	= 48 (192)	(本/1.2m)
廃棄体実体積	Aw	= 32.0	(m ³ /m)
b×h×L		= 4.0×4.5×13.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 15.89	(%)

資料2-6 卵型空洞



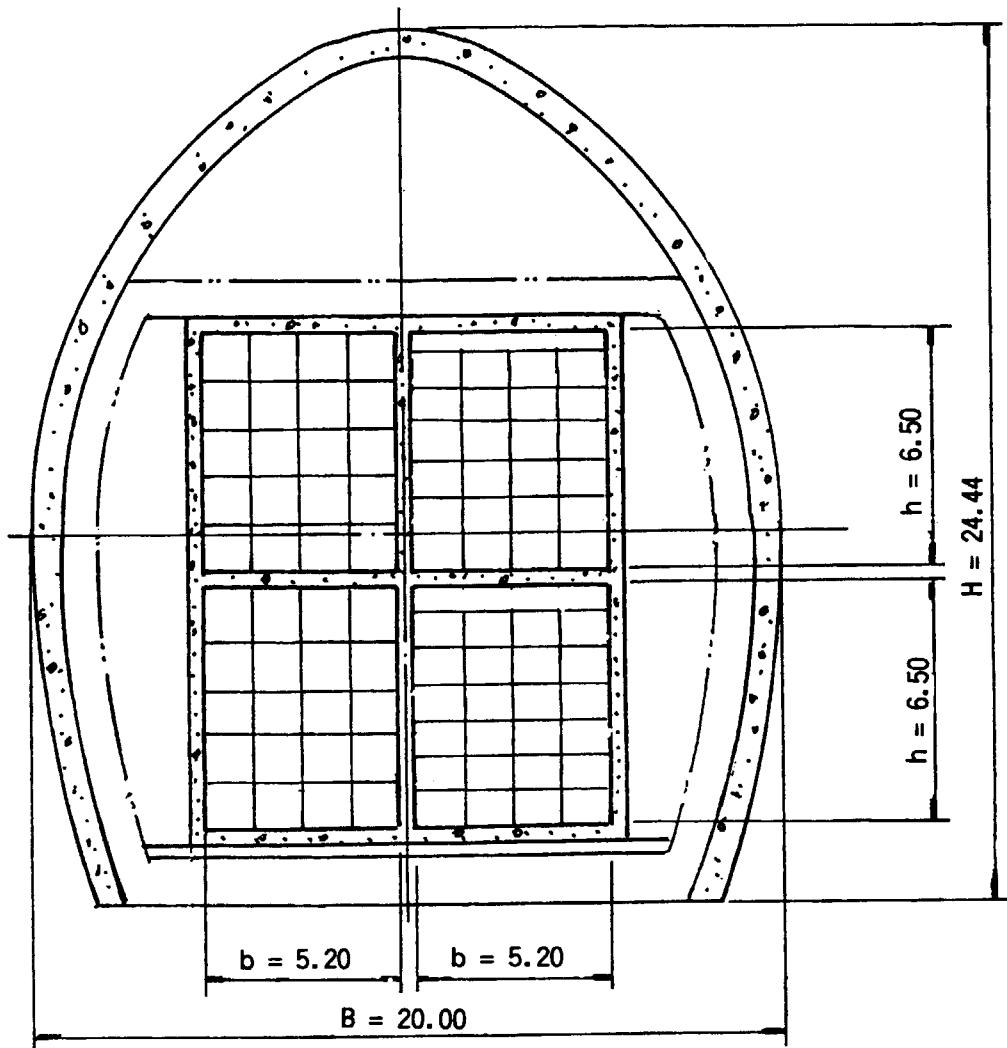
俵積

最大幅	B = 17.5	(m)
最大高さ	H = 21.4	(m)
掘削量	Ae = 274.1	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.8	(m)
覆工コンクリート量 Ac	= 47.8	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリア量 Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 64(256)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 56.9	(m ³ /m)
b×h×L	= 5.2×5.4×8.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 20.75	(%)

タテ積

最大幅	B = 17.5	(m)
最大高さ	H = 21.4	(m)
掘削量	Ae = 274.1	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.8	(m)
覆工コンクリート量 Ac	= 47.8	(m ³ /m)
人工パリア厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリア量 Ab	=	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 80(320)	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw	= 53.33	(m ³ /m)
b×h×L	= 5.2×5.45×8.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 19.46	(%)

資料 2-7 卵型空洞



俵積

最大幅	B	= 20.0	(m)
最大高さ	H	= 24.4	(m)
掘削量	Ae	= 358.0	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.9	(m)
覆工コンクリート量 Ac		= 61.5	(m ³ /m)
人工バリア厚さ Tb		= 1.0	(m)
人工バリア量 Ab			(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'		= 80(320)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw		= 71.11	(m ³ /m)
b×h×L		= 5.2×6.5×7.0	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 19.86	(%)

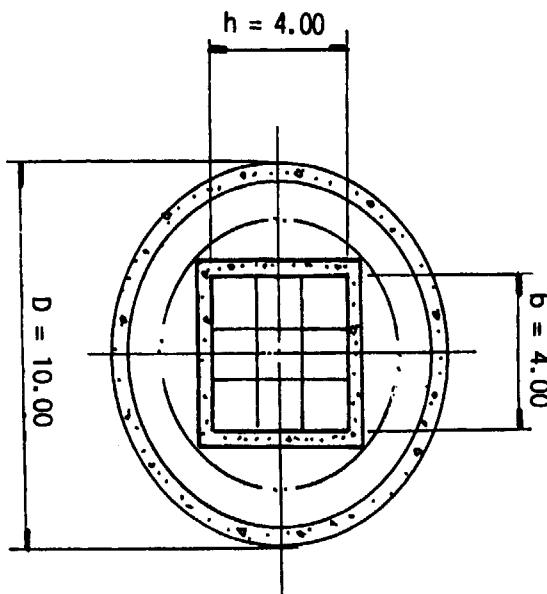
タテ積

最大幅	B	= 20.0	(m)
最大高さ	H	= 24.4	(m)
掘削量	Ae	= 358.0	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		= 0.9	(m)
覆工コンクリート量 Ac		= 61.5	(m ³ /m)
人工バリア厚さ Tb		= 1.0	(m)
人工バリア量 Ab			(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'		= 96 (384)	(本/1.2m)
廃棄体実体積 Aw		= 64.0	(m ³ /m)
b×h×L		= 5.2×6.5×6.5	(m)
収納効率 Aw/Ae		= 17.88	(%)

資料 2-8 サイロ型空洞

タテ積

掘削径	D = 10.0	(m)
掘削量	Ae = 78.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.5	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 14.9	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリヤ量	Ab = 25.1	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 36	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 8.0	(m ³ /m)
b×h×L	= 4.0×4.0×15.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 10.19	(%)



資料 2-9 サイロ型空洞

タテ積

掘削径	D = 12.5	(m)
掘削量	Ae = 122.7	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.6	(m)
覆工コンクリート量	Ac = 22.4	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリヤ量	Ab = 32.4	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 64	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 14.22	(m ³ /m)
b×h×L	= 5.2×5.2×9.0	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 11.59	(%)

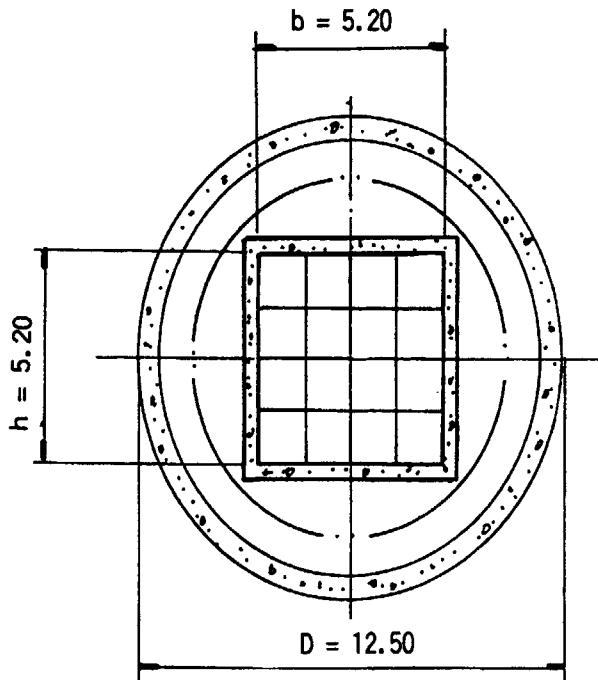
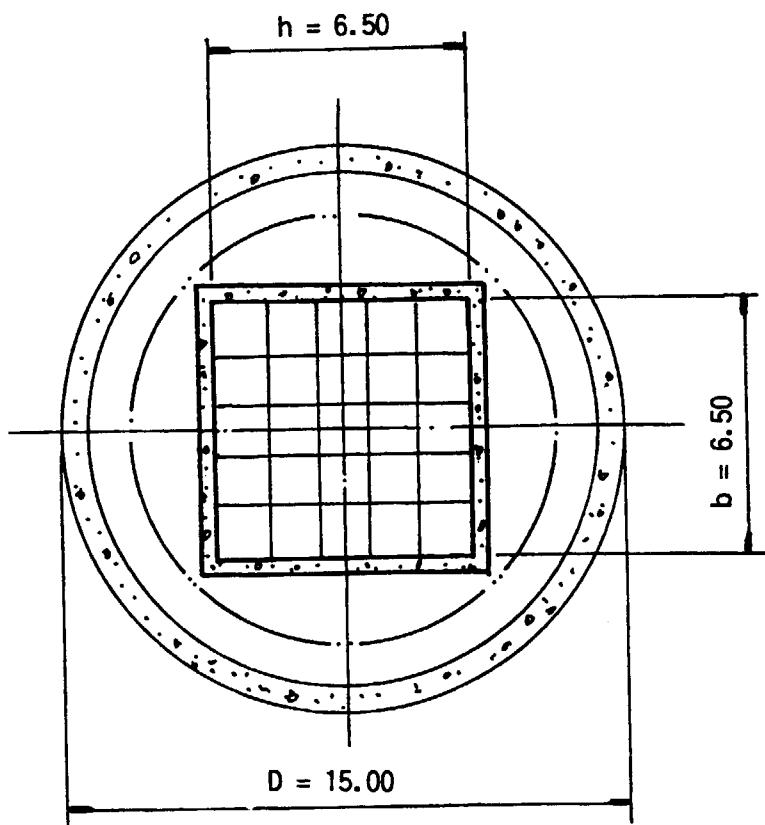


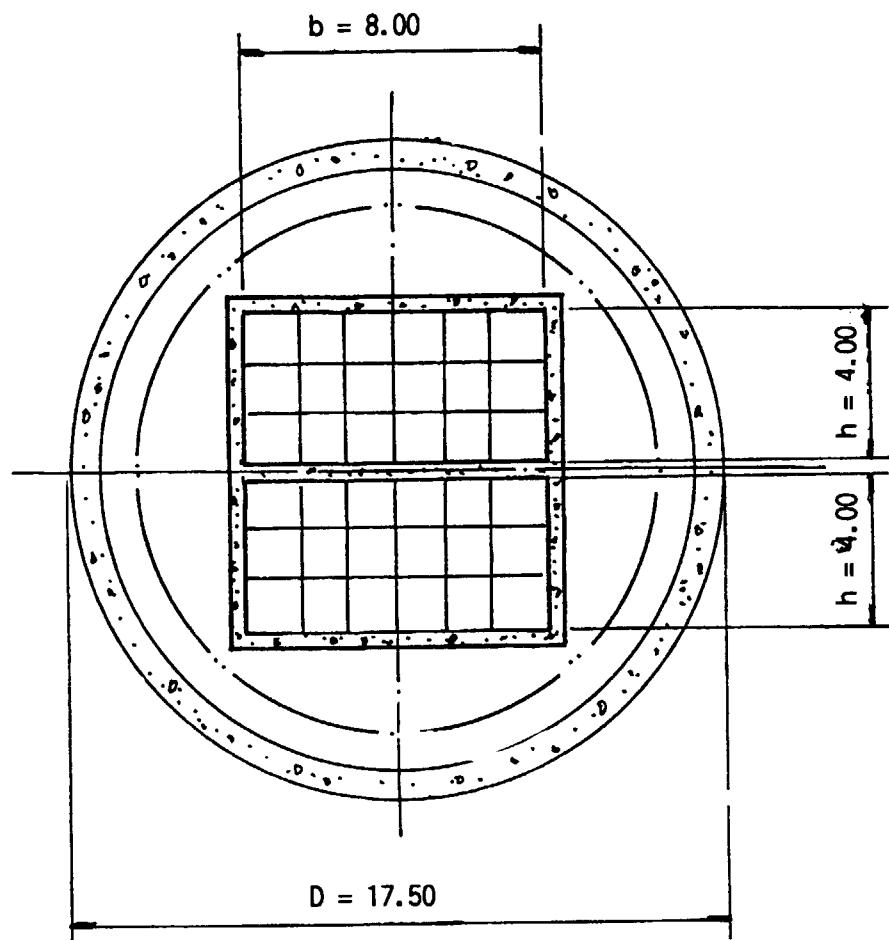
図 2-10 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	$D = 15.0$	(m)
掘削量	$A_e = 176.7$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.7	(m)
覆工コンクリート量	$A_c = 31.4$	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ T_b	= 1.0	(m)
人工パリヤ量	$A_b = 39.6$	(m ³ /m)
廃棄体実体積	$A_w' = 100$	(本/0.9m)
廃棄体実体積	$A_w = 22.22$	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $6.5 \times 6.5 \times 5.0$	(m)
収納効率 A_w/A_e	= 12.57	(%)

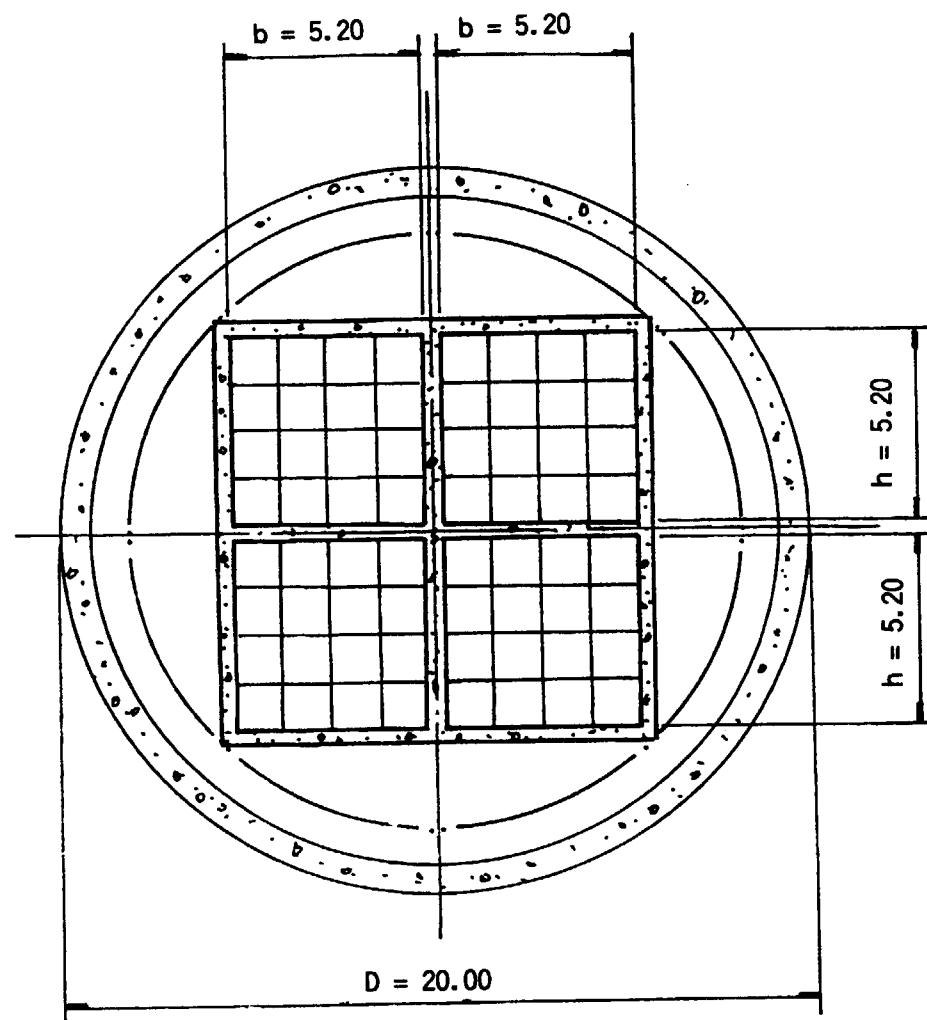
図 2-11 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	D	=	17.5	(m)
掘削量	A_e	=	240.5	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T		=	0.8	(m)
覆工コンクリート量	A_c	=	41.9	(m ³ /m)
人工バリア厚さ T_b		=	1.0	(m)
人工バリア量	A_b	=	46.8	(m ³ /m)
廃棄体実体積	A_w'	=	72(144)	(本/0.9m)
廃棄体実体積	A_w	=	32.0	(m ³ /m)
$b \times h \times L$		=	$8.0 \times 4.0 \times 7.5$	(m)
収納効率 A_w/A_e		=	13.31	(%)

図 2-12 サイロ型空洞



タテ積

掘削径	$D = 20.0$	(m)
掘削量	$Ae = 314.2$	(m ³ /m)
覆工コンクリート厚さ T	= 0.9	(m)
覆工コンクリート量	$Ac = 54.0$	(m ³ /m)
人工パリヤ厚さ Tb	= 1.0	(m)
人工パリヤ量	$Ab = 54.0$	(m ³ /m)
廃棄体実体積 Aw'	= 64(256)	(本/0.9m)
廃棄体実体積 Aw	= 56.9	(m ³ /m)
$b \times h \times L$	= $5.2 \times 5.2 \times 9.0$	(m)
収納効率 Aw/Ae	= 18.11	(%)

3. 放射性廃棄物処分場の事例

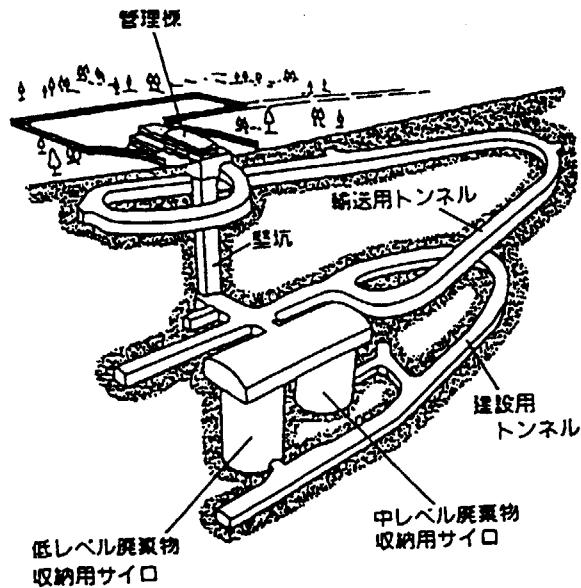


図-A3.1 オルキルオト発電所サイトのVLF処分場¹⁾

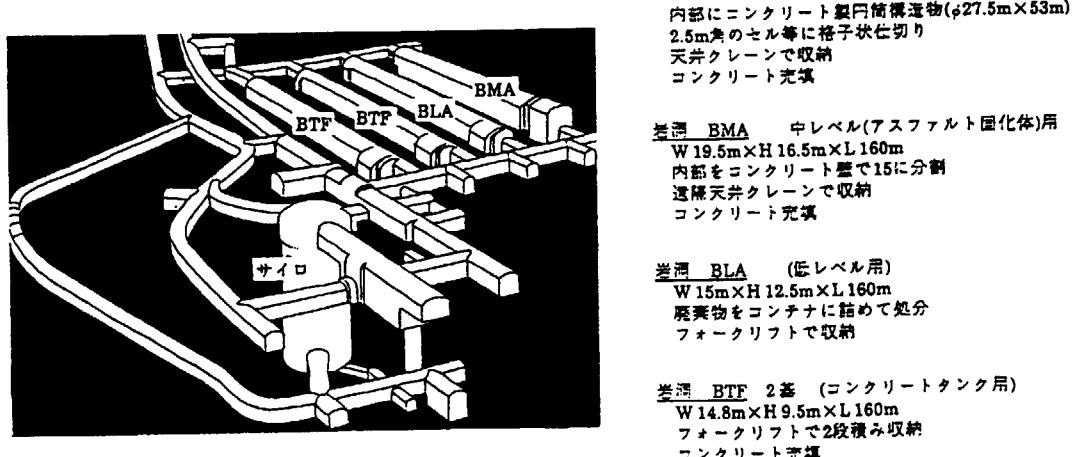


図-A3.2 スウェーデンSFR処分場施設の鳥瞰図²⁾

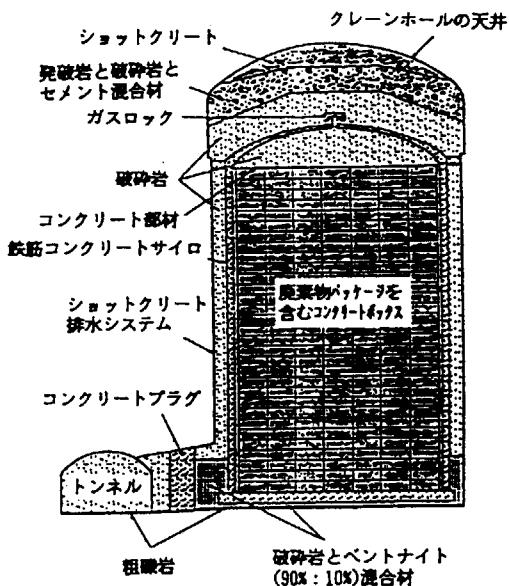


図-A3.3 フィンランドV L J処分場の中レベル廃棄物用サイロ施設³⁾

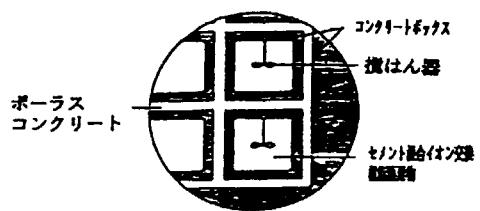
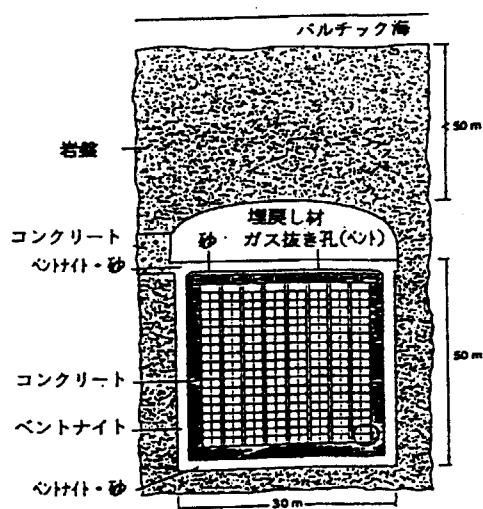


図-A3.4 スウェーデンSFR処分場のサイロ施設⁴⁾

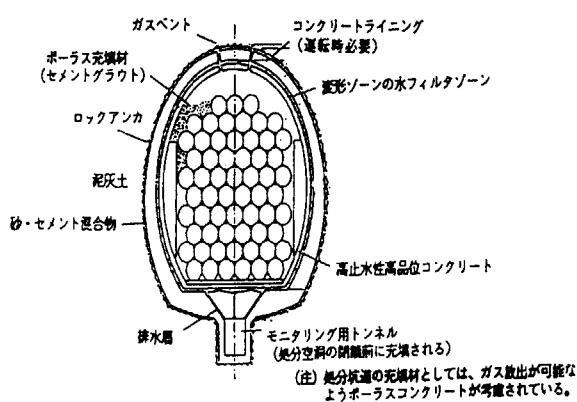


図-A3.5 スイス山岳トンネル型の処分空洞の一例⁵⁾

4. 地下空洞式埋設処分場の概略有限要素法解析結果

4-1. 解析条件

①解析手法

岩盤の挙動をシミュレーションするには岩盤の不連続性等を工学的に評価する必要があるが、現実の岩盤をそのまま細かく表現するのは不可能であり、理想化、単純化された形でいくつかの解析手法が提案されている。これらの解析手法の中で FEM 解析は最も一般化された手法であり、多くの実績により工学的評価のノウハウが蓄積されている。今回も FEM 解析により、地表面沈下量や周辺地山の状態を算定する。

なお、今回の解析では吹付コンクリートやロックボルト等の支保の効果を考慮していないため、やや安全側（変位が大きくなる方向）の検討となっている。

②解析メッシュ

解析メッシュを以下に示す。地質は Mud Stone と Sand の二層構造とし、全土被りは 50m とする。また、車両等の通行等を考慮して 1.0tf/m^2 (9.8 kPa)の上載荷重を考慮する。

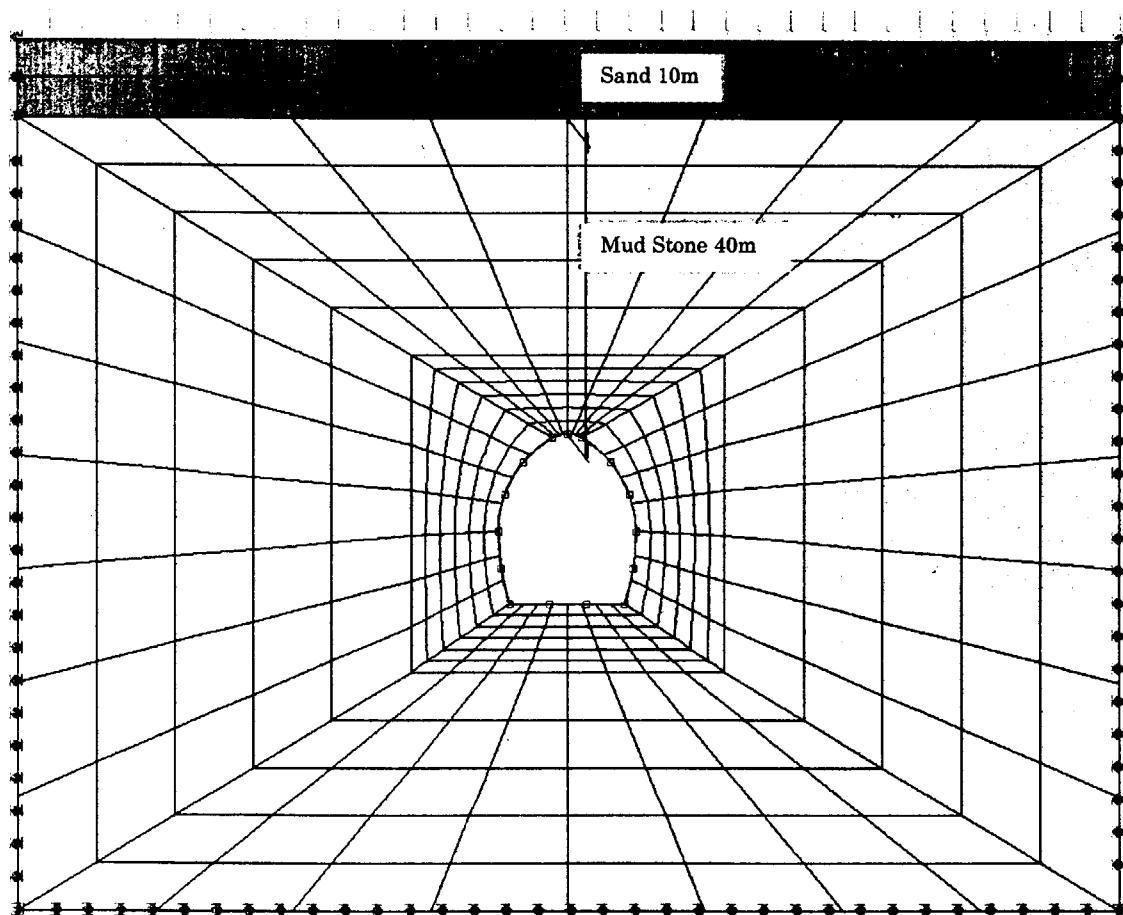


図-A4.1 解析メッシュ図

③地山物性値

地山物性値は下表の値を使用する。

表-A4.1 地山物性値

岩種	単位体積重量 (tf/m ³) {kN/m ³ }	変形係数 (kgf/cm ²) {MPa}	粘着力 (tf/m ²) {kPa}	内部摩擦角 (度)
Sand	1.80 {17.6}	100 {9.8}	0.0 {0.0}	35
Mud Stone	1.55 {15.2}	3,000 {294}	57.0 {559}	22

ここに、Mud Stone の粘着力(C)は一軸圧縮強度($q_u=17\text{kgf/cm}^2\{1.67 \text{ MPa}\}$ 、内部摩擦角から下式により算定した。

$$C = q_u / 2 \times ((1 - \sin \phi) / \cos \phi)$$

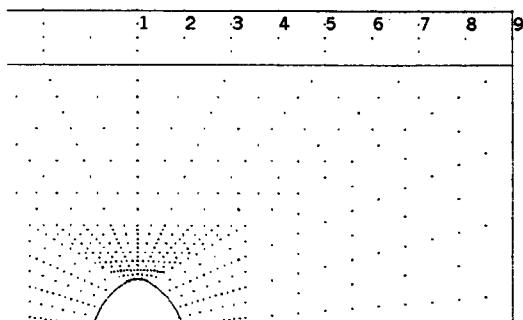
4-2. 解析結果

①掘削に伴う変位量

掘削に伴う変位量は下表の通りとなった。傾斜角は最大で $2/10,000$ 程度と微小な値となつた。

地表面沈下量

No.	トンネルセンター からの離れ(m)	地表面沈下 量(mm)
1	0.00	26.3
2	8.75	25.9
3	17.50	24.8
4	26.25	23.3
5	35.00	21.8
6	43.75	20.6
7	52.50	19.7
8	61.25	19.1
9	70.00	18.9



内空変位量

No.	x座標(m)	y座標(m)	水平変位 (mm)	鉛直変位 (mm)
1	-0.048	0.035	0.0	43.1
2	-4.774	-2.634	14.3	39.1
3	-6.956	-5.459	19.5	31.1
4	-8.329	-8.755	23.2	20.2
5	-8.798	-12.295	25.3	7.9
6	-8.635	-15.368	25.0	-1.5
7	-8.150	-18.406	21.4	-10.1

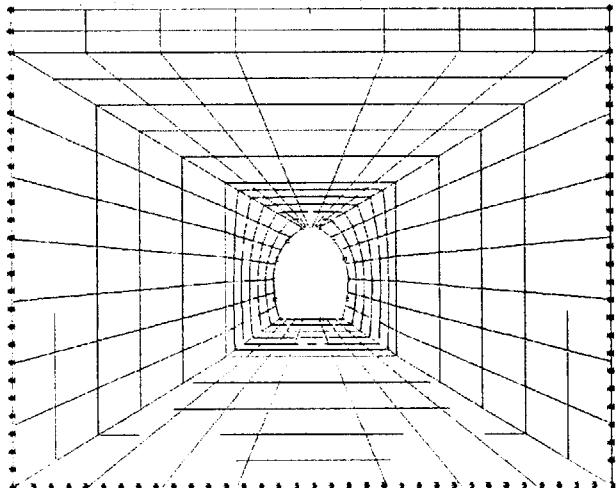
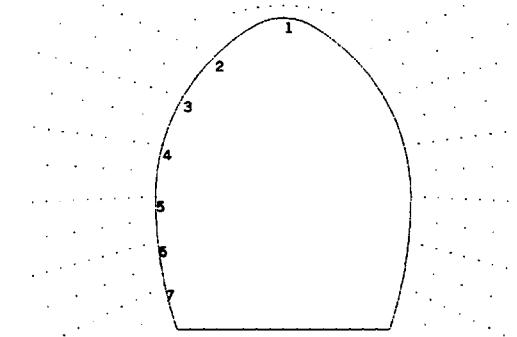


図-A4.2 変位分布図

②周辺地山の状態

周辺地山の状態についてモールの破壊基準に基づいた地山安全率図（図-A4.5）と最大せん断ひずみ分布図（図-A4.6）を次項に示す。

地山安全率図において赤～橙の範囲は安全率が1以下（図-A4.3において $k < f$ ）となっており、地山が破壊され、塑性状態となっていることを示す。

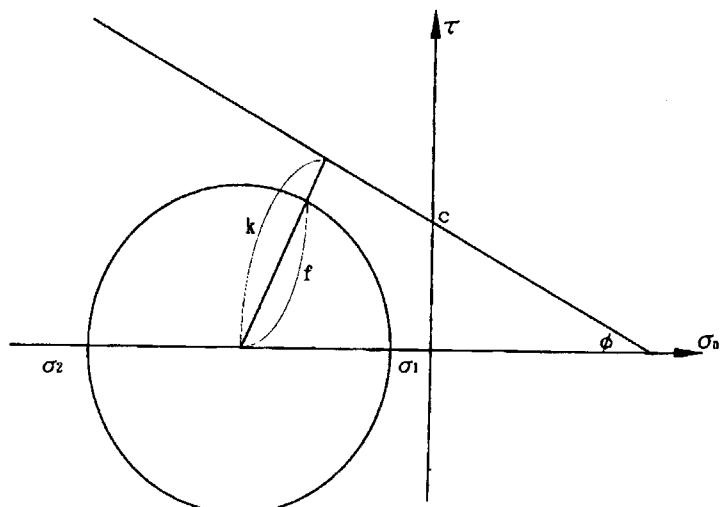


図-A4.3 モールの破壊基準

また、地山の最大せん断ひずみは、桜井教授らによる限界ひずみ理論により破壊に対する安全性の評価を行う。限界ひずみ理論は地山の変形特性に対して、その地山が破壊するせん断ひずみを実験により分類したものである。今回の検討ではトンネル周辺地山であるMud Stone の変形係数が $E=3,000 \text{kgf/cm}^2\{294 \text{ MPa}\}$ であるため、ひずみが 0.2% (図-A4.6において黄緑色) 以上がゆるみ領域となっており、0.4% (最も赤い部分) は破壊領域となっている。

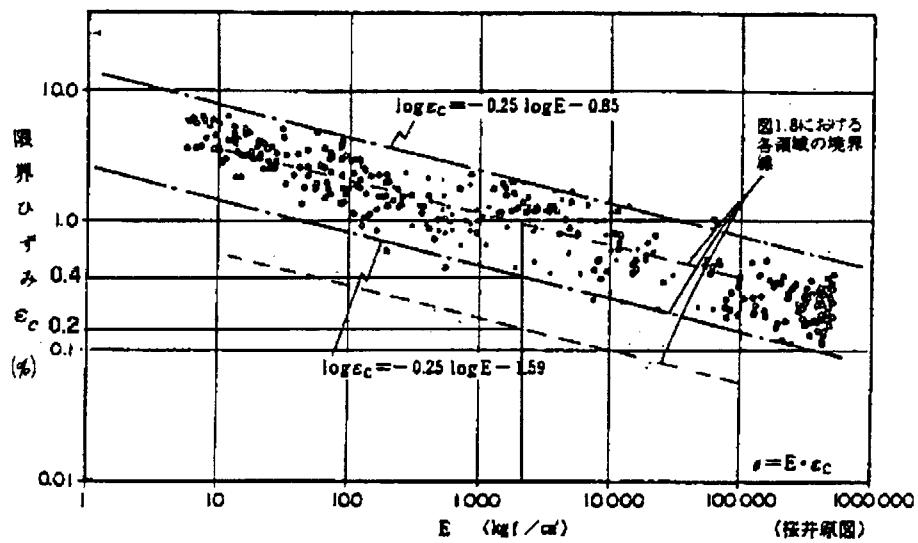


図-A4.4 限界ひずみ理論による破壊基準

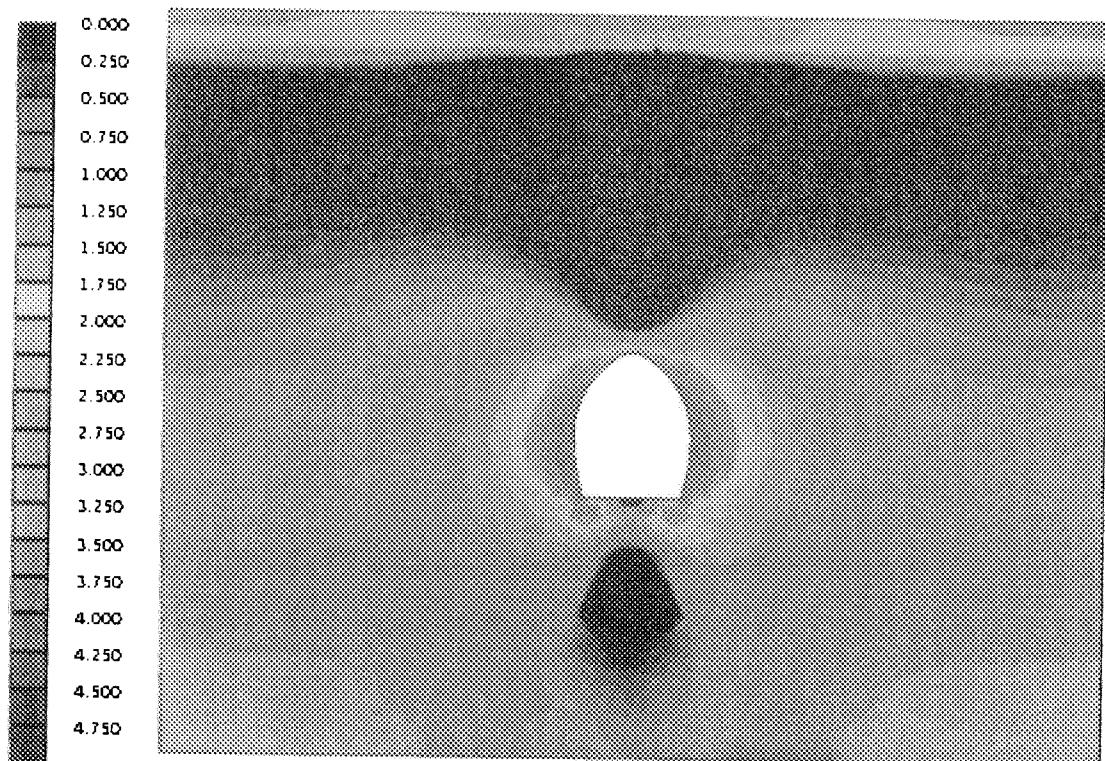


図-A4.5 地山安全率図

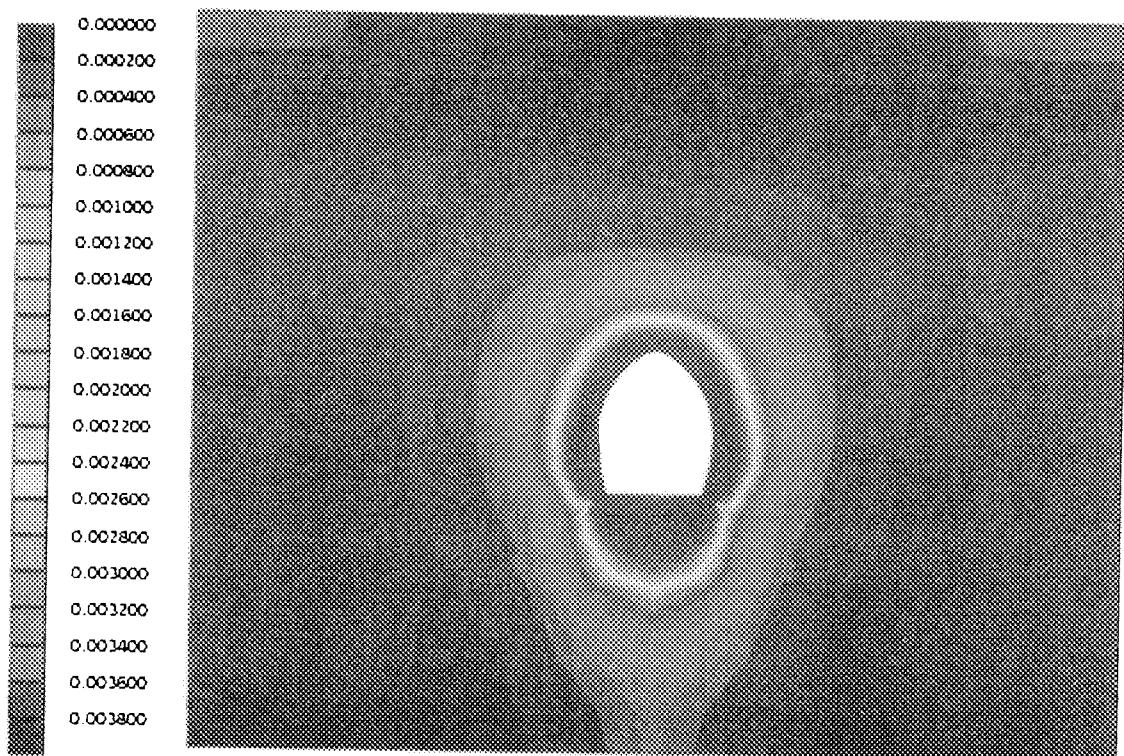


図-A4.6 最大せん断ひずみ分布図

トンネル周辺の主応力図を次に示す。トンネル壁面から 1.5D 程度の範囲の最大主応力はトンネル壁面と平行に近い状態になっており、アーチアクションにより地下空洞全体を支えていることがわかる。土被りが小さい条件では十分なアーチアクションの確保が困難になるため、地表面沈下等が増大することが予想される。

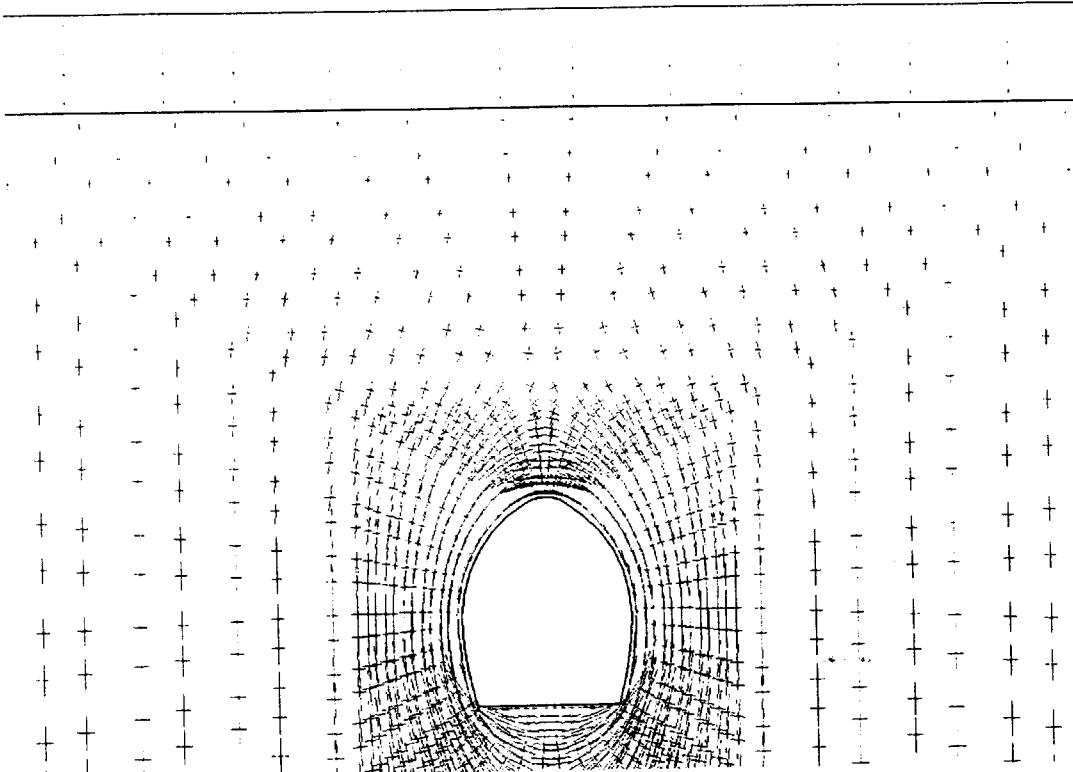


図-A4.7 主応力図

参考文献

- 1) E.H.Tusa, et al.(1985) : Final Disposal of Low and Intermediate Level Wastes from Nuclear Power Plants in Finland. Siting, Design and Construction of Underground Repositories for Radioactive Wastes.
- 2) T. Hedman, I.Aronsson(1986) : The Swedish Final Repository for Reactor Waste(SFR). Siting, Design and Construction Repositories for Radioactive Wastes.
- 3) T.Vieno, M.Valkainen(1991) : Gas Generation and Release from the VLJ Repository, The NEA Workshop on Gas Release from Radioactive Waste repositories, Sep.
- 4) J. Carlsson et al. : Formulation and Evaluation of Gas Release Scenarios for the Silo in SFR, The NEA Workshop on Gas Release from Radioactive Waste repositories, Sep.
- 5) NAGRA : Projekt Gewehr, NGB 85-09,Jan.

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ′, ″
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レンントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

換算表

力	N(=10 ³ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665		1	2.20462
4.44822		0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)	
								= 4.184 J(熱化学)	
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.1855 J(15 °C)	
9.80665		1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1868 J(国際蒸気表)	
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵		1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	仕事率 1 PS(仏馬力)	
4.18605	0.426858		1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	= 75 kgf·m/s	
1055.06	107.586		2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 735.499 W	
1.35582	0.138255		3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸		
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰		4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	
									Sv	rem
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		100			1	3876	1	100
3.7 × 10 ¹⁰		1	0.01	1			2.58 × 10 ⁻⁴	1	0.01	1

照射線量	C/kg	R	線量当量	線量当量	
				Sv	rem
	1	3876		1	1
	2.58 × 10 ⁻⁴	1		0.01	1

(86年12月26日現在)

R-I・研究所等廃棄物に係わる統合化処分システムについて

（略）

（略）

（略）

（略）

（略）