

地層処分システムにおけるシーリング研究 (V)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

概 要

技 術 資 料		
開示区分	レポ ー ト No.	受 領 日
ㄗ	J1100 96-004	97.7.30.
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1996年2月

地層処分システムにおけるシーリング研究（V）

（動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書）

概 要

1996年2月

鹿島建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

地層処分システムにおけるシーリング研究 (V)

日比谷 啓介*	塩釜 幸弘*	戸井田 克*	深沢 栄造*
平 和男*	田中 俊行*		
山本 正昭**	清水 保明**	奥津 一夫**	赤坂 直人**
古市 光昭***			

要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために掘削した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材等により閉鎖し（以下「シーリング」と呼ぶ）、廃棄体の隔離性能を長期にわたって確保する必要がある。本年度の研究成果を以下に示す。

- 1) 圧縮ベントナイトによるプラグを模擬した透水試験を行い、プラグの透水特性を検討した。
- 2) シーリングシステム（埋戻し材、プラグ、グラウトからなる）の性能を評価するために、核種の移流、拡散、吸着、放射性崩壊等の過程を考慮できる核種移行解析を、核種の移行距離をパラメータとして実施した。
- 3) カナダのURLサイトにおける横坑シーリング試験の事前検討を行い、具体的な課題を抽出するとともに、掘削技術の調査を行った。

本報告書は、鹿島建設株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：070D0262

事業団担当部課室および担当者 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室 室長 石川 博之

* 鹿島建設（株）技術研究所

** 鹿島建設（株）建設総事業本部 土木設計本部

*** 鹿島建設（株）建設総事業本部 原子力室

Investigation on Sealing in Geological Disposal

K. Hibiya*, Y. Shiogama*, M. Toida*, E. Fukazawa*,
K. Taira*, T. Tanaka*,
M. Yamamoto** Y. Shimizu**, K. Okutsu**, N. Akasaka**,
M. Furuichi***

Abstract

For the geological disposal of high level radioactive wastes, after placement of the wastes, it is necessary to close off (to be called "sealing" hereafter) the underground potential passages (disposal pits, disposal tunnels, liaison tunnel and construction tunnels) with an effective combination of engineered barriers such as buffers, backfilling materials, plugs and grout. It is necessary to ensure the long-term liability to isolate disposed wastes in the system.

The results of the research works this year are as follows ;

- 1) In order to evaluate the permeation of plugs using blocks of compressed bentonite, a permeability test modelling the plugs was carried out.
- 2) In order to estimate the performance of sealing system which consists of backfilling materials, plugs and grout, a nuclide transport analysis was carried out. In this analysis, process of advection, diffusion, absorption and radioactive decay were considered.
- 3) The main objectives are to discuss the design of tunnel sealing experiments at URL site for the appropriate testing methods, and survey the excavation methods for sealing experiments.

Work performed by KAJIMA Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development
Division, Tokai Works, Hiroyuki Ishikawa

* : Kajima Technical Research Institute

** : Kajima Corporation, Civil Engineering Design Dept.

*** : Kajima Corporation, Nuclear Power Dept.

目 次

1. 研究の目的および範囲	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 研究の範囲	1-1
1.3 研究の内容	1-1
2. 材料の特性評価	2-1
2.1 目的	2-1
2.2 プラグの遮水性に影響を及ぼす要因	2-1
2.3 使用材料	2-1
2.4 試験ケース	2-1
2.5 透水試験方法	2-1
2.5.1 圧縮ベントナイトブロック作製	2-1
2.5.2 透水試験	2-2
2.6 試験結果	2-3
2.6.1 圧縮ベントナイトブロックの品質	2-3
2.6.2 透水係数	2-3
2.6.3 膨潤圧	2-3
2.7 今後の課題	2-4
3. シーリングシステムの概念設計	3-1
3.1 目的	3-1
3.1.1 研究目的	3-1
3.1.2 シーリングシステムの目標性能	3-1
3.1.3 シーリングコンセプトと安全評価	3-2
3.2 核種移行解析	3-3
3.2.1 解析モデル	3-3
3.2.2 解析手法	3-5
3.2.3 解析ケース	3-5
3.2.4 解析結果	3-6
3.3 まとめと今後の課題	3-10

4. 原位置試験設計	4-1
4.1 横坑シーリング試験の事前検討	4-1
4.1.1 横坑シーリング試験の概要	4-1
4.1.2 検討結果	4-2
4.2 人工バリア関連技術の調査（人工バリア構築のための掘削技術）	4-6
4.2.1 調査の目的	4-6
4.2.2 建設技術で考慮すべき事項	4-6
4.2.3 既存の技術による岩石の破壊	4-8
4.2.4 ウォータージェットとビットを併用した岩石の破壊	4-13
4.2.5 今後の研究提案	4-19

図 一 覧

2 章

- 図-2.1 圧縮ベントナイトブロックの形状
- 図-2.2 透水試験機
- 図-2.3 透水係数の経時変化
- 図-2.4 土圧計の読み値の経時変化

3 章

- 図-3.1 解析モデル概念図
- 図-3.2 プラグ部構造図
- 図-3.3 核種濃度変化図 (CASE50, 50 b, 50 R)
- 図-3.4 核種濃度変化図 (CASE100-1, 100 b -2, 100 R -2)
- 図-3.5 核種濃度変化図 (CASE100-2&3, 100 b -2&3, 100 R -2&3)
- 図-3.6 核種濃度変化図 (CASE500, 500 b, 500 R)
- 図-3.7 核種濃度変化図 (CASE1,000, 1,000 b, 1,000 R)

4 章

- 図-4.1 横坑シーリング試験の概念
- 図-4.2 計測機器配置図概要図
- 図-4.3 岩石のくさび荷重による破壊形式
- 図-4.4 カッターツースの貫入の軌跡
- 図-4.5 脆性度の異なる岩石の破壊
- 図-4.6 切削型掘削の各部名称
- 図-4.7 流れ型切削
- 図-4.8 せん断型切削
- 図-4.9 亀裂型切削
- 図-4.10 インデックスの破壊モデル (cheathamによる)
- 図-4.11 ウォータージェットとビット併用システム
- 図-4.12 ビット及びビットとウォータージェット併用材の施工能率
- 図-4.13 ウォータージェットとビット併用機による場合の鉛直精度
- 図-4.14 プラグの形状
- 図-4.15 岩盤挙動のモデル化
- 図-4.16 解析における掘削過程

表 一 覧

3 章

- 表-3.1 解析物性値
- 表-3.2 解析ケース一覧表(1)
- 表-3.3 解析ケース一覧表(2)
- 表-3.4 安全評価とシーリングコンセプト

4 章

- 表-4.1 原位置試験の研究工程
- 表-4.2 建設に際して考慮すべき事項

1. 研究の目的および範囲

1.1 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために掘削した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材等により閉鎖し（以下「シーリング」と呼ぶ）、廃棄体の隔離性能を長期にわたって確保する必要がある。

シーリング研究開発としては、候補材料の基本特性に関する試験やシーリング機能評価手法及び原位置試験についての検討を行ってきた。今後は前年度までの成果を踏まえ、我が国の地質環境条件に適應しうるシーリングシステムの確立に資するため、材料特性の詳細な評価検討を行なうとともに、シーリングシステムに関する工学規模の室内試験及び、原位置試験を実施してシーリング性能に係わる現象をモデル化し長期挙動を予測する解析評価手法の開発、及び設計・施工技術の開発を実施する必要がある。

本年度は粘土系材料に岩盤ズリ等を混入した複合材料の特性評価を実施するとともに、シーリング性能の評価手法の検討を含めたシーリングシステムの概念設計及びシーリングに関する原位置試験の設計検討を行う。

1.2 研究の範囲

- (1) 材料の特性評価
- (2) シーリング性能の評価手法の検討
- (3) 原位置試験設計
- (4) 上記(1)～(3)の報告

1.3 研究の内容

(1) 材料の特性評価

シーリング材料としては、これまでその候補材料であるベントナイト単体、砂とベントナイト混合材及び礫とベントナイトの混合材について、それらの基本物性に関する試験等を実施してきた。

礫ベントナイト混合材としては、処分場の建設により発生する掘削ズリを砕石し、ベントナイトと混合することにより埋戻し材として使用する可能性が考えられている。

当該材料に係わる基本物性については、ベントナイト単体及び砂ベントナイト混合材に比べ十分取得されてはいない。そこで、昨年度に引き続き物性試験を継続して実施する。

(2) シーリングシステムの概念設計

昨年度は、シーリング性能を評価するための浸透流解析及び核種移行解析を実施して、その性能の概略評価を実施した。

本年度は、これらの検討及び現在まで実施してきたシーリング材料特性試験の成果を基に、第二次とりまとめに向けたシーリングシステムの概念設計を実施する。また、本設計の実施に際しては、解析的検討を行いその成果を反映しつつ実施する。

なお、本設計は研究成果の進展に伴い、常に見直して行くものとする。

① シーリングの目標

処分の安全性に関してシーリング部が天然バリアと同等の性能を保持すること。

② シーリングの要求性能

- a. シーリング部が長期間力学的に安定していること。
- b. シーリング部が長期間化学的に安定していること。
- c. シーリング部の核種の移行速度が十分遅いこと。

③ 本解析の目的

シーリングの方法としては、3つの要素技術である埋戻し、プラグ、グラウトを合理的に組み合わせることによって要求性能に応えることが重要である。

本研究では特にプラグ配置の決定方法を明確にすることを目的とする。

④ 実施内容

a. 基本的考え方

処分場サイトを選定するに当たっては、大きな断層は避け得るが小さい破砕帯等は避け得ないものと考えられる。このため、シーリングの性能評価は破砕帯も考慮して検討されなければならない。破砕帯の透水性と破砕帯の位置が重要である。

破砕帯の透水性については、破砕帯内充填物に支配されるが、性能評価上問題となるのは破砕帯の透水性が大きい場合である。破砕帯の透水性が大きい場合、廃棄体から漏洩した核種は、破砕帯に到達後移行速度が急激に大きくなることが予測されるため、安全評価の評価対象範囲は廃棄体から有意な破砕帯までと考える。

破砕帯の位置についてはパラメータとして評価する。

b. 解析条件

- 廃棄体から破砕帯までの距離：パラメータとする
- 動水勾配：0.01
- プラグ：ベントナイトプラグ
- 解析コード：MIGR3D

c. 解析ケース

廃棄体から破碎帯までの距離をパラメータとし以下の4ケースの解析を実施する。

50m 100m 500m 1,000m

(3) 原位置試験設計

空洞掘削時の湧水対策や人工バリア、立坑等の周辺岩盤の透水性を低く抑えるために用いられる重要なシーリングに関する原位置試験の設計検討を実施した。

2. 材料の特性評価

2.1 目的

高レベル放射性廃棄物処分施設は、地下数百m以深に建設する方向で現在検討が進められている。このうち、坑道からの核種の漏洩を抑制するための一つの方法として、ベントナイトによるプラグが考えられており、そのプラグの施工法の一つとして、圧縮ベントナイトブロックを積み上げる方法が検討されている。

本年度の試験は、プラグに用いる圧縮ベントナイトブロックの遮水性能を把握することを目的として実施したものであり、今回の試験はカナダで行われるプラグ試験に先立ち、その仕様を検討するための予備試験としての位置付けもある。

2.2 プラグの遮水性に影響を及ぼす要因

プラグの遮水性に影響を及ぼす要因としては、以下のようなものが考えられる。

- ① 圧縮ベントナイトの特性
- ② 形状・寸法
- ③ ブロック間の処理・プラグと掘削面間の充填
- ④ プラグ背面充填材へのベントナイトの流出
- ⑤ 作用水圧

プラグの遮水性能を把握するためには、これらの要因の影響を調べる数多くの試験が必要となるが、今回の試験はクニゲルV1の圧縮ベントナイトブロックの遮水性に関する予備的な試験であり、ここで設定した以下に示す条件での遮水性を検討した。

2.3 使用材料

材料として、山形県産のNaベントナイト（クニゲルV1）を用いた。

圧縮ベントナイトブロックの目標乾燥密度は $\rho_d = 1.6 \text{ t/m}^3$ とし、含水比 w は、初期飽和度50%程度となるよう $w = 10\%$ に調整し、アイリッヒミキサで3分間混合したものをを用いた。

2.4 試験ケース

今回の予備試験では、乾燥密度 1.6 t/m^3 （初期飽和度50%）に圧縮したベントナイトブロックを1組作製して透水試験機にセットし、隙間の分膨潤した後の乾燥密度 1.48 t/m^3 になるように通水し、通水圧を徐々に増加させて、最終的には、 40 kgf/cm^2 の通水圧までに増加させたときの遮水性を求める透水試験を1ケース行った。

2.5 透水試験方法

圧縮ベントナイトブロックの透水試験は、図-2.1に示す形状に作製した圧縮ベントナイトブロック（7ブロック）を直径50cm、厚さ5cmの透水試験装置（図-2.2）にセットして行った。

2.5.1 圧縮ベントナイトブロック作製

3種類の形状の圧縮ベントナイトブロックは、含水比調整したベントナイトを型枠に入れ、200tfアムスラーで圧縮して作製した。

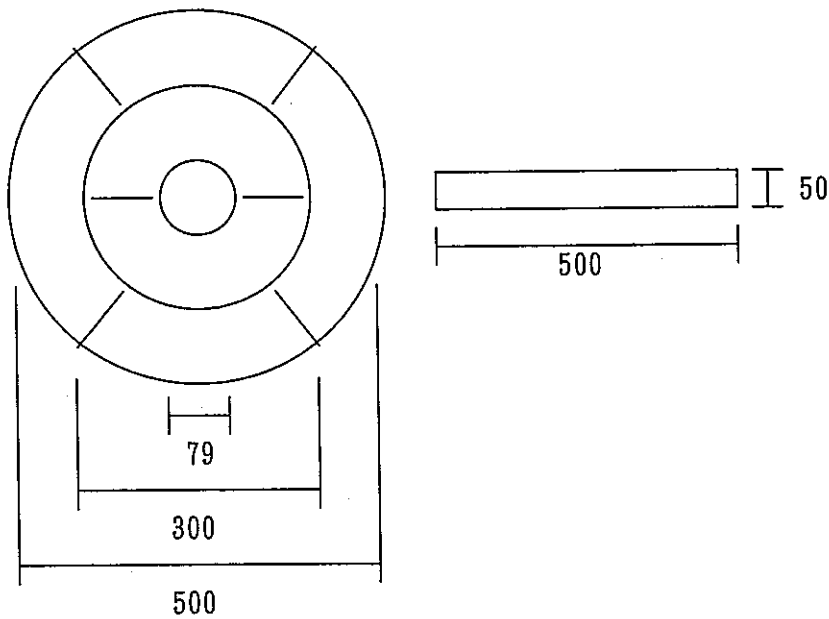


図-2.1 圧縮ベントナイトブロックの形状

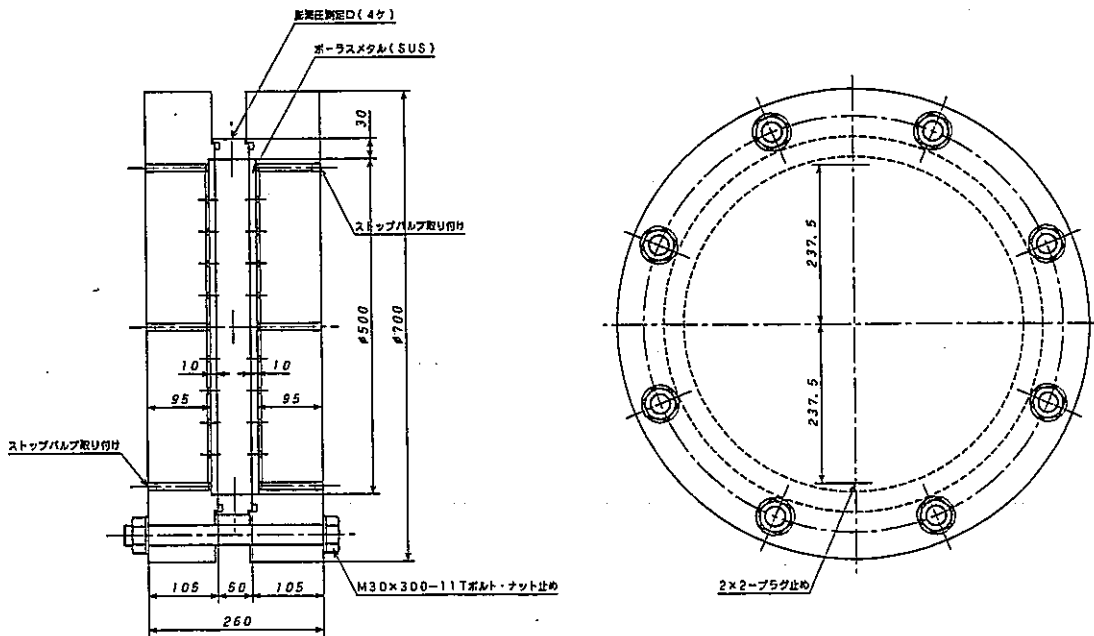


図-2.2 透水試験機

2.5.2 透水試験

ブロックがセットされる試験機内は、直径50cm、厚さ5cmのもので、この中に圧縮ベントナイトブロックをセットし、通水圧を40kgf/cm²まで増加させた。圧縮ベントナイトブロックの膨潤圧は、土圧計を用いて側面で4か所測定し、通水量は流入・流出量を測定した。

圧縮ベントナイトブロックは、試験装置内には、ブロック間の処理は行わずに積み上げ、透水試験時には、試験装置を鉛直方向に立てて通水させた。

2.6 試験結果

2.6.1 圧縮ベントナイトブロックの品質

圧縮ベントナイトブロックの仕上がり精度は、目標高さ $50.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ に対して、 $49.5 \sim 50.5\text{mm}$ であった。ブロックの幅は、型枠を全体としての隙間が 9mm になるようにしたが、圧縮後の膨張により若干大きくなり、全体としての隙間は 4mm 程度になり、ほぼ目標どおりに仕上がった。

また、乾燥密度 ρ_d は、目標値 $\rho_d = 1.60 \pm 0.03\text{ t/m}^3$ に対して $1.57 \sim 1.61\text{ t/m}^3$ であり、その時の最大圧縮応力は、 $83 \sim 93\text{ kgf/cm}^2$ であった。

2.6.2 透水係数

排水が認められたのは通水圧 8.0 kgf/cm^2 のときで、その時点での飽和度は計算上 84% であった。透水係数の経時変化は図-2.3 に示したとおりであり、透水係数は $k = 1.0 \times 10^{-10}\text{ cm/sec}$ であった。さらに通水圧を 40 kgf/cm^2 まで増加させても若干通水量は多くなっただけで、最終的な透水係数は $k = 5 \times 10^{-10}\text{ cm/sec}$ であった。この値は、隙間の分乾燥密度が 1.48 t/m^3 に小さくなったベントナイト単体の透水係数と同等であった。

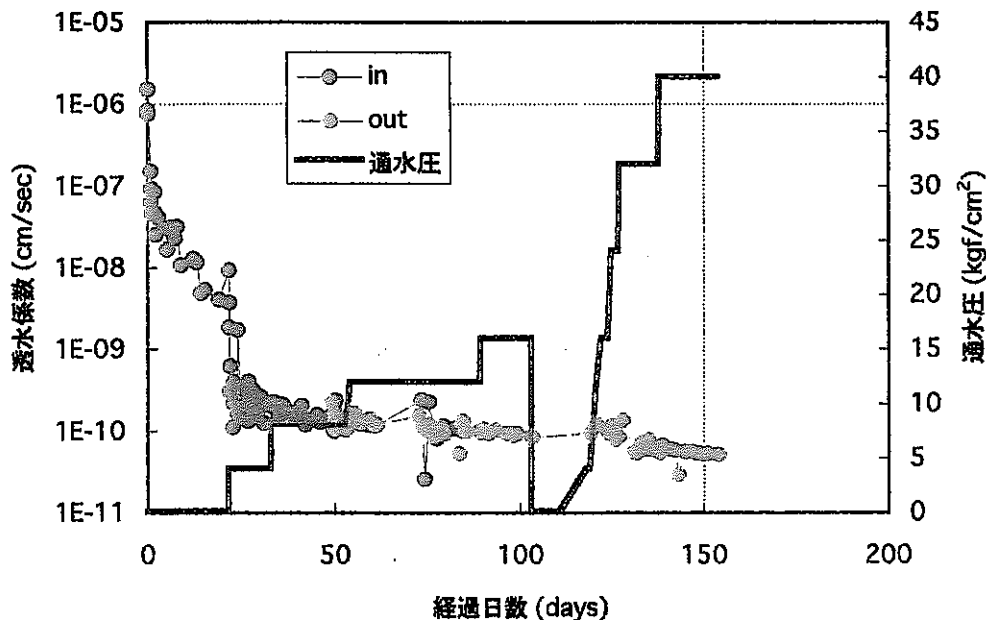


図-2.3 透水係数の経時変化

2.6.3 膨潤圧

通水圧を増加させたときの膨潤圧を土圧計で測定したときの経時変化は、図-2.4 に示したとおりである。最終的に通水圧を 0.1 kgf/cm^2 まで戻したときの土圧計の読み値は $5 \sim 7\text{ kgf/cm}^2$ であり、この値は隙間の分乾燥密度が 1.48 t/m^3 に小さくなったベントナイト単体の膨潤圧と同等であった。

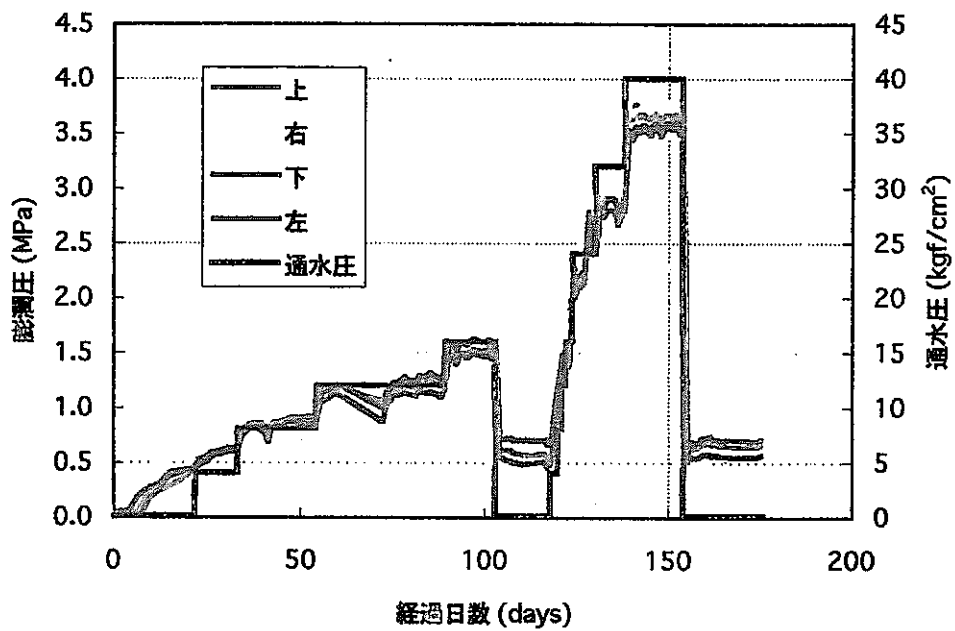


図-2.4 土圧計の読み値の経時変化

2.7 今後の課題

今回の試験により、圧縮ベントナイトブロック集合体は、 1×10^{-10} cm/sec程度の透水係数を有し、ベントナイト単体の小型の透水試験の結果とほぼ同等の結果であることがわかった。

しかし、ベントナイトはセメント系材料と比較して高価であるため、小型の透水試験で同等の透水係数が得られている、ケイ砂30%混合、乾燥密度 $1.6 \sim 1.8$ g/cm³の条件で、同じ高水圧透水試験を行い、遮水性能を確認する必要があるものと考えられる。

3. シーリングシステムの概念設計

3.1 目的

3.1.1 研究目的

シーリングシステムを設計するに当たっては、3つの要素技術である埋戻し、プラグ、グラウトを合理的に組み合わせることによって要求性能に応えることが重要である。

本研究ではこれまでの研究成果からシーリングシステムのコンセプトを構築すること及びプラグ配置の決定方法を明確にすることを目的とする。

3.1.2 シーリングシステムの目標性能

シーリングシステムの目標性能は本来、処分場全体の安全評価が満足されるように設定されるべきものである。安全評価を実施するに当たっては、前提条件として、

- ・対象廃棄物
- ・天然バリアの条件
- ・処分場コンセプト
- ・安全評価基準

等が必要であるがこれらは現時点では確認されていない。ここでは、便宜上シーリングシステムの目標性能として

「シーリング部周辺健全岩盤部と核種移行時間においてほぼ同等であること」

を設定し、現在考えているシーリングシステムの性能を概略評価する。

しかし処分場全体の安全評価が満足されるならばシーリング部の性能は周辺健全岩盤部以下でも許容されうるはずであり、処分場全体の安全評価を踏まえてシーリングシステムの目標性能を検討することが必要である。

3.1.3 シーリングコンセプトと安全評価

シーリングコンセプトは安全評価の考え方と大きく関係する。

安全評価においては地下水シナリオをメインシナリオと考えており、廃棄体から漏出する核種がどのようなルートを通して人間環境に到達するかが重要なポイントである。本研究では、下記の考え方をベースに検討を進めることとする。

処分場サイトの選定において、現実的には有為な割れ目を避けきれない可能性が高い。このため、廃棄体から漏出する放射性核種は近傍の有為な割れ目を通過して地上に到達するものと考え、廃棄体と有為な割れ目との距離を安全評価上の必要距離以上にする。

立坑のシーリングについては、目標性能を有為な割れ目と同等と考えるか健全岩盤と同等と考えるかでコンセプトが異なる。目標性能を有為な割れ目と同等と考える場合、立坑シーリング部への要求品質は低いものとなるが立坑と廃棄体は安全評価上の必要距離を確保しなければならない。また、立坑を健全岩盤と同等と考える場合、立坑には高品質のシーリングを施す必要がある。

破碎帯（割れ目）の透水特性は破碎帯内充填物に支配されるが、性能評価上問題となるのは破碎帯の透水性が大きい場合である。破碎帯の透水性が大きい場合、廃棄体から漏洩した核種は破碎帯に到達後移行速度を急激に速め、短時間のうちに人間環境に到達することが予測される。そのため、安全評価の評価対象範囲を廃棄体から有意な破碎帯までと考え、核種移行解析を実施する。また破碎帯の位置についてはパラメータとして評価する。

3.2 核種移行解析

3.2.1 解析モデル

(1) 解析モデル

解析モデルは軸対称モデルを用い、図-3.1 に示す通り岩盤、緩み域、埋戻し部を考慮して立坑最下点に核種漏洩点を設け、地表面での核種濃度を評価する。立坑の直径は6mに設定する。

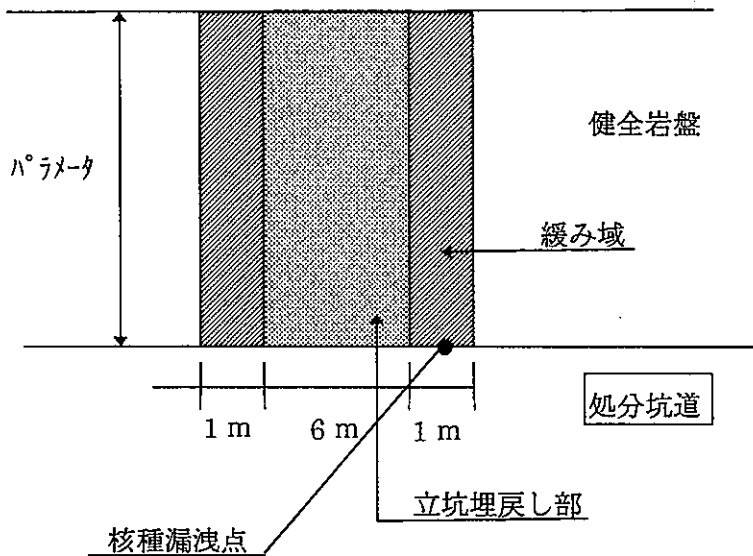


図-3.1 解析モデル概念図

(2) 解析物性値

対象核種は $Np-237$ （半減期：2,140,000年）とする。

解析物性値を表-3.1 に示す。解析上重要なパラメータとなる岩盤部透水係数は日本の標準的な岩盤を想定し、 10^{-6} cm/sec オーダーとした。また、掘削による緩み領域部は健全な岩盤部より透水係数が2オーダー大きくなり、さらにグラウトで改良すると1オーダー透水係数が小さくなるものと仮定した。また埋戻し材の透水係数 k はベントナイト配合率 $B_m=15\%$ 以上のベントナイト混合土を前提とし、 $k=10^{-7}$ cm/sec とした。さらにプラグについては100%ベントナイトとし保守的に $k=10^{-9}$ cm/sec と設定した。その他の物性値はH3レポートを参照した。

表-3.1 解析物性値

	透水係数 (cm/s)	単位体積 重量 (t/m ³)	間隙率 (-)	分配係数 (m ³ /kg)	拡散係数 (m ² /sec)
岩盤 (健全部)	10 ⁻⁶	2.7	0.01	0.001	5 × 10 ⁻¹⁰
岩盤 (緩み領域)	10 ⁻⁴	2.7	0.05	0.001	5 × 10 ⁻¹⁰
岩盤 (グラウト部)	10 ⁻⁵	2.7	0.05	0.001	5 × 10 ⁻¹⁰
プラグ	10 ⁻⁹	2.0	0.4	0.16	5 × 10 ⁻¹¹
埋戻し材	10 ⁻⁷	2.0	0.3	0.16	5 × 10 ⁻¹¹

(3) 動水勾配

動燃殿からの委託研究によれば地表面勾配 1/1000、結晶質岩、土被り 1000 m の場合、立坑下部岩盤中に生じる上向き流速は $V = 0.5 \times 10^{-3}$ (m/年) となることから、

$$i = \frac{v}{k} = \frac{0.5 \times 10^{-3} (\text{m/年})}{10^{-6} (\text{cm/s})} = \frac{1.6 \times 10^{-9} (\text{cm/s})}{10^{-6} (\text{cm/s})} = 1.6 \times 10^{-3} \approx 2 \times 10^{-3}$$

この結果をふまえ、上向き動水勾配は $i = 0.01$ とする。

(4) ゆるみ域の幅

動燃中部事業所において実施されている立坑掘削影響試験において、立坑周辺 1 m 程度は透水係数が大きくなっていることに着目し、ここでは立坑周辺の緩み域を幅 1 m とする。

(5) プラグ部の構造

プラグ部の構造を図-3.2 に示す。プラグ設置に当り緩み域を部分的に掘削することになるが、このとき生ずる新たな緩みに対してはグラウト注入を行い透水性を改良するものとする。

プラグ長については、止水性能に着目した動燃殿の解析によるとプラグ長を 2 m ~ 20 m に変化させた結果に著しい相違は見られないことから、本解析ではプラグ長を 5 m とする

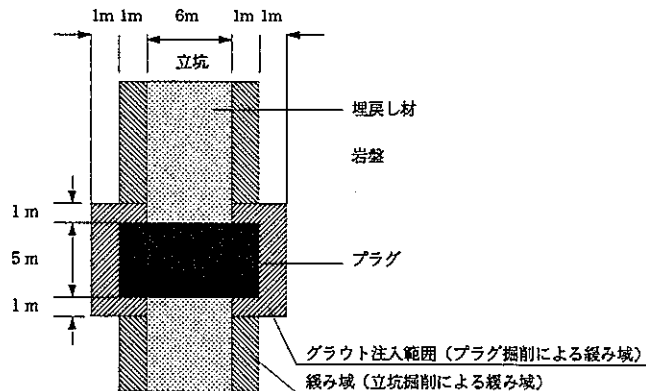


図-3.2 プラグ部構造図

3.2.2 解析手法

解析は有限要素法による3次元熱・水理・核種移行解析コードFEMCOUP/MIGRATIONを用いて実施する。

3.2.3 解析ケース

解析は廃棄体から破砕帯までの距離をパラメータとして実施する。表-3.2、表-3.3 に解析ケース一覧を示す。

表-3.2 解析ケース一覧表(1)

		case 50	case 100-1	case 100-2 case 100-3	case 500	case 1000
モデル概念図						
動水勾配	10 ⁻²	○	○	○	○	○
	10 ⁻⁵			○		
廃棄体と破砕帯と距離		50m	100m	100m	500m	1000m
プラグの数		1	1	2	3	3
備考				case 100-2 : 動水勾配10 ⁻² に対応 case 100-3 : 動水勾配10 ⁻⁵ に対応		

表-3.3 解析ケース一覧表(2)

ケース番号	case50	case50b	case50R	case100-1	case100-2	case100-3	case100b	case100R
廃棄体と破砕帯との距離(m)	50	50	50	100	100	100	100	100
プラグの数(個)	1	0	-	1	2	2	0	-
動水勾配	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻⁵	10 ⁻² & 10 ⁻⁵	10 ⁻² & 10 ⁻⁵
岩盤のみ(緩みなし)	-	-	○	-	-	-	-	○

ケース番号	case500	case500b	case500R	case1000	case1000b	case1000R
廃棄体と破砕帯との距離(m)	500	500	500	1000	1000	100
プラグの数(個)	3	0	-	3	0	-
動水勾配	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²
岩盤のみ(緩みなし)	-	-	○	-	-	○

3.2.4 解析結果

図-3.3~3.7は廃棄体と破碎帯との距離をパラメータとした場合の地表面での核種濃度の経時変化を示している。従軸は核種濃度に相当し、500万年後の濃度で正規化している。横軸は時間である。これらの図をもとに、シーリングコンセプトについて考察する。

① 動水勾配

図-3.5は廃棄体と破碎帯との距離が100mであり、その間にプラグが2個設置された場合の結果である。図には、水理場の動水勾配(i)が $i=10^{-2}$ 、 $i=10^{-5}$ の場合を示している。この結果により動水勾配が大きい方が核種遅延効果が大きいことが判る。動水勾配が小さい場合、水理場は拡散場となるため核種移行の移流効果は相対的に小さくなり、シーリングコンセプトの影響は受けにくい。すなわちシーリングコンセプトは動水勾配の大きい場合と想定して検討すべきであると考えられる。

② 廃棄体と破碎帯との距離

図-3.3は廃棄体と破碎帯との距離が50mの場合、図-3.7は1000mの場合である。両図を比較すると50mの方が当然核種濃度の絶対値は大きいが遅延効果は相対的に大きくなる。すなわち、距離が長くなれば(連絡)坑道が適当な品質で埋戻されればプラグの効果は小さくなる。一方、距離が短くなればプラグの効果は大きくなる。したがって、シーリングコンセプトを考える上では廃棄体と破碎帯との距離が短い方がプラグが重要な要件となると考えられる。

③ グラウト効果

プラグを設置するために坑道の一部を削除するが、その時生じる緩み域に対するグラウトの効果も考察する。図-3.4は廃棄体と破碎帯の距離が100mであり、その間にプラグが1個設置されている。この図によれば、例えば濃度が 10^{-4} になる年数はプラグがない場合で2,000年、プラグがあり周囲の緩み域のグラウト部の透水係数が 10^{-5} cm/secの場合が6,000年、 10^{-6} cm/secの場合が8,000年となっている。

「①」の考察で核種濃度拡散遅延には流速の低減が効果的であることが予想されるためプラグ周辺のグラウトは確実に実施する必要があると言える。

④ プラグ密度

廃棄体と破碎帯との間に設置されるプラグの個数について廃棄体と破碎帯の距離が100mの場合を対象として考察する。

図-3.4と図-3.5より、例えば核種濃度が 10^{-4} に注目すると、プラグのない場合(a)、プラグが1個設置された場合(b)、プラグが2個設置された場合(c)、それぞれ

(a) 2,000年

(b) 6,000年

(c) 8,000年

となる。プラグが設置されることにより遅延効果は見られるが、プラグ個数を増しても効

果の向上は顕著とは言えない。プラグ設置による遅延効果は

- ・地下水流速が小さくなり分散係数が小さくなったこと
- ・ベントナイトプラグに核種が吸着したこと

により現れるが、2個目のプラグを設置しても1個目より顕著遅延しないのは核種漏洩点に近いプラグにおける核種の吸着分がかなりの量になっているためと考えられる。

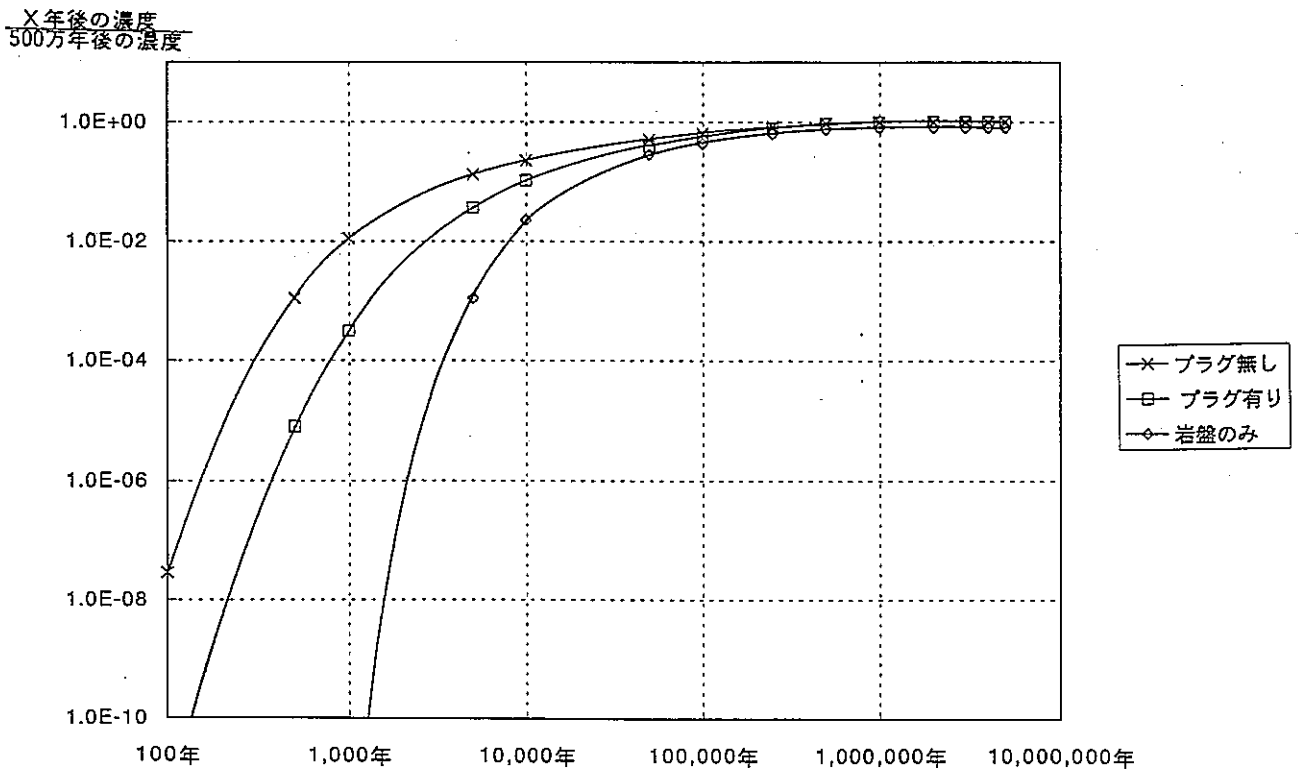


図-3.3 核種濃度変化図 (case50, 50b, 50R)

X年後の濃度
500万年後の濃度

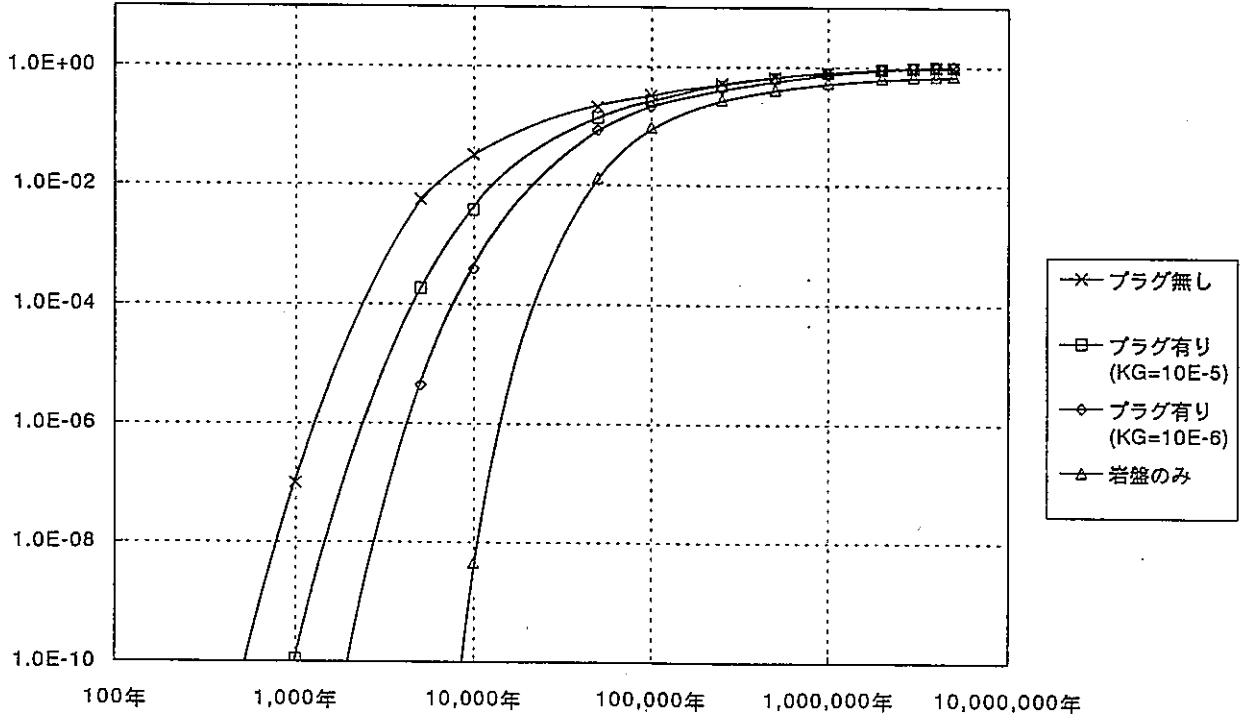


図-3.4 核種濃度変化図 (case100-1, 100b-2, 100R-2)

X年後の濃度
500万年後の濃度

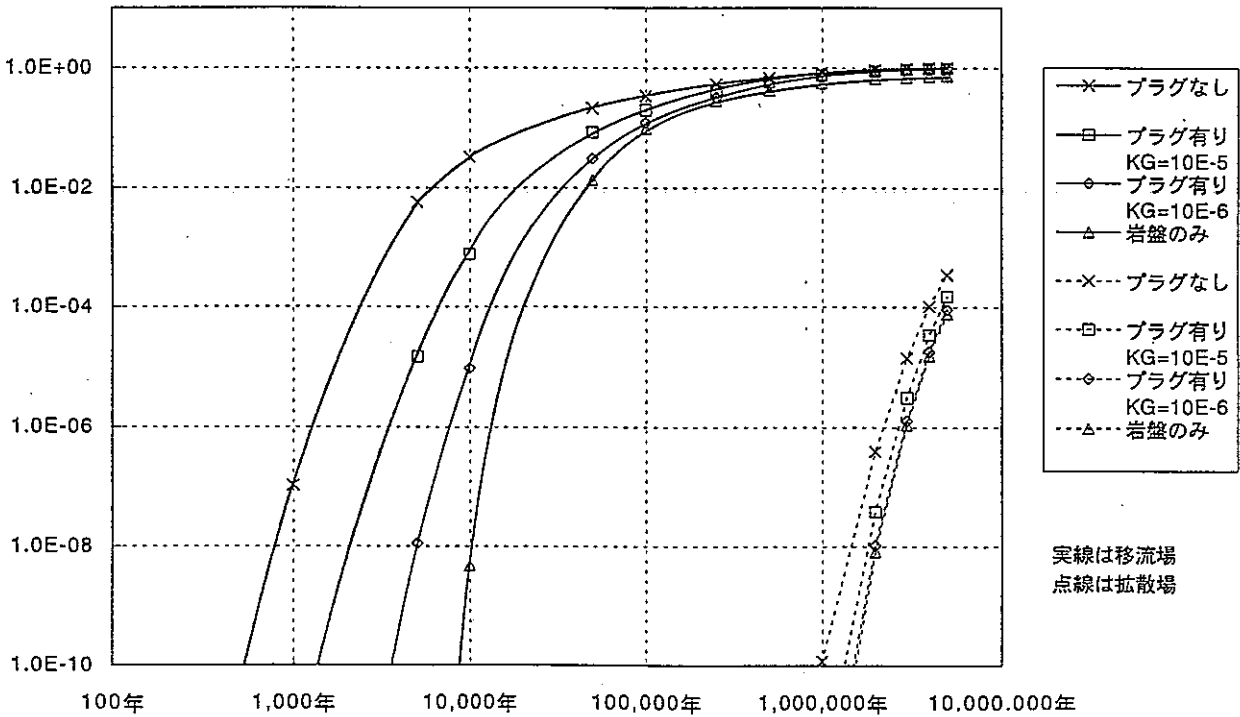


図-3.5 核種濃度変化図 (case100-2&3, 100b-2&3, 100R-2&3)

$\frac{X \text{年後の濃度}}{500 \text{万年後の濃度}}$

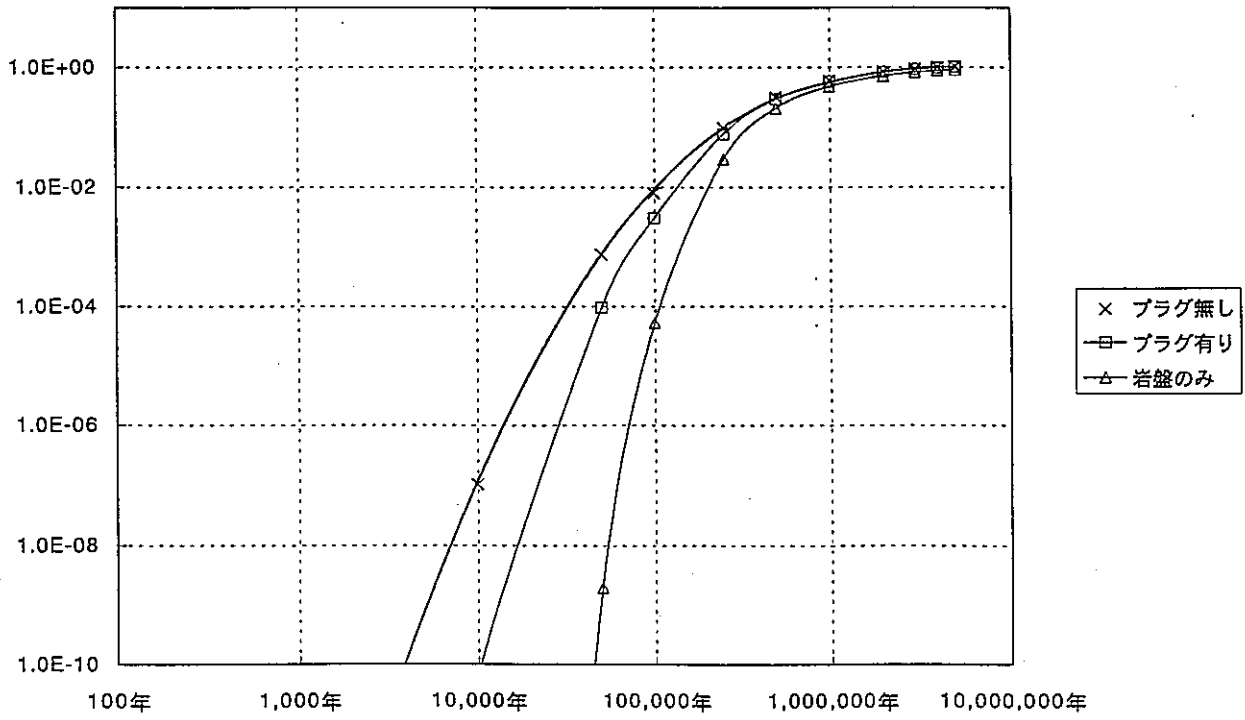


図-3.6 核種濃度変化図 (case500, 500b, 500R)

$\frac{X \text{年後の濃度}}{500 \text{万年後の濃度}}$

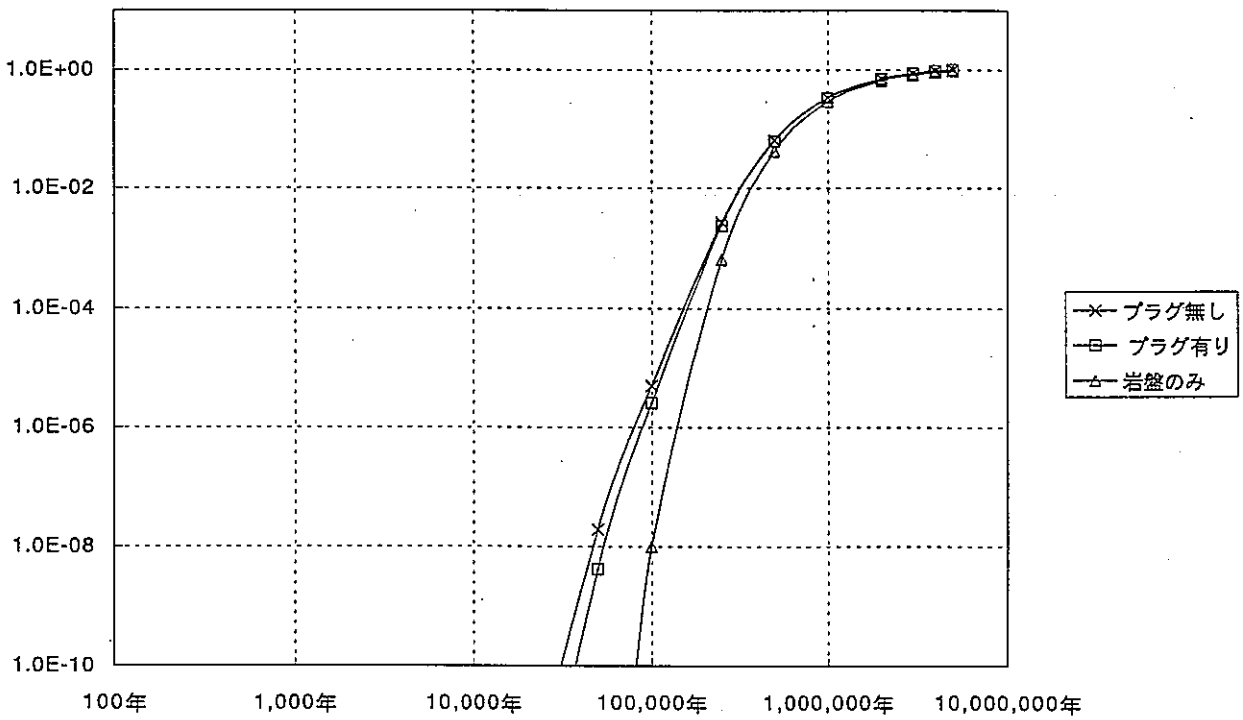


図-3.7 核種濃度変化図 (case1,000, 1,000b, 1,000R)

3.3 まとめと今後の課題

表-3.4 に安全評価とシーリングコンセプトの関係を示す。

シーリングシステムは廃棄体から核種移行速度が急激に大きくなる部分（破碎帯・割れ目）までの距離に対応させて検討することが重要である。

処分場周辺の岩盤が極めて健全で処分坑道付近から地上に通ずる透水性の大きい破碎帯・割れ目が存在しない場合、核種の移行経路はシーリング部が卓越すると考えられる。これに対し、立坑部の岩盤掘削時の岩盤の緩みを機械掘削の利用等により少なくし、埋戻し材料の透水性を低く押さえることで長期的な安全性を担保できるものと想定される。すなわち、立坑部は埋戻し土が自重で締め固まる傾向にあり、埋戻し土の膨潤圧も作用することから埋戻し部と周辺岩盤部の間には隙間が生じにくいと判断されプラグの設置は不要と判断される。

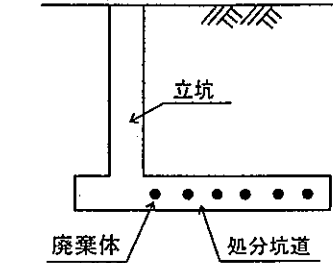
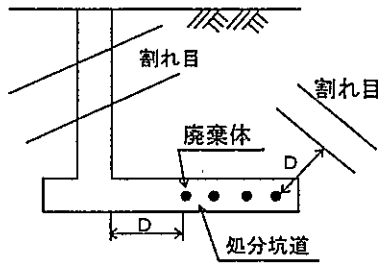
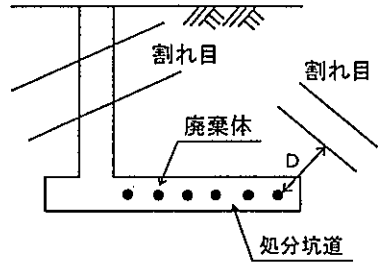
一方、処分坑道周辺岩盤中に核種移行速度を急激に大きくするような破碎帯・割れ目が存在する場合には廃棄体から破碎帯・割れ目までの距離（表-3.5 中のD）で処分場の長期的安全性を担保させる必要がある。この場合、処分坑道と割れ目の間の地下水流動場を拡散場にすることが望ましく

- ・岩盤中の透水性の大きい割れ目・破碎帯近傍での廃棄体定位置を避ける
- ・地下流動場を拡散場にするようなシーリングコンセプトとする

ことが重要となる。

今年度は N_p を対象核種として核種移行解析を行い、プラグの効果等について知見を得た。今後の課題としてはシーリングシステム概念を確立するため、半減期や分配係数の異なる様々な核種を対象とした核種移行解析を行い、プラグの効果を確認することなどが重要であると考えられる。

表-3.4 安全評価とシーリングコンセプト

サイト特性	処分場の選定	概念図	安全評価の考え方	立坑のシーリング	処分坑道におけるプラグの役割
有為な割れ目なし	サイト選定時、処分場近傍に有為な割れ目のある場所を避ける。(現実的には難しい?)	<p>CASE 1</p> 	核種は立坑を通じて地上へ漏洩する。 〔立坑に核種移行遅延効果を期待する。〕	立坑が核種の移行経路にならないようにシーリングを行う。	処分場の深度がある程度深くなれば深さによって核種漏洩を遅延させることが可能であり、プラグの役割は相対的に小さくなる。
有為な割れ目あり	サイト選定時、処分場近傍に有為な割れ目のある場所を選定せざるを得ない。	<p>CASE 2</p> 	核種は廃棄体から最も近い有為な割れ目又は立坑を通じて地上へ漏洩する。 〔核種が有為な割れ目又は立坑に到着した場合、直ちに地上へ漏洩すると考える〕	核種の移行経路として立坑と有為な割れ目とを考え、それぞれから廃棄体までの距離は安全評価上の必要距離以上とする。立坑には高品質なシーリングは行わない。	割れ目又は立坑と廃棄体との距離は処分深度と比較して十分小さいことが予想され、核種漏洩を遅延させるためのプラグの役割は重要である。
		<p>CASE 3</p> 	核種は廃棄体から最も近い有為な割れ目を通して地上へ漏洩する。	核種の移行経路として有為な割れ目を考え、有為な割れ目と廃棄体の距離は安全評価上の必要距離以上とする。立坑については核種の移行経路にならないようにシーリングを行う。	

4. 原位置試験設計

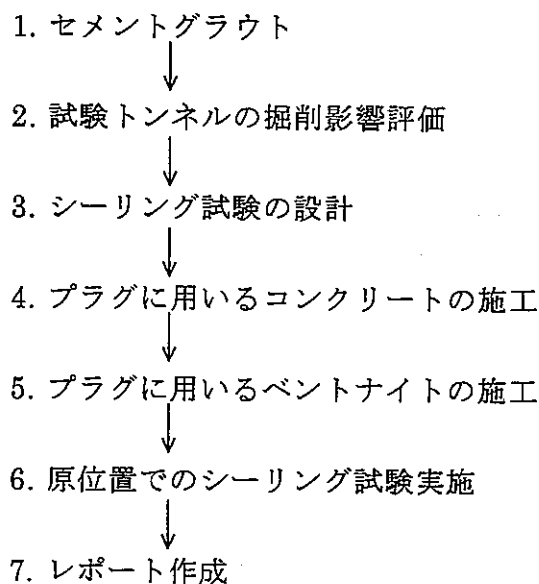
シーリングは空洞掘削時の湧水対策、処分後の放射性核種の移行遅延等を目的とするものであり、昨年度に引き続き施工技術の確立を目的とした原位置試験計画を実施する。今年度は、(1) 横坑シーリング試験の事前検討並びに、(2)人工バリア関連技術の調査を実施した。

4.1 横坑シーリング試験の事前検討

横坑シーリング試験については、昨年度検討を行った立坑シーリング試験よりも国内、海外における実績が少ないため今年度は事前検討を行なって、問題点の抽出を図った。

4.1.1 横坑シーリング試験の概要

想定した横坑シーリング試験の概念は、図-4.1 に示す通りである。立坑シーリング試験では粘土プラグを試験対象としていたが、横坑シーリング試験では粘土プラグとコンクリートプラグの両方を試験対象としている。したがって、シーリング試験全体の研究手順を以下のように設定した。



*粘土グラウトは別途研究を進めるものとする

なお、図-4.1 中に示したスケールは立坑シーリング試験の設計検討結果及び既存のトンネル工事の実績を勘案して仮定したものである。また、図-4.2 は検討に必要なシ

ーリング試験用トンネル周辺の計測器配置を仮定したものである。但し、掘削影響関連の機器については検討していない。これらの資料や昨年度実施した立坑シーリング試験の設計検討結果に基づいて、横坑シーリング試験に要する期間と実施上の問題点の抽出を行った。

4.1.2 検討結果

表-4.1 は横坑シーリング試験全体に必要な研究期間を試算した結果である。また、以下に実施上の問題点を列挙する。

(1) 施工手順について

- 埋戻し用破砕岩を施工する際にトンネル最上部に空隙が出来易いと思われるが、対処方法の検討が必要である。
- ベントナイトブロックやコンクリート壁の施工時にもトンネル最上部の空隙を極力少なくするための対策を考える必要がある。
- グラウトに関しては原位置の地質状況も勘案して、トンネルシーリングのどの部分にどのようなグラウトを施工するかを詳細に検討する必要がある。

2) 計測について

- 掘削影響評価のためにどのような周辺岩盤での計測(力学的なもの、水理的なもの)を行う必要があるかについて検討すべきである。
- コンクリート、ベントナイトブロック、埋戻し用破砕岩の中にはどのような計測用機器を埋設して観測を行うことが望ましいかを地質状況を勘案して検討すべきである。

3) 工期、費用について

- トンネルシーリングはシャフトシーリングに比べてトンネル上部や構成材料の境界部(例えばコンクリートと埋戻し用破砕岩の境界、埋戻し用破砕岩とベントナイトブロックの境界、ベントナイトブロックとコンクリートの境界)の施工に特に留意する必要があると考えられる(空隙が生じ易い)。したがって、トンネルシーリングはシャフトシーリングよりも費用や工期が多く必要になることに留意すべきである。

TUNNEL SEALING

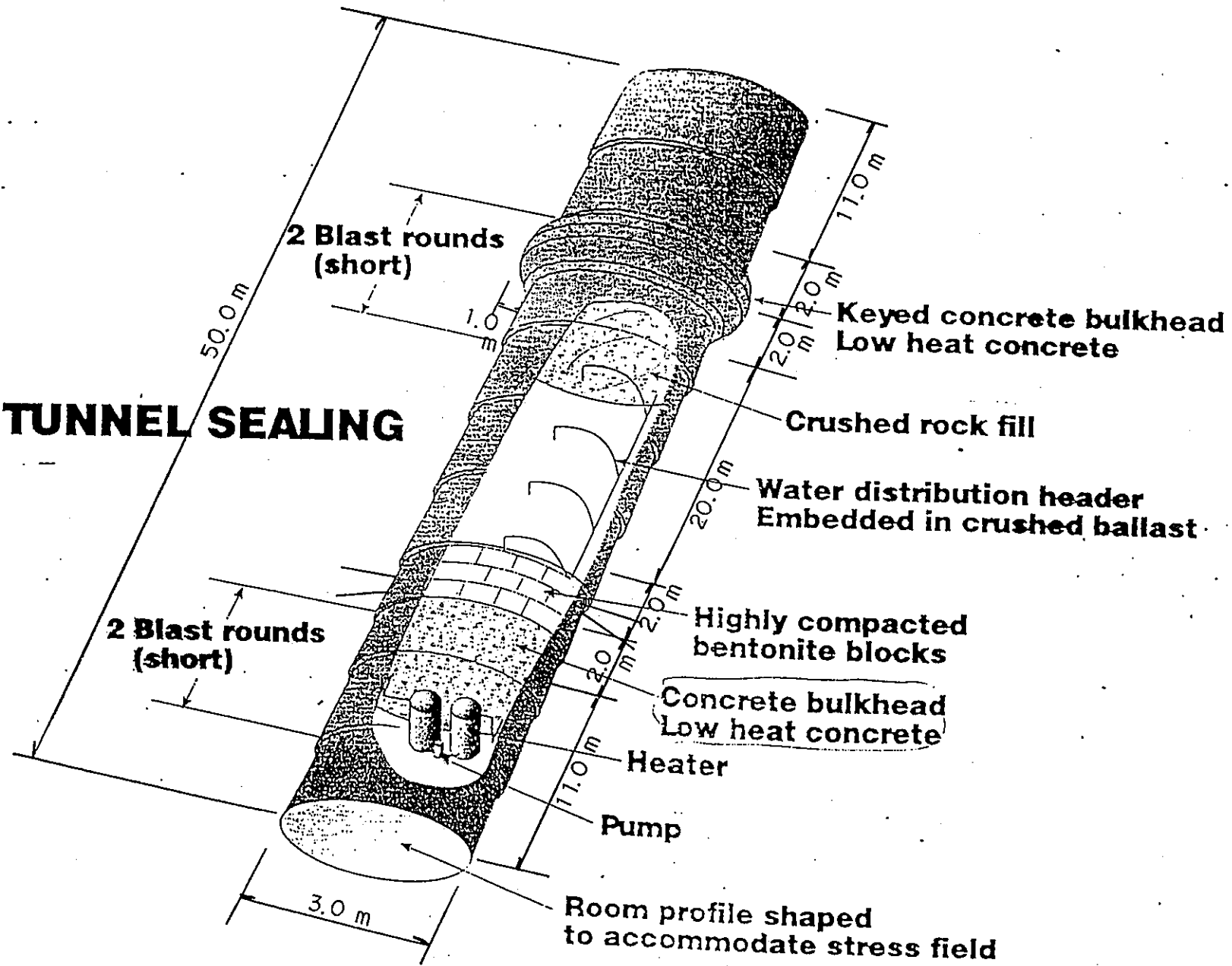
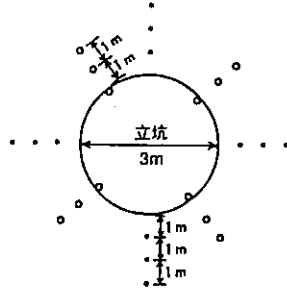


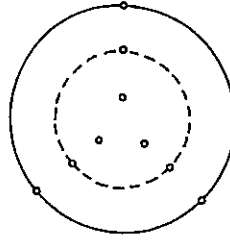
図-4.1 横坑シーリング試験の概念

掘削影響試験・注水試験



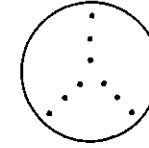
- 掘削影響試験用ボーリング20m×10孔 (4方向)
- 注水試験用ボーリング20m×12孔 (4方向)

プラグ部性能確認計測



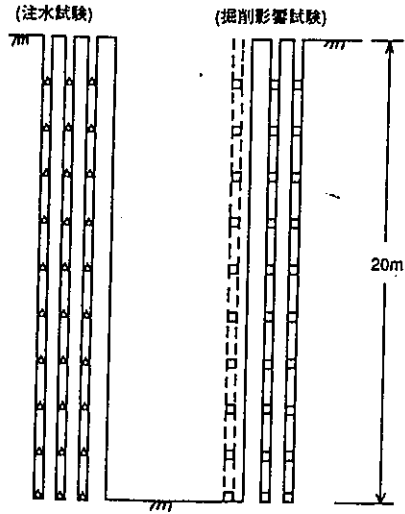
- 圧力計・水分計・間隙水圧計・電気伝導度計 (3方向、2レベル)

埋戻し部性能確認計測



- 圧力計・水分計・間隙水圧計・電気伝導度計 (3方向、6レベル)

4-4



- 間隙水圧計及び電気伝導度計
- 弾性波測定器及びひずみ計

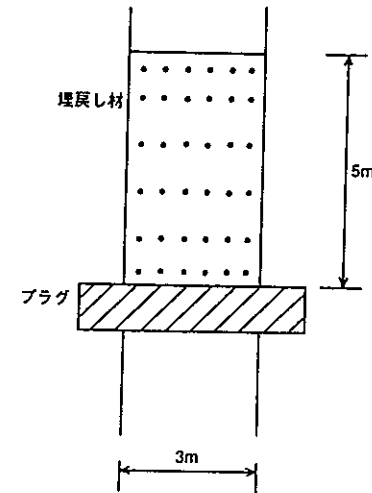
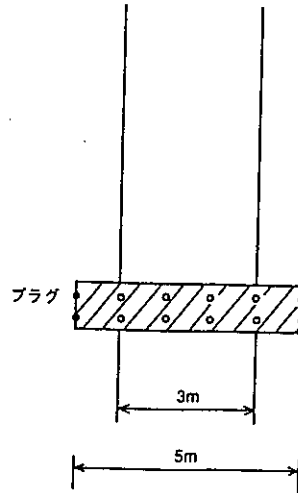


図-4.2 計測機器配置図概要図

表-4.1 原位置試験の研究工程

項 目	期 間	備 考
1. セメント・グラウト	12ヶ月	*
2. 掘削影響	12ヶ月	○
3. 試験設計	6ヶ月	*
4. コンクリートプラグの施工	12ヶ月	*
5. ベントナイトプラグの施工	12ヶ月	*
6. 原位置試験	44ヶ月 (施工) 22ヶ月 (計測)	○
7. 報告書作成	6ヶ月	
合 計	84ヶ月 (7年)	

○ } 同じマークの項目は併行作業
* }

粘土系グラウトは別途研究を進めるものとする

4.2 人工バリア関連技術の調査（人工バリア構築のための掘削技術）

4.2.1 調査の目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分場は地下数百メートルの亀裂、断層の少ないところ
が選定される予定である。

しかしながら、このような不連続部が少ない所であっても、掘削に伴う応力解放や掘
削工法の種類によっては、微小亀裂が発達して大きな亀裂を生ずることもある。これら
のことから応力解放に伴う緩み域の発達を完全に防止することは難しいとしても掘削
工法の改善によっては緩み域の拡大を防ぐことが出来るものと考えられる。

そこで、本調査では直径 60cm 程度の処分孔及びプラグ設置のための掘削に関して、
既存の技術、くさび荷重による岩石破壊のメカニズム、全断面掘削のメカニズム及び各
方式による緩み域発生の可能性について調査した。更に最近注目を集めているウォータ
ージェット利用工法について調査することとした。ウォータージェットのベクトルは噴
流軸方向のみで噴流軸に対して直角方向のベクトルは 0 であることと、固体は非接触方
式であることから岩盤の損傷は極めて少ないものと考えられる。又、ビットによる掘削
に先だつてウォータージェットで岩盤にスリットを作ることにより岩盤の自由面が広
くなり掘削能率の向上、緩み域の低減、更に掘削精度の向上も期待できる。

4.2.2 建設技術で考慮すべき事項

地層処分場の設計・施工における地層処分場の特殊性を一般地下構造物と対比して
触れることとする。

表-4.2 には、地層処分場の建設において考慮すべき事項を一覧表として示した。特
に考慮すべき事項としては、放射性物質を人間の生活圏から長期に亙って隔離するこ
とを保障するクライテリアを設計、施工で如何に保障するかということであろう。又
キャニスターは数 10 年に亙って地上の一時貯蔵で発生する温度の低下を待って地層
処分されることになるが、処分の時点でもまだ数 100°C の発熱が予測されており、そ
の結果として周辺構造物や天然バリアへの熱応力や熱変質などの影響が懸念される。
例えば、熱による岩盤、粘土、コンクリート等の劣化や地下水流動への影響は安全評
価の基本的な考え方にも影響する。

高レベル放射性廃棄物処分技術の中で設計・施工に関連した課題としては、設計と合

わせて閉鎖(シーリング)があげられ、過去 10 数年の研究成果として大巾な技術の蓄積が見られる。

シーリングシステムが所定の目的を達成するためには種々の要求性能が求められるが廃棄体を定置する処分孔周辺の岩盤をできるだけ緩ませないことも重要課題の1つである。解決のためには、現状の掘削のメカニズムについて明らかにすることと、岩盤の緩みをできるだけ少なくするための工法の開発が必要となる。

表-4.2 建設に際して考慮すべき事項

処分施設の特徴	考慮事項	技術的検討項目	
		設計	施工
大深度構造	○ 強大な地圧・水圧	○ 強大な地圧・水圧に対して合理的な立坑・坑道断面の検討手法	○ 掘削、支保、覆工方式・工法の検討 ○ 湧水対策 ○ 山ハネ対策
	○ 合理的な建設スケジュール	○ レイアウト (コンパクトな処分施設)	○ 機械化・自動化の検討 ○ 作業環境の維持(熱、換気)
長大構造	○ 操業との平行作業 ○ 坑道設備系統の複雑化・大規模化	○ 建設と操業区域の分離	
機能の長期維持	○ 周辺岩盤の地下水挙動	○ 水理特性の評価(亀裂、断層など) ○ 地下水流動の予測技術	○ できるだけ岩盤を緩ませない掘削、補助工法 ○ 周辺岩盤処理工法
	○ 周辺岩盤の熱影響	○ キャニスター周辺岩盤の熱影響の予測技術 ○ 熱特性の評価	—————
	○ 閉鎖・充填	○ 合理的な閉鎖設計手法 ○ 使用材料の評価と選定	○ 緻密な充填・閉鎖工法 ○ 周辺岩盤処理工法
その他	○ 地震	○ 地下深部での地震動評価と耐震検討手法	—————

4.2.3 既存の技術による岩石の破壊

岩石を機械的に破壊するとき、その破壊機構はくさび状の刃先にかかる荷重とその作用方向によって、図-4.3に示すように以下の三種類の基本的形式に分けられる。

- (a) 貫入型
- (b) 切削型
- (c) 複合型

また、この他に機械的又は準機械的破壊原理に基づくものも多くある。例えば振動、研磨及びウォータージェットによるものがある。このほか化学的破壊や熱による破壊なども見られる。しかしながら、これらの破壊原理に基づく方法は一部実用化されているものもあるとは言え研究段階のものが多い。従って、現時点における岩石の破壊は火薬による工法、次いで上記の機械的破壊が岩盤掘削の主要な工法となっている。

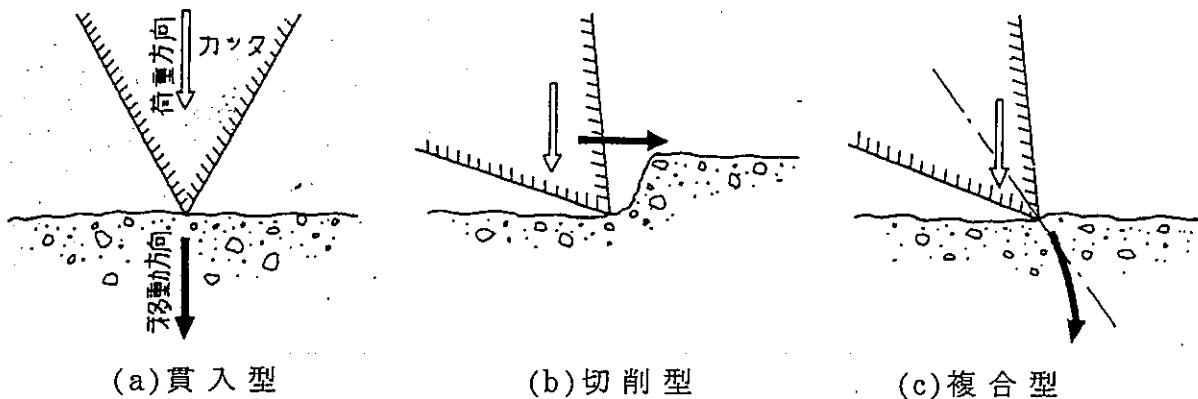


図-4.3 岩石のくさび荷重による破壊形式

貫入型の破壊機構を応用したものには、ドロップハンマー、スチームハンマー及びブレイカーなどがある。

切削型の破壊機構をもつものには建設、鉱山の掘削機械の大部分がこれに属する。大口径削孔機械では一般土質または、軟岩掘削を対象にしたウイングビット(切削ビット又はドラッグビットと呼ばれる)がこれに属する。複合型の機構を有するものには小口径のロータリーパーカッションドリルやローラーカッタービットなどがある。

しかしながら、岩石にはその種類、風化の度合、亀裂の状態、強度、異方性などそ

の物理的性質を支配する因子が多く、これらのすべての条件を一義的に満足する破壊条件は期待できない。以下に大口径削孔に関連するくさび荷重による岩石の破壊理論に触れることにする。

(1) 貫入型及び複合型くさび荷重による岩石の破壊

ロックビットと呼ばれるローラーカッターによる岩石の破壊は複合型に属するが、カッターツースの貫入軌跡は図-4.4のように、すべりのないカッターでは刃先が殆ど垂直に掘削面に貫入するため、大部分は貫入型とみなすことが出来る。

岩石の性状のうち、その破壊機構を特色づけるものとして、その岩の脆性度が挙げられる。この理由は、それぞれの岩石固有の岩質の他にその岩の加圧状態によっても脆性度の高い材料が塑性又は延性材料に変わるからである。図-4.5は脆性度の異なる材料にくさびが貫入するときの状態を示したものである。(a)は塑性材料の場合を示したもので貫入量と貫入力とはほぼ直線的に比例する塑性変形特性を示している。これに対して脆性材料ではツースの先端から放射状のテンションクラックが発生し、貫入とともに刃先のまわりの岩が砕けて飛び散るため、貫入力と貫入変形量は直線とはならず鋸歯状の破砕特性となる。これらの中間の材料又は、塑性材の性状を示すに至らない加圧状態にある材料では、やや連続性を欠く破壊の形態となる。

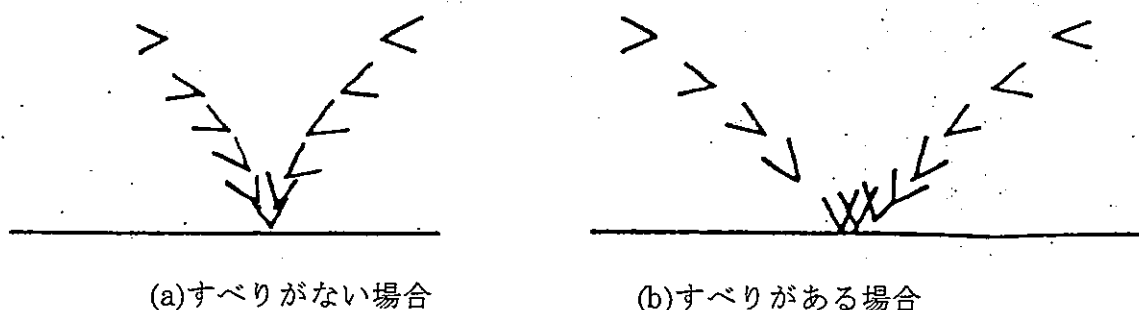


図-4.4 カッターツースの貫入の軌跡

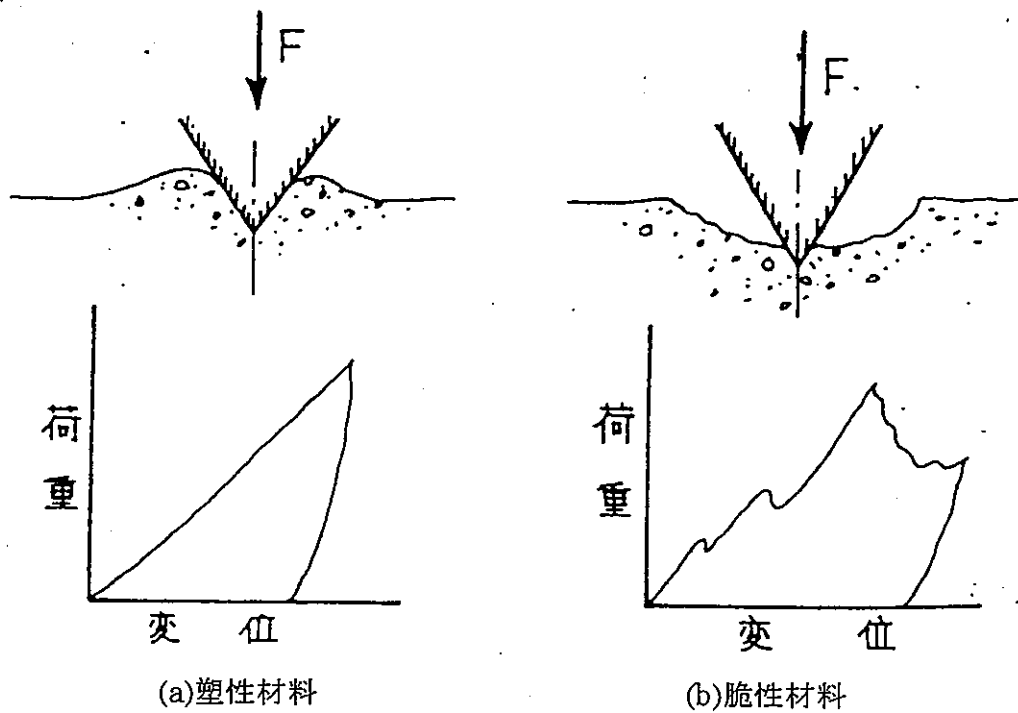
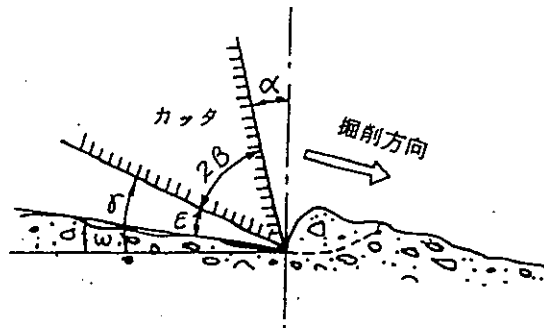


図-4.5 脆性度の異なる岩石の破壊
(cheatham と Gnirk による)

(2) 切削型破壊

切削型の破壊は、土や岩石の掘削の他、金属機械、木材の加工の切削の時に生じる。建設機械の掘削装置もこの原理に基づくものが多く、土や岩石を対象とした切削については数多くの研究が見られる。特に近年超硬合金チップを溶着したカッターの出現によってカッターの耐久性が著しく改善され、切削型カッターの適用範囲もより硬岩へと移行しつつある。しかしながら、現況では切削型カッターはまだ大口径削孔機械などの岩石掘削用として十分耐久性を満足するものになっていない。一般には、圧縮強度 $200 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ 程度の軟岩までが一般的にみた切削型カッターの限界と考えられる。従ってここでは、カッターの耐久性とは別に在来の切削型カッターによる破壊について触れることとする。図-4.6 は、切削型カッターにより削孔するときの各部名称を示す。



- α : すくい角 (Rake angle)
- 2β : 刃先角 (Included angle)
- γ : 逃げ角 (Clearance angle)
- ε : 有効逃げ角 (Effective Clearance angle)
- ω : らせん角 (Helix angle)

図-4.6 切削型掘削の各部名称

次に切粉の形態による切削の型について触れることとする。この形態の岩石の破壊は刃先のすくい角、被削材の種類、食込み深さ及び切削速度(刃先速度)によって図-4.7から図-4.9に示すような切粉の形態から次の三つの切削の型に分類することができる。

- (a) 流れ型 (Flow Type)
- (b) せん断型 (Shear Type)
- (c) 亀裂型 (Crack Type)

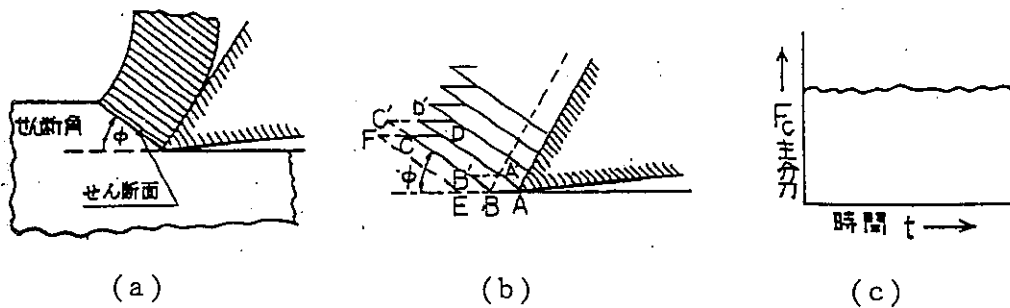


図-4.7 流れ型切削

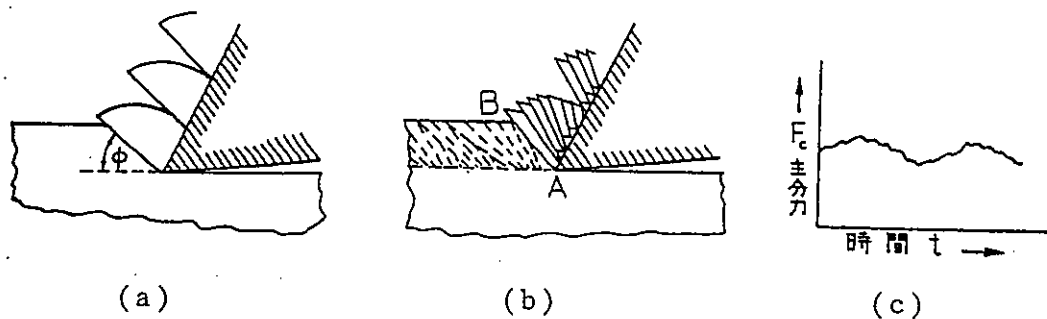


図-4.8 せん断型切削

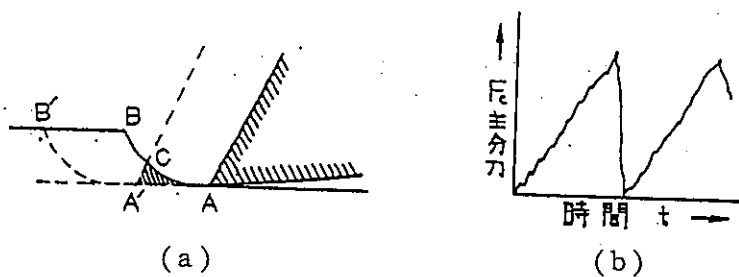


図-4.9 亀裂型切削

流れ型は、軟らかい材料を比較的大きいすくい角を有するカッターで切削するときに行ける型で、切粉が流れるように連続してでき切削抵抗の変動が少く滑らかな切削面ができる。このときの切粉のできる状態をさらに詳しく図示したものが図-4.2.7(b)である。

せん断型は流れ型の切粉より比較的硬い材料をやや小さいすくい角のカッターで削ったときに出来る型で、図-4.8(a)に示すように一定間隙に深くくびれのある不揃いな切粉が生ずる。このときの切粉のできる状態は図-4.8(b)に示すように切削が進むにつれてせん断角が減少すると共にせん断歪も増加し、ついにAB面で破断を生じ周期的に同じことを繰り返す。このため、切削抵抗は図-4.8(c)のように細かく変動する。

亀裂型は、比較的脆い材料を切削するときに行生ずる切粉の型で図-4.9(a)に示すように切削の対象物がほとんど変形せずに裂断してできる。図-4.9(a)において、刃先がAからA'に進む間は切込みが浅いのでAA'Cの部分は粉状の小片となって分離するが、刃先がA'に達し、切込みがある深さになると被削材が脆いため前方のA'B'に沿って瞬

間的に割れ目ができる。A'B'BC部分は殆ど変形せずに破断して切粉となるため、切削抵抗は図-4.9(b)に示すようにたえず大きく変動する。このように、切削対象物の脆さの度合いがその切削特性を支配する因子の一つに挙げられる。従来、この脆さの度合いを表す値として岩石の場合その一軸圧縮強度 Sc と引張度 St との比を脆性度 Br として表すことも提案されている。すなわち、

$$Br = \frac{Sc}{St}$$

そして脆性度を切粉による切削の型との関連から次のように表している。

流れ型 : $Br \approx 1$

せん断型 : $Br = 3 \sim 4$

亀裂型 : $Br = 28 \sim 12$

以上のように、従来の技術で岩石の破壊を行う場合、岩盤の物性によって程度の差はあるが、いずれの掘削法でも破碎の対象部位以外にも損傷が波及する。

4.2.4 ウォータージェットとビットを併用した岩石の破壊

水噴流の圧力を $2,000\text{kg/m}^2$ 以上にすると一軸圧縮強度 $1,000\text{kg/m}^2$ 程度の岩石でもかなり高能率で穿孔、切削及び破碎することが出来る。

そのために、これを利用した掘削機の開発が進められている。この場合の利用目的としては次の三つが挙げられる。

(a) 全断面をウォータージェット(アグレッツシブジェットを含む)で掘削

(b) ウォータージェットとビットを併用して掘削

(c) 掘削孔の円周部をウォータージェットで切削

これらのうち(a)の方法はノズルの数が多くなり掘削能率もノズルの数に比例して多くなるかどうか不明の部分がある。ウォータージェット関連装置が大規模となる。又、使用する水の量もかなり大量になるためその処理が難しい。

(b)の方法は、岩盤面にウォータージェットで予めスリットを入れる。それと同時にビットで圧砕することになるので破碎の自由面が広くなり掘削能率の向上が期待できる。その掘削のメカニズムを図-4.10に示す。この他、この方式のメリットとしては

水噴流の直進性と噴流のベクトルが軸方向のみで、噴流軸と直角方向のベクトルは殆ど0であることから、余掘りが極めて少ないといった掘削精度のいいことである。例えば、リバースサーキュレーション掘削機のビットにウォータージェットを併用した場合のシステム図-4.11に示す。掘削能率を図-4.12に、垂直精度を図-4.13に示す。これらから明らかなように、一軸圧縮強度 $50 \sim 120 \text{ kg/m}^2$ の砂岩、頁岩などの堆積岩での原位置掘削実験の結果では掘削能率は従来工法の約 1.7 倍、鉛直精度は 1/800 以下という値を得ている。

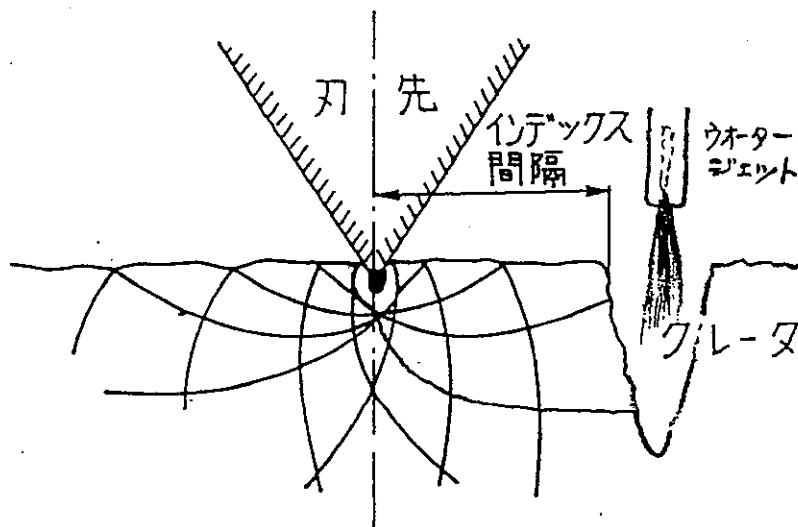


図-4.10 インデックスの破壊モデル (cheatham による)

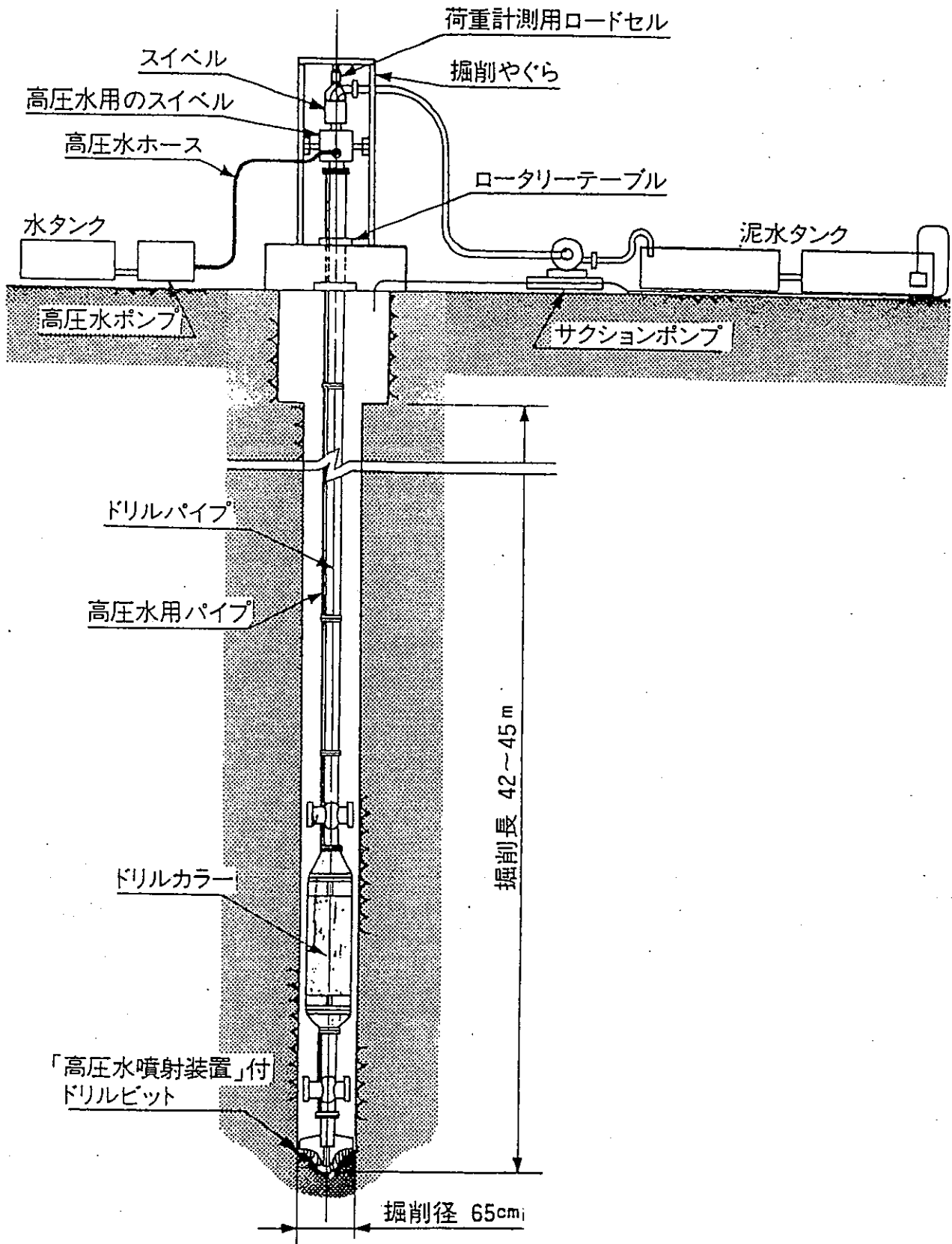


図-4.11 ウォータージェットとビット併用システム

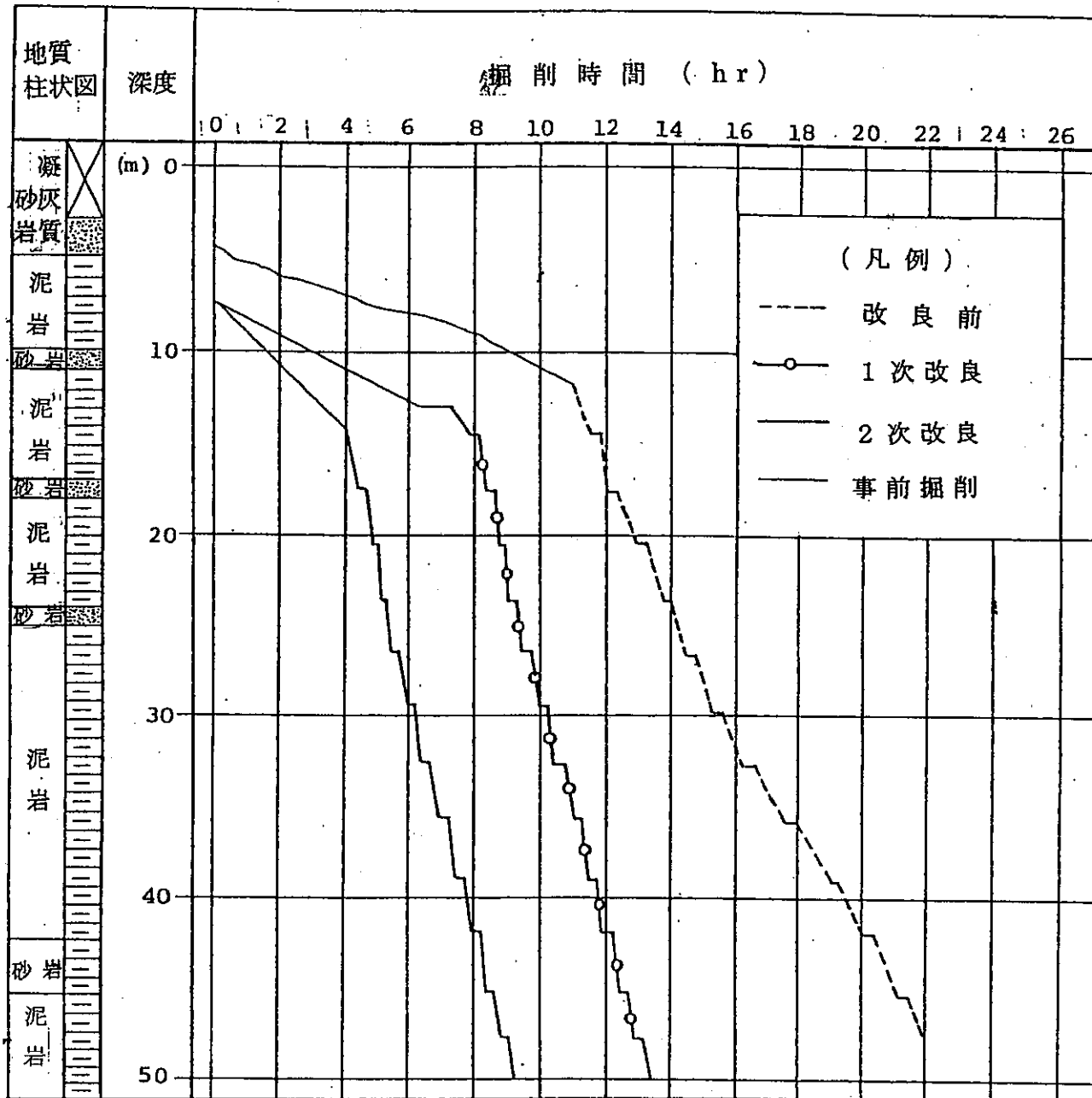


図-4.12 ビット及びビットとウォータージェット併用材の施工能率

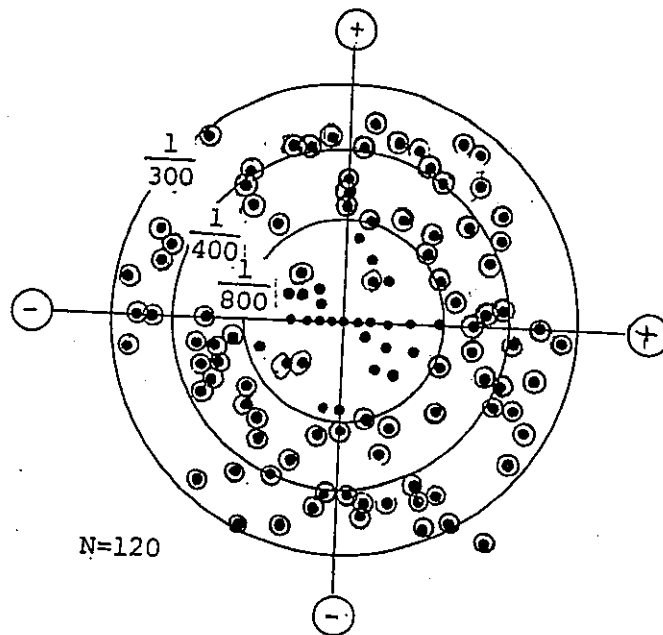


図-4.13 ウォータージェットとビット併用機による場合の鉛直精度 (●印)
 (⊙: 従来工法)

(c)の方法は、掘削孔の周辺部をウォータージェットで切削し、ビットの推力により岩盤を破碎するもので所定の掘削孔周辺の緩み域を少なくできるなどメリットがある。

これらの、三つのうち(b)(c)の方法が処分孔の掘削への利用として考えられる。又、ウォータージェットを利用した掘削法は、同一径の掘削の他、プラグ孔の掘削に利用した場合も有効と考えられる。その方法は図-4.14に示すように、色々な方法が考えられる。

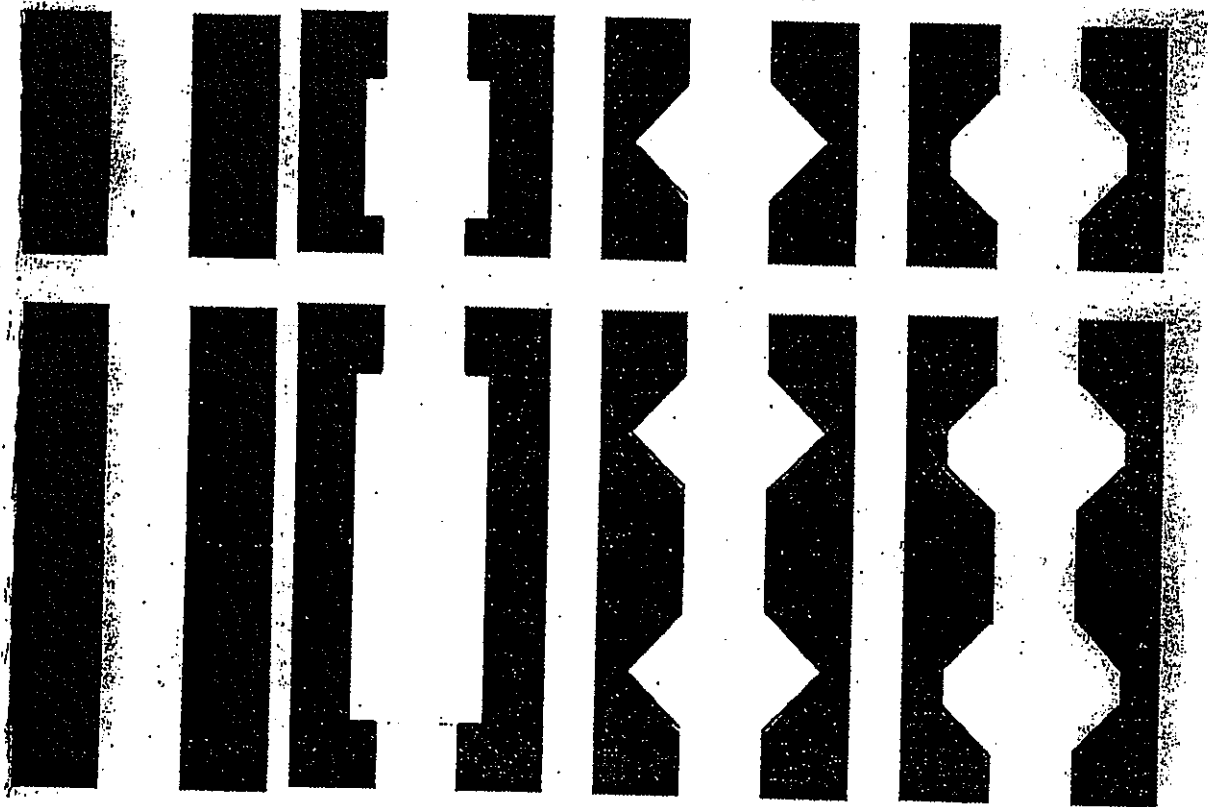
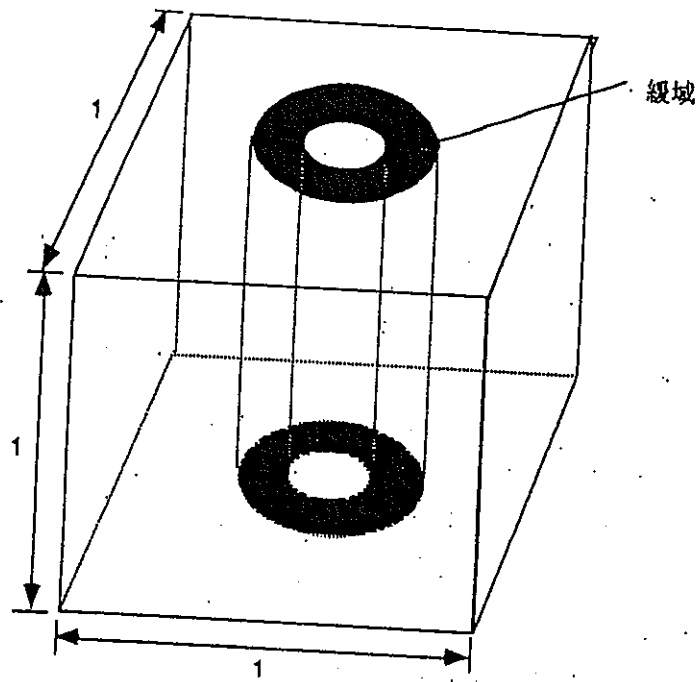


図-4.14 プラグの形状

4.2.5 今後の研究提案

(1) 実験的研究

1) 目的

本研究では、新掘削工法として注目を浴びているウォータージェット掘削工法を中心とした掘削に伴う緩み域の発生機構とその規模に着目して実験的および解析的研究を行う。

従って、実験の目的は、ウォータージェットによるプラグ孔、処分孔の掘削工法の開発と、掘削孔周辺岩盤に現われる緩み域の発生を明らかにすることと、その規模の同定方法を開発することである。

研究は、プラグ孔の削孔を目的とした実験的研究を行う。

2) 内容

(i) 模擬プラグ孔の穿孔

本研究ではウォータージェット及び従来方法のビットを利用して、寸法が1 m×1 m×1 m程度の花崗岩のブロックにウォータージェット及び従来工法のビットを利用して、直径約65 mm程度の模擬プラグ孔を穿孔する。

本実験は下記のような段階ですすめる。

- ① ウォータージェット穿孔装置の設計、試作
- ② 穿孔形状
- ③ 穿孔，ウォータージェット及びビット
- ④ 穿孔結果の評価

緩み域の同定方法としては下記の方法を考えている

- (a) ジオトモグラフィ法
掘削前と各掘削ステップ後に行う。減衰特性
- (b) AE法
掘削中に実施する。AEの発生位置と発生機構を同定する。
- (c) 透水試験法
トランジェントパルス法
- (d) 岩盤スライスの顕微鏡観察法
様々の位置での岩盤スライスを取り出し、掘削によって発生したクラック

を識別し、定量化する。そのために、母岩に存在する既存のクラックを識別するために、別項で顕微鏡観察も行う。

(ii) 任意形状の孔の掘削

長期的力学的・水理学的安定性の観点から最も適したプラグの形状が現在の掘削技術によって得られるものより異なると予測されているため、ウォータージェット掘削工法によって任意な形状の孔を掘削することが出来るかどうかを実験的に研究する。

(2) 解析的研究

1) 目的

本解析研究的研究では、ウォータージェット掘削工法を中心として、掘削に伴う緩み領域の発生機構とその規模に着目して行う実験をシミュレーションし、他の掘削工法と比べて、その有効性を検討する。

2) 内容

掘削工法による領域を検討するために実施される実験の数量的な評価と処分孔やプラグ孔周辺岩盤の掘削による緩みを同定できる解析法の開発が不可欠である。解析的研究を下記の段階で進める。

- ① 既存の解析手法に対する文献調査
- ② 数値解析コードの開発
- ③ 実験のシミュレーション及び比較検討

(i) 文献調査

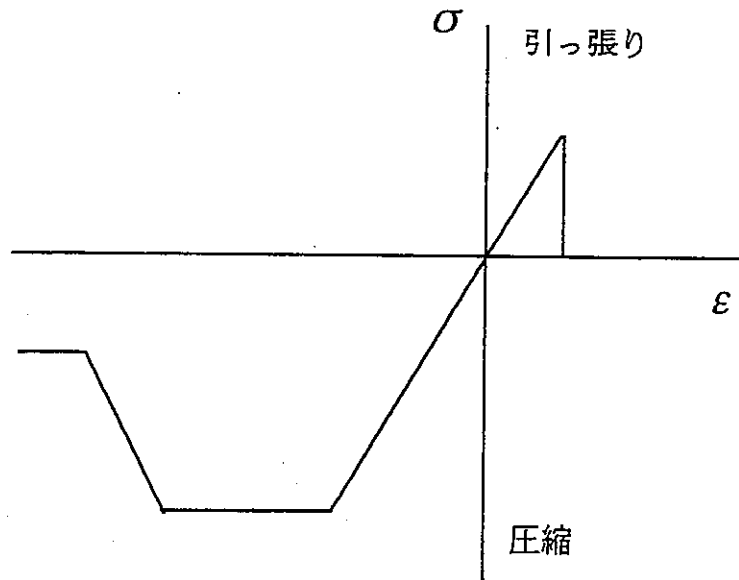
様々な掘削工法のシミュレーションとそれらによる周辺岩盤の発生及びその規模の同定を目的にしている理論的および解析的手法に対する文献を調査・収集し、その現状をまとめる。

(ii) 数値解析コードの開発

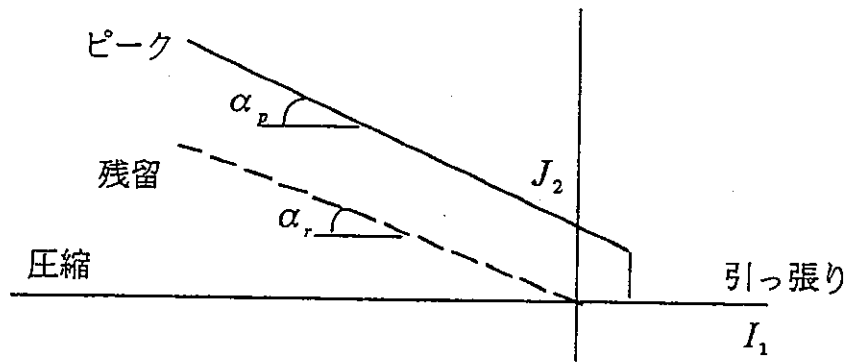
この研究では最も有効な数値解析法である有限要素法を利用し、それに基づく解析コードを開発する。岩盤が図-4.15のような弾塑性挙動を示すと仮定し、その降伏関数は Drucker-Prager 型であるとする。掘削工法による外力を孔壁に接線および直行成分を持つ応力ベクトルとして与える。図-4.16 に示すように逐次に掘削しながら孔周辺岩盤の応力状態を求め、塑性域の発生をチェックする。

(iii) 数値解析コードの検証および実験のシミュレーション

実験的研究で行われる機械掘削とウォータージェット掘削をシミュレーションし、実験結果との比較によって開発する数値解析コードの妥協性と有用性を検証する。



応力・ひずみ関係



降伏関数

図-4.15 岩盤挙動のモデル化

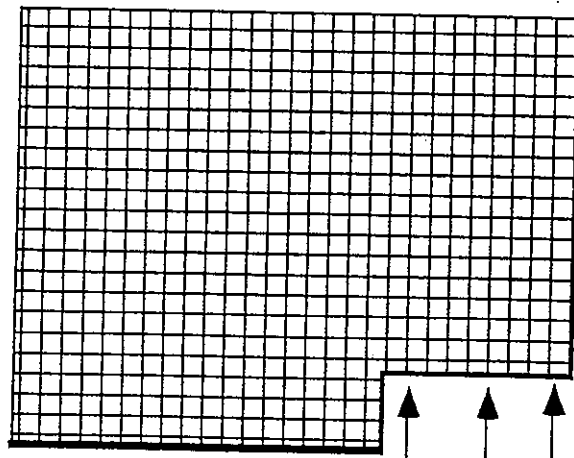
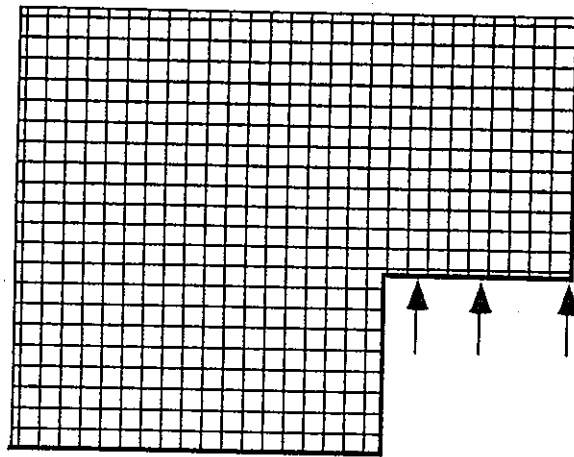
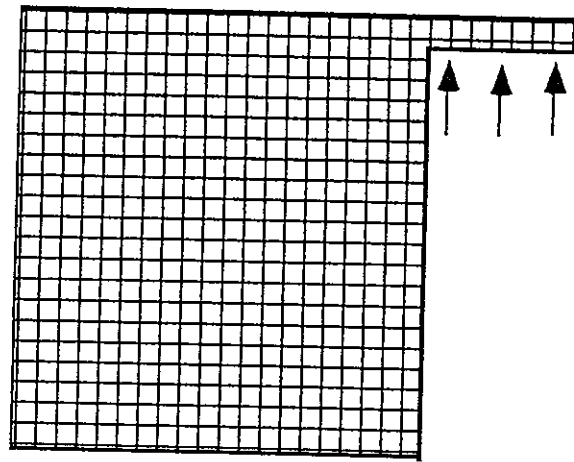


図-4.16 解析における掘削過程