PNC TJ1201 96-001

地層処分システムの設計手法の開発（Ⅱ）

（動力炉・核燃料開発事業団　委託研究内容報告書）

１９９６年２月

株式会社　大　林　組

本資料の問い合わせは下記に願います。

〒319-11

茨城県那珂郡東海村大字村松４－３３

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

PNC TJ1201 96-001
1996年 2月

地層処分システムの設計手法の開発（Ⅱ）

栗原雄二*、宮崎 清**、五十嵐治世**
玉野 達* 速水卓哉**、田中達也*

要 旨

本研究は、人工バリア及び処分施設に要求される性能を確保し得る技術的方法を具体的に明らかにするために必要な地層処分システムの設計手法を開発することを目的とするものである。

昨年度の研究成果を踏まえ、本年度は以下の項目について実施した。

1．ＧＩＳＣＡＥの改良開発
2．データベースの開発検討
3．断層離間距離の検討
4．解析による設計検討
5．サイト特性調査手法の検討

この内、1のＧＩＳＣＡＥの改良開発では、熱解析の結果をより明確に把握するための改良を行うと共に、IRISに適用可能な画像処理ツールの調査を行った。2のデータベースの開発検討では、積算単価データベースとして3ケースの処分場建設単価の積算を行うと共に、岩盤工学データベースとして地下発電所における岩盤物性の調査を行った。

3の断層離間距離の検討では、断層破砕帯の規模とレイアウトの関係を調査し、事例においては幅100m規模の断層は処分場として避け、幅20m 程度の断層は処分区画として避けていることがわかった。また、空洞掘削が破砕帯部に与える力学的影響に関する感度解析では、坑道径の約3倍以上の離間距離において影響はごく小さいという結果を得た。

4の検討では、掘削段階を考慮した2次元飽和－不飽和浸透流解析を行い、不飽和物性値の解析結果に対する影響を調べると共に、3次元解析に向けての課題の抽出を行った。また、3次元の熱解析では昨年度の解析の検証を行い。本年度の解析結果が昨年度の4ケースの解析の内の1ケースに合致することがわかった。

5の検討では、段階を考慮したサイト特性調査の目標や内容、対象領域、調査期間の検討を行い、適用が考えられる調査手法について、いくつかの観点からその適用性の検討を行った。

本報告書は、株式会社大林組が動力炉・核燃料開発事業団の委託研究により実施した研究の成果である。
契約番号：０７０Ｄ０２４９
＊：土木技術本部技術第二部、＊＊：情報システムセンターシステム開発第三部

PNC TJ1201 96-001
FEBRUARY, 1996

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PLANNING METHOD FOR GEOLOGICAL SYSTEM (II)

Y. Kurihara*, K. Miyazaki**, H. Igarashi**
I. Tamano*, T. Hayami**, T. Tanaka*

Abstract

The objective of this study is to develop a planning method for geological disposal system. This planning method is useful for making clear technical methods which guarantee required performance for engineered barrier and radioactive waste repository. Based on the results of the study conducted last fiscal year, the study in this fiscal year consists of the following sub-tasks.

(1) Development and improvement of GISCAE system

GISCAE system was improved to obtain more definite and clear results of heat flow analysis. The graphical treatment tool, that can be used in IRIS work station, was researched.

(2) Investigation and development of database

To develop a cost estimating database, the cost of the three types of repository construction was estimated. The rock properties in underground power electric plants were investigated to develop the rock engineering database.

(3) Investigation of the distance between tunnel and fracture zone

The relation between scale and layout of fracture zone were researched. The results of past studies showed that fracture zone which was more than a hundred meters wide was not suitable as repository site, and fracture zone which was about twenty meters wide was not suitable as repository section. The sensitivity analysis of stability effects on fracture zone, which were caused by the excavation of tunnel, was performed. The results showed that the effect was not significant, when the distance between tunnel and fracture zone was more than three times as large as the tunnel diameter.

(4) Numerical analysis of the repository planning

Two dimensional unsaturated-saturated groundwater flow FEM analysis was performed considering excavation steps. The effect of unsaturated property to the results of analysis was examined. Some problems for three dimensional unsaturated-saturated groundwater flow analysis were took up. Three dimensional heat flow analysis which was performed last year was verified. The result of analysis in this year agrees with one of four cases performed last year.

(5) Investigation of site characterization methodology

The goal, content, scale and period of site characterization in each repository stage were examined. The applicability of possible research methods was investigated.

Work performed by Obayashi Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.
PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section
*Civil Engineering Technical Department, Technical Division
**Center of Information System Development Department

地層処分システムの設計手法の開発（Ⅱ）

実施責任者　村井喜一

実施担当者　栗原雄二

業務担当者　徳永正博

三上哲司

宮崎　清

杉本雄二

五十嵐治世

土原久哉

玉野　達

速水卓哉

田中達也

目　　次

図　目　次

第１章　　頁

第２章

第３章

第４章

表　目　次

第3章

ほじめに

本研究は、地層処分システムの設計手法を開発することを目的とするものであり、このための実施事項として、設計支援に関するＣＡＥシステムの開発と、処分場の設計に関する研究開発およびサイト特性調査手法の検討を行うものである。この３項目は昨年度の研究の流れを汲む物であると同時に今後の研究成果の取りまとめに向かっての方向性を得るためのものと考える。

ＣＡＥシステムの開発では、システムの活用性の向上を図るためＧＩＳＣＡＥの改良開発として、ＩＲＩＳに適用可能な画像処理のためのツールの検討を行う。さらに、ＧＩＳＣＡＥに登録した解析結果を、より明瞭な形で把握できるような改良を加える。また、システム開発の一環としてデーターベースの開発を行う。このデータベースの開発では、昨年度に引き続き積算単価データーベースと岩盤工学データーベースを取り上げる。積算単価データーベースでは昨年度積算の体系や方法について検討を行ったが、本年度はその検討に基づき３ケースの積算を実施し、積算システムに合致した単価項目を提供する。岩盤工学データーベースでは、地下発電所に関する資料から岩盤物性値の調査を行う。

一方、設計に関する研究開発では、処分場の配置設計に決定的な影響を及ぼす断層破砕帯に着目し、その規模とレイアウトの関係（処分場として避けるべき断層規模と処分区画として避けるべき断層規模およびその離間距離）について検討を加えると共に、空洞安定解析による感度解析を行う。感度解析では、坑道掘削が天然バリアの性能に影響を与えない離間距離を調べるため、断層破砕帯部に与える坑道掘削の力学的影響を評価指標としたパラメータ解析を行う。

また、処分場の建設から埋戻しに伴う地下水の挙動をシミュレートするための解析を行う。本年度は２次元の飽和－不飽和解析を行い、不飽和物性値の影響や３次元解析に向けた課題の検討を行う。熱解析に関しては、昨年度実施したＳＩＧＮＡＳによる解析の検証として、同様の解析条件においてＡＤＩＮＡ－Ｔによる解析を実施する。

サイト特性調査手法については、まず特性調査そのものについてその輪郭を明確にする必要があると考えられることから、調査段階の想定から、各段階における目標や内容、対象面積および調査期間の検討を行う。この検討に基づき、適用が考えられる調査手法について、いくつかの観点を絞り込んでその適用性の検討を行う。

1. ＣＡＥシステムの改良開発

1.1 熱解析結果表示の改良

平成６年度に実施、登録した熱解析の結果表示に関する改良を行うに当たり、解析ステップを見直し、４ステップ分の画像を追加表示することとした。既登録分と合わせて３９枚の画像を動燃殿のワークステーションに再インストールし、動作確認を実施した。

1.2 ＩＲＩＳ動画機能改良に関する調査

現在用いている動画機能はＩＲＩＳ上のユーティリティ・ソフトとして提供されているものをＧＩＳＣＡＥ用に表示位置の設定等に関して一部修正を加えたものであるが、このソフトによる処理は始めに画像ファイルをすべてメモリー内に読み込み、色情報を確認して動画表示に備えることが今回の調査によって、まず判明した。この動画の為の前処理は、ＳＵＮのような２５６色ではなくフルカラー（１６７０万色）をサポートするというＩＲＩＳの持つ画像処理機能に関わっており、この点で他機種とは根本的に異なる。また動画の処理中、メモリー内に納まり切れない部分については、予めメモリーの代替として用意されたスワップ領域を利用して処理を行っており、この点についても処理速度を低下させる原因となっている。

このような画像処理特性を考慮しながら、高速に動画処理を行える他のソフトが有るのか、ユーティリティ・ソフトの改良が可能なのかを日本シリコングラフィックス社のサポートセンターの支援を受け調査を続けてきた結果、効果的な改善方法は見つからなかった。一方ハード的には、メモリーを増設することにより、動画に必要な画像ファイルのすべてをインコアで処理できるようになるため、現状のソフトを用いても処理速度の改善が図られるということが確認された。

しかし、今後も継続して解析事例の登録が実施されていくことを考えると、ＧＩＳＣＡＥシステムの肥大化が予想される。限られたハード資源を有効に利用しつつ、動画表示の改善をはじめとした効果的なプレゼンテーション技法をシステム上で実現することは、ＧＩＳＣＡＥの継続的な課題である。

1.3 I－DEAS Master Series バージョンアップ(1.3→2.0)の機能調査

1.3.1 操作性の変更、改良点に関する調査

全般的に、より操作（特にマウスのピック）回数を減らすように改良されている。以降に主な変更、改良点を記述する。

（1）一般機能

①クイックヘルプの表示（機能オンの時）

マウスカーソルをアイコン上に移動させると、グラフィック領域下段にそのアイコンの簡単なヘルプが表示される。

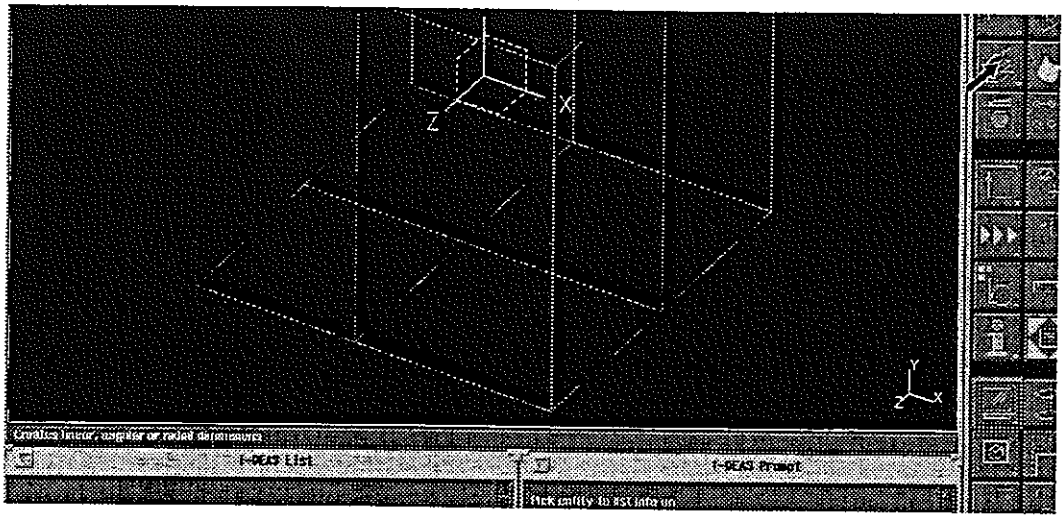


図-1.3.1　クイックヘルプの表示

②クリッピング機能の強化

ハードウエアシェーディングの実行時に、クリッピング機能を用いて図-1.3.3のような表示をアイコンで制御できるようになった。

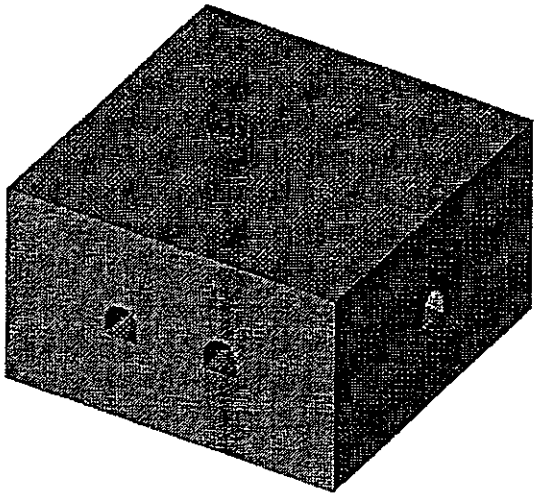


図-1.3.2　クリッピング機能ＯＦＦ

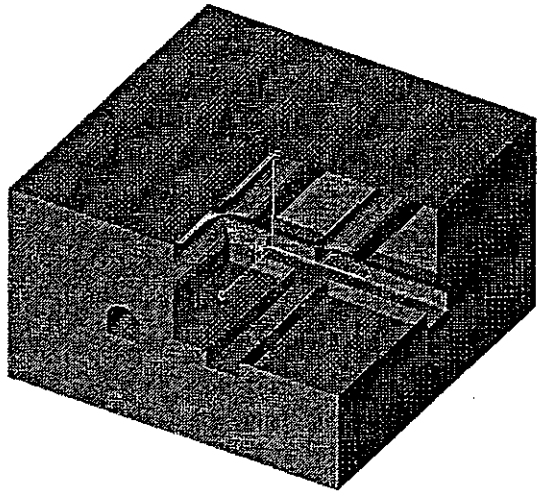


図-1.3.3　クリッピング機能ＯＮ

（２）Ｄｅｓｉｇｎ

①ワイヤーフレーム作成上の機能強化

・拘束条件のラベル表示（図-1.3.4参照）

・拘束作成時の機能強化：中点での拘束、ドラッグ中の拘束機能が追加された。

・寸法作成機能の改善　：距離、半径、角度を１コマンドで処理できるようになった。

・関数による曲線の作成：ｕの関数としてｘ，ｙ，ｚを入力する。

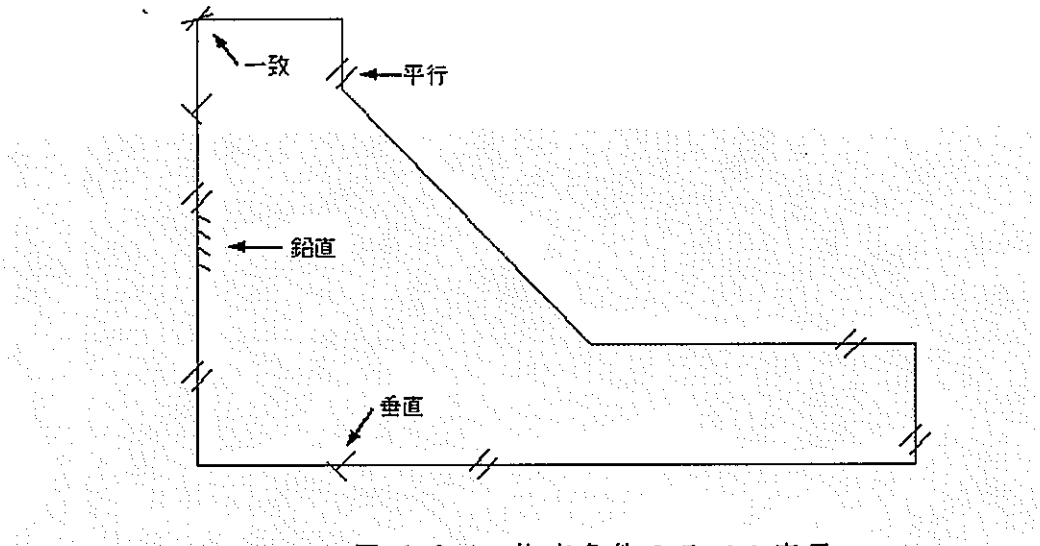
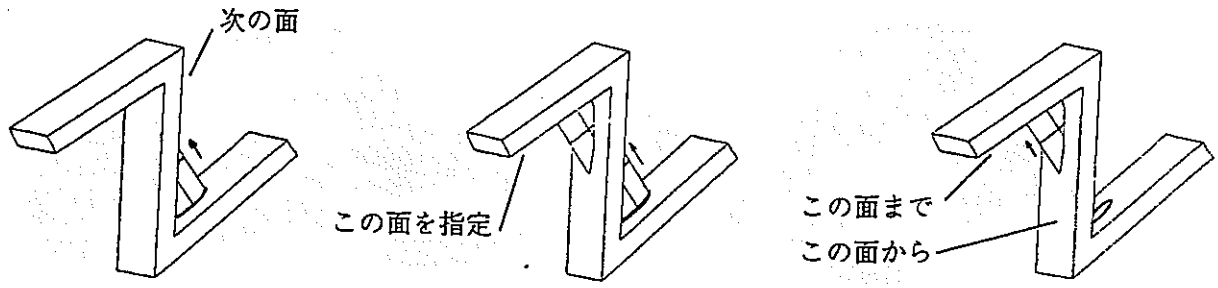


図-1.3.4　拘束条件のラベル表示

②引き延ばし／回転による形状作成機能の追加

押し出し量や回転量の指定方法がさらに多様になった。

Until Next（次の面まで）　Until Selected（指定した面まで）　From/To（どの面からどの面まで）



次の面まで　指定した面まで　面から面まで

図-1.3.5　追加されたオプション

③パーツの履歴ツリーの表示

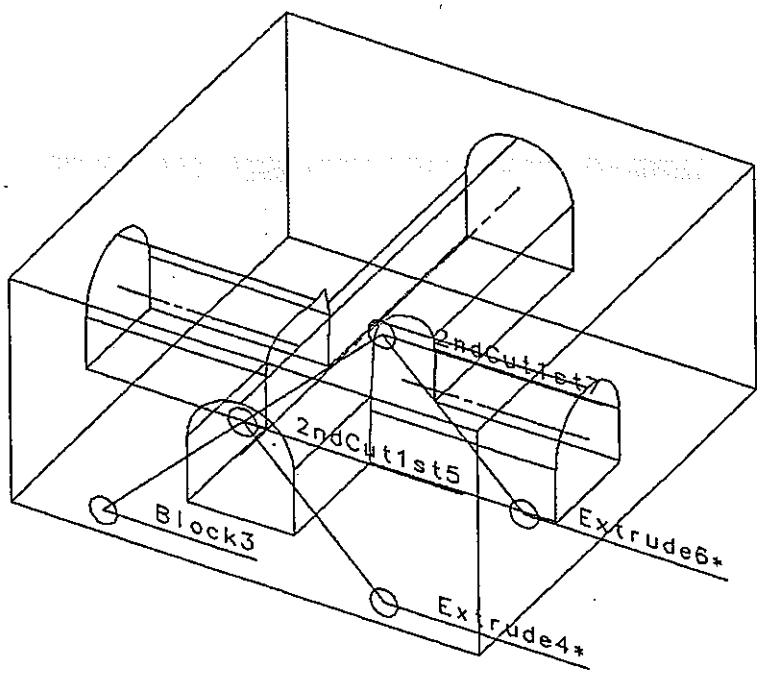


図-1.3.6　履歴ツリーの表示

④サーフェイスタスクでの履歴のサポート

1．3では、サポートされていなかったロフト、スイープ、Planar Surfaceで作成したサーフェイスを履歴を使って、寸法を変更できるようになった。

⑤ロフト／スイープでの形状作成機能の強化

・穴あき断面でのロフト／スイープが可能となった。

・フォーム形式での入力（図-1.3.7参照）

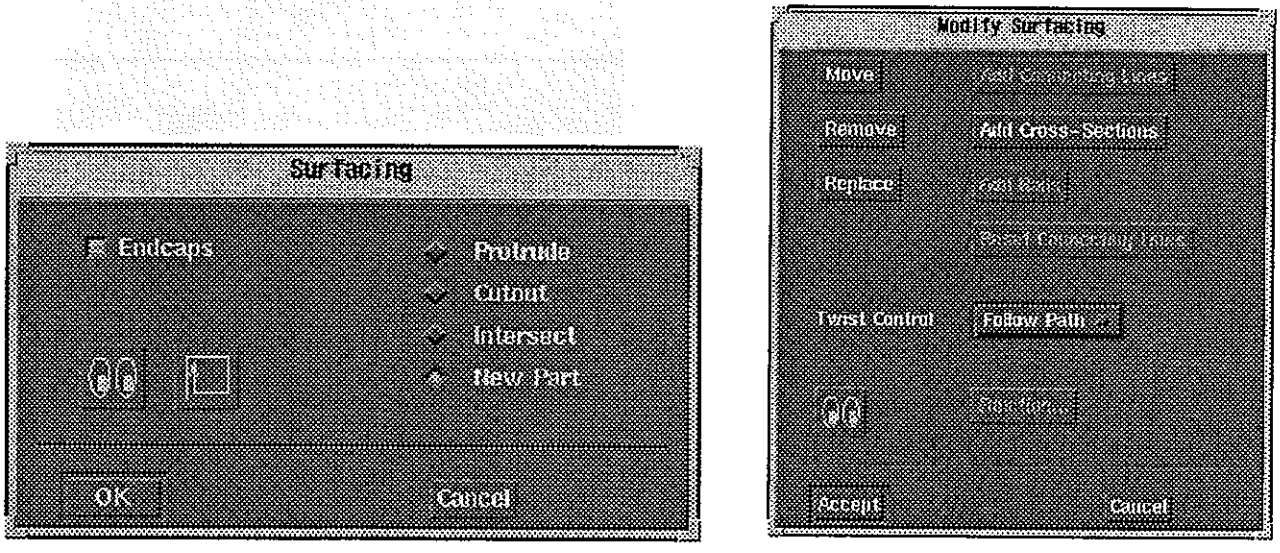


図-1.3.7　ロフト／スイープのフォーム

（３）Ｓｉｍｕｌａｔｉｏｎ

①セクションメッシュによるフリーメッシュの作成

複数のサーフェイスにまたがって、メッシュを作成できるようになった。

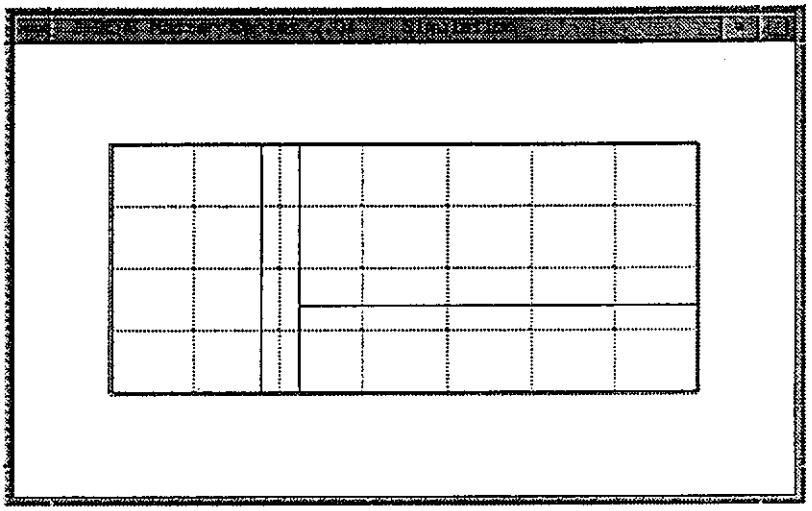


図-1.3.8　セクションメッシュ

②マップトメッシュの改善

・複数のサーフェイスまたはボリュームにマップトメッシュを定義する際、対辺となるエッジを全て探してくれるようになった。

・３次元マップトメッシュオプションフォームにＤｅｆｉｎｅ　Ｃｏｒｎｅｒｓが追加された。

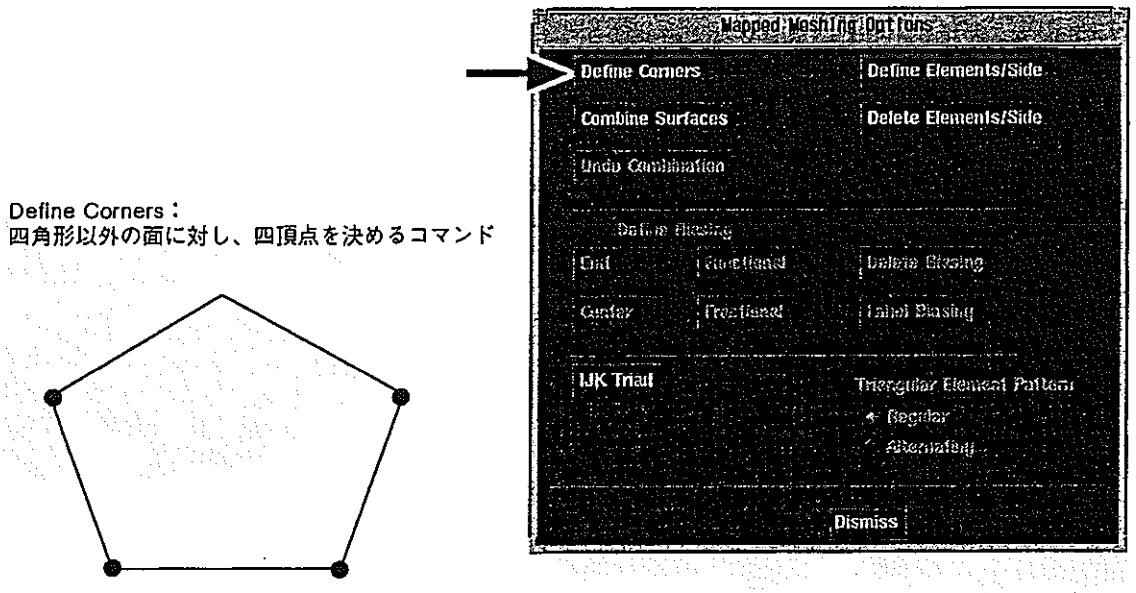


図-1.3.9　マップトメッシュオプションフォーム

③コンター図の表示速度の改善

Ｆａｓｔ　Ｄｉａｐｌａｙを使用する事によって、表示速度を数倍速める事ができるようになった。（ハードウェア・グラフィックスを使用する。）

④ユニバーサルファイル出力時の単位系の修正

１．３では、ユニバーサルファイルに出力すると必ずＳＩ単位系で出力されたが、２．０からモデルファイルに一致するようになった。

1.3.2 各種ファイルの対応

（１）Ｉ－ＤＥＡＳ固有のファイル

モデルファイル、プログラムファイル、ピクチャーファイル等のＩ－ＤＥＡＳ固有のファイルは上位互換のため、１．３で作成されたファイルは２．０で読み込むことができる。しかし、一度２．０に変換されたファイルは１．３で読み込むことはできない。

（２）インターフェイス用のファイル

ユニバーサルファイルのフォーマットの変更はないので、基本的にはＦＮＳＴＡＢおよびＵＩＳＩＧＮＡＳを利用する上で問題はないものと考えられた。

これらのインターフェイスは共にレベル６．１のユニバーサルファイルをもとにしたダウンコンバータ（ＭＳ１．３→レベル６．１）とアップコンバータ（レベル６．１→ＭＳ１．３）を用いて、ＭａｓｔｅｒＳｅｒｉｅｓとの連係をとっている。

しかしダウンコンバータについては、ＭＳ２．０へのバージョンアップ時に新規にソースプログラムで提供された（これは、ダウンコンバータＶ２．０と呼ばれている）ため、このダウンコンバータについて調査・検討した結果について記述する（後述する1.4.2および1.4.3に関連）

ここでは、ユニバーサルファイルは動燃殿より調査依頼をうけたもの（１．３で出力）を使用し、ＦＮＳＴＡＢおよびＵＩＳＩＧＮＡＳで使用しているダウンコンバータ（大林組開発、トラブル対応(1.4.3)により追加改良）とＭＳ２．０で提供されるダ

ウンコンバータＶ２．０でのユニバーサルファイル変換の可否とその後のＦＩＮＡＳ、ＳＩＧＮＡＳの各解析データへの変換の可否を表-1.3.1に示す。

表-1.3.1　ダウンコンバータの機能調査

インターフェイス / ダウンコンバータ	ＦＮＳＴＡＢ		ＵＩＳＩＧＮＡＳ	
	UNV.変換	FINASデータ変換	UNV.変換	SIGNASデータ変換
大林組	○	○	○	○
V2.0	○	×	○	○

以上の結果から、ダウンコンバータＶ２．０はユニバーサルファイル変換に関しては問題なく実行できるが、ＦＩＮＡＳデータ変換において不都合を生じる場合があることがわかった。しかし、このような結果となったユニバーサルファイルは動燃殿提供データの１件のみであり、他のいくつかのデータに関しては問題がなかったことを追記しておく。

1.4 今年度実施した解析結果のＧＩＳＣＡＥへの登録

今年度実施した処分場の設計検討のための解析のうち、以下の解析結果についてＧＩＳＣＡＥに登録した。

（１）断層離間距離に関する感度解析（画像ファイル数２０、メニュー数４）

（２）地下水流動解析　　（　　〃　４５、　　〃　３）

今回登録のために変更になったＧＩＳＣＡＥプログラムおよび、追加・登録した解析結果の画像ファイル、メニューを動燃殿のワークステーションにインストールし、動作の確認を実施した。

図-1.4.1に（１）に関して追加・登録したメニューを、図-1.4.2に（２）に関して追加・登録したメニューを示す。

```
2. Effect of Tunnel Excavation on the Fracture Zone
├── 1. Not Use Joint Element        <------------------ (昨年度登録済)
└── 2. Use Joint Element            <------------------- (以下今年度登録)
    ├── 1. Create of Analysis Mesh Model
    ├── 2. Display of Results (Major Principal Stress)
    │   ├── 1. Effect of Distance between Tunnel and Fracture Zone
    │   └── 2. Effect of Fracture Zone Scale
    │          (5m , 10m , 20m , 30m)
    └── 3. Display of Results (Maximum Shear Strain)
        ├── 1. Effect of Distance between Tunnel and Fracture Zone
        └── 2. Effect of Fracture Zone Scale
               (5m , 10m , 20m , 30m)
```

図-1.4.1 断層離間距離に関する感度解析メニュー

```
3. Ground Water Flow Analysis Subsystem
├── 1. Engineered Barrier System of Near Field (Results 32-steps)
├── 2. Far Field Model (2-D Trangent Analysis)
├── 3. Far Field Model (3-D Steady Analysis) <-------- (昨年度登録済)
└── 4. Far Field Model (2-D Saturated-unsaturated Trangent Analysis)
    ├── 1. Calling Geological Model          (以下今年度登録)
    ├── 2. Create of Analysis Mesh Model
    └── 3. Display of Results
        ├── 1. Change in the Distrubution of Flow Vector
        │   ├── 1. Analysis Step.  1 (Initial Condition)
        │   ├── 2. Analysis Step.  5 ( 20 Years )
        │   ├── 3. Analysis Step.  9 ( 40 Years )
        │   └── 4. Analysis Step. 13 ( 60 Years )
        ├── 2. Change in the Distribution of Flow Vector
        │      (From Initial Condition to 60 Years Later)
        │            -Around Shaft and Tunnel
        ├── 3. Change in the Distribution of Total Head
        │      (From Initial Condition to 60 Years Later)
        │            -Around Shaft and Tunnel
        └── 4. Change in the Distribution of Pressure Head
               (From Initial Condition to 60 Years Later)
                     -Ground water Surface, P.H.=0m
```

図-1.4.2 地下水流動解析メニュー

1.5 その他（平成７年度計画外の実施作業）

1.5.1 ＣＡＥデモ(GISCAE)システムの改良について（H7.8.2依頼）

①ニアフィールド熱解析

②ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳ，ＦＮＳＴＡＢのセーブファイルのバイナリー変換

（大型計算機→ＷＳ）

③処分施設配置地質図(ﾓﾃﾞﾙ)の改良

④処分坑道図(ﾓﾃﾞﾙ)の作成

以上、４項目の作業内容と概算費用の提出を行った。（作業日数：１日）

また、④に関してはI-DEAS Master Series 1.3でモデルを作成し直し、動燃殿に提出した。（作業日数：１日）

1.5.2 ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳのトラブル対応について

①ＳＩＧＮＡＳの解析データが８０カラムの固定長データとして扱われない。

（作業日数：１日）

②ＳＩＧＮＡＳの解析データで３次元ソリッド要素の構成節点の定義がうまく変換できない。（作業日数：２日）

上記、２点の問題は動燃殿のＷＳ上ではうまく作動しなかったが、弊社のＷＳ上では問題なく作動しているため、原因の追究と対応策の検討に時間を要した。

1.5.3 ＦＮＳＴＡＢのトラブル対応および大洗工学センター対応について

①トラブル対応

ダウンコンバータ(ﾕﾆﾊﾞｰｻﾙ･ﾌｧｲﾙ)の改良及びテスト（作業日数：３日）

②大洗工学センター技術開発部技術管理室対応(H7.9.8依頼)

山田氏の依頼でＦＮＳＴＡＢ(SUN版)一式を送付した。（作業日数：１日）

1.5.4 ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳへのジョイント要素の追加

これは現状のＳＩＧＮＡＳプリ・トランスレータに、ＳＩＧＮＡＳの要素ライブラリーの１つであるジョイント要素のデータ変換機能を追加するというものであるが、本来、Ｉ－ＤＥＡＳの中にＳＩＧＮＡＳのジョイント要素と同等の要素が存在しないため、Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリングの段階で、ジョイント要素として判断ができるような何らかの約束を設けてユニバーサルファイルに情報を出力する必要がある。この情報があれば、プリ・トランスレータでジョイント要素を生成することは可能である。

そこで、以下のような約束を設けることとしてジョイント要素データを生成し、隣接する有限要素については、ジョイント要素の開口／閉口方向を考慮した要素定義の修正（構成節点定義の修正）を行った。

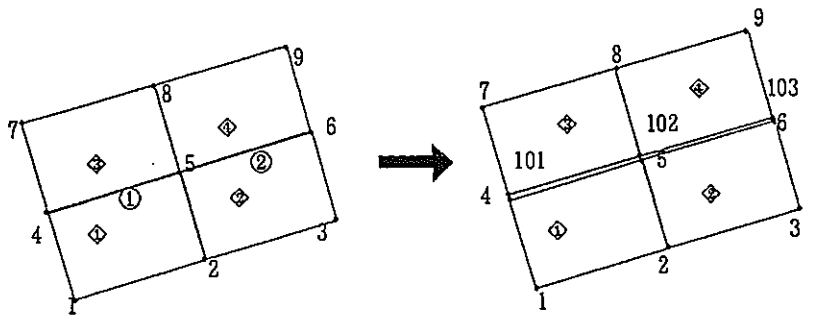
1) Ｉ－ＤＥＡＳでは梁要素（ＬＩＮＥＡＲ＿ＢＥＡＭ）を用いて、ジョイント要素定義上の最初の２点をモデリングする。（ジョイント要素の構成節点は４点）

2) ジョイント要素にするための梁要素は必ずグループ化を行い、要素グループの名称として”ＪＯＩＮＴ＿”なるヘッダを付けるものとする。

3) プリ・トランスレータでは、”ＪＯＩＮＴ＿”なるヘッダを識別し、ジョイント要素を生成するためにこの梁要素を構成する２端点の座標を検索し、同座標値を持つ新たな節点を生成してジョイント要素の構成節点とする。

4) ジョイント要素に隣接する有限要素（ＰＬＡＮＥ要素およびＳＯＬＩＤ要素）については構成節点を検索し、ジョイント要素の開口／閉口方向を考慮して、新たに生成した節点を用いて矛盾のないように要素構成節点定義の修正を行う。

このような方法でジョイント要素を生成する概念を図-１.５.１に示す。



*** ジョイント要素生成のために ***

・グループ化した梁要素
　梁要素①（4-5）
　梁要素②（5-6）

・生成した節点　101, 102, 103
・再定義された有限要素
　平面要素（101, 102, 8, 7）
　平面要素（102, 103, 9, 8）

図-１.５.１ ジョイント要素の生成

また、図-1.5.2 に梁要素を代用してモデリングしたＩ－ＤＥＡＳでのトンネル解析モデルの例を示す。

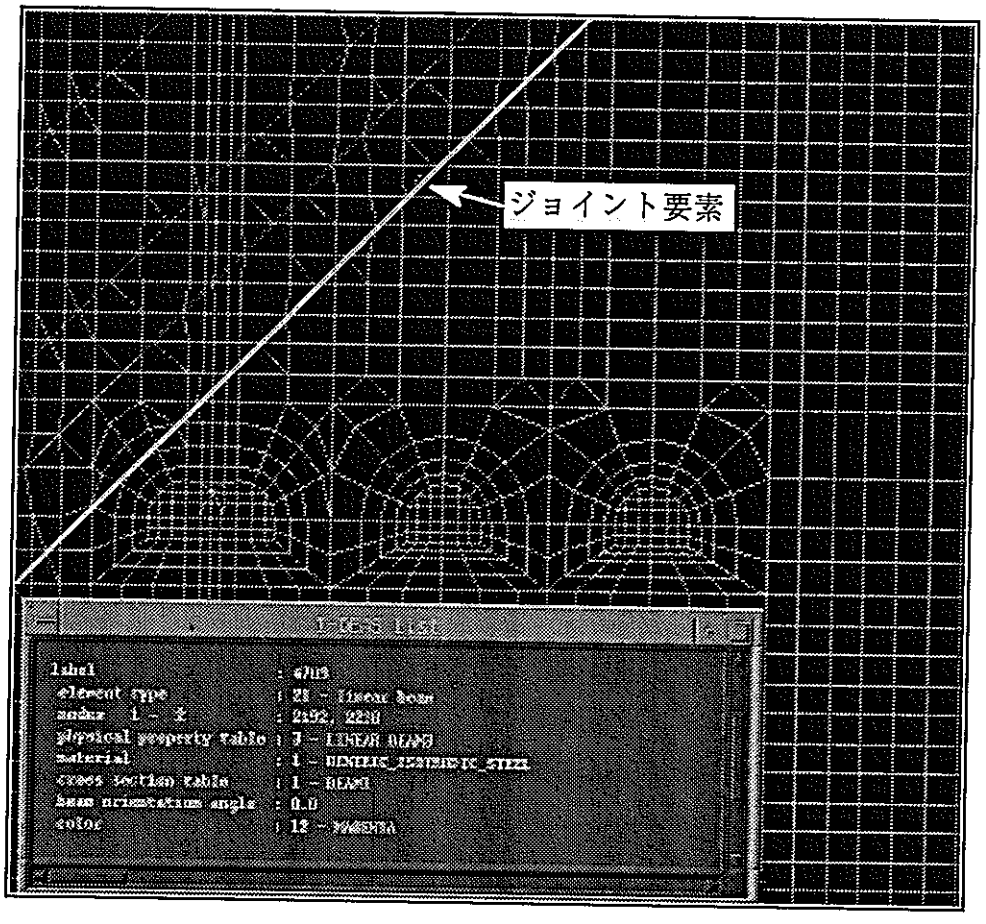


図-1.5.2　Ｉ－ＤＥＡＳでのジョイント要素モデル化の例

なお、解析後に結果の図化による評価を行うためのポスト・トランスレータに関しては今回機能追加対象外であったが、前述の約束に従って逆変換を行い、梁要素としてモデル表示を行い、ジョイント要素が識別できるようにした。（ジョイント要素の結果については今回取り扱っていない。）

今回の改良についての詳細および、ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳ利用上の留意点等につきましては、添付資料－１「ＦＥＭによる総合地盤解析支援システム(ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳ)－ジョイント要素対応利用マニュアル－」をご参照ください。

1.6 今後の課題

ＧＩＳＣＡＥは、これまでの地層処分に関する種々の調査・検討結果を集成し、プレゼンテーションシステムとして開発・追加してきているため、ソフト資源は年々肥大化の傾向をたどっている。一方、ハード資源についてはアップグレードによりパフォーマンスの向上を図ってきた。しかし今後も継続的に調査・検討結果を蓄積し、より充実したシステムを構築していくとき、このような対応には限界がある。

限られた資源を有効に利用しつつ効果的なプレゼンテーションを行うためには、プレゼンテーション技術の面からもより効果的に表現できるツールを試行していくことが必要であろう。１つの方法として、最近話題となっているインターネット上の情報発信技術であるＷＷＷ*1技術を用いた方法が考えられる。この技術は、文章、画像（静止画・動画）、音声等のさまざまな情報（データ）を表現できる手段として現在最も注目されている。ＧＩＳＣＡＥは現在、ＩＲＩＳ上だけでプレゼンテーションできるシステムであるが、ＷＷＷ技術を用いた場合、ネットワーク（例えば動燃内部のＬＡＮ）上のいずれの端末（パソコン）からもプレゼンテーションが可能となる。

また今回改良開発を実施した、解析の効率化を支援するＵＩ－ＳＩＧＮＡＳに関しては、より複雑・高度化する解析に柔軟に対応していくために改善が望まれる点もあろう。例えば、施工過程に対応した要素生成データの作成や、浸透流解析での境界条件等の設定の簡略化、データベース指向での物性データ生成など、モデリング機能の充実化がある。解析結果の可視化についても、軸対称解析結果の３Ｄ展開、断層や亀裂等の評価方法、浸透流解析結果の流れの効果的な表現（パーティクル・パス＝流線図）の実現等が考えられる。

*1　ＷＷＷ：World Wide Web

蜘蛛の巣のように張りめぐらされているネットワーク（インターネット）上に点在するワークステーション上に蓄積された情報（文章、画像、音声など）をＨＴＭＬ（HyperText Markup Language)を用いて、プレゼンテーション用ウェブページを作成する。このウェブページはインターネット上のどの端末からもブラウズすることができ、多くの利用者へ情報を提供できる。

2. データベースの開発検討

2.1積算単価データベース

2.1.1目的

地下処分場の建設にあたり対象となる本工事としては、地上施設から処分場へのアクセスのための立坑掘削、立坑と各処分区画を結ぶ連絡坑道掘削、処分区画を取り囲む主要坑道掘削、および処分坑道の掘削といったいわゆるトンネル工事があげられる。ここでは、これらのトンネル工事およびそれに付随した土木工事の費用算定のために必要な積算単価データについて述べる。

トンネル工事の積算を行う場合、一般には地質状態を調査し、標準断面をあらかじめ決定した上で以下①～⑤の作業を行うことになる。

①地山条件の評価

地質調査の結果より地山条件を設定し、その地山条件に対する標準支保パターンを用いて設計を行い、掘削時の観察・計測等によって設計の妥当性の確認や必要な変更を行うことが一般的である。このため、地山条件の評価はトンネルの設計・積算・施工を合理的に行う上で極めて重要な要素である。建設省の積算基準では各種地質調査結果を評価因子としてB、CⅠ、CⅡ、DⅠ、DⅡの地山等級に分類している。次項 表-2.1.1に道路トンネル技術基準(構造編)・同解説(日本道路協会)による地山分類を示す。

②標準支保パターンの設定

複雑に変化する地山特性を完全に網羅する支保パターンの設定は困難なため、建設省の積算基準では前記地山の等級分類ごとに吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工、覆工コンクリート等の支保部材を組合わせた標準的な支保パターンを用いている。

③標準施工計画の設定

施工計画策定にあたっては次の様な次項を明らかにする必要がある。

・全断面工法、ベンチカット工法等の掘削工法

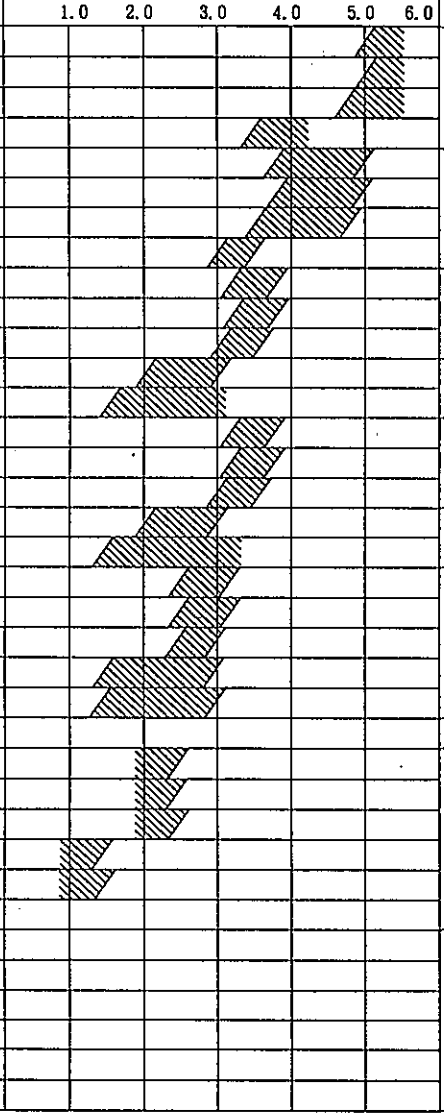
・発破掘削、機械掘削等の掘削方式

・タイヤ方式、レール方式等のずり処理方式

・工事に使用する設備や機械

・工事の工程計画

表-2.1.1　地山分類（道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（日本道路協会）による）

地山等級		岩種	(1)弾性波速度（V, km/s）	(2)地山強度比	(3)ボーリングコア コアの状態	(3)ボーリングコア RQD(%)	(4) 地山状態（地質調査の成果または掘削面の状態）	(5) 観察 ハンマー打撃による割れ方	(5) 観察 亀裂間隔（cm）	(6) 掘削後の状態 切羽の自立性	(6) 掘削後の状態 内空変位量（mm）
			地山判定基準								
A		a		－	コア採取率は，概ね90％以上で完全な柱状を呈し，ほぼ20cm以上の長さを有する。細片はほとんど含まない状態のもの。	80以上	・岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し，割れ目がほとんどなく連続して安定している。 ・水による劣化はない。	ハンマーが跳ね返る。強く叩いてかろうじて割れ，新鮮な面で割れる。	100～50以上	・自立状態は非常に良く，長期にゆるむことはない。	微　小
		b									
		c									
		d_1									
B		a		－	コア採取率は，概ね70％以上で大岩片状～短柱状～棒状を示し，コアの長さが概ね10～20cmであるが，5cm前後のものもみられる。	90～60	・岩質は新鮮で堅硬であるが割れ目は比較的少ない。 ・岩質はかなり堅硬であっても風化作用のため多少変質した傾向が認められる。 ・岩質は堅硬であるが層状をなす岩で層理あるいは片理が認められ，その面に沿って割れ易いもの。 ・水による劣化はない。	ハンマーで強く叩けば割れるが，ほとんどが亀裂あるいは節理等に沿って比較的大きく割れる。	70～30	・鏡面は自立，素掘面に局部的に肌落ちがみられるが，概ね安定。 ・局部的にゆるんだ箇所は部分的に支保を要する地山。	微　小
		b									
		c									
		d_1									
C	I	a		－	コア採取率は，40～70％で亀裂が多く，また砕け易いために小さくなり，5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。原形復元困難～不可能。	70～20	・風化作用を受けて岩石に変質を起こしているもので，岩質が多少軟らかくなる。 ・岩質は比較的堅硬であっても亀裂が細く入っていて，その間隙には薄い粘土が挟在するもの。 ・層理の顕著な岩で非常に薄く割れ易いもの。 ・幅の狭い小断層を挟むもの。 ・水による劣化は少ない。	ハンマーで容易に割れる。 亀裂面等に沿って比較的小片に割れ，むしろ亀裂以外の面では割ることが困難である。	50程度以下	・鏡面は自立する。 ・素掘面は発破後直ちにクラウン部に吹付けが必要となる地山。	50以下
		b									
		c									
		d_1		4以上							
		d_2									
	II	a		－						・鏡面は自立する。 ・素掘面は天端付近で肌落ちし，先受け支保工が必要となる地山。	
		b									
		c									
		d_1		4以上							
		d_2									
D	I	a		4～2	コア採取率は低下し，概ね40％以下となることが多く，コアは細片状となるが，時には角礫混り砂状あるいは粘土状となるもの。	20程度以下	・著しい風化作用を受け，一部には既に土壌化した部分が見られ，中に多少硬い部分が残っている程度に軟質で脆いもの。 ・割れ目が極めて多いもので亀裂以外のいかなる部分からでも容易に割ることができるもの。 ・粘土化のあまり進んでいない破砕帯で，粘性土と細片状の岩片の混合した状態になって，幾分硬い所も含まれているもの。 ・土砂，崖錐等。 ・水により鏡が軟弱化する場合はDII	ハンマーで容易に崩れる。 岩は脆く，指先で容易に割れる。	－	・鏡面，素掘面とも肌落ちが著しい場合と側方からの若干の押し出しがある場合がある。 先受け支保工および早期の山留めが必要な地山。	60以下
		b									
		c									
		d_1									
		d_2									
		e		2以上							
	II	a		2～1				ハンマーのわずかな打撃によって崩れる。 ハンマーの先が突き刺さる。	－	・鏡面は肌落ちが著しい。 ・素掘面は側方からの押し出しがある。	200以下
		b									
		c									
		d_1									
		d_2									
		e									
E		a		1以下	－	－	・著しい偏圧・周圧を伴うような，かなり幅を有する粘土化が著しい断層，破砕帯や大きな崖錐地帯等。 ・水による劣化が著しく軟弱化を生ずる。		－	・鏡面は押し出しを生じ，顕著なものは崩壊する。 ・素掘面は周圧的な押し出しを生ずる。	400以下
		b									
		c									
		d_1									
		d_2									
		e									

（注）1.　岩種　a：変成岩（千枚岩，石墨片岩，珪質石墨片岩，石英片岩，緑色片岩，片麻岩，蛇紋岩，ホルンフェルス等）
深成岩（斑れい岩，橄欖岩等）
b：古生層および中生層（粘板岩，砂岩および礫岩，硬砂岩，石灰岩，珪岩，輝緑凝灰岩等）
c：火山岩（石英粗面岩，安山岩，玄武岩等）
脈　岩（花崗斑岩，石英斑岩，輝緑岩等）
深成岩（花崗岩，閃緑岩等）
d：第三紀層および下部洪積層（泥岩，頁岩，珪質頁岩，砂岩および礫岩，凝灰岩，凝灰角礫岩等）
ただし，新鮮な岩石資料の一軸圧縮強度（q_u）200kgf/cm²を基準として，d_1・d_2に細分する。
d_1：$q_u \geq 200$kgf/cm²
d_2：$q_u < 200$kgf/cm²
e：上部洪積層（ロームおよび粘土，火山砕屑物），沖積層（崖錐，表土等）

2.　ボーリングコアの状態，RQD，亀裂間隔は，岩種a・b・c・d_1に適用する。

④積算基準（歩掛、単価）の選定

⑤積算計算

ここでは、現在動燃殿が保有している積算システム稼動のために必要となる上記入力データの供給を目的としたデータベースの開発を行う。

2.1.2 積算体系

積算価格の構成は発注機関により異なるが、建設省の場合以下の様に体系化されている。

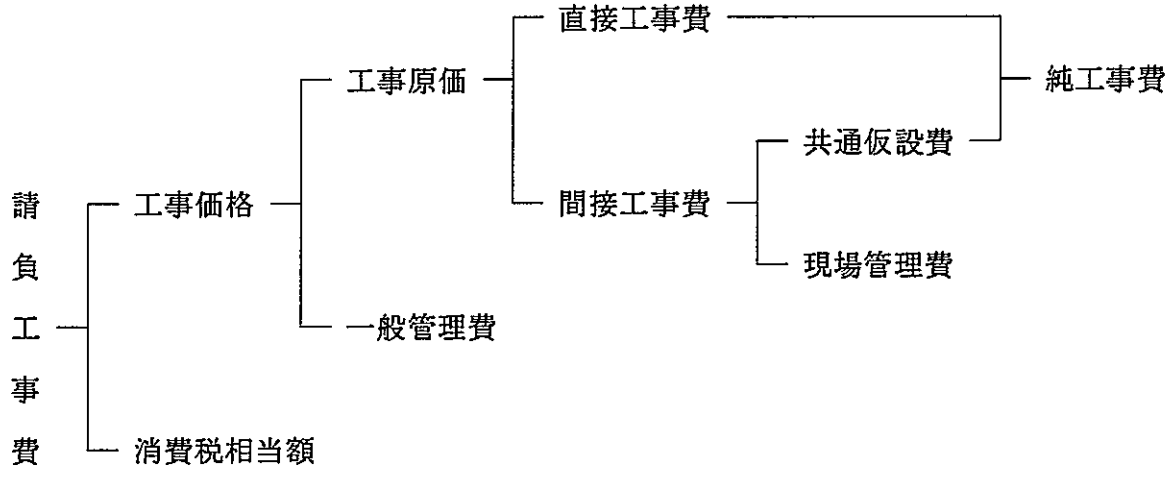


図-2.1.1　工事費の構成

以下に、各項目費用の概略を述べる。

(1)請負工事費

工事価格と消費税相当額の和で、請負に付そうとする工事の施工にあたり請負業者が通常要すると考えられるすべての費用。

(2)工事価格

工事原価と一般管理費との和。

(3)工事原価

工事現場における経理で処理されると考えられるすべての費用で、直接工事費と間接工事費の和で表される。

(4)一般管理費

工事施工に当たる企業の本店や支店において必要な経常費用。この費用は個々の受注工事と直接連動するものではないが、受注者の企業の経営、管理および活動のために必要で受注工事の代金の一部からねん出する以外負担することが出来ないことから請負工事の中に折り込まれているものである。

一般管理費の積算は、工事原価（純工事費＋現場管理費）に一般管理費率を乗じて求められる。一般管理費率は工事原価によって以下の様に設定する。

工事原価100万円以下の場合　　16.08 %

100万円～10億円の場合　-2.2311105logCp+29.4661189(Cp:工事原価) %

10億を越える場合　　9.39 %

(5)直接工事費

工事原価のうち間接工事費を除いた費用、すなわち目的物を造るために直接投入された事が明確に把握できるような費用。

(6)間接工事費

工事目的物として引き渡しを受けるものではない仮設や現場の管理費用など、各工事部門の施工に対して共通的に使用される費用。

(7)共通仮設費

運搬費、準備費、仮設費、事業損失防止費、安全費、役務費、技術管理費、営繕費で構成される費用。

共通仮設費の算定は直接工事費と同様に積上げ計算による額と、対象額（直接工事費＋仮設費＋事業損失防止費）に所定の共通仮設費率を乗じた額とを加算して行う。共通仮設費率は対象額（直接工事費+仮設費+事業損失防止施設費）によって異なり、以下のように設定する。

対象額1,000万円以下の場合　　18.05 %

1,000万円～20億円の場合　432.6・(対象額)$^{-0.1971}$ %

20億円を越える場合　　6.35 %

(8)純工事費

直接工事費と間接工事費からなり、工事目的物を造るために直接必要となる費用。

(9)現場管理費

労務管理費、租税公課、地代、保険料、従業員給料手当、退職金、法定福利費、福利厚生費、事務用品費、通信交通費、交際費、電気水道光熱費、補償費、雑費等で構成される費用。

現場管理費の積算は工種および純工事費毎に決められた現場管理比率を純工事費に乗じて得た額の範囲内で計上する。なお、施工区域および施工時期等による補正値を２％の範囲内で現場管理比率に加える場合もある。現場管理費率は純工事費によって異なり、以下のように設定する。

純工事費1,000万円以下の場合　20.79 ％

1,000万円～20億円の場合　$32.8 \cdot (\text{純工事費})^{-0.0283}$ ％

20億円を越える場合　17.89 ％

2.1.3積算ケースの条件

処分場のレイアウトは動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書「地層処分システムの設計研究(Ⅱ)」1991.3に基づき、施工方法等一部を変更して積算する。

処分場積算ケースとしては表-2.1.2の３ケースを取り上げる。

表-2.1.2　積算ケースの条件

対象岩質	処分形態	処分深度	積算ケース
結晶質岩系	処分孔縦置方式	1,000m	K１
	坑道横置方式		K２
堆積岩系		500m	T１

(1)結晶質岩における坑道断面

1)立坑

仕上がり内空でφ６．５ｍとし、支保として吹付コンクリートおよび２次覆工コンクリートを施工する。図-2.1.2に立坑断面を示す。坑口部30m区間は図-2.1.2に示すような補強を施すが、今回の積算上は増加した材料費のみの計上とする。

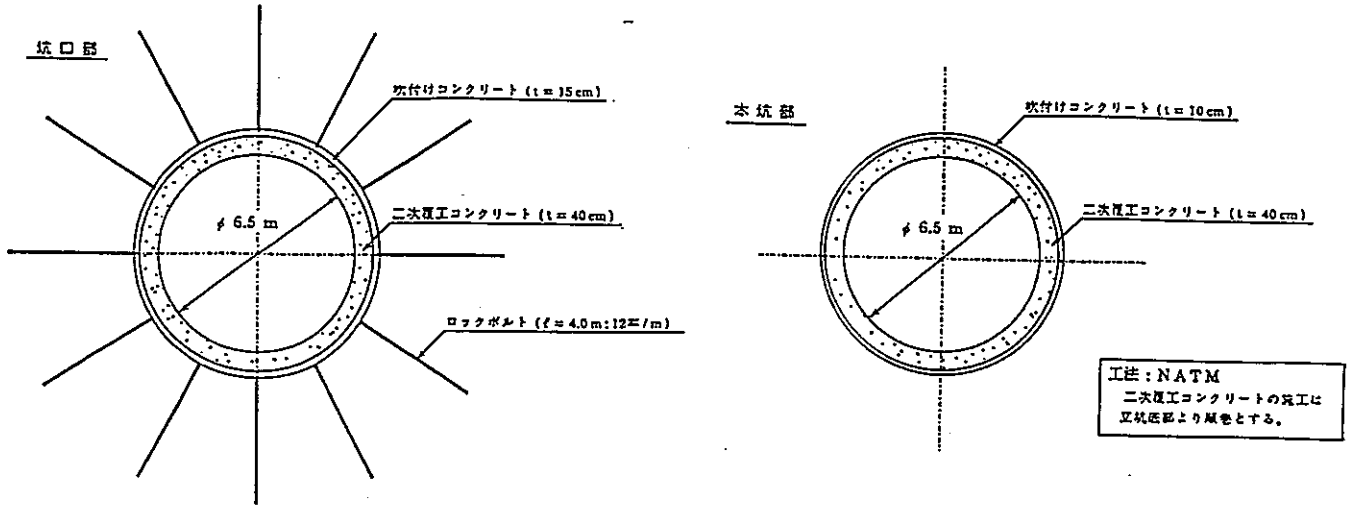
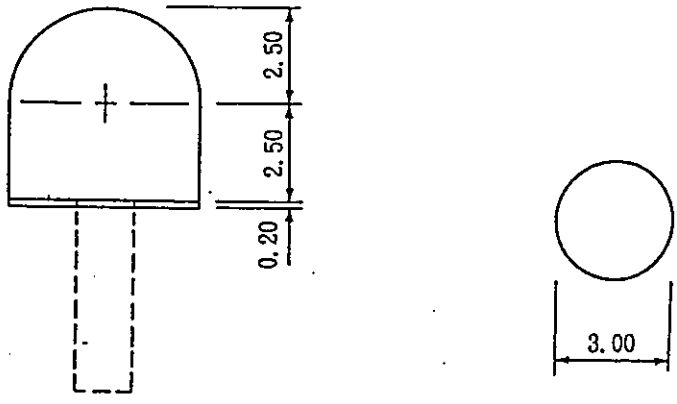


図-2.1.2　結晶質岩における立坑断面

2)処分坑道

処分孔定置の場合および処分坑道定置の場合で図-2.1.3のような断面とする。なお原則として無支保とする。

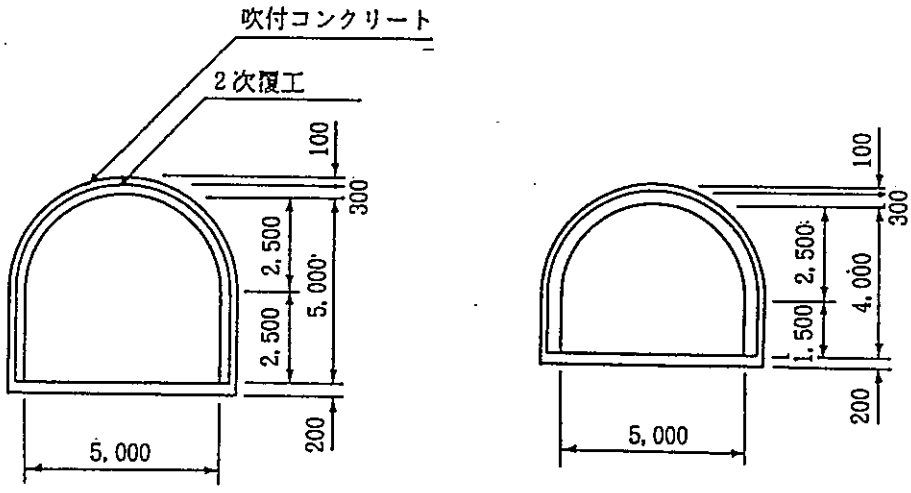


（K－1）　　（K－2）

図-2.1.3　結晶質岩における処分坑道断面

3)連絡坑道、主要坑道

処分孔定置の場合および処分坑道定置の場合で図-2.1.4のような断面とする。支保として吹付コンクリート、２次覆工コンクリート、インバートコンクリートを施工する。



（K－1）　　（K－2）

図-2.1.4　結晶質岩における主要・連絡坑道断面

4)処分孔

処分孔定置の場合のみに設置され、図-2.1.5に示す形状とし、無支保とする。

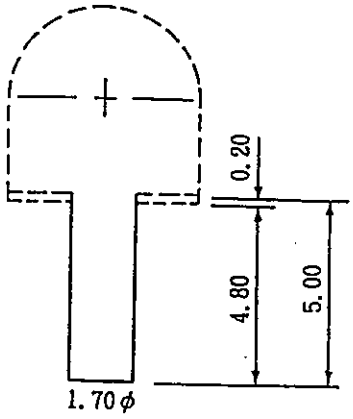


図-2.1.5　処分孔断面

(2)堆積岩における坑道断面

1)立坑

結晶質岩と同様に仕上がり内空でφ6.5mとし、支保として吹付コンクリートおよび2次覆工コンクリートを施工する。図-2.1.6に断面を示す。

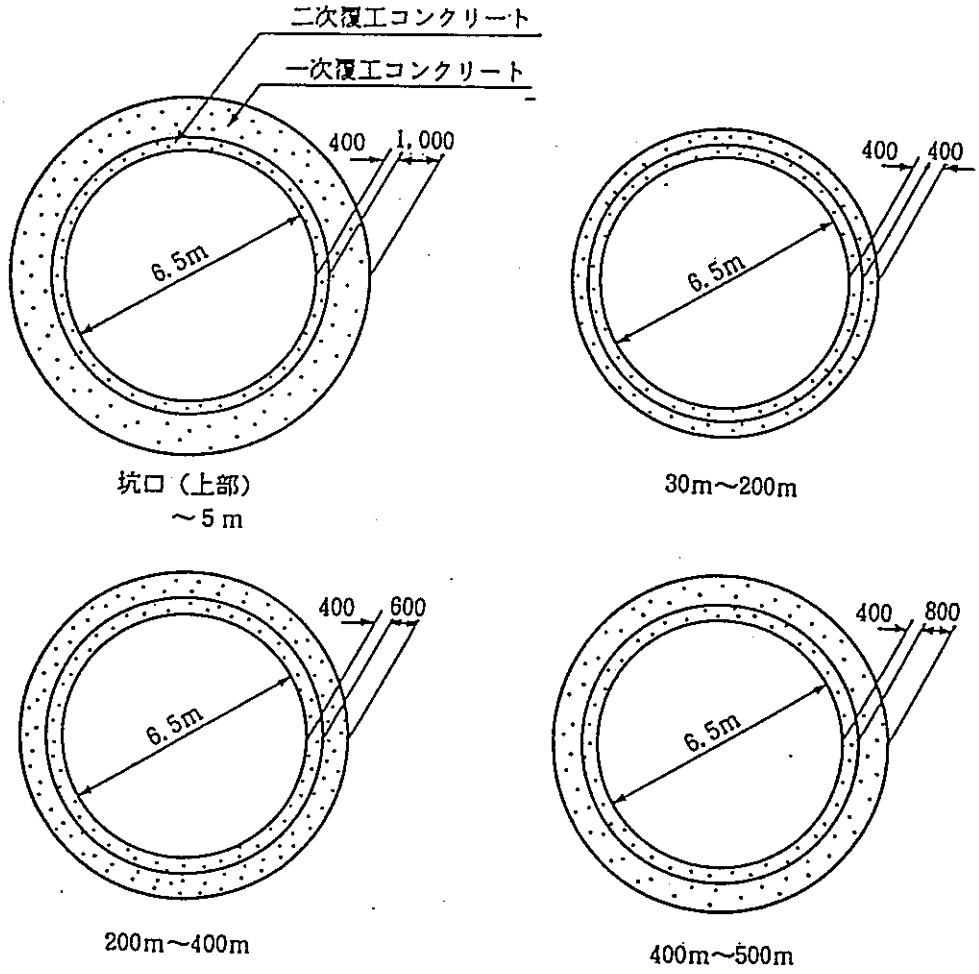


図-2.1.6　堆積岩における立坑断面

2)処分坑道

必要内空が３．０ｍの円形坑道とし、支保工にはスチールセグメントを使用する。図-2.1.7に断面を示す。図中の1.50mは内空半径、0.20mはセグメント厚、0.05mは変形量および施工余裕を表す。

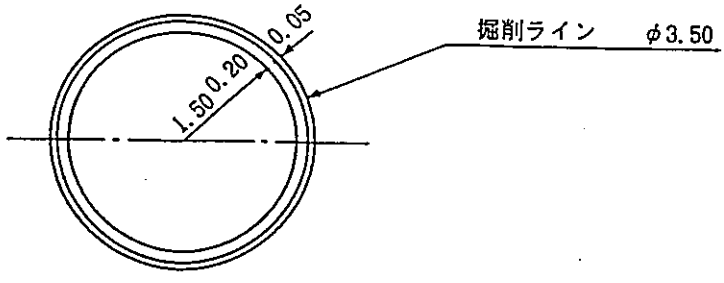


図-2.1.7　堆積岩における処分坑道断面

3)連絡坑道、主要坑道

内空形状は複線軌道の幅員がとれるよう図-2.1.8の断面とする。支保としては吹付コンクリート、2次覆工コンクリート、インバートコンクリートのほか鋼製支保工、溶接金網、ロックボルトを施工する。

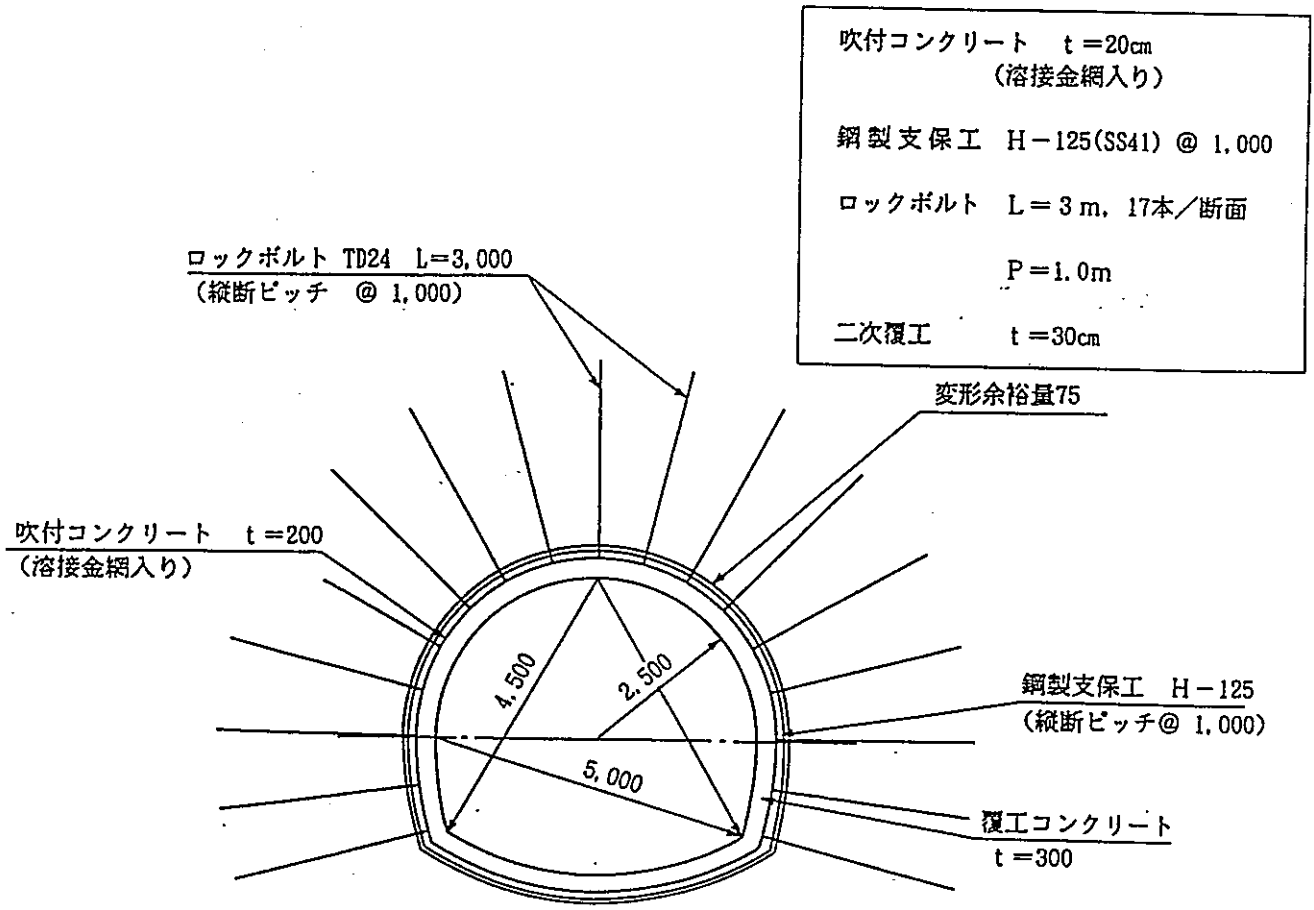


図-2.1.8　堆積岩における連絡、主要坑道断面

(3)処分場のまとめ

積算の入力データとなる施工法、数量、工期をまとめて表-2.1.3に示す。

表-2.1.3　処分場のまとめ

	部　位	内空断面	掘削工法	施工延長	掘削量	工期
結晶質岩ケースK1	立坑	円形φ6.5m	発破ＮＡＴＭ	6,200(m)	297(千m3)	177(ヶ月)
	連絡坑道	ホロ型5X5m	発破ＮＡＴＭ	17,900	573	57
	主要坑道	ホロ型5X5m	発破ＮＡＴＭ	25,100	803	224
	処分坑道	ホロ型5X5m	発破工法	321,400	8,400	328
	処分孔	円形φ1.7m	TBMﾀｲﾌﾟ掘削機	———	454	330
	合　計			370,600	10,527	485
結晶質岩ケースK2	立坑	円形φ6.5m	発破ＮＡＴＭ	6,200	297	177
	連絡坑道	ホロ型5X4m	発破ＮＡＴＭ	17,900	464	53
	主要坑道	ホロ型5X4m	発破ＮＡＴＭ	25,100	650	208
	処分坑道	円形φ3.0m	ＴＢＭ工法	321,400	3,019	312
	合　計			370,600	4,430	452
堆積岩T1	立坑	円形φ6.5m	発破(ｼｮｰﾄｽﾃｯﾌﾟ)	3,200	196	129
	連絡坑道	２Ｒ5.0m	ブーム式機械掘削	17,900	553	77
	主要坑道	２Ｒ5.0m	ブーム式機械掘削	25,100	775	304
	処分坑道	円形φ3.0m	ＴＢＭ工法	321,400	3.873	312
	合　計			367,600	5,397	470

＊掘削量は、余堀を含む地山体積。

＊工期合計は工程表からの引用により、単純合計とはならない。

(4)動燃殿積算ケースとの比較

今回３ケースの積算条件と動燃殿の８ケースの積算条件を次項の表-2.1.4及び表-2.1.5に示す。今回の積算ケースは以下の動燃殿のケースと類似している。

・Ｋ１（結晶質岩、処分孔竪置方式）　―　Ｃ２

・Ｋ２（結晶質岩系、坑道横置方式）　―　Ｃ１

・Ｔ１（堆積岩系、坑道横置方式）　―　Ｓ１

なお、今回の積算ケースと動燃殿ケースの主な相違は以下のようなものである。

		＜積算ケース＞	＜動燃殿ケース＞
掘削工法	堆積岩処分坑道	ＴＢＭ	ブーム式掘削機
	堆積岩主要坑道	ブーム式掘削機	発破工法
掘削断面	結晶質岩立坑	44.2m²	35.3m²
	堆積岩立坑	51.5～67.9m²	44.2m²
	結晶質岩主要坑道	28.9/23.1m²	22.3m²
	堆積岩主要坑道	28.4m²	20.7m²
	堆積岩処分坑道	9.62m²	7.74m²
坑道延長	結晶質岩主要坑道	2,900m/区画	3,400m/区画
	堆積岩主要坑道	2,900m/区画	2,340m/区画
	結晶質岩処分坑道	37,200m/区画	36,000m/区画
	堆積岩処分坑道	37,200m/区画	18,600m/区画

2.1.4　積算方法

(1)横坑（連絡坑道・主要坑道・処分坑道）の積算

横坑は以下の点に注意して積算を行う。

・掘削工は動燃殿の積算システムに合わせ、掘削m³当りの単価とする。

・掘削工の作業員は支保工も兼ねることとし、支保工には労務費は計上せず材料費のみの計上とする。

・横坑のずり搬出は立坑底部までとする。立坑部のずり搬出費用は別途積算を行い、最終的に処分坑道の掘削費に含める事とする。

・インバート工の掘削は横坑掘削に含み、コンクリート打設費のみ計上する。

表-2.1.4 積算ケース条件の比較

		動燃殿								本節			備考
積算ケース		C1	C2	C3	C4	S1	S2	S3	S4	K1	K2	T1	
岩種		結晶質 岩系				堆積 岩系				結晶質 岩系		堆積岩系	
処分深度		1,000m		500m		500m		300m		1,000m		500m	
処分形態		A	B	A	B	A	B	A	B	B	A	A	A：坑道横置方式（処分坑道定置） B：処分孔竪置方式（処分孔定置）
処分ピッチ		7.0m		4.0m		3.5m				7.0m			
処分坑道間隔		15m				18m		15m		15m			
坑道寸法(m)	立坑	円形 φ6.5m								円形φ6.5m			
	主要・連絡坑道	円形馬蹄形 5.0m				円形 φ5.0m				円形馬蹄形 5.0m	円形馬蹄形 4.0m	馬蹄形	
	処分坑道	円形 φ3.0m	円形馬蹄形 5.0m	円形 φ3.0m	円形馬蹄形 5.0m	円形 φ3.0m	円形 φ5.0m	円形 φ3.0m	円形 φ5.0m	円形馬蹄形 5.0m	円形 φ3.0m		
	処分孔		φ1.64m		φ1.64m		φ1.64m		φ1.64m	φ1.70m			深さ 5m
掘削工法	処分坑道	TBM	発破	TBM	発破	B	発破	B	発破	発破	TBM		TBM：トンネルボーリングマシーン
	その他の坑道	発破								発破		B	B：ブーム式自由断面掘削機械
支保	立坑	CON巻立平均10cm				CON巻立平均50cm		CON巻立平均30cm		表-2.1.5参照			
	主要・連絡坑道					鋼製支保7cm							
	処分坑道					鋼製支保7cm							
	処分孔						鋼製支保3cm		鋼製支保3cm				
設計掘削断面積m2	立坑	35.3				44.2		39.6		44.2(坑口部45.4)		51.5～67.9	
	主要・連絡坑道	22.3				20.7				28.9	23.1	28.4	
	処分坑道	7.07	22.3	7.07	22.3	7.74	20.7	7.74	20.7	23.3	7.07	9.62	
	処分孔		2.11		2.11		2.27		2.27	2.27			
処分場幅(m)		2,500		2,500		2,700		2,500		2,650			
処分場奥行(m)		2,500		1,500		1,340		1,340		2,150			
処分パネル幅(m)		500		500		550		500		500			
処分パネル奥行(m)		1,200		700		620		620		1,250			
処分パネル1区画のトンネル本数	主要坑道	1本								1本			
	処分坑道	30本								31本			
処分パネル1区画のトンネル延長(m)	主要坑道	3,400		2,400		2,340		2,240		2,900			
	処分坑道	36,000		21,000		18,600		18,600		37,200			
トンネル全長(m)	立坑	6,000		3,000		3,000		1,800		6,333.6		3,214.8	
	連絡坑道	11,400		11,400		11,400		11,400		17,910			
	主要坑道	27,200		19,200		18,720		17,920		25,120			
	処分坑道	288,000		168,000		148,800		148,800		321,360			

表-2.1.5 支保条件（K1,K2,T1）

			K1	K2	T1
支保	立坑	1次覆工コンクリート	t=10cm(坑口部t=15cm)		40～100cm
		2次覆工コンクリート	t=40cm		
		ロックボルト	L=4m,12本/m(坑口部のみ)		
	主要・連絡坑道	1次覆工コンクリート	t=10cm		
		2次覆工コンクリート	t=30cm		
		インバートコンクリート	t=20cm		
		ロックボルト			L=3m,17本/m
		溶接金網			有
		鋼製支保工			II-125
	処分坑道（すりつけ部）	1次覆工コンクリート			t=20cm
		ロックボルト			L=3m,17本/m
		溶接金網			有
		鋼製支保工			II-125
	処分坑道（本坑道）	セグメント			鋼製
	処分孔				

以下に、1)発破ＮＡＴＭおよびブーム式機械掘削工法、2)ＴＢＭ工法に分けて今回の積算方法について述べる。

1)発破ＮＡＴＭおよびブーム式機械掘削工法の積算

これらの積算方法は「建設省土木工事標準積算基準」等に公開されている。積算の作業としては2.1.5の積算結果に示す様に、

①総括表

②サイクルタイム表

③積算単価表

④機械損料補正表

⑤直接工事代価表

⑥共通仮設工事代価表

を順次作成することになる。以下にそれぞれの作成方法について述べる。

①総括表（表-2.1.5　その１～その２）

積算の最終的な結果をまとめる。すなわち、⑤直接工事代価表および⑥共通仮設工事代価表から得られる純工事費の積算金額を項目別にまとめ、また純工事費から率計算によって現場管理費および一般管理費を算出し、トータルの工事費として明示する。

②サイクルタイム表（表-2.1.6）

トンネルの作業は掘削工（削岩、ずり出し）、支保工（吹付コンクリート、ロックボルト、金網、鋼製支保工）の繰り返しで施工するものであり、この一連の作業に要する時間をサイクルタイムという。このサイクルタイムを用いて④機械損料補正を行う。

また、サイクルタイムより次式によって掘削進行長を計算する。

１ヶ月当り掘削進行長（m/月）

＝｛４８０（分）/サイクルタイム（分）｝×１掘削進行長（m）×方数×２３日/月

③積算単価表（表-2.1.7　その１～その４）

建設物価調査会発行の「建設物価」により材料単価（平成７年３月　東京）および労務単価（平成６年６月　東京）を示す。なお公開資料にない単価については過去の実績に基づく。

④機械損料補正表（表-2.1.8　その１～その５）

工事機械の損料は日本建設機械化協会発行の平成６年度版「建設機械等損料算定表」に基づくが、算定表に示す機械損料単価は平均的な使用条件の下に発生する標準的な経費で

あって、過酷な使用その他の特殊な施工条件は考慮されていない。このため、必要に応じて実態に合うよう基準値を修正しなければならない。

補正を行う条件としては、豪雪地域の補正、風浪海域作業の補正、岩石作業の補正、異常作業条件の補正、交替作業の補正、特殊仕様機械の償却費補正があるが、ここでは以下の２つの補正を機械損料補正表により行う。

・岩石作業の補正

土工機械を岩石作業に使用した場合は、機械各部の摩耗の激化によって維持修理費も増加し機械自体の寿命も短くなるため、機械損料のうち変動費に属する運転１時間（又は運転１日）当り損料（算定表９欄）を２５％増額する。

・異常作業条件の補正

機械の寿命又は維持管理費が通常想定される値と著しく相違すると予想される現場条件の下で使用される機械については、機械損料のうち変動費に属する運転１時間（又は運転１日）当り損料（算定表９欄）を２０％（機械損料が供用日単一の単位で定められている機械については１０％）の範囲内で増減する。

⑤直接工事代価表（表-2.1.9　その１～その１１）

直接工事費（掘削工、支保工、覆工、インバート工）のなかで、各項目別に労務費、材料費、機械損料、諸雑費の詳細を積算単価表、機械損料補正表を用いて算出し、各工事単位当りの金額として明示する。

⑥共通仮設工事代価表（表-2.1.10　その１～その７）

共通仮設工事費のなかで、各項目別に労務費、材料費、機械損料、諸雑費の詳細を積算単価表、機械損料補正表を用いて算出し、各工事単位当りの金額として明示する。

2)ＴＢＭ工法の積算

積算ケースＫ２（結晶質岩系、坑道横置方式）およびＴ１（堆積岩系、坑道横置方式）の処分坑道掘削はＴＢＭ掘削機による施工となる。なおＴＢＭ工法の積算基準は発破ＮＡＴＭの様な公開資料によるものは無い。そこで、過去の施工例を参考に今回の施工条件に見合う分の概略割増で積算する。

施工例としてはＡトンネル（直径3.5m、施工延長2,127mのＴＢＭ工法）を取り上げる。

Ａトンネル ＴＢＭ工事費（関係分）

・掘削単価（支保工は別途計上）

地山区分Ｂ　37,600円/m3×　866m3＝ 32,561,600円

地山区分ＣⅠ　39,000円/m3×10,535m3＝410,865,000円

地山区分ＣⅡ　40,000円/m3× 3,848m3＝153,920,000円

地山区分ＤⅠ　46,600円/m3× 5,215m3＝243,019,000円

・カッター交換工 866,000円/ヶ ×　179ヶ ＝155,014,000円

・共通仮設費（積上分）

ＴＢＭ組立・解体	30,000,000円	ＴＢＭ関係	553,000,000円
レール布設・撤去	52,000,000円	電気関係	96,000,000円
通路布設	5,000,000円		
電車・シャトル他	73,000,000円		

なお、今回の処分場１パネル当りの処分坑道延長は40,170mにおよび、5台のＴＢＭで施工して1台当り8,034mの施工となる。ＴＢＭの耐用掘削距離は概ね6,000m～10,000mであり、他パネルへの転用は不可となる。

Ａトンネルの単価を参考にする場合に、今回の施工延長が3.8倍であることを考慮して経験的な判断に基づき掘削単価を約10%上増しする。同様な判断に基づきカッター交換工,レール布設撤去費,通路布設費,電気関係費を100%、電車・シャトル関係費を10%上増しする。

今回の堆積岩系ケースに用いるセグメントは、山岳トンネルでは一般的ではないがシールドトンネルの鋼製セグメントの単価を用いる。但し一般に公開されている資料はないので、今回の単価として内径3.5m、桁高15cm仕様の社内実績単価350,000円/mを採用する。

(2)立坑（アクセス坑道）の積算

立坑の積算基準についても公開資料によるものはなく、また過去の工事例もその工事独自の工法を採用する場合が多いのでＴＢＭのような参考事例も少ない。そこで今回は人件費、設備・機械費、材料費等を個別に積上して積算する。

(3)処分孔の積算

処分孔の施工には全断面掘削機が計画されているが、狭い処分坑道内での施工が可能な掘削機による施工の例はほとんどない。そこで今回は、φ1.7mのＴＢＭ掘削機による施工として積算する。ＴＢＭ掘削機１台当りの施工延長は8,000m（処分孔1,600本分）とし、処分場全体でＴＢＭが延べ25台の稼動となる。

2.1.5 積算結果

(1)発破ＮＡＴＭによる横坑掘削の積算結果

1)結晶質岩系　Ｋ－１

積算結果を以下のように示す。

・総括表－１　表-2.1.6（その１）～（その２）

・サイクルタイム表　表-2.1.7

・積算単価表　表-2.1.8（その１）～（その４）

・機械損料補正表　表-2.1.9（その１）～（その５）

・直接工事代価表　表-2.1.10（その１）～（その１１）

・共通仮設工事代価表　表-2.1.11（その１）～（その７）

2)結晶質岩系　Ｋ－２

Ｋ－１に比べて断面がやや小さく設計されているので別に積算する。総括表およびサイクルタイム表を以下のように示す。

・総括表－２　表-2.1.12（その１）～（その２）

・サイクルタイム表　表-2.1.13

(2)ブーム式機械掘削工法による横坑掘削の積算結果

総括表およびサイクルタイム表を以下のように示す。

・総括表－３　表-2.1.14（その１）～（その２）

・サイクルタイム表　表-2.1.15

(3)ＴＢＭ工法の積算結果

以下のように総括表を示す。

・総括表－４（結晶質岩系）　表-2.1.16

・総括表－５（堆積岩）　表-2.1.17

(4)立坑（アクセス坑道）の積算結果

以下のように総括表および人件費計算表、使用機械・設備価格表、材料費計算表、電気料計算表を示す。

・総括表－６（結晶質岩系）　表-2.1.18

・総括表－７（堆積岩系）　表-2.1.19

・人件費計算表（結晶質岩系）　表-2.1.20

・人件費計算表（堆積岩系）　表-2.1.21

・使用機械、設備価格表（結晶質岩系）表-2.1.22（その１）～（その３）

・使用機械、設備価格表（堆積岩系）　表-2.1.23（その１）～（その２）

・材料費計算表（結晶質岩系）　表-2.1.24

・材料費計算表（堆積岩系）　表-2.1.25

・電力量計算表（結晶質岩系）　表-2.1.26

・電力量計算表（堆積岩系）　表-2.1.27

(5)処分孔の積算結果

以下のように総括表を示す。

・総括表-８　表-2.1.28

表-2.1.6　総括表―1（K－1　発破NATM）（その1）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
連絡・主要・処分坑道								
	掘削工	連絡坑道掘削		572,900	m3	11,045	6,327,680,500	
		主要坑道掘削		803,200	m3	11,045	8,871,344,000	
		処分坑道掘削		8,400,000	m3	11,306	94,970,400,000	
	支保工	Ｃｏｎ吹付工	連絡坑道 t=10cm	257,010	m2	3,240	832,712,400	
			主要坑道 t=10cm	360,480	m2	3,240	1,167,955,200	
	覆工	連絡坑道		95,420	m3	29,740	2,837,790,800	
		主要坑道		133,840	m3	29,740	3,980,401,600	
		処分坑道		0	m3	29,740	0	
	インバート工	コンクリート	連絡坑道	36,360	m3	18,649	678,077,640	
			主要坑道	50,960	m3	18,649	950,353,040	
						直接工事費	120,616,715,180	
	仮設費	２次側電力設備		1	式	258,923,410	258,923,410	
		照明設備		1	式	60,280,105	60,280,105	
		コンプレッサー運転　6台		2,910	ヶ月	1,468,155	4,272,331,050	
		吹付プラント組立・解体		1	式	2,274,953	2,274,953	
		セントル組立解体		8	式	3,605,135	28,841,080	
		空気圧縮設備		6	式	14,451,040	86,706,240	
		給水設備		1	式	27,941,273	27,941,273	
		換気設備		1	式	2,357,550,840	2,357,550,840	
		仮設備保守費		1	式	1,322,677,329	1,322,677,329	
		濁水処理設備		1	式	975,294,540	975,294,540	
						仮設費計	9,392,820,820	
					直接工事費＋仮設費		130,009,536,000	
	運搬費			1	式	67,200,000	67,200,000	
	安全費	警備員	3人/日×9700日	29,100	人	16,500	480,150,000	

表-2.1.6　総括表―1（K－1　発破NATM）（その2）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
	役務費			1	式	5,000,000	5,000,000	
	営繕費			1	式	27,900,000	27,900,000	
	イメージアップ経費			1	式	10,000,000	10,000,000	
	共通仮設費率分			6.35	%		8,255,605,536	
共通仮設費合計							18,238,676,356	
						純工事費	138,855,391,536	
現場管理費				17.89	%		24,841,229,546	
						工事原価	163,696,621,082	
一般管理費				9.39	%		15,371,112,720	
工事価格							179,067,733,801	
消費税相当額				3	%		5,372,032,014	
工事費計							184,439,765,815	

表-2.1.7　サイクルタイム表（K－1　発破ＮＡＴＭ）

項目			単位	坑道区分			備考
				連絡坑道	主要坑道	処分坑道	
1切羽当り掘削延長		L	m	2,985	1,570	1,339	
設計掘削断面積（余堀含まず）		A1	m2	28.9	28.9	23.3	
掘削断面積（余堀含む）		A2	m2	32.0	32.0	24.2	
1サイクル当たり掘進長		B	m	2.0	2.0	2.0	
1サイクルあたり掘削量		Q0	m3	64.0	64.0	48.4	Q0＝A2×B
1m2当たりの削孔時間		C	min/m2	3.1	3.1	3.1	
1サイクル当たり吹付面積		M	m2	25.7	25.7	0.0	M＝断面周長×B
吹付厚さ		N	m	0.1	0.1	0	
1サイクル当たりボルト本数		P	本	0	0	0	
削岩	削岩準備		分	15	15	15	
	穿孔	T1	分	89	89	75	T1＝A1×C
	装薬・発破・換気等		分	50	50	50	
	小計		分	154	154	140	
ずり出	ずり出し準備		分	10	10	10	
	ずり出し	T2	分	174	174	132	T2＝60×Q0/Qs
	後片付け		分	10	10	10	
	小計		分	194	194	152	
吹付	吹付準備		分	15	15	0	
	吹付	T3	分	67	67	0	T3＝M×N×補正係数×60/6
	後片付け		分	15	15	0	
	小計		分	97	97	0	
ボルト	ロックボルト準備		分	0	0	0	
	穿孔	T4	分	0	0	0	T4＝P×6
	後片付け		分	0	0	0	
	小計		分	0	0	0	
金網設置		T5	分	0	0	0	
支保工	支保工準備		分	0	0	0	
	支保工建込	T6	分	0	0	0	
	小計		分	0	0	0	
その他損失			分	70	70	70	
計		Q	分	515	515	362	
1日当たりの進行長				3.7	3.7	5.3	
1月当たりの進行長				86	86	122	

表-2.1.8　トンネル積算単価表（その１）

					根拠：労務費調査結果（東京都）平成６年６月	
項目	名称	規格	単位	積算	採用単価	摘 要
労務費	トンネル世話役		人		26,374	
	トンネル特殊工		人		25,093	
	トンネル作業員		人		18,464	
	土木一般世話役		人		24,186	
	特殊作業員		人		18,999	
	普通作業員		人		15,772	
	型枠工		人		22,357	
	鉄筋工		人		20,092	
	電工		人		19,001	
	機械工		人		18,011	
	鉄骨工		人		20,484	
	とび工		人		20,076	
	溶接工		人		20,995	
	運転手（一般）		人		19,238	
	運転手（特殊）		人		21,551	
	配管工		人		18,866	
	警備員		人		16,500	

表-2.1.8　トンネル積算単価表（その２）

					根拠：「建設物価」平成７年４月	
項目	名称	規格	単位	積算	採用単価	摘 要
材料費	火薬	含水	ｋｇ		1,570	
	電気雷管	＃2～＃5	個		443	
	電気雷管	＃6～＃10	個		449	
	ロックボルト	D25 L=3.0m	本		1,920	
	ロックボルト	D25 L=4.0m	本		2,390	
	ナット		個		240	
	角座金		枚		250	
	角ワッシャー		枚		220	
	モルタル		ｋｇ		110	
	金網	φ5.0*150*150	m2		215	
	H形鋼	H-125	t		45,000	
	継手板		ｋｇ		128	
	底板		ｋｇ		128	
	曲げ加工	H-125	ｋｇ		3	
	R止まり		ｋｇ		4	
	溶接費	H-125	ケ所		740	
	孔あけ		ケ所		100	
	生コンクリート	180-8-40	m3		13,000	
	異形棒鋼	SDA295A D13	t		35,000	
	セメント		t		9,700	
	砂		m3		4,200	
	砕石	6号単粒	m3		3,500	
	急結材		ｋｇ		200	
	炭酸ガス		ｋｇ		153	
	高分子凝集剤		ｋｇ		1,190	
	無機凝集剤	PAC	ｋｇ		41	
	デッキプレート	t=1.6	ｋｇ		91	
	ガソリン		リットル		94	
	軽油		リットル		59	

表-2.1.8　トンネル積算単価表（その３）

項目	名称	規格	単位			
電力料金						
	高圧電力甲		kwh		13.50	
	高圧電力乙		kwh		12.67	
	低圧電力		kwh		14.34	
	基本料金	高圧電力甲	kw		1,190	
	基本料金	高圧電力乙	kw		1,830	
	基本料金	低圧電力	kw		1,015	

表-2.1.8　トンネル積算単価表（その４）

根拠：「建設機械等損料算定表」平成６年度版

項目	名称	規格	(3)欄	(5)欄	(9)欄	(11)欄	(13)欄
機械損料	レールジャンボ	油圧式2ブーム100kg級	560	200	11,600	33,300	23,500
	バックホウ	0.35m3	840	210	1,520	6,450	3,130
	吹付ロボット	吹付範囲半径8m級	660	170	4,010	11,900	7,070
	吹付機	湿式10～15m3/h	710	180	6,220	17,100	10,500
	急結材供給装置	5.5kw	(4)欄140	180	日 5,370	2,790	8,950
	集塵機	300m3/min級	710	180	5,050	10,500	7,710
	吹付プラント	バッチ型25m3/h	710	180	7,760	23,300	13,700
	空気圧縮機	12m3/min	2,300	190	277	3,330	547
	コンクリートプレーサー	バッチ量3m3	610	220	1,920	4,670	3,610
	シャフローダ	KL15	790	190	7,710	24,400	13,600
	ずり鋼車	6m3	(4)欄130	170	日 2,180	1,090	3,610
	アジテータカー	6m3	610	200	2,830	7,560	5,310
	バッテリー機関車	6t	950	190	3,380	11,300	5,630
	バッテリー機関車	12t	950	190	5,970	20,000	9,960
	コントラファン	2000m3/min	(4)欄180	230	日13,800	9,010	25,400
	ロードヘッダー	カッターヘッド65kW	800	170	28,400	108,000	51,400

(3)欄：　年間標準運転時間（時間）
(4)欄：　年間標準運転日数（日）
(5)欄：　年間標準供用日数（日）
(9)欄：　運転１時間当たり損料（円）
(11)欄：　供用１日当たり損料（円）
(13)欄：　運転１時間当たり換算値損料（円）

表-2.1.9　機械損料補正表（その１）

	ジャンボ	レール，油圧式2ブーム100kg級			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	119	119	105
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	669.50
③	実運転時間	①×②/60分	2960.13	1556.92	1171.63
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	5.30
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	252.64
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	329.532
⑦	補正値t	③/⑥	2.8	2.8	3.6
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 560 h/ 200 日=3 h/日の20%範囲		2.24	～	3.36
	機械損料の補正		しない	しない	する
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	11,600	11,600	11,600
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	33,300	33,300	33,300
⑪	地山区分による補正値		1	1	1
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	23,500	23,500	20,966
	バックホウ	油圧式クローラー型 0.35m3			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	20	20	20
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	669.50
③	実運転時間	①×②/60分	497.50	261.67	223.17
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	5.30
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	252.64
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	329.532
⑦	補正値t	③/⑥	0.5	0.5	0.7
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 840 h/ 210 日=4 h/日の20%範囲		3.2	～	4.8
	機械損料の補正		する	する	する
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	1,520	1,520	1,520
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	6,450	6,450	6,450
⑪	地山区分による補正値		1.45	1.45	1.45
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	15,847	15,847	11,728
	吹付ロボット	吹付範囲半径 8m級			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値t	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 660 h/ 170 日=4 h/日の20%範囲		3.12	～	4.68
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	4,010	4,010	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	11,900	11,900	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	11,524	11,524	
	吹付機	湿式10～15m3/h			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値t	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 710 h/ 180 日=4 h/日の20%範囲		3.12	～	4.68
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	6,220	6,220	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	17,100	17,100	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	17,017	17,017	

表-2.1.9　機械損料補正表（その２）

	急結剤供給装置	5.5Kw			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より			
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長			
③	実運転時間	①×②/60分			
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より			
⑤	運転日数	掘削延長/④			
⑥	供用日数	⑤×30/23			
⑦	補正値t	23/30	0.8	0.8	
⑧	標準供用日当たり運転日数t = 140 d/ 180 日=1 h/日の20%範囲		0.64	～	0.96
	機械損料の補正		しない	しない	
⑨	運転日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	5,370	5,370	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	2,790	2,790	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１日当たり換算損料	円/日	8,950	8,950	
	集塵機	300m3/min級			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	67
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	669.50
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	747.61
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	5.30
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	252.64
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	329.532
⑦	補正値t	③/⑥	1.6	1.6	2.3
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 710 h/ 180 日=4 h/日の20%範囲		3.12	～	4.68
	機械損料の補正		する	する	する
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	5,050	5,050	5,050
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	10,500	10,500	10,500
⑪	地山区分による補正値		1	1	1
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	11,680	11,680	9,678
	吹付プラント	バッチ型25m3/h			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	30	30	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	746.25	392.50	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値t	③/⑥	0.7	0.7	
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 710 h/ 180 日=4 h/日の20%範囲		3.12	～	4.68
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	7,760	7,760	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	23,300	23,300	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	40,615	40,615	
	空気圧縮機	12m3/min			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値t	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間t = 2300 h/ 190 日=12 h/日の20%範囲		9.68	～	14.52
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	277	277	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	3,330	3,330	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	2,380	2,380	

表-2.1.9　機械損料補正表（その３）

	コンクリートプレーサ	バッチ量25m3/h			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１サイクル当り打設時間（時間）		3.73	3.73	
②	総サイクル数	覆工延長／１サイクル進行長	284.29	149.52	
③	実運転時間	①×②	1060.39	557.72	
④	１日当たり進行長		10.50	10.50	
⑤	運転日数	覆工延長／④	284.29	149.52	
⑥	供用日数	⑤×30/23	370.807	195.031	
⑦	補正値ｔ	③/⑥	2.9	2.9	
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 610 h/ 220 日=3 h/日の20%範囲		2.24	～	3.36
	機械損料の補正		しない	しない	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	1,920	1,920	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	4,670	4,670	
⑪	地山区分による補正値		1	1	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	3,610	3,610	
	ジャフロード	KL15			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	174	174	174
②	総サイクル数	掘削延長／爆破進行長	1492.50	785.00	785.00
③	実運転時間	①×②/60分	4328.25	2276.50	2276.50
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	3.70
⑤	運転日数	掘削延長／④	806.76	424.32	424.32
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	553.467
⑦	補正値ｔ	③/⑥	4.1	4.1	4.1
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 790 h/ 190 日=4 h/日の20%範囲		3.36	～	5.04
	機械損料の補正		しない	しない	しない
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	7,710	7,710	7,710
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	24,400	24,400	24,400
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	1.0
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	13,600	13,600	13,600
	ずり運車	6m3			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より			
②	総サイクル数	掘削延長／爆破進行長			
③	実運転時間	①×②/60分			
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より			
⑤	運転日数	掘削延長／④			
⑥	供用日数	⑤×30/23			
⑦	補正値ｔ	23/30	0.8	0.8	0.8
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 130 d/ 170 日=1 d/日の20%範囲		0.64	～	0.96
	機械損料の補正		しない	しない	しない
⑨	運転日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	2,180	2,180	2,180
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	1,090	1,090	1,090
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	1.0
⑫	１日当たり換算損料	円/日	3,610	3,610	3,610
	アンデータカー６ｍ３				
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長／爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長／④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値ｔ	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 610 h/ 200 日=3 h/日の20%範囲		2.48	～	3.72
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	2,830	2,830	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	7,560	7,560	
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	7,603	7,603	

表-2.1.9　機械損料補正表（その４）

	バッテリー機関車６ｔ	吹付用			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値ｔ	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 950 h/ 190 日=5 h/日の20%範囲		4	～	6
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	3,380	3,380	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	11,300	11,300	
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	10,515	10,515	

	バッテリー機関車６ｔ	ずり出し用			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	174	174	174
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	669.50
③	実運転時間	①×②/60分	4328.25	2276.50	1941.55
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	5.30
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	252.64
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	329.532
⑦	補正値ｔ	③/⑥	4.1	4.1	5.9
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 950 h/ 190 日=5 h/日の20%範囲		4	～	6
	機械損料の補正		しない	しない	しない
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	3,380	3,380	3,380
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	11,300	11,300	11,300
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	1.0
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	5,630	5,630	5,630

	バッテリー機関車12t	吹付用			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	67	67	
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	
③	実運転時間	①×②/60分	1666.63	876.58	
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	
⑦	補正値ｔ	③/⑥	1.6	1.6	
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 950 h/ 190 日=5 h/日の20%範囲		4	～	6
	機械損料の補正		する	する	
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	5,970	5,970	
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	20,000	20,000	
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	18,598	18,598	

	バッテリー機関車12t	ずり出し用			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より	174	174	174
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長	1492.50	785.00	669.50
③	実運転時間	①×②/60分	4328.25	2276.50	1941.55
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より	3.70	3.70	5.30
⑤	運転日数	掘削延長/④	806.76	424.32	252.64
⑥	供用日数	⑤×30/23	1052.29	553.467	329.532
⑦	補正値ｔ	③/⑥	4.1	4.1	5.9
⑧	標準供用日当たり運転時間ｔ = 950 h/ 190 日=5 h/日の20%範囲		4	～	6
	機械損料の補正		しない	しない	しない
⑨	運転時間当たり損料	機械損料算定表より 円/h	5,970	5,970	5,970
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	20,000	20,000	20,000
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	1.0
⑫	１時間当たり換算損料	円/h	9,960	9,960	9,960

表-2.1.9　機械損料補正表（その５）

	ファン	2000m3/min			
	機械損料補正の検討		連絡坑道	主要坑道	処分坑道
①	１爆破当たり運転時間	サイクルタイム表より			
②	総サイクル数	掘削延長/爆破進行長			
③	実運転時間	①×②/60分			
④	１日当たり進行長	サイクルタイム表より			
⑤	運転日数	掘削延長/④			
⑥	供用日数	⑤×30/23			
⑦	補正値t	23/30	0.8	0.8	0.8
⑧	標準供用日当たり運転時間 t = 180 / 230 日=1 h/日の20%範囲		0.64	～	0.96
	機械損料の補正		しない	しない	しない
⑨	運転日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	13,800	13,800	13,800
⑩	供用日当たり損料	機械損料算定表より 円/日	9,010	9,010	9,010
⑪	地山区分による補正値		1.0	1.0	1.0
⑫	１日当たり換算損料	円/日	25,400	25,400	25,400

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破NATM）（その1）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
主要・連絡坑道掘削							
トンネル世話役			1.21	人	26,374	31,913	
トンネル特殊工			3.62	人	25,093	90,837	
トンネル作業員			2.41	人	18,464	44,498	
火薬	含水爆薬（スラリー）		104.04	kg	1,570	163,343	
電気雷管	Ds段発式(2～5段)1.8m脚線付		63.58	個	443	28,166	
電気雷管	Ds段発式(6～10段)		63.58	個	449	28,547	
ビット（削岩用）	テーパークロスビット		0.64	個	8,310	5,283	
ビット(ロックボルト用)	〃		0	個	10,600	0	
ロッド（削岩用）	テーパースクリューロッド		0.29	本	20,100	5,809	
ロッド(ロックボルト用)	〃		0	本	36,600	0	
シャンクスクリュウロッド			0.06	本	23,300	1,347	
ジョイントスリーブ			0.06	本	7,910	457	
ドリルジャンボ運転	レール型油圧式２ブーム		1.48	h	23,790	35,209	第Ｂ－１号
シャフローダ運転	22m3/h		2.90	h	13,890	40,281	第Ｂ－２号
バックホウ運転	油圧式0.35m3		0.33	h	16,640	5,491	第Ｂ－３号
ずり鋼車損料	6m3		1.81	日	3,610	6,534	
機関車運転	バッテリ式12t ずり鋼車けん引		5.80	h	10,040	58,232	第Ｂ－４号
機関車運転	バッテリ式12t アジテータカーけん引		2.90	h	18,680	54,172	第Ｂ－５号
コンクリート吹付機運転	吹付範囲半径8m 10～15m3/h		1.12	h	39,320	44,038	第Ｂ－６号
アジテータカー損料	6m3		1.12	h	7,603	8,515	
急結剤供給装置	5.5Kw		1.12	日	4,550	5,096	第Ｂ－７号
モルタル注入機運転	15～30l/min		0.00	日	2,768	0	第Ｂ－８号
集塵機運転	300m3/min×30Kw		1.12	h	11,970	13,406	第Ｂ－９号
吹付プラント設備運転	定置スクリュウ型2m3/min		0.50	h	40,830	20,415	第Ｂ－１０号
諸雑費	掘削労務費の９％		1		15,052	15,052	
					計	706,641	
					１ｍ当り	353,321	
					1m3当り	11,045	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破ＮＡＴＭ）（その２）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第Ｂ－１号	ドリルジャンボ運転		運転１時間当り				
電力料			21	kwh	13.5	284	
ドリルジャンボ損料			1		23,500	23,500	
諸雑費			1		6	6	
					計	23,790	
第Ｂ－２号	シャフローダ運転		運転１時間当り				
電力量			21		13.5	284	
シャフローダ損料			1		13,600	13,600	
諸雑費			1		6	6	
					計	13,890	
第Ｂ－３号	バックホウ運転		運転１時間当り				
燃料費	ドラム（軽油）		10.4		76	790	
バックホウ損料	0.35m3		1		15,847	15,847	
諸雑費			1		3	3	
					計	16,640	
第Ｂ－４号	機関車12t運転 ずり出し用		運転１時間当り				
電力量			5.7		13.5	77	
機関車損料			1		9,960	9,960	
諸雑費			1		3	3	
					計	10,040	
第Ｂ－５号	機関車12t運転 吹付用		運転１時間当り				
電力量			5.7		13.5	77	
機関車損料			1		18,598	18,598	
諸雑費			1		5	5	
					計	18,680	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破NATM）（その3）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第B－6号	コンクリート吹付機運転		運転1時間当り				
電力料			18.8	Kwh	13.50	254	
吹付ロボット損料	吹付範囲半径8m級		1		11,524	11,524	
吹付機損料	湿式10～15m3/h級		1		17,017	17,017	
機関車損料	バッテリ式6t		1		10,515	10,515	
諸雑費			1		10	10	
					計	39,320	
第B－7号	急結剤供給装置運転		運転1日当り				
電力量			5.3	Kwh	13.50	72	5.5×0.466×3.7/2×67/60=5.3
機械損料			1		4,475	4,475	
諸雑費			1			3	
			1		計	4,550	
第B－8号	モルタル注入機運転		運転1日当り				
電力量			3.3	Kwh	13.5	45	
グラウトミキサ損料			1		799	799	
グラウトポンプ損料			1		1920	1,920	
諸雑費			1			4	
					計	2,768	
第B－9号	集塵機 300m3/min×30Kw		運転1時間当り				
電力料			21	Kwh	13.5	284	
集塵装置損料			1		11,680	11,680	
諸雑費			1		6	6	
					計	11,970	
第B－10号	吹付プラント設備運転		運転1時間当り				
電力量			15	Kwh	13.5	203	
吹付プラント設備損料			1		40,615	40,615	
諸雑費			1		12	12	
					計	40,830	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破NATM）（その4）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
覆工			10.5m当り				
トンネル世話役			1		26,374	26,374	
トンネル特殊工			3		25,093	75,279	
トンネル作業員			2		18,464	36,928	
生コンクリート	180-15-40		55.94		12,800	716,083	
セントル移動 据付,脱型	L=10.5m		1		368,212	368,212	
コンクリートプレーサ	15m3/h		3.73		2,597	9,687	
バイブレータ損料	60mm		2	台/日	686	1,372	
諸雑費			1			13,858	
					計	1,247,793	
					1m当り	118,837	
第 覆－1号							
トンネル世話役			1.13		26,374	29,803	
トンネル特殊工			7.88		25,093	197,733	
トンネル作業員			3.38		18,464	62,408	
セントル損料			10.5		7,454	78,267	
諸雑費			1			1	
					計	368,212	
第 覆－2号							
施工1現場当り損料=(0.00014*L+0.48)*基礎価格						22,249,962	
セントル基礎価格				m当り		2,360,000	
覆工施工延長	2985		1	m当り		7,454	
						0	
						0	
インバート工	コンクリート打設	1m3当り					
トンネル世話役			0.012	人	26,374	316	
トンネル特殊工			0.053	人	25,093	1,330	
トンネル作業員			0.022	人	18,464	406	
型枠組立			0.333	m2	8,296	2,763	第インー1号
コンクリート	180-8-40		1.04	m3	13,000	13,520	
コンクリートプレーサ	15m3/h		0.067	h	2,597	174	
諸雑費			1	式	140	140	
					計	18,649	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破ＮＡＴＭ）（その５）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第インー１号	型枠組立	１m2当り					
世話役			0.013	人	21,186	275	
型枠工			0.049	人	22,357	1,095	
普通作業員			0.028	人	15,772	442	
トンネル世話役			0.045	人	26,374	1,187	
トンネル特殊工			0.153	人	25,093	3,839	
トンネル作業員			0.068	人	18,464	1,256	
諸雑費			1	式	201	201	
					計	8,296	
Ｃｏｎ吹付工	t=10cm	1m3当り					
セメント	普通ポルトランドセメント		360	kg	9.7	3,492	
砂			0.8	m3	4,200	3,360	
砕石			0.47	m3	3,500	1,645	
急結剤			19.8	kg	200	3,960	
諸雑費			1	式	3	3	
					計	12,460	
１m2当り	0.1(吹付厚)*2.6(補正値)*単価(円/m3)					3,240	
ロックボルト工		１本当り					
ロックボルト	TD24 L=3000	17本/m	1	本	2,070	2,070	
モルタル	ドライモルタル		11.4	kg	110	1,254	
テーパクロスビット	25mm×12×8×42		0.012	個/孔	10,600	127	
テーパスクリューロッド	25H×3800		0.003	個/孔	28,100	84	
諸雑費			1	式		0	
					計	3,536	
			17 本/m合計			60,104	
金網工							
溶接金網	φ5.0*150*150	掘削１m	18.0	m2	215	3,870	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破ＮＡＴＭ）（その６）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
鋼製支保工	掘削１ｍ当り						
Ｈ形鋼	H-125 18m		424.4	kg	45	19,098	
継手板	PL155*180*9*2枚		3.899	kg	119	464	
曲げ加工	PL230*230*16*2枚		13.3	kg	119	1,583	
Ｒ止まり			424.4	kg	4	1,698	
諸雑費		10%	1	式		2,284	
					計	25,127	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破ＮＡＴＭ）（その７）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
処分坑道掘削							
トンネル世話役			0.85	人	26,374	22,418	
トンネル特殊工			2.55	人	25,093	63,987	
トンネル作業員			1.7	人	18,464	31,389	
火薬	含水爆薬（スラリー）		83.88	kg	1,650	138,402	
電気雷管	Ｄs段発式(2～5段)1.8m脚線付		51.26	個	394	20,196	
電気雷管	Ｄs段発式(6～10段)		51.26	個	399	20,453	
ビット（削岩用）	テーパークロスビット		0.51	個	8,310	4,260	
ビット(ロックボルト用)	〃		0	個	10,600	0	
ロッド（削岩用）	テーパースクリューロッド		0.23	本	20,100	4,683	
ロッド(ロックボルト用)	〃		0	本	36,600	0	
シャンクスクリュウロッド			0.05	本	23,300	1,086	
ジョイントスリーブ			0.05	本	7,910	369	
ドリルジャンボ運転	レール型油圧式２ブーム		1.48	h	23,786	35,203	第Ｂ－１号
シャフローダ運転	22m3/h		2.90	h	13,520	39,208	第Ｂ－２号
バックホウ運転	油圧式0.35m3		0.33	h	12,530	4,135	第Ｂ－３号
ずり鋼車損料	6m3		1.81	日	3,610	6,534	
機関車運転	バッテリ式12tずり出し用		2.90	h	7,893	22,890	第Ｂ－４号
機関車運転	バッテリ式12t吹付用		1.12	h	13,957	15,632	第Ｂ－５号
コンクリート吹付機運転	吹付範囲半径8m 10～15m3/h		1.12	h	28,610	32,043	第Ｂ－６号
アジテータカー損料	6m3		1.12	h	7,603	8,515	
急結剤供給装置	5.5Kw		0.54	日	4,550	2,457	第Ｂ－７号
モルタル注入機運転	15～30l/min		0	日	2,768	0	第Ｂ－８号
集塵機運転	300m3/min×30Kw		1.12	h	11,902	13,330	第Ｂ－９号
吹付プラント設備運転	定置スクリュウ型2m3/min		0.5	h	41,252	20,626	第Ｂ－１０号
立坑部ずり搬出			46.62	m3	1,559	72,681	第Ｂ－１１号
諸雑費	掘削労務費の９％		1		10,601	10,601	
					計	591,098	
					１ｍ当り	295,549	
					１m3当り	11,306	

表-2.1.10 直接工事代価表（K－1　発破NATM）（その8）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第B－1号	ドリルジャンボ運転		運転1時間当り				
電力料			21	kwh	13.5	284	
ドリルジャンボ損料			1		23,500	23,500	
諸雑費			1		6	6	
					計	23,790	
第B－2号	シャフローダ運転		運転1時間当り				
電力量			21		13.5	284	
シャフローダ損料			1		13,600	13,600	
諸雑費			1		6	6	
					計	13,890	
第B－3号	バックホウ運転		運転1時間当り				
燃料費	ドラム（軽油）		10.4		76	790	
バックホウ損料	0.35m3		1		11,728	11,728	
諸雑費			1		12	12	
					計	12,530	
第B－4号	機関車12t運転 ずり出し用		運転1時間当り				
電力量			5.7		13.5	77	
機関車損料			1		9,960	9,960	
諸雑費			1		3	3	
					計	10,040	
第B－5号	機関車12t運転 吹付用		運転1時間当り				
電力量			5.7		13.5	77	
機関車損料			1		18,598	18,598	
諸雑費			1		5	5	
					計	18,680	

表-2.1.10 直接工事代価表（Ｋ－１　発破ＮＡＴＭ）（その９）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第Ｂ－６号	コンクリート吹付機運転		運転１時間当り				
電力料			18.8	Kwh	13.50	254	
吹付ロボット損料	吹付範囲半径8m級		1		11,524	11,524	
吹付機損料	湿式10～15m3/h級		1		17,017	17,017	
機関車損料	バッテリ式6t		1		10,515	10,515	
諸雑費			1		10	10	
					計	39,320	
第Ｂ－７号	急結剤供給装置運転		運転１日当り				
電力量			5.3	Kwh	13.50	72	5.5×0.466×3.7/2×67/60=5.3
機械損料			1		4,475	4,475	
諸雑費			1			3	
			1		計	4,550	
第Ｂ－８号	モルタル注入機運転		運転１日当り				
電力量			3.3	Kwh	13.5	45	
グラウトミキサ損料			1		799	799	
グラウトポンプ損料			1		1920	1,920	
諸雑費			1			4	
					計	2,768	
第Ｂ－９号	集塵機 300m3/min×30Kw		運転１時間当り				
電力料			21	Kwh	13.5	284	
集塵装置損料			1		11,680	11,680	
諸雑費			1		6	6	
					計	11,970	
第Ｂ－１０号	吹付プラント設備運転		運転１時間当り				
電力量			15	Kwh	13.5	203	
吹付プラント設備損料			1		40,615	40,615	
諸雑費			1		12	12	
					計	40,830	

表-2.1.10 直接工事代価表（Ｋ－１　発破ＮＡＴＭ）（その１０）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘　要
第Ｂ－１１号	立坑区間のずり搬出	立坑１本					
機械、設備費			1	式		7,651,400,000	
人件費			24,360	人	15,772	384,205,920	普通作業員
電力量			1	式		3,642,408,000	
諸雑費			1	式	0	0	
					計	11,678,013,920	
	処分坑道設計掘削m3当り		7491200	m3	1,559	11,678,013,920	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その１）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
コンプレッサー運転							
特殊作業員			52	人/月	18,999	987,948	
電力量			13,354	KWh/月	13.5	180,279	
機械損料	定置式スクリュー形 12m3/min		294	h/月	1,020	299,880	
諸雑費			1	式	48	48	
					1月当り計	1,468,155	
				485	ヶ月計	712,055,175	
吹付プラント組立・解体							
世話役			14	人	24,186	338,604	
特殊作業員			13.5	人	18,999	256,487	
普通作業員			10	人	15,772	157,720	
機械工			9	人	18,011	162,099	
とび工			35	人	20,076	702,660	
溶接工			5	人	20,995	104,975	
電工			8	人	19,001	152,008	
トラッククレーン賃料			4	人	100,000	400,000	
諸雑費			1	式	400	400	
					計	2,274,953	
セントル組立・解体							
世話役			14.5		24,186	350,697	
普通作業員			9		15,772	141,948	
機械工			12		18,011	216,132	
とび工			31		20,076	622,356	
特殊作業員			60.5		18,999	1,149,440	
電工			6.5		19,001	123,507	
トラッククレーン賃料			4		100,000	400,000	
諸雑費			1		200	200	
					計	3,004,279	
		坑内作業のため20%割増とする				3,605,135	
空気圧縮機設備							
設備組立・解体	定置式スクリュウ型 12m3/min		6	台	324,720	1,948,320	
送気管敷設撤去	φ150mm		1	式	22,720	22,720	
送気管賃	φ150mm		1200	m	10,400	12,480,000	
諸雑費			1	式	0	0	
					計	14,451,040	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その２）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
２次側電力設備							
高圧受電設備			1	箇所	200,000	200,000	
高圧配電線路	6KV		30	m	2,040	61,200	
高圧配電線路	3KV		80	m	1,880	150,400	
トンネル内高圧電線路			37,118	m	910	33,777,380	
低圧配電線路	0.2KV 3φ3W SV150mm		160	m	3,750	600,000	
低圧配電線路	0.2KV 3φ3W SV60mm		30	m	1,500	45,000	
低圧配電線路	0.2KV 3φ3W SV8mm		30	m	521	15,630	
低圧配電線路	0.2/0.1KV 1φ3W DV2.6mm		150	m	2,200	330,000	
低圧配電線路	0.2KV 3φ3W DV4.0mm		100	m	2,720	272,000	
トンネル内動力用電線路	0.2KV 3φ3W SV60mm		33,406	m	1,500	50,109,000	
トンネル内照明用電線路	0.2KV 1φ3W SV60mm		37,118	m	2,600	96,506,800	
高圧電動機設備	コンプレッサー 3KV 75KW		2	m	396,000	792,000	
低圧電動機設備	吹付プラント 3φ 200V 35KW		1	m	73,000	73,000	
低圧電動機設備	給水ポンプ 3φ 200V 5.5KW		1	m	30,700	30,700	
低圧電動機設備	送風機 3φ 200V 37KW×2		14	m	32,000	448,000	
低圧電動機設備	ドリルジャンボ 3φ 400V 30KW×2		12	m	26,000	312,000	
低圧電動機設備	グラウトミキサー 3φ 200V 2KW		12	m	4,880	58,560	
低圧電動機設備	グラウトポンプ 3φ 200V 2.2KW		12	m	4,880	58,560	
低圧電動機設備	濁水処理 3φ 200V 23.8KW		1	m	61,500	61,500	
低圧電動機設備	全断面セントル 3φ 200V 7.4KW		8	m	8,420	67,360	
低圧電動機設備	吹付機 3φ 200V 30KW		8	m	26,600	212,800	
低圧電動機設備	吹付ロボット 3φ 200V 7.5KW		8	m	8,420	67,360	
低圧電動機設備	急結剤供給 3φ 200V 5.5KW		8	m	6,520	52,160	
低圧電動機設備	集塵機 3φ 200V 30KW		12	m	26,600	319,200	
低圧電動機設備	バイブレーター 3φ 200V 1.94KW		8	m	4,750	38,000	
変電設備	コンプレッサー 3φ6/3KV 150KVA		6	m	512,200	3,073,200	
変電設備	吹付プラント 濁水処理 送風機		1	m	683,000	683,000	
変電設備	屋外照明 1φ3KVA×1		1	m	168,200	168,200	
坑内受変電設備	300KVA CB形受変電用(屋外式)		10,800	日	3,590	38,772,000	
気中開閉器	7.2KV 200V		10,800	日	187	2,019,600	
遮断機	7.2KV 200V キュービクル含む		10,800	日	749	8,089,200	
進相用コンデンサー	3KV 30KVA		10,800	日	67	723,600	
変圧器(タイトランス)	3φ150KVA		10,800	日	891	9,622,800	
変圧器(油入)	3φ200KVA		10,800	日	928	10,022,400	
変圧器	1φ3KVA		10,800	日	101	1,090,800	
					計	258,923,410	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その３）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
照明設備							
切羽照明設備	連絡坑道切羽、覆工 0.5KW×4個		6	箇所	6,360	38,160	
	主要坑道切羽、覆工 0.5KW×4個		2	箇所	6,360	12,720	
	処分坑道切羽、覆工 0.5KW×4個		12	箇所	6,360	76,320	
蛍光燈ランプ	坑内照明　40W　連絡坑道		1,791	個	965	1,728,315	@10m 17,910/10=1,791
	坑内照明　40W　主要坑道		2,512	個	965	2,424,080	@10m 25,120/10=2,512
	坑内照明　40W　処分坑道		6,427	個	965	6,202,055	@50m 321,360/50=6,427
レフレクターランプ	100V/200V/500V屋外		10	個	1,330	13,300	
照明電力料							
屋外照明	工期日×0.5KW×4個×12H/日		259,200	KWH	13.17	3,413,664	45*12*20*0.5*4*12=259,200
連絡坑道切羽照明							
切羽掘削	工期日×0.5KW×8個×16H/日		45,056	KWH	13.17	593,388	35.2*20*0.5*8*16=45,056
インバート	工期日×0.5KW×2個×8H/日		1,584	KWH	13.17	20,861	9.9*20*0.5*2*8=1,584
覆工	工期日×0.5KW×4個×8H/日		11,424	KWH	13.17	150,454	35.7*20*0.5*4*8=11,424
主要坑道切羽照明							
切羽掘削	工期日×0.5KW×8個×16H/日		171,008	KWH	13.17	2,252,175	16.7*20*0.5*8*16*8=171,008
インバート	工期日×0.5KW×2個×8H/日		7,680	KWH	13.17	101,146	6.0*20*0.5*2*8*8=7,680
覆工	工期日×0.5KW×4個×8H/日		40,192	KWH	13.17	529,329	15.7*20*0.5*4*8*8=40,192
処分坑道切羽照明							
切羽掘削	工期日×0.5KW×8個×16H/日		222,208	KWH	13.17	2,926,479	21.7*20*0.5*8*16*8=222,208
インバート	工期日×0.5KW×2個×8H/日		17,408	KWH	13.17	229,263	13.6*20*0.5*2*8*8=17,408
連絡坑道坑内照明	工期日×0.06KW×181/2×12H/日		73,760	KWH	13.17	971,419	57.2*8*0.06*1,791*12=73,760
主要坑道坑内照明	工期日×0.06KW×181/2×12H/日		402,241	KWH	13.17	5,297,514	27.8*8*0.06*2,512*12=402,241
処分坑道坑内照明	工期日×0.06KW×181/2×12H/日		2,528,433	KWH	13.17	33,299,463	68.3*8*0.06*6,427*12=2,528,433
					計	60,280,105	
換気設備							
送風機運転	口径1600mm 2000m3/min 32台		32	台	32,408,560	1,037,073,920	第換気-1号
送風機運転	口径1000mm 750m3/min 96台		96	台	12,493,320	1,199,358,720	第換気-2号
送風管	ビニル(不燃性)φ1600		17,610	m	3,660	64,452,600	
送風管	ビニル(不燃性)φ1000		24,320	m	2,330	56,665,600	
					計	2,357,550,840	
第換気-1号	送風機運転						
電力料	220PS*0.681*16	1440日	1,726,560	KWH	13.5	23,308,560	
ファン	2000m3/min		1	台	9,100,000	9,100,000	
					計	32,408,560	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その４）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
第換気-2号	送風機運転						
電力料	74PS*0.681*16	1440日	580,320	KWH	13.5	7,834,320	
ファン	750m3/min		1	台	4,660,000	4,660,000	
					計	12,494,320	
給水設備							
土嚢設備・撤去			500	袋	720	360,000	第給水-１号
給水管			33,406	m	213	7,115,521	
給水管設置・撤去			100	m	551	55,100	第給水-２号
ポンプ据付・撤去			1	箇所	79,452	79,452	第給水-３号
給水設備運転			9,700	日	2,096	20,331,200	第給水-４号
					計	27,941,273	
第給水-１号	土嚢設置・撤去						
普通作業員			0.042	人	15,772	662	
土嚢	62×48cm		1	袋	50	50	
諸雑費			1	式	8	8	
					計	720	
第給水-２号	給水管設置・撤去						
世話役			0.006	人	24,186	145	
普通作業員			0.0255	人	15,772	402	
諸雑費			1	式	4	4	
					計	551	
第給水-３号	ポンプ据付・撤去						
世話役			0.2	人	24,186	4,837	
普通作業員			2.8	人	15,772	44,162	
トラッククレーン賃料	油圧式4.8～4.9t吊		0.8	日	38,000	30,400	
諸雑費			1	式	53	53	
					計	79,452	
第給水-４号	給水設備運転						
電力使用料金	5.5KW*0.9*16h		80	KWh	14	1,080	
小型タービンポンプ			1	台日	493	493	
水槽			1	供日	523	523	
					計	2,096	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その５）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
排水設備							
土嚢設置・撤去			500	袋	720	360,000	
排水管設置・撤去			100	m	551	55,100	
ポンプ据付・撤去			1	箇所	79,452	79,452	
排水設備運転			10,800	日	2,602	28,101,600	
					計	28,596,152	
第排水-１号	排水設備運転						
電力使用料金	5.5KW*0.6*24h		158.4	KWh	13.5	2,138	
工事用水中ポンプ	80mm*30m		1	台日	464	464	
					計	2,602	
濁水処理設備設置・撤去			1	箇所	968,327	968,327	第　濁水－１号
泥土処理作業	１回/４日		2,425	回	49,428	119,862,900	第　濁水－２号
濁水処理設備運転	処理能力30m3/h		9,700	日	76,981	746,715,700	第　濁水－３号
薬品類			1	式	107,747,600	107,747,600	第　濁水－４号
諸雑費			1	式	13	13	
					計	975,294,540	
第　濁水－１号							
世話役			9	人	24,186	217,674	
電工			7	人	19,001	133,007	
機械工			18	人	18,011	324,198	
普通作業員			9	人	15,772	141,948	
トラッククレーン賃料	油圧式15～16t		3	日	50,500	151,500	
諸雑費			1	式	0	0	
					計	968,327	
第　濁水－２号							
普通作業員			0	人	15,772	4,732	
バックホウ運転	0.35m3		2	h	10,600	21,200	
ダンプトラック運転	11t		3	h	7,802	23,406	
諸雑費			1	式	90	90	
					計	49,428	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その６）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
第　濁水ー３号							
電力量			161	Kwh	14	2,176	
濁水プラント損料			1	日	62,800	62,800	
上屋損料			49	m2	245	12,005	
諸雑費			1	式	0	0	
					計	76,981	
第　濁水ー４号							
炭酸ガス	60kg/日	485ヶ月	582,000	kg	153	89,046,000	
高分子凝集剤	20kg/月		9,700	kg	1,190	11,543,000	
無機凝集剤	PAC　18kg/日		174,600	kg	41	7,158,600	
					計	107,747,600	
仮設備保守費							
電工			52	人	19,001	978,552	
機械工			52	人	18,011	932,069	
普通作業員			52	人	15,772	816,201	
諸雑費			1	式	348	348	
					1月当り計	2,727,170	
				485ヶ月合計		1,322,677,329	
運搬費							
プラント類運搬費							
スライドセントル	18台*6セット		108	台	80,000	8,640,000	
バッチャープラント			2	式	1,200,000	2,400,000	
骨材プラント			2	式	1,250,000	2,500,000	
濁水処理			3	式	600,000	1,800,000	
					計	15,340,000	
工事機械運搬費							
バックホウ			20	台	480,000	9,600,000	
油圧ドリルジャンボ			20	台	480,000	9,600,000	
シャフローダ			20	台	480,000	9,600,000	
吹付機、ロボット			20	台	480,000	9,600,000	
その他			60	台	480,000	28,800,000	
					計	67,200,000	

表-2.1.11　共通仮設工事代価表（その７）

名称	規格		数量	単位	単価	金額	摘要
役務費							
電力基本料金			1	式	5,000,000	5,000,000	
営繕費							
火薬庫	２級		6	棟	2,000,000	12,000,000	
火工品庫	１t庫		6	棟	1,800,000	10,800,000	
取扱所	鋼製移動式		6	棟	500,000	3,000,000	
火工所	組立テント式		6	棟	350,000	2,100,000	
					計	27,900,000	

表-2.1.12　総括表－２（Ｋ－２　発破ＮＡＴＭ）（その１）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
連絡・主要坑道								
	掘削工	連絡坑道掘削		463,700	m3	11,505	5,334,868,500	
		主要坑道掘削		650,400	m3	11,505	7,482,852,000	
	支保工	Ｃｏｎ吹付工	連絡坑道 t=10cm	221,190	m2	3,240	716,655,600	
			主要坑道 t=10cm	310,240	m2	3,240	1,005,177,600	
	覆工	連絡坑道		81,100	m3	29,740	2,411,914,000	
		主要坑道		113,760	m3	29,740	3,383,222,400	
	インバート工	コンクリート	連絡坑道	36,360	m3	18,649	678,077,640	
			主要坑道	50,960	m3	18,649	950,353,040	
						直接工事費計	21,963,120,780	
	仮設費	２次側電力設備		1	式	258,923,410	258,923,410	
		照明設備		1	式	57,048,042	57,048,042	
		コンプレッサー運転　6台		2,910	ヶ月	1,468,155	4,272,331,050	
		吹付プラント組立・解体		1	式	2,274,953	2,274,953	
		セントル組立解体		8	式	3,605,135	28,841,080	
		空気圧縮設備		6	式	14,451,040	86,706,240	
		給水設備		1	式	27,941,273	27,941,273	
		換気設備		1	式	1,158,192,120	1,158,192,120	
		仮設備保守費		1	式	1,322,677,329	1,322,677,329	
		濁水処理設備		1	式	975,294,540	975,294,540	
						仮設費計	8,190,230,037	
					直接工事費＋仮設費		30,153,350,817	
	運搬費			1	式	67,200,000	67,200,000	
	安全費	警備員	3人/日×9700日	29,100	人	16,500	480,150,000	

表-2.1.12　総括表－２（Ｋ－２　発破ＮＡＴＭ）（その２）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
	役務費			1	式	5,000,000	5,000,000	
	営繕費			1	式	27,900,000	27,900,000	
	イメージアップ経費			1	式	10,000,000	10,000,000	
	共通仮設費率分			6.35	%	30,153,350,817	1,914,737,777	
共通仮設費合計							10,695,217,814	
						純工事費	32,658,338,594	
現場管理費				17.89	%		5,842,576,774	
						工事原価	38,500,915,368	
一般管理費				9.39	%		3,615,235,953	
工事価格							42,116,151,321	
消費税相当額				3	%		1,263,484,540	
工事費計							43,379,635,861	

表-2.1.13　サイクルタイム表（K－2、発破ＮＡＴＭ）

項目			単位	坑道区分			備考
				連絡坑道	主要坑道	処分坑道	
1切羽当り掘削延長		L	m	2.985	1.570		
設計掘削断面積（余堀含まず）		A1	m2	23.1	23.1		
掘削断面積（余堀含む）		A2	m2	25.9	25.9		
1サイクル当たり掘進長		B	m	2.0	2.0		
1サイクルあたり掘削量		Q0	m3	51.8	51.8		Q0＝A2×B
1m2当たりの削孔時間		C	min/m2	3.1	3.1		
1サイクル当たり吹付面積		M	m2	21.7	21.7		M＝断面周長×B
吹付厚さ		N	m	0.1	0.1		
1サイクル当たりボルト本数		P	本	0	0		
削岩	削岩準備		分	15	15		
	穿孔	T1	分	71	71		T1＝A1×C
	装薬・発破・換気等		分	50	50		
	小計		分	136	136		
ずり出	ずり出し準備		分	10	10		
	ずり出し	T2	分	141	141		T2=60×Q0/Qs
	後片付け		分	10	10		
	小計		分	161	161		
吹付	吹付準備		分	15	15		
	吹付	T3	分	56	56		T3＝M×N×補正係数×60/6
	後片付け		分	15	15		
	小計		分	86	86		
ボルト	ロックボルト準備		分	0	0		
	穿孔	T4	分	0	0		T4＝P×6
	後片付け		分	0	0		
	小計		分	0	0		
金網設置		T5	分	0	0		
支保工	支保工準備		分	0	0		
	支保工建込	T6	分	0	0		
	小計		分	0	0		
その他損失			分	70	70		
計		Q	分	453	453		
1日当たりの進行長				4.2	4.2		
1月当たりの進行長				97	97		

表-2.1.14　総括表―3（T－1　ブーム式機械掘削工法）（その1）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
連絡・主要坑道								
	掘削工	連絡坑道掘削		552,500	m3	11,051	6,105,677,500	
		主要坑道掘削		775,200	m3	11,051	8,566,735,200	
	支保工	Ｃｏｎ吹付工	連絡坑道 t=10cm	322,380	m2	3,240	1,044,511,200	
			主要坑道 t=10cm	452,160	m2	3,240	1,464,998,400	
		ロックボルト工	連絡坑道	17,910	m	60,112	1,076,605,920	
			主要坑道	25,120	m	60,112	1,510,013,440	
		金網工	連絡坑道	17,910	m	3,870	69,311,700	
			主要坑道	25,120	m	3,870	97,214,400	
		鋼製支保工	連絡坑道	17,910	m	25,127	450,024,570	
			主要坑道	25,120	m	25,127	631,190,240	
	覆工	連絡坑道		80,790	m3	29,740	2,402,694,600	
		主要坑道		113,320	m3	29,740	3,370,136,800	
	インバート工	コンクリート	連絡坑道	41,350	m3	18,649	771,136,150	
			主要坑道	58,000	m3	18,649	1,081,642,000	
						直接工事費計	28,641,892,120	
	仮設費	２次側電力設備		1	式	258,923,410	258,923,410	
		照明設備		1	式	57,048,042	57,048,042	
		コンプレッサー運転　6台		2,910	ヶ月	1,468,155	4,272,331,050	
		吹付プラント組立・解体		1	式	2,274,953	2,274,953	
		セントル組立解体		8	式	3,605,135	28,841,080	
		空気圧縮設備		6	式	14,451,040	86,706,240	
		給水設備		1	式	27,941,273	27,941,273	
		換気設備		1	式	1,158,192,120	1,158,192,120	
		仮設備保守費		1	式	1,322,677,329	1,322,677,329	
		濁水処理設備		1	式	975,294,540	975,294,540	
						仮設費計	8,190,230,037	

表-2.1.14　総括表―3（T－1　ブーム式機械掘削工法）（その2）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
					直接工事費＋仮設費		36,832,122,157	
	運搬費			1	式	67,200,000	67,200,000	
	安全費	警備員	3人/日×9700日	29,100	人	16,500	480,150,000	
	役務費			1	式	5,000,000	5,000,000	
	営繕費			1	式	0	0	
	イメージアップ経費			1	式	10,000,000	10,000,000	
	共通仮設費率分			6.35	%		2,338,839,757	
共通仮設費合計							11,091,419,794	
						純工事費	39,733,311,914	
現場管理費				17.89	%		7,108,289,501	
						工事原価	46,841,601,415	
一般管理費				9.39	%		4,398,426,373	
工事価格							51,240,027,788	
消費税相当額				3	%		1,537,200,834	
工事費計							52,777,228,622	

表-2.1.15　サイクルタイム表（T－1　ブーム式機械掘削工法）

項目			単位	坑道区分			備考
				連絡坑道	主要坑道	処分坑道	
工事延長		L	m	17,910	3,140		
設計掘削断面積（余堀含まず）		A1	m2	28.4	28.4		
掘削断面積（余堀含む）		A2	m2	30.9	30.9		
1サイクル当たり掘進長		B	m	1.0	1.0		
1サイクルあたり掘削量		Q0	m3	30.9	30.9		Q0＝A2×B
1m2当たりの削孔時間		C	min/m2	1.4	1.4		
1サイクル当たり吹付面積		M	m2	18.0	18.0		
吹付厚さ		N	m	0.2	0.2		
1サイクル当たりボルト本数		P	本	17	17		
掘削	掘削準備		分	10	10		
	掘削	T2	分	88	88		T2=A2*B*60/C　C=21m3/h
	後片付け		分	10	10		
	小計		分	108	108		
吹付	吹付準備		分	15	15		
	吹付	T3	分	86	86		T3＝M×N×補正係数×60/6
	後片付け		分	15	15		
	小計		分	116	116		
ボルト	ロックボルト準備		分	10	10		
	穿孔	T4	分	102	102		T4＝P×6
	後片付け		分	15	15		
	小計		分	127	127		
金網設置		T5	分	10	10		
支保工	支保工準備		分	15	15		
	支保工建込	T6	分	25	25		
	小計		分	40	40		
その他損失			分	70	70		機械の入替、線路延長等
計		Q	分	471	471		
1日当たりの進行長				2.0	2.0		
1月当たりの進行長				47	47		

表-2.1.16　総括表－4（K－2　TBM工法）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
処分坑道	TBM工法（結晶質岩系　K2）		TBM1台（8,034m掘削）当り					
	トンネル掘削	地山区分　B		77,255	m3	41,360	3,195,266,800	
	支保工	鋼製セグメント		0	m	350,000	0	
	カッター交換工			680	ヶ	866,000	588,880,000	
	立坑部ずり搬出	処分坑道施工掘削m 3当り		75,480	m3	3,868	291,950,348	
						直接工事費計	4,076,097,148	
	TBM組立・解体						30,000,000	
	レール布設・撤去						104,000,000	
	通路布設						10,000,000	
	ずり搬出機械関係						80,300,000	
	TBM機械関係						553,000,000	
	電気関係						192,000,000	
						共通仮設費積上分	969,300,000	
					6.35%	共通仮設費率分	320,382,719	
						共通仮設費計	1,289,682,719	
						純工事費	5,365,779,867	
					17.89%	現場管理費	959,938,018	
						工事原価	6,325,717,885	
					10%	一般管理費	632,571,789	
						工事価格	6,958,289,674	
					3%	消費税相当額	208,748,690	
						工事費計	7,167,038,364	TBM1台当り
					5台/パネル×8パネル=40台		286,681,534,552	

表-2.1.17　総括表－5（T－1　TBM工法）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
処分坑道	TBM工法（堆積岩系　T1）		TBM1台（8,034m掘削）当り					
	トンネル掘削	地山区分　DI		77,255	m3	51,260	3,960,091,300	
	支保工	鋼製セグメント		8,034	m	350,000	2,811,900,000	
	カッター交換工			680	ヶ	866,000	588,880,000	
	立坑部ずり搬出	処分坑道設計掘削m 3当り		96,820	m3	3,015	291,950,348	
						直接工事費計	7,652,821,648	
	TBM組立・解体						30,000,000	
	レール布設・撤去						104,000,000	
	通路布設						10,000,000	
	ずり搬出機械関係						80,300,000	
	TBM機械関係						553,000,000	
	電気関係						192,000,000	
						共通仮設費積上分	969,300,000	
					6.35%	共通仮設費率分	547,504,725	
						共通仮設費計	1,516,804,725	
						純工事費	9,169,626,373	
					17.89%	現場管理費	1,640,446,158	
						工事原価	10,810,072,531	
					10%	一般管理費	1,081,007,253	
						工事価格	11,891,079,784	
					3%	消費税相当額	356,732,394	
						工事費計	12,247,812,177	TBM1台当り
					5台/パネル×8パネル=40台		489,912,487,092	

表-2.1.18　総括表―6（K－1、K－2　立坑）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
立坑1本当り								
直接工事費	掘削工	人件費		1	式	445,346,280	445,346,280	
		使用機械、設備費		1	式	2,862,590,000	2,862,590,000	
		電力料		1	式	316,307,700	316,307,700	
						掘削費計	3,624,243,980	
			掘削施工m3当り	51,964	m3	69,745	3,624,243,980	
	支保工(材料費)	吹付コンクリート		1	式	63,583,380	63,583,380	
			吹付設計m2当り	32,980	m2	1,928	63,583,380	
		ロックボルト		1	式	1,852,864	1,852,864	
			掘削延長m当り	51.0	m	36,331	1,852,864	
	覆工	人件費		1	式	127,472,440	127,472,440	
		使用機械、設備費		1	式	107,260,000	107,260,000	
		電力料		1	式	9,833,400	9,833,400	
		材料費	生コンクリート	11,916	m3	12,800	152,524,800	
						覆工計	397,090,640	
			覆工施工m3当り	11,916	m3	33,324	397,090,640	
	防水工	材料費	止水シート	24,799	m2	2,400	59,517,600	人件費等は覆工に含む
共通仮設費	仮設費	(直工費に含む)				直接工事費計	4,146,288,464	
	運搬費	(直工費に含む)						
	安全費	警備員	3人/日×1214日	3,642	人	16,500	60,093,000	
	役務費			1	式	5,000,000	5,000,000	
	営繕費			1	式	27,900,000	27,900,000	
	イメージアップ経費			1	式	10,000,000	10,000,000	
	共通仮設費率分			6.35	%		263,289,317	
						純工事費	4,512,570,781	
現場管理費				17.89	%		807,298,913	
						工事原価	5,319,869,694	
一般管理費				9.39	%		499,535,764	
工事価格							5,819,405,459	
工事費計							5,993,987,622	消費税3%含む

表-2.1.19　総括表―7（T－1　立坑）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
立坑１本当り								
直接工事費	掘削工	人件費		1	式	410,487,738	410,487,738	
		使用機械、設備費		1	式	1,377,103,000	1,377,103,000	
		電力料		1	式	175,783,500	175,783,500	
						掘削費計	1,963,374,238	
			掘削施工m３当り	33,141	m3	59,243	1,963,374,238	
	支保工（材料費）	吹付コンクリート		1	式	1,021,720	1,021,720	
			吹付設計m２当り	470	m2	2,174	1,021,720	
		ロックボルト		1	式	700,128	700,128	
			掘削延長m当り	8.5	m	82,368	700,128	
		鋼製支保工		1	式	31,705,000	31,705,000	
			掘削延長m当り	1038.1	m	30,541	31,705,000	
	覆工	人件費		1	式	77,085,696	77,085,696	
		使用機械、設備費		1	式	102,400,000	102,400,000	
		電力料		1	式	9,833,400	9,833,400	
		材料費	生コンクリート	14,679	m3	12,800	187,891,200	
						覆工計	377,210,296	
			覆工設計m３当り	14,679	m3	25,697	377,210,296	
	防水工	材料費	止水シート	12,201	m2	2,400	29,282,400	人件費等は覆工に含む
共通仮設費	仮設費	（直工費に含む）				直接工事費計	2,403,293,782	
	運搬費	（直工費に含む）						
	安全費	警備員	3人/日×1214日	3,642	人	16,500	60,093,000	
	役務費			1	式	5,000,000	5,000,000	
	営繕費			1	式	27,900,000	27,900,000	
	イメージアップ経費			1	式	10,000,000	10,000,000	
	共通仮設費率分			6.35	%		152,609,155	
						純工事費	2,658,895,937	
現場管理費				17.89	%		475,676,483	
						工事原価	3,134,572,420	
一般管理費				9.39	%		294,336,350	
工事価格							3,428,908,771	
工事費計							3,531,776,034	消費税3%含む

表-2.1.20　人件費計算表（K－1、K－2）

工事区分			単位人数(人)	工期(ヶ月)	延人数(人)	労務単価	人件費	備　考
仮設工事		機械設備工事	1式	6.0	2,500	18,999	47,497,500	
		仮設建物工事	1式	6.0	300	18,999	5,699,700	昼間のみ
立坑工事	本工事	坑口上部工事	12	1.0	240	25,093	6,022,320	昼間のみ
		坑口下部工事	10	1.0	400	25,093	10,037,200	
		本坑一般部工事	10	28.1	11,240	25,093	282,045,320	
		ポンプ座工事	10	2.0	800	18,464	14,771,200	建設用1本のみ
		坑底連接部工事	10	1.0	400	25,093	10,037,200	
		サンプ部工事	10	1.6	640	25,093	16,059,520	サンプ長55m
		二次覆工工事	10	12.7	5,080	25,093	127,472,440	
		揚水設備工事	10	3.2	1,280	18,464	23,633,920	
撤去工事			1式	2.0	1,600	18,464	29,542,400	昼間のみ
						合計	572,818,720	

表-2.1.21　人件費計算表（T－1）

工事区分			単位人数(人)	工期(ヶ月)	延人数(人)	労務単価	人件費	備　考
仮設工事		機械設備工事	1式	5.0	2,300	18,999	43,697,700	昼間のみ
		仮設建物工事	1式	5.0	300	18,999	5,699,700	昼間のみ
立坑工事	本工事	坑口上部工事	12	1.2	288	25,093	7,226,784	昼間のみ
		坑口下部工事	11	1.5	330	25,093	8,280,690	昼間のみ
		本坑一般部工事	12	21.0	10,080	25,093	252,937,440	
		坑底連接部工事	12	2.0	960	25,093	24,089,280	
		サンプ部工事	12	1.7	816	25,093	20,475,888	サンプ長35m
		二次覆工工事	12	6.4	3,072	25,093	77,085,696	
		揚水設備工事	12	2.3	1,104	18,464	20,384,256	
撤去工事			1式	2.0	1,500	18,464	27,696,000	昼間のみ
						合計	487,573,434	

表-2.1.22　立坑使用機械、設備価格表（K－1、K－2）その1

No.	機械、設備名称	数量	基準価格	年間予備品率%	予備品込価格	備考
1	開削櫓設備 R型 高さ23m ヘッドシーブ3台収容 避雷針設備	1式	86,000,000	0	86,000,000	
					86,000,000	
2-1	キブル巻上機 ロープ張力14.230ton ロープ速度300m/min 単胴式 電動機出力900KW ドラム直径2500mm ドラム幅1500mm	1台	225,000,000	20	405,000,000	
2-2	キブル巻上機用ワイヤーロープ シンキングロープ 4*F(10)+6*F(10) 直径φ36mm 長さ1500mm 単位重量6.15kg/m	1本	6,100,000	100	30,500,000	
2-3	キブル巻上用ヘッドシーブ 直径φ2000mm	1台	5,000,000	0	5,000,000	
2-4	ズリキブル 容量4.0m3	2台	9,400,000	25	18,800,000	
2-5	コンクリートキブル 容量2.0m3	1台	4,500,000	0	4,500,000	
2-6	吊り金物	1台	2,000,000	0	2,000,000	
2-7	ライダ	1台	1,500,000	0	1,500,000	
				キブル巻上設備小計	467,300,000	
3-1	スカフォード巻上機 ロープ張力86.760t ロープ速度300m/min 単胴式 電動機出力100KW ドラム直径2500mm ドラム幅1500mm	1台	133,000,000	10	186,200,000	
3-2	スカフォード巻上用ワイヤロープ サンロープ 直径φ38mm 長さ4500mm 単位重量5.94kg/m	2本	38,400,000	100	192,000,000	
3-3	スカフォード巻上用ヘッドシーブ 直径φ2000mm×2台 直径φ850mm×2台	2式	8,500,000	0	8,500,000	
3-4	スカフォード 直径φ6.9m 3段デッキ 折り返しシーブφ850mm 吊り金物	1台	45,000,000	0	45,000,000	
				スカフォード巻上設備小計	431,700,000	
4-1	人専用エレベータ巻上機 ロープ張力4.598t ロープ速度180m/min 単胴式 ドラム直径1300mm ドラム幅1500mm		50,000,000	0	50,000,000	
4-2	人専用巻上用ワイヤロープ 電らん入りロープ 直径φ28mm 長さ1350mm 単位重量3.1kg/m	1本	2,800,000	100	14,000,000	
4-3	人専用巻上用ヘッドシーブ 直径φ1200mm	1台	2,400,000	0	2,400,000	
4-4	人用エレベータ 搭乗人員6名、1段デッキ 吊り金物	1台	2,500,000	20	4,500,000	
				人専用巻上設備小計	70,900,000	

表-2.1.22　立坑使用機械、設備価格表（K－1、K－2）その2

No.	機械、設備名称	数量	基準価格	年間予備品率%	予備品込価格	備考
5-1	坑口設備坑口ドア	1式	65,000,000	0	65,000,000	
	坑口座張り					
	坑口ドア					
	測量座張り					
	人員昇降デッキ					
5-2	坑口運搬設備	1式	56,000,000	0	56,000,000	
	軌条					
	ターンテーブル					
	台車					
	10tテルハクレーン					
	3t門型クレーン					
				坑口設備小計	121,000,000	
6	ズリ捨て装置	1式	40,000,000	0	40,000,000	
	（ズリ転倒装置）					
	ライダ受け					
	ズリシュート					
	キプル転倒装置					
	（ズリ運搬設備）					
	D66S-1ドーザーショベル	1台	21,800,000	0	21,800,000	
	11tダンプトラック350HP	2台	22,700,000	0	22,700,000	
				ズリ捨て設備小計	84,500,000	
7	掘削設備	1台	62,000,000	30	136,400,000	
	（ズリ積機）					
	0.6m3シャフトマッカ					
	本体					
	アウトリガ					
	油圧関係					
	（削孔機）					
	5連装油圧シャフトジャンボ	1台	260,000,000	1	270,400,000	
				掘削設備小計	406,800,000	
8	コンプレッサー設備					
	150KW	2台	24,000,000	0	24,000,000	
	150mmφ鋼管	1100m	8,300,000	0	8,300,000	
				コンプレッサー設備小計	32,300,000	
9	換気設備					
	37KW×2連コントラファン	1台	6,430,000	0	6,430,000	
	1.0mφスパイラル風管	1100m	12,320,000	0	12,320,000	
				換気設備小計	18,750,000	
10	覆工設備					
	（1次吹付設備）					
	アリバ260型乾湿両用	1式	12,750,000	1	13,260,000	
	（2次覆工設備）					
	型枠,作業台,ｽﾘｯﾌﾟｱｯﾌﾟ装置	1式	10,500,000	0	10,500,000	
	（共通設備）					
	コンクリートプラント	1式	83,500,000	0	83,500,000	
	0.5m3ﾊﾞｯﾁｬｰ,30tｻｲﾛ,骨材ﾋﾞﾝ					
				覆工設備小計	107,260,000	
11	給排水設備					
	給水用50mmφﾀｰﾋﾞﾝﾎﾟﾝﾌﾟ	1台	600,000	0	600,000	
	坑内排水用37KW水中ポンプ	44台	60,236,000	0	60,236,000	
	濁水処理設備120m3/h	1台	65,000,000	0	65,000,000	
				給排水設備小計	125,836,000	
12-1	受電設備					
	500KVA	3台	34,500,000	0	34,500,000	
	200KVA	3台	18,720,000	0	18,720,000	
	50KVA	1台	4,000,000	0	4,000,000	
	300KVA	4台	32,000,000	0	32,000,000	
12-2	照明設備					
	坑外用15KVA	30台	342,000	0	342,000	
	坑内用15KVA	50台	570,000	0	570,000	
12-3	通信設備					
	無電池式電話機・ケーブル	1式	5,000,000	0	5,000,000	
12-4	非常用電源設備					
	3000KVA-6P-6600V-50HZ	2台	600,000,000	0	600,000,000	
	発電機、自動始動、同期盤等	1式	295,000,000	0	295,000,000	
				電気設備小計	990,132,000	

表-2.1.22　立坑使用機械、設備価格表（K－1、K－2）その3

13	ポンプ座掘削設備		－			
	穿孔機(40kg級レッグドリル)	4台	1,324,000	0	1,324,000	
	ズリ積機(0.4m3級ショベル)	1台	5,600,000	2	6,048,000	
					ポンプ座掘削設備小計	7,372,000
					立坑使用機械、設備合計	2,949,850,000
					運賃	20,000,000
					総合計	2,969,850,000

表-2.1.23　立坑使用機械、設備価格表（T－1）その1

No.	機械、設備名称	数量	基準価格	年間予備品率%	予備品込価格	備考
1	開削櫓設備 H型 高さ25m ヘッドシーブ3台収容 避雷針設備	1式	67,000,000	0	67,000,000	
				開削櫓設備小計	67,000,000	
2-1	キブル巻上機 ロープ張力10.471ton ロープ速度200m/min 単胴式 電動機出力450KW ドラム直径1600mm ドラム幅1400mm	1台	165,000,000	20	297,000,000	
2-2	キブル巻上機用ワイヤーロープ シンキングロープ 4*F(10)+6*F(10) 直径φ40mm 長さ950mm 単位重量6.42kg/m	1本	5,200,000	100	26,000,000	
2-3	キブル巻上用ヘッドシーブ 直径φ2700mm	1台	5,300,000	0	5,300,000	
2-4	ズリキブル 容量3.5m3	2台	10,000,000	25	20,000,000	
2-5	コンクリートキブル 容量3.0m3	1台	4,500,000	0	4,500,000	
2-6	マンキブル 搭乗人員10人	1台	2,500,000	0	2,500,000	
2-7	吊り金物	1台	2,000,000	0	2,000,000	
2-8	ライダ	1台	1,500,000	0	1,500,000	
				キブル巻上設備小計	358,800,000	
3-1	スカフォード巻上機 ロープ張力11.14t ロープ速度8m/min 単胴式 電動機出力22KW ドラム直径1900mm ドラム幅1400mm	1台	120,000,000	10	168,000,000	
3-2	スカフォード巻上用ワイヤロープ 異径線ストランドロープ 直径φ37.5mm 長さ1350mm 単位重量5.78kg/m	2本	7,200,000	100	36,000,000	
3-3	スカフォード巻上用ヘッドシーブ 直径φ2000mm×2台 直径φ850mm×2台	2式	10,600,000	0	10,600,000	
3-4	スカフォード 直径φ6.9m 2段デッキ 折り返しシーブφ850mm 吊り金物	1台	38,000,000	0	38,000,000	
				スカフォード巻上設備小計	252,600,000	
4-1	坑口設備坑口ドア 坑口座張り 坑口ドア 測量座張り	1式	58,000,000	0	58,000,000	
4-2	坑口運搬設備 軌条 ターンテーブル 台車	1式	18,000,000	0	18,000,000	
				坑口設備小計	76,000,000	

表-2.1.23　立坑使用機械、設備価格表（T－1）その2

No.	機械、設備名称	数量	基準価格	年間予備品率%	予備品込価格	備考
5	ズリ捨て装置	1式	40,000,000	0	40,000,000	
	（ズリ転倒装置）					
	ライダ受け					
	ズリシュート					
	キブル転倒装置					
	（ズリ運搬設備）					
	D66S-1ドーザーショベル	1台	21,800,000	10	30,520,000	
	11tダンプトラック350HP	2台	22,700,000	10	31,780,000	
				ズリ捨て装置小計	102,300,000	
6	掘削設備	1台	60,000,000	30	132,000,000	
	（ズリ積機）					
	0.5m3シャフトマッカ					
	本体					
	アウトリガ					
	油圧関係					
	（穿孔機）					
	6連装アンブレラジャンボ	1台	90,000,000	2	97,200,000	
				掘削設備小計	229,200,000	
7	コンプレッサ設備					
	150KW	2台	24,000,000	0	24,000,000	
	150mmφ鋼管	600m	4,500,000	0	4,500,000	
				コンプレッサ設備小計	28,500,000	
8	換気設備					
	3KWコントラファン	1台	4,830,000	0	4,830,000	
	700mmφビニール風管	600m	3,180,000	0	3,180,000	
				換気設備小計	8,010,000	
9	覆工設備					
	（1次吹付設備）					
	移動型枠装置	1式	8,400,000	0	8,400,000	
	（2次覆工設備）					
	型枠，作業台，ｽﾘｯﾌﾟｱｯﾌﾟ装置	1式	10,500,000	0	10,500,000	
	（共通設備）					
	コンクリートプラント	1式	83,500,000	0	83,500,000	
	0.5m3ﾊﾞｯﾁｬｰ，30tｻｲﾛ，骨材ﾋﾞﾝ					
				覆工設備小計	102,400,000	
10	給排水設備					
	給水用5.5KW水中ポンプ	2台	398,000	0	398,000	
	坑内排水用22KW水中ポンプ	22台	19,998,000	0	19,998,000	
	濁水処理設備60m3/h	1台	51,700,000	0	51,700,000	
				給排水設備小計	72,096,000	
11	電気設備					
	受電設備	1式	10,200,000	0	10,200,000	
	照明設備15KVA，10KVA	1式	197,000	0	197,000	
	通信設備			0	0	
	非常用100KVA発電器	1台	4,300,000	0	4,300,000	
					14,697,000	
12	湧水探査用設備					
	ﾛｰﾀﾘｰﾊﾟｰｶｯｼｮﾝ型ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞﾏｼﾝ	2台	124,000,000	2	133,920,000	
				湧水探査用設備小計	133,920,000	
13	連接部吹付設備					
	アリバ260吹付機	1式	12,750,000	1	13,260,000	
	ブースターポンプ	1式	720,000	0	720,000	
				連接部吹付設備小計	13,980,000	
				立坑使用機械、設備合計	1,459,503,000	
				運賃	20,000,000	
				総合計	1,479,503,000	

表-2.1.24　材料費計算表（K－1、K－2）

（立坑1本当り施工数量）

	仕様	単位	数量	単価	価格	備考
吹付コンクリート		m3	5,103	12,460	63,583,380	
ロックボルト	TD24 L=3.0m	本	524	3,536	1,852,864	
2次覆工コンクリート	180-15-40	m3	11,916	12,800	152,524,800	
止水シート	EVA+不織布 0.8mm	m2	24,799	2,400	59,517,600	
				合計	277,478,644	

表-2.1.25　材料費計算表（T－1）

（立坑1本当り施工数量）

	仕様	単位	数量	単価	価格	備考
吹付コンクリート		m3	82	12,460	1,021,720	
ロックボルト	TD24 L=3.0m	本	198	3,536	700,128	
1次覆工コンクリート	180-15-40	m3	10,061	12,800	128,780,800	
2次覆工コンクリート	180-15-40	m3	4,618	12,800	59,110,400	
止水シート	EVA+不織布 0.8mm	m2	12,201	2,400	29,282,400	
鋼製支保工	H-125 26.7m	基	850	37,300	31,705,000	
				合計	250,600,448	

表-2.1.26　立坑機械、設備使用電力概算（K－1、K－2）

使用機械、設備	立坑掘削	ずり搬出用立坑	人荷用立坑	備考
キブル巻上機	5200			
スカフォード巻上機	600			
人専用巻上機	900			
スキップ巻上機		43800		
ゲージ巻上機			33600	
コンプレッサー設備	4800			
換気設備	1200			
掘削設備	700			
覆工設備	600			
給排水設備	5900			
1日当り合計（KWh）	19900	43800	33600	
単価	13.5	13.5	13.5	
1日当り電力料	268,650	591,300	453,600	
工期（日）	1214	6160	6160	
全工期電力料	326,141,100	3,642,408,000	2,794,176,000	

表-2.1.27　立坑機械、設備使用電力概算（T－1）

使用機械、設備	立坑掘削	ずり搬出用立坑	人荷用立坑	備考
キブル巻上機	2600			
スカフォード巻上機	300			
人専用巻上機				
スキップ巻上機		43800		
ゲージ巻上機			33600	
コンプレッサー設備	4800			
換気設備	1200			
掘削設備	700			
覆工設備	600			
給排水設備	5900			
1日当り合計（KWh）	16100	43800	33600	
単価	13.5	13.5	13.5	
1日当り電力料	217,350	591,300	453,600	
工期（日）	854	6820	6820	
全工期電力料	185,616,900	4,032,666,000	3,093,552,000	

表-2.1.28　総括表―8（K－1　処分孔）

費目	工種	種別	細別	数量	単位	単価	金額	摘要
処分孔	全断面掘削機1台当り(8000m分)							
	人件費			20,749	人	25,093	520,654,657	トンネル特殊工
	機械費			1	式	350,000,000	350,000,000	
	電力量			1	式	216,000,000	216,000,000	
						直接工事費計	1,086,654,657	
	掘削機組立・解体			1	式	30,000,000	30,000,000	
	レール布設・撤去			1	式	104,000,000	104,000,000	
	通路布設			1	式	10,000,000	10,000,000	
	ずり搬出機械関係			1	式	80,300,000	80,300,000	
	電気関係			1	式	192,000,000	192,000,000	
						共通仮設費積上分	416,300,000	
					6.35%	共通仮設費率分	95,437,621	
						共通仮設費計	511,737,621	
						純工事費	1,598,392,278	
					17.89%	現場管理費	285,952,378	
						工事原価	1,884,344,656	
					9.39%	一般管理費	176,939,963	
						工事価格	2,061,284,619	
					3.00%	消費税相当額	61,838,539	
						工事費合計	2,123,123,158	掘削機1台当り
					200000m÷8000m/台＝25台		53,078,078,950	

2.1.6 動燃殿積算単価との比較

積算結果のまとめを動燃殿の単価とあわせて以下の表に示す。

・表-2.1.29（積算ケース Ｋ－１）

・表-2.1.30（積算ケース Ｋ－２）

・表-2.1.31（積算ケース Ｔ－１）

ここで、掘削費,覆工費等の単価は、各工種の総額費用を余堀り、余巻き等を含んだ実施工数量で割った実施工単価とした。ただし、吹付費については単位m²当りの単価で表す場合に実施工m²数がつかみにくいので、総額費用を設計数量で割った設計単価とする。

(1)今回（Ｋ－１）と動燃殿（Ｃ－２）の比較

アクセス坑道（立坑）の掘削費は動燃殿積算単価￥65,000に対して約￥70,000とやや高めの額となった。これは、今回の立坑掘削機械および設備の規模に若干余裕を持たせたため等が考えられる。

連絡・主要坑道および処分坑道の掘削単価が￥41,000に対して￥11,000強とかなりのひらきが見られる。これは動燃殿積算ケースに、今回の積算では計上しなかった補助工費が見込まれているか、または仮設費等が組み込まれているか等が考えられる。

処分孔１本当りの単価は動燃殿単価で￥5,280,000に対して約￥1,330,000とこれもかなりの差があるが、掘削方法にかなりの違いがあると考えられる。また計40,000本の処分孔を施工するにあたって、前者は現実的な額であるとは言えない。

(2)今回（Ｋ－２）と動燃殿（Ｃ－１）の比較

アクセス坑道（立坑）、連絡・主要坑道に関してはＫ－１と同様のことが言える。

処分坑道はＴＢＭ工法のためＫ－１の処分坑道（発破ＮＡＴＭ）の４倍の額となった。また動燃殿の単価は￥354,000と今回約￥45,000とかなりの差がある。これは今回の掘削工のみ単価に対して、動燃殿単価は補助工費や間接工事費、現場管理費、一般管理費等を含めた総額に対する掘削で表していること等が考えられる。

(3)今回（Ｔ－１）と動燃殿（Ｓ－１）の比較

アクセス坑道（立坑）に関してはＫ－１、Ｋ－２と同様のことが言える。

連絡・主要坑道は動燃殿単価の方がかなり高い額となったが、今回は掘削工のみの単価であるのに対して動燃殿単価は支保工費、補助工費等を含んだ単価である等が考えられる。

処分坑道は動燃殿単価の方が若干高い額となったが、連絡・主要坑道と同様の理由が考えられる。

表-2.1.29　積算結果のまとめ（K－1）

積算ケース	坑道種別	工種	総額	数量	単位	単価	動燃殿単価
K－1	アクセス坑道（立坑）	掘削費	21,745,375,080	311,784	m3	69,745	65,000
		ロックボルト費	11,117,286	306	m	36,331	220,000
		吹付費	381,512,640	197,880	m2	1,928	
		防水工費	357,105,600	148,794	m2	2,400	
		覆工費	2,382,532,704	71,496	m3	33,324	
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		1,626,000,000
		間接工事費	366,282,317	1	式	366,282,317	
		現場管理費	807,298,913	1	式	807,298,913	
		一般管理費	499,535,764	1	式	499,535,764	
	連絡坑道	掘削費	6,327,680,500	572,900	m3	11,045	41,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	832,712,400	257,010	m2	3,240	
		覆工費	2,837,790,800	95,420	m3	29,740	
		インバート費	678,077,640	36,360	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		595,000,000
		間接工事費	0	1	式	処分坑道に一括計上	
		現場管理費	0	1	式		
		一般管理費	0	1	式		
	主要坑道	掘削費	8,871,344,000	803,200	m3	11,045	41,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	1,167,955,200	360,480	m2	3,240	
		覆工費	3,980,401,600	133,840	m3	29,740	
		インバート費	950,353,040	50,960	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		595,000,000
		間接工事費	0	1	式	処分坑道に一括計上	
		現場管理費	0	1	式		
		一般管理費	0	1	式		
	処分坑道	掘削費	94,970,400,000	8,400,000	m3	11,306	41,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	0	0	m2		
		覆工費	0	0	m3		
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		595,000,000
		間接工事費	17,648,426,356	1	式	17,648,426,356	
		現場管理費	24,841,229,546	1	式	24,841,229,546	
		一般管理費	15,371,112,720	1	式	15,371,112,720	
	処分孔	掘削費	53,078,078,950	40,000	本	1,326,952	5,280,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	0	0	m2		
		覆工費	0	0	m3		
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		
		間接工事費	12,793,440,525	1	式	12,793,440,525	
		現場管理費	7,148,809,450	1	式	7,148,809,450	
		一般管理費	4,423,499,075	1	式	4,423,499,075	

表-2.1.30　積算結果のまとめ（K－2）

積算ケース	坑道種別	工種	総額	数量	単位	単価	動燃殿単価
K－2	アクセス坑道（立坑）	掘削費	21,745,375,080	311,784	m3	69,745	65,000
		ロックボルト費	11,117,286	306	m	36,331	220,000
		吹付費	381,512,640	197,880	m2	1,928	
		防水工費	357,105,600	148,794	m2	2,400	
		覆工費	2,382,532,704	71,496	m3	33,324	
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		1,626,000,000
		間接工事費	366,282,317	1	式	366,282,317	
		現場管理費	807,298,913	1	式	807,298,913	
		一般管理費	499,535,764	1	式	499,535,764	
	連絡坑道	掘削費	5,334,868,500	463,700	m3	11,505	41,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	716,655,600	221,190	m2	3,240	
		覆工費	2,411,914,000	81,100	m3	29,740	
		インバート費	678,077,640	36,360	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		476,000,000
		間接工事費	0	1	式	主要坑道に一括計上	
		現場管理費	0	1	式		
		一般管理費	0	1	式		
	主要坑道	掘削費	7,482,852,000	650,400	m3	11,505	41,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	1,005,177,600	310,240	m2	3,240	
		覆工費	3,383,222,400	113,760	m3	29,740	
		インバート費	950,353,040	50,960	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		476,000,000
		間接工事費	10,104,967,814	1	式	10,104,967,814	
		現場管理費	5,842,576,774	1	式	5,842,576,774	
		一般管理費	3,615,235,953	1	式	3,615,235,953	
	処分坑道	掘削費	136,552,377,600	3,019,200	m3	45,228	354,000
		ロックボルト費	0	0	m		
		吹付費	0	0	m2		
		覆工費	0	0	m3		
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	588,880,000	1	式	588,880,000	
		間接工事費	1,289,682,719	1	式	1,289,682,719	
		現場管理費	959,938,018	1	式	959,938,018	
		一般管理費	632,571,789	1	式	632,571,789	

表-2.1.31　積算結果のまとめ（T－1）

積算ケース	坑道種別	工種	総額	数量	単位	単価	動燃殿単価
T－1	アクセス坑道（立坑）	掘削費	11,780,233,578	198,846	m3	59,243	53,000
		ロックボルト費	700,128	8.5	m	82,368	390,000
		鋼製支保工費	190,227,673	6,228.6	m	30,541	
		吹付費	6,130,680	2,820	m2	2,174	
		防水工費	175,694,400	73,206	m2	2,400	
		覆工費	1,127,347,200	88,074	m3	12,800	
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		1,648,000,000
		間接工事費	255,602,155	1	式	255,602,155	
		現場管理費	475,676,483	1	式	475,676,483	
		一般管理費	294,336,350	1	式	294,336,350	
	連絡坑道	掘削費	6,105,677,500	552,500	m3	11,051	49,000
		ロックボルト費	1,076,605,920	17,910	m	60,112	2,500,000
		吹付費	1,044,511,200	322,380	m2	3,240	
		金網工	69,311,700	17,910	m	3,870	
		鋼製支保工	450,024,570	17,910	m	25,127	
		覆工費	2,402,694,600	80,790	m3	29,740	
		インバート費	771,136,150	41,350	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		475,000,000
		間接工事費	0	1	式	主要坑道に一括計上	
		現場管理費	0	1	式		
		一般管理費	0	1	式		
	主要坑道	掘削費	8,566,735,200	775,200	m3	11,051	49,000
		ロックボルト費	1,510,013,440	25,120	m	60,112	2,500,000
		吹付費	1,464,998,400	452,160	m2	3,240	
		金網工	97,214,400	25,120	m	3,870	
		鋼製支保工	631,190,240	25,120	m	25,127	
		覆工費	3,370,136,800	113,320	m3	29,740	
		インバート費	1,081,642,000	58,000	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	0	1	式		475,000,000
		間接工事費	11,090,251,543	1	式	11,090,251,543	
		現場管理費	7,104,789,161	1	式	7,104,789,161	
		一般管理費	4,396,260,452	1	式	4,396,260,452	
	処分坑道	掘削費	210,196,220,000	3,872,800	m3	54,275	58,000
		ロックボルト費	0	0	m		1,500,000
		鋼製セグメント費	112,476,000,000	321,360	m	350,000	
		吹付費	0	0	m2		
		覆工費	0	0	m3		
		インバート費	0	0	m3		
		補助工費	0	0	m3		
		その他直接工事費	866,000	1	式	866,000	
		間接工事費	1,516,804,725	1	式	1,516,804,725	
		現場管理費	1,640,446,158	1	式	1,640,446,158	
		一般管理費	1,081,007,253	1	式	1,081,007,253	

2.1.7 積算単価データベースのまとめ

今回は、データベースの開発と言うよりは実際に処分場を建設するにあたっての概略積算という形で作業を進めた。算出した各単価については、動燃殿の単価に比べてほぼ等しいもの、かなり差があるもの様々であるが、施工法、施工機械、工程等の違いによって単価にかなりの違いがでることは明らかになった。なかでも横坑の施工については、非常に多くの切羽が同時施工となるために、各作業の段取りおよびずり出しの調整など直接工程に影響する要素が多く、今回設定した工程から若干離れる可能性もある。またトンネル工事では、地山の変化に対応して支保パターンの変更や補助工法の追加など随時施工するのが普通で、こういった不確定要素に対する設計変更で工事費がぐっと膨らむ場合も珍しくない。実際には、ある程度画一された積算方法では表現しきれない要素が多分にあることを考慮した検討が必要である。

参考文献

1) 大成建設(株)、(株)大林組、鹿島建設(株)、清水建設(株)、(株)間組：地層処分システムの設計研究(Ⅱ)、PNC PJ1449 91-001(1991)

2) 清水建設(株)、鹿島建設(株)、(株)大林組、大成建設(株)、(株)間組：処分場の建設に係る設計条件の整備及び設計手法の選定、PNC SJ4449 89-001(3)(1989)

3) 土木工事積算研究会：建設省土木工事積算基準（平成７年度版）、財団法人建設物価調査会、1995

4) 日本建設機械化協会：建設機械等損料算定表（平成６年度版）、日本建設機械化協会、1994

5) トンネル施工積算研究会：トンネルの施工と積算、財団法人建設物価調査会、1994

6) 建設機械経費積算研究会：建設機械経費の積算（平成５年度版）、財団法人経済調査会、1993

7) 工事歩掛研究会：標準工事歩掛要覧（改訂７版）、財団法人経済調査会、1993

2.2 岩盤工学データベース

放射性廃棄物処分施設のような大規模地下構造物を施工するためには、現在施工されている、地下発電所、エネルギー備蓄基地などと同様に、かなり高度な建設技術が必要と考えられる。それは、これらの構造物の設計・施工は周辺の地質条件に大きく左右されるからである。従って、処分施設の設計においても様々な種類の解析や検討が実施される。

ここでは、解析の種類別に必要なデータを調査し、それらのデータについて、地下発電所、地下岩盤タンクの施工関連の文献を調査して岩盤工学データベースとしてまとめる。

2.2.1 解析に必要なデータ項目

岩盤工学データベースを作成するにあたって、空洞安定解析、熱解析および地下水流動解析について、各々に設定される解析種別とそれらに必要なデータ項目をまとめる。

（1）空洞安定解析

空洞安定解析は、線形弾性、弾塑性、非線形弾性、粘弾性解析の4 種類に分けられる。ここでは、解析コード「SIGNAS」を例にとり、解析に必要な地質データを表2.2.1 にまとめる。

表2.2.1　空洞安定解析に必要なデータ

<table>
<tr><th>解析種別</th><th colspan="3">必要データ項目</th></tr>
<tr><td>線形弾性解析</td><td rowspan="3">・単位体積重量
・側圧係数
・粘着力
・内部摩擦角</td><td rowspan="2">・ヤング率
・ﾎﾟｱｿﾝ比</td><td></td></tr>
<tr><td>弾塑性解析</td><td>・破壊基準ﾊﾟﾗﾒｰﾀ
・ひずみ硬化ﾊﾟﾗﾒｰﾀ
・引張限界応力</td></tr>
<tr><td>非線形弾性解析</td><td colspan="2">・初期接線係数
・接線係数
・破壊比
・非線形係数
・剛性倍率
・最大ﾎﾟｱｿﾝ比
・初期ﾎﾟｱｿﾝ比
・双曲線指数
・大気圧
・引張破壊側圧
・初期接線係数定数項
・垂直・せん断剛性減少率</td></tr>
<tr><td>粘弾性解析</td><td colspan="2">・せん断、体積コンプライアンス
・ﾀﾞｯｼｭﾎﾟｯﾄのせん断、体積粘性係数
・せん断、体積緩和時間
・せん断、体積遅延時間</td></tr>
</table>

（2）熱解析

熱解析は、材料の温度特性の線形・非線形と解析の定常・非定常で4 種類に分けられる。ここでは、解析コード「ADINA-T」を例にとり、解析に必要な地質データを表2.2.2 にまとめる。

表2.2.2　熱解析に必要なデータ

解析種別	必要データ項目	
定常線形解析	・熱伝導率 ・比熱 ・熱伝達率 ・潜熱	・地中境界温度 ・地表境界温度 ・単位体積重量
定常非線形解析		
非定常線形解析		
非定常非線形解析		

（3）地下水流動解析

地下水流動解析は、地盤の飽和・不飽和と解析の定常・非定常で4 種類に分けられる。ここでは、解析コード「SIGNAS」を例にとり、解析に必要な地質データを表2.2.3 にまとめる。

表2.2.3　地下水流動解析に必要なデータ

解析種別	必要データ項目	
飽和解析	・飽和透水係数 ・比貯留係数 ・圧力水頭 ・透水テンソル	
不飽和解析		・体積含水率～圧力水頭の絶対値の関係 ・体積含水率～比透水係数の関係 ・間隙率

2.2.2 データベースの作成

（1）岩盤物性値の調査

岩盤物性値の調査として、地下発電所および地下岩盤タンクの設計・施工に関する報告書などを調査し、解析の入力データとして必要なデータを抽出した。表2.2.4 に、調査した文献をまとめる。

表2.2.4 地下発電所および地下岩盤タンクの設計施工に関する文献

	タイトル	著　者	出　典
1	地下空洞・地下水への応用	菊池	地質工学セミナー pp. 397-436, 1994
2	大規模空洞掘削時の岩盤挙動とライニング設計概念の提案	日比野、本島	土木学会論文集, No. 481 Ⅲ-25, pp. 125-134, 1993
3	空洞掘削時の岩盤の特性	日比野、本島	第9回岩の力学国内ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ, pp. 689-694, 1994
4	大規模地下空洞の掘削時挙動と補強設計	日比野、本島	第25回岩盤力学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ、pp. 294-297, 1993
5	大規模地下空洞設計の現状分析とその考察	川本、ｵﾒｰﾙ、土山	トンネルと地下, pp. 31-37, 1992
6	トンネルの地質調査と岩盤計測		土木学会, 1985
7	岩盤分類とその適用	吉中、桜井、菊池	土木工学社
8	奥美濃地下発電所研究報告書		㈱大林組
9	国家石油備蓄基地（地下備蓄）立地可能性調査報告書　説明編		石油公団（財）ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ振興協会

（2）調査結果の整理

地下発電所および地下岩盤タンクの設計施工に関する文献より抽出した、岩石・岩盤物性を表2.2.5 にまとめる。

今回抽出した岩石・岩盤物性値は、表2.2.1 ～2.2.3 にまとめた解析に必要な物性値とは必ずしも一致しない。また、ほとんどが力学的物性値である。これは、地下発電所、地下岩盤タンクを設計するにあたっては空洞の安定性についての検討が主となることに加え、現場および室内で簡易に実施できる試験は限定されるからである。今回得られたデータを使用して実施可能な解析は空洞安定解析の線形弾性解析、弾塑性解析である。従って、熱解析、浸透流解析、および空洞安定解析の特殊な種類に必要な地質データを集積するため

には、現在施工中、または、竣工した地下構造物の設計に使用された地質データだけではなく、特殊な用途で調査されたデータなども文献によって調査する必要があると考えられる。

表2.2.5 岩石・岩盤物性（地下発電所、地下岩盤タンク）

発電所名	岩盤の種類	岩盤等級	一軸圧縮(MPa)	弾性係数(GPa)	せん断(MPa)	引張力(MPa)	ポアソン比	クリープα	クリープβ(/day)
喜撰山	粘板岩、砂岩	CH	—	6.00~12.00	1.50~3.00	0.75~1.00	0.25	0.16	0.64
新冠	輝緑凝灰岩	B,CH,（CM）	—	24.00	—	—	0.25	0.16	0.64
奥多々良木	流紋岩、輝緑岩、石英斑岩	B,CH	26.00~180.0	33.00~72.00	—	—	0.16~0.33	—	—
太平	砂岩、粘板岩	CH	80.00<	8.20~12.80	—	—	0.25	0.17	0.90
南原	花崗岩	B	—	66.70	1.50	—	0.21	0.10	0.20
馬瀬川第一	石英斑岩、ひん岩	CH	100.00	8.20~12.80	3.00	0.30	0.25	0.30	0.25
新高瀬川	花崗閃緑岩、斑状細粒閃緑岩	B,CM,D	200.0~300.0	6.00~12.00	14.0(C),35.0(B)	—	0.25	0.35	0.70
奥吉野	頁岩、砂岩	CH	80.00<	8.20~12.80	—	—	0.25	0.30	1.00
奥矢作第二	花崗岩	B,CH,CM	80.00<	190.00	1.20 , 3.01	—	0.125,0.25	0.80	1.00
第二沼沢	流紋岩	B,CH,CM	50.40 , 90.50	8.20~12.80	—	—	0.25	0.10	10.00
玉原	礫岩、流紋岩質凝灰角礫岩	CH	124.70	47.80	2.40~3.00	—	0.19	0.40	0.80
下郷	閃緑岩、砂岩	CH,CM	40.00~50.00	1.00~6.00	—	—	0.20~0.25	—	—
蛇尾川（塩原）	斑状流紋岩、凝灰角礫岩	CH,CM	50.0(CM),120.0(CH)	30.0(CM),55.0(CH)	—	—	0.25	0.50	15.00
奥美濃	流紋岩	CH,CM	—	5.00~10.00	—	—	0.25	0.40	1.00
大河内	ひん岩	CH	236.70	76.10	0.80~4.53	11.80	0.25	0.50	1.00
葛野川	粘板岩、砂岩、角礫岩	CH	36.00~250.00	11.70	—	—	—	0.10	30.00
本川	黒色片岩	B,CH,CM,CL	5.90~83.10	10.40~18.30	—	—	0.25	0.70	1.00
高見	輝緑凝灰岩	CM,CL	30.00~40.00	4.90~6.72	—	—	0.23	0.22~0.11	—
俣野川	花崗岩、ひん岩	CH,CM	87.00	64.20	—	—	0.21	0.16~0.23	2.00
天山	花崗閃緑岩	B	60.00~150.00	25.00~80.00	7.50	2.50~10.00	0.25	0.50	1.00
今市	珪質砂岩、角礫岩	CH	43.00~91.00	29.00~44.00	1.60~1.90	4.50~12.20	0.25	0.10~0.40	1.00~30.00
串木野	安山岩、礫岩	HV（B）*	8.70~106.00	0.40~4.50	2.10	1.27~8.98	0.20	—	—
久慈	花崗岩	M（CM）*	26.50~85.30	0.10~4.10	1.80	0.23~7.86	0.30	—	—
菊間	花崗岩	H（CH）*	37.80~108.50	0.30~2.40	3.20	2.79~7.92	0.25	—	—

*：地下備方式。括弧内はそれに概ね対応する電研方式の等級。

（3）既往の収集データとの比較

今回実施した岩盤物性値の調査結果と、動燃殿公開資料の「文献調査による我が国の岩石の物理的特性に関するデータの収集」(PNC TN7410 92-018) における岩種別物理的特性データを比較した。表2.2.5 のデータを岩種別に整理し、各物理的特性データの分布範囲について公開資料におけるデータと併せて表2.2.6 に示す。また、各物理的特性に関して、岩種別に今回の調査結果と公開資料のデータの分布範囲を示すグラフを図2.2.1 ～2.2.5 に示す。

各物理的特性値のデータ分布について、今回の調査結果のデータは、花崗岩類の静弾性係数を除いて公開資料のデータ範囲内に含まれる。これは、データの分布範囲はデータ件数に影響されるため、今回の調査件数が公開資料と比較してかなり少なかったことが原因と考えられる。また、公開資料のデータにおける各岩盤物性の平均値は、必ずしも今回の調査結果における分布範囲に含まれなかったが、これは、調査データ個数の差により、同岩種について、今回の調査結果におけるデータの偏りによるものと考えられる。今回の調査結果における、岩種別および物理特性別のデータのばらつきに関しては、岩種別、物理特性別のデータ件数の差が大きいため明確なことはいえない。

尚、今回の調査結果では岩盤物性データの平均値、標準偏差等の統計量、データ個数は不明であった。

表2.2.6 岩種別物理的特性値データ

岩　種 データ件数		一軸圧縮強度(MPa)		静弾性係数(GPa)		ポアソン比		せん断強度(MPa)		引張強度(MPa)	
		公開資料	調査結果	公開資料	調査結果	公開資料	調査結果	公開資料	調査結果	公開資料	調査結果
花崗岩類	最大値	281.5	300.0	77.50	190.0	0.560	0.300	35.0	35.0	94.2	12.20
	最小値	15.8	26.5	0.00	0.1	0.060	0.125	3.7	0.8	0.2	0.23
10件	平均値	139.1	-	24.10	-	0.290	-	20.0	-	11.9	-
流紋岩類	最大値	327.7	180.0	97.10	72.0	0.460	0.330	48.7	-	22.9	-
	最小値	1.2	26.0	0.18	5.0	0.180	0.160	0.0	-	0.5	-
4件	平均値	109.1	-	16.60	-	0.290	-	16.4	-	7.7	-
玄武岩類	最大値	437.9	106.0	161.00	4.5	0.500	0.200	53.7	2.1	23.2	8.98
	最小値	12.2	8.7	0.00	0.4	0.080	-	1.0	-	2.1	1.27
1件	平均値	141.9	-	25.00	-	0.300	-	23.6	-	10.9	-
新第三紀堆積岩	最大値	378.0	124.7	54.30	47.8	0.670	0.250	98.1	3.0	54.8	12.20
	最小値	0.0	43.0	0.01	29.0	0.070	0.190	0.1	1.6	0.2	4.50
2件	平均値	27.1	-	6.45	-	0.310	-	5.0	-	5.7	-
先新第三紀堆積岩	最大値	359.0	250.0	151.00	24.0	0.290	0.250	78.5	3.0	31.9	1.00
	最小値	0.3	30.0	0.03	4.9	0.060	0.230	0.1	1.5	1.0	0.75
6件	平均値	138.5	-	27.40	-	0.170	-	22.0	-	12.1	-
片岩	最大値	406.1	83.1	136.00	18.3	0.470	0.250	52.3	-	22.5	-
	最小値	0.4	5.9	0.30	10.4	0.050	-	0.5	-	0.2	-
1件	平均値	85.1	-	47.60	-	0.300	-	12.9	-	7.3	-

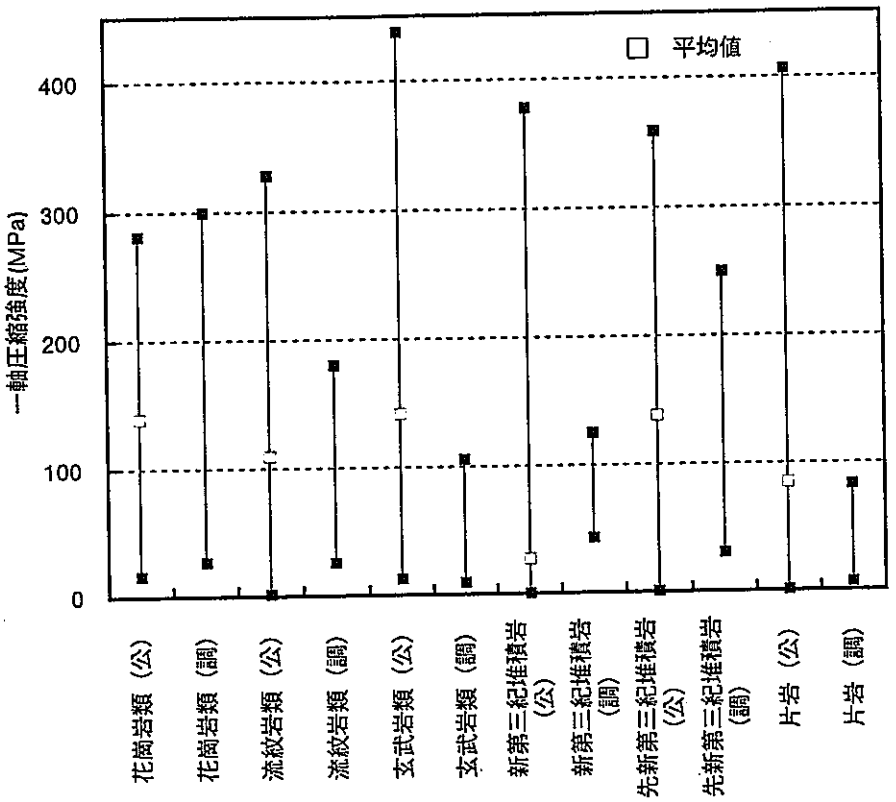


図2.2.1 一軸圧縮強度の分布範囲（公:公開資料、調:今回の調査結果）

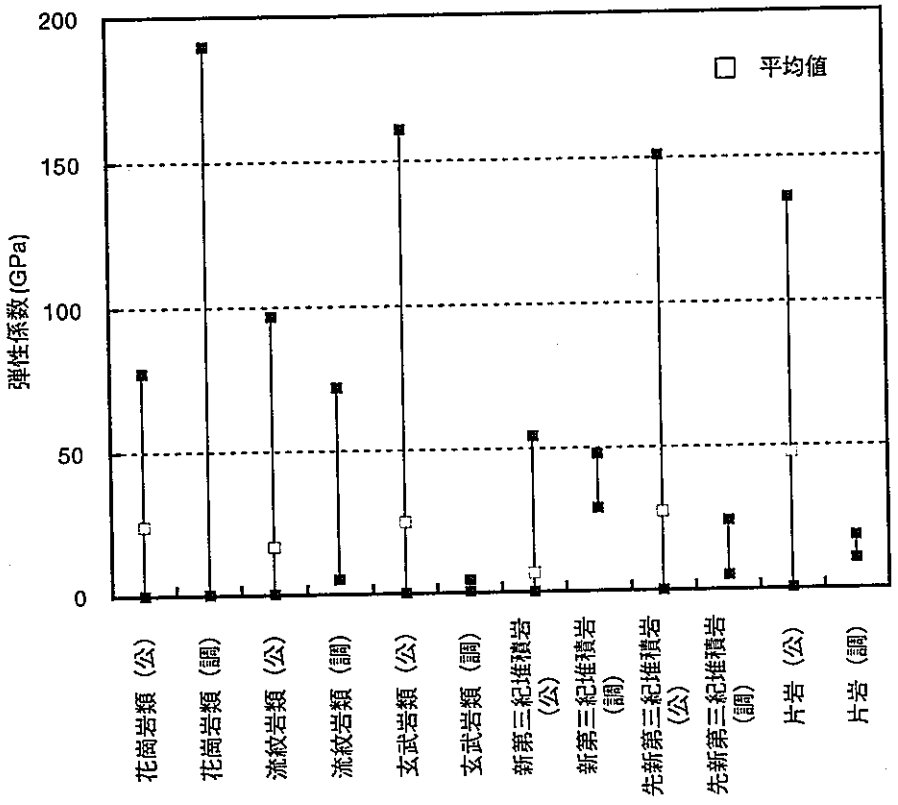


図2.2.2 静弾性係数の分布範囲（公:公開資料、調:今回の調査結果）

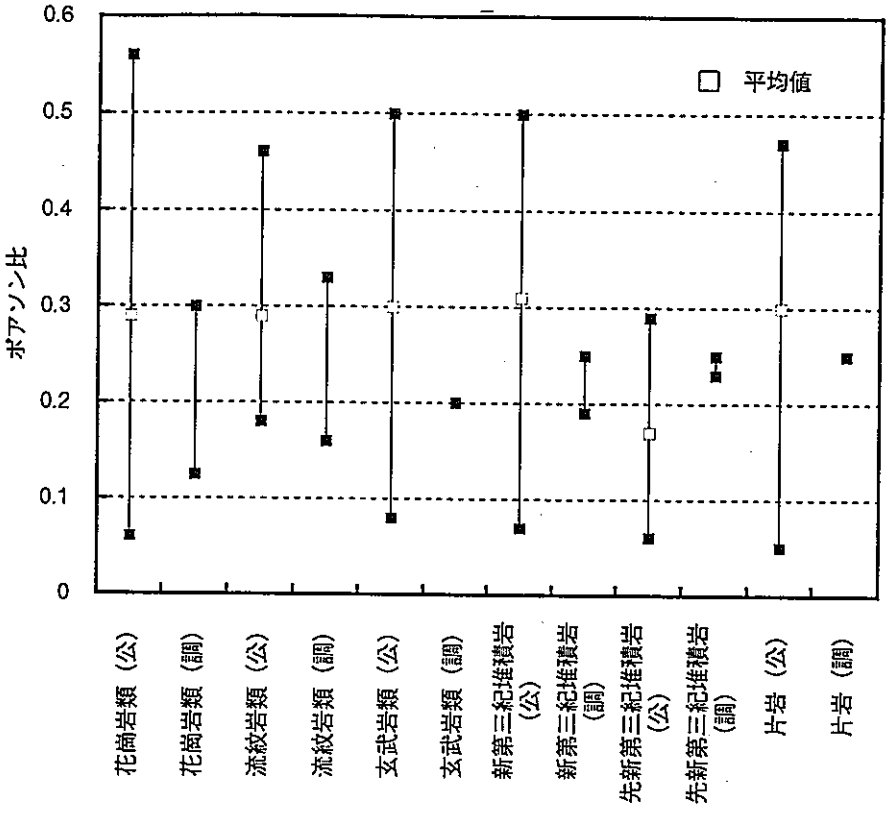


図2.2.3 ポアソン比の分布範囲（公:公開資料、調:今回の調査結果）

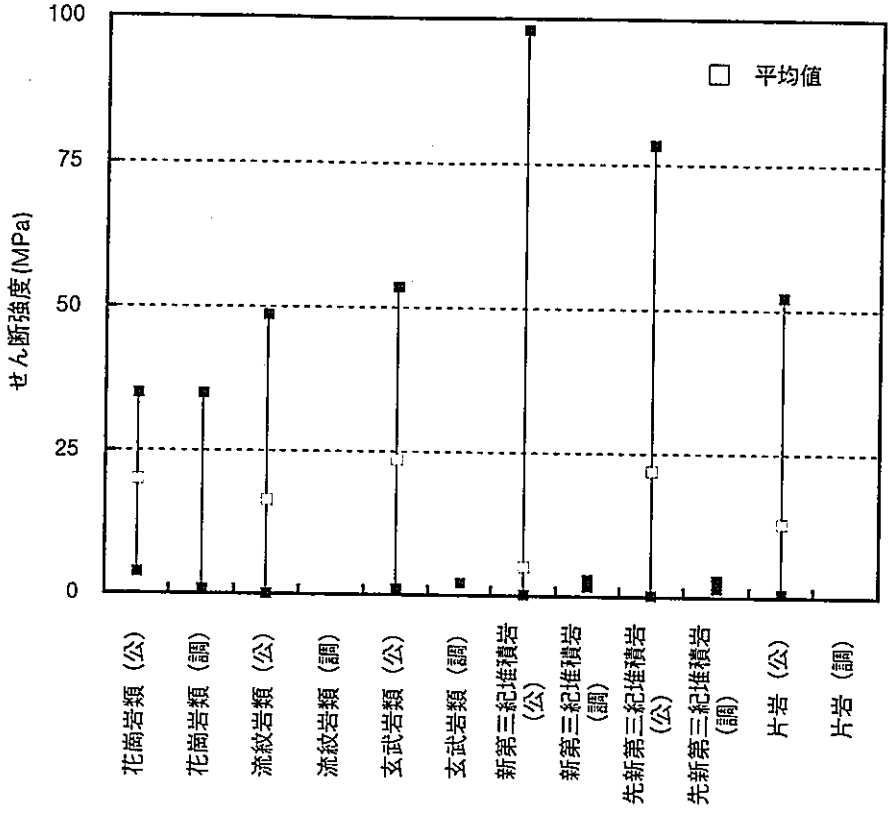


図2.2.4 せん断強度の分布範囲（公:公開資料、調:今回の調査結果）

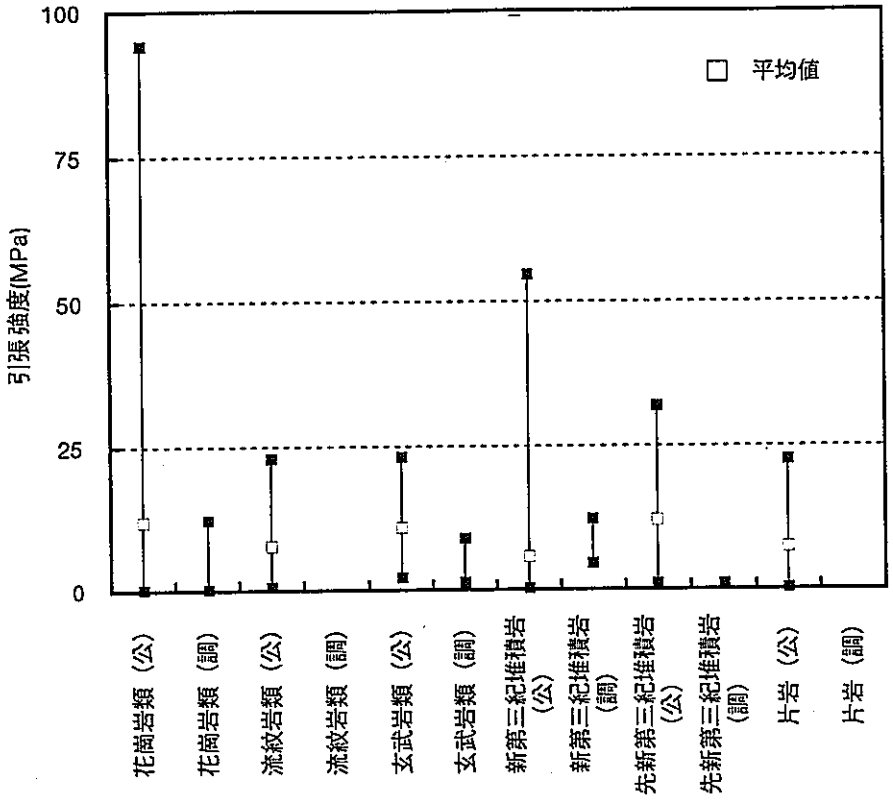


図2.2.5 引張強度の分布範囲（公:公開資料、調:今回の調査結果）

2.2.2 まとめと今後の課題

・地下発電所および地下岩盤タンクの設計施工に関する文献調査においては、岩盤・岩石の力学物性のデータは得られたが、熱特性、水理特性のデータは得られなかった。

・今回実施した岩盤物性値の調査結果と動燃殿公開資料における岩種別物理特性データを比較した結果、今回の調査結果のデータは公開資料のデータ範囲に含まれた。

・今後の課題としては、解析種別によって必要なデータ項目を把握し、収集データの少ない項目について今後のデータ収集法を検討することが必要であると考えられる。

参考文献

1)菊池：地下空洞・地下水への応用，地質工学セミナー，pp.397-436，1994

2)日比野、本島：大規模空洞掘削時の岩盤挙動とライニング設計概念の提案，
土木学会論文集，No.481 Ⅲ-25，pp.125-134，1993

3)日比野、本島：空洞掘削時の岩盤の特性，第25回岩盤力学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ、pp.294-297，1993

4)川本、ｵﾒｰﾙ、土山：大規模地下空洞設計の現状分析とその考察，トンネルと地下，
pp.31-37，1992

5)土木学会：トンネルの地質調査と岩盤計測，1985

6)吉中、桜井、菊池：岩盤分類とその適用，土木工学社

7)㈱大林組：奥美濃地下発電所研究報告書

8)石油公団、（財）ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ振興協会：国家石油備蓄基地（地下備蓄）立地可能性調査
報告書　説明編

9)佐藤他：文献調査による我が国の岩石の物理的特性に関するデータの収集，動燃事業団，
1992 6月，PNC TN 7410 92-018

3．断層離間距離の検討

3.1 断層規模とレイアウトの関係

処分場のレイアウトは、本来サイトスペシフィックなものであり処分予定地が選定された後に設定されるものである。しかし、レイアウト設定の考え方およびそのためのノウハウは、処分予定地選定までに確立しておく必要がある。処分場のレイアウトに影響する要因として、断層の他にも「地形条件」「地下水の流動方向」「帯水層の位置」「主応力の方向」などが考えられる。この内断層とレイアウトの関係として昨年度の検討において、

・（大規模な）断層：処分場として避ける必要のあることから、処分場外縁の輪郭形状に影響する。

・（小規模な）断層・破砕帯：処分区画として避ける必要のあることから、処分区画配置に影響する。

のように考え、前者をＡクラスの断層破砕帯、後者をＢクラスの断層破砕帯と設定した。

また、両者の断層に関して、取るべき離間距離として、

① 建設・操業時において、坑道の空洞安定性を保つために必要な断層・破砕帯からの離間距離

② 坑道の掘削により、断層・破砕帯が開口、ズレなどの影響を受け、その結果透水性が増大するなど、地層が本来有していたバリア機能に影響がでることを避けるために必要な離間距離

③ 移行ルートとなる可能性のある断層・破砕帯について、廃棄体から断層までの移行距離として、安全評価上必要と考えられる離間距離

を考えた。また、予想される離間距離の大きさは、離間距離①＜離間距離②＜離間距離③と考えられ、また設計研究で扱うものはこの内①と②であることから、本研究において検討対象とするのは、②の離間距離と考えた。さらに、断層とレイアウトの関係における課題として、

課題１：どの程度の規模以上の断層がＡクラスとなるのか

課題２：ＡクラスおよびＢクラスの断層からの離間距離は何m必要か

の２つの観点をあげ、この内サイトスペシフィックな性格の薄い課題２について解析的検討を行い。離間距離の目安の一つとして「坑道径の３倍」という結果を得た。

本年度においては、断層のクラス分けや離間距離の検討に参考となると考えられるスイ

ス北部とスウェーデンのフィンジョンサイトの事例を調査し、その考え方の整理を行うと共に、次節において感度解析的検討を行うものとする。

3.1.1 スイスにおける断層のモデル化

スイスでは、サイト特性調査をフェーズⅠ、フェーズⅡ、フェーズⅢの3段階で計画しており、現在1981年～1993年までのフェーズⅠが終了し、フェーズⅡ、Ⅲの計画が進められている段階である。

フェーズⅠでは、7本の深層ボーリングを含め広範な地質調査がスイス北部において実施されてきた。この調査範囲は図－3.1.1 に示すように、東北～南西方向に約90km、北西～南東方向に約30kmであり、これはスイスにおける「広域調査」として位置づけることができる。

従って、スイスの結晶質岩における断層モデルや断層とレイアウトの関係は、処分場スケールではサイトジェネリックなものと言えるが、その基礎となる広域スケールでは、既にサイトスペシフィックなものとなっている。以降に述べる断層規模等の記述は、フェーズⅠ結果をまとめたTECHNICAL REPORT 93-01 [Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland] の関係部分を参考にまとめたものである。

(1) 断層のクラス分け

スイスでは断層等の不連続面を大きく以下の4つに分類している。

a. 1st、2ndオーダーの断層（広域(regional)レベルの大規模な断層）

b. 3rdオーダー以上の断層（より小規模な断層で、一般に地域(local) レベル。しばしば1st、2ndオーダーの断層に関連する）

c. 充填物のない不連続面（オープンジョイント）

d. 充填物のある不連続面（ダイク、鉱脈）

また、より詳細な分類とその規模等については、表－3.1.1 に示すように定義している。この内、処分場レイアウトにとって最も重要な「1st、2ndオーダーの断層」については以下のような記述がある。

・地図上ではしばしば単純な線で表されるが、それぞれ固有の幅と複雑な内部構造を持っている。

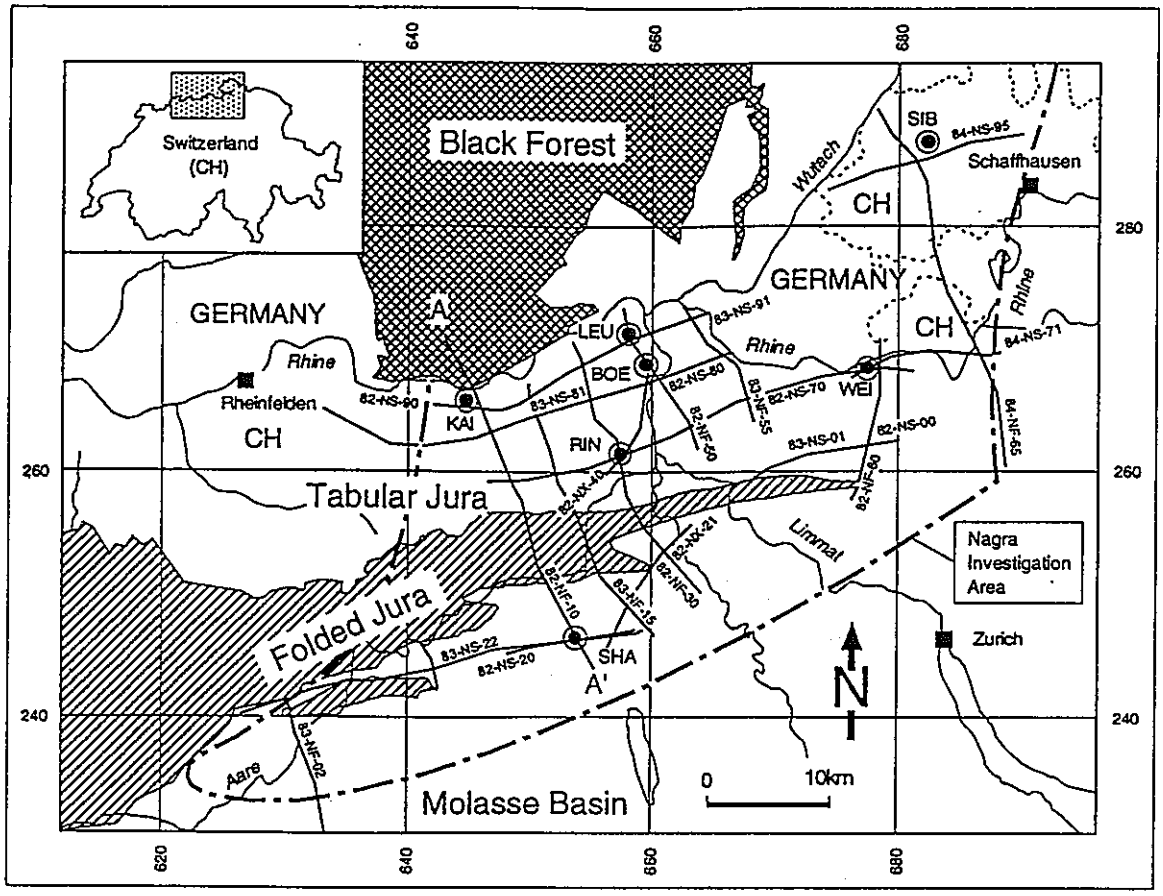


Fig. 2-1a : Nagra investigation area with locations of reflection seismics lines and deep boreholes in Northern Switzerland (Nagra boreholes: BOE = Böttstein, WEI = Weiach, RIN = Riniken, SHA = Schafisheim, KAI = Kaisten, LEU = Leuggern, SIB = Siblingen).

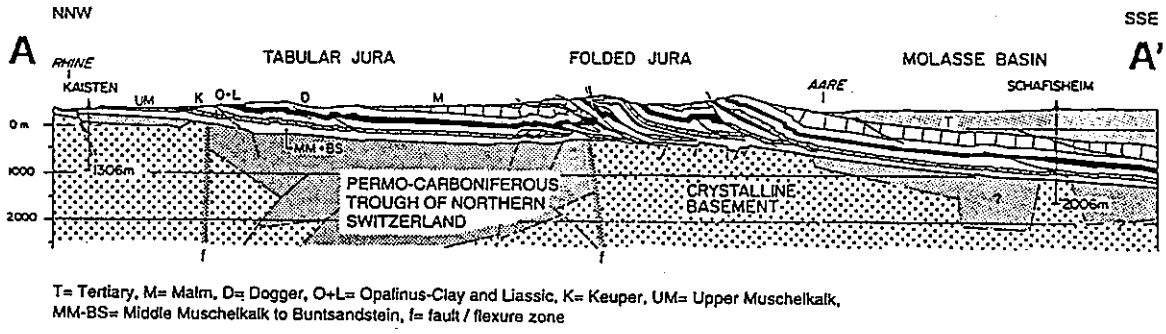


Fig. 2-1b : Geological cross-section A-A' (cf. Fig. 2-1a) through the Nagra investigation area along reflection seismics line 82-NF-10. From DIEBOLD (1986).

図−3.1.1 スイスのフェーズⅠにおける調査領域

表－3.1.1　スイス北部結晶質基盤岩における断層・不連続面の分類

定義		地質学的な確認		特徴とモデリング
不連続面	特　性	地表	ボアホール	
深部に達する構造線（リニアメント等）	・変位：1km以上（鉛直、水平） ・長さ：10km以上 ・幅：100m～1km以上	広域のマッピング 空中写真 物理的探査	マッピング と地震探査による情報に加えて求められる確認	超広域の構造で、モデルの境界条件となるのみ。 大ブロックの範囲を規定し、1st,2ndオーダーの断層ネットワークよりなる。
1stオーダーの断層（または断層区域）	・変位：100m以上（鉛直、水平） ・長さ：10km以上 ・幅　：100m～1km（通常枝別れを持つ）	物理探査（通常地震探査） 形態構造分析		重要で優勢な構造。位置はよく知られている。 非常に不均質で多面的。
2ndオーダーの断層（または断層区域）	・変位：10～100m（鉛直、水平） ・長さ：数km～約10km ・幅　：数m～100m	地震探査 マッピング 形態構造分析		多様な要素。広域レベルで断層としてモデリング。 一部は1stオーダーの断層の支部をなす。 サブブロックの境界となる。
3rdオーダーの断層	・変位：1～10m ・長さ：数十m～2,3km ・幅　：数十cm～数m	地質マッピング	コア調査＋検層	広域レベルの構造が不明のため、モデルには考慮されない。ボアホール近傍の地域（局所）でのみモデル化が可能。
小断層	・変位：1m以下 ・長さ：10m程度 ・幅　：数十cm以下	地質マッピング 多くは露頭		広域でのモデル化は不可能。 大規模断層区域のサブシステム。
ジョイント、フィッシャー	・変位：なし ・長さ：10cm～10m ・幅　：mm～cm程度	詳細な露頭 マッピング	コア調査、検層＋薄片調査	断層に伴い異なる破砕帯を発生するか、空間的に広範なシステム。限定された広域においてモデリング 広域で限定されたモデリングが可能。
ダイク、鉱脈	・厚さ：20cm以上（鉱脈の場合30cm以上） ・長さ：10m～2,3km（多くは明瞭な亀裂パターンと一定の方向性を持つ）	現地腸調査によるマッピング 物理探査（磁気探査等）		一定の方向性をもつ盤状の構造。地域または広域レベルで限定されたモデリングが可能。
鉱脈	・厚さ：20cm以下 ・長さ：cm～数m（明瞭な亀裂パターンや一定の方向性はない	詳細な露頭 マッピング		二次的なレベル。 広域のモデリングは不可能。
移動、貫入、析出	・厚さ：cm～十cm程度 ・長さ：cm～2,3m（しばしば物質沈殿と関係する。	詳細な露頭 マッピング		岩質的な不連続。 断層によりオーバープリントされた場合のみ重要。

・断層の幾何形状は、ネットワークを構成する複数のせん断面からなり、間にレンズ状の健岩部分を持つ。このレンズ状の部分（この部分に処分区画が配置される）は、体積的には破砕された部分より多くを占める。

・せん断面のネットワーク構造という幾何構造は、どのスケールにおいても存在する（自己相似性を持つ）。幅100m～1kmの断層スケールから、1～10m 程度のトンネルスケール、cm単位のボアホールスケール、mmスケールまで存在する。

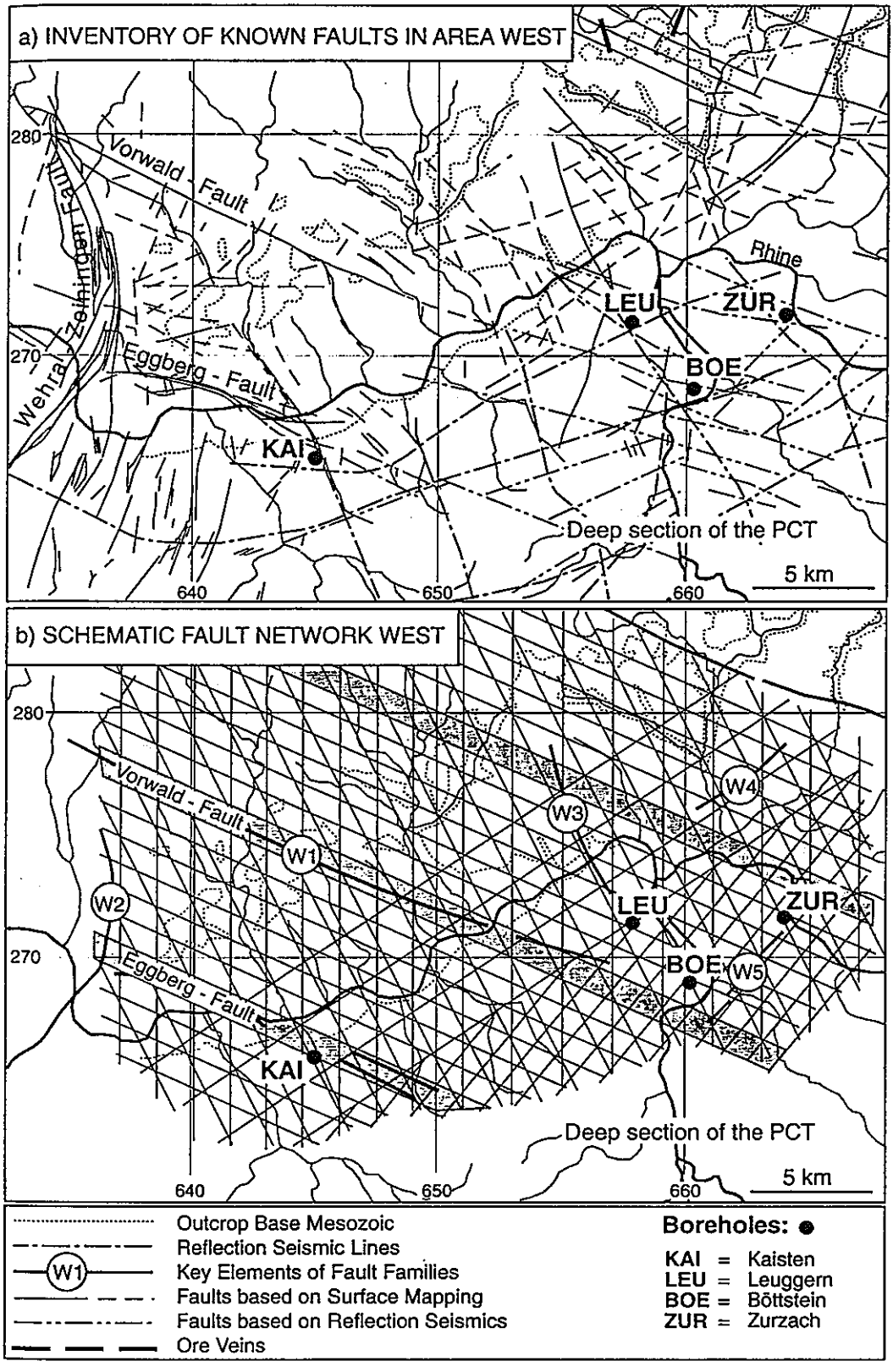
・ネットワークの中では、ごく少数のせん断面のみが活性状態にある。すなわち、せん断ひずみはほんの数カ所に集中していることになる。

・断層区域の形成と特性は、広域レベルの分析のみによって特定される。多くの断層区域はさまざまな地質条件において活動期間を経ていることから、その変動について一概に論じることはできない。

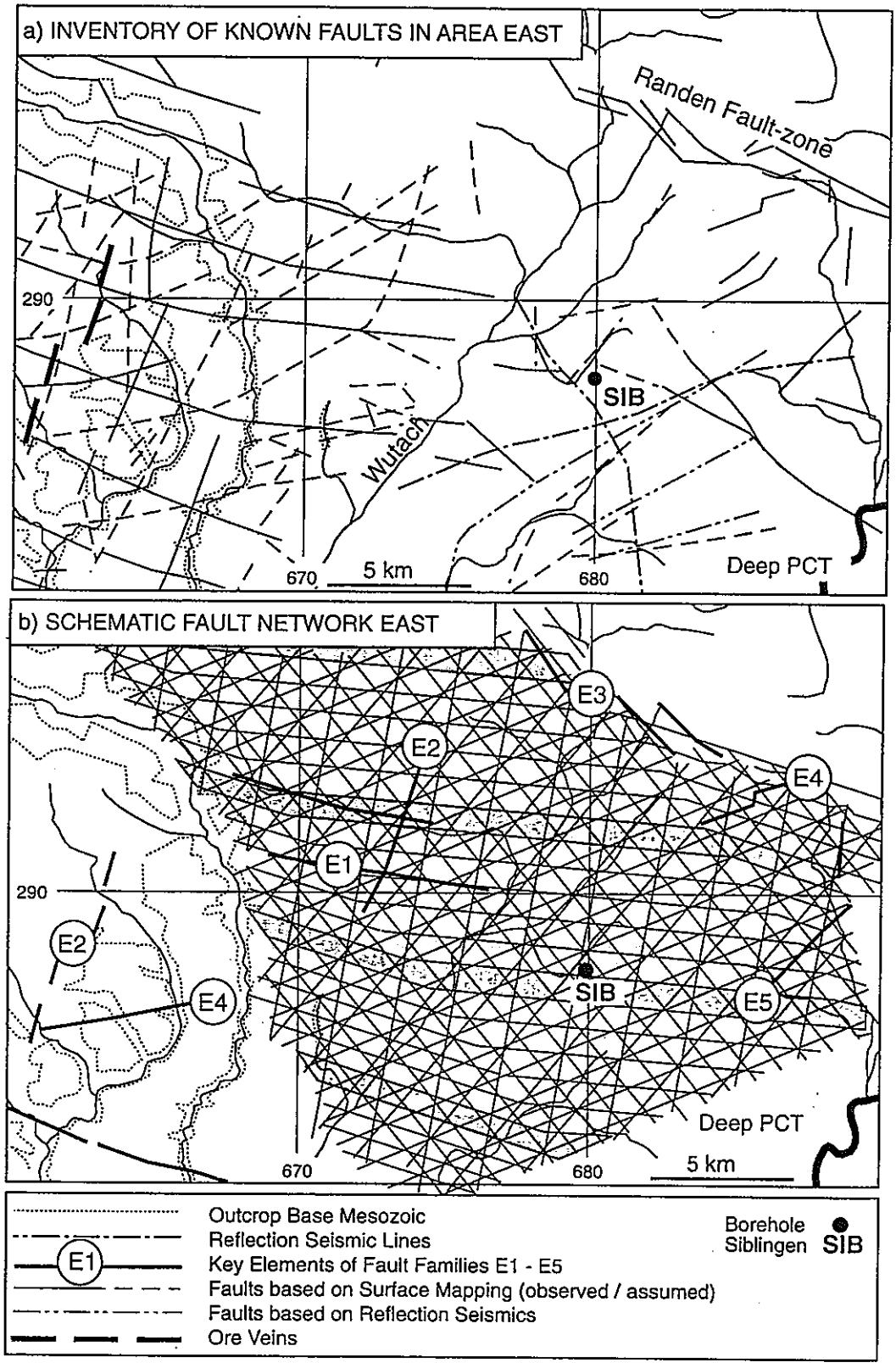
(2) 断層のモデル化

フェーズⅠにおけるボーリング調査および反射法地震探査の結果を総合して、断層についての情報が編集される。モデリングの過程でモデルから除外するデータを選定し、結果として得られるのは既知の1st、2ndオーダーの断層のネットワーク図となる。このネットワーク図上で、いくつかの断層群が特定される。一つの断層群は、一定の走向傾斜を持ち、直線でモデル化される。断層群と断層群は、走向によって区別される（異なる断層群は異なる走向を持つ）。一つの断層群は平行で等間隔にモデル化される。この間隔はデータがあればそれに基づくが、さもなければ保守的な想定が必要となる。このようにして概念的な断層ネットワークを作成する。モデル化された断層の内、ごく一部のみが実際の断層と対応することになる。なお、3次元の断層モデルを構築する場合には、このモデルに断層の傾斜の情報を加えて行われる。

このような手順で作成されたスイス北部の西地区と東地区の断層ネットワークモデルを、図－3.1.2 と図－3.1.3 に示す。いずれの図も、上側が実際に特定された断層であり、下側がモデル化された断層ネットワークである。このネットワークに囲まれた部分に処分区画が配置されることになる。



図－3.1.2 スイス北部・西地区の断層とそのモデル化



図－3.1.3 スイス北部・東地区の断層とそのモデル化

(3) 処分場配置の可能性検討

スイスでは、水理的に有意な断層（1st、2ndオーダーの断層）の間に処分区画の配置スペースとして、少なくとも100,00㎡（200m×500mに相当）が必要と考えており、このような岩体を発見出来る可能性を評価するために、前述の断層ネットワークモデルを用いて統計的な検討を行っている。この検討のためのモデルとして、間隔が5～7kmの1stオーダーの断層をモデル境界とした、2ndオーダーの断層ネットワークモデルが考えられている。このネットワークのパラメータは、表－3.1.2 に示すとおりである。このことからスイスでは、1stオーダーの断層を処分場として避けるべき断層、2ndオーダーの断層を処分区画として避けるべき断層としていることがわかる。

表－3.1.2 2ndオーダーの断層群のパラメータ

	断層群1	断層群2	断層群3	断層群4
間　　隔（km）	1.0	1.7	1.7	1.0
走　　向（°）	290±10	180±10	330±10	240±10
傾　　斜（°）	90±10	90± 5	90±20	75± 5
間隔変動（m）	50	66	66	50

このパラメータにおいて１００ケースのモデルが作られており、図－3.1.4 に示すものはその一例である。なお、このモデルにおける2ndオーダーの断層の幅は対数正規分布に従うものとし、最頻値を20m として断層の99%が幅90m 以下の範囲にあるとしている。各ケースのモデルにおいて断層に囲まれたブロックの面積が計算されており、この結果、60km² のモデル区域における平均値として、

100,000～ 250,000m²の岩体：２２個（表面積の 5%）

250,000～ 500,000m²の岩体：１８個（表面積の11%）

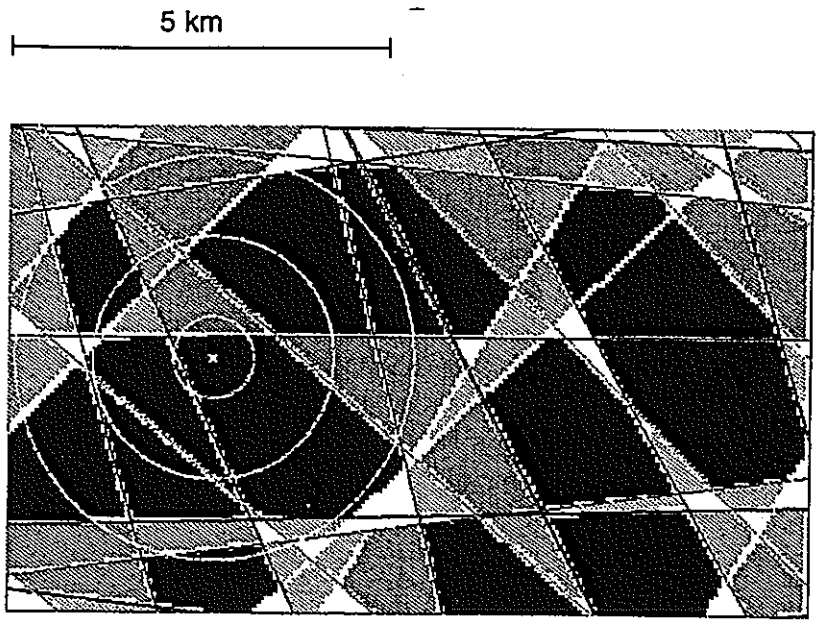
500,000～1000,000m²の岩体：１７個（表面積の20%）

1,000,000m²以上の岩体：１４個（表面積の41%）

という値が得られている。これらの結果には多くの不確定要素はあるものの、それらを考慮した上で以下を結論付けている。

・半分以上の面積が、適切な大きさの岩体ブロックより構成されると考えられる。

・フェーズⅡにおいて地表の一か所から放射状に掘削される4本のボーリング（カバーできる範囲は1km×1km）調査により、少なくとも1個の岩体ブロックが発見できる見込みが高い。



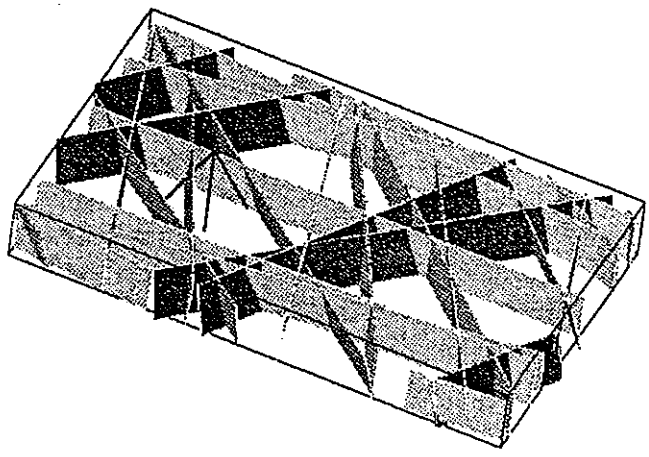


Fig. 11-2 : Example of a realization of a synthetic fault network; plan view (above) and three-dimensional view (below). Shaded blocks indicate sizes larger than 100,000 m^2 (light grey), 250,000 m^2 (medium grey), 500,000 m^2 (dark grey) and 1,000,000 m^2 (black). The concentric circles represent distances of 500, 1500 and 2500 m from a randomly located vertical borehole.

図－3. 1. 4 岩体ブロック検討のための断層モデルの例

・放射状のボーリングで発見できる断層と共に、発見できない断層もあり得る（この断層はフェーズⅢの坑道調査により発見される）。断層の方向は弾性波トモグラフィーで特定できると考えている。低透水性区域にある断層については水理特性を把握することができるが、高透水性区域にある断層については把握が困難であり保守的な仮定が必要となる。

・弾性波トモグラフィーが、考えられているほど有効でない場合には、断層の方向や低透水性岩体の大きさについて、不確実性がより大きなものとなろう。

(4) 処分場配置の考え方

地質モデルとして、低透水性の基盤岩である結晶質岩の上部に高透水性の地層を仮定し、また水理的に有意な断層の間隔を数百m～1km程度と仮定している。このような地質モデルにおいて、処分深度は地層境界より１００m以深、断層との離間距離は１００mとしている。この理由として、低透水性の結晶質基盤岩が１００mあれば、その部分で処分場からでた核種のほとんどが有効に保持されることが、安全解析により示されていることを上げている。また、地表の風化は百万年で最高 200mと予想されていることから、処分深度は 400m以深とされている。このような考え方の基に現在想定されている処分場の概念を、図－3.1.5 に示す。

1994年の安全解析の結果、人工バリアの性能が予想より高いことが分かり、ロバストな安全の考え方において天然バリアにおける核種の保持は、もはやクリティカルな要素ではなくなった。このようなケースにおいては、断層からの離間距離 100mはもっと小さくなるかもしれず、もし建設と閉鎖が可能であれば、処分坑道は2ndオーダーの断層を貫いて建設され、廃棄体はこの内低透水性の部分のみに定置されることになるかもしれないとしている。

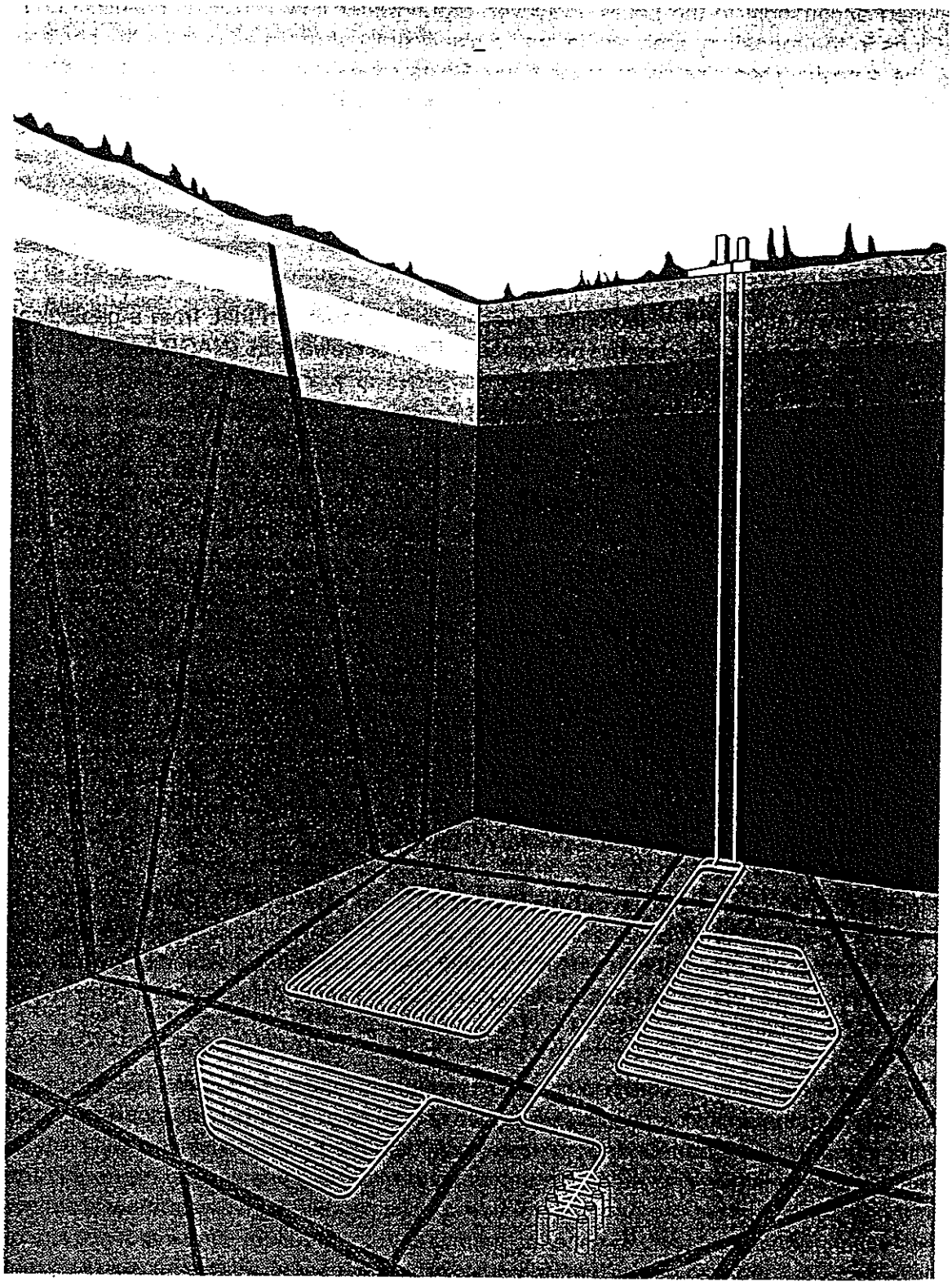


Fig. 12-3 : Sketch showing a repository concept for HLW/TRU in the crystalline basement of Northern Switzerland (variant with repository on one level).

図－3.1.5 フェーズⅠにおける処分場概念図

(5) フェーズⅡ、Ⅲの計画

約９０km×３０kmの広域エリアのフェーズⅠのサイト調査の結果、図－3.1.6 に示す２つの地区（西地区と東地区）が、結晶質基盤岩の適性深度賦存地域として選定されている。これら区域の大きさはスケールアップによると、

・西地区：２６km×６km

・東地区：１５km×５km

であり、これは大体１０km×１０km＝１００km² 近辺の大きさとなる。

この地域を対象として図－3.1.7 に示すような、フェーズⅡ、Ⅲのサイト特性調査が実施されることとなっている。フェーズⅡは地表からの調査、フェーズⅢは地下での調査であり、それぞれ以下に示すような複数のステップを踏んで実施される予定である。

＜フェーズⅡ＞

・ステップ１：反射法地震探査

・ステップ２：１本の鉛直ボーリング

・ステップ３：４本の斜め放射状ボーリング

・ステップ４：立坑位置での先行ボーリング

＜フェーズⅢ＞

・ステップ５：立坑の掘削

・ステップ６：水平ボーリングと調査横坑の掘削

・ステップ７：詳細調査（ボーリング、試掘坑道、原位置試験等）

この内ステップ６は、廃棄体の処分に必要な大きさの岩体ブロックが特定されるまで続けられ、このステップの終了時点で処分場のレイアウトが最終的に設定されることになる。

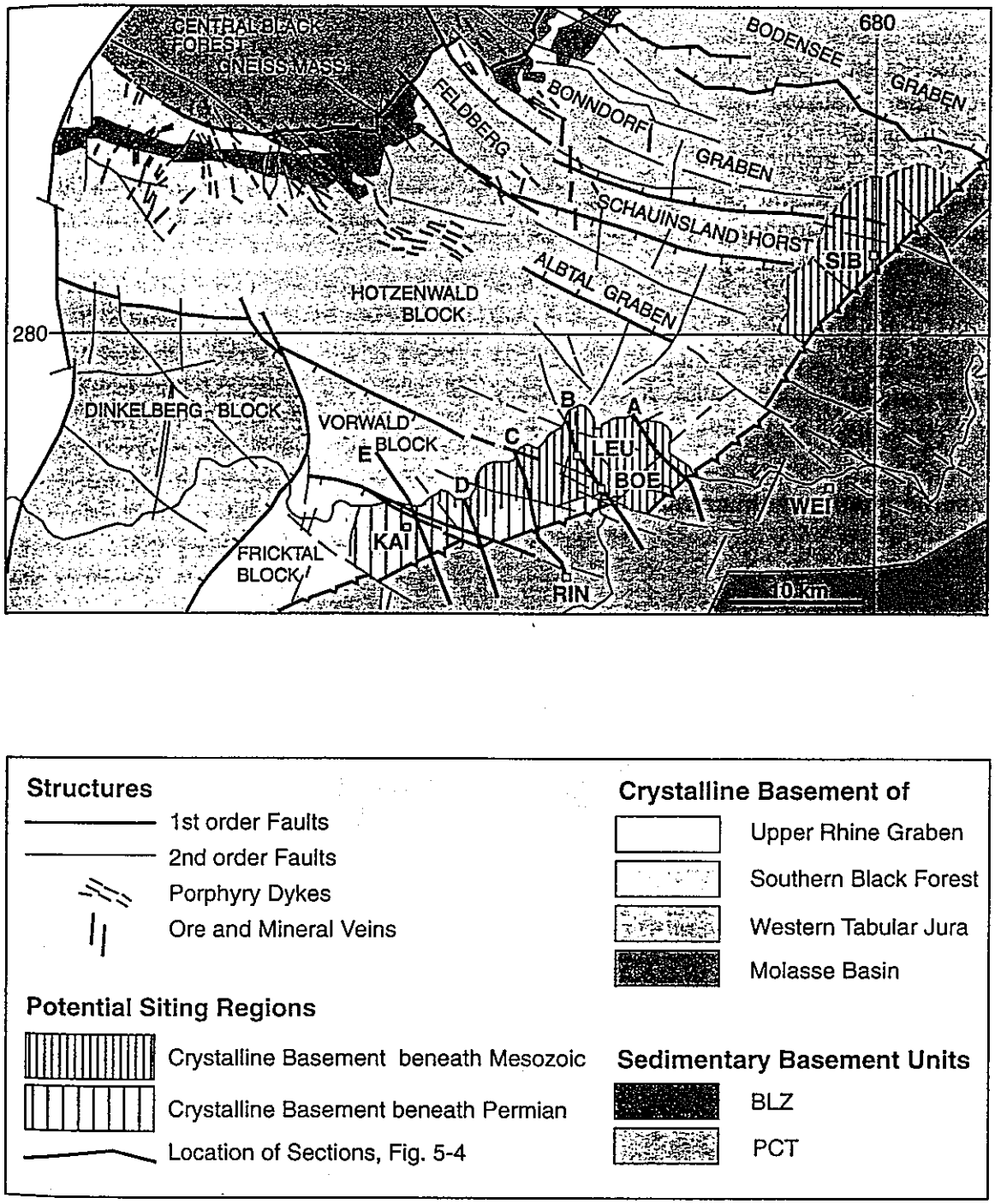


Fig. 5-5 : Overview of the basement of the Black Forest - Northern Switzerland and adjacent units; Mesozoic/Tertiary uncovered.

図－3. 1. 6 フェーズ位置の結果選定された区域（縦線部分）

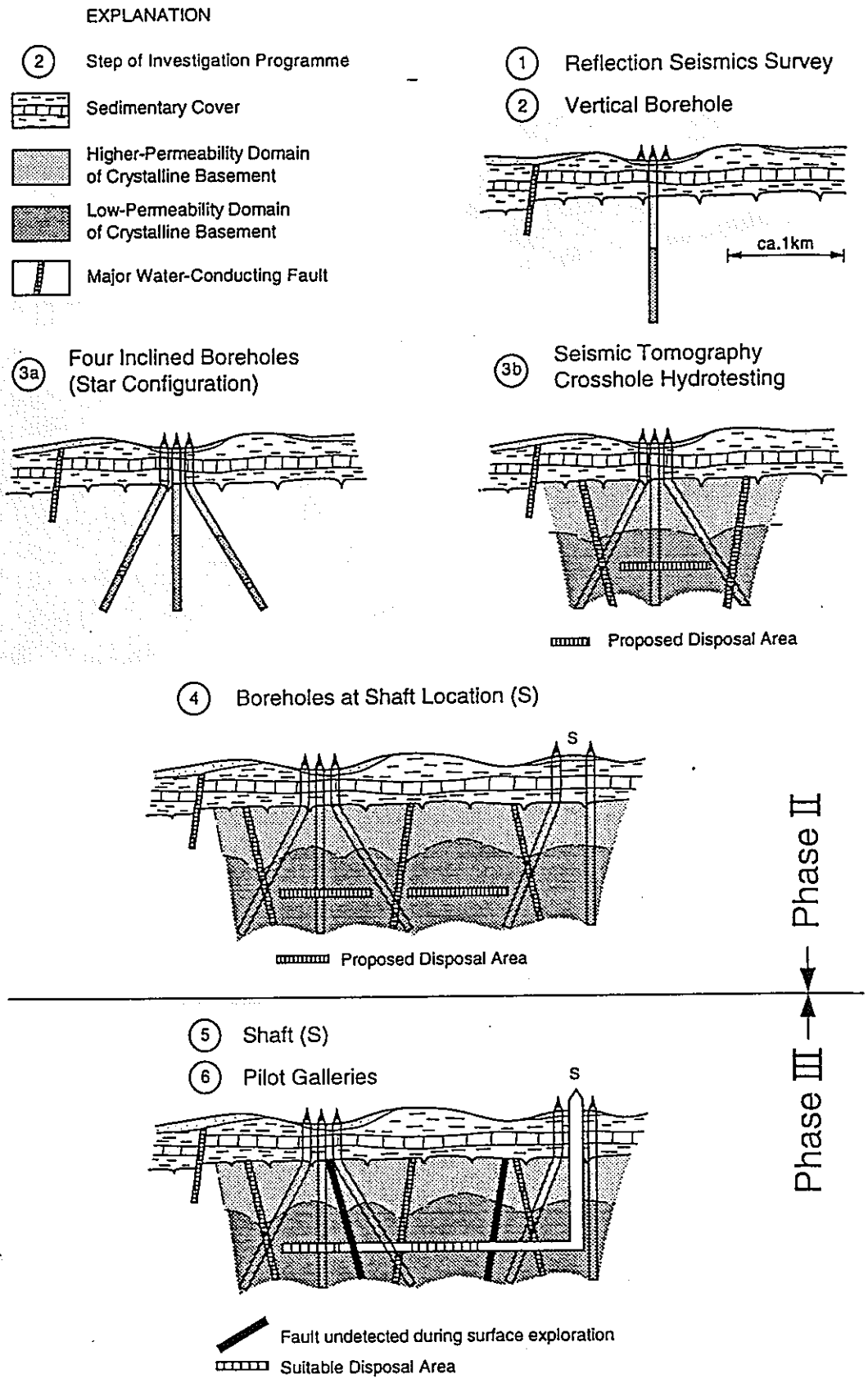


Fig. 11-1: Illustration of the investigation concept.

図－3.1.7 フェーズⅡ、Ⅲのサイト特性調査予定概念

3.1.2 スウェーデン・フィンジョンサイト

フィンジョンサイトはジェネリックな処分場を検討し、安全評価を行うスタディサイトとして選定された。ここでは１９８５年から地質と水理地質に関して詳細な調査が実施された。調査は以下の３段階のスケールで行われ、調査結果もそれぞれのスケールで記述されている。

・広域(Regional)スケール　　：５０km×５０km

・準広域(Semi-regional) スケール：１０km×１０km

・地域(Site(local)) スケール　　：　２km× 2.5km（フィンジョンサイト）

この３段階のスケールの関係を、図−3.1.8 に示す。

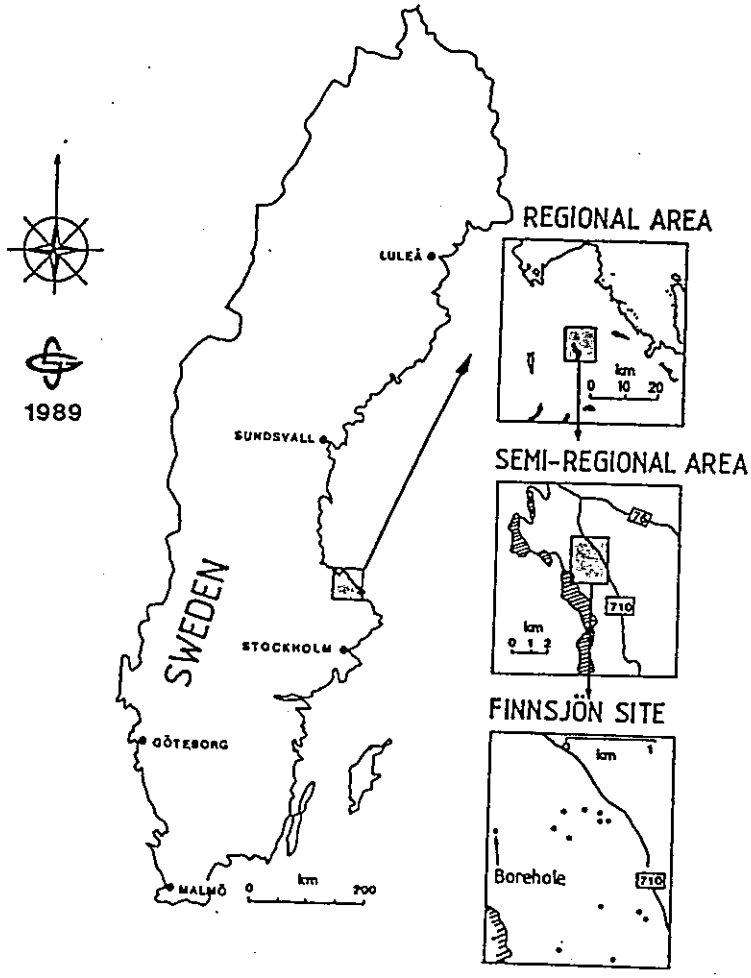


Figure 1. Location of regional area (northeastern Uppland), semi-regional area (Gåvastbo area), and Finnsjön site (local area).

図−3.1.8 フィンジョンサイトのロケーション

以降に述べる内容は、地質調査の結果を記した、TECCHNICAL REPORT 91-08 [Orverview of geologic and geohydrologic conditions at the Finnjon site and its surroundings] と同サイトにおける処分場の配置例を示した、TECCHNICAL REPORT 91-36 [Tentative outline and siting of a repository for spent nuclear fuel at the Finjon site.SKB 91 reference concept] の内容を参考にまとめたものである。

(1) 広域の地質

広域の構造としてのリニアメントは、1／25万の地形図から設定された。これを図－3.1.9 に示す。図に示されたリニアメントの内実際に詳細な調査が行われたのは、一本のみであり（図－3.1.9 のSingo Fault)、これは、ＳＦＲの建設に際して調査されたものである。このリニアメント（断層）は、幅１００m～２００mで、約１００mの変質帯と中央に約１５mの破砕された部分を持つ。透水係数は 4×10^{-6}m/s ～5×10^{-7} m/s となっている。

(2) 準広域の地質

準広域の構造としてのリニアメントは、1／5万の地形図から設定された。これを図－3.1.10に示す。広域スケールにおいて、ひとつのリニアメントとして示されたものは、準広域ではより小規模なリニアメントの連鎖として表される。また、岩盤ブロック構造の階層として、図－3.1.11に示すような4段階を設定している。

(3) 地域の地質

地域（フィンジョンサイト）の構造としてのリニアメントは、1／1万の地形図から設定され、この結果は空中写真により検証されている。これを図－3.1.12に示す。地域スケールでは、主要なリニアメントは3つのグループとなる。

・南北リニアメント：地域の北東部と南西部で顕著なリニアメント。この内の一本（図－3.1.12におけるＧ）は、地域の岩体の東境界となっている。

・北西リニアメント：地域全般に現れるリニアメントであり、グラノドライトの節理に平行。

・北東リニアメント：頻繁に現れるが、持続性はない。例外は図－3.1.12におけるＢであり、このリニアメントにより地域岩体は2つに分けられる。

地域スケールにおいても岩盤ブロック構造の階層として、図－3.1.13に示すような4段階を設定している。

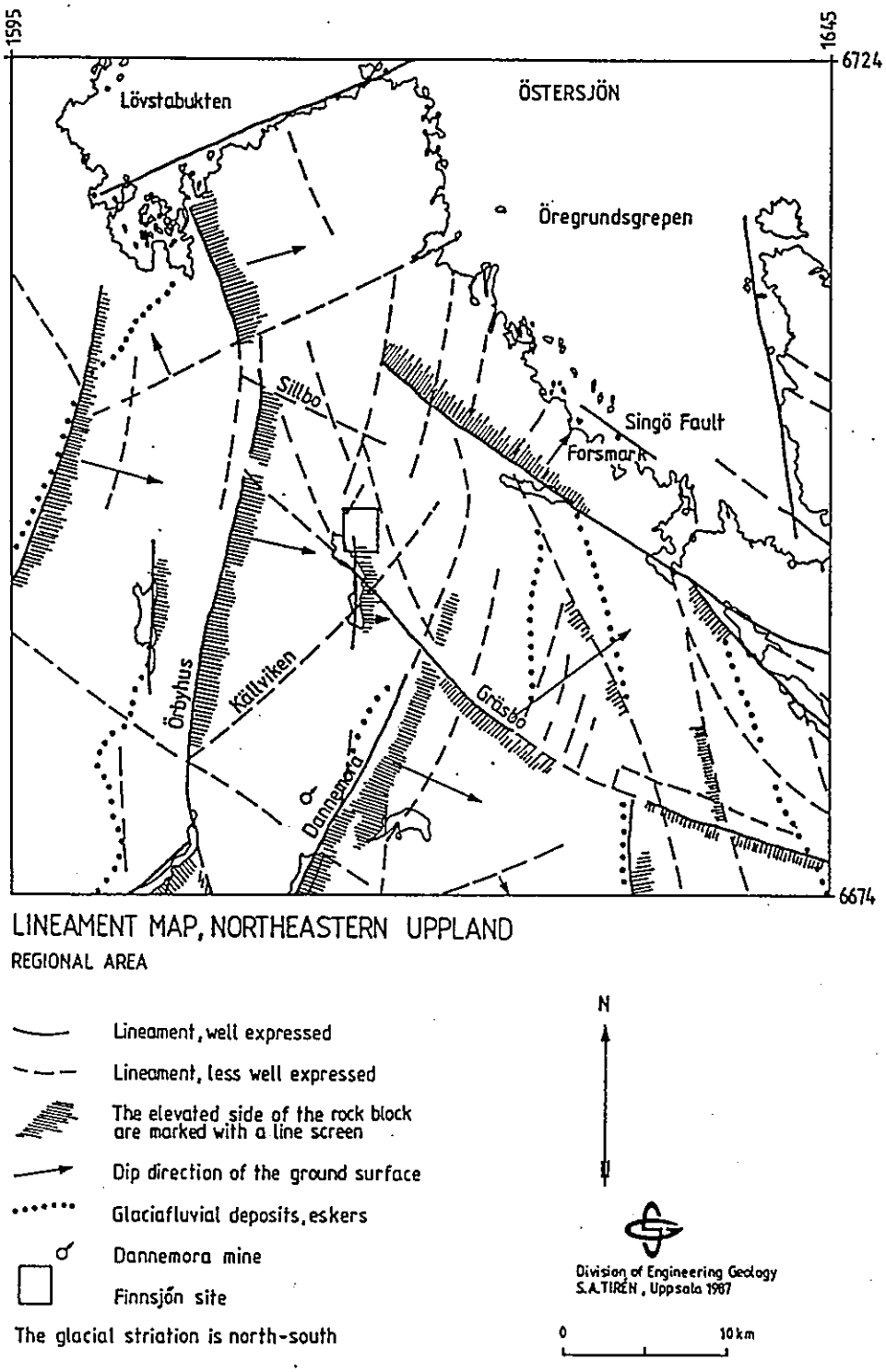


Figure 3. Lineament map of northeastern Uppland, regional area.

図－3.1.9 広域スケールにおけるリニアメント

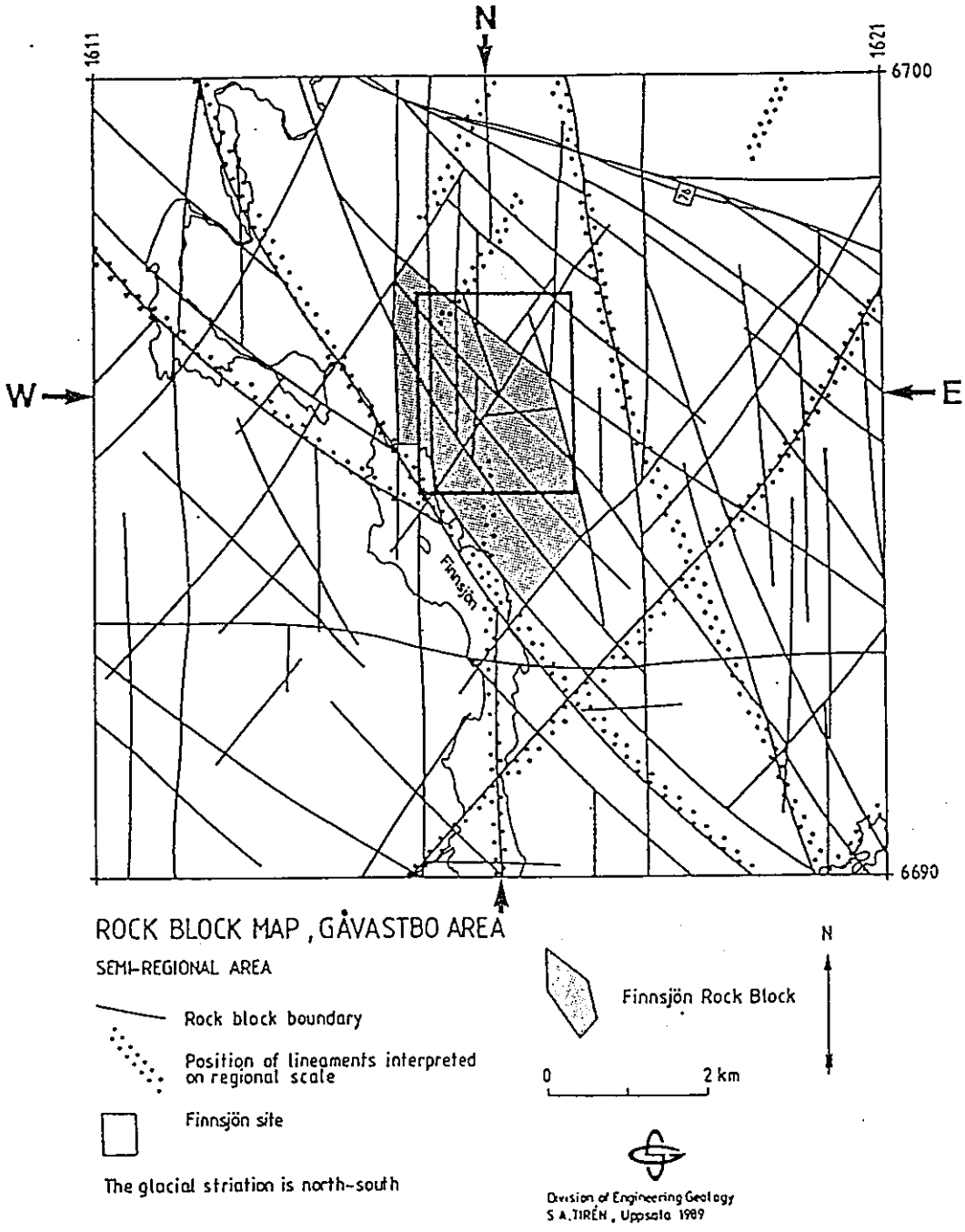


Figure 5. Rock block map of the Gåvastbo area, semi-regional area. Location of the geological cross-sections in Figure 7 are marked by arrows.

図－3. 1. 10　準広域スケールにおけるリニアメント

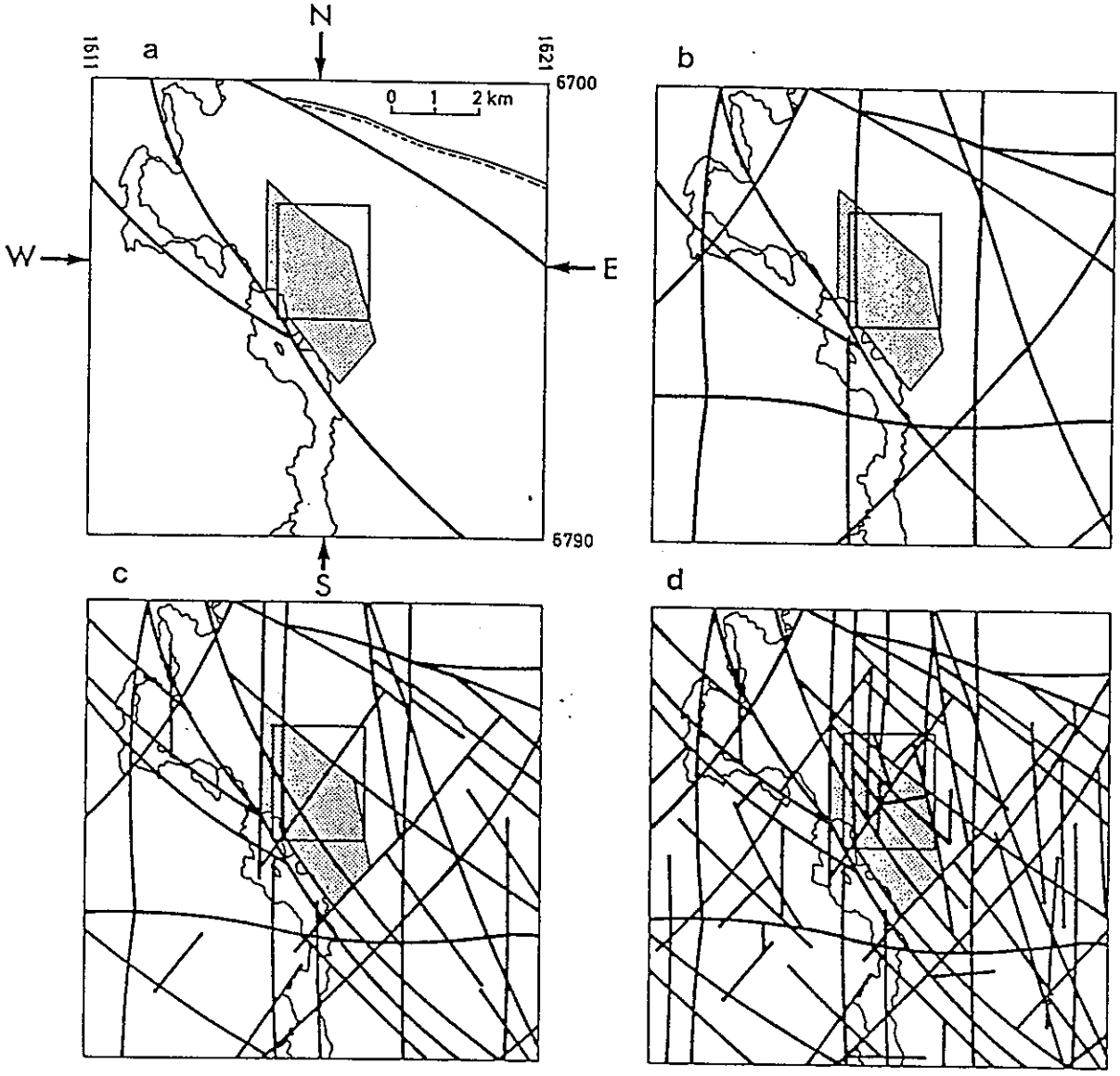


Figure 6. Four orders of rock block boundaries in the Gåvastbo area.: a. first order structures, b. with second order structures added, c. third order added and d. all four order structures compiled.

図－3. 1. 11　準広域スケールにおける岩体構造の階層

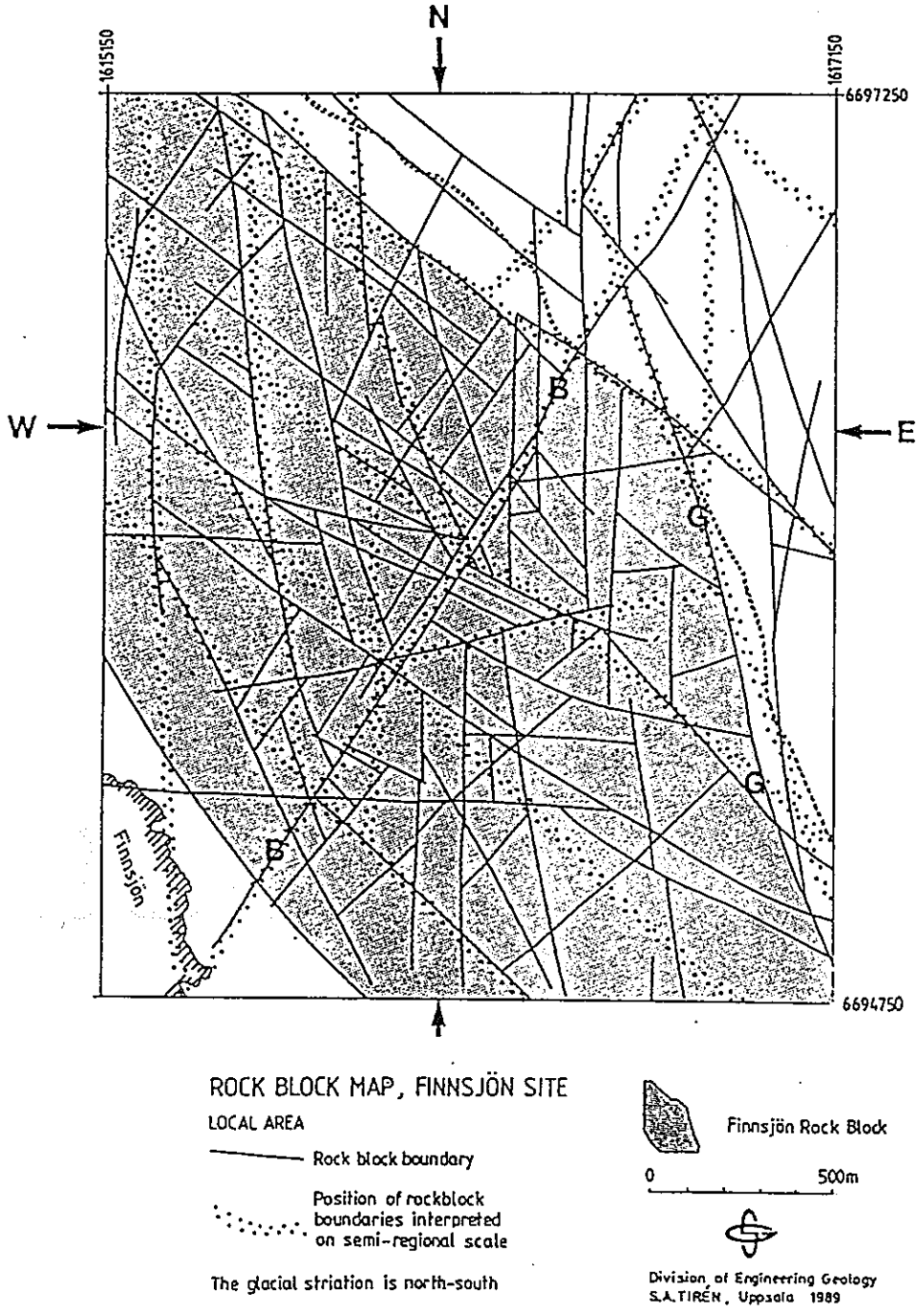


Figure 10. Rock block map of the Finnsjön site. Rastered area is a part of the Finnsjön Rock Block.

図−3.1.12 地域スケールにおけるリニアメント

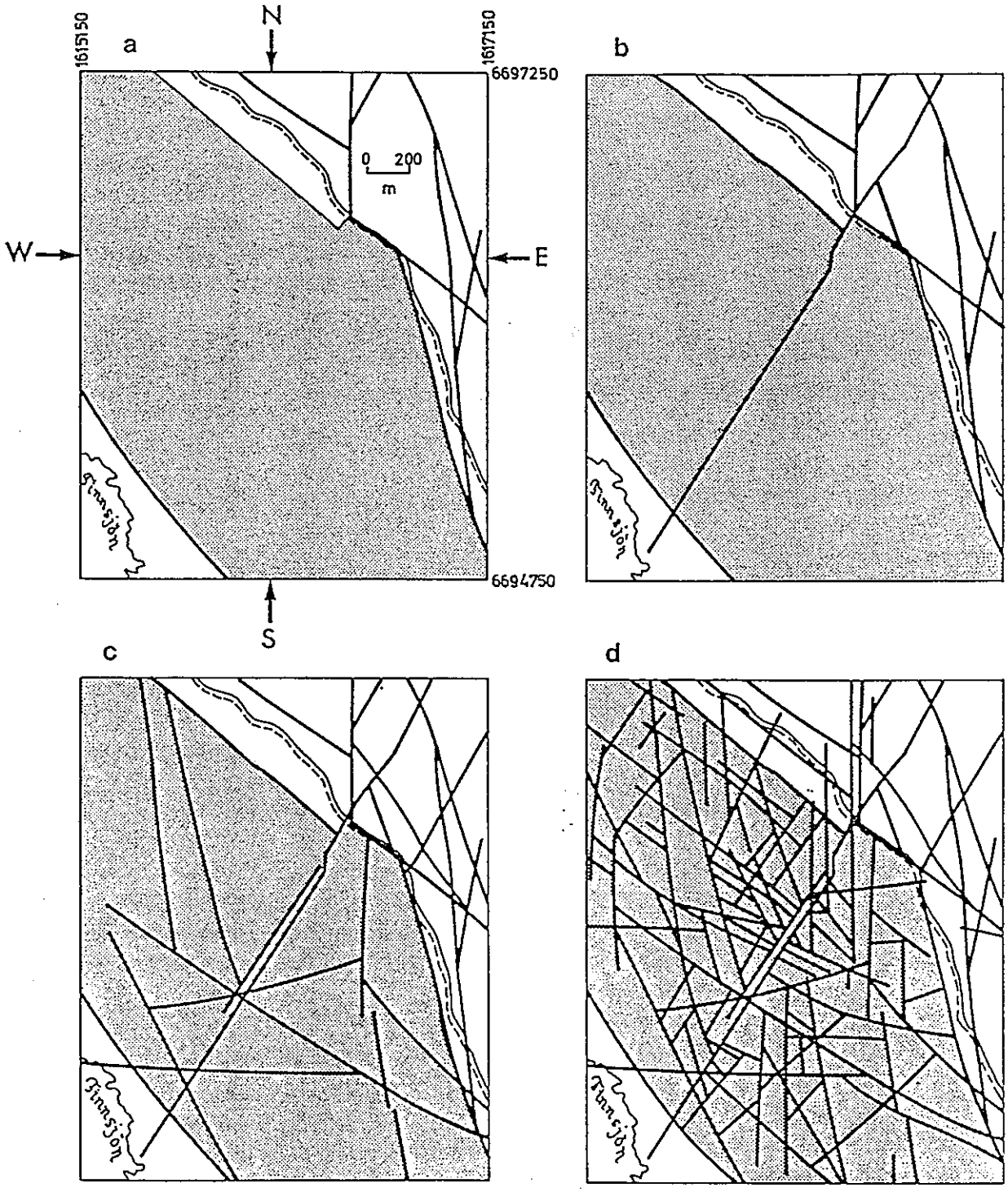


Figure 11. Four orders of rock block boundaries in the Finnsjön site.: a. first order structures, b. with second order structures added, c. third order added and d. all four order structures compiled.

図－3.1.13　地域スケールにおける岩体構造の階層

地域スケールでは、全体を1stオーダーの岩体としており、この面積は約6 km^2 となっている（図－3.1.13のａ）。また、図－3.1.12のリニアメントＢで分けられた２つの岩体を２ndオーダーの岩体とし、面積はそれぞれ2.7km^2、3.3km^2となっている（図－3.1.13のｂ）。３rdオーダーの岩体の平均的なサイズは、約200m×100mとなっている。この下部構造を小規模破砕帯としており、ほぼ鉛直なせん断区域が40m ～400m間隔で現れる。この区域の中に0.5 ～５本/mの割合で亀裂(fracture)が存在している。このせん断区域の幅は１～５ｍで、数百ｍかそれ以上の広がりを持つ。この内いくつかは行き止まりとなっている。亀裂は、平均で2.9 本／ｍの発生頻度を持ち、この頻度は地表から深度600mまで変わらない。なお、亀裂の発生頻度は、２ndオーダーにおける北側岩体に（処分場配置のスタディが行われる）おいては、1.5 本／ｍである。

(4) 地域スケールの破砕帯

地域スケール（フィンジョンサイト）において１１本のボーリング調査と物理探査が行われ、図－3.1.14および表－3.1.3 に示す１４本の破砕帯が調査された。これは図－3.1.13の岩体構造のレベルからすると３rdオーダーの構造に相当すると考えられる。図－3.1.12との対応ではリニアメントＢが破砕帯１に、リニアメントＧが破砕帯３に相当する。１４本の破砕帯の内、よく分かっているのは破砕帯１と破砕帯２のみであり、その他はボーリング孔が直接横切っていないなど、限られた情報に基づいている。

1) 破砕帯１

これは１stオーダーの岩体を２ndオーダーの岩体に２分する破砕帯であり、この両側の岩体では地殻の特性が異なる。破砕帯の南側ではピンクの北東向きの亀裂が特徴であるのに対して、北側では稀である。この違いは、この破砕帯において断層活動があったことを意味している。

2) 破砕帯２

破砕帯２は北側岩体のみで確認されている。この破砕帯は傾斜角度が小さく水平に近い（１６°）ため、図－3.1.14には記されていない。変質部が幅１００ｍと広いため、亀裂は少なく、亀裂の頻度は２～５本／ｍである。破砕帯２の特徴として、複断層に類似していることがあげられる。透水係数は上部の岩体より１～４桁大きい10^{-5}m/s ～ 10^{-6}m/s である。

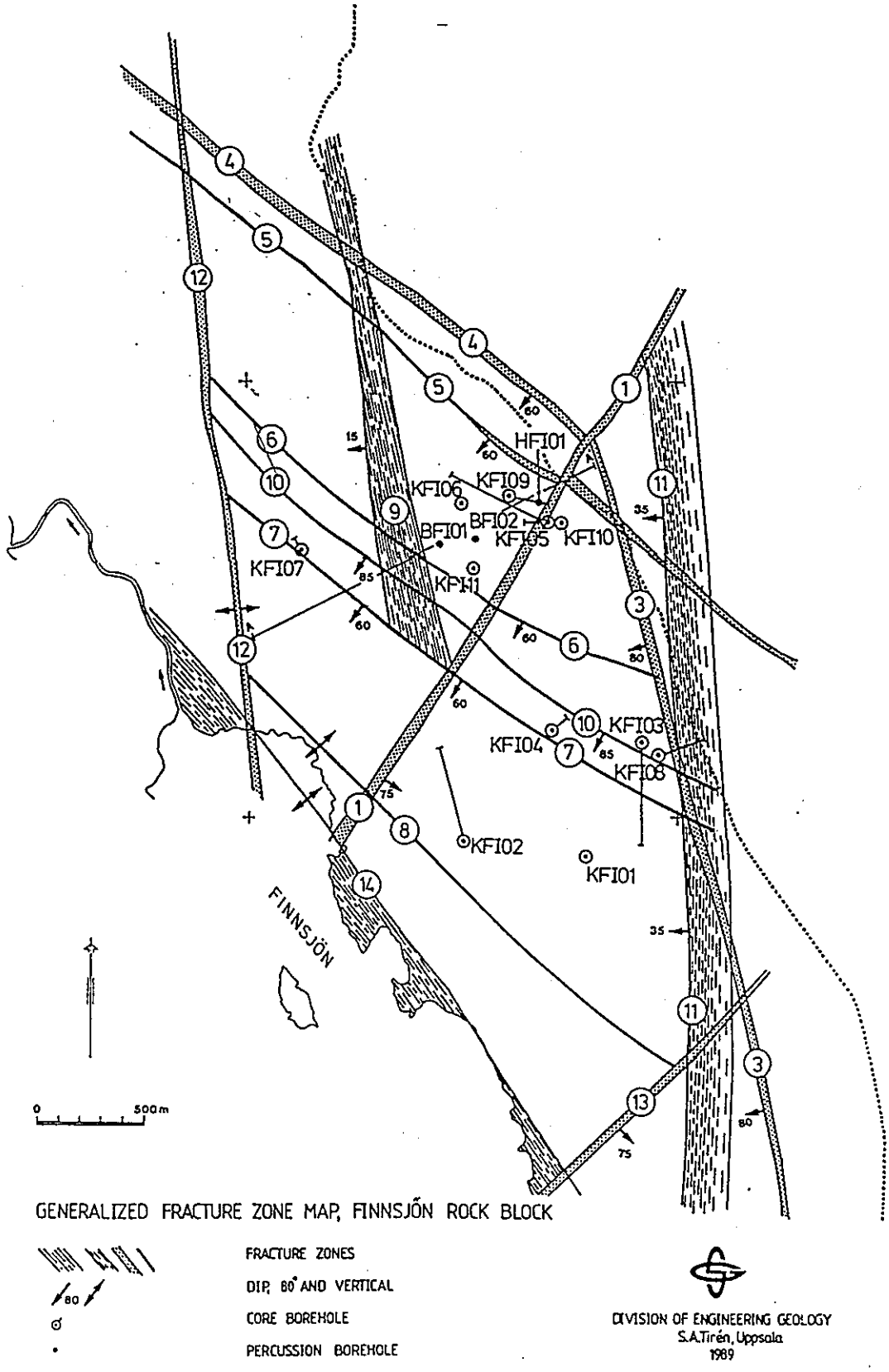


Figure 18. Generalized map of fracture zones at the Finnsjön Rock Block.

図−3.1.14 フィンジョンサイトにおける破砕帯

表−3.1.3 フィンジョンサイトにおける破砕帯

破砕帯	走　向	傾　斜	長さ (km)	幅 (m)
1	N30E	75SE	5	20
2	N28W	16SW	1.5	100
3	N15W	80W	5	50
4	N50W	65SW	1	10
5	N50W	60SW	5	5
6	N55−65W	60SW	2	5
7	N55W	60SW	2	5
8	N50W	90	3	5
9	N10W	15W	2	50
10	NW	85SW	2.5	5
11	N5W	35W	2	100
12	N−S	90	6	25
13	N30E	75SE	7	20
14	NW	90	>50	100

3) 破砕帯3

破砕帯3は岩体の東端部となっており、ボーリングが一本貫通している。強く破砕されており、貫通するボーリングの長さによる幅は、約６０ｍであるが確かなものではない。透水係数は深度約200mで10^{-6}m/s ～10^{-7}m/s であり、それ以深では10^{-9}m/s ～10^{-10}m/sとなっている。

4) 破砕帯4

地形図と空中写真のみによる特定であり、ボーリングの貫通はない。破砕帯5に近接しており、平行なことから同じ傾斜を持つものと考えた。

5) 破砕帯5

地形図および空中写真において明瞭なリニアメントであり、3本のボーリングが貫通している。透水係数は深度と共に減少し、185m　から555mまでの間に、2×10^{-5}m/s から9×10^{-8}m/s まで変化する。

6) 破砕帯6

地形図と空中写真ではぼんやりと認識されるのみである。しかし、物理探査では破砕帯6の南東部（南側の岩体）において、北部の亀裂帯と南部の低亀裂帯の境となっている。破砕帯5と同様の傾斜を持つことがボーリング調査により確かめられている。

7) 破砕帯7

地形図と空中写真で明確に認識できる。ボーリングによる情報はない。

8) 破砕帯8

岩体の南西部分で明瞭なリニアメント。ボーリングによる情報はない。

9) 破砕帯9

傾斜や幅、特徴について明確なデータはない。破砕帯2と同様ゆるやかな傾斜（１５°）を持ち、亀裂は5本／m以下である。これらは露頭調査とボーリング調査によるものである。ボーリング孔を横切っている位置での透水係数の増加は見られないことから、破砕帯9は推理的に影響の小さい破砕帯と考えられる。

10) 破砕帯10

地形図では明瞭な部分と不明瞭な部分がある。傾斜は現地踏査とボーリング調査からの推定である。

11) 破砕帯11

走向傾斜はボーリング調査による推定であり、露頭位置は計算によるものである。

12) 破砕帯12

岩体の西側の境となる破砕帯である。ボーリングによる情報はなく、傾斜はとりあえず鉛直に設定した。

13) 破砕帯13

岩体の南側の境となる破砕帯である。ボーリングによる情報はなく、とりあえず破砕帯1と同様の特性と考えた。

14) 破砕帯14

地表およびボーリングデータは、岩体南西側の境界を規定する部分で欠落しているが、この破砕帯はSingo 断層（図－3.1.9 参照）と同じ走向を持つことから、Singo 断層に関する情報を利用することが可能と考えられる。

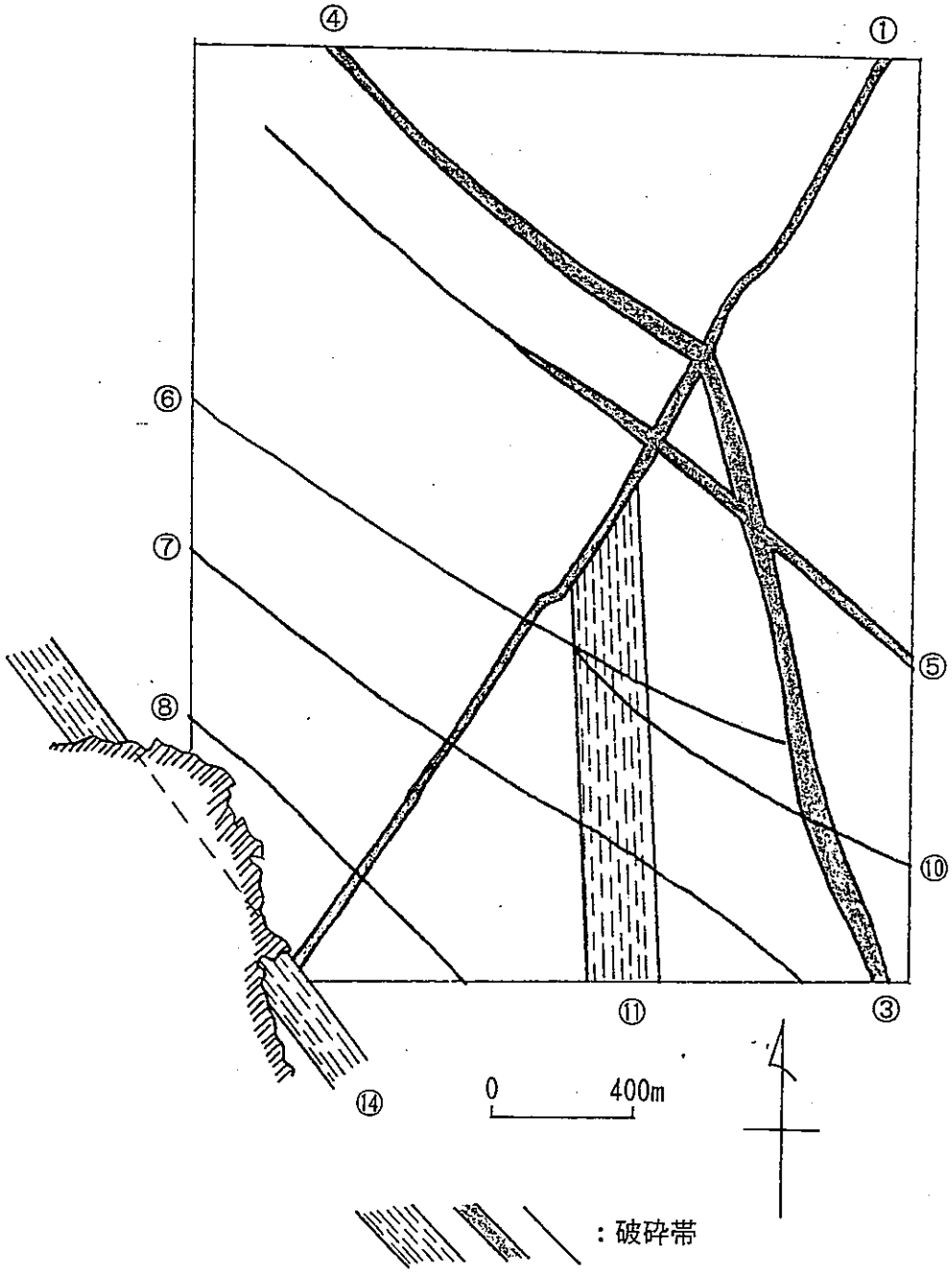
15) 岩体の評価

フィンジョンサイト岩体は、破砕帯1によって北側と南側の2つの2ndオーダーの岩体に分けられる。この2つの岩体のなかに3rdオーダーの岩体が存在する。3rdオーダーの岩体の境界となる破砕帯は、北東方向の走向で、南西方向に60°の傾斜角度を持つ。破砕帯2は亀裂帯の境となっており、破砕帯2の上側は高亀裂帯、下側は低亀裂帯となっている。また、地下水に関して、破砕帯2の上側は真水であるのに対して、下側では動きが小さく塩水となっている。

岩体ブロックに関する情報を総合すると、安全評価の観点からジェネリックな処分場は北側岩体に位置することが望ましい。また、この北側岩体の破砕帯2の下側において地下水の動きが小さいことは、処分場の位置として好ましいものである。

(5) 処分場配置のケーススタディ

フィンジョンサイトの北側岩体をスタディサイトとした、処分場の配置例を示す。まず、処分深度近傍（深度500m）における破砕帯位置を図－3.1.15に示す。これら破砕帯は処分場の配置に当たって、直線にモデル化されている。



図－3.1.15　５００m深度における破砕帯

フィンジョンサイトでは以下のような考え方および条件のもとに処分場の配置の検討を行っている。この結果設定された概念を図－3.1.16および図－3.1.17に示す。

・廃棄体（使用済燃料）の数は5300本。これに小規模な亀裂帯により定置しない部分の余裕として10％を見込む。よって、考慮すべき廃棄体数は5830本となる。

・緩衝材と岩盤に対する熱的影響の観点から、廃棄体定置間隔は６ｍ、坑道間隔は25ｍに設定する。

・主要な破砕帯として、処分場の外縁を規定する破砕帯１、２、４、12を設定し、これからの離間距離は１００ｍとする。破砕帯２は処分深度の上側に位置しており、そこからの離間距離１００ｍで処分場の南西側の境界を規定している。その他へ破砕帯への対応は、埋設しない坑道部分として10％の坑道延長の余裕の中で吸収する。

・処分深度は当初500ｍであったが、破砕帯２の影響で600ｍに変更された。坑道は1:100の上り勾配で掘削されるが、勾配による処分深度の変化は考慮しない。

・アクセス坑道は、主要な破砕帯で囲まれた処分区域の外側になければならないものとする。アクセス坑道を断層を隔てた外部に設定することは、坑道延長の観点や断層交差部のプラグの必要性など、不利な点もある。この配置が長期安全性の観点において合理的であるかどうかは、さらなる研究が必要である。

・３rd～５thオーダーのジョイントと坑道の角度は１５°以上とすることが望ましい。これは、破砕部の影響を軽減し、空洞安定性における問題を避けるためである。５thオーダーのジョイントの卓越方向から、望ましい坑道の方向として２ケース（はぼ南北方向と東西方向）が選定された。動水勾配との関係は

　南北方向＝処分坑道は動水勾配方向に直角

　東西方向＝処分坑道は動水勾配方向に平行

となっている。

・行き止まりの処分坑道の長さは、換気、火災、避難ルートなどの作業の安全性の面から２５０ｍ以下とする。

・地上施設の内、換気立坑を除き坑口はフェンス内に設置する。地下施設との位置関係はある程度自由に設定できる。また、地上施設配置に当たっては地形を考慮する。高台にあり地表近くまで岩盤のある場所が坑道連絡上望ましい。

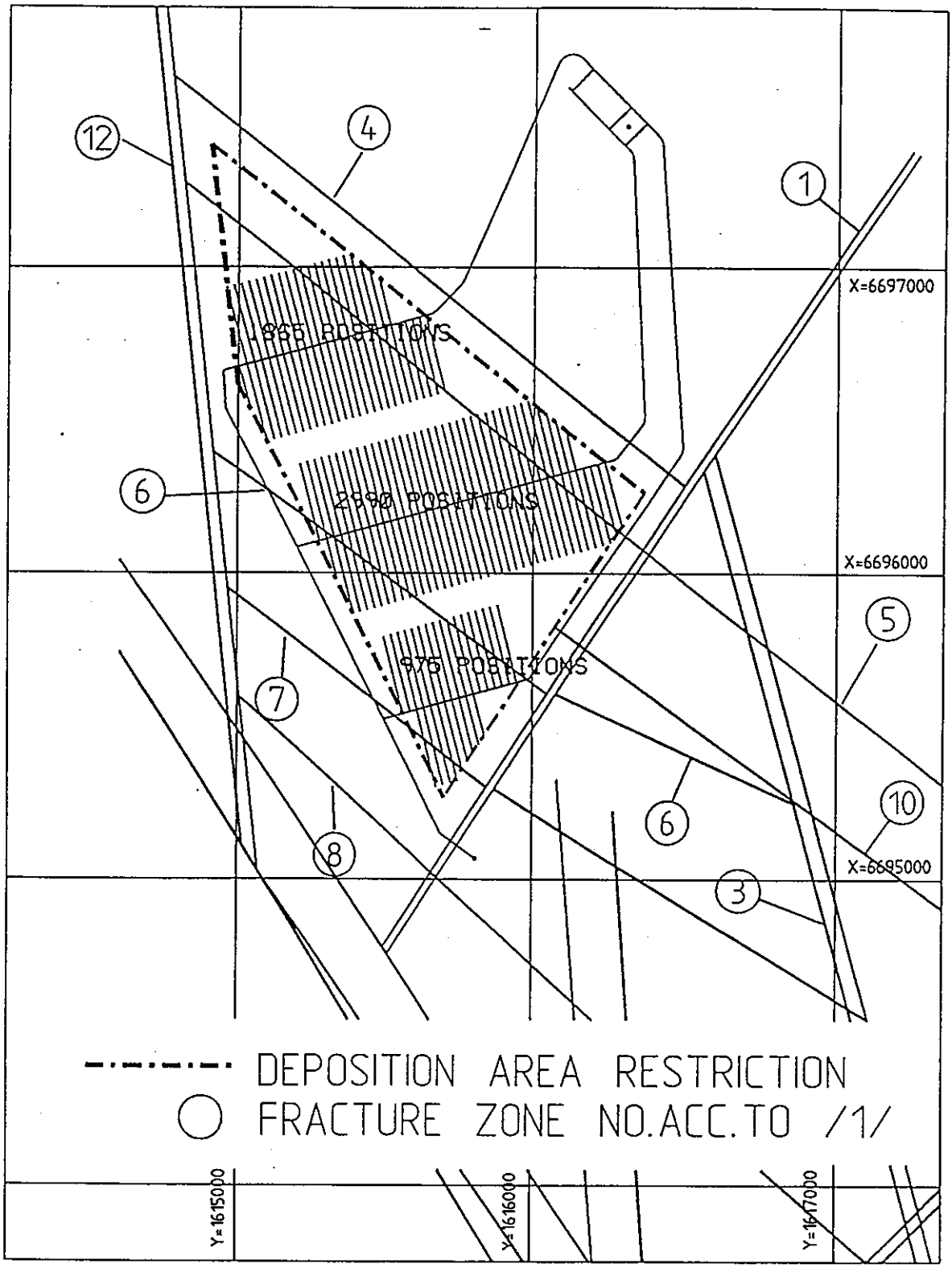


Figure 4 Repository layout with north/south orientation of deposition drifts. Level -600 m.

図－3.1.16 処分場配置例（南北方向）

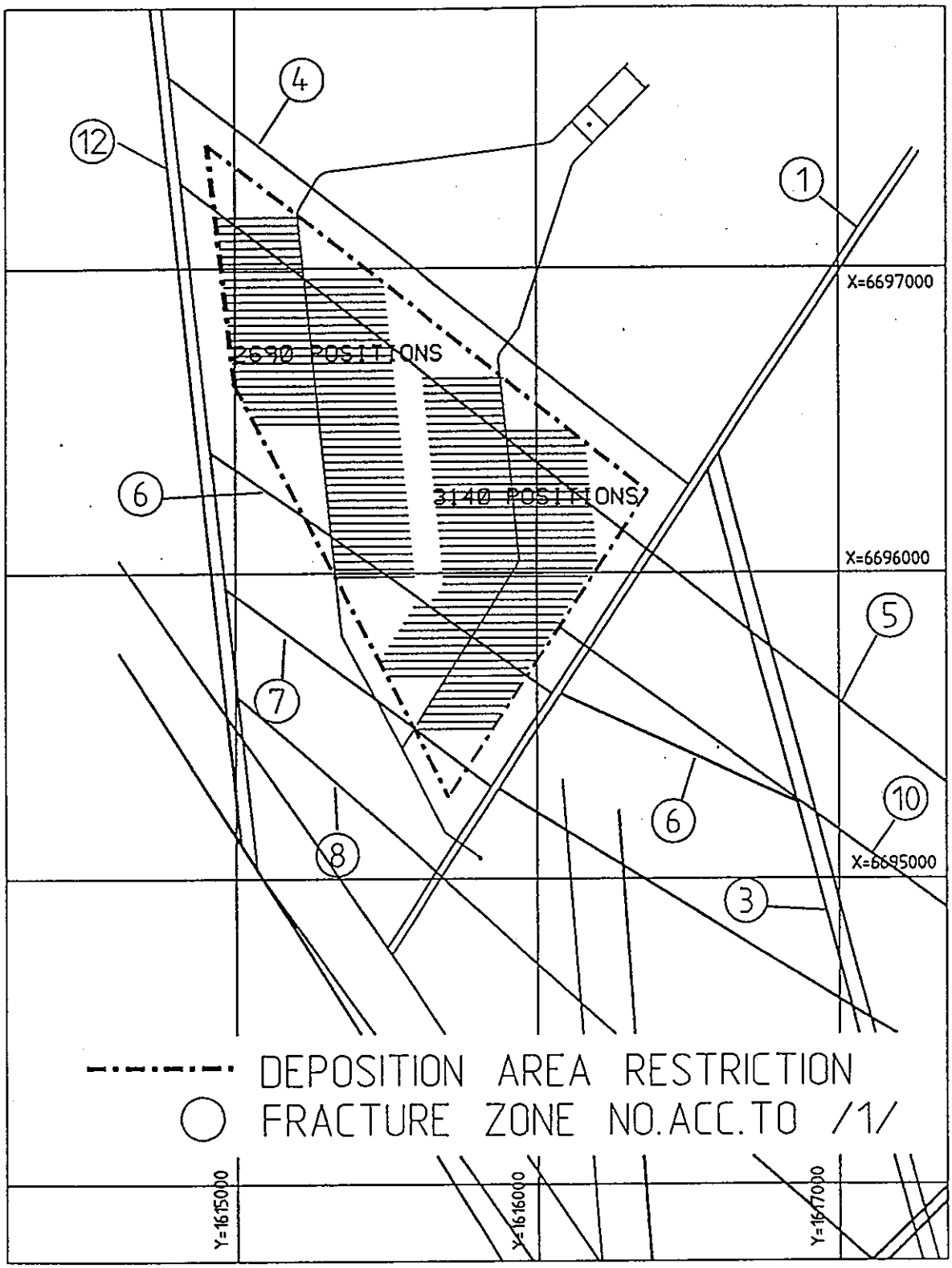


Figure 5 Repository layout with east/west orientation of deposition drifts. Level -600 m.

図－3. 1. 17 処分場配置例（東西方向）

3.1.3 断層のクラス分けの検討

(1) 事例調査のまとめ

処分場として避けるべき断層と処分区画として避けるべき断層のクラス分け、および断層からの離間距離の観点で調査事例をまとめると以下のようになる。

まず、スイス北部の結晶質岩においては、

・処分場全体は1stオーダーの断層（長さ10km以上、幅100m～1km）に囲まれた中に配置する（処分場は1stオーダーの断層をまたがない）。

・処分区画として2ndオーダーの断層（長さ数km～10km、幅数m～100m）は避ける。

・断層からの離間距離は１００mとする。この値は、安全解析により得られたものである。

・2ndオーダーの断層で囲まれた面積（処分区画を配置する面積）は10万㎡(200m × 500mに相当）以上必要。

・離間距離100mは小さくできる可能性があり、処分区画は2ndオーダーの断層を避ける必要がなくなる可能性もある。

また、スウェーデンのフィンジョンサイトにおいては、

・1stオーダーの構造、2ndオーダーの構造等の記述はあるが、構造の規模についての記述はない。

・サイトにおいて１４本の破砕帯を特定し、このうち4本（1、2、4、12）に囲まれた範囲に処分場を配置するスタディを行っている。

・上記の4本は、ほぼ2ndオーダーの構造に当たり、幅がそれぞれ1：20m、2：100m 4：10m 、12：25mであることから、スイスにおける2ndオーダーの断層に相当する。

・処分区画として避けるべき破砕帯という考え方はないようである（処分区画内の破砕帯部分には埋設しないという考え方）。

・処分区画内にある破砕帯は、破砕帯5、6、7である。幅はみな5mであることからスイスにおける3rdオーダーの断層に相当する。

・破砕帯からの離間距離は１００mとされているが、その理由については記されていない。

断層破砕帯のクラス分けについてまとめると表－3.1.4 のようになる。

表－3.1.4 断層規模とレイアウトの関係

	処分場を囲む断層破砕帯	区画を囲む断層破砕帯
スイス北部	1stオーダーの断層	2ndオーダーの断層
フィンジョンサイト	2ndオーダーの破砕帯	――――

(2) 断層破砕帯とレイアウトの関係

両国の事例調査から共通して言えるのは、

「幅10～20m以上の断層・破砕帯から１００mの離間距離をとる」

ということである。

表－3.1.4 でスイスの区画を囲む断層破砕帯は“区画として避けるべき断層”の意味であるが、処分場を囲む断層破砕帯については、両国とも“処分場として避けるべき断層”を意味するという記述はない。スイスでは1stオーダーの断層の中に、フィンジョンでは2ndオーダーの破砕帯の中に処分場を配置できたということであり、この中に納まらない場合これをまたいで配置すべきではないという記述は見られない。おそらく安全評価においてはスイスの考えによれば低透水性の健岩部が１００mあればそこに接する断層の規模は問題にならないのではないかと考えられる。1stオーダーの断層をまたぐことで問題を生ずるのは、むしろ“施工性”と“用地”ではないかと考えられる。

幅１００mを越える大規模な断層を貫いてトンネルを掘削することは、かなりの困難が予想され合理的なものとは言えない。また、断層からの離間距離を加えると、処分区画と区画が数百m以上離れることになり、処分場全体として非常に大きな面積を必要とすることになる。今後の設計研究において断層規模とレイアウトの関係や離間距離の検討を行うに当たってこのような観点から行うことが考えられる。

施工の観点では、断層を貫く坑道の空洞安定性について、断層幅をパラメータとして検討を行うことが考えられる（3次元または軸対象の空洞安定解析）。面積の観点からは、スイスの断層群モデルを参考に、断層間隔をパラメータとし、個々のパラメータ値において断層モデルを確率的に乱数発生させ、離間距離１００m（およびパラメータ）とした場合の処分場面積を算定することが考えられる。

なお、ここでスイスにおけるブロック面積の分布、

100,000～ 250,000m²の岩体：２２個（表面積の 5%）

250,000～ 500,000m²の岩体：１８個（表面積の11%）

500,000～1000,000m²の岩体：１７個（表面積の20%）

1,000,000m²以上の岩体：１４個（表面積の41%）

から、１本／100m² 、４万本処分の場合の処分場面積の試算を行ってみる。ここで断層離間距離は100mとし、また便宜的にブロックの形状はすべて正方形と仮定する。

まず、各クラスの岩体の面積を設定する。

(100,000＋250,000)÷2 ×22÷0.05＝77,000,000

(250,000＋500,000)÷2 ×18÷0.11＝61,360,000

(500,000＋1000,000) ÷2 ×17÷0.20＝63,750,000

から全体表面積を(77,000,000 ＋61,360,000＋63,750,000) ÷3=67,400,000m²とすると、各岩体のサイズは以下のようになる。

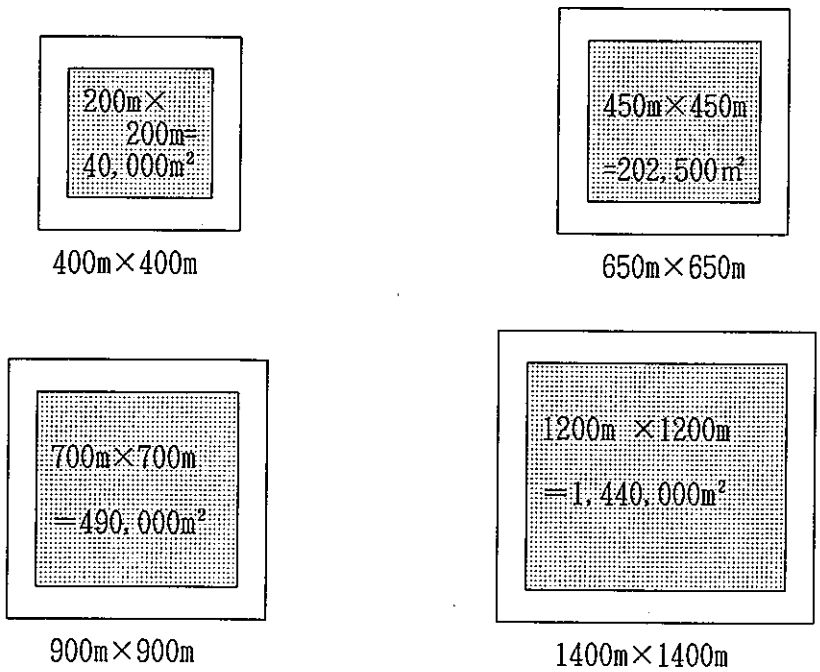
67400000×0.05÷22= 153000m² ⇨ 400m×400m の正方形

67400000×0.11÷18= 412000m² ⇨ 650m×650m の正方形

67400000×0.20÷17= 793000m² ⇨ 900m×900m の正方形

67400000×0.41÷14=1974000m² ⇨ 1400m×1400m の正方形

なお、これから全体表面積を再計算すると68,000,000m²となる。



図－3.1.18 面積試算のためのブロックモデル

これより、各岩体１個に処分される廃棄体の本数は、

＜岩体面積＞		＜処分面積＞		＜処分本数＞
400m×400m の正方形	⇨	200m×200m＝ 40000m²	⇨	400 本
650m×650m の正方形	⇨	450m×450m＝ 202500m²	⇨	2025 本
900m×900m の正方形	⇨	700m×700m＝ 490000m²	⇨	4900 本
1400m×1400m の正方形	⇨	1200m×1200m=1440000m²	⇨	14400 本

となり、全体表面積68,000,000m²での処分本数は、

(400×22) ＋(2025 ×18) ＋(4900 ×17) ＋(14400×14) ＝330,150 本

となり、全体処分量４万本との比率40,000÷330,150 ＝0.121 から、

68,000,000m²×0.121 ＝8,230,000m²

＝８．２３km²

となる。

従来の検討では、１本／100m² の処分密度で４万本処分の場合、必要面積は４km² ＋αと見られていたが、断層離間距離を考慮した場合、必要面積はその２倍程度にも成りうるという結果となった。このように処分場の面積は、断層の間隔と断層からの離間距離に左右されることから、これは立地の観点から処分場の成立性に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

我が国において、広域調査による断層のモデル化や、安全評価による断層離間距離は現時点において明確でないことから、パラメータスタディとして処分場面積を算定し、この程度の断層間隔のサイトにおいて離間距離を何ｍとすると、処分場の面積はおよそ何km² となる、と言った目安を得ておくことも必要と考える。

<3.1 節　参考文献>

1) T.Thury et al;Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland,NAGRA TECHNICAL REPORT 93-01,1994.5

2) Kaj Ahbom et al;Overview of geologic and geohydrogic conditions at the Finnsjon site and its surroundings,SKB TECHNICAL REPORT 91-08,1991.1

3) Lars Ageskog et al;Tentative outline and siting of a repository for spent nuclear fuel at the Finnsjon site SKB 91 referance concept,SKB TECHNICAL REPORT 91-36,1991.9

3.2 離間距離に関する感度解析

3.2.1 解析の目的と概要

昨年度は、坑道掘削による断層部分への力学的影響を捉えるために、空洞と断層との離間距離を変化させた場合の影響について解析的に検討した。本年度は、離間距離の検討に加え、離間距離を一定として、断層規模の影響、物性値の影響、さらには、破砕帯のモデル化に特殊要素（ジョイント要素）を適用した場合の妥当性について検討するために感度解析を実施する。

3.2.2 解析モデルと解析ケース

（1）解析モデル

（i）解析領域

昨年度に実施した解析のモデルと同様に、坑道から約10D 程度離れた領域をカバーする領域とする。

（ii）坑道形状

処分場地下施設を構成する坑道のうち、結晶質岩系岩盤、坑道横置方式の場合の主要坑道をモデルとして、幅5.0m、高さ4.0mの馬蹄形とする。

（iii）破砕帯の角度

本年度は破砕帯の角度に関しては検討の対象外とし、昨年度と同様に45° に固定する。

（iv）破砕帯の幅

破砕帯幅の影響に関して検討するため、解析のパラメータとして、5,10,20,30m の4 ケースを設定する。

（v）坑道と破砕帯の離間距離

昨年度と同様に、坑道と破砕帯の離間距離による破砕帯への影響度を調査するため、解析のパラメータとして、昨年度の4ケースに1Dを加え、0.5D,1D,3D,5D,10D を設定する。但し、離間距離とは破砕帯の端部と坑道の端部の最短距離とする。

解析モデル概念図を図3.2.1に示す。

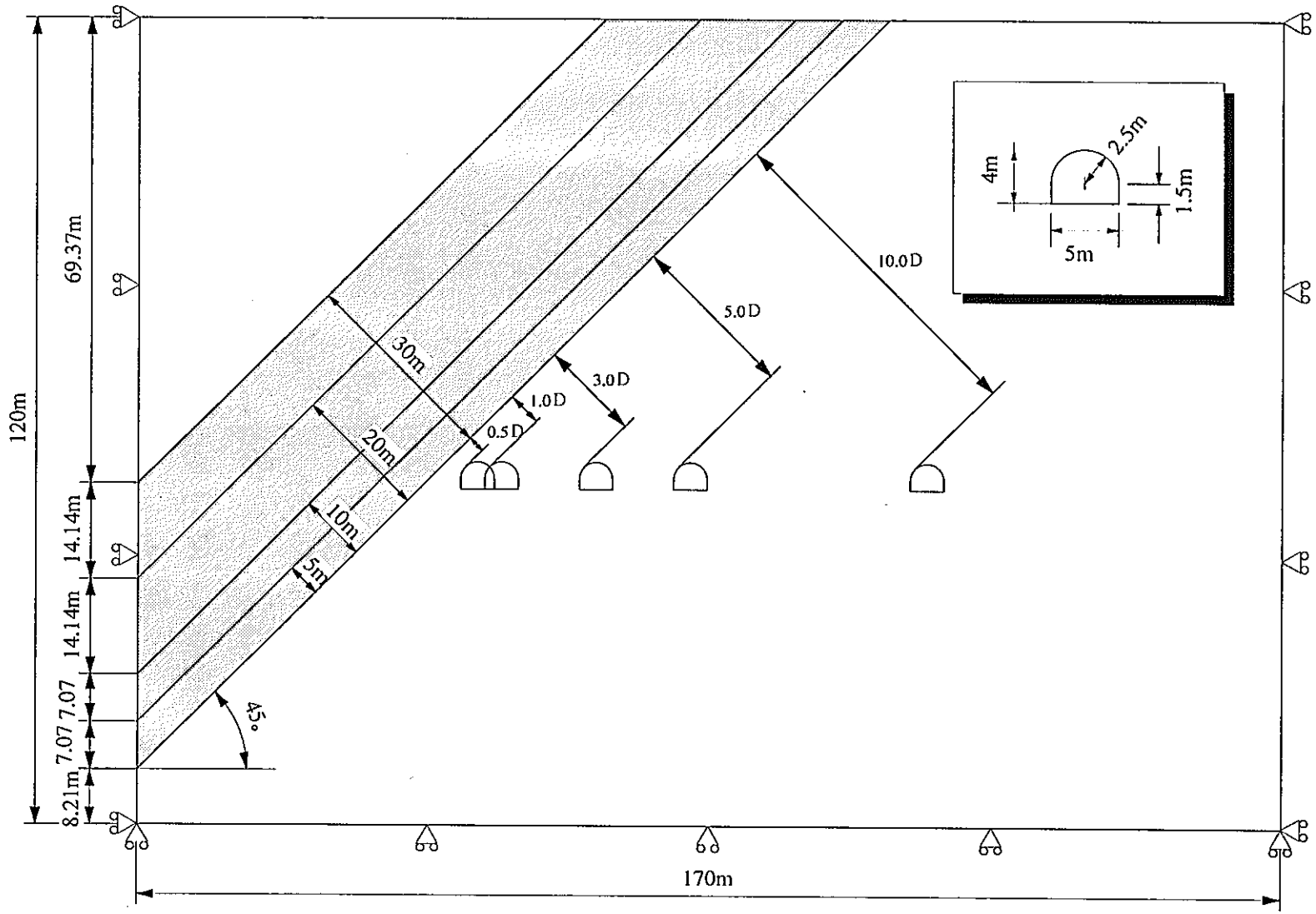


図3.2.1 解析モデル概念図

3.2.3 特殊要素を考慮する場合の解析手法

（1）破砕帯のモデル化

破砕帯をモデル化する手法としては、ある幅をもった部分の要素の物性値を低減する方法があり、さらに、有限要素モデルでは、特殊要素を用いる方法がある。今回使用する解析コードＳＩＧＮＡＳにおいては、ジョイント要素がこれに相当する。本解析においては、破砕帯モデルとして、図3.2.2 に示すような、ある一定の幅をもった物性値の異なる部分とジョイント要素を組み合わせたモデルを適用する。

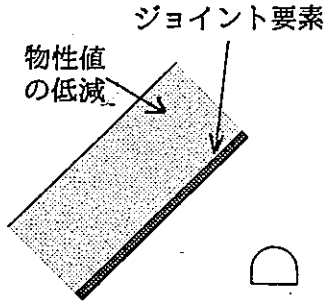


図3.2.2　破砕帯モデル

（2）ジョイント要素の機能

ＳＩＧＮＡＳにおけるジョイント要素には、Goodman型、摩擦型、テーブル形式があり本解析では、必要パラメータの物理的意味が比較的明確な摩擦型を適用する。

摩擦型ジョイント要素に必要な入力データは、ジョイントの垂直剛性(kn)、せん断剛性(Ks)、粘着力(C)、内部摩擦角（ϕ）の4 データである。

ジョイント要素は、ジョイントの開口以前およびすべり以前では、垂直およびせん断に対して各々kn, ks の抵抗剛性を有する一種のばねとして扱われる。

垂直応力とジョイントの開閉の関係について図3.2.3 に示す。ジョイント要素を挟む2要素の垂直方向の変位差(Δv)が$\Delta v \leq 0$のときは閉合、$\Delta v > 0$のときは開口とし、ジョイントの全応力が解放され、解放前の応力と逆向きの応力が解放応力として掛けられる。

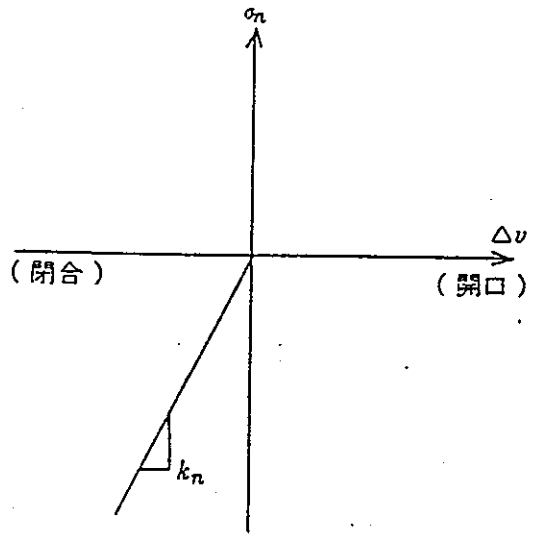


図3.2.3 垂直応力とジョイントの開閉の関係

せん断応力とすべりの関係を図3.2.4 に示す。

ジョイントのせん断抵抗力は、

$\tau p = C - \sigma n \times \tan\phi$

となる。ここに、

τp:せん断抵抗力

C :粘着力

σn:垂直応力

ϕ :内部摩擦角

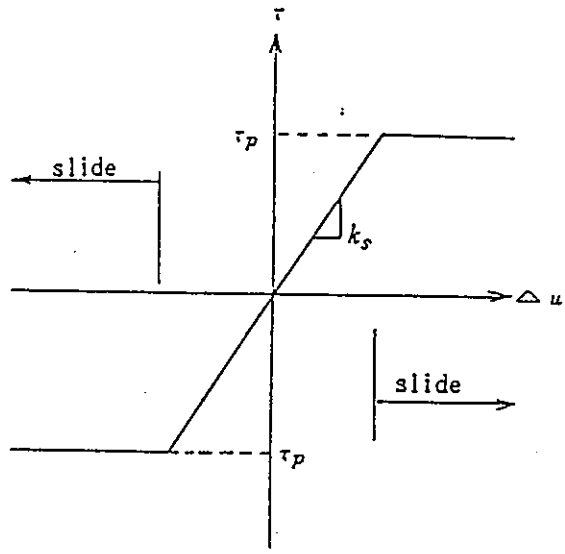


図3.2.4 せん断応力とすべりの関係

閉合時($\Delta v \leqq 0$)で$|\tau ns| > \tau p$ のときすべりが生じる。このとき、せん断抵抗力を越えたせん断力が解放される。$\tau p \geqq |\tau ns| \geqq -\tau p$ の間は、ジョイントにせん断変形が生じている区間である。

（3）ジョイント要素を適用する場合の初期応力解析手法

解析コードＳＩＧＮＡＳにおいて、ジョイント要素を適用する場合、初期応力解析として土被り圧と静止土圧係数を用いた線型弾性解析を行うことができない。そのため、解析領域の一方の側面を拘束せず、上載圧と併せて側方圧力を直接加えて弾塑性解析を実施する方法を用いた。境界条件および荷重条件は図3.2.5 に示すように、片側の側面と底面を拘束し、鉛直方向については土被り圧(1000m) を載荷し、側圧係数については動燃殿公開資料と同様1.5として土被り圧の1.5倍を直接載荷する。

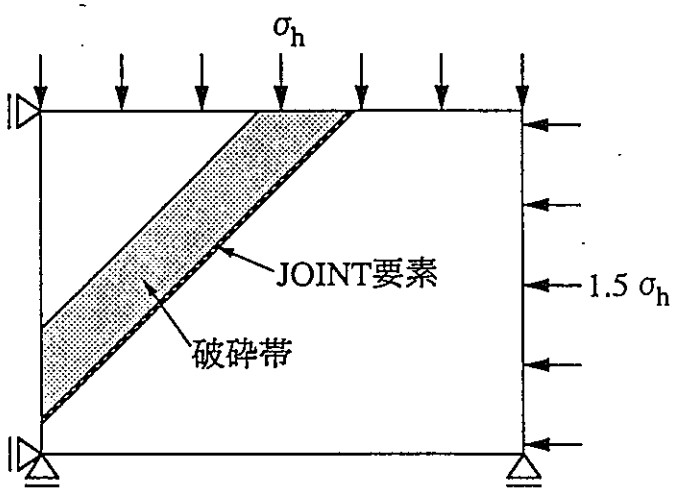


図3.2.5 解析モデルの拘束条件と載荷条件

3.2.4 解析に使用する物性値および解析ケースの設定

本年度の解析においては、離間距離を一定とした場合の、健岩部および断層部の物性値による影響について検討するための、破砕帯、ジョイント要素および健岩部の物性値を設定する。

（1）岩盤物性値およびジョイント要素の物性値の検討

昨年度は、破砕帯の物性値を設定するために文献調査を実施し、破砕帯の各物性値の健岩部に対する低減率に着目して、各文献の低減率の平均値を採用した。しかし、各物性値の低減率間に相関があるとは限らないことから、低減率の平均値を適用することに関して現実性が問われる。そこで、本解析を実施する前に、低減率の解析結果への影響度について検討した。

検討手法として、破砕帯物性値の考えうる範囲を求め、その最大値を採用した場合と最小値を採用した場合の解析結果の比較を行った。健岩部の物性値は固定し、昨年度に調査した破砕帯物性値の低減率の最大値と最小値によって破砕帯物性値を求め、これらを破砕帯物性値の考えうる範囲とした。

ジョイント要素の物性値に関しても同様に、調査結果から考えうる物性値の最大値、最小値を求め、解析結果への影響を検討した。

（i）解析条件

破砕帯幅は10m に固定し、健岩部の物性値は結晶質岩系岩盤A(動燃殿公開資料) を採用した。破砕帯の物性値およびジョイント要素の物性値を表3.2.1、表3.2.2に示す。

表3.2.1 岩盤の物性値

物性値	健岩部	破砕帯　最大	低減率	破砕帯　最小	低減率
単位体積重量 N/m³	26478	26213	0.99	18270	0.69
弾性係数 MPa	30000	16500	0.55	300	0.001
粘着力　MPa	7.5	7.125	0.95	0.003	0.0004
内部摩擦角 deg	35	35	1	17.5	0.5
ﾎﾟｱｿﾝ比	0.2	0.2	1	0.2	1

表3.2.2　ジョイント要素の物性値

物性値	最大値	最小値
垂直剛性　MPa/m	200000	1000
せん断剛性 MPa/m	8000	330
粘着力　　MPa	1.0	0.196
内部摩擦角　deg	25	19

（ii）解析ケース

解析ケースは以下の4 ケースとし、表3.2.3 に示す。

表3.2.3 解析ケース

ケース	破砕帯物性値	ｼﾞｮｲﾝﾄ 物性値
1	最大値	最大値
2	最大値	最小値
3	最小値	最大値
4	最小値	最小値

（iii）解析結果

各々のケースについて、断層と坑道の離間距離による、破砕帯部分のひずみと応力の掘削影響を求めた。昨年度の報告書と同様に、坑道に最も近い部分の断層部分の要素における最大主応力および最大せん断ひずみの変化率によって評価した。ケース1 ～4 の結果を表3.2.4 ～3.2.7 に示す。

表3.2.4 ケース1 の結果

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-19.51	-20.25	-3.78	1.03E-3	6.98E-4	32.03
1	-19.50	-19.63	-0.67	1.03E-3	6.75E-4	34.36
3	-19.33	-19.42	-0.45	1.04E-3	1.00E-3	3.35
5	-19.26	-19.30	-0.23	1.04E-3	1.03E-3	0.94
10	-19.22	-19.23	-0.03	1.05E-3	1.04E-3	0.27

表3.2.5 ケース2 の結果

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-19.64	-19.58	0.28	9.00E-4	7.56E-4	16.07
1	-19.64	-19.59	0.27	9.07E-4	8.52E-4	6.06
3	-25.36	-25.38	-0.09	4.66E-4	4.64E-4	0.26
5	-19.43	-19.48	-0.23	9.41E-4	9.32E-4	0.96
10	-19.67	-19.69	-0.09	9.39E-4	9.37E-4	0.19

表3.2.6 ケース3 の結果

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-11.97	-12.13	-1.30	8.28E-2	8.24E-2	0.47
1	-12.12	-12.19	-0.55	8.32E-2	8.30E-2	0.22
3	-17.95	-17.90	0.28	8.16E-4	8.19E-4	0.33
5	-12.27	-12.28	-0.07	8.33E-2	8.33E-2	0.03
10	-12.44	-12.44	-0.03	8.35E-2	8.34E-2	0.01

表3.2.7 ケース4 の結果

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-12.08	-12.24	-1.28	8.33E-2	8.27E-2	0.61
1	-12.14	-12.21	-0.57	8.34E-2	8.32E-2	0.24
3	-17.89	-17.84	0.29	8.19E-4	8.22E-4	0.34
5	-12.29	-12.30	-0.07	8.37E-2	8.37E-2	0.03
10	-12.44	-12.45	-0.03	8.33E-2	8.33E-2	0.01

（iv）ジョイント要素および破砕帯の物性値の決定

応力およびひずみの数値に着目すれば、ケース1と2 、ケース3と4 はほぼ同レベルにあるといえるため、この物性値の範囲内においては、ジョイント要素より破砕帯の物性値の影響のほうが大きいことが認められる。従って、物性値の影響を検討する解析ケースとして、ジョイント要素の物性値は固定して、破砕帯の物性値を最大値、最小値、6年度の物性値の3 種類設定する。

（2）解析に使用する物性値のまとめ

本年度解析で、破砕帯および健岩部の物性値の影響を検討するために設定する物性値をまとめて表3.2.8 に示す。

表3.2.8 健岩部の物性値

物性値	標準的な物性 （結晶質岩系岩盤A）	軟弱な物性 （結晶質岩系岩盤B）
単位体積重量 N/m³	26478	26478
弾性係数 MPa	30000	10000
粘着力　MPa	7.5	6.0
内部摩擦角 deg	35	30
ﾎｱｿﾝ比	0.2	0.2

表3.2.9 破砕帯の物性値

物性値	破砕帯　最大値	平成6年度使用	破砕帯　最小値
単位体積重量 N/m³	26213 (0.99)	23830 (0.9)	18270 (0.69)
弾性係数 MPa	16500 (0.55)	9000 (0.3)	300 (0.01)
粘着力　MPa	7.125 (0.95)	3.750 (0.5)	0.003 (0.0004)
内部摩擦角 deg	35 (1.0)	24.5 (0.7)	17.5 (0.5)
ﾎｱｿﾝ比	0.2 (1.0)	0.2 (1.0)	0.2 (1.0)

注）括弧内は健岩部に対する低減率を示す

表3.2.10　ジョイント要素の物性値

物性値	6年度使用
垂直剛性　MPa/m	100000
せん断剛性 MPa/m	5000
粘着力　　MPa	1.0
内部摩擦角　deg	20

（3）解析ケース

ジョイント要素の影響、断層規模の影響および物性値の影響を検討するために解析ケースを8ケース設定する。表3.2.11に解析ケースを示す。

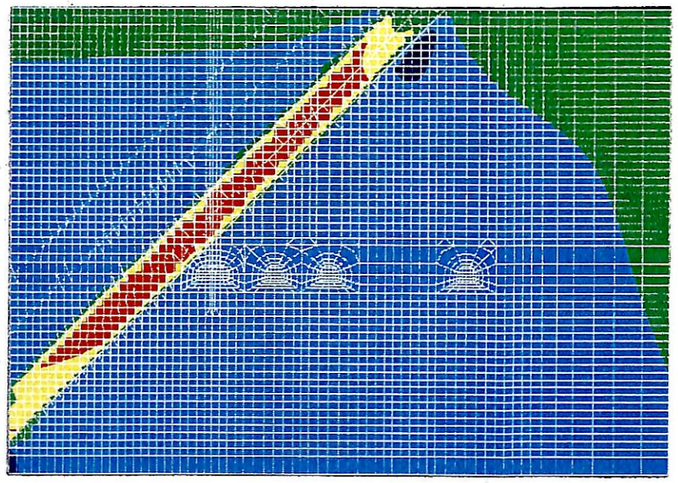
表3.2.11　解析ケース

ｹｰｽ	ｼﾞｮｲﾝﾄ要素	断層幅	岩盤物性値		解析の目的
			健岩部	断層部	
1	無し	10m	標準	6年度	平成6年度解析ケース
2	有り	10m	標準	6年度	ジョイント要素の影響
3	有り	5m	標準	6年度	断層規模の影響（クラス分けに関する感度解析）
4	有り	20m	標準	6年度	
5	有り	30m	標準	6年度	
6	有り	10m	標準	最大値	物性値の影響（入力物性値に関する感度解析）
7	有り	10m	標準	最小値	
8	有り	10m	軟弱	6年度	

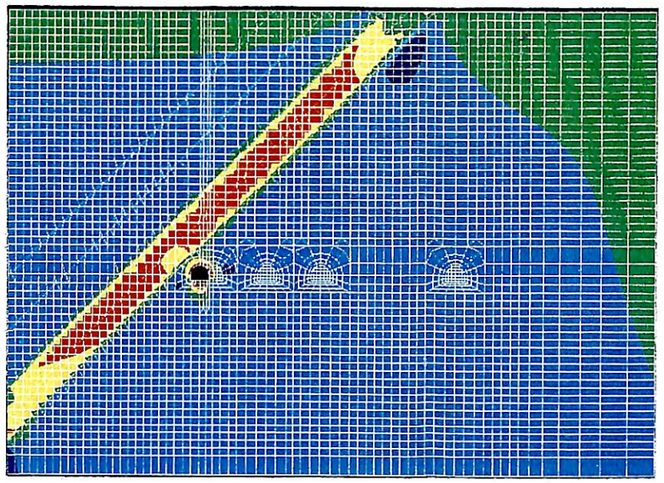
3.2.5 解析結果

（1）最大主応力分布および最大せん断ひずみ分布

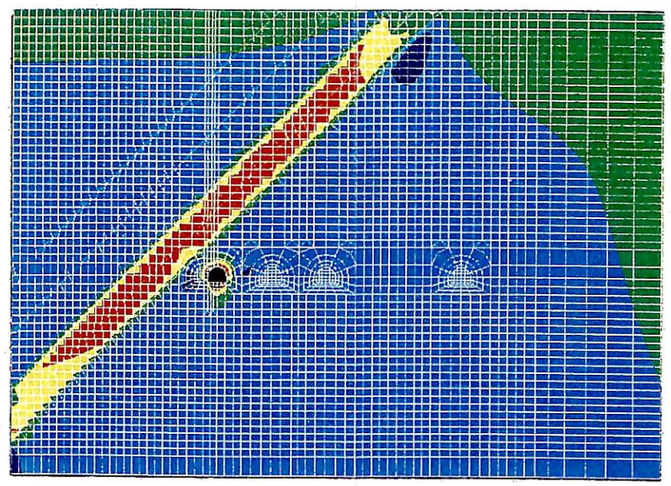
各ケースの最大主応力分布図および最大せん断ひずみ分布図を、図3.2.6 ～3.2.13、図3.2.14～3.2.21に示す。



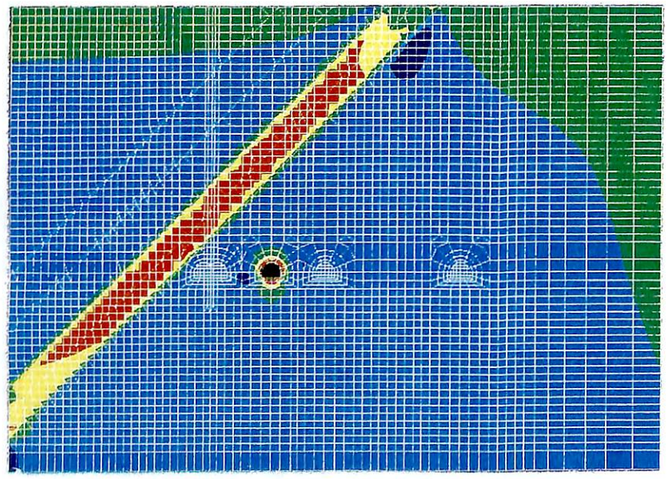
坑道掘削前



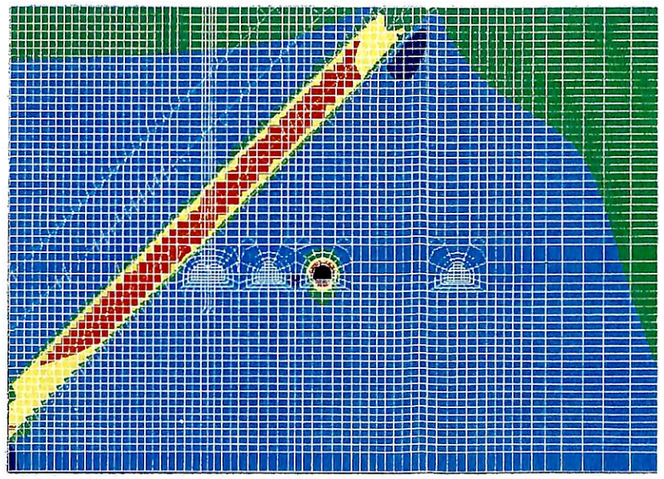
離間距離　0.5D



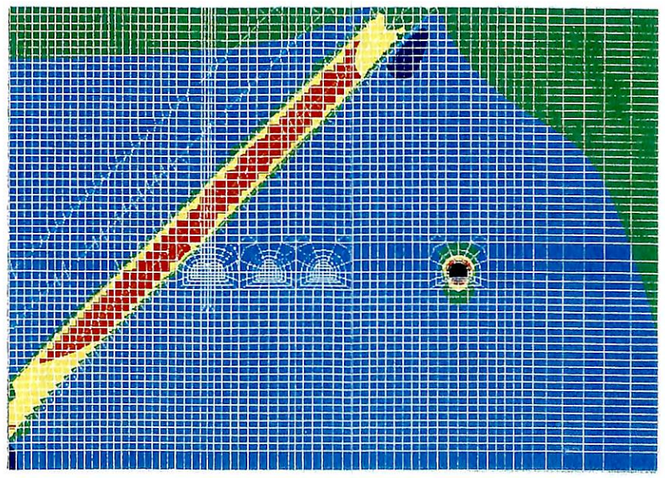
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

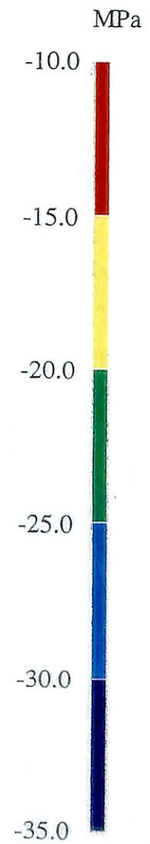
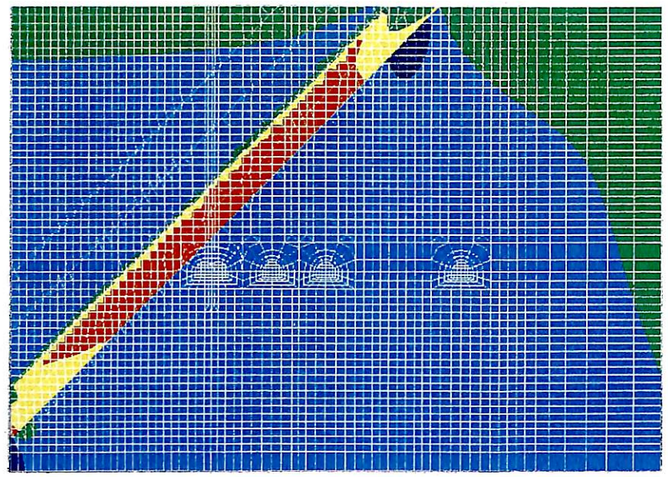
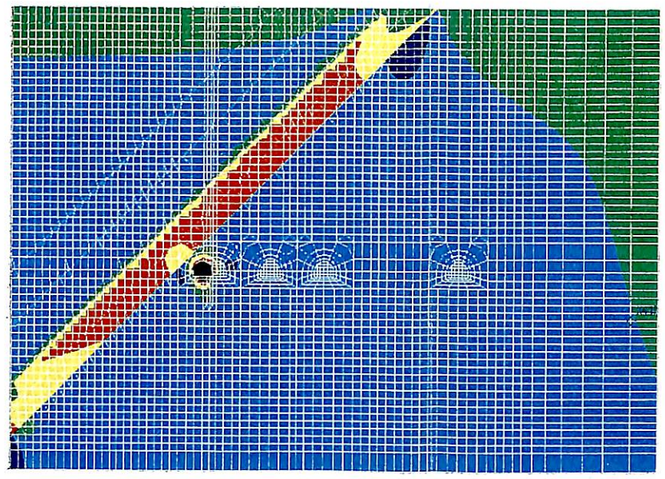


図3.2.6 最大主応力分布（ケース1）

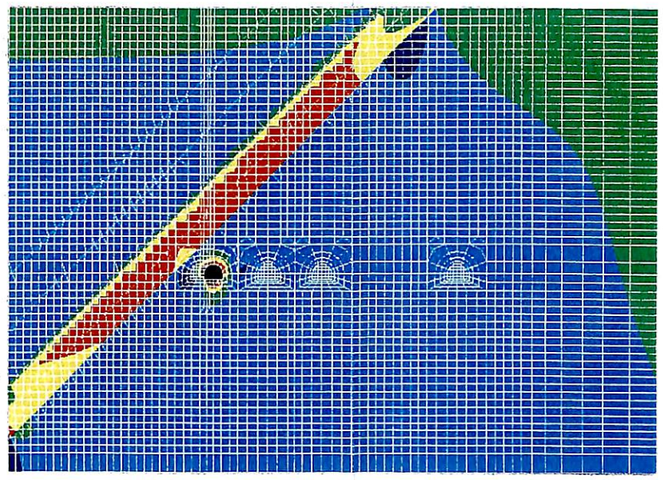
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素無し、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



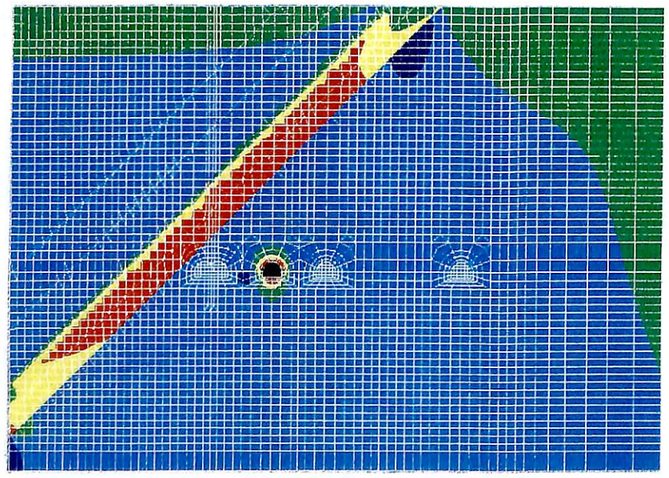
坑道掘削前



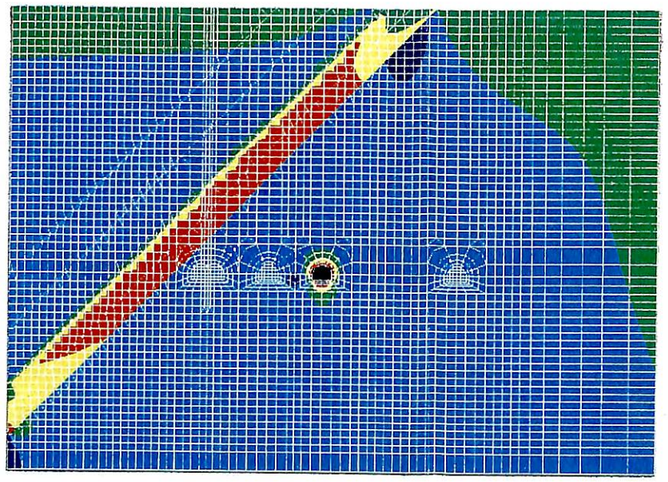
離間距離　0.5D



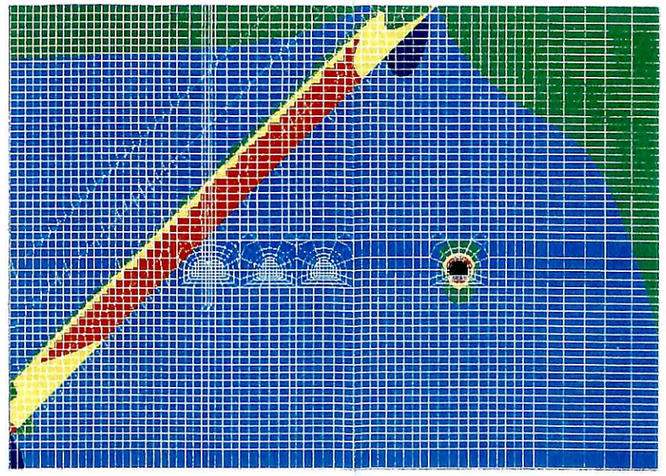
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

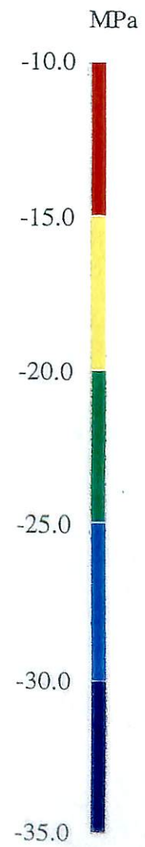
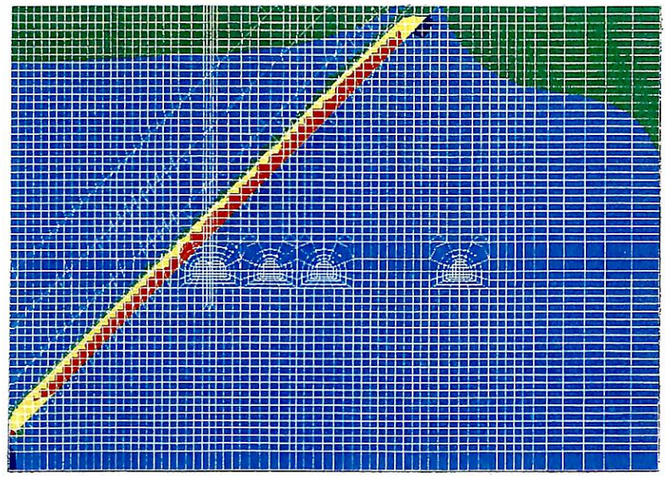
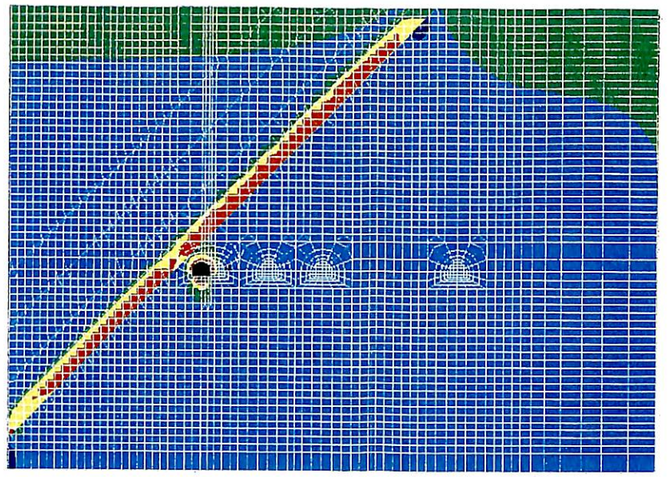


図3.2.7 最大主応力分布（ケース２）

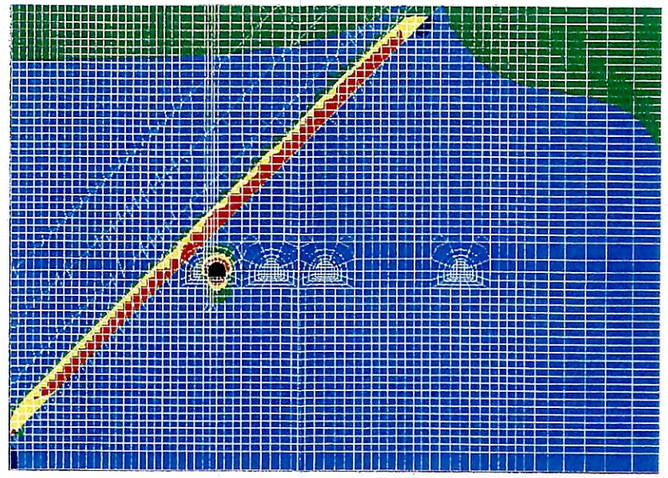
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



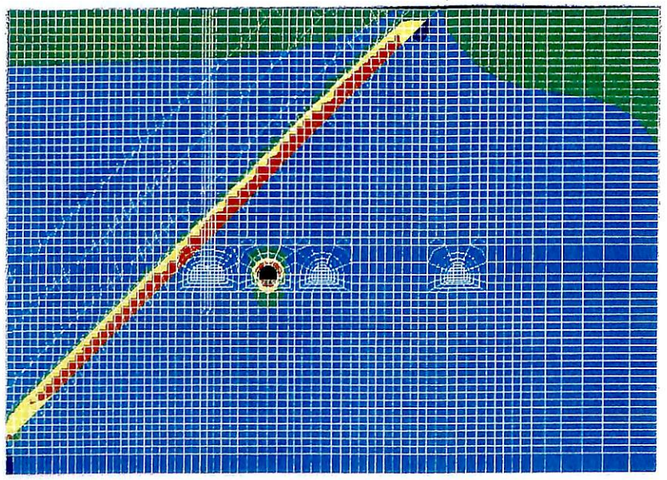
坑道掘削前



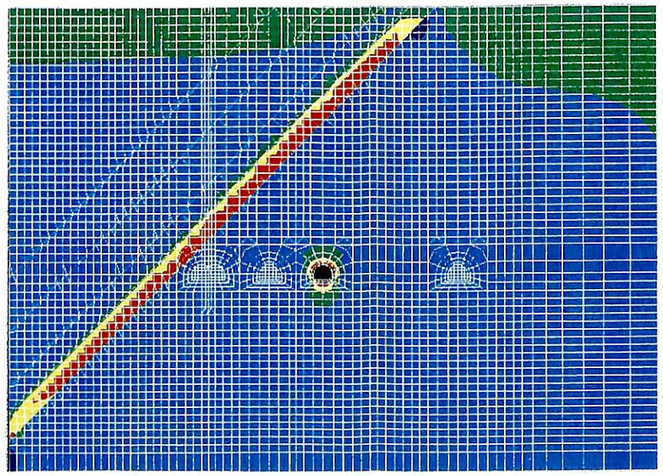
離間距離　0.5D



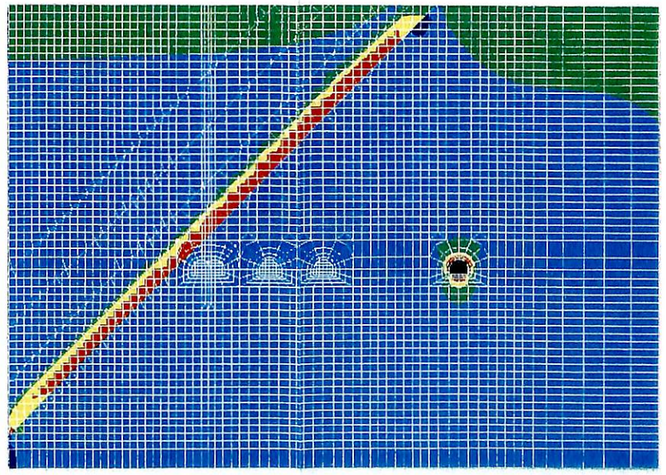
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

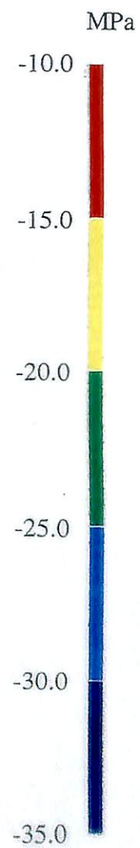
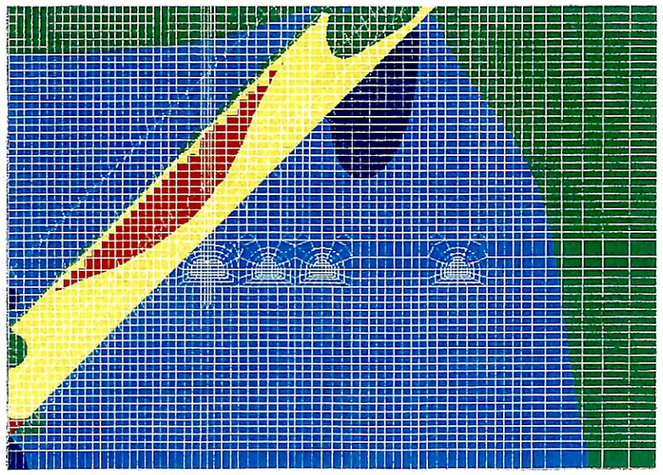
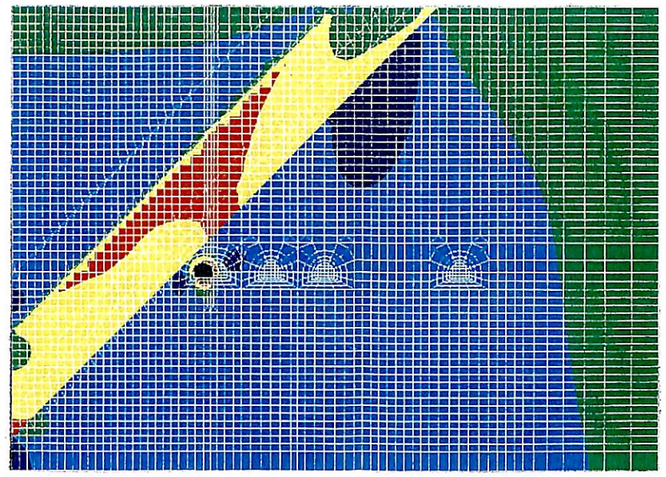


図3.2.8 最大主応力分布（ケース３）

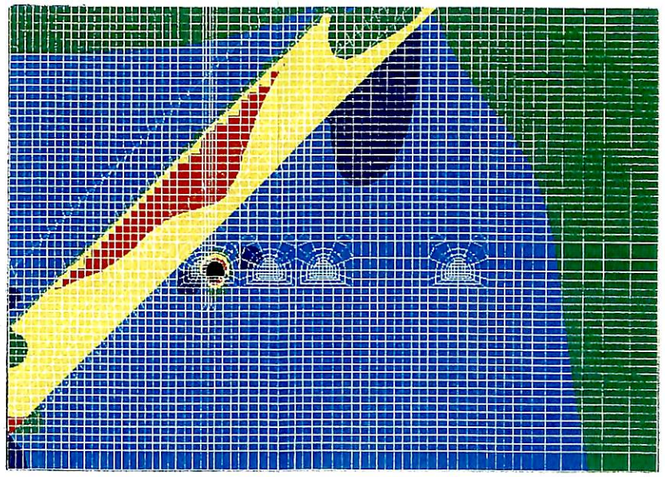
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅５ｍ、健岩部・標準、断層部・６年度）



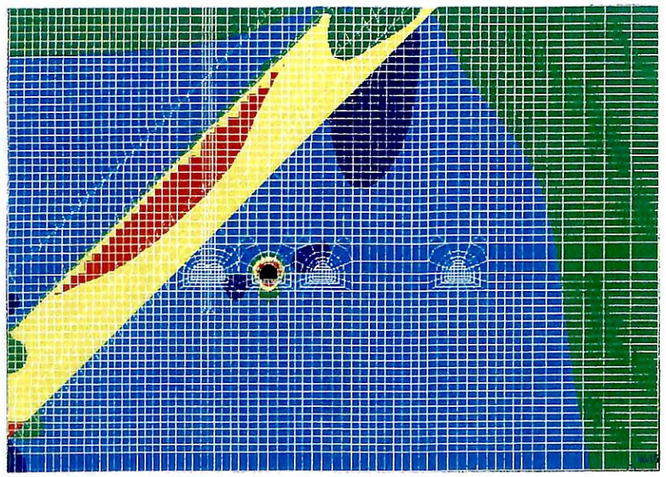
坑道掘削前



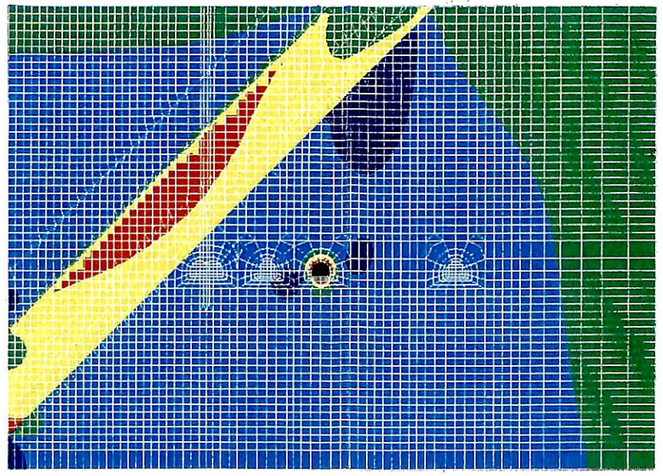
離間距離　0.5 D



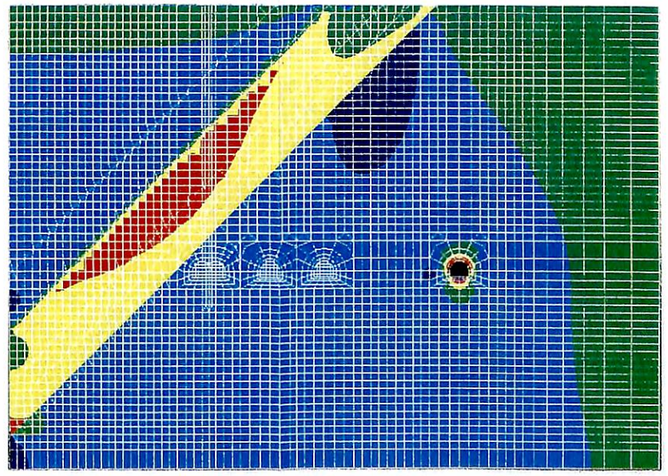
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

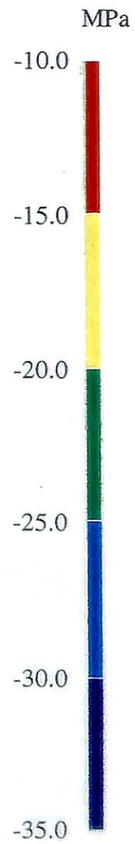
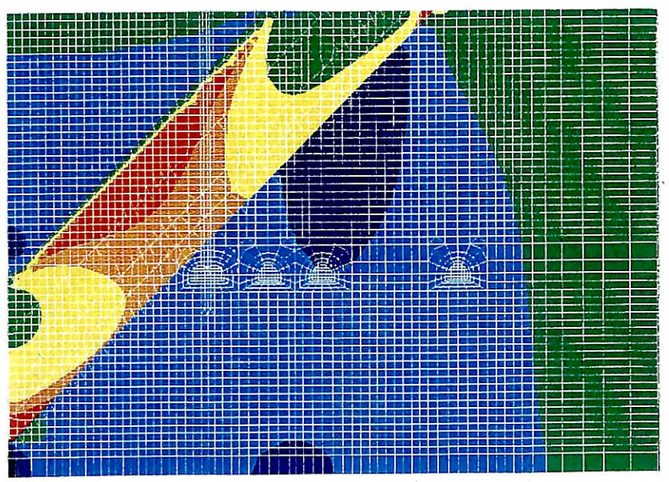
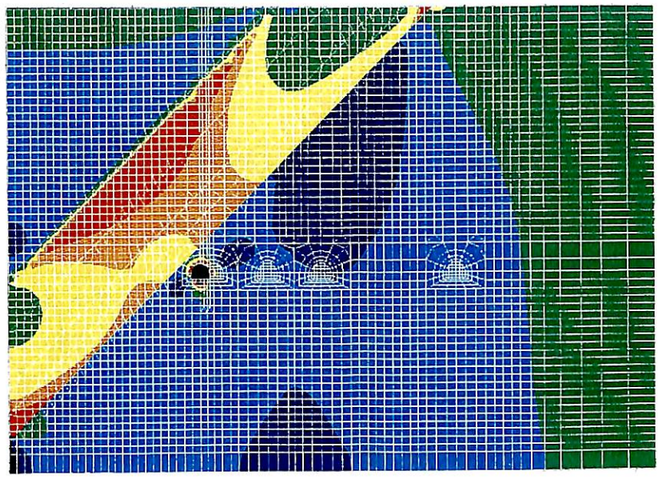


図3.2.9 最大主応力分布（ケース４）

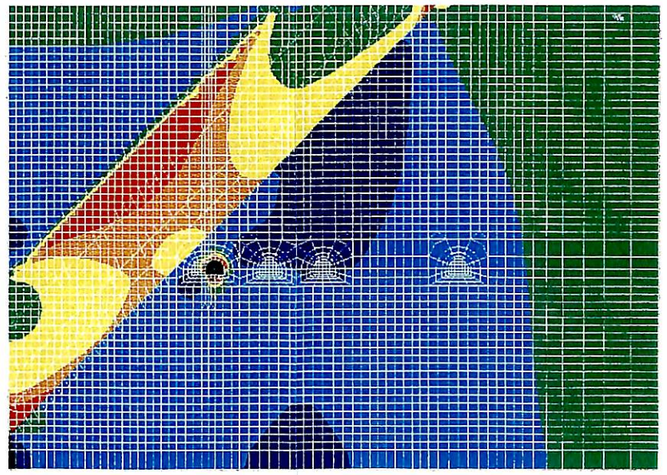
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅20m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



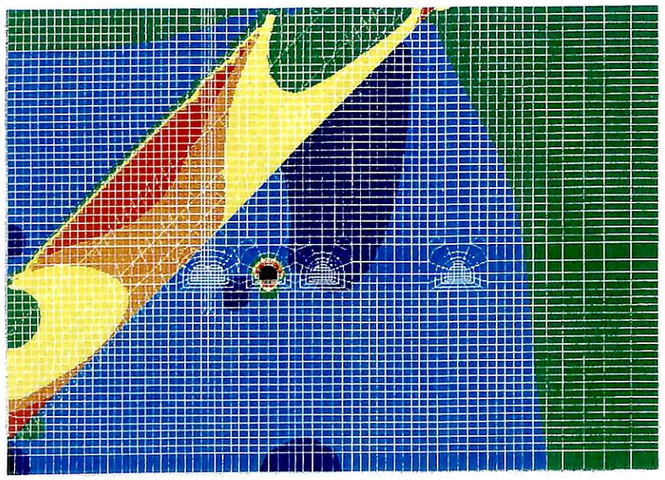
坑道掘削前



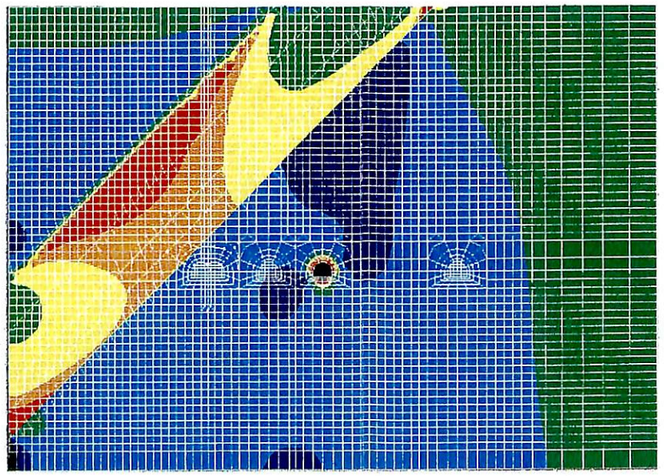
離間距離　0.5 D



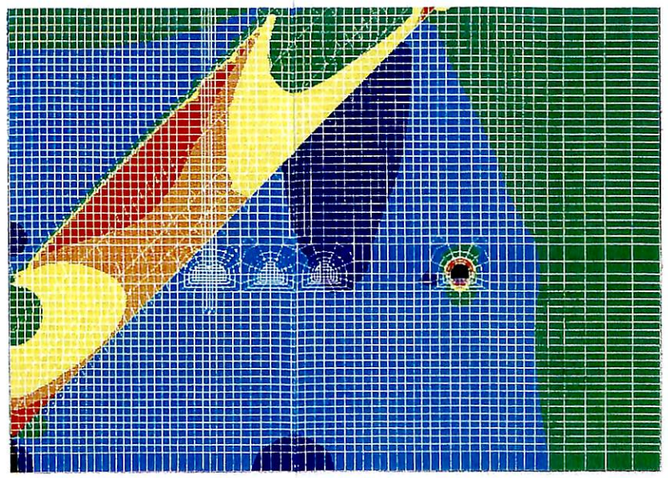
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

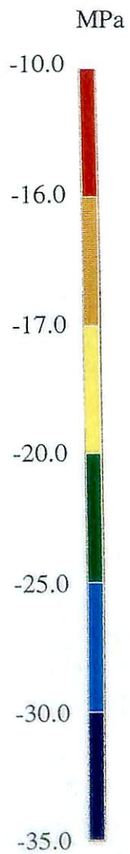


図3.2.10　最大主応力分布（ケース５）

（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅30m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）

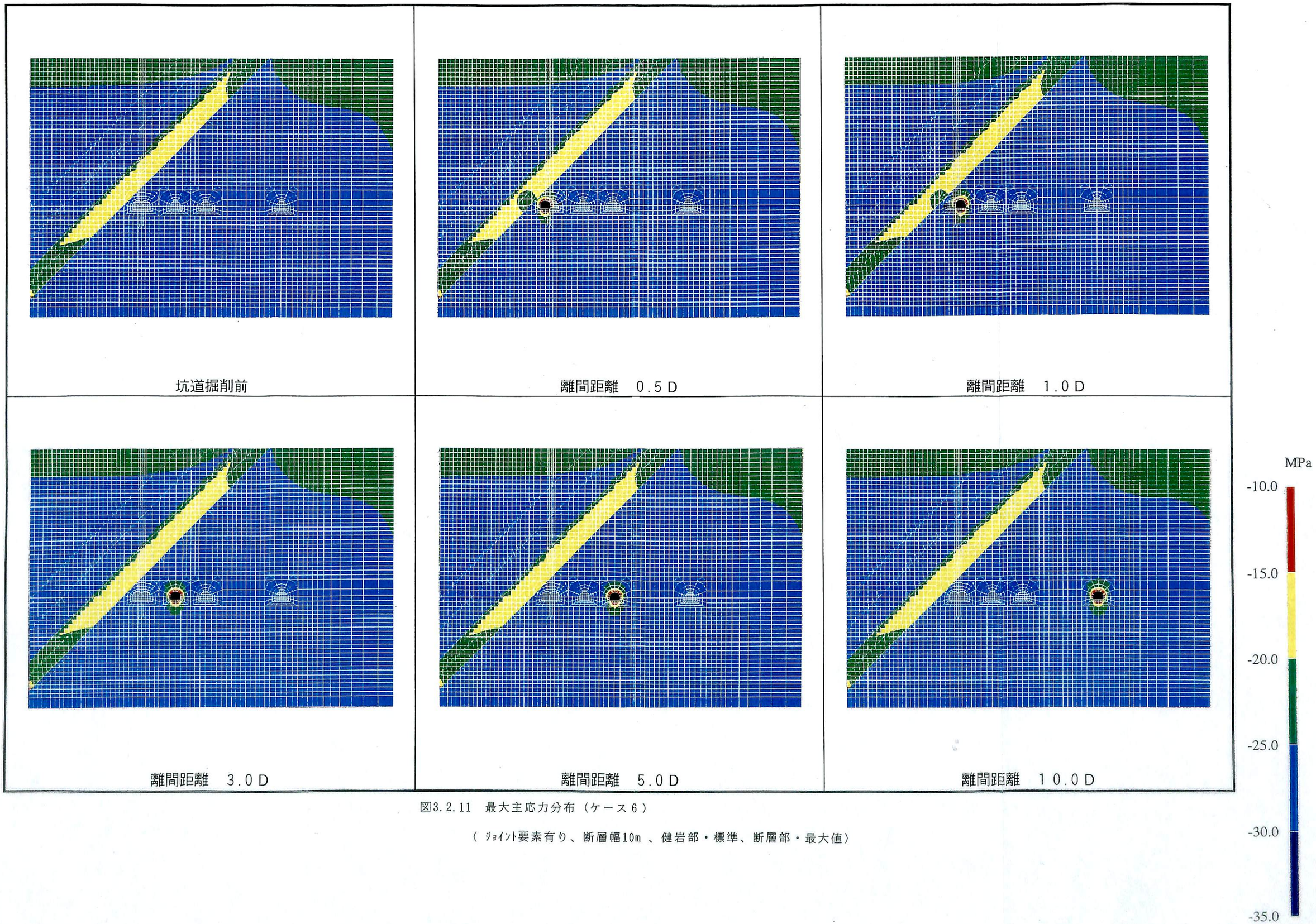
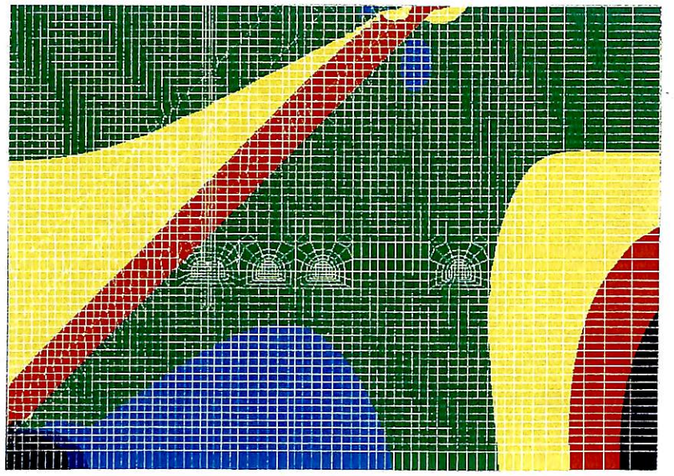
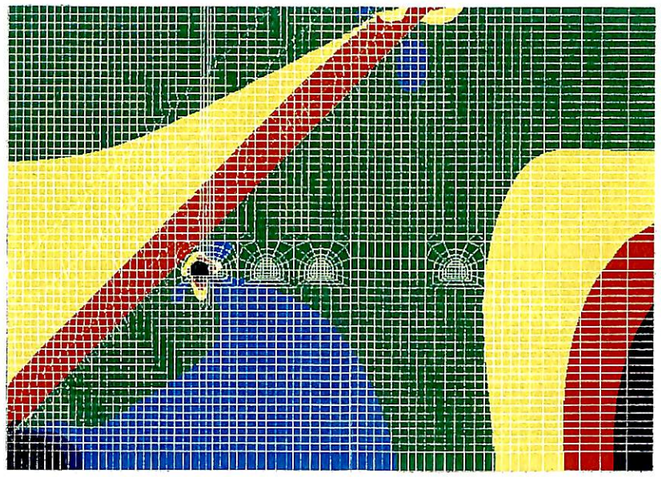


図3.2.11　最大主応力分布（ケース６）

（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最大値）

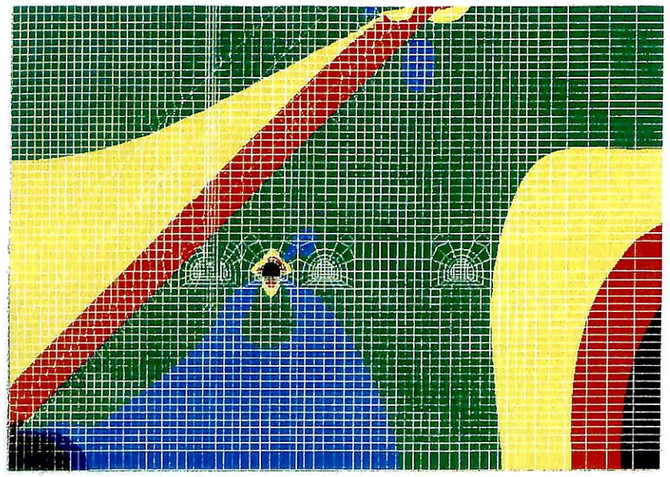


坑道掘削前

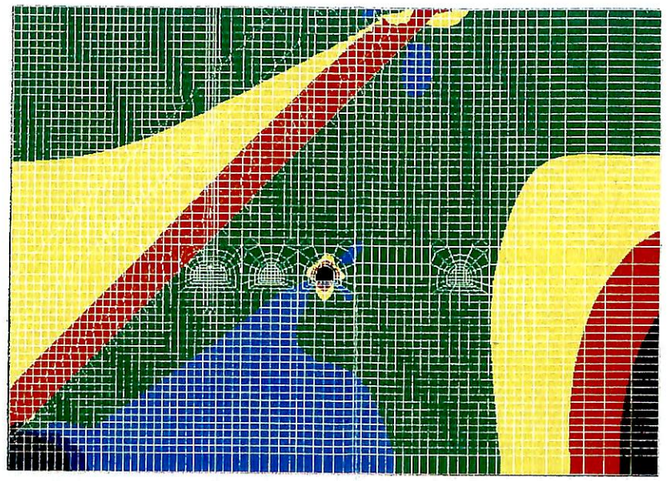


離間距離　0.5 D

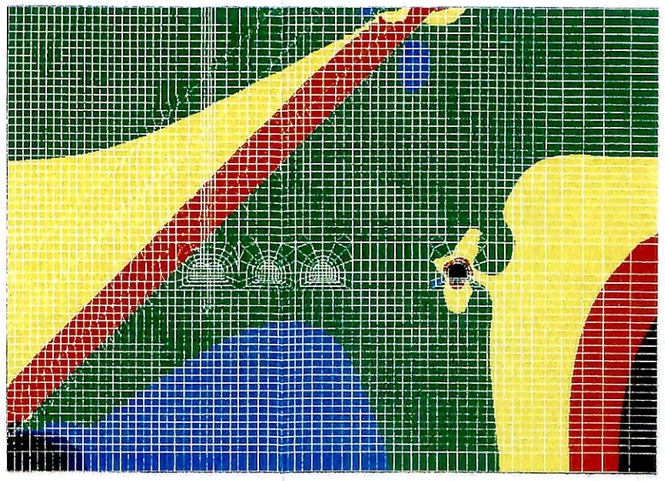
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

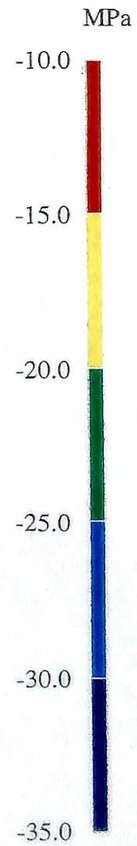
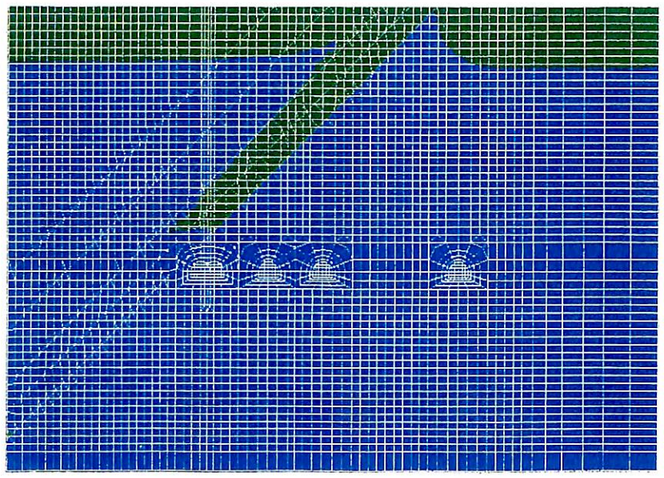
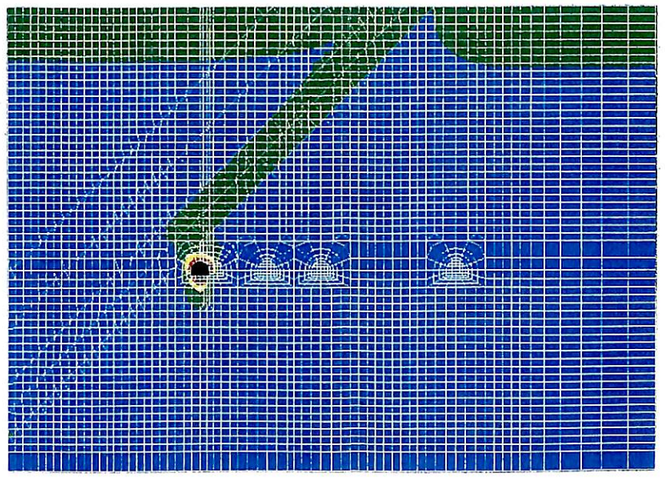


図3.2.12　最大主応力分布（ケース７）

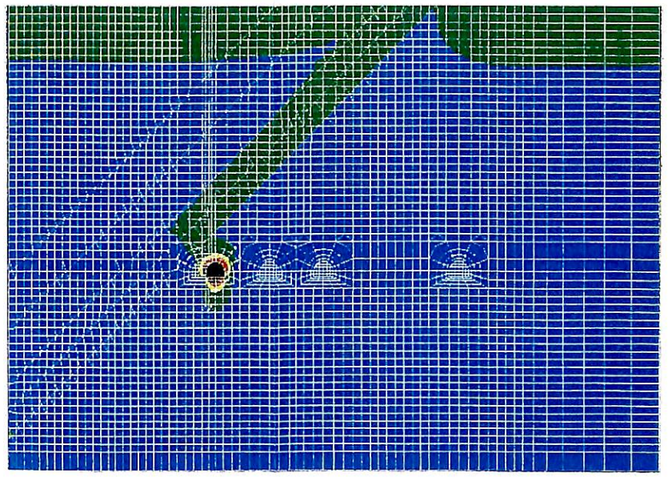
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最小値）



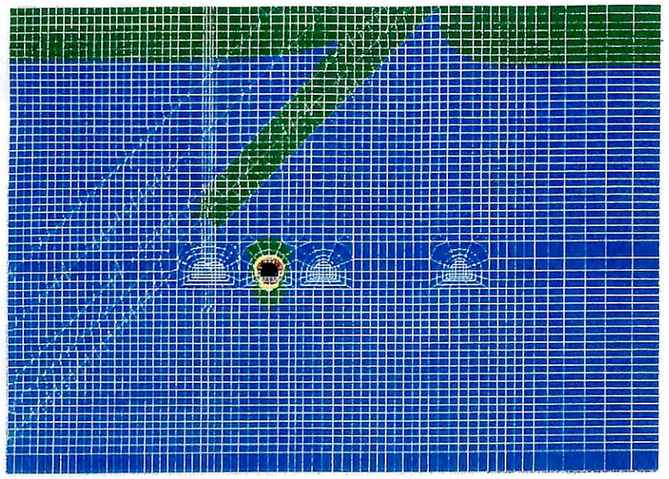
坑道掘削前



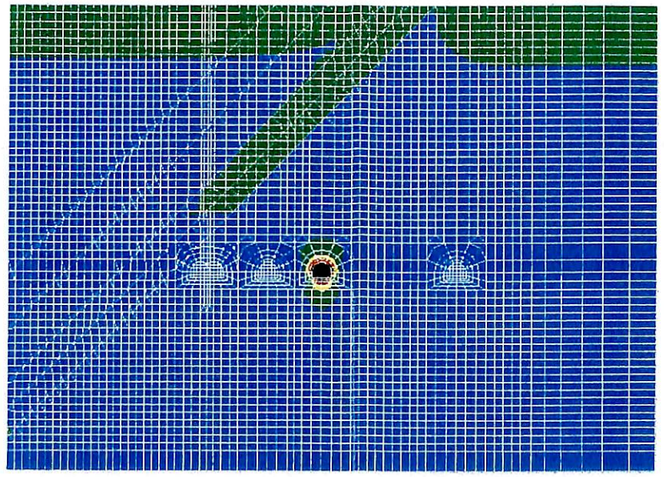
離間距離　0.5D



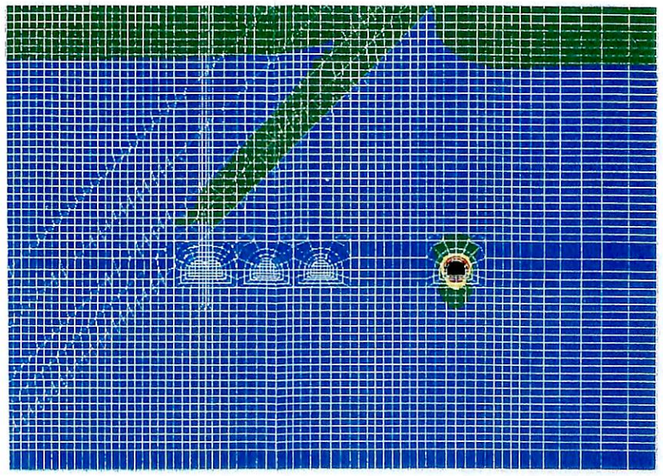
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



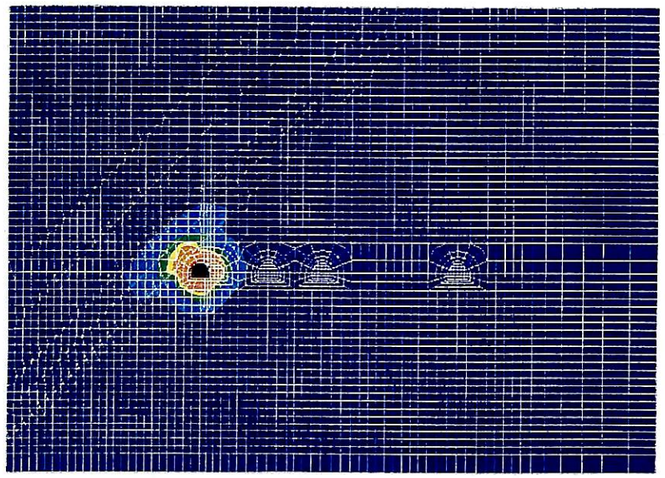
離間距離　5.0D



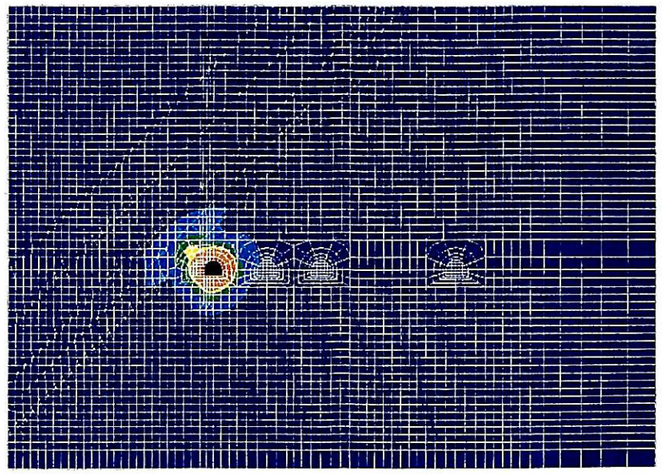
離間距離　10.0D

図3.2.13　最大主応力分布（ケース8）

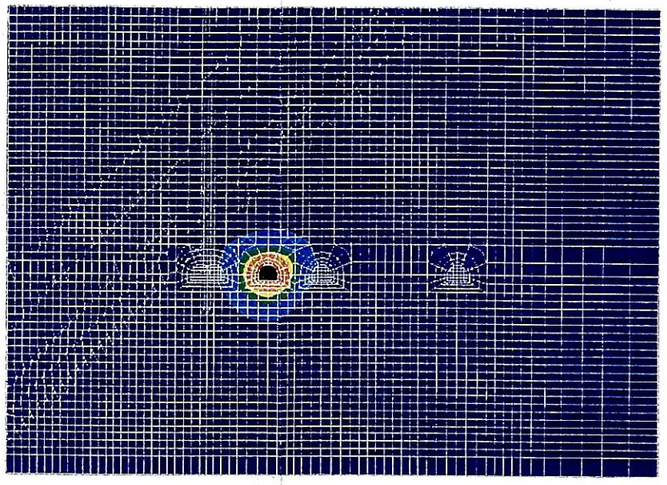
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・軟弱、断層部・6 年度）



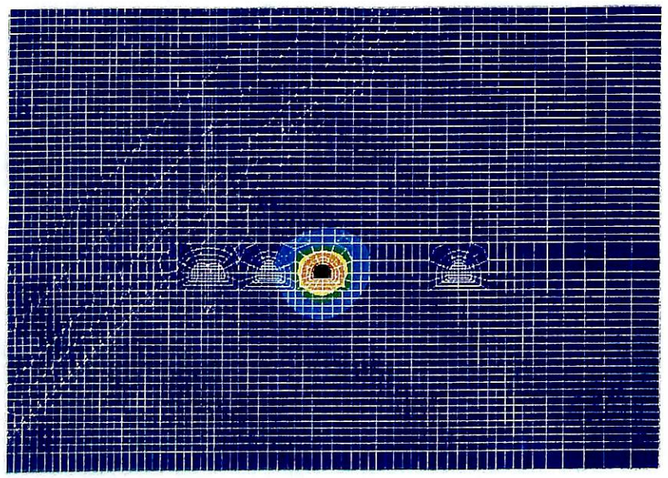
離間距離　0.5 D



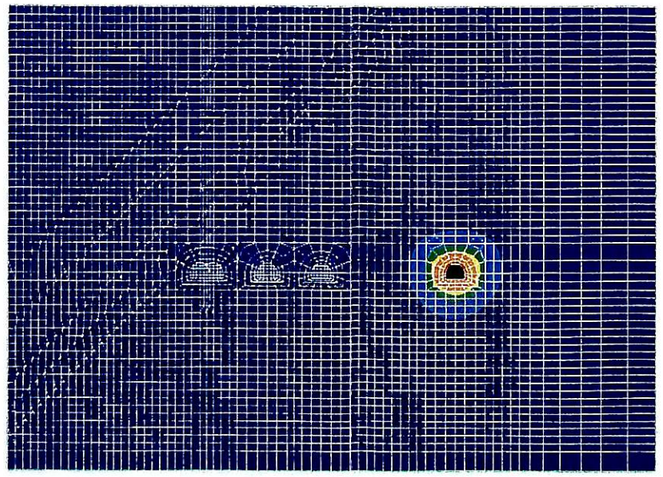
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

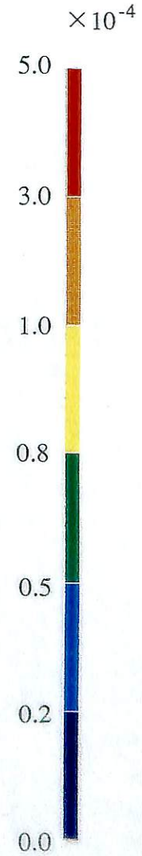
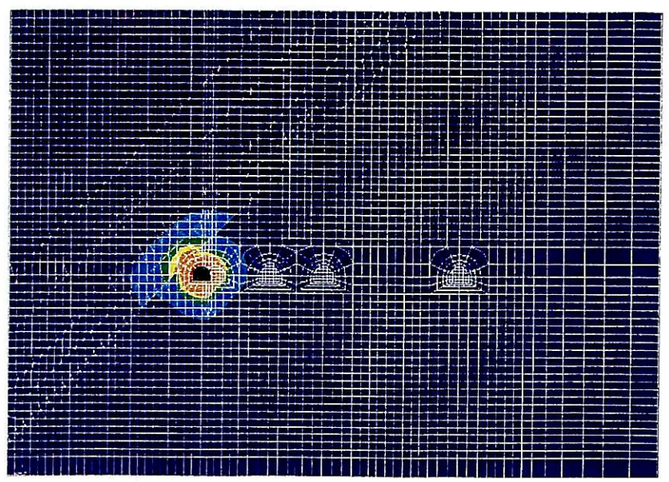
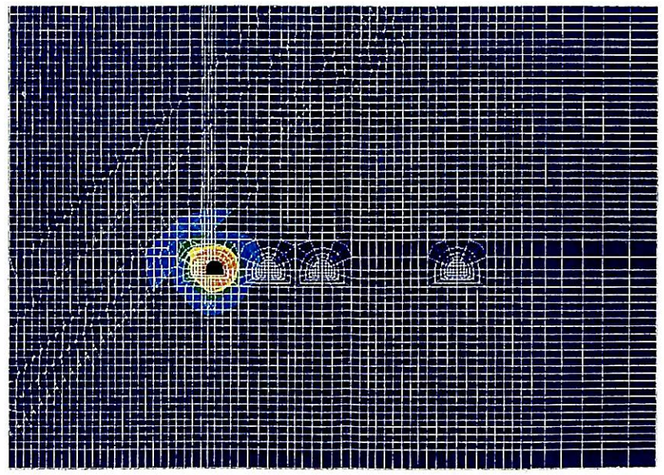


図3.2.14　最大せん断ひずみ分布（ケース１）

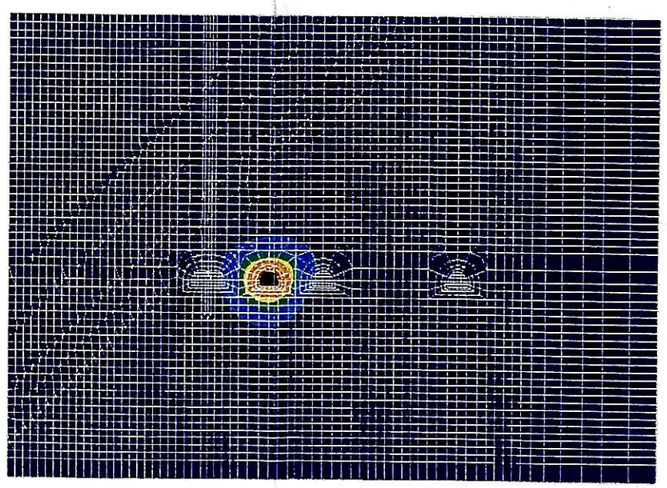
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素無し、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



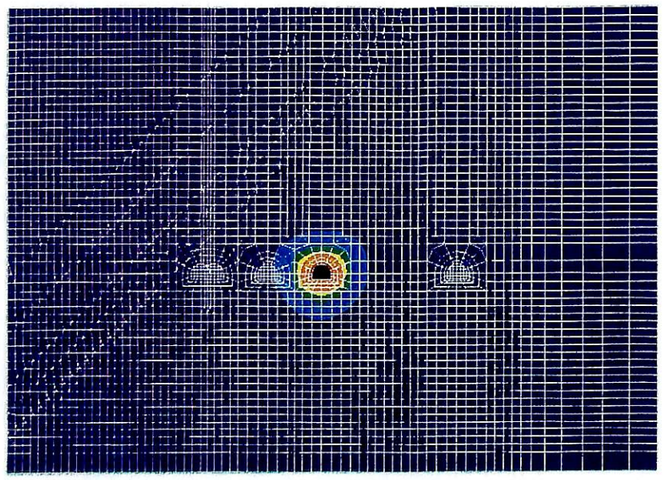
離間距離　0.5D



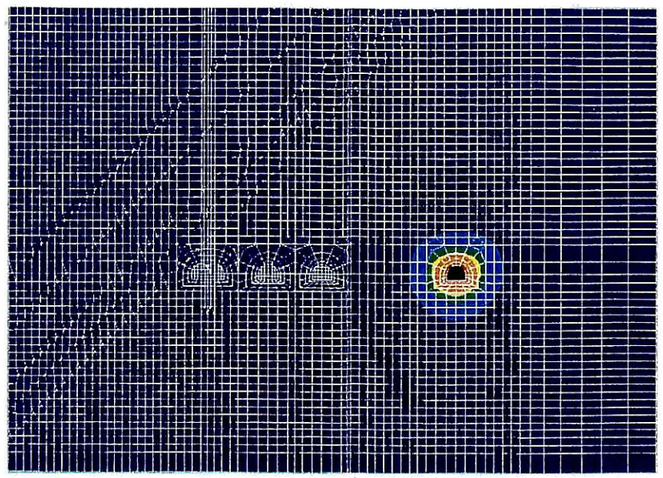
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

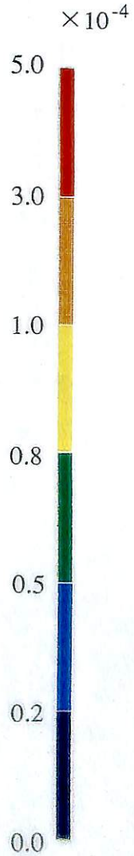
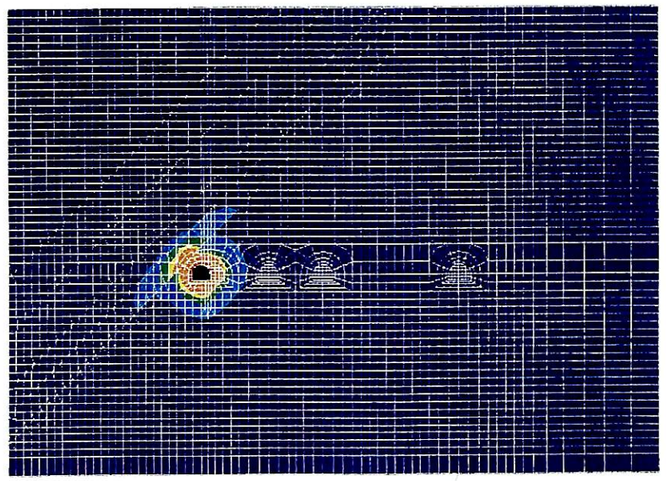
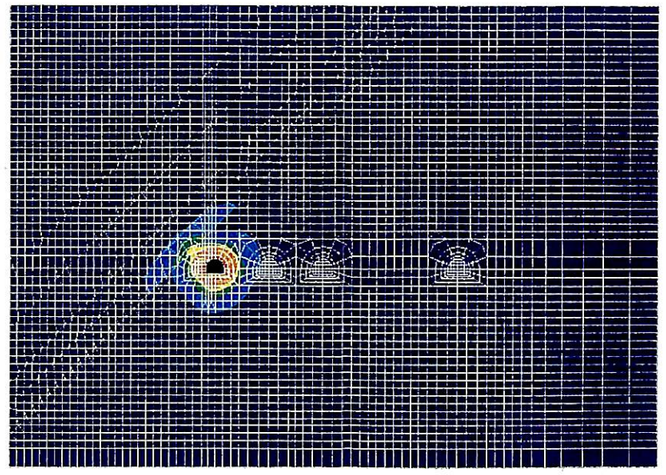


図3.2.15　最大せん断ひずみ分布（ケース２）

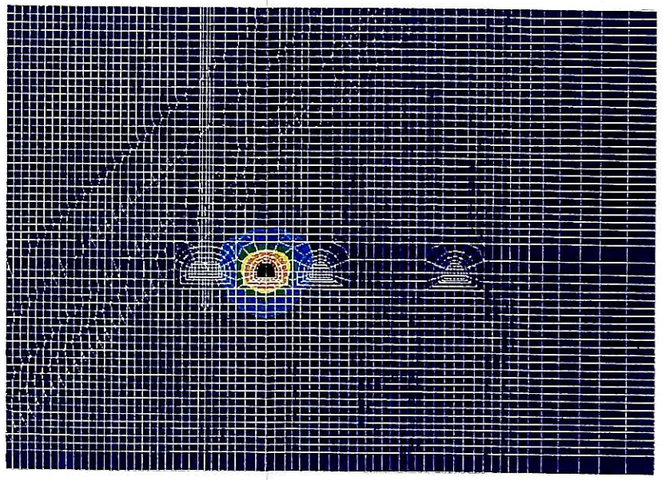
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



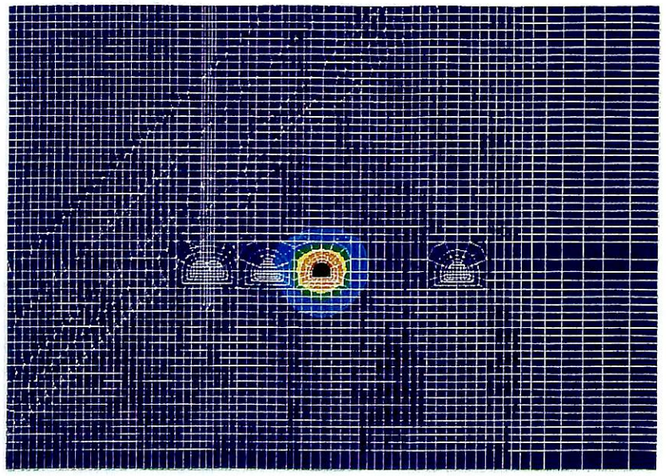
離間距離　0.5D



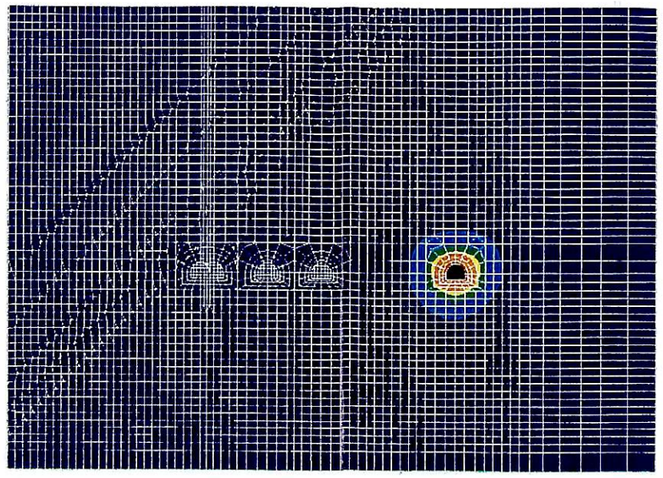
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

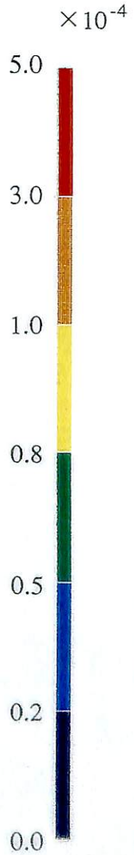
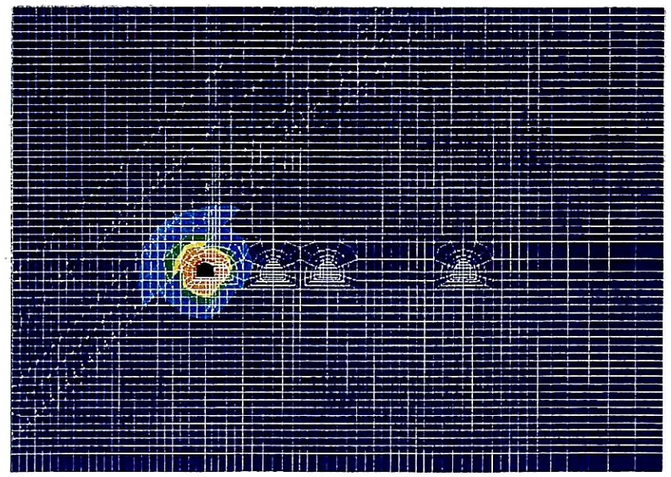
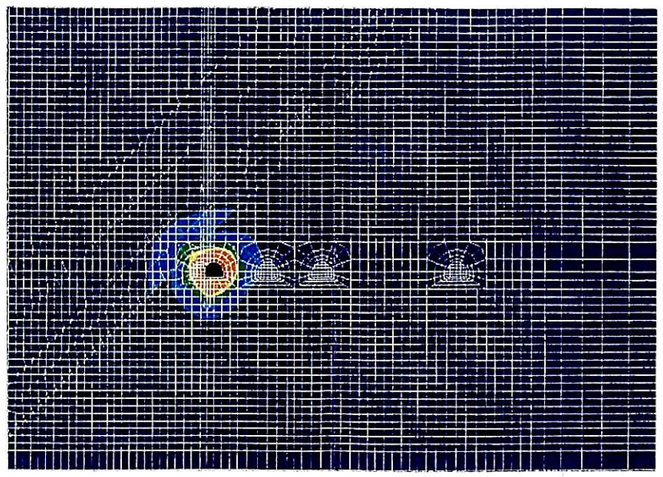


図3.2.16　最大せん断ひずみ分布（ケース3）

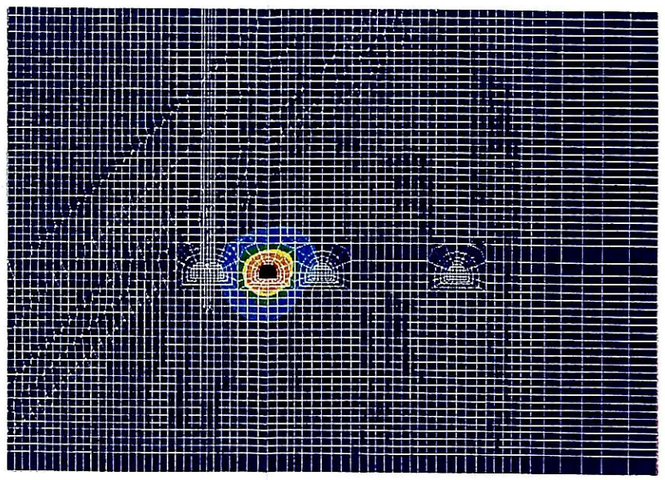
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅5ｍ、健岩部・標準、断層部・6 年度）



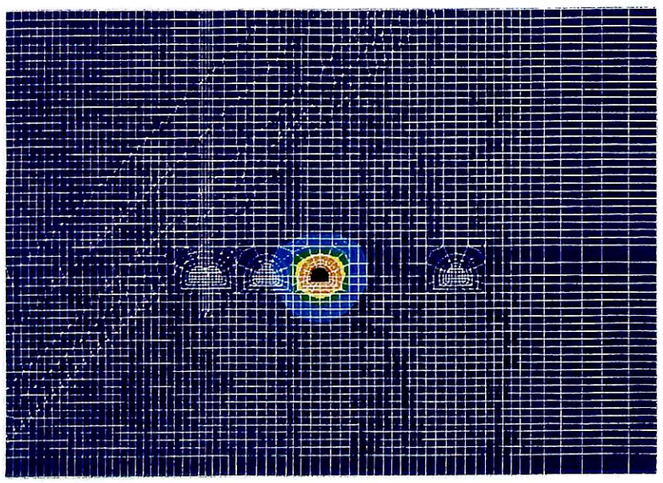
離間距離　0.5 D



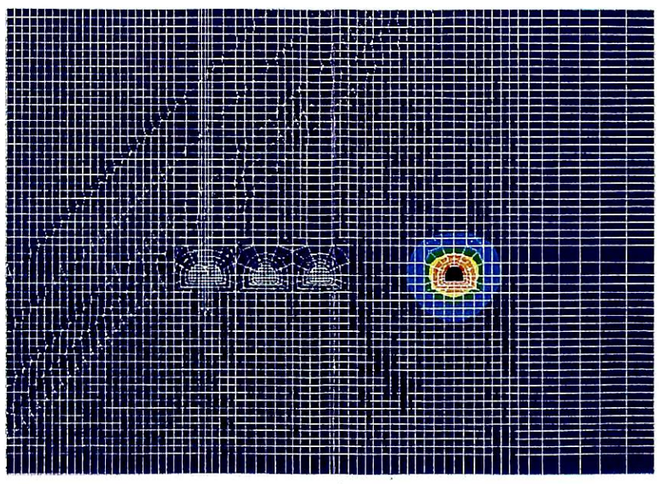
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

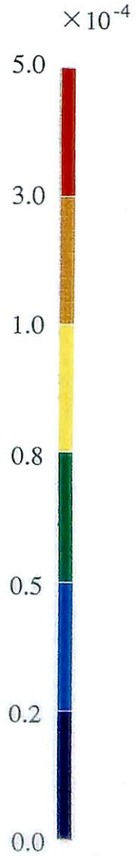


図3.2.17　最大せん断ひずみ分布（ケース４）

（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅20m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）

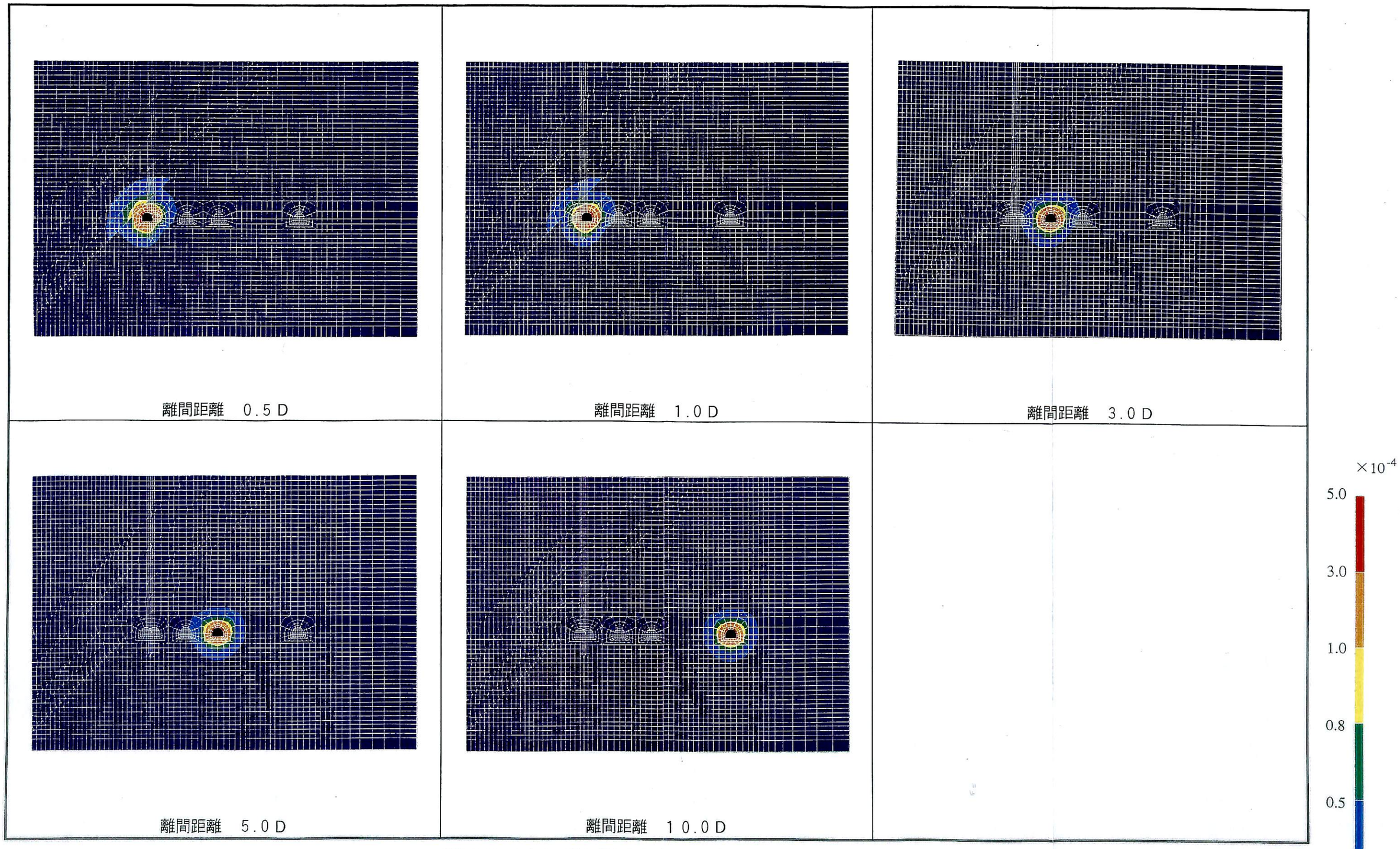
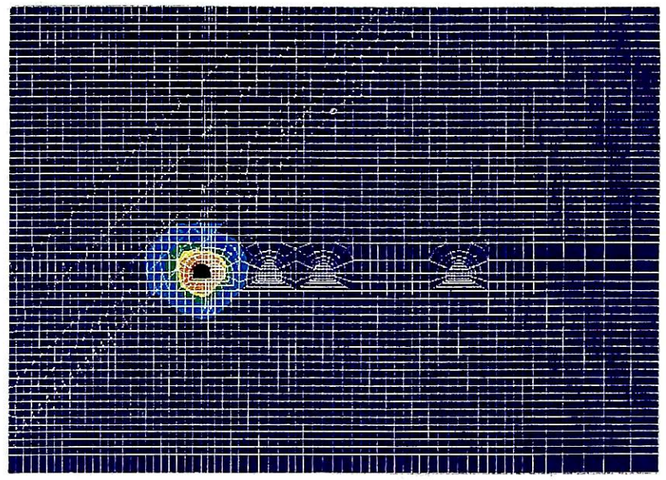
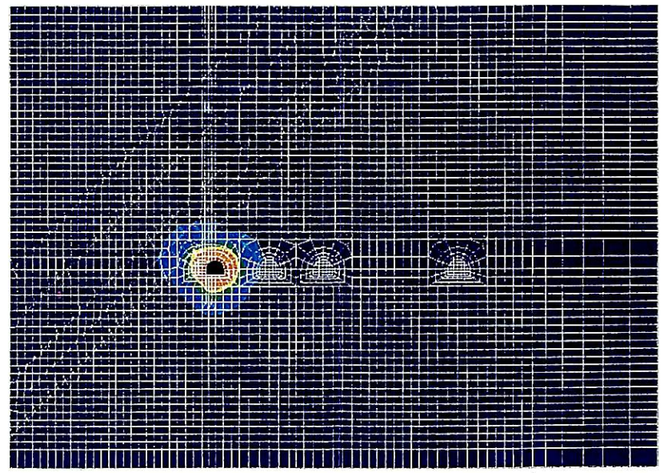


図3.2.18　最大せん断ひずみ分布（ケース5）

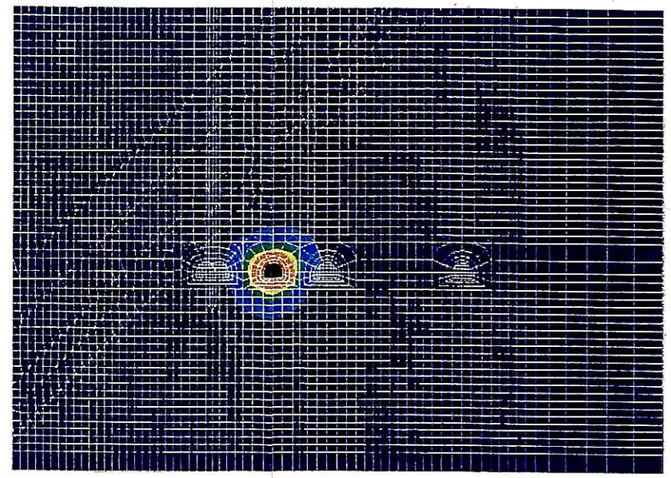
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅30m 、健岩部・標準、断層部・6 年度）



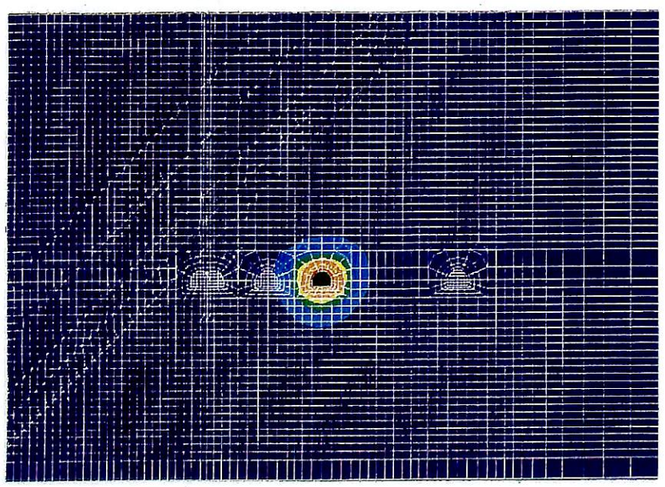
離間距離　0.5 D



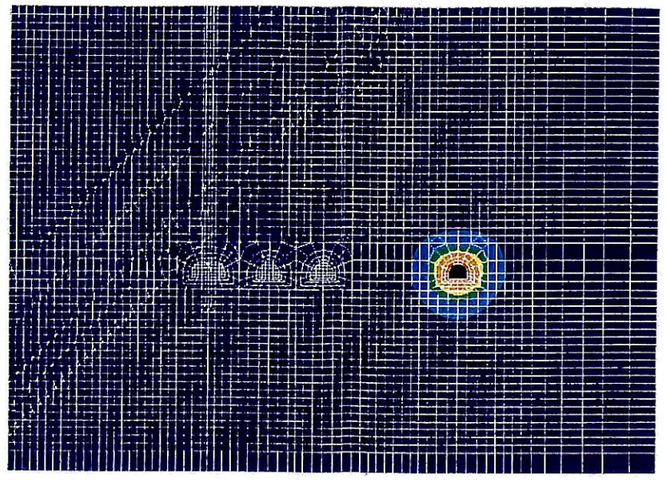
離間距離　1.0 D



離間距離　3.0 D



離間距離　5.0 D



離間距離　10.0 D

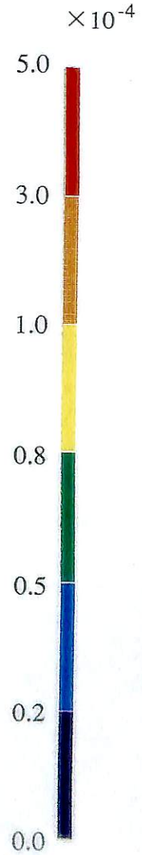
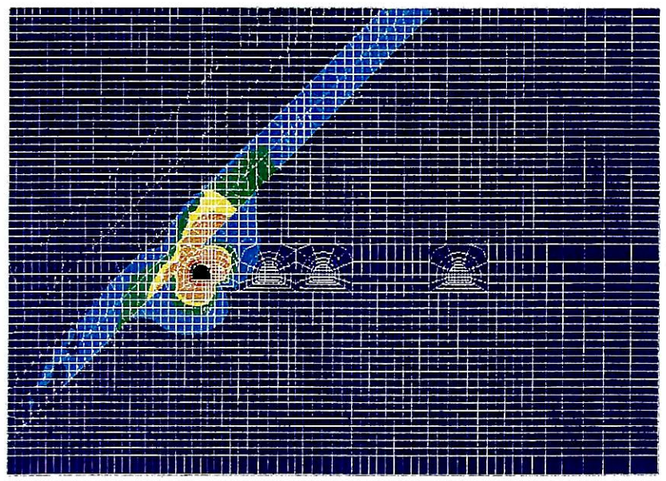
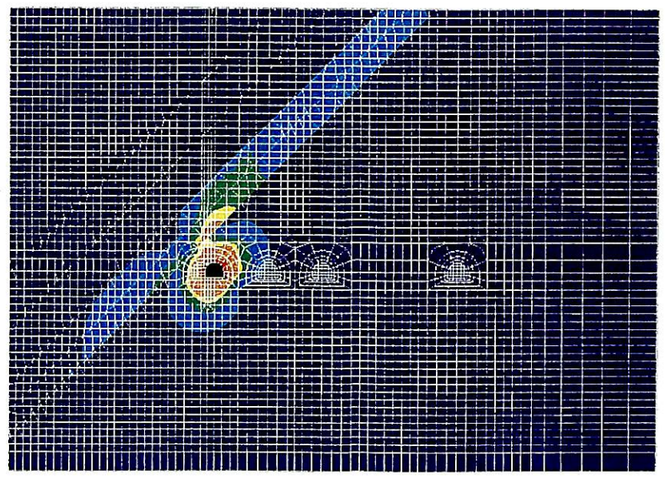


図3.2.19　最大せん断ひずみ分布（ケース６）

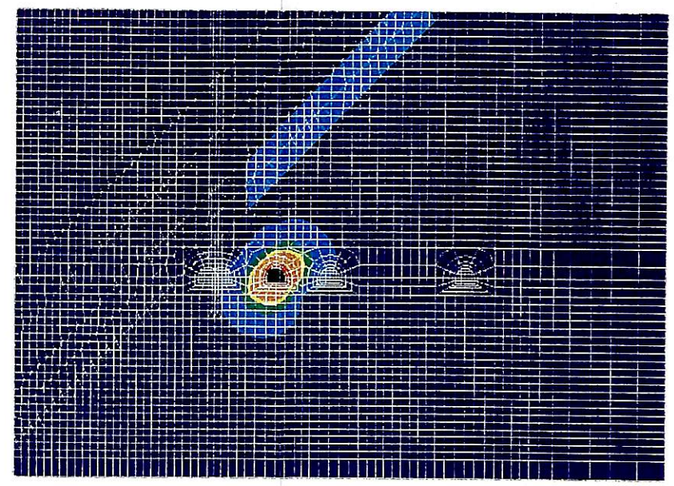
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最大値）



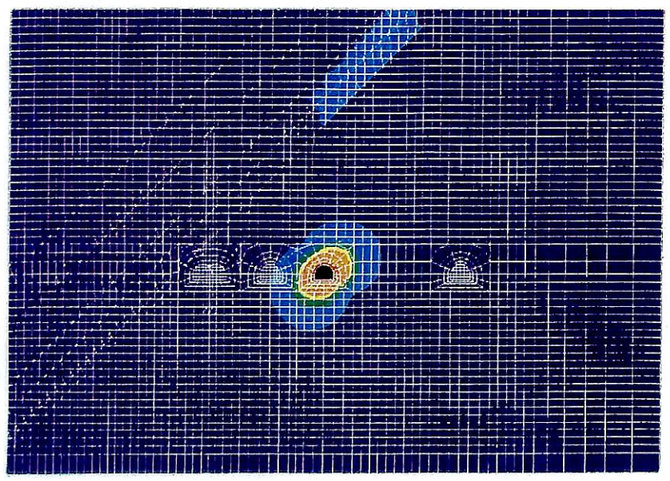
離間距離　0.5D



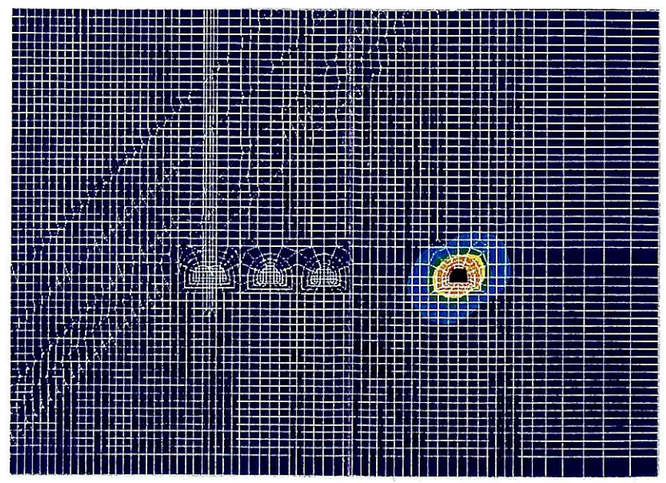
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

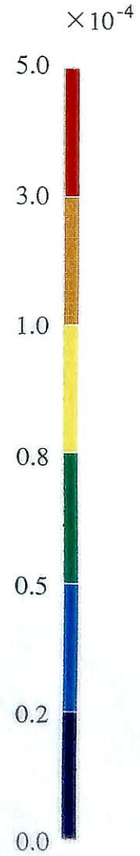
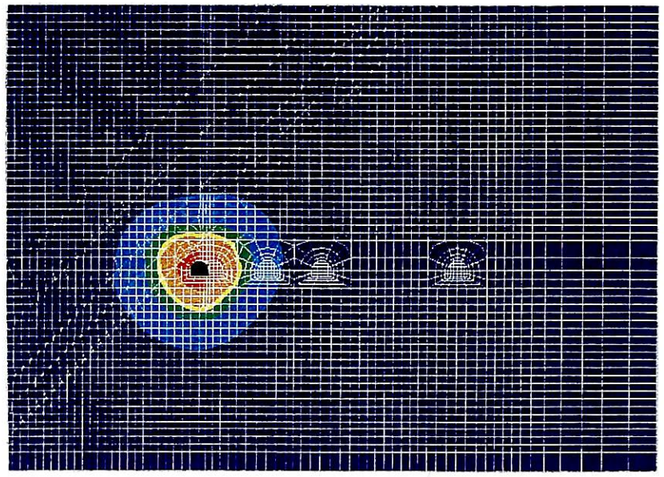
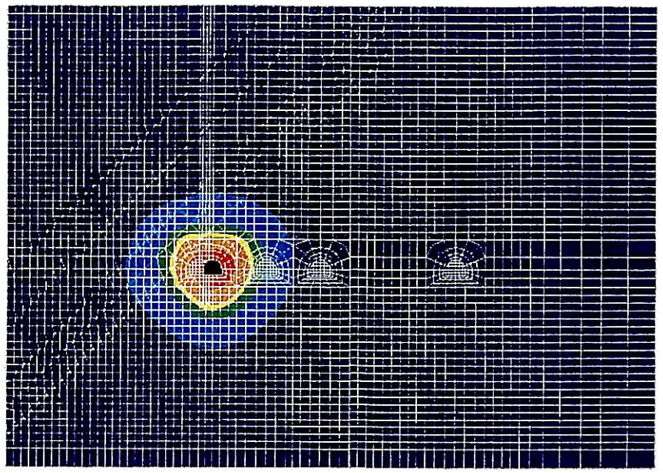


図3.2.20　最大せん断ひずみ分布（ケース７）

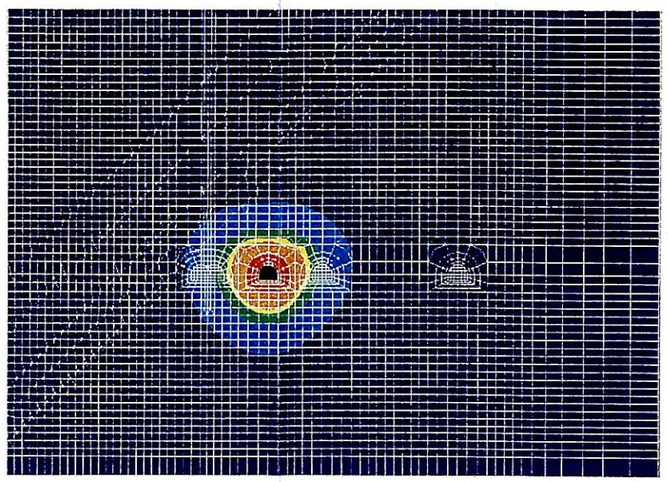
（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最小値）



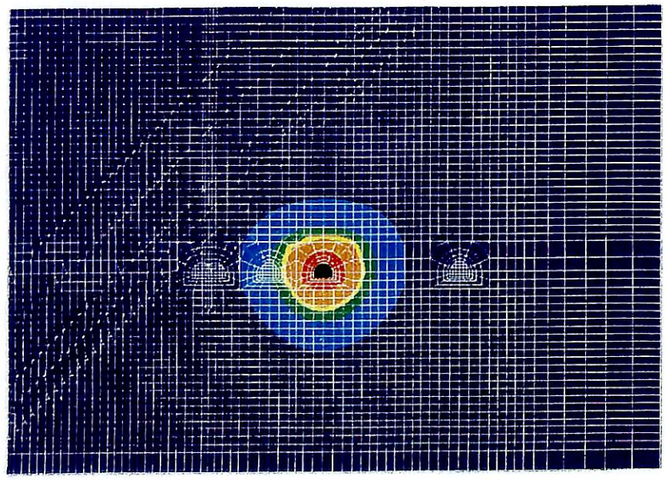
離間距離　0.5D



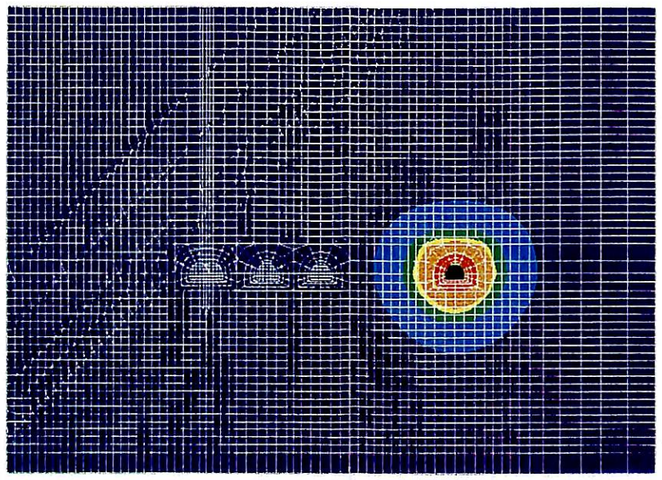
離間距離　1.0D



離間距離　3.0D



離間距離　5.0D



離間距離　10.0D

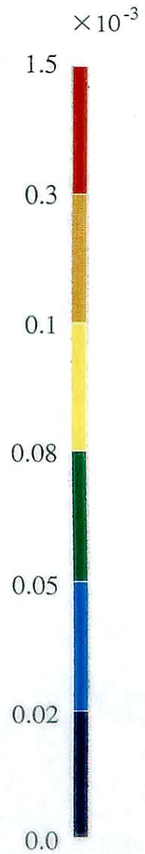


図3.2.21　最大せん断ひずみ分布（ケース８）

（ ｼﾞｮｲﾝﾄ要素有り、断層幅10m 、健岩部・軟弱、断層部・6 年度）

（２）断層部分における最大主応力および最大せん断ひずみの掘削前後の変化率

坑道掘削による断層部への影響を定量的に検討するため、昨年度と同様に、各離間距離の坑道に対して最も近い断層部分の要素における最大主応力および最大せん断ひずみの掘削前後の変化率（（掘削前－掘削後）／掘削前の％表示）を算出した。各ケースの結果を表3.2.12～3.2.19に示す。

表3.2.12　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース１）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素無し、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-14.42	-16.93	-17.43	23.98E-4	17.77E-4	25.92
1	-14.38	-15.58	-8.36	24.06E-4	20.90E-4	13.12
3	-14.19	-14.46	-1.87	24.09E-4	23.32E-4	3.17
5	-14.18	-14.28	-0.73	24.42E-4	24.12E-4	1.20
10	-14.13	-14.15	-0.15	24.50E-4	24.45E-4	0.21

表3.2.13　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース２）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-14.41	-16.00	-11.07	23.96E-4	18.54E-4	22.60
1	-14.37	-15.21	-5.86	24.03E-4	21.22E-4	11.68
3	-14.19	-14.42	-1.59	24.03E-4	23.32E-4	2.94
5	-14.17	-14.26	-0.66	24.39E-4	24.11E-4	1.15
10	-14.14	-14.16	-0.14	24.43E-4	24.38E-4	0.20

表3.2.14　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース３）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅５m 、健岩部・標準、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-13.93	-15.17	-8.87	25.21E-4	19.68E-4	21.94
1	-13.90	-14.53	-4.52	25.25E-4	22.34E-4	11.50
3	-13.72	-13.90	-1.26	25.17E-4	24.43E-4	2.95
5	-13.69	-13.76	-0.51	25.48E-4	25.19E-4	1.13
10	-13.48	-13.50	-0.11	25.66E-4	25.61E-4	0.18

表3.2.15　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース４）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅20m 、健岩部・標準、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-15.45	-17.48	-13.10	20.99E-4	15.62E-4	25.56
1	-15.42	-16.48	-6.87	21.11E-4	18.39E-4	12.86
3	-15.30	-15.57	-1.76	21.18E-4	20.54E-4	3.05
5	-15.37	-15.48	-0.75	21.52E-4	21.26E-4	1.24
10	-16.28	-16.30	-0.17	20.78E-4	20.72E-4	0.27

表3.2.16　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース５）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅30m 、健岩部・標準、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-16.66	-20.47	-22.90	17.94E-4	12.62E-4	29.64
1	-16.67	-17.89	-7.37	17.99E-4	15.34E-4	14.73
3	-16.67	-16.97	-1.78	17.98E-4	17.37E-4	3.42
5	-16.90	-17.04	-0.78	18.20E-4	17.93E-4	1.48
10	-18.12	-18.16	-0.18	18.72E-4	18.66E-4	0.32

表3.2.17　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース６）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最大値）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-19.52	-20.19	-3.43	10.25E-4	7.91E-4	22.84
1	-19.48	-19.87	-1.99	10.28E-4	9.08E-4	11.61
3	-19.30	-19.53	-1.22	10.27E-4	9.85E-4	4.10
5	-19.27	-19.38	-0.56	10.42E-4	10.25E-4	1.61
10	-19.23	-19.25	-0.14	10.43E-4	10.40E-4	0.25

表3.2.18　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース７）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅10m 、健岩部・標準、断層部・最小値）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-12.17	-12.34	-1.45	82.98E-3	82.26E-3	0.86
1	-12.20	-12.27	-0.54	83.12E-3	82.90E-3	0.26
3	-12.20	-12.21	-0.12	82.17E-3	82.14E-3	0.04
5	-12.31	-12.32	-0.07	83.28E-3	83.26E-3	0.03
10	-12.47	-12.48	-0.03	83.28E-3	83.27E-3	0.01

表3.2.19　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率　（ケース８）
（ｼﾞｮｲﾝﾄ 要素有り、断層幅10m 、健岩部・軟弱、断層部・6年度）

離間距離	最大主応力(MPa)		最大主応力	最大せん断ひずみ(%)		最大せん断ひずみ
(×D)	掘削前	掘削後	変化率(%)	掘削前	掘削後	変化率(%)
0.5	-25.65	-27.10	-5.65	14.16E-4	9.46E-4	33.20
1	-25.29	-26.55	-4.97	14.20E-4	10.51E-4	25.94
3	-24.96	-25.02	-0.24	14.50E-4	14.28E-4	1.57
5	-24.83	-24.88	-0.20	14.75E-4	14.66E-4	0.62
10	-24.41	-24.43	-0.06	15.29E-4	15.30E-4	-0.07

3.2.6 結果の考察

解析結果より、以下の検討項目に関して考察する。

（1）ジョイント要素の影響

ジョイント要素の影響については、ケース1と2の結果を比較して検討する。

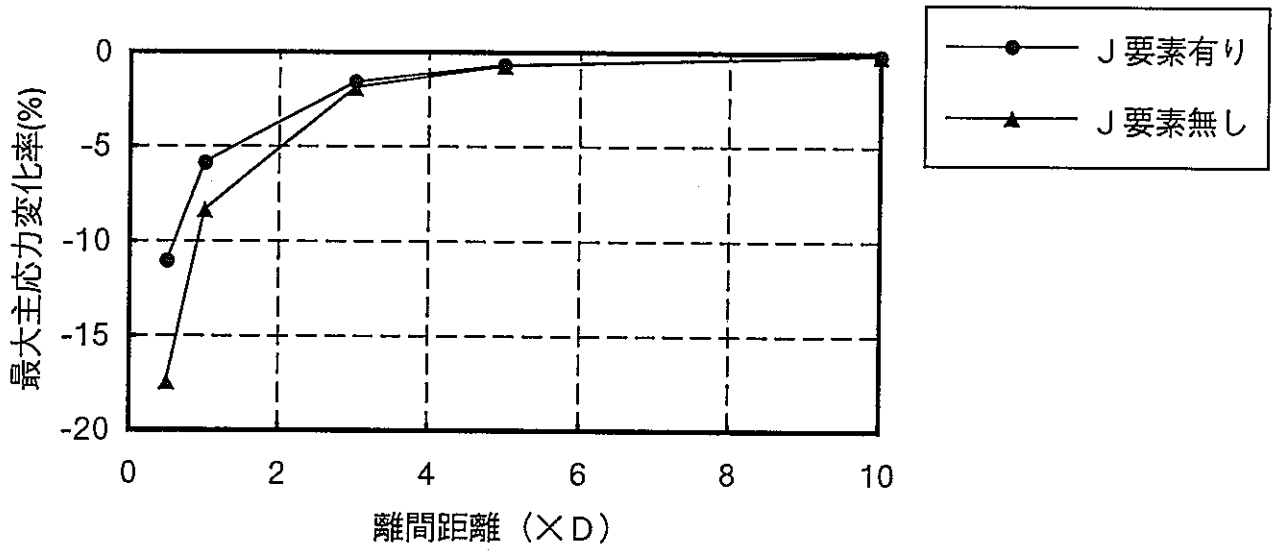
ジョイント要素を適用した場合としない場合の最大主応力および最大せん断ひずみ変化率を図3.2.22に示す。

坑道掘削前の最大主応力分布については、断層部の両端には境界の影響が認められるものの、影響検討部すなわち各離間距離の坑道に対して最も近い断層部分に関しては、ほぼ一様に分布している。

最大主応力分布図を比較すると、全体的な分布の形状はほぼ同様であるが、ジョイント要素を適用した場合は、ジョイントを境にして分布が不連続になっている。また、掘削による応力分布への影響については、ジョイント要素の存在にはほとんど係わっていないようである。

坑道掘削による最大主応力、最大せん断ひずみの変化率に関しては、ジョイント要素を適用しない方が若干変化率が大きいが、坑道と断層の離間距離が3D以上になるとほぼ同じになる。

以上より、坑道掘削による応力およびひずみ分布の変化はジョイント要素の存在に係わらず同程度に断層部分に影響をもたらすことが確認できた。ジョイント要素によって、断層部と健岩部のすべり、開口および閉合に関しても考慮できることを考えると、今回の解析に適用することは妥当であるといえる。



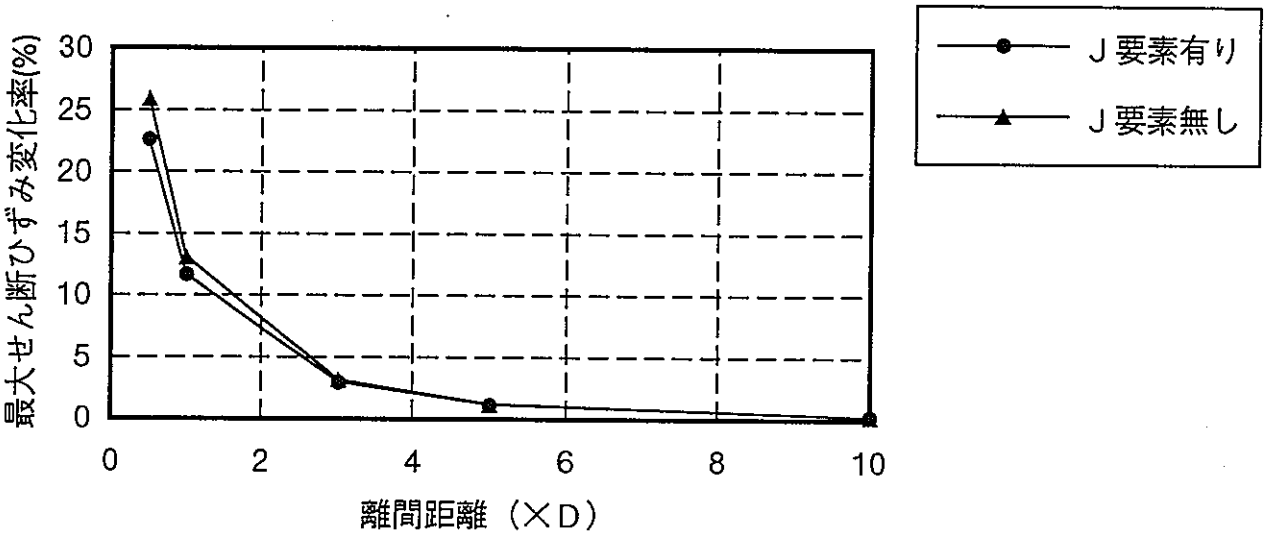


図3.2.22　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率へのジョイント要素の影響

（２）断層幅の影響

断層幅の影響については、ケース２～５の結果を比較して検討する。

断層幅が5m, 10m, 20m, 30mである場合の最大主応力および最大せん断ひずみ変化率を図3.2.23に示す。

断層部分における応力、ひずみの分布状態を比較すると、断層幅が大きくなると、ジョイント近傍の最大主応力および最大せん断ひずみは減少している。これは、断層部と健岩部が連続になっている境界部、すなわち、ジョイント要素が入っていない方の境界部の影響が、距離によって緩和されていると考えられる。また、坑道掘削による応力、ひずみの変化率については断層幅に比例するが、坑道と断層の離間距離が1D以上ではほぼ同じになる。

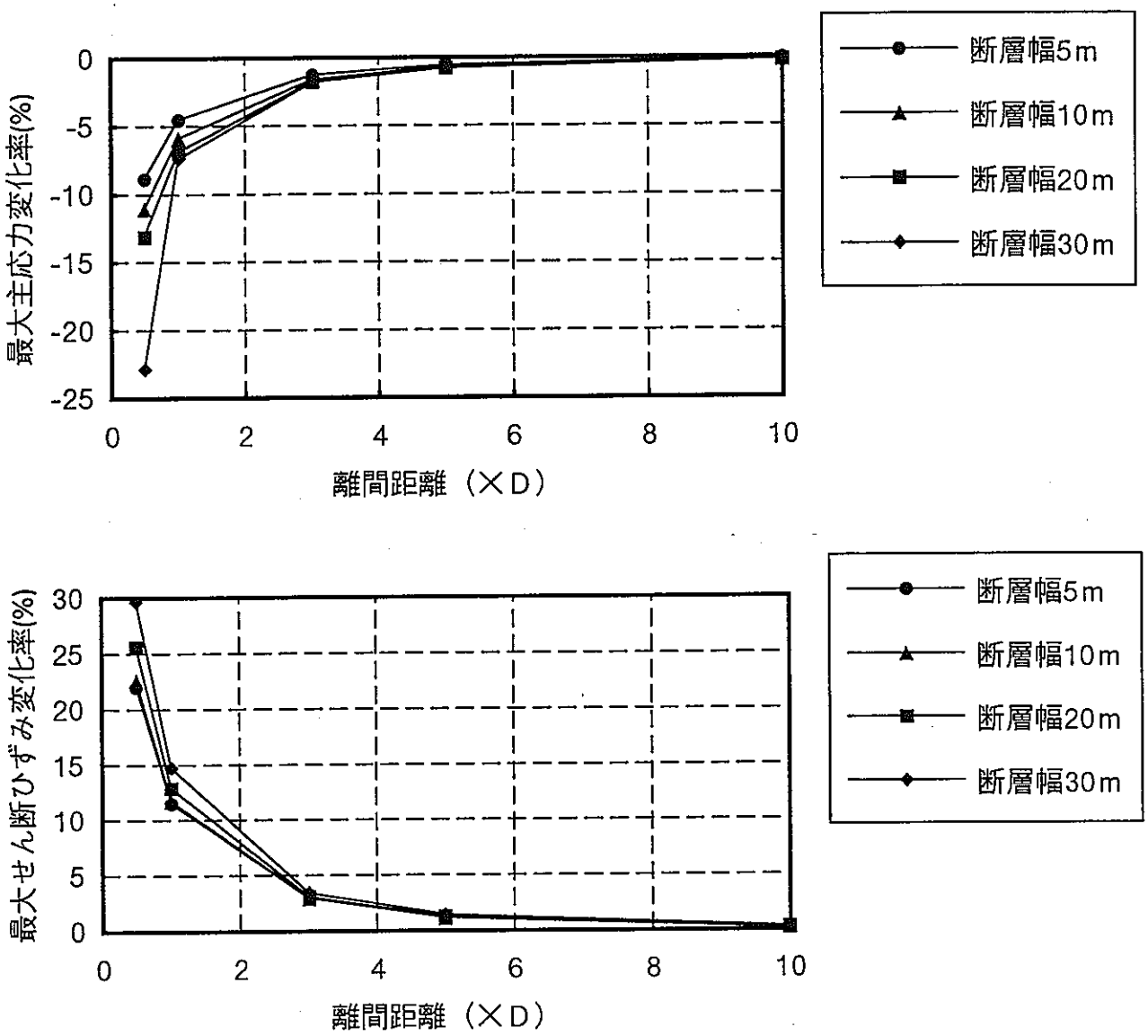


図3.2.23　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率への断層幅の影響

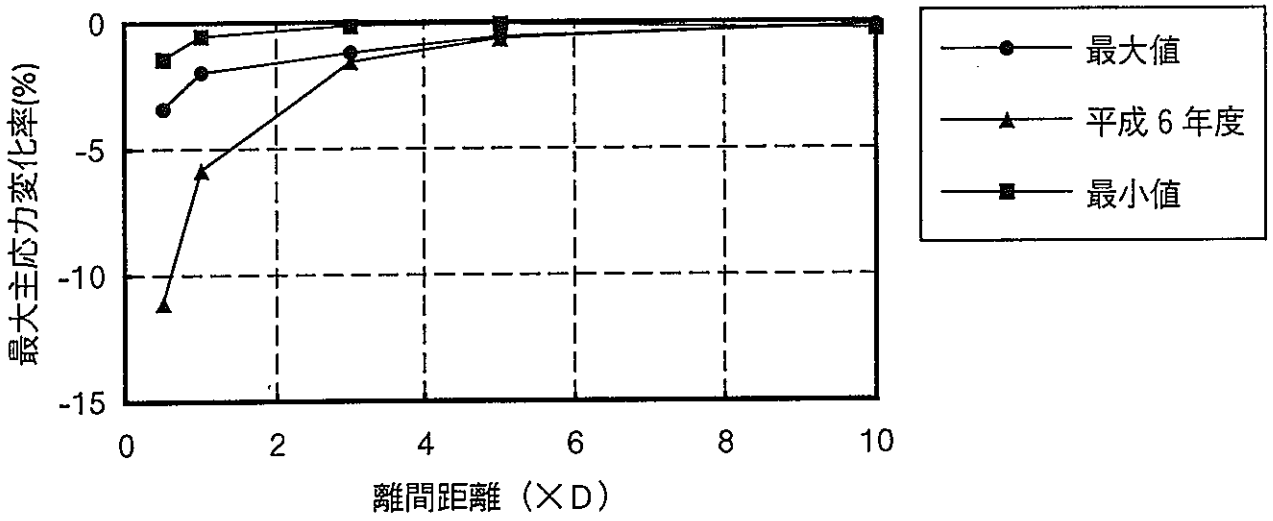
（３）物性値の影響

断層部の物性値の影響については、ケース２と６、７を比較することによって、健岩部の物性値の影響については、ケース２と８を比較することによって検討する。

断層部の物性値を最大値、最小値および平成6年度に使用した値に設定した場合、健岩部の物性値を標準な物性と軟弱な物性に設定した場合の最大主応力および最大せん断ひずみ変化率を図3.2.24、25に示す。

断層部の物性値に関して、最大値と平成6年度の値を入力した結果を比較すると、最大主応力、最大せん断ひずみについて、いずれも最大値を入力したほうが小さく、坑道掘削による変化率も小さい。但し、応力の変化率は坑道と断層の離間距離が3D以上になるとほぼ等しく、また、ひずみの変化率は離間距離に係わらずほぼ等しい。なお、最小値を入力した結果は、初期応力計算を行った段階で断層部が塑性しており、掘削による応力、ひずみの掘削による変化率を他と比較することはできない。

健岩部の物性に関しては、平成6年度に使用した、動燃殿の公開資料に設定されている標準的物性と軟弱な物性により比較した。最大主応力、最大せん断ひずみに関しては、健岩部の物性が軟弱なほうが、健岩部は大きく、破砕帯部は小さい。これは、健岩部の物性値が破砕帯部に近いほうが破砕帯部への力学的な影響が小さいことを示している。しかし、坑道掘削による破砕帯部の応力、ひずみの変化率と健岩部の物性との関係については明確にはわからなかった。



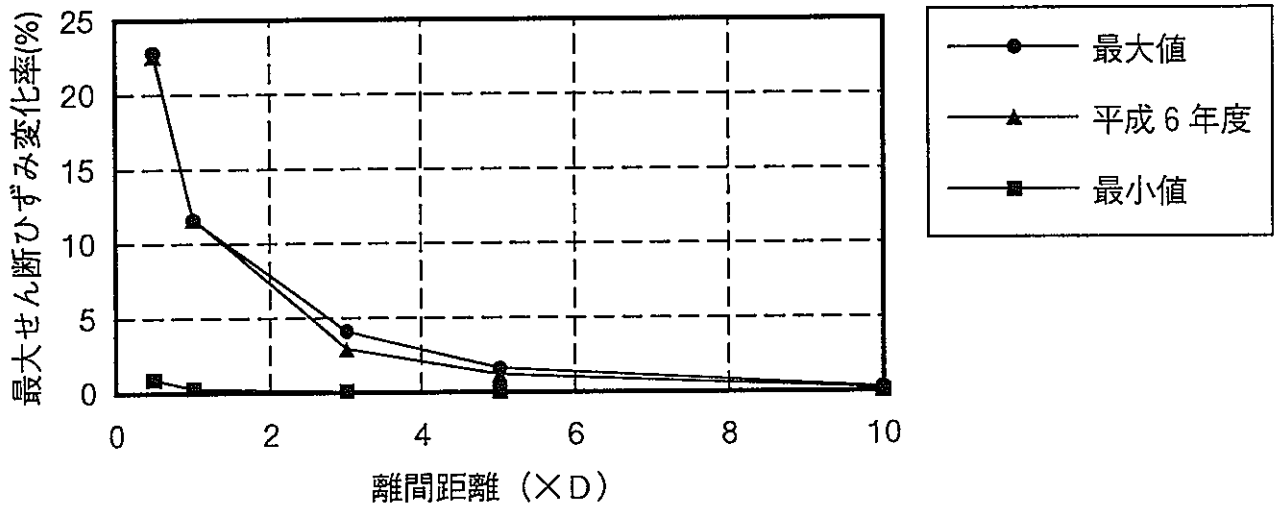
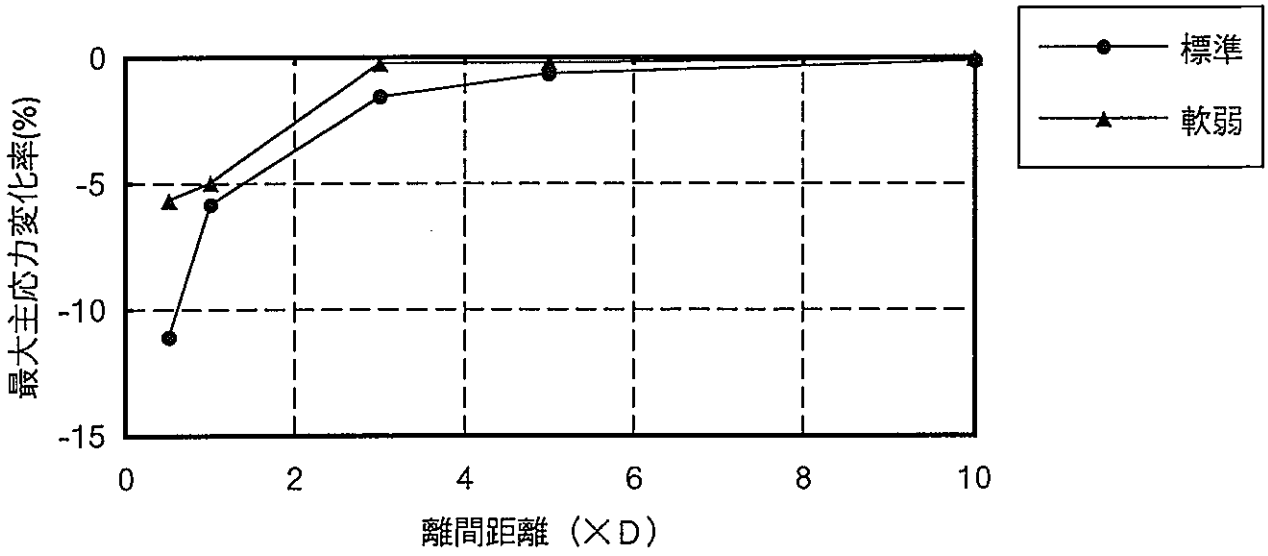


図3.2.24　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率への断層部の物性による影響



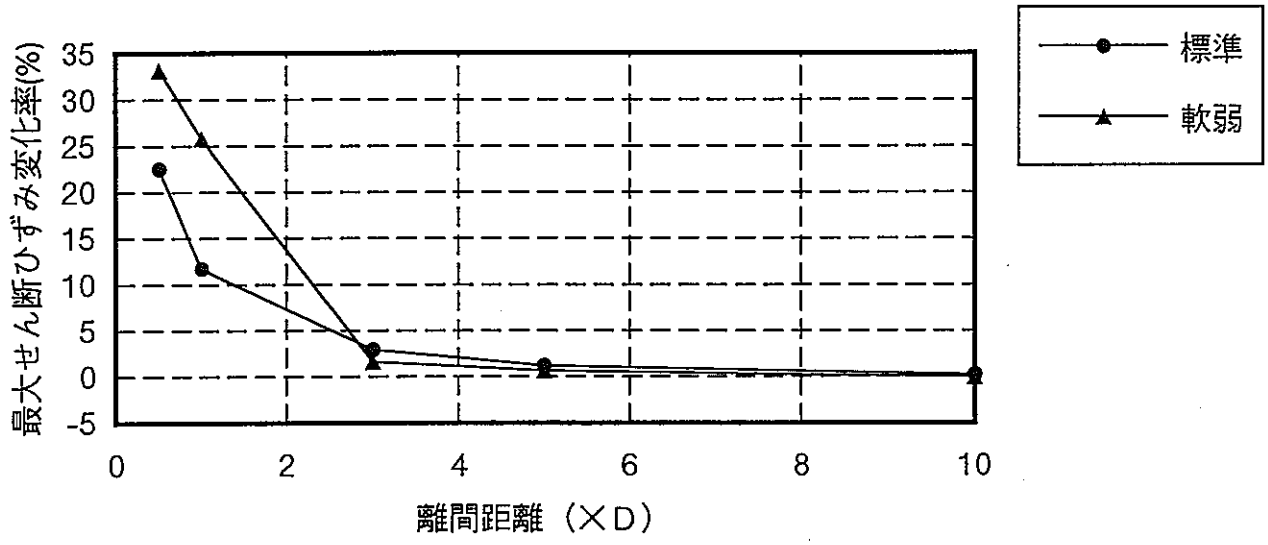


図3.2.25　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率への健岩部の物性による影響

（4）坑道と断層の離間距離の検討

各ケースにおける、坑道掘削による断層部の最大主応力および最大せん断ひずみの変化率を絶対値でみると、断層部の物性値を最小値とした場合を除けば、表3.2.20に示す範囲に分布している。

表3.2.20　最大主応力および最大せん断ひずみの変化率の絶対値の分布

離間距離	最大主応力の変化率(%)	最大せん断ひずみの変化率(%)
0.5D	3.43 ～22.90	21.94～33.20
1.0D	1.99 ～ 8.36	11.50～25.94
3.0D	0.24 ～ 1.87	1.57～ 4.10
5.0D	0.20 ～ 0.78	0.62～ 1.61
10.0D	0.06 ～ 0.18	0.07～ 0.32

この結果より、昨年度の検討結果と同様に、ジョイント要素、断層幅、および物性値の影響に係わらず、3D以上の離間距離をとれば坑道掘削の影響はほとんどないといえる。

また、離間距離以外で、掘削による断層部の応力、ひずみの変化率に及ぼす影響が大きい要因は、断層部の物性値であり、健岩部と断層部の物性値の大きさのバランスによって影響度は変化すると考えられる。

3.2.7 まとめと今後の検討課題

今回の解析では、ジョイント要素の適用の妥当性、断層幅および物性値が断層部の応力、ひずみの分布にもたらす影響、および坑道と断層の離間距離について検討した。

・ジョイント要素の適用については、解析結果が予想されたものとほぼ同様のものが得られていることから、その効果は妥当なものといえる。よって、今後の解析における断層のモデル化にも適用可能であると考えられる。

・断層幅の規模については、坑道掘削による応力、ひずみの変化率と相関関係があることが確認された。今後は、断層の規模に加えて断層角度についても検討する必要があると考えられる。

・物性値に関して、文献調査から考えうる断層の物性の最小値は、今回の解析の入力データとしては不適当であった。しかし、実際の断層の物性値の最小値が不明である現状では、健岩部の物性値に低減率を乗ずる手法が適当と考えられるため、物性間の低減率のバランスを考慮し、より現実的な物性値に近づけることが今後の課題と考えられる。

・坑道と断層の離間距離については、昨年度の検討結果と同様に、力学的な影響のみを考慮すると、3D以上の離間距離をとれば、断層部には坑道掘削の影響はほとんどないことが確認された。ただし本研究における離間距離は力学的な影響の観点のみによるものであることから、今後は安全評価を含めて様々な面から総合的に離間距離の検討を行っていく必要があるものと考えられる。

4. 地下水流動解析

4.1 本年度の研究の位置づけ

4.1.1 目的

平成6年度の「地層処分システムの設計手法の開発」では、平成5年度までに開発を行った設計システムを用いた、空洞安定解析、3次元熱解析および3次元地下水流動解析を実施した。これらは、処分場全体配置設計のうち処分深度の設定、埋設密度の設定、処分場位置の設定という一連の流れを評価する設計システムの実用性の検討を目的としたものである。

ここに示すシステムの実用性とは、①解析のために仮定される条件（例えば、地下水流れは、飽和流れとするか？、不飽和流れとするか？、熱・水連成を考慮するのか？）やモデル化の情報となる物性値や場の条件（例えば、均質媒体ﾓﾃﾞﾙの場合、透水係数・地層分布条件、そして境界条件）を現システムにより、正確に解析に組み込み、求められる評価に必要となる情報（解析結果）を得ることが可能であるか、また、②可能である場合、どれ程有益にそして容易に、評価に利用できる結果を作成できるかである。

平成6年度の地下水流動解析は、3次元のファーフィールド領域を対象とした定常飽和条件下での最も簡易な解析であった。そこで、本年度の研究では、ファーフィールド領域での地下水流動評価におけるより詳細な解析条件・手法についての検討を行い、現在の設計システムに適用することとする。ここでは、現状のシステムを用いた詳細な解析の実用性の検討を行うとともに、核となるインプットデータの調査法、およびその重要性についての検討も同時に実施する。

4.1.2 本年度の解析条件

図-4.1.1に岩盤浸透流の現時点で提案されている主要なモデル化の流れを示す[1)]。図中上部では、現在主に行われている岩盤のモデル化手法（連続体モデル・不連続体モデル・ハイブリッドモデル）を示し、下部では水理学的特性についての考え方（飽和流れ・不飽和流れ・多層流）、つまり解析上の理論解のあり方（ダルシー則・乱流流れ則他）を示している。ここで、岩盤のモデル化については、本来対象とする岩盤の「場」の性質を的確に捉えることによりなされることが必要であるが、現実的にはその評価手法の定式化（例えば、どの程度の岩盤なら不連続体モデルとして扱うか？）がなされておらず、評価の目的と解析時において得られている調査データの種類により、可能なモデル化がなされ

ているのが現状と考えられる。

それでは、ファーフィールド領域を対象とした地下水流動の評価時において、現実的に、どのような調査データが得られているかを考える。一般的にファーフィールド領域とは、「周辺の地層を含めた廃棄物処分場の外部にあり、処分場から距離を隔てている岩石地層であって、モデル化の目的のために処分場は単一体と考えられ、そして廃棄物パッケージ個々の影響は全体としての影響の中では区別できないようなもの。」と示されている[2)]。また、ファーフィールド領域の地下水流動解析結果は、処分場候補地でのサイト選定時における重要な指標として用いられる。この場合、処分場建設前における地上からの調査、およびボーリング孔（数本に限られる）、既存の文献資料を用いたサイト特性調査結果を用いて、解析を行うこととなる。サイト選定時における調査としては、スウェーデンHRL(ﾊｰﾄﾞﾛｯｸﾗﾎﾞﾗﾄﾘ)で実施された地域スケールでの地質・水理分野の調査項目が参考となる。以下にその項目を示す[3)]。

○ リニアメント調査

○ 空中・地表物理探査

○ 岩石物性

○ 地質・構造調査

○ 既存ﾃﾞｰﾀの編纂

○ 孔内水理試験

○ モデル解析

ここでは、約35×35kmの地域を対象として、HRL立地地点の検討を実施している。もちろん、我が国における調査項目が上記スウェーデンのものと同様になるとは考えられないが、現時点においては明確な計画がなされていないことから、上記調査項目により得られる調査・試験結果を基準として、本年度用いる解析手法およびそのパラメータの取り扱いについて検討することとする。表-4.1.1に上記調査項目に準ずる手法または詳細調査項目を示す。これらの調査結果により得られるであろう水理地質的パラメータと、現時点での各研究機関等の報告から、想定されるファーフィールド領域のモデル化手法および解析手法は、以下の3つであると考えられる。

① 地層分布を考慮した連続体モデル（場の不均質性を考慮）

・・・飽和浸透流、飽和－不飽和浸透流、熱-水連成解析

② 割れ目の幾何学的情報を考慮した等価連続体モデル（流れの異方性を考慮）

・・・透水テンソルを用いた飽和浸透流解析

③ 破砕帯や割れ目内の流れを直接取り扱うフラクチャーネットワークモデル
（流れの異方性・不均質性を考慮）

・・・飽和浸透流解析

ここで、本研究で開発を続けてきた設計システム（ I-deas + SIGNAS ）では、上記①を想定した飽和浸透流、飽和ー不飽和浸透流解析が可能となる。そこで、本年度におけるファーフィールド領域を対象とした設計システムの実用性の検討としては、飽和ー不飽和浸透流解析を対象とし、そのパラメータの検証を含めた検討を実施することとする。また、将来の3次元モデルにおける飽和ー不飽和浸透流解析の実用性の把握を基礎とした2次元解析を実施し、以下の3点について整理・検討を行うこととする。

① 解析に必要となる物性値および境界条件の設定とそのデータ取得方法

② 設計システム (SIGNAS) を飽和ー不飽和浸透流解析に適用する場合の留意点

③ 設計システム (I-deas) を用いた解析結果出力についての留意点

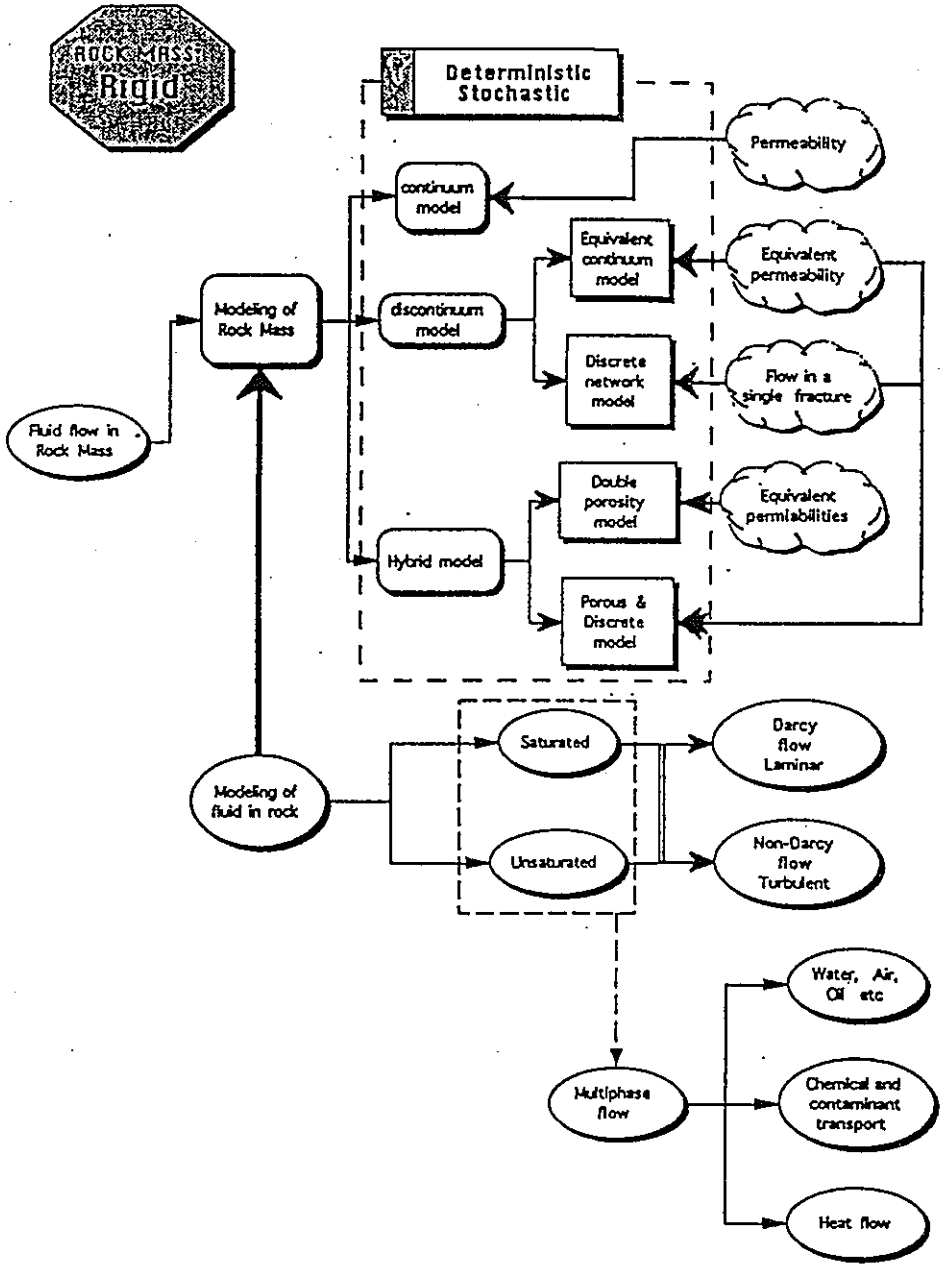


図 -4. 1. 1　岩盤浸透流におけるモデル化の流れ

表-4.1.1　HRLにおける地質・水理分野の詳細調査項目

分野	調査項目	手法または詳細項目
地質	リニアメント調査	デジタル地形モデル
	空中・地表物理探査	磁気、ＶＬＦ、ｽﾘﾝｸﾞﾗﾑ、屈折法弾性波、重力探査
	岩石物性	密度、磁性、磁化率、ＩＰ
	地質・構造調査	岩相分布、主要構造帯、割れ目パターン解析
水理	既存データの編纂	既存孔井データベースの検索調査
	孔内水理試験	揚水試験、干渉試験、スピナー検層
	モデル解析	水理数値計算モデル

4.2 飽和ー不飽和浸透流解析で取り扱う岩盤物性値および境界条件

4.2.1 解析に必要となる物性値

飽和ー不飽和浸透流解析に必要となる物性値は以下である。

① 岩盤の飽和透水係数

② 岩盤の間隙率と比貯留係数

③ 岩盤の不飽和特性（サクション圧ー飽和度、飽和度ー相対透水係数の関係）

上記①の飽和透水係数については、コアを用いた透水試験や数本のボーリング孔で実施される原位置水理試験（単孔式透水試験・ビルトアップ試験・干渉試験など）他により設定されることになるが、実際に数 km ～数十 km 四方におよぶ対象領域においては、空間的に分布した地点のデータが得られることとなる。そこで調査により得られる限られた空間的な分布データから、解析対象領域の透水係数分布を推定する手法が幾つか提案されている[4]。代表的なものとして、地盤統計学の一手法であるクリッギングを用いるものがある。これは、透水係数などの地盤物性値が、空間的に相互に相関性をもって分布していることを基礎として確率場の推定を行うものである。このような同定手法は、解析領域を多孔質媒体と考える有限要素法を用いた浸透流解析での透水係数の影響を考慮すると、調査データを反映するモデル化手法として非常に重要なツールとなる。これらは、現在の設計システムには組み込まれていないことから、システムの対応機能強化のための1つの候補と考える。

上記②の間隙率と比貯留係数については、コアを用いた室内試験結果および岩質に基づく既存の文献調査により設定されると考えられる。ここで間隙率は解析に直接必要とならないが、実流速の判定、体積含水率と飽和度の関係を利用する際に必要となる。

上記③の不飽和特性曲線（サクション圧ー飽和度、飽和度ー相対透水係数）であるが現在において、岩を対象とした明確な測定手法はなく、その測定事例も少ない[5]。不飽和特性曲線は飽和ー不飽和浸透流解析において、不飽和領域の透水性を決定する重要なパラメータとなる。また、非定常解析時には時間項を考慮した不飽和透水係数の変化を逐次解析に考慮するため、その解析対象領域および解析の目的によっては、解析結果に与える影響は大きくなると考えられる。

以上から、設計システムを用いた解析に必要となる物性値に関して、岩盤の不飽和特性を1つの課題とする。次節にその性質およびデータ取得について示す。

4.2.2 不飽和特性の性質とデータ取得に関する問題点

不飽和特性とは、サクション圧(負圧)ー飽和度の関係を表す水分特性曲線と飽和度ー相対透水係数の関係を示し、図-4.2.1に示すような曲線となる。ここで、サクション圧とは多孔質媒体(土壌および岩盤)の間隙に存在する水が空気に接する界面の曲率により発生するポテンシャル・エネルギー(毛管力)であり、飽和度の減少により非線形に増加する性質を持つ。また、不飽和透水係数(飽和透水係数に相対透水係数を乗じたもの)は水が不飽和状態の多孔質媒体を移動するときに受ける抵抗を表す量である。これは、水の粘性とともに間隙の形、大きさ、ならびに含水量により定まるものである。そのため、不飽和透水係数は体積含水率の関数になり、飽和度の減少に伴い非線形に減少することとなる。ここで体積含水率とは、飽和度に間隙率を乗じたものである。

不飽和特性に関する研究は、従来砂や土壌に対して行われていたが、岩石を対象とした研究実績は少ない。そのため、岩盤を対象とした浸透流解析では、砂や土壌での研究結果を参考として、設定することが多い。岩を対象とした不飽和特性を測定する上での問題点は、以下の2点である。

① 岩に発生する毛管力を測定する実用的な方法はない。

② 岩の透水係数はもともと小さいが、不飽和状態ではさらに減少する。そのため、流量は極めて小さくなり、実際的な測定は困難である。

しかしながら、スイス・グリムゼル地下研究所において、NAGRA・ETHが、岩盤中の毛管力を測定できるセンサー(Thermocouple Psychometer)を開発し、空洞からの壁面深さ5cmの位置で220mものサクション圧を計測した[6]。また、花崗岩供試体を用いて水分特性曲線が測定され、飽和度ーサクション圧の関係が後述するvan-Genuchten式で近似しうることを報告している[7]。岩に関しては現在これが唯一の原位置測定例であると考えられる。

また、渡辺らは蒸発量測定器を用いた室内試験と飽和ー不飽和浸透流解析コードを用いた不飽和特性曲線の逆推定手法を提案している[8]。ここでは、泥岩・花崗岩の不飽和特性を上述したvan-Genuchten式で近似し、推定している。

van-Genuchten式の2つのパラメータα, mの性質を把握するために、van-Genuchten式の説明を行う。van-Genuchten式は従来、砂・土質地盤を対象とした不飽和特性曲線を再現する関数式の1つとして用いられ、以下のように示される。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \qquad (0 \le S_e \le 1)$$

$$S_e = \left\{1 + |\alpha\psi|^n\right\}^{-m} \qquad (\alpha \ge 0)$$

$$n = \frac{1}{1-m} \qquad (0 \le m \le 1, n \ge 1)$$

$$r(\theta) = S_e^{1/2}\left\{1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right\}^2$$

$$C(\theta) = \alpha(n-1)(\theta_s - \theta_r)S_e^{1/m}(1 - S_e^{1/m})^m$$

ここで

Se：有効飽和度　$r(\theta)$：相対透水係数

θ：飽和度　$c(\theta)$：非水分容量

θr：最小水分量　α, m：パラメーター

θs：飽和水分量

ψ：圧力水頭

上式における未知数はθ r, θ s, α, mの4つであり、θ r, θ sは室内試験から得られた飽和度分布より推定する。この式の特徴は、基本的にはα, mの2つの変数で不飽和特性曲線を表現することが可能であり、試験結果による不飽和特性同定および非定常解析への利用が簡便となることである。

2変数α, mの特徴を理解するため、図-4.2.2に渡辺らが測定した花崗岩の特性曲線について、パラメータα,を変化させた場合、図-4.2.3にパラメータmを変化させた場合の不飽和特性曲線を示す。ここでは、図を分かり易くするために、相対透水係数の軸を不飽和透水係数に換算して示している。両図より、αの変化によりサクション圧ー飽和度曲線の曲率は変化しないが、①αが小さくなるほど、飽和度低下に従うサクション圧の上限値が大きくなり、②mが小さくなるほど、飽和度低下に従うサクション圧の上昇率が大きくなり、不飽和透水係数の減少率が大きくなることがわかる。

上述したように不飽和特性曲線は大きな非線形性を持つため、van-Genuchten式等の近似式を用いて同定することが多い。現時点で公表されている、泥岩（3種）、安山岩、花崗岩（釜石、スイス・グリムゼル）、砂、土質材料についてのパラメータ同定結果をまとめて、図-4.2.4に示す[9]。

本年度の飽和ー不飽和浸透流解析では、現実的な不飽和特性を使用することを目的とし、上記測定結果を参考としてその物性値を決定することとする。

4.2.3 境界条件の設定について

飽和ー不飽和浸透流解析に必要となる境界条件とは、

①解析領域の外側に設定する外部境界条件

・・・流出量またはピエゾ水頭

②降雨・降雪や河川・湖沼などによる地表から地下への涵養量

・・・流入量またはピエゾ水頭

である。ここで、①の外部境界条件は対象領域におけるボーリング孔を用いた間隙水圧測定値および地形条件（海岸部など）により決定される（図-4.2.5参照）。この時、外側境界が海岸部に位置するときには、海水の密度を用いた静水圧と不透水境界により地形情報から設定可能である。しかしながら、ボーリング孔を用いた間隙水圧測定結果による境界条件の設定には、調査領域におけるボーリング数量の不足などの原因から十分な情報が得られないことが多い。その場合、限られた情報から2次元解析においては深度方向の分布を含めた値を推定する必要がある。このことは、3次元解析では2次元平面的な分布を推定することを意味し、さらに複雑な推定となる。

②の涵養量の同定には、降水量や河川流出量、蒸発散量などの気象・水文情報により決定される。動燃殿の既存の研究では、統計的な水収支の観点から、降水量、河川流出量、蒸発散量を用いて涵養量を算出している[10]。その場合、水収支は次式で表される。

$$G = P - E - Q$$

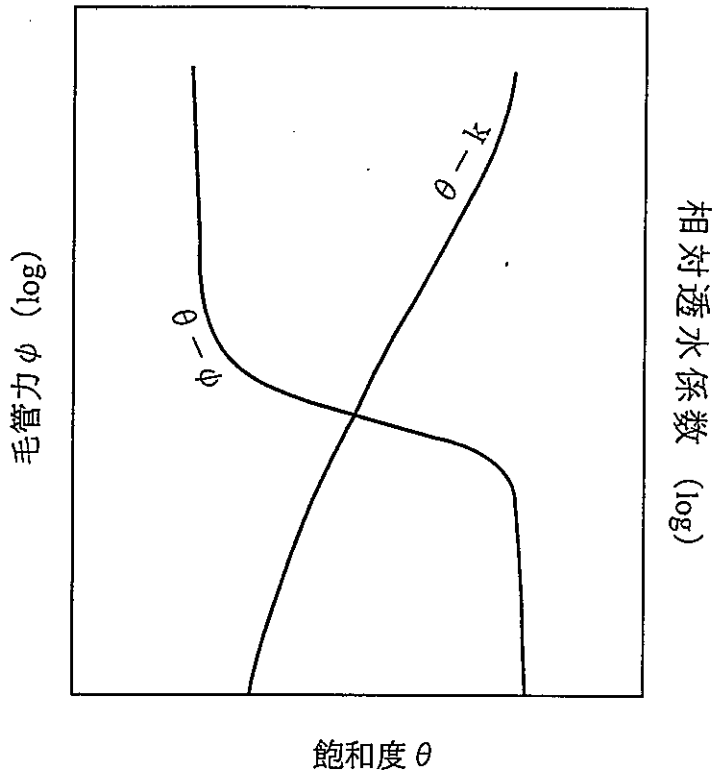
ここで、G：涵養量

P：降水量

E：蒸発散量

Q：河川流出量

である。ここで、降水量、河川流出量は既存の資料・文献調査に基づき算出し、蒸発散量については、実蒸発散量と可能蒸発散量の補間関係から直接蒸発散量を求め（補完法）算出している。



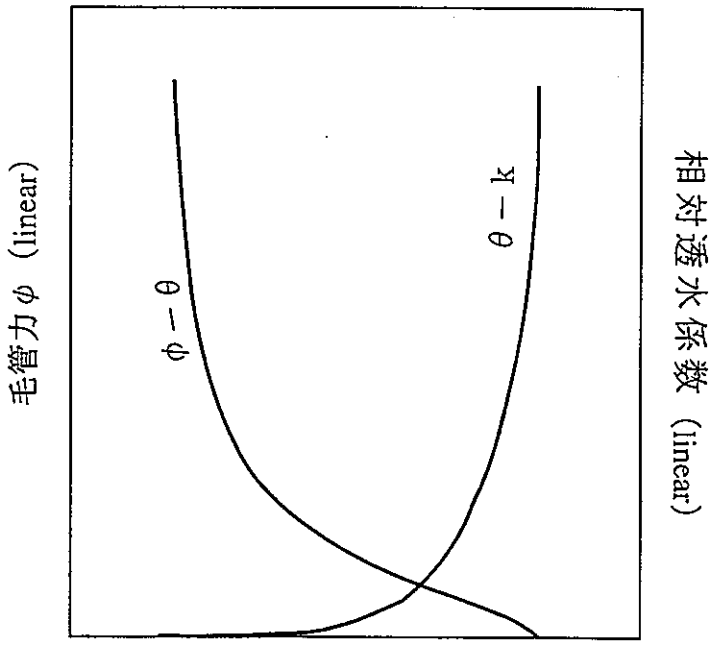


図 -4. 2. 1　不飽和特性曲線の例（上；y 軸対数表示, 下；y 軸線形表示）

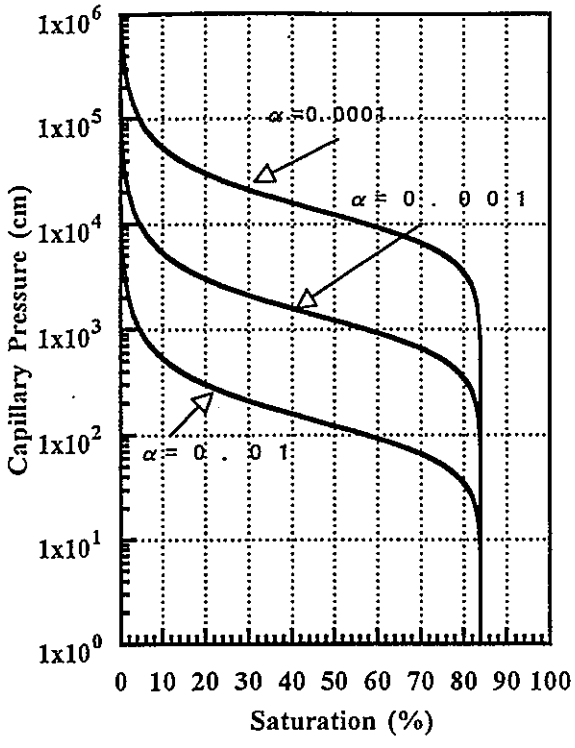


図 -4. 2. 2　van-Genuchten 式の α を変化させた特性曲線

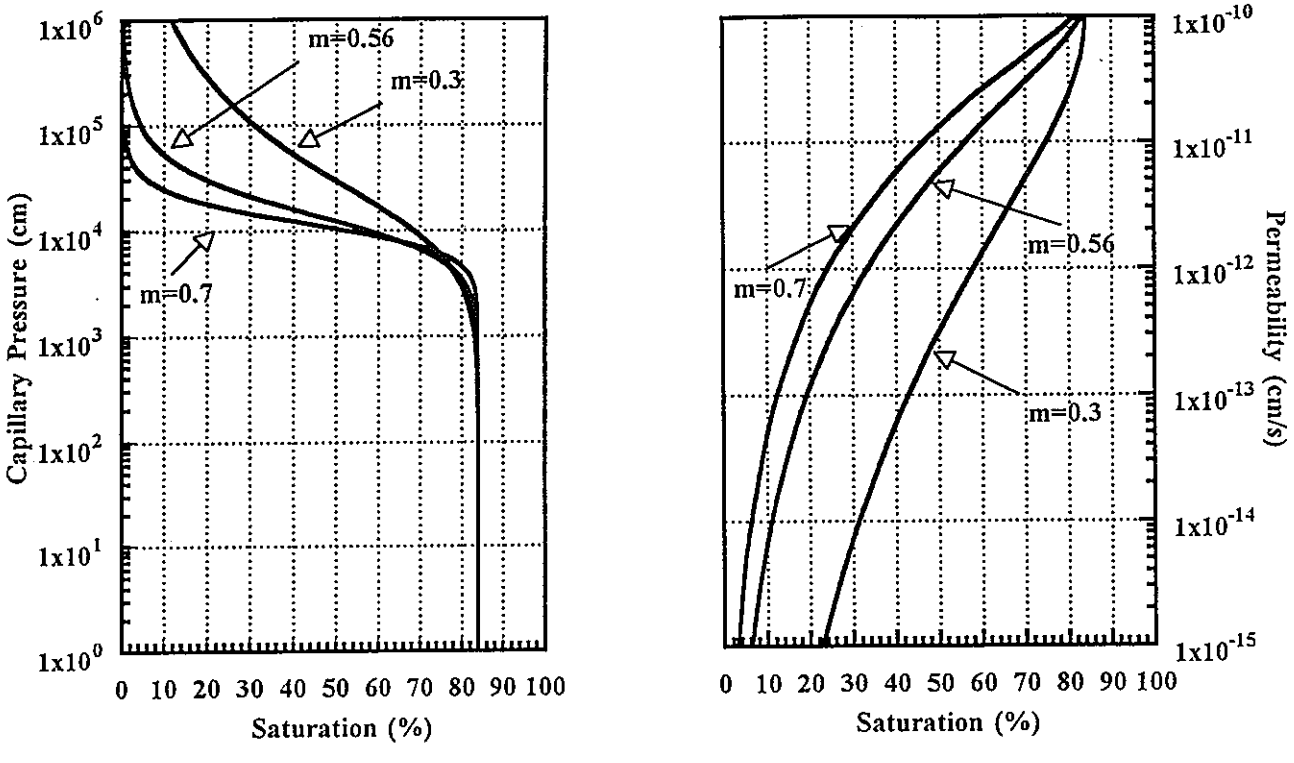


図 -4. 2. 3　van-Genuchten 式の m を変化させた特性曲線

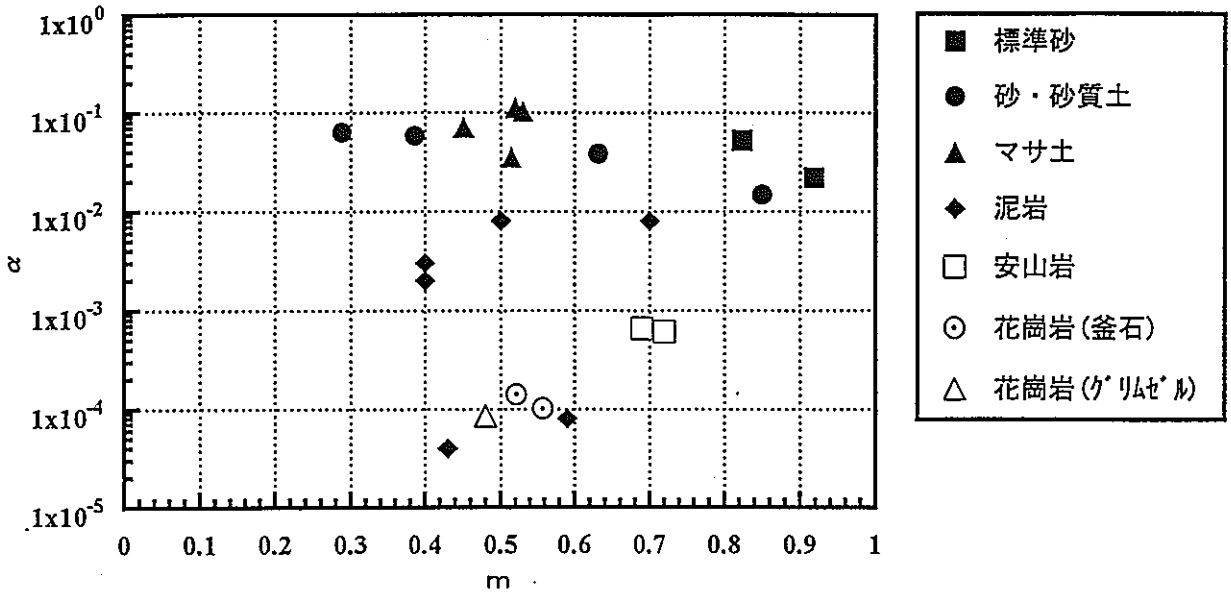


図 -4. 2. 4　van-Genuchten 式を用いたパラメータ同定結果

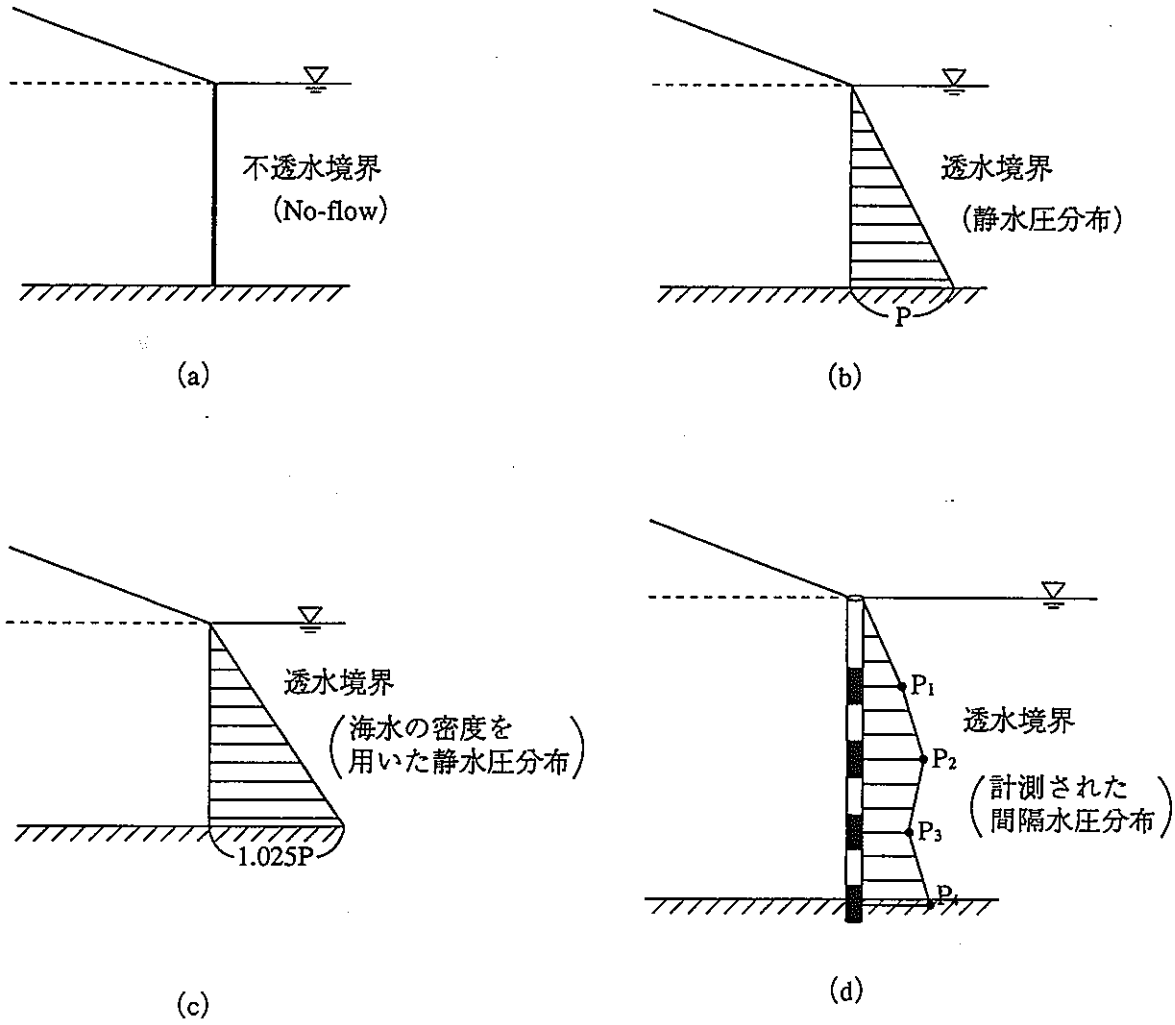


図 -4. 2. 5　境界条件の設定例

4.3 I-deas, SIGNAS における留意点

ここでは、飽和ー不飽和浸透流解析で用いる設計システム (I-deas, SIGNAS) について、プレ・ポスト処理、および解析上の留意点を示す。注目する点としては、要素・節点数が大きくなる3次元飽和ー不飽和浸透流解析の実行を前提とした、上記物性値および境界条件の取り扱いに関する実用性である。

4.3.1 物性値の入力について

メッシュジェネレータ I-deas では、3次元要素作成時に地層分類を入力する。そして、有限要素解析コード SIGNAS の入力データとなる節点番号・節点座標と要素番号・要素を構成する節点番号、およびその材料番号 (地層番号に相当) のデータを出力する。物性値の入力については、各材料番号について行われる。

飽和ー不飽和浸透流解析の入力データは①飽和透水係数、②比貯留係数、③不飽和パラメータ (体積含水率ー相対透水係数、体積含水率ーサクション水頭) である。ここで、不飽和パラメータについては線形入力となるため、 van-Genuchen 式のような現実的な非線形データは、線形近似により設定することとなる。

4.3.2 境界条件の入力について

SIGNAS における境界条件の入力は、基本的に節点番号の指定とピエゾ水頭値、一定流量および降雨浸透流量の指定による。ここで、 No-flow 境界や飽和ー不飽和解析における自由浸出面境界はその指定が必要ない。メッシュジェネレータ I-deas では、境界条件となる線 (2次元解析の場合)、面 (3次元解析の場合) 上に位置する節点番号を出力することが可能である。解析で用いる境界条件が静水圧条件の場合、その入力は容易であるが、ボーリング調査による地下水面の座標や間隙水圧分布を境界条件として入力するには各節点の高さ方向の座標（位置水頭）が必要となる。そのため、従来の入力手法としては全ての節点の座標データを読みとり（目視）、境界条件となる節点の高さ方向の座標により、ピエゾ水圧分布や No-flow 境界等の設定（手入力）を実施していた。

一般に飽和ー不飽和浸透流解析では地下水面の入力や計測による間隙水圧分布を境界条件に反映することが多く、境界が面となる3次元解析ではその節点数は増大し、現在のシステムは効率的ではない。そのため、 I-deas からの節点番号・節点座標等のデータの入力と SIGNAS のための入力のフォーマットを考慮した、線形補間等の近似手法を用いた新た

なコードの作成が必要であると考える。

4.3.3 初期条件の設定について

飽和ー不飽和浸透流解析では、解析の初期条件として全節点におけるピエゾ水頭の指定が必要となる。通常、飽和ー不飽和浸透流解析では非定常変化をする降雨（涵養量）浸透条件や掘削の条件を考慮する事前に、定常解析や非定常解析による収束時の値を初期のピエゾ水頭としている。SIGNAS では定常飽和ー不飽和浸透流解析を実施することが可能であるが、不飽和領域となる要素部分と飽和領域となる要素部分の透水性が著しく異なるような場合には、解が収束せず振動解となり解析不能となる。この場合、非定常解析を用いて、初期のタイムステップを短くすることにより、初期条件を決定する必要がある。非定常解析における収束判定条件とは、前タイムステップ時と現タイムステップ時のピエゾ水頭の最大変化が設定値以下となることとし、そのような時点で解析を終了させることが多い。SIGNAS ではこのような自動収束判定機能が非定常解析にはなく、収束状態を正確に確認することが困難である。

4.3.4 解析結果の出力について

有限要素法を用いた浸透流解析においては、一般に次のような結果出力を行うと考えられる。

① ピエゾ水頭の分布

② 圧力水頭の分布（自由地下水面の位置）

③ 各節点、あるいは各要素における流速ベクトルの分布

④ 掘削面あるいは設定断面を流れる流量

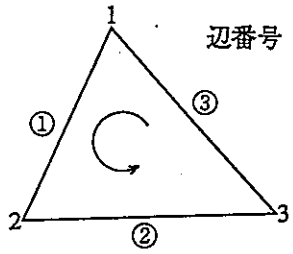
上記の①～③については、I-deas を用いたポスト処理により実施することができる。残る④については、SIGNAS において流量を求めたい要素を指定することにより結果出力データから算出することとなる。結果出力データは、例えば2次元解析の場合、指定した要素（例えば4角形アイソパラメトリック要素の場合）の4つの辺（図 -4.3.1(ii) 中①～④）を通る流量フラックスである。そのため、掘削面または浸出面に相当する辺の流量フラックスに辺の長さ（事前に目視により調べる）を乗ずることにより、その辺を通る単位時間当たりの流量（単位幅当たり）を求める。

この手順は3次元解析についても同様であり、指定した3次元8節点要素を構成する6つの

面（図 -4. 3. 1(iii) 中①～⑥）の流量フラックスの出力のうち、浸出面となる1つの面の流量フラックスに面の面積を乗ずることにより求めることとなる。つまり、3次元領域内に立坑および処分坑道を想定した数本の並列横坑を掘削し、それら空洞壁面からの総流出量を求めることは、空洞壁面を構成する要素番号と要素上の面番号を全て抽出し、その面における流量フラックスに各要素面積を乗じた総和の算出であり、それらをコードの外部（手計算）で行うことはシステマチックではない。メッシュジェネレータ (I-deas) を用いたプレ・ポスト処理システムと SIGNAS との連携を考慮したシステムの開発が有効であると考える。

〔出力位置番号〕

(i) 3角形要素

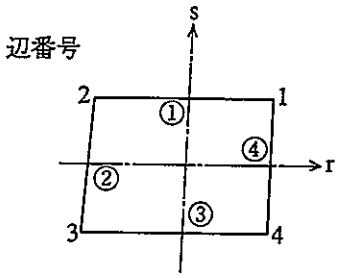


辺番号

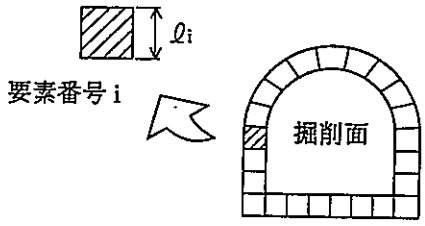
流量フラックスの出力データ

	要素番号	浸出面番号	流量フラックス		
例	20	①	-3.2×10^{-4}	② -2.0×10^{-4}	③ $+5.0\times10^{-5}$

(ii) 4角形要素



辺番号



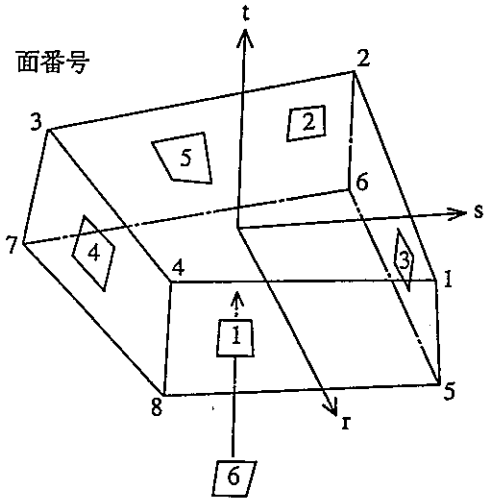
流量クラックス q_i

i：要素番号

掘削面からの総流量 Q

$$Q=\sum_{i=1}^{n} q_i \times \ell_i$$

(iii) 3次元8節点要素



面番号

図 -4. 3. 1　SIGNAS における流量フラックス出力フォーマット

4.4 ファーフィールド領域の浸透流解析に求められる結果出力について

ここまで、入力物性値、解析・結果出力の実施について、一般的な有限要素法を用いた飽和ー不飽和浸透流解析を対象とした設計システムの留意点を述べた。ここでは、ファーフィールド領域の浸透流解析を対象として、結果出力についての検討を行う。前述したように、ファーフィールド領域における浸透流解析結果はサイト選定時の重要な情報として用いられる。ここで重要となる情報とは、

① 処分場想定位置周辺における流速

② 処分場想定位置周辺を流れる地下水の流向

③ 処分場想定位置を流路とする地下水の最終流出地点

④ 処分場想定地点から流出地点までのトラベルタイム

であると考えられる。これらのうち、①、②については有限要素法による解析結果から、節点あるいは要素を限定することにより定量的な値を求めることができる。しかしながら、③、④については流速ベクトル分布図から定性的な評価を行うしかない。ここで、提案する手法はパーティクルトラッキング法（粒子追跡法）を用いた流出点およびトラベルタイムの定量的評価である[11]。パーティクルトラッキング法とは、ある地点に注入された物質を多くの玉(パーティクル)の集まりと仮定し、各々のパーティクルの流下する軌道の集合を物質の移動経路とするものである（図-4.4.1参照）。有限要素法による解析結果を用いる場合、要素の中心位置とその要素と隣り合う要素の中心を移動経路とし、パーティクルはそれらの移動経路を流速に乗って流れると仮定する。各要素中心位置での経路の選択はそれぞれの経路を流れる流量の比に従い、モンテカルロ法により決定するとする。このような手法を用い、1000回、10000回の判定を繰り返すことにより、どの解析領域地点が最も流出しやすいか、また、そこまでの平均トラベルタイムはどれ程かを定量的に求めることが可能である。

現在、I-deasを用いたポスト処理にはこのような機能はなく、設計システムへ今後追加すべき1つのツールであると考えられる。

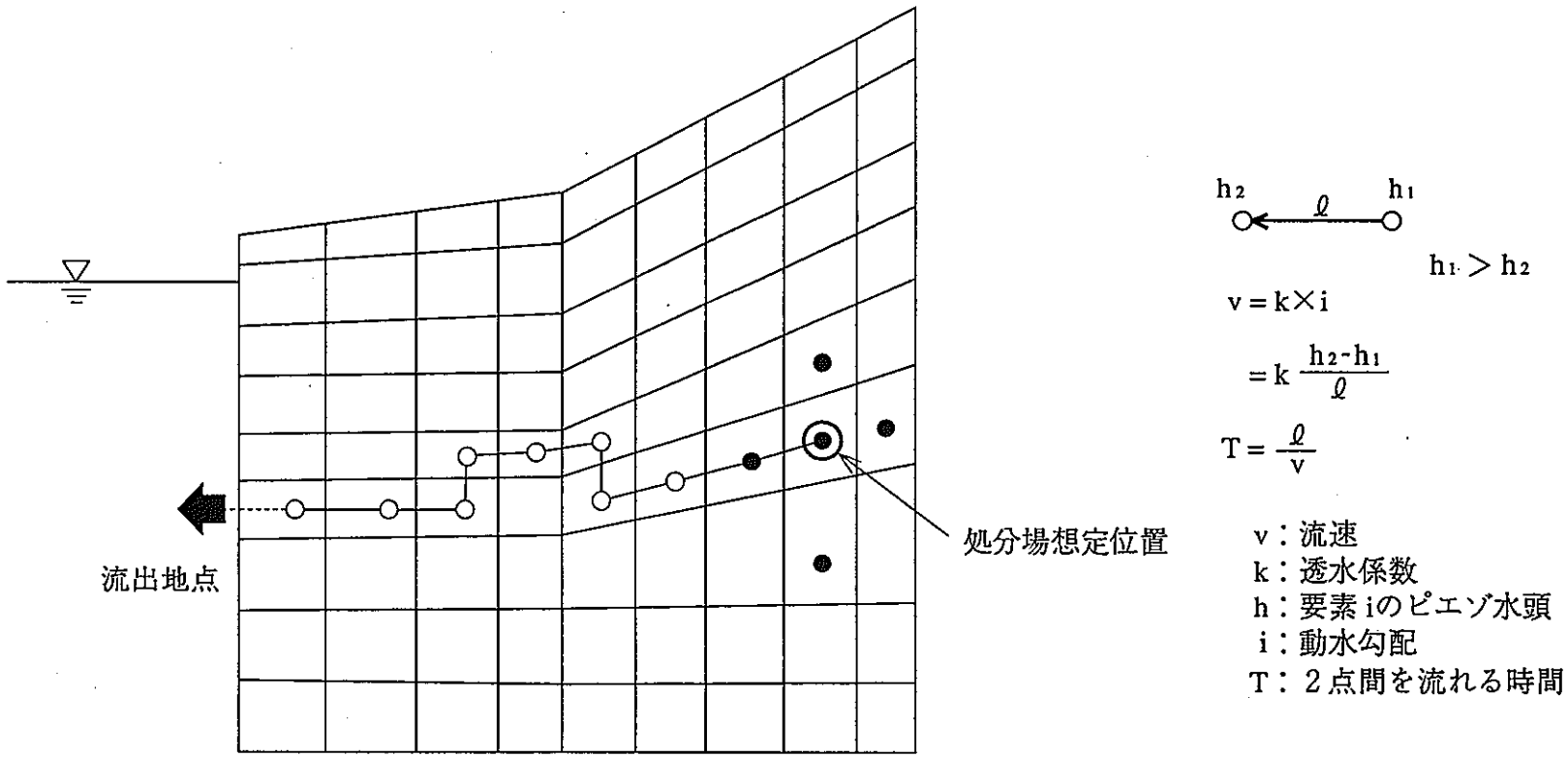


図 -4. 4. 1　粒子追跡法（ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾄﾗｯｷﾝｸﾞ法）による流出地点の判定

4.5 飽和ー不飽和浸透流解析

4.5.1 解析条件の設定

本年度の2次元飽和ー不飽和浸透流解析では、平成5年度の「地層処分におけるCAEシステムの開発・研究(その3)」のケース・スタディで作成した3次元地質モデルを用いた。解析は、60年間に渡る立坑および処分坑道の建設および閉鎖による地下水流動への影響把握を目的とし、掘削・埋戻しを考慮した非定常解析を実施した。また同時に、実際に解析を行うことにより、ここまで示してきた設計システムのいくつかの留意点についての検討も実施することとする。主な検討項目は、①ファーフィールド領域を対象とした飽和ー不飽和浸透流解析における不飽和特性の影響の把握、② SIGNAS, I-deas を用いた解析の実施および結果出力の実用性（可能性と容易さ）の把握である。

3次元地質モデルを図 -4.5.1に、2次元解析モデルを図 -4.5.2に示す。3次元地質モデルの領域は縦8km、横8km、高さ約5kmであり、地表面の標高、ボーリング孔の地質区分データより GEORAMA を用いて作成されたものである。2次元解析モデルは、3次元地質モデルを y-z 軸断面で切断したものを用いている。地層は第1層から第5層に区分されており、直径6m、高さ1,000m の立坑に長さ2,000m 処分坑道が水平に配置されている。

処分場建設および閉鎖段階における解析ステップを図 -4.5.3に示す。建設前段階を Step. 1とし、建設段階を Step. 2～7、閉鎖段階を Step8～13としている。掘削は各ステップにおいて500m を5年間で終了するとし、立坑または処分坑道の500m区間の要素を削除・追加した後、前ステップのピエゾ水頭を初期値とした5年間の非定常解析を実施した。本解析に用いた入力物性値を表4.5.1に、解析ケースを表4.5.2に示す。ここでは、不飽和特性について前述の測定結果一覧（図4.2.3）から、花崗岩の値となる3ケースと動燃殿公開資料で用いられた値を参考に合計4ケースを設定した。これら4ケースの不飽和特性を図 -4.5.4に示す。各層に設定する飽和透水係数は同一のため、不飽和特性についての検討となる。4つの解析ケースでは、Case. 1～3では釜石, ｽｲｽ・ｸﾞﾘﾑｾﾞﾙの2種類の花崗岩を対象とした実測結果を用い、同一岩種における不飽和特性の比較的小さな変化の影響の検討を実施する。また、Case. 4は、動燃殿公開資料の不飽和特性を用いることにより、Case. 1～3の解析結果との比較を行う。動燃殿公開資料は、3次元飽和ー不飽和浸透流解析を実施した立坑掘削への地下水流動影響解析を実施したものである[12]。ここでは、花崗岩・砂岩他の複数の岩相に対し、1つの不飽和特性を用いて解析し、計測結果と良く一致した解析結果が得られている。その点、原位置を代表とした現実的なパラメータであることから、

比較対照として設定した。以上の4つの解析ケースは、不飽和特性の解析結果への影響の程度が明らかでないことを勘案したものである。

境界条件は左右側面は静水圧条件で一定水頭、下面は不透水境界、上面は涵養量を考慮せずとした。初期条件は、これらの境界条件下で飽和状態からの非定常解析を実施し、収束状態となったピエゾ水頭値を各節点に与えることとした。

4.5.2 解析結果

(1) 処分場建設・閉鎖による地下水流動の変化

図 -4.5.5に処分場建設・閉鎖段階 (Case. 1:Step. 1～13) における解析領域全体のピエゾ水頭分布を図 -4.5.6に Case. 1:Step. 1, 5, 9, 13の流速ベクトル分布図を示す。また、立坑および処分坑道周辺のピエゾ水頭分布図を図 -4.5.7に、流速ベクトル分布図を図 -4.5.8に示す。図より、立坑および処分坑道掘削に伴い、空洞周辺の圧力減少による地下水の集水過程が分かる。解析領域全体を対象とすると、処分場建設によるピエゾ水頭変化の影響は処分場周辺約500メートルで顕著であり、閉鎖段階では掘削の影響場から定常状態場への変遷が見られる。また、掘削時の立坑及び処分坑道への湧水（流入地下水）については、①新規掘削部分が大きく、②立坑部より処分坑道部の湧水が大きい特徴を持つ。立坑及び処分坑道掘削と湧水の経時変化の関係、埋め戻しと湧水の関係、立坑および処分坑道個別の湧水量の変化を図 -4.5.9(a) ～ (c) に示す。図 (a)(b) で横軸は時間（年数）を表し、処分場掘削開始時を0年としている。また、左側縦軸は掘削・埋戻し距離の総和を表し、掘削1,000m の時点で立坑の完了を意味する。本解析は2次元解析であるため、ここでは奥行き単位ﾒｰﾄﾙ幅の流量としている。図 (a) より、掘削時の全湧水量は距離の均等な増加に対して、ほぼ均等な増加率を示すことが分かる。ここで、立坑500m 掘削時 (Cse. 1:Step. 2, 5年経過) の湧水量が少ない原因は、後述する初期地下水面が GL-297m となることにより、飽和部（湧水部）の面積が少ない為である。また、図 (b) に示す閉鎖時については、湧水量の多い坑道先端部から実施することにより、閉鎖初期の減少率が高い結果となる。これらの結果は図 (c) からも確認できる。また、立坑部からの湧水は処分坑道掘削に伴い減少し、その後はほぼ一定に推移する。処分坑道部の湧水量は最大立坑部の26倍程度となることが分かる。しかしながら、本解析は2次元解析であるため、立坑および処分坑道を横切る地下水は流路を閉ざされ坑道に流入することとなる。現実には、全体的な流れ場の支配により掘削部の周りを流れ、下流側に到達する地下水がある。その点、湧水量および地下水位の

定量的な評価には問題がある。

図 -4. 5. 10に各ステップ (Case. 1:Step. 1～13) における立坑周辺部の地下水位の変化を示す。側方の境界条件を静水圧条件としているため、側方境界面より標高が高い領域は不飽和状態となり、結果的に立坑掘削部の初期地下水位は、GL-297m と非現実的な値となっている。図 -4. 5. 11に処分場掘削に伴う立坑近傍の地下水位の変動を示す。地下水位は立坑左右で異なるため、図では立坑左側の変化を読み取っている。ここで横軸は建設開始からの時間（年数）であり、0年は掘削前の初期水位、30年は掘削終了時の地下水位を表している。図より立坑掘削時の地下水位低下は平均約6. 4m/year、処分坑道掘削時は平均約2. 7m/year となり、立坑掘削時の水位低下率は処分坑道掘削時の約2. 4倍である。また、建設終了時までの地下水位の低下は約120m となり、閉鎖時には最大147m となる。花崗岩を対象とした不飽和特性を用いた結果が、このような大きな地下水位変動をもたらすことにより、不飽和特性が解析結果に大きく影響していることが予想される。そのような考察も含め、以下に Case. 1～4の結果を示す。

(2) 不飽和特性の変化による影響

Case. 1～4の解析結果から、不飽和特性の変化による影響を以下の3点について検討した。

① 立坑周辺部の地下水面の低下への影響

② 立坑周辺部のピエゾ水頭分布への影響

③ 立坑内部への湧水量への影響

図 -4. 5. 12に Case. 1～4における掘削に伴う立坑周辺領域の地下水面の変化 (Step. 2, 3) を示す。図より、花崗岩を対象とした Case. 1～3では、水面形状にわずかな違いがあるものの立坑左側の地下水位に大きな違いは見られない。しかしながら、Case. 4の水位低下は Step. 2, 3共に約8. 5m と Case. 1～3の Step. 2(約36m), Step. 3(約64m) と比較して大きく異なる結果となる。これにより、不飽和特性の変化が地下水面の低下に大きく影響することが確認され、前述した Case. 1（花崗岩）の解析結果が大きな地下水位低下を示したことが理解できる。図 -4. 5. 13に各ケースにおけるピエゾ水頭分布を示す。また、図 -4. 5. 14に Case. 1～4の立坑内部への湧水量の変化を示す。図より、Case. 4が若干大きい値を示すものの、各ケースでの湧水量の明瞭な違いはなく、10^{-1} l/min のｵｰﾀﾞｰの差異となる。これは立坑上部の流量フラックス（動水勾配×透水係数）が10^{-8}ｵｰﾀﾞｰ (m/s) 以下と非常に小さいため、Step. 3段階での地下水面位置の差異が湧水量の結果としてあまり大きくならないことに因

る。このことは、各ケースにおけるピエゾ水頭分布に大きな差がないことからも理解できる。

以上より、ファーフィールドを対象とした飽和ー不飽和解析において、パラメータとなる不飽和特性は一岩種を対象とした現実的な測定値を用いる限り、飽和領域における水頭分布ならびに坑道への湧水量にそれほど大きな影響をもたらさないと考えられる。ここで現実的な値とは、同一岩種である花崗岩として測定された不飽和特性であり、van-Genuchten 式で表す0.000085≦α≦0.00014、0.48≦m≦0.558の範囲を示す。しかしながら、Case.1～3と Case.4の解析結果からも示されているように、不飽和特性が地下水面の変動に与える影響は、掘削開始10年後に水位約55.5m の差異と大きい。各解析ケースの設定不飽和特性から、解析時の直接の非線形パラメータ（サクション圧ー相対透水係数比）の関係を図-4.5.15に示す。図より、岩盤にサクション圧が発生する不飽和初期状態における相対透水係数比の変化が、Case.4では他の Case.1～3と大きく異なることが分かる。このような不飽和特性の差異（特に飽和度50～100%程度）が、地下水面の変動に影響を与えている。本解析結果から、原位置の岩種や岩相（特に地表下数百ﾒｰﾄﾙ程度まで）の特徴を考慮しないパラメータの設定は、その評価結果に不確定な要素を残すことになると考えられる。しかしながら、前述したように本解析は2次元解析であるため、現実的なモデル化が可能ではない。3次元解析を行うことによる詳細な検討が必要とされる。

本解析はファーフィールド領域を対象としたものであり、その領域は縦約5km、横8kmであり、解析メッシュも最小25m 程度の大きさとなる。本解析で用いた Case.1～3での同一岩種における不飽和特性の違いによる有意な影響は認められないが、立坑周辺の地下水面形状の変化結果に見られるように、例えば掘削に伴う坑道周辺の不飽和領域の進展など空洞周辺数十メートルを対象とした飽和度・毛管圧の把握を目的とした非定常解析では、不飽和特性の影響が更に大きくなることが推測できる。飽和ー不飽和浸透流解析時の不飽和特性の設定には、その評価の目的を勘案し、原位置の物性値を精度良く解析に取り入れることが重要となる。この点、その測定方法を含めた今後の研究・開発が重要と考える。

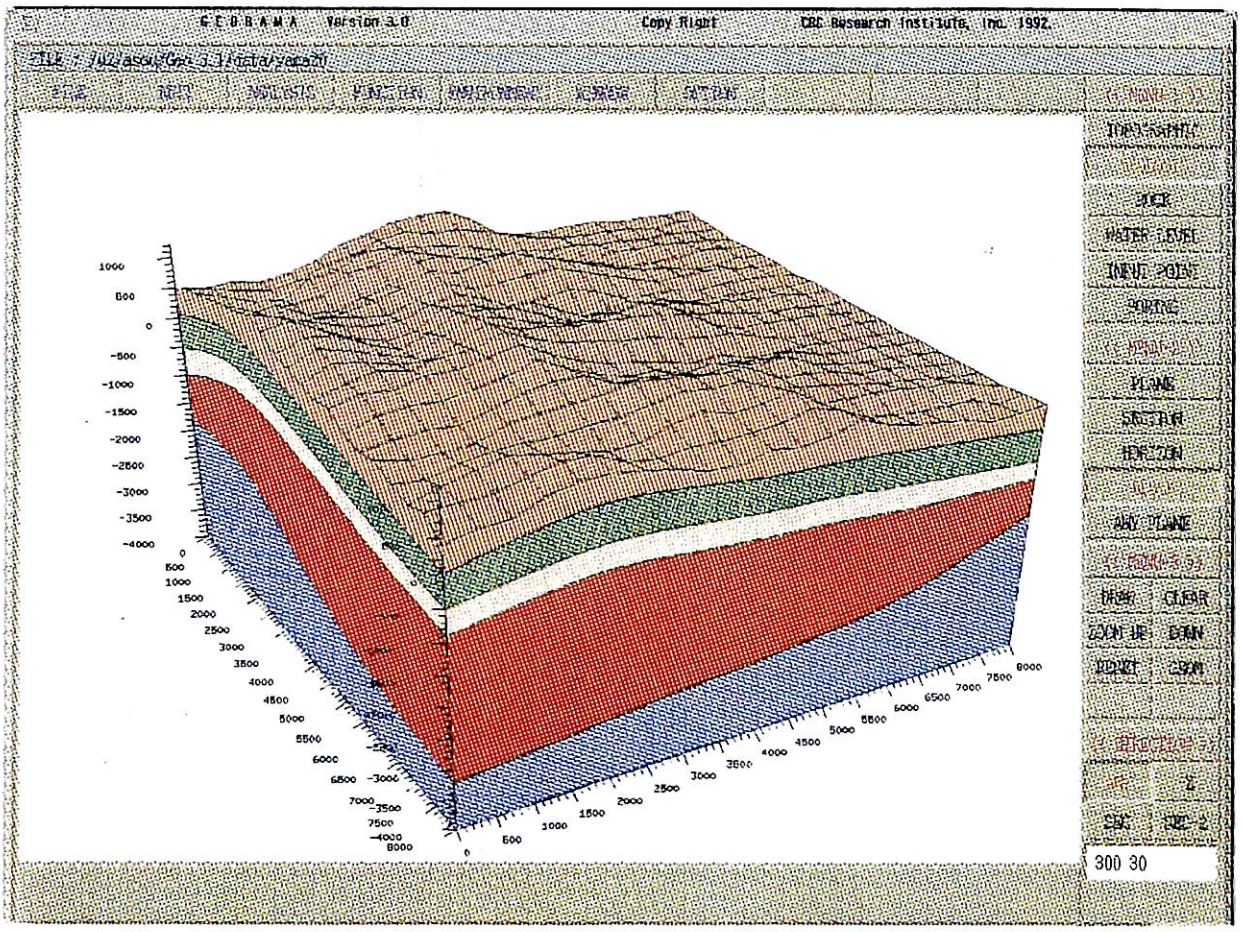


図 -4. 5. 1　GEORAMA により作成された3次元地質モデル

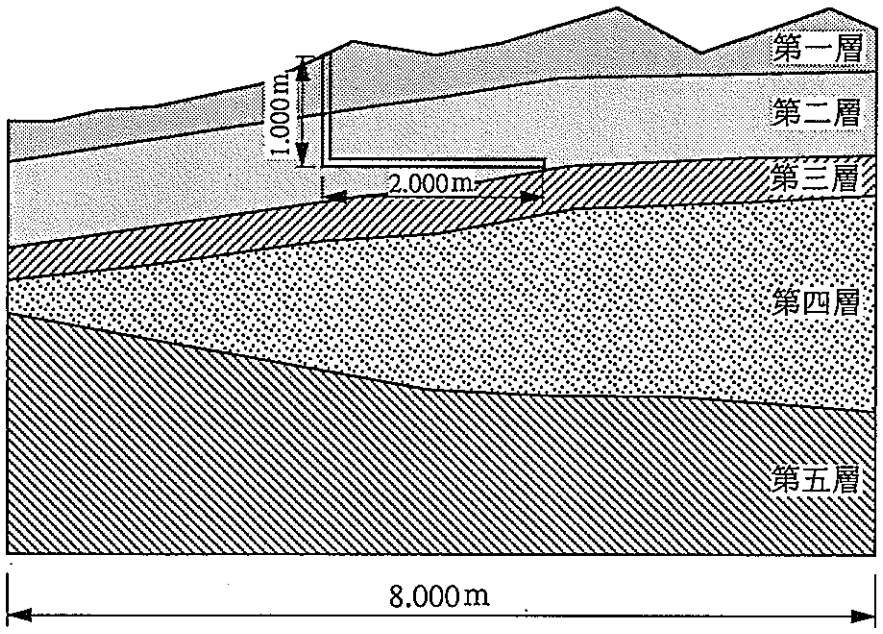


図 -4. 5. 2　2次元解析モデル

表4. 5. 1　入力物性値

分　類	部　位　等		飽和透水係数
地　層	第1層　（表　層）		1. 0E-6(m/s)
	第2層（処分地層）		1. 0E-8
	第3層　（下　層）		1. 0E-9
	第4層　（下　層）		1. 0E-9
	第5層　（下　層）		1. 0E-9
処分施設	第1層部分	建設前	1. 0E-6
		閉鎖後	1. 0E-10
	第2層部分	建設前	1. 0E-10
		閉鎖後	1. 0E-8

比貯留係数は1. 0E-4 (1/m) で一定

表4.5.2　解析ケース

	解析ステップ	不飽和特性	間隙率 (%)
Case. 1	Step. 1～13	釜石花崗岩 (a) α =0.0001 m =0.558	0.82
Case. 2	Step. 1～3	釜石花崗岩 (b) α =0.00014 m =0.522	0.67
Case. 3	Step. 1～3	ｽｲｽ・ｸﾞﾘﾑｾﾞﾙ花崗岩 α =0.000085 m =0.48	1.006
Case. 4	Step. 1～3	動燃殿公開資料より 線形データとして 直接入力	－

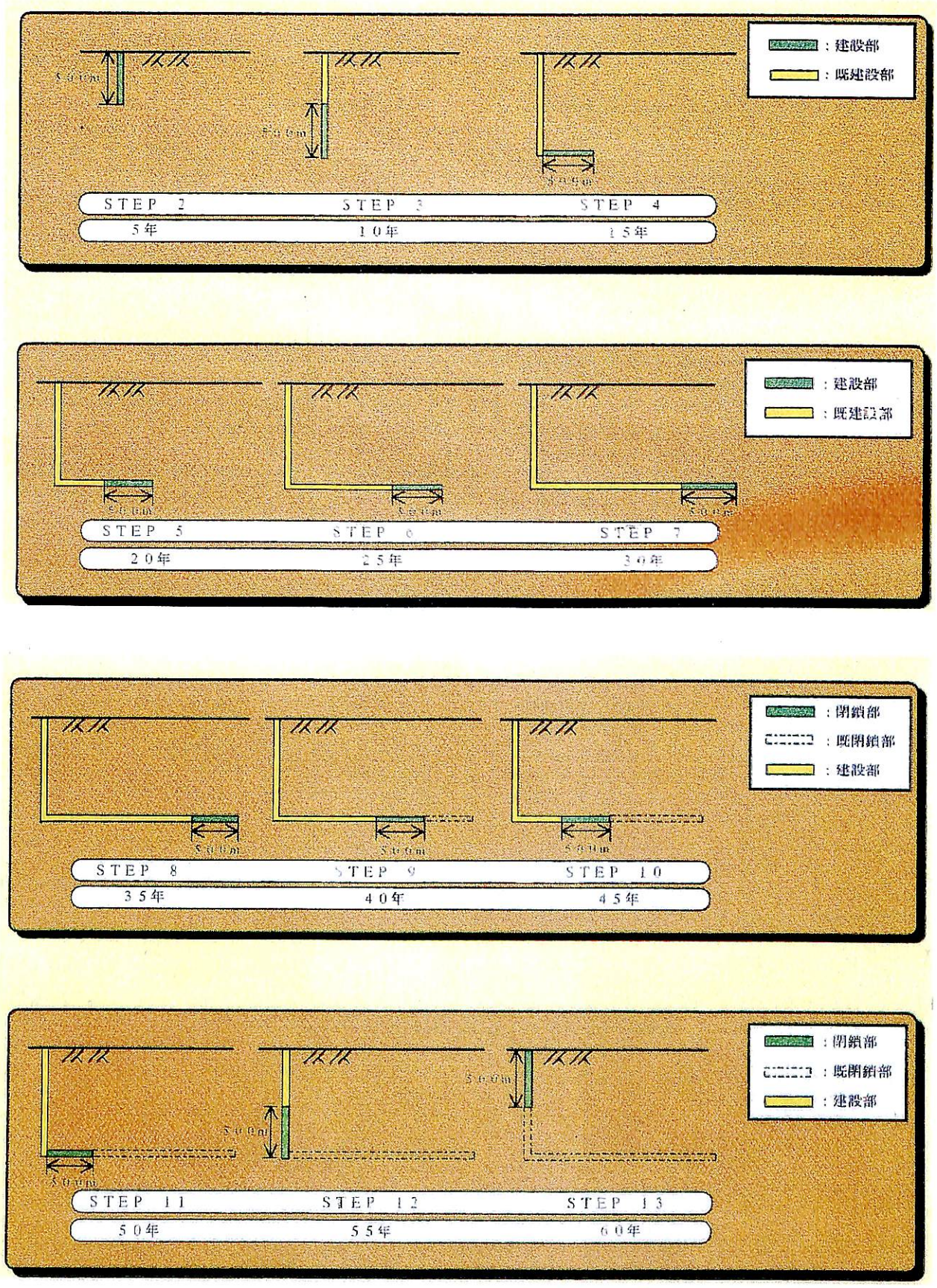
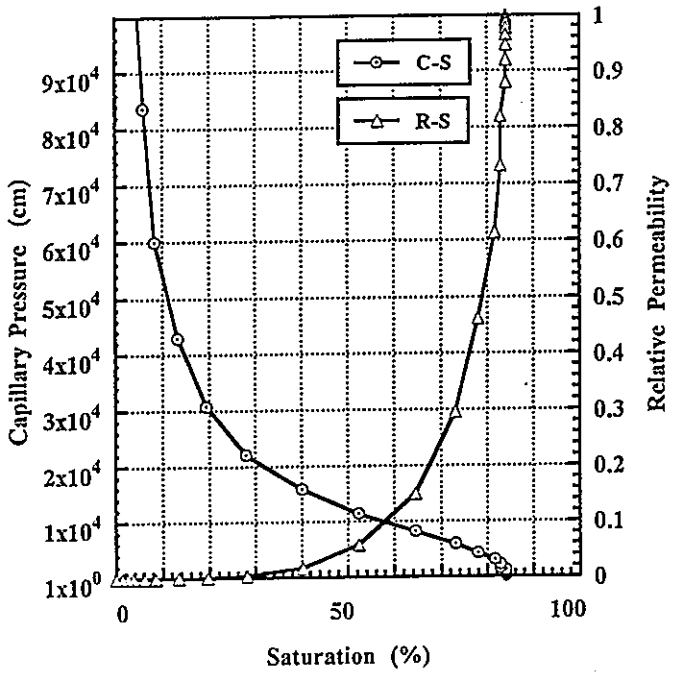
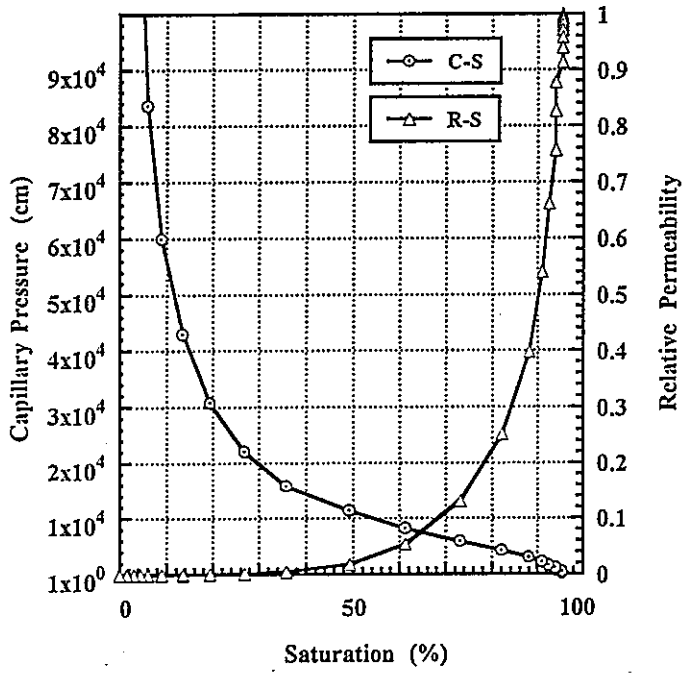


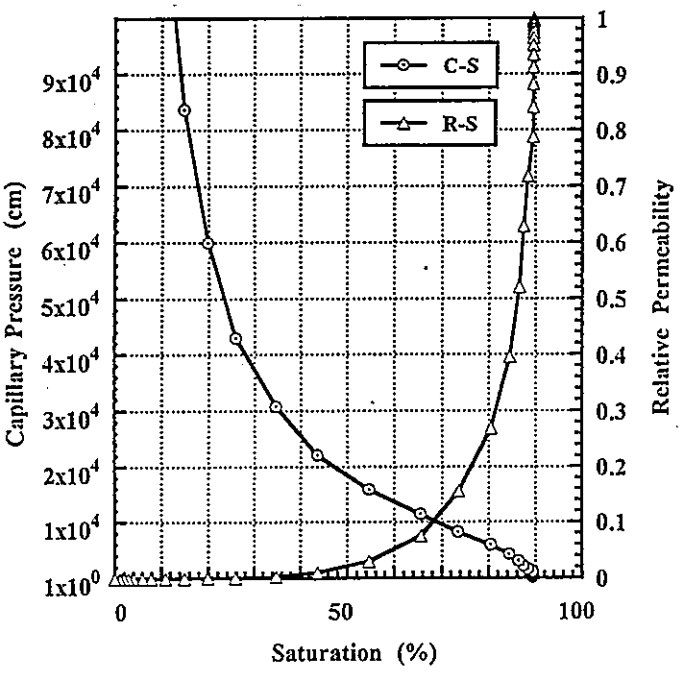
図 -4. 5. 3　処分場および閉鎖段階における解析ステップ (Step. 2～13)



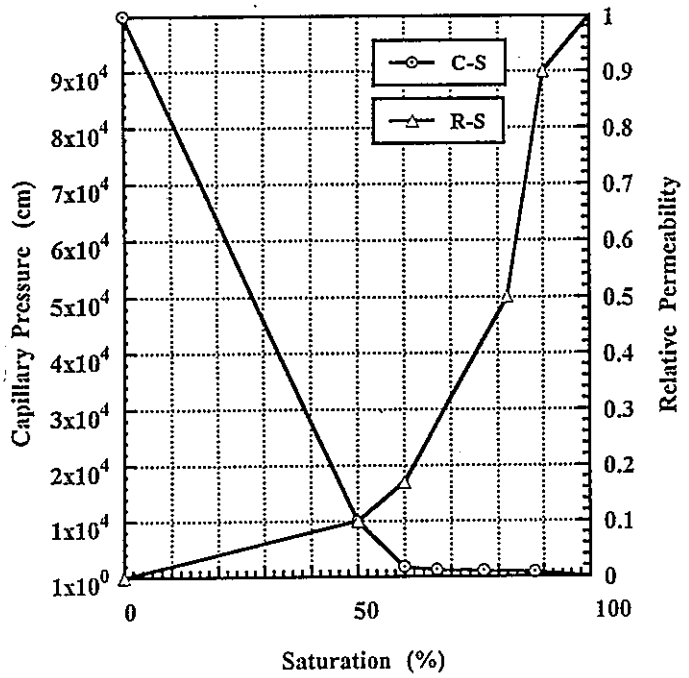
Case. 1; 釜石花崗岩 (a)



Case. 2; 釜石花崗岩 (b)

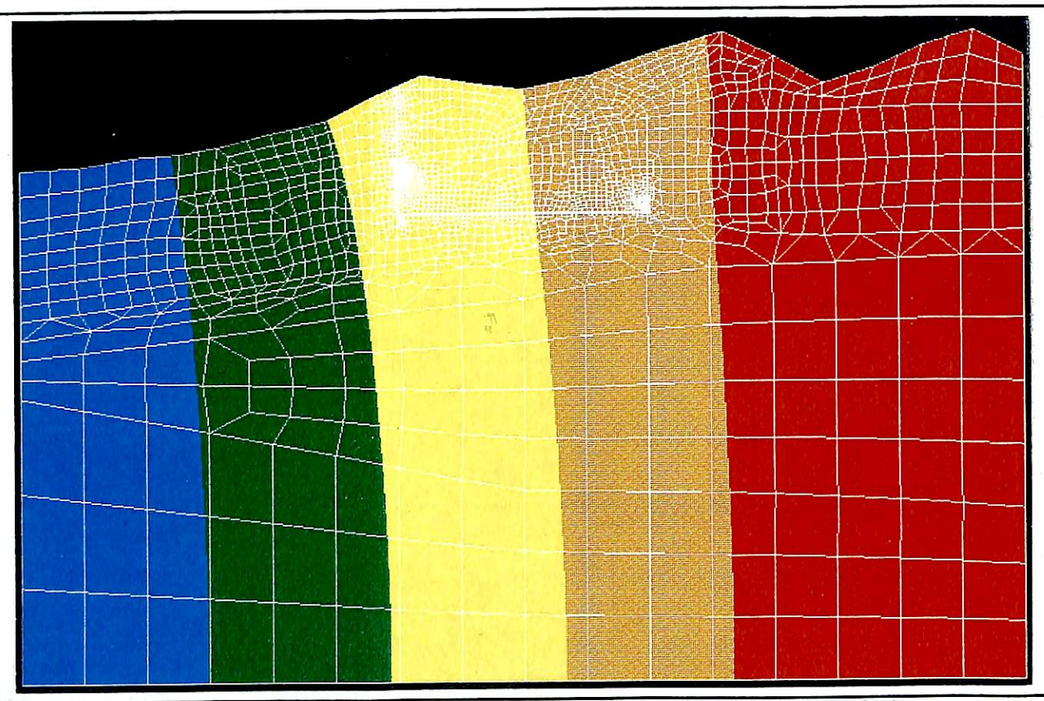


Case. 3; ｸﾞﾘﾑｾﾞﾙ花崗岩

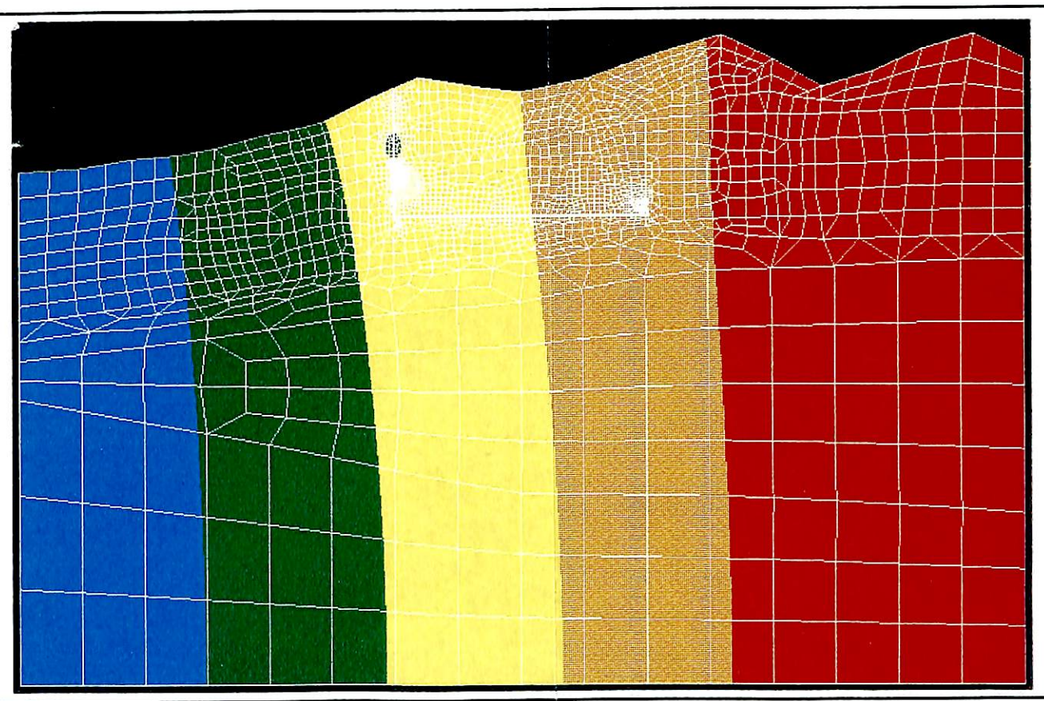


Case. 4; 動燃殿公開資料

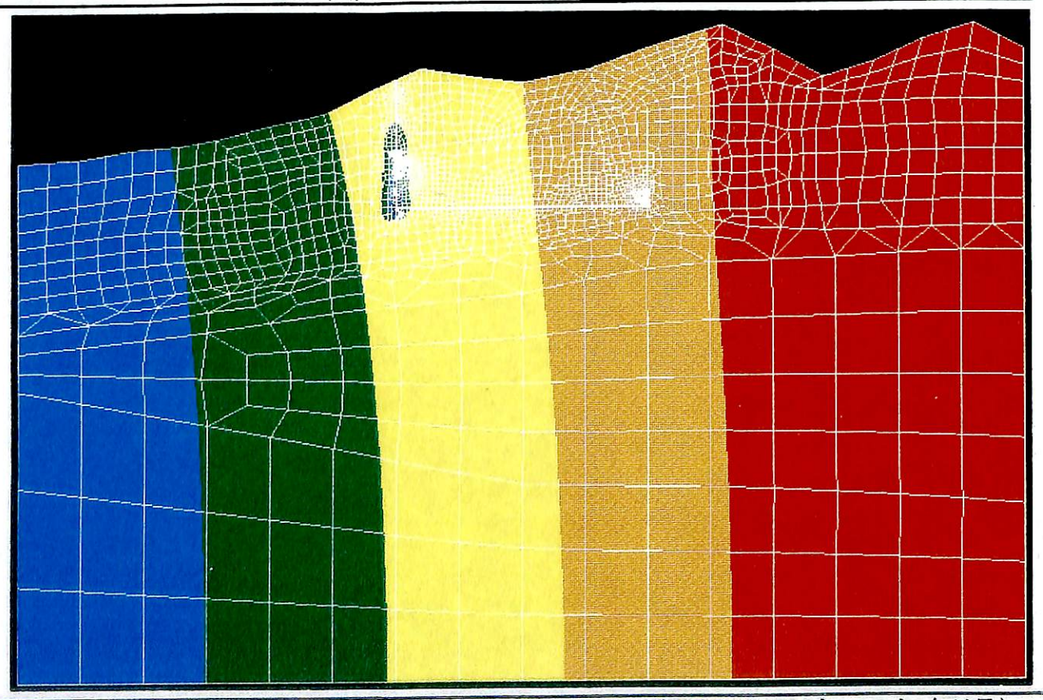
図 -4. 5. 4　Case. 1～4に用いる不飽和特性



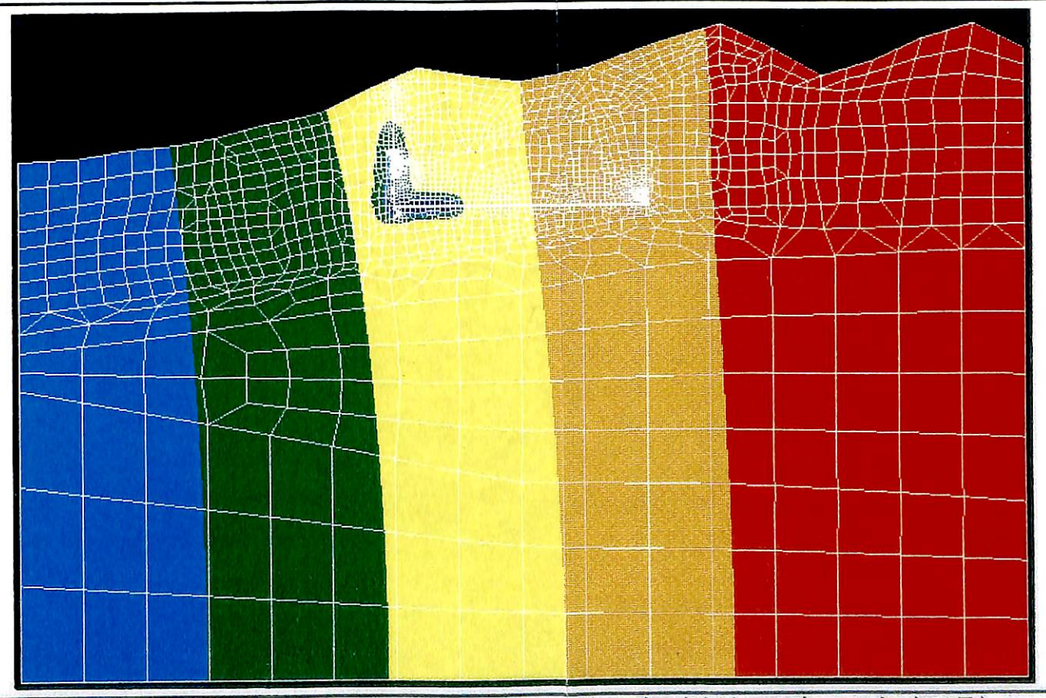
ピエゾ水頭分布図　(Step. 1, 掘削前初期状態)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 2, 立坑500m掘削終了時, 5年経過)

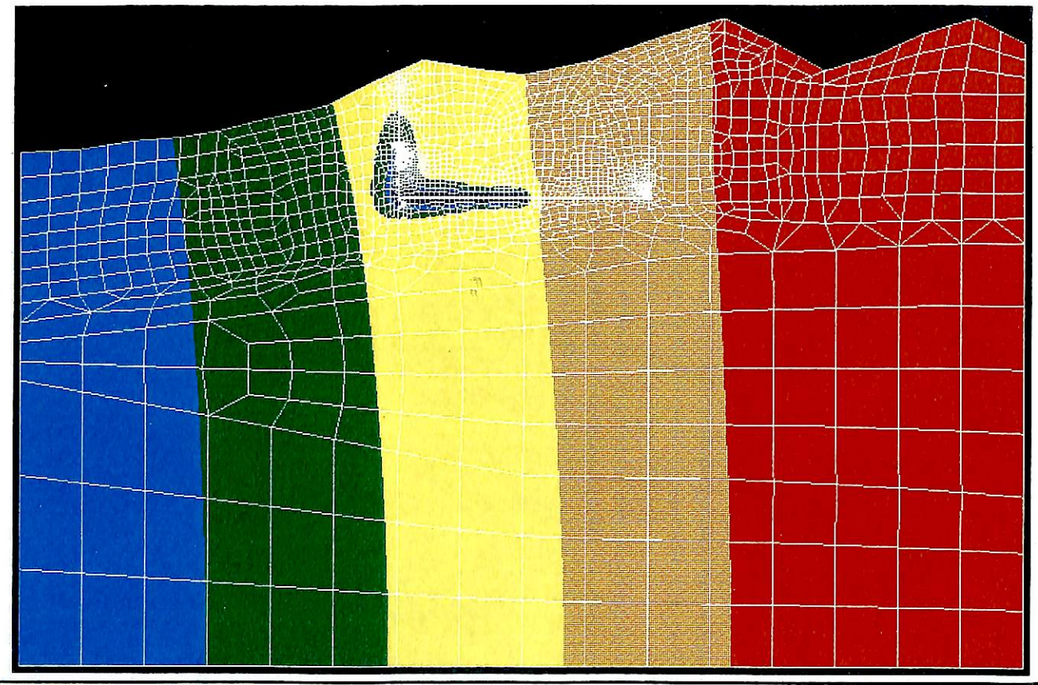


ピエゾ水頭分布図　(Step. 3, 立坑1, 000m掘削終了時, 10年経過)

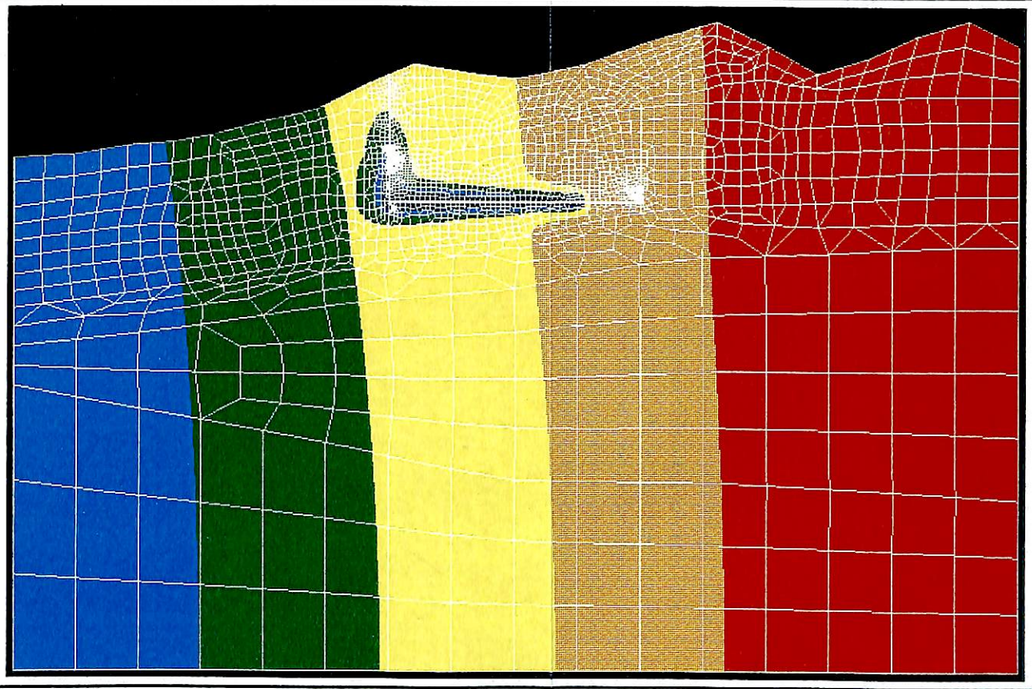


ピエゾ水頭分布図　(Step. 4, 横坑500m掘削終了時, 15年経過)

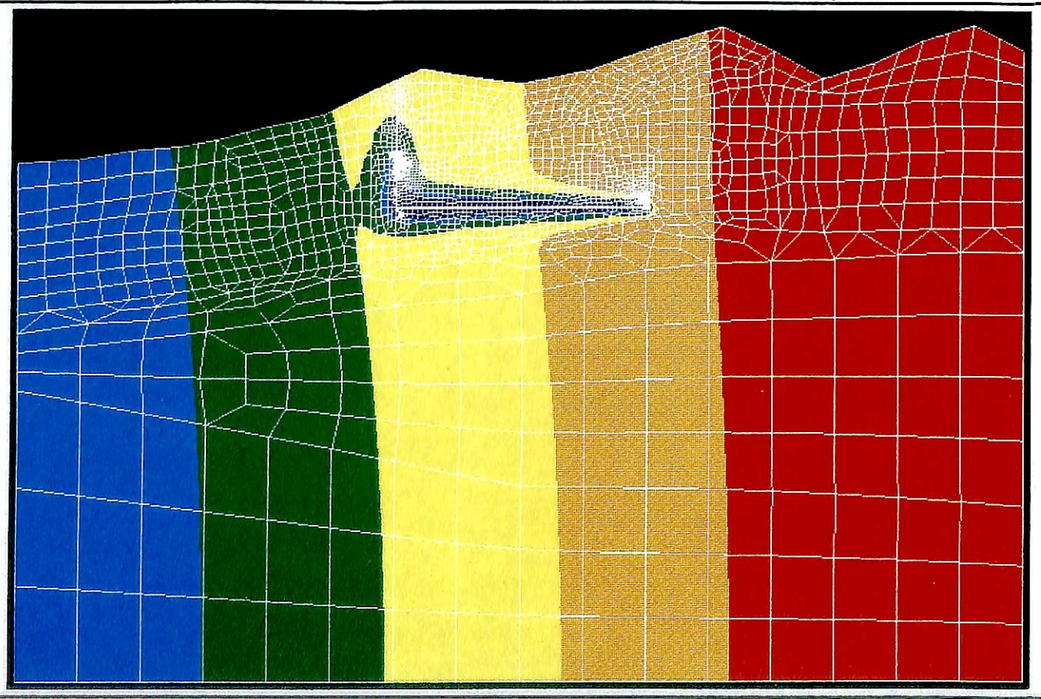
図 -4. 5. 5　処分場建設・閉鎖段階のピエゾ水頭分布図（その1）



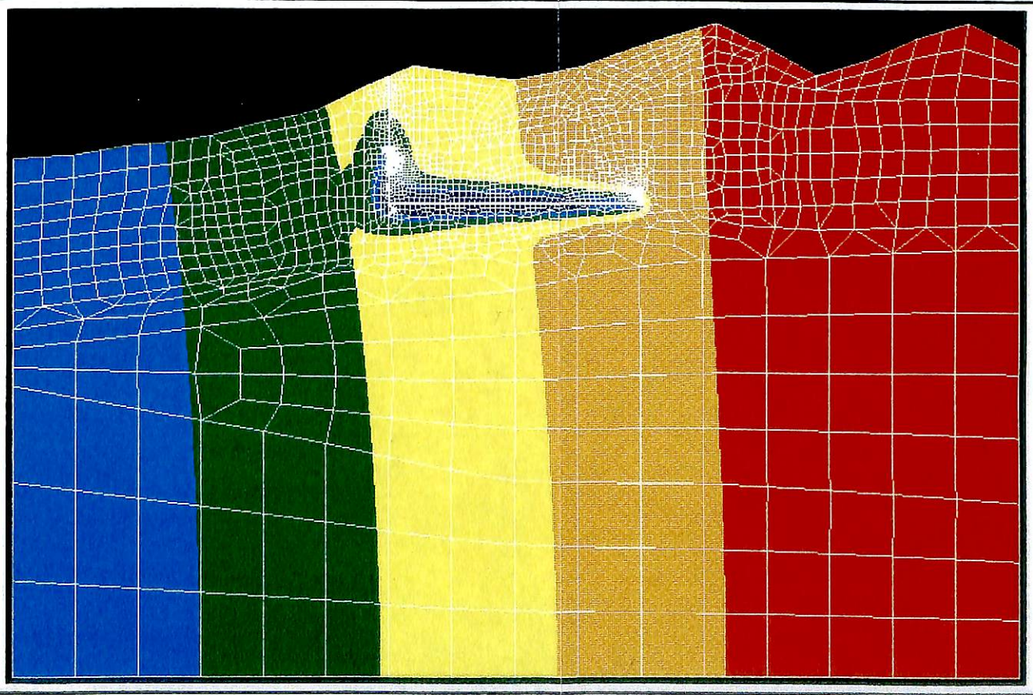
ピエゾ水頭分布図　(Step. 5, 横坑1, 000m掘削終了時, 20年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 6, 横坑1, 500m掘削終了時, 25年経過)

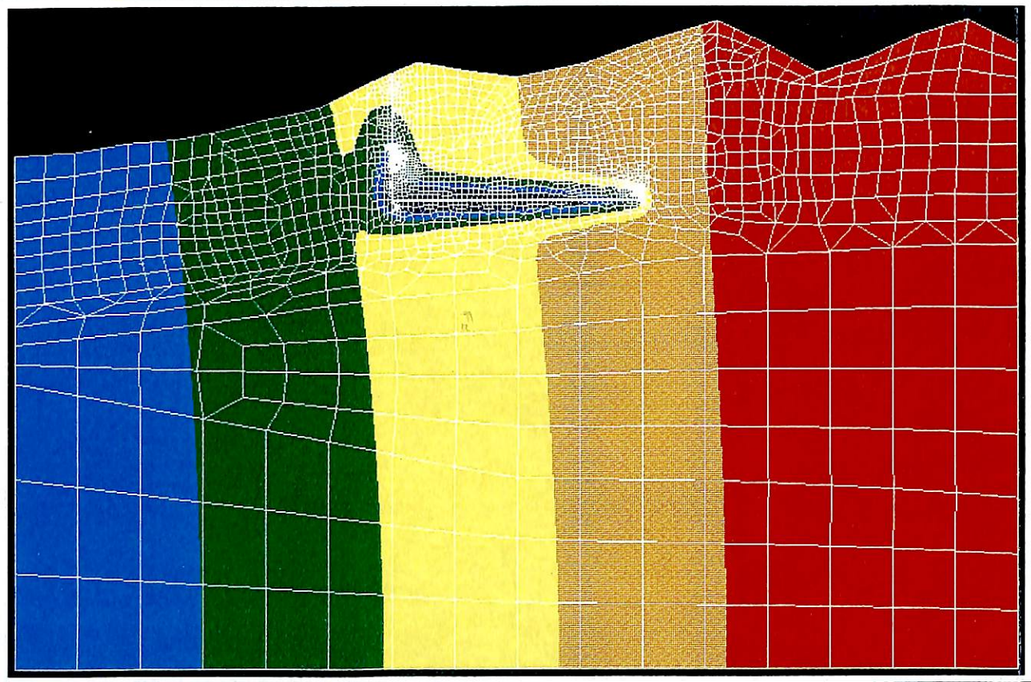


ピエゾ水頭分布図　(Step. 7, 横坑2, 000m掘削終了時, 30年経過)

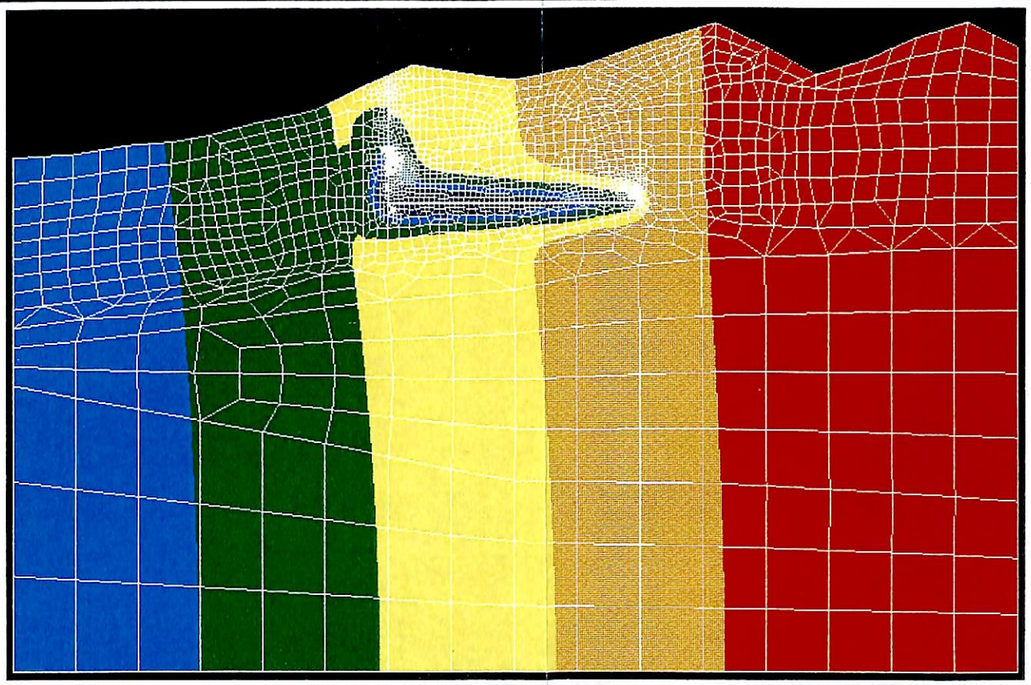


ピエゾ水頭分布図　(Step. 8, 横坑500m埋戻し終了時, 35年経過)

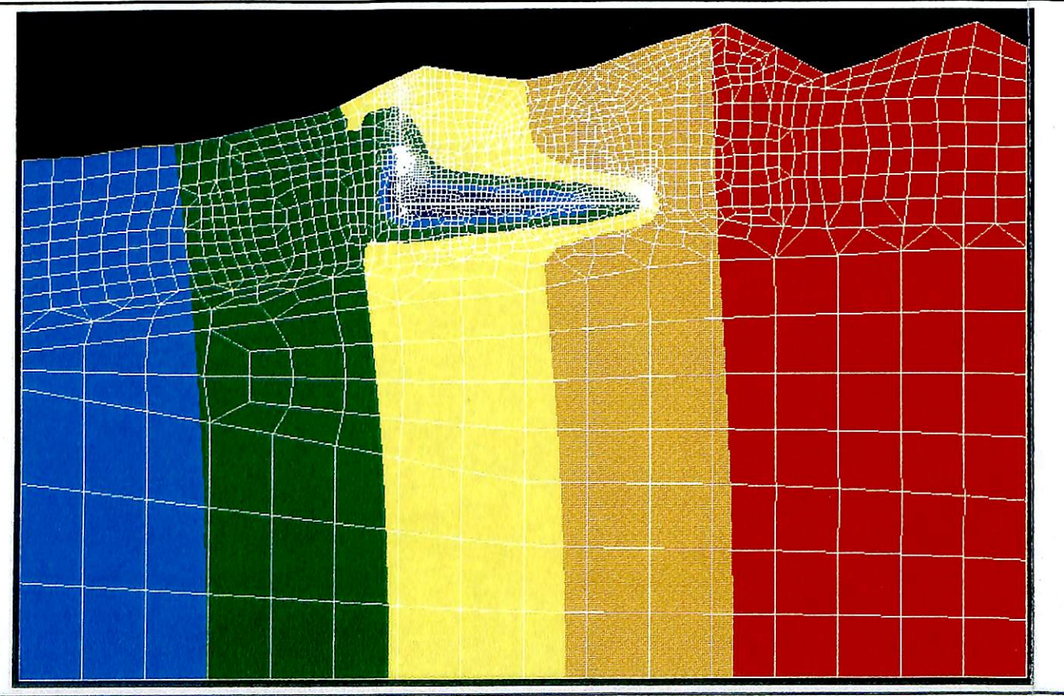
図 -4. 5. 5　処分場建設・閉鎖段階のピエゾ水頭分布図（その2）



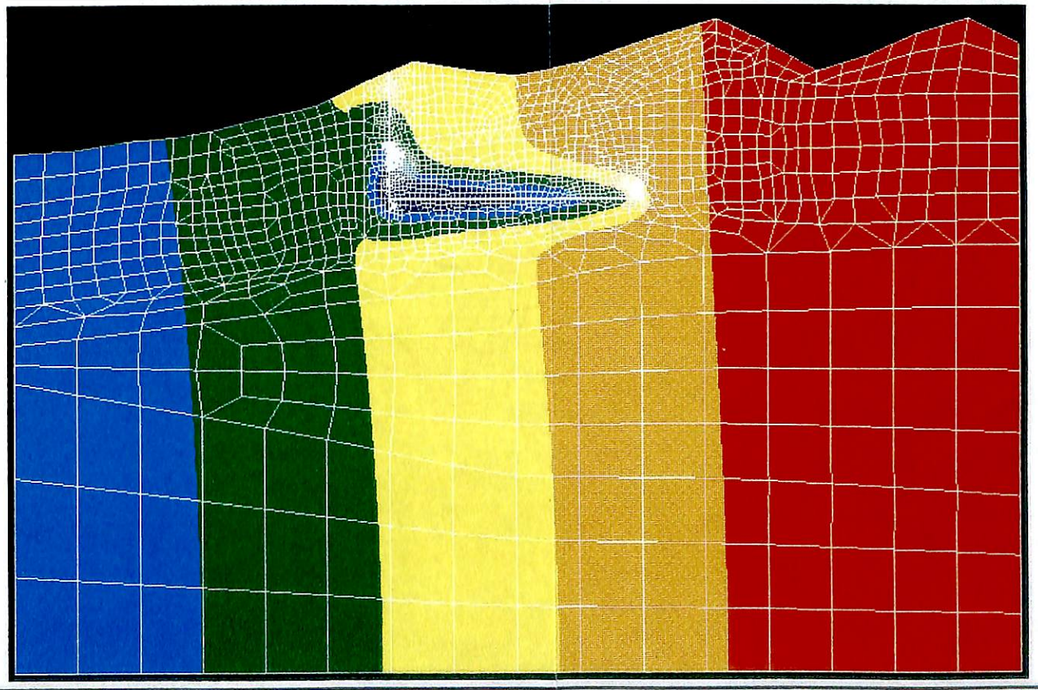
ピエゾ水頭分布図　(Step. 9, 横坑1, 000m埋戻し終了時, 40年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 10, 横坑1, 500m埋戻し終了時, 45年経過)

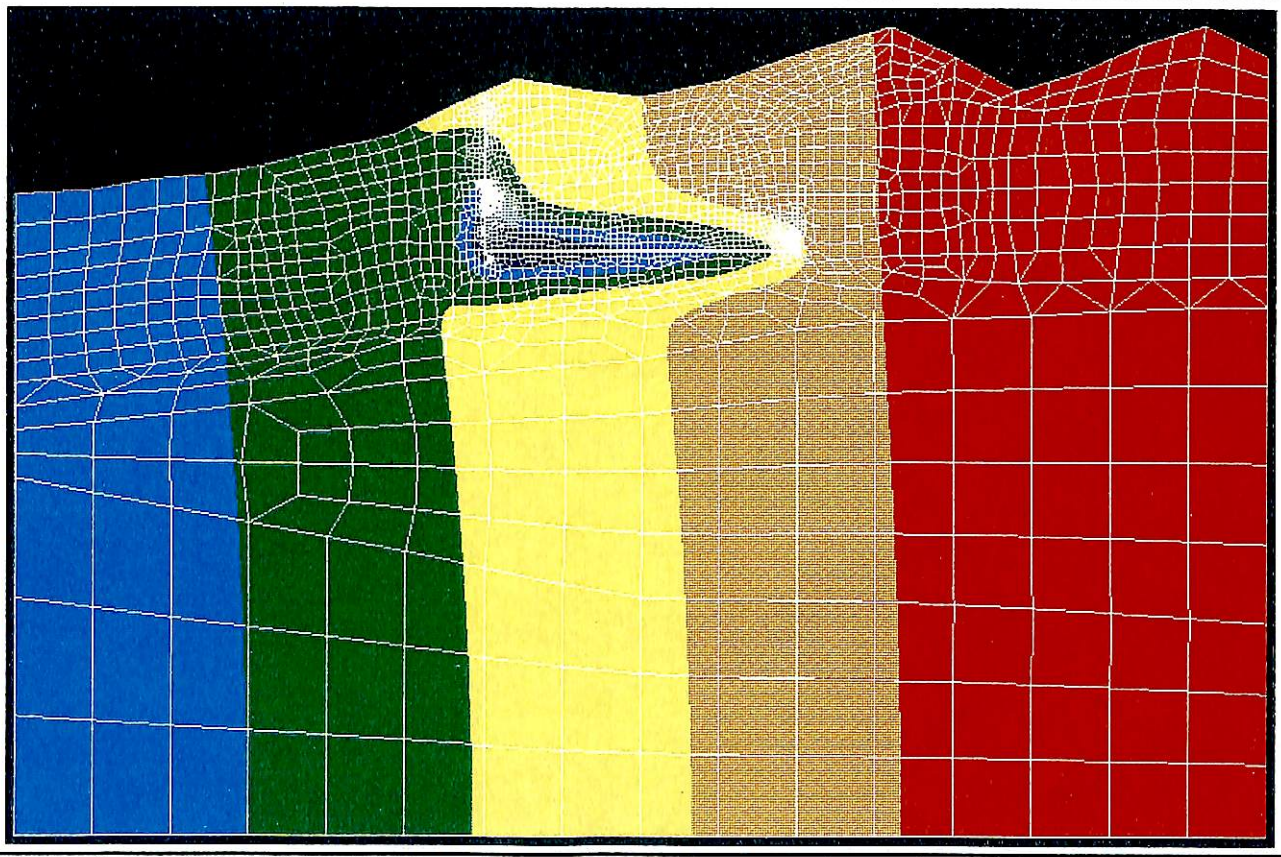


ピエゾ水頭分布図　(Step. 11, 横坑2, 000m埋戻し終了時, 50年経過)



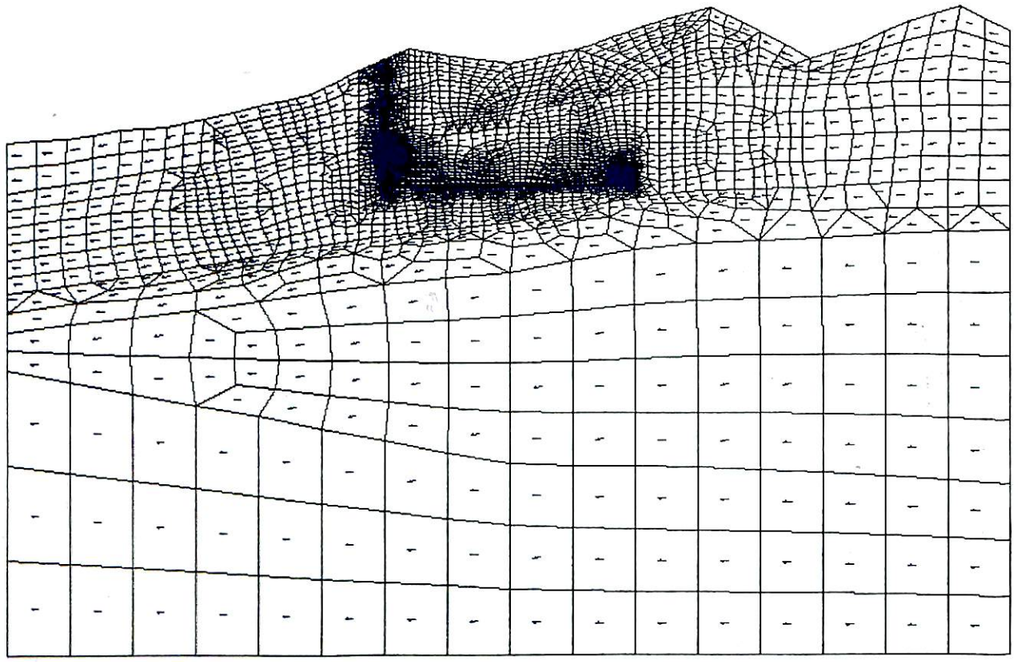
ピエゾ水頭分布図　(Step. 12, 立坑500m埋戻し終了時, 55年経過)

図 -4. 5. 5　処分場建設・閉鎖段階のピエゾ水頭分布図（その3）

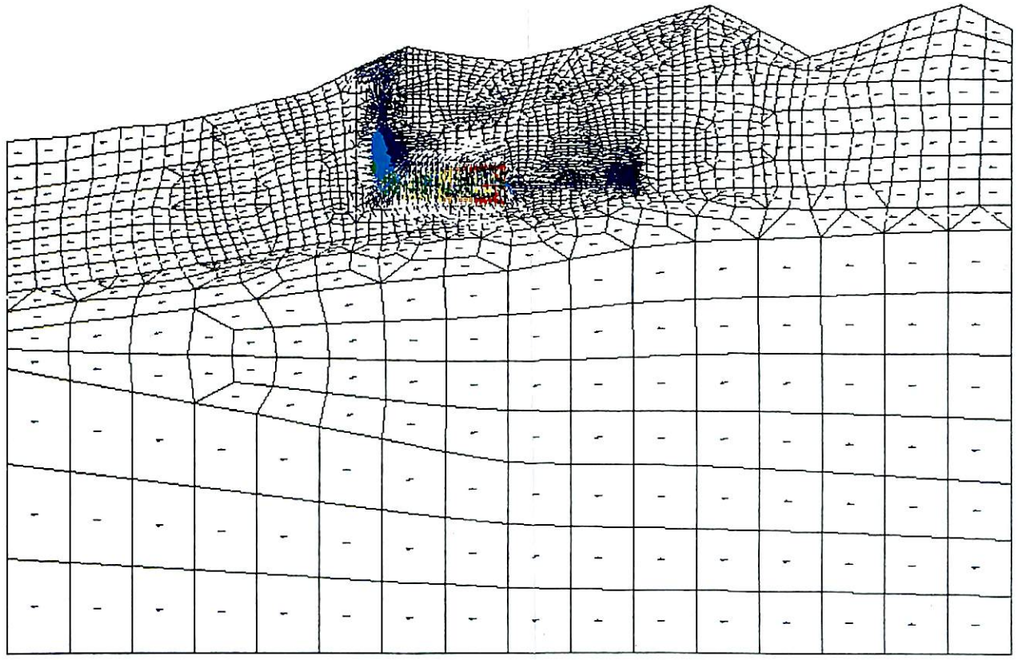


ピエゾ水頭分布図　(Step. 13, 埋戻し完了時, 60年経過)

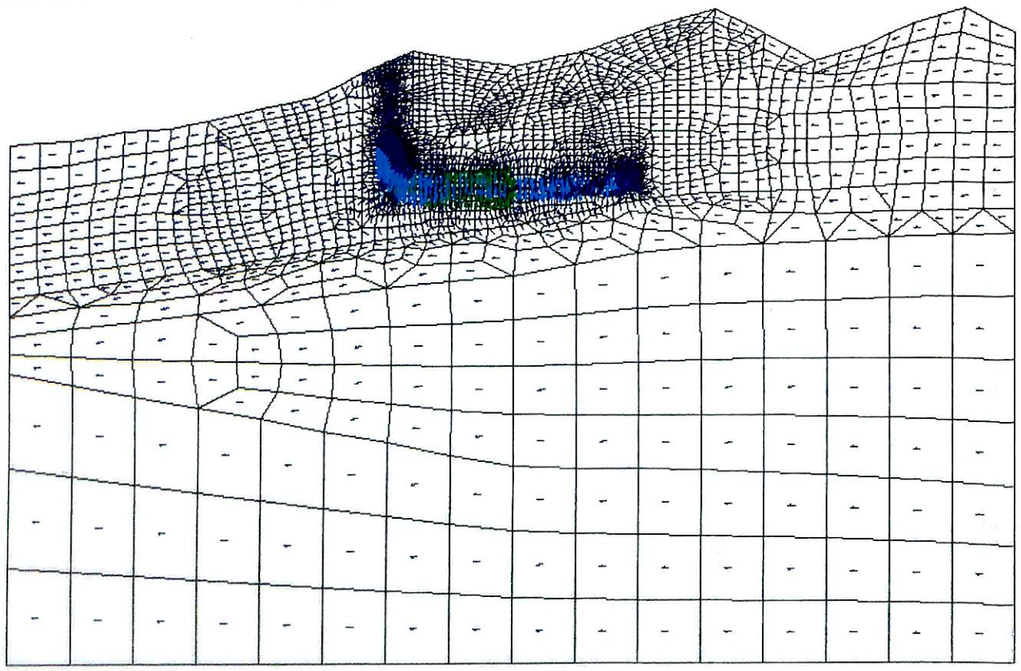
図 -4. 5. 5　処分場建設・閉鎖段階のピエゾ水頭分布図（その4）



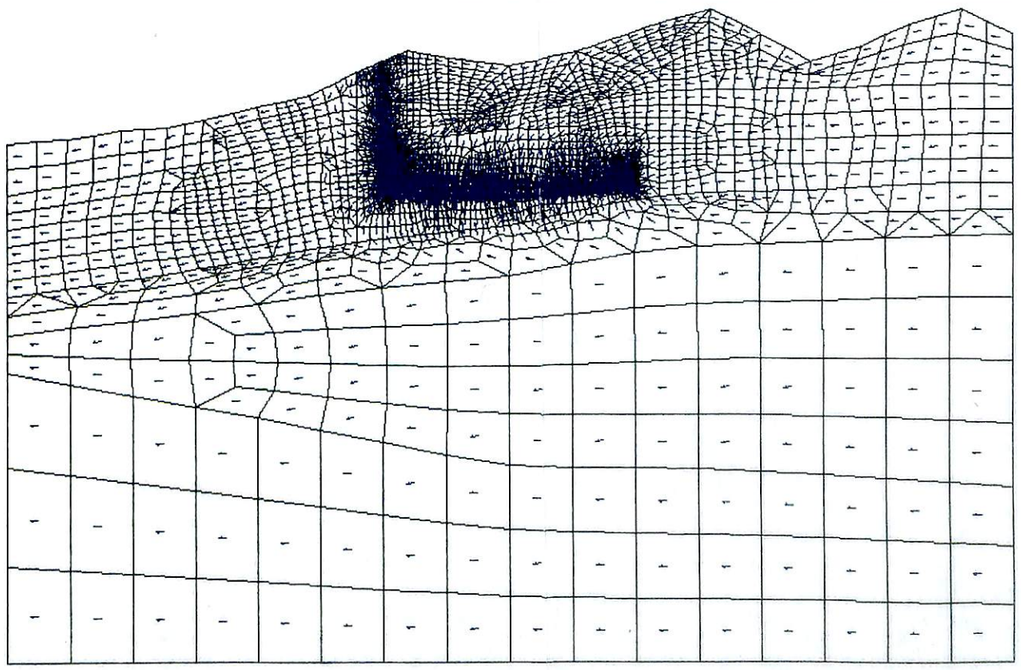
流速ベクトル図　(Step. 1, 掘削前初期状態)



流速ベクトル図　(Step. 5, 横坑1, 000m掘削終了時, 20年経過)

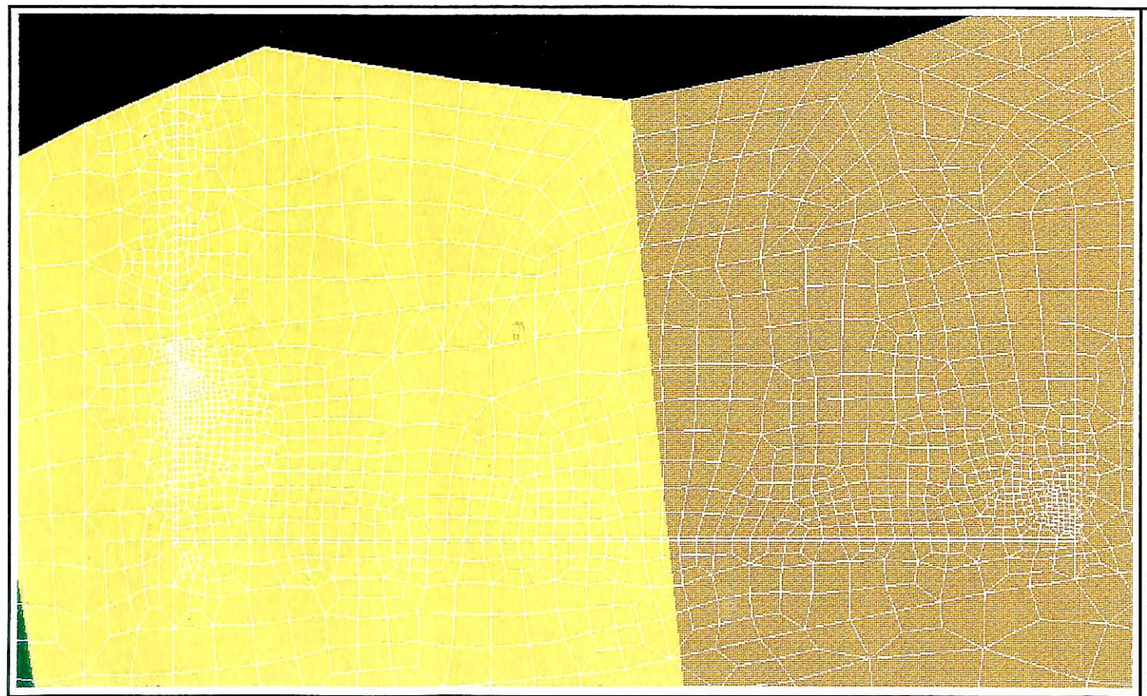


流速ベクトル図　(Step. 9, 横坑1, 000m埋戻し終了時, 40年経過)

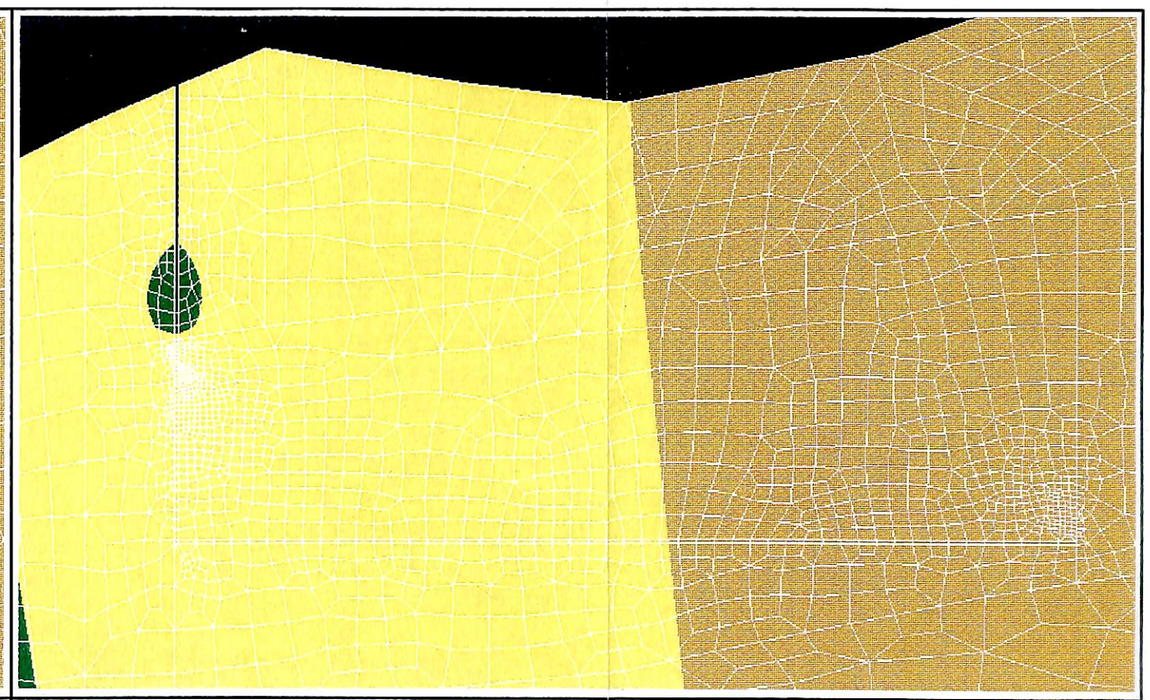


流速ベクトル図　(Step. 13, 埋戻し完了時, 60年経過)

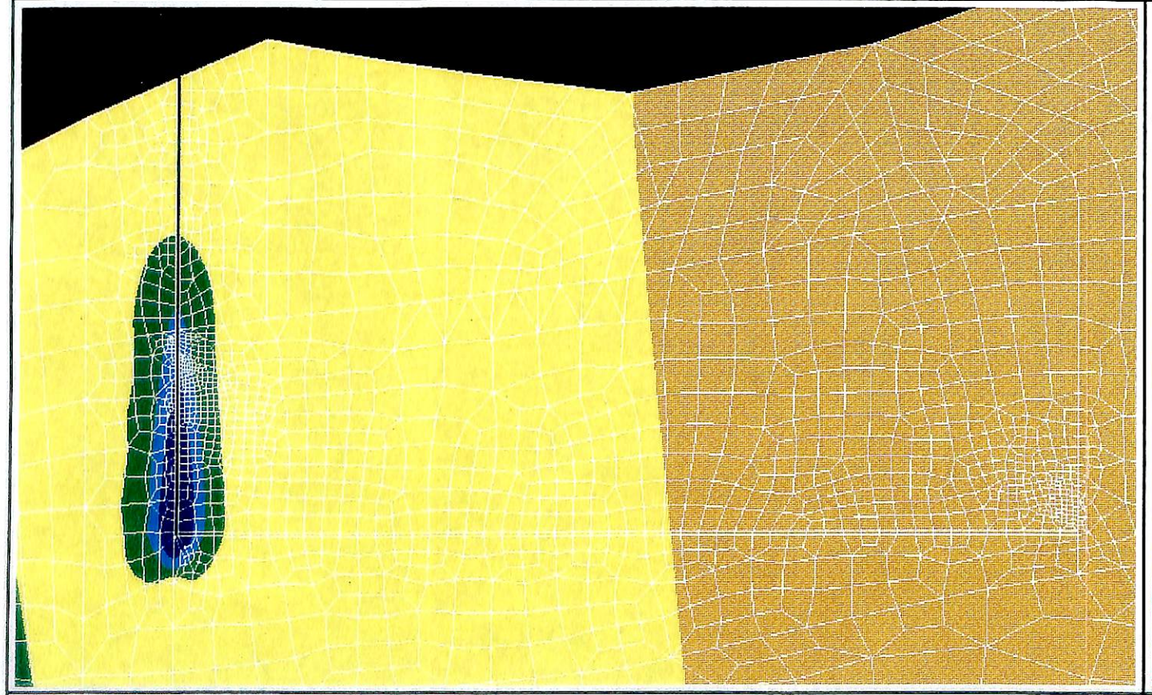
図 -4. 5. 6　処分場建設・閉鎖段階の流速ベクトル分布図



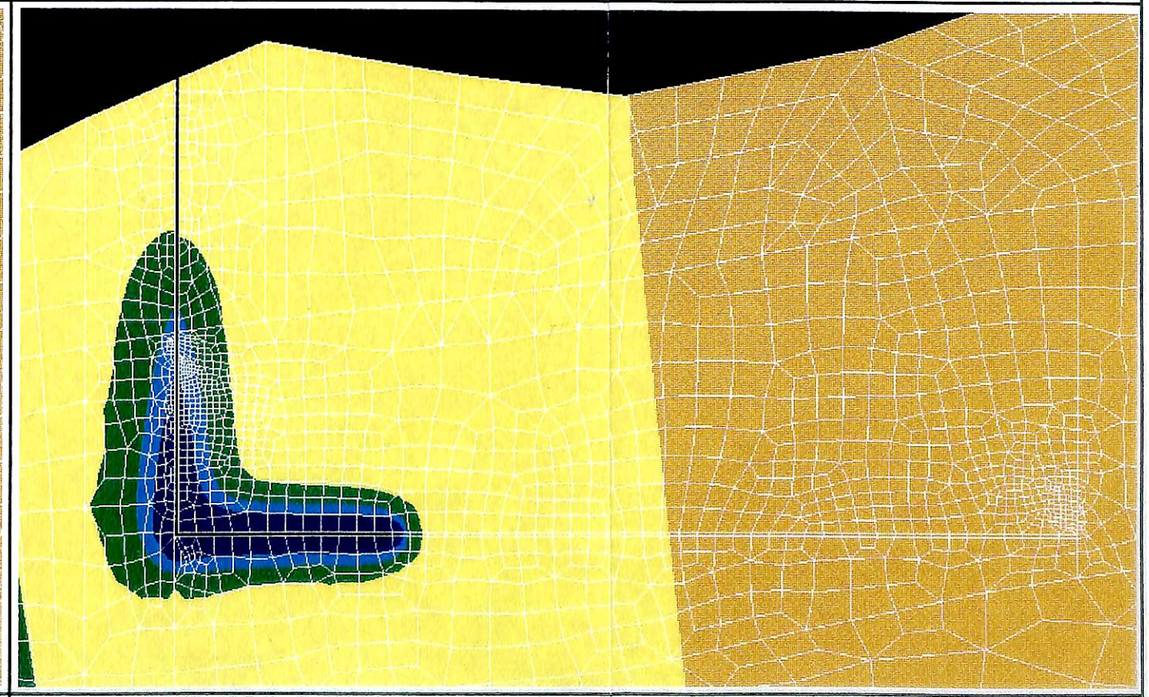
ピエゾ水頭分布図　(Step. 1, 掘削前初期状態)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 2, 立坑500m掘削終了時, 5年経過)

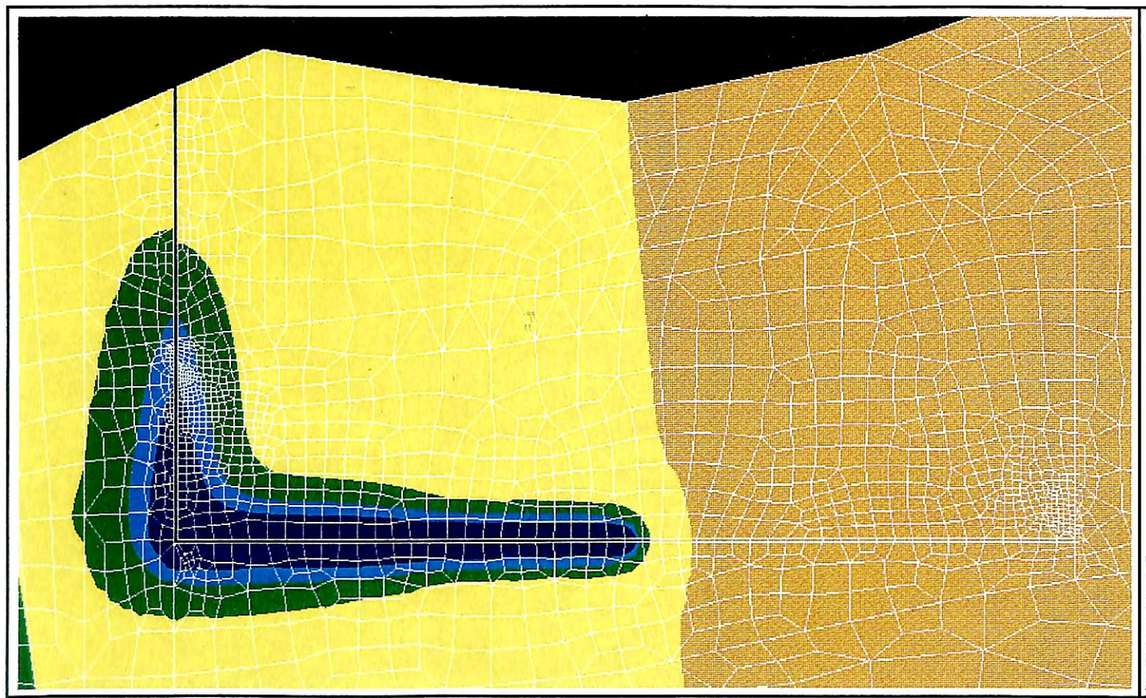


ピエゾ水頭分布図　(Step. 3, 立坑1, 000m掘削終了時, 10年経過)

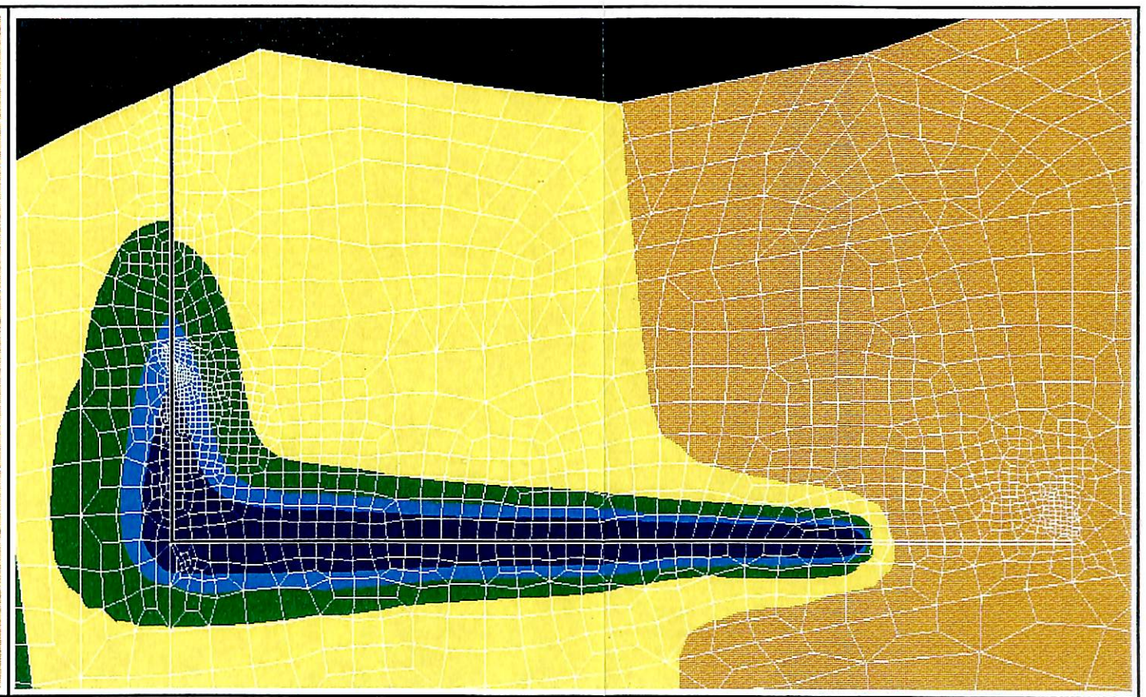


ピエゾ水頭分布図　(Step. 4, 横坑500m掘削終了時, 15年経過)

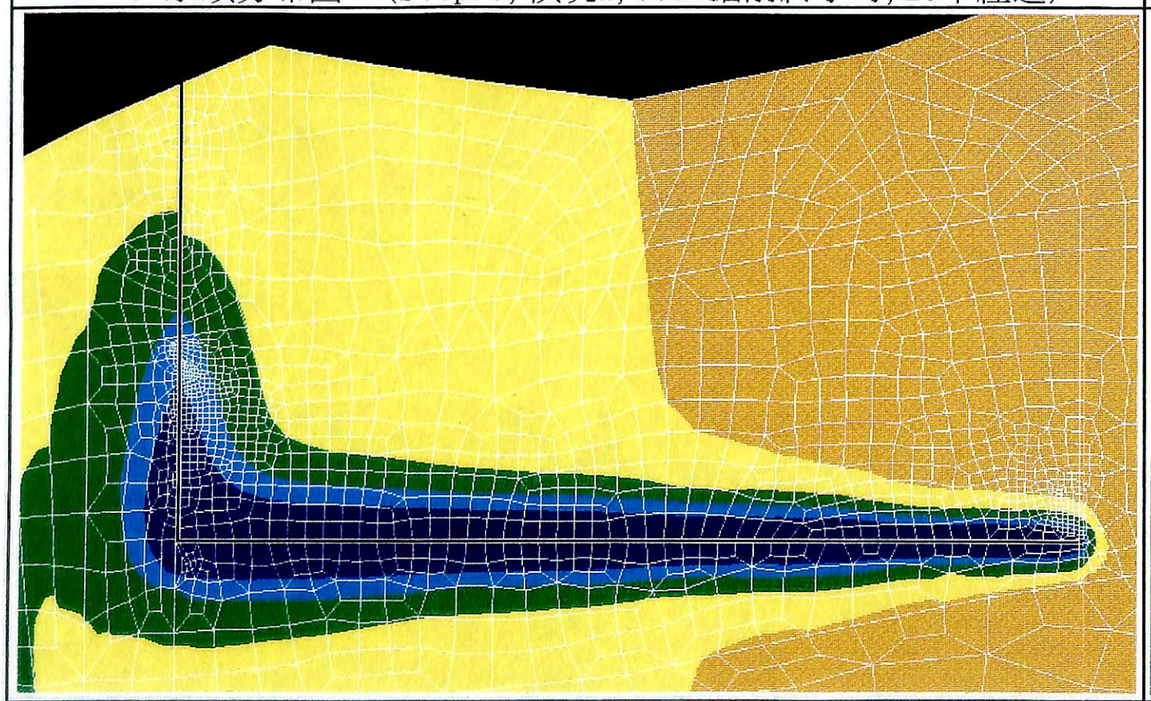
図 -4. 5. 7　立坑および処分坑道周辺のピエゾ水頭分布図 (その1)



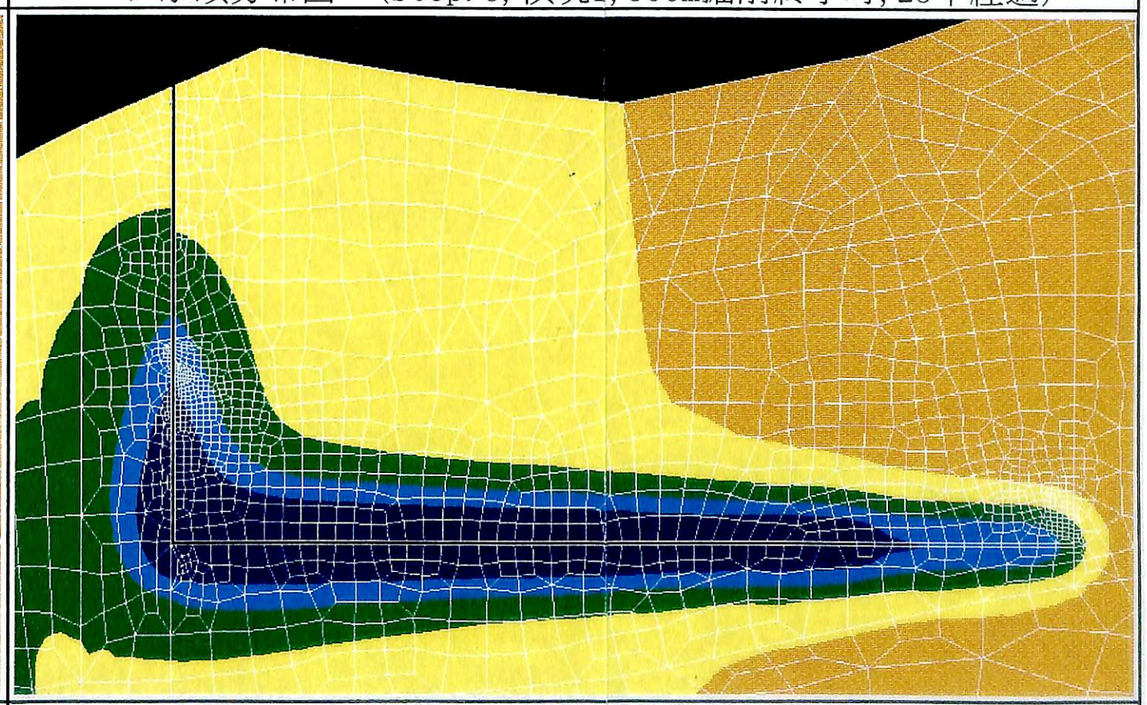
ピエゾ水頭分布図　(Step. 5, 横坑1, 000m掘削終了時, 20年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 6, 横坑1, 500m掘削終了時, 25年経過)

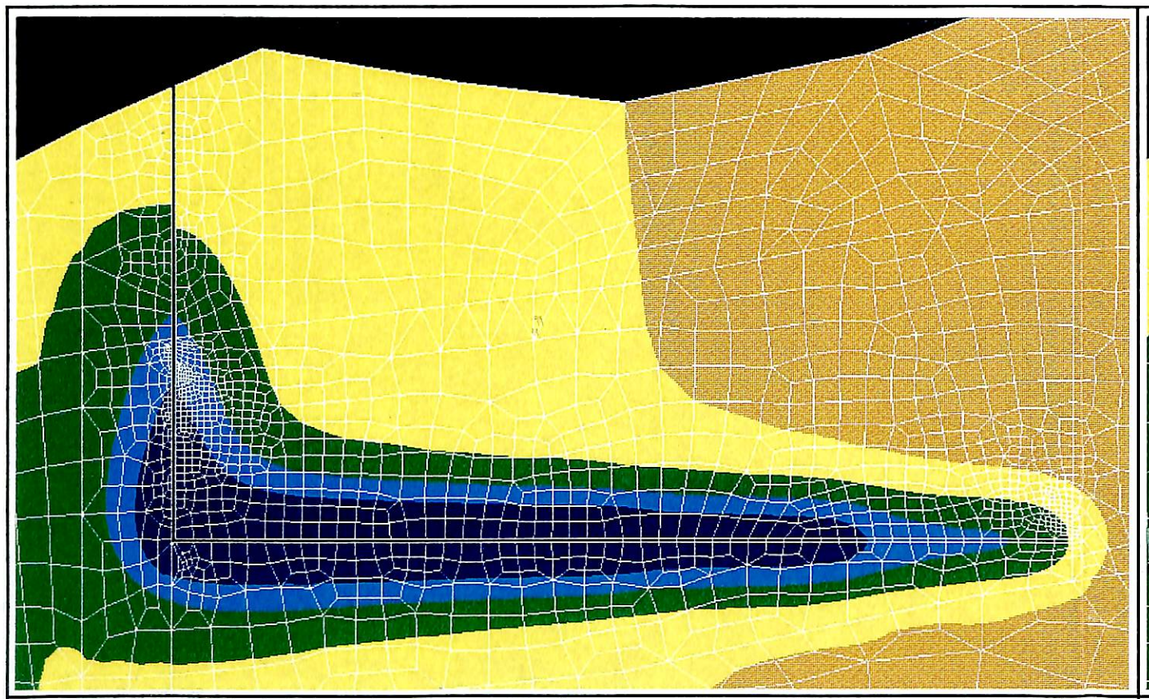


ピエゾ水頭分布図　(Step. 7, 横坑2, 000m掘削終了時, 30年経過)

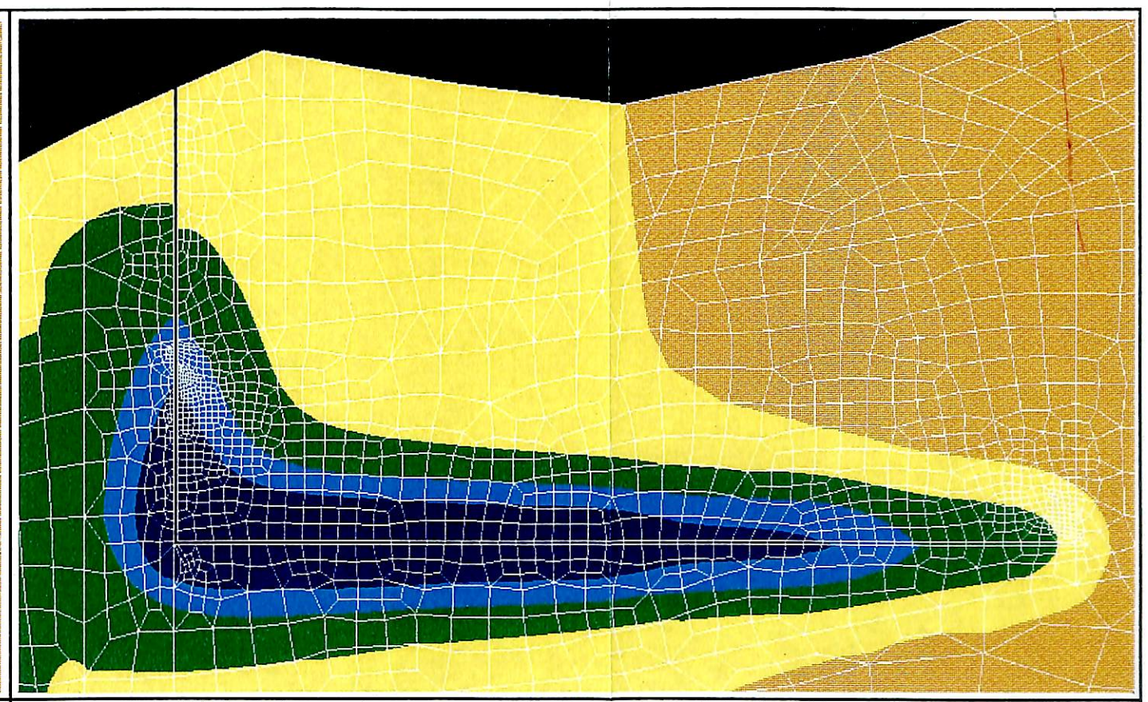


ピエゾ水頭分布図　(Step. 8, 横坑500m埋戻し終了時, 35年経過)

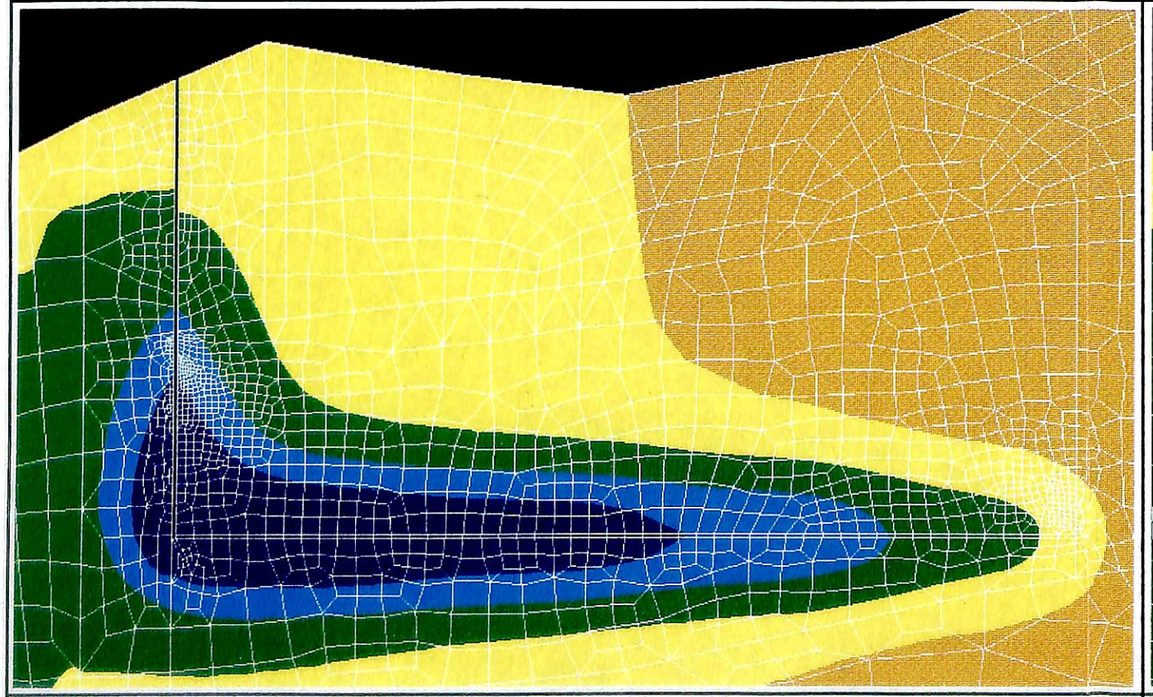
図 -4. 5. 7　立坑および処分坑道周辺のピエゾ水頭分布図 (その2)



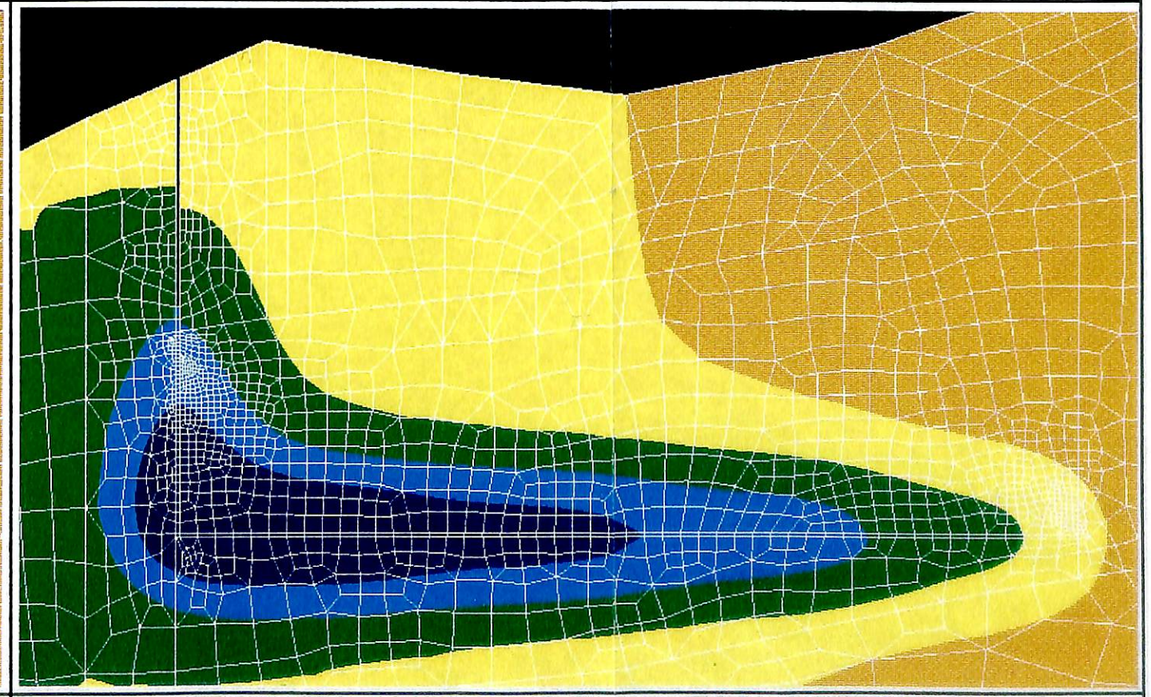
ピエゾ水頭分布図　(Step. 9, 横坑1, 000m埋戻し終了時, 40年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 10, 横坑1, 500m埋戻し終了時, 45年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 11, 横坑2, 000m埋戻し終了時, 50年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Step. 12, 立坑500m埋戻し終了時, 55年経過)

図 -4. 5. 7　立坑および処分坑道周辺のピエゾ水頭分布図 (その3)

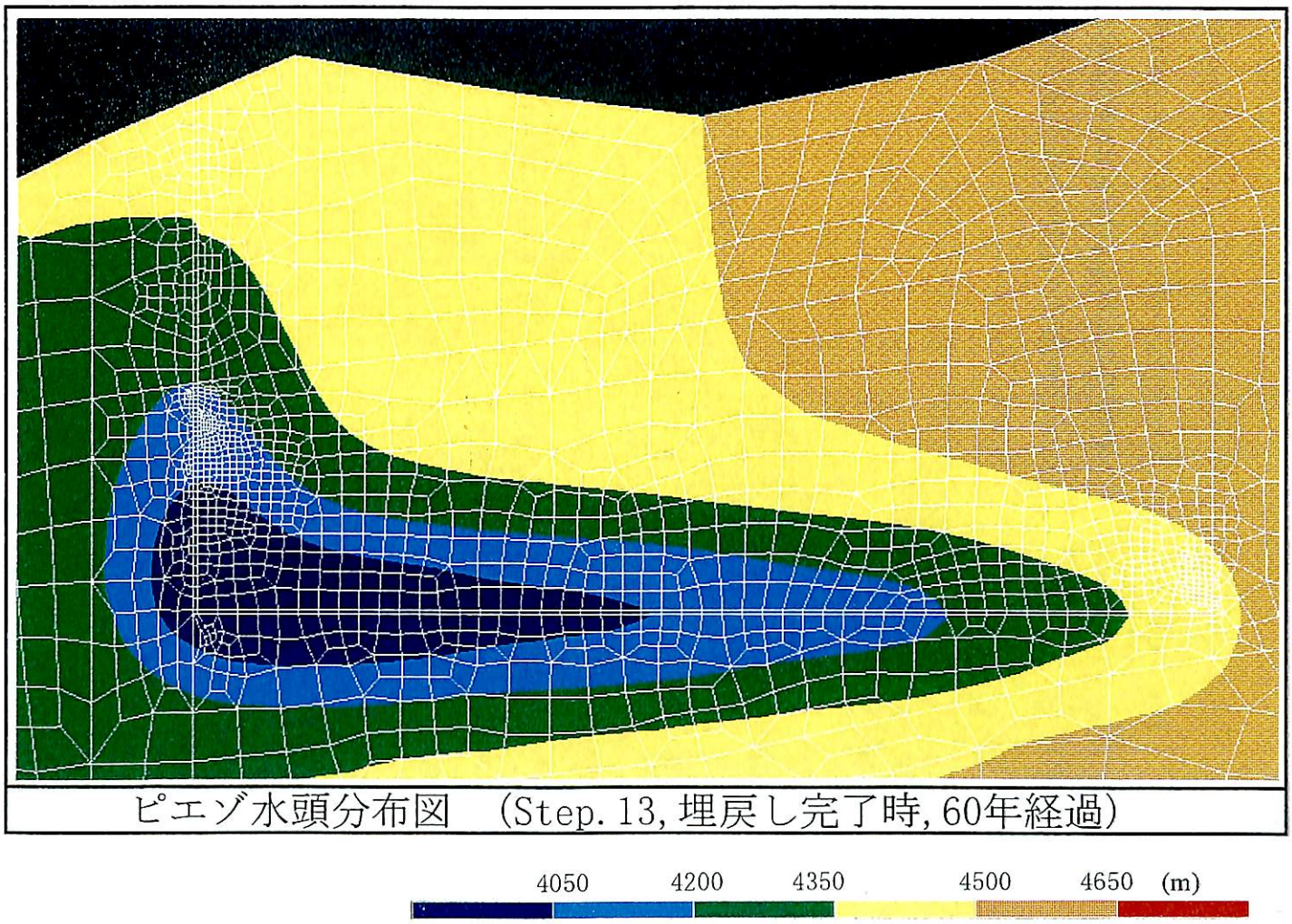
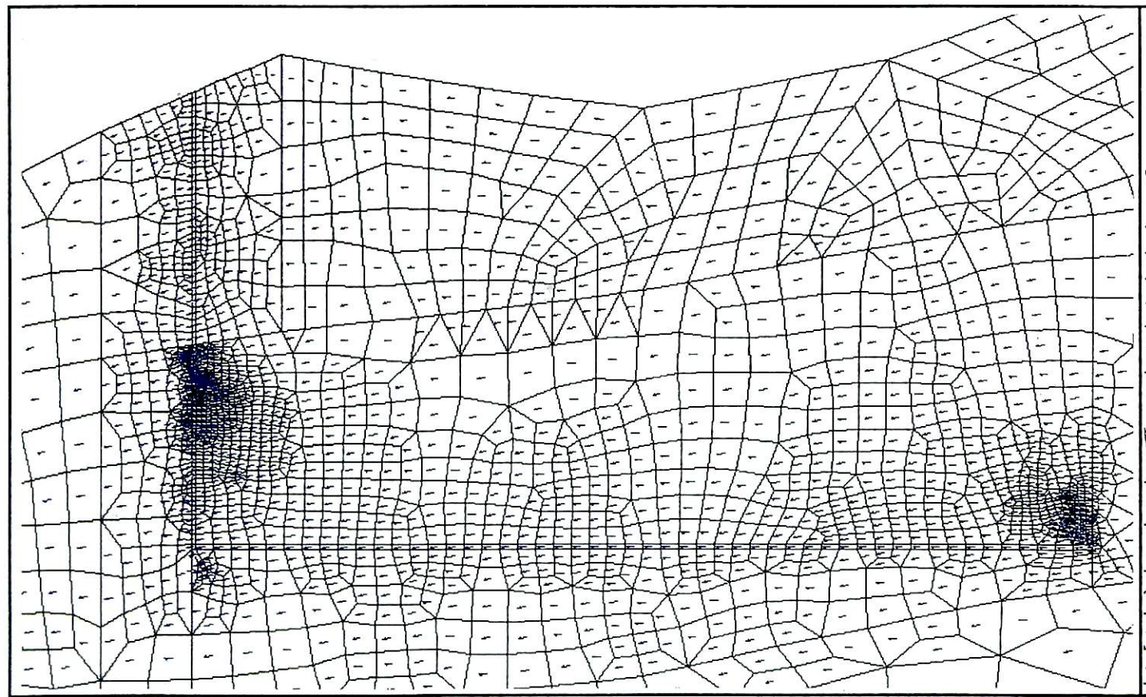
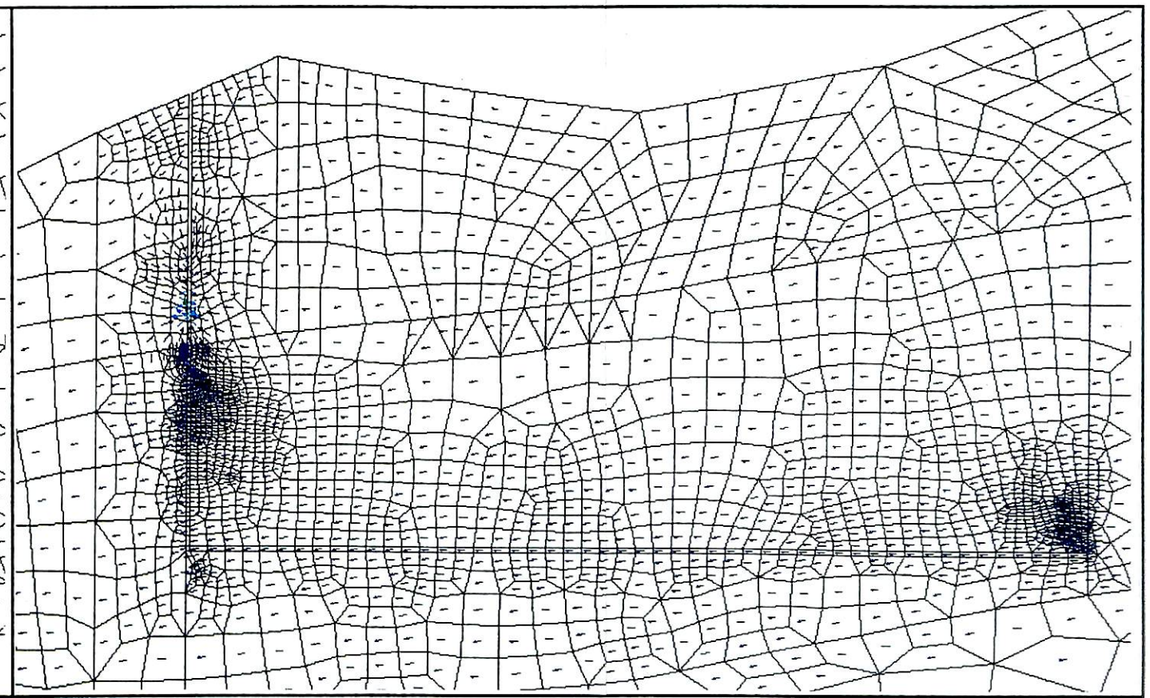


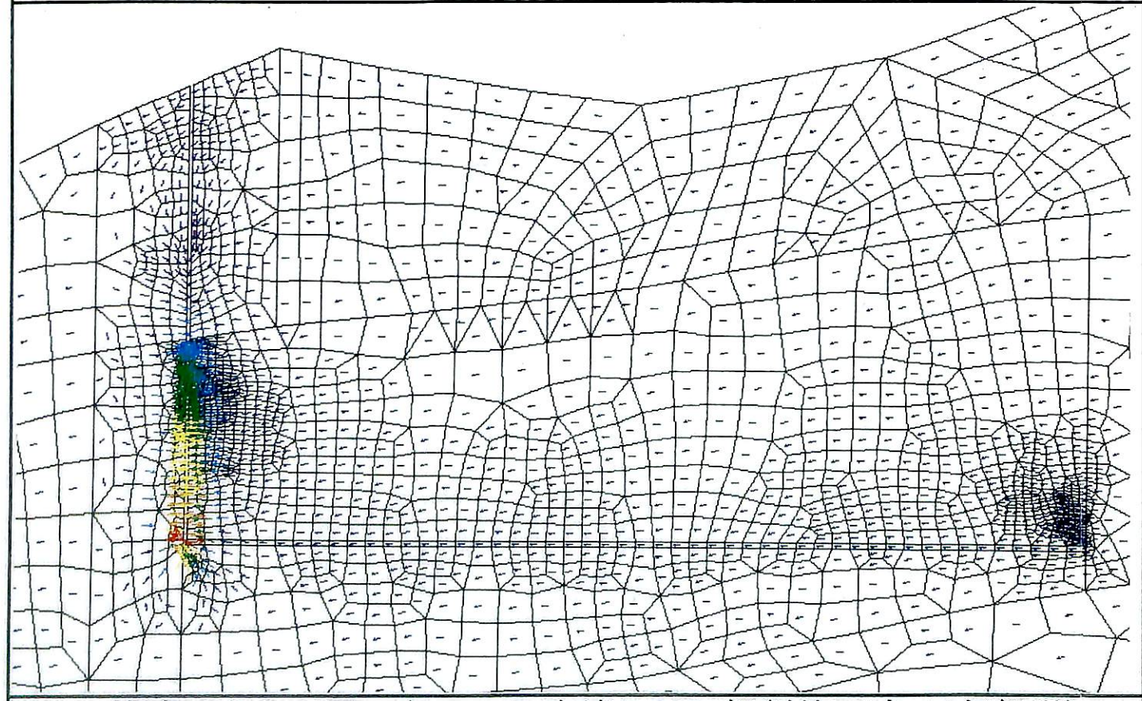
図 -4. 5. 7　立坑および処分坑道周辺のピエゾ水頭分布図 (その4)



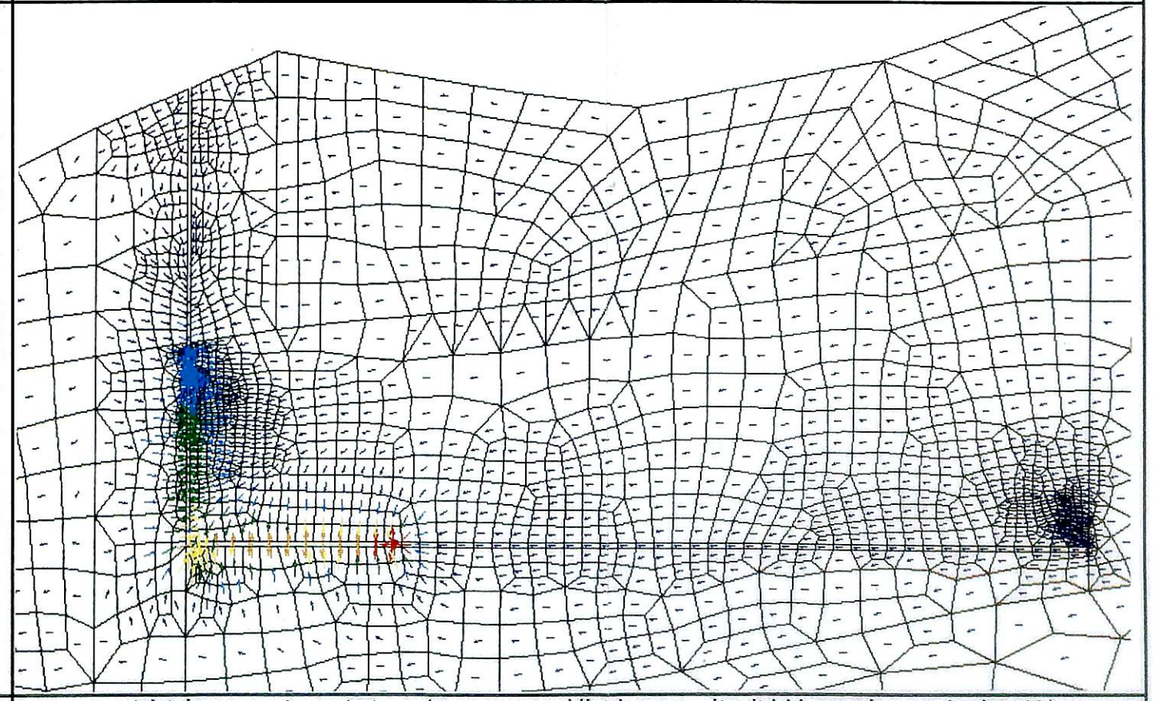
流速ベクトル図　(Step. 1, 掘削前初期状態)



流速ベクトル図　(Step. 2, 立坑500m掘削終了時, 5年経過)

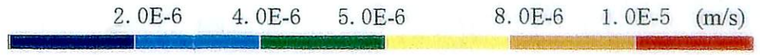


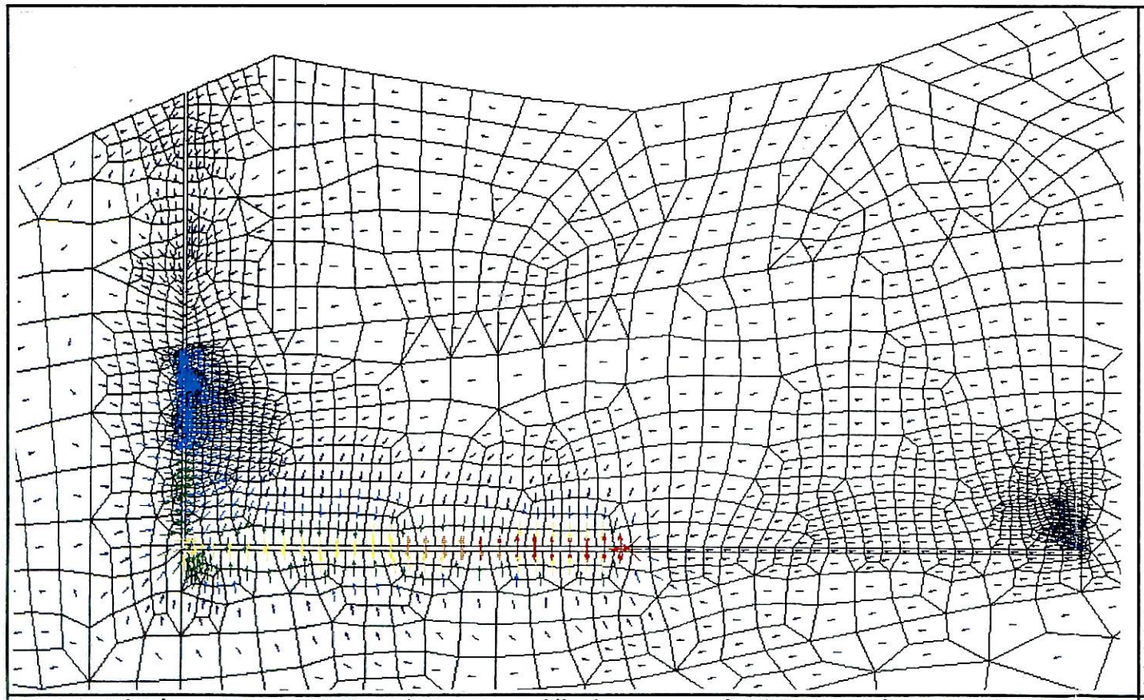
流速ベクトル図　(Step. 3, 立坑1, 000m掘削終了時, 10年経過)



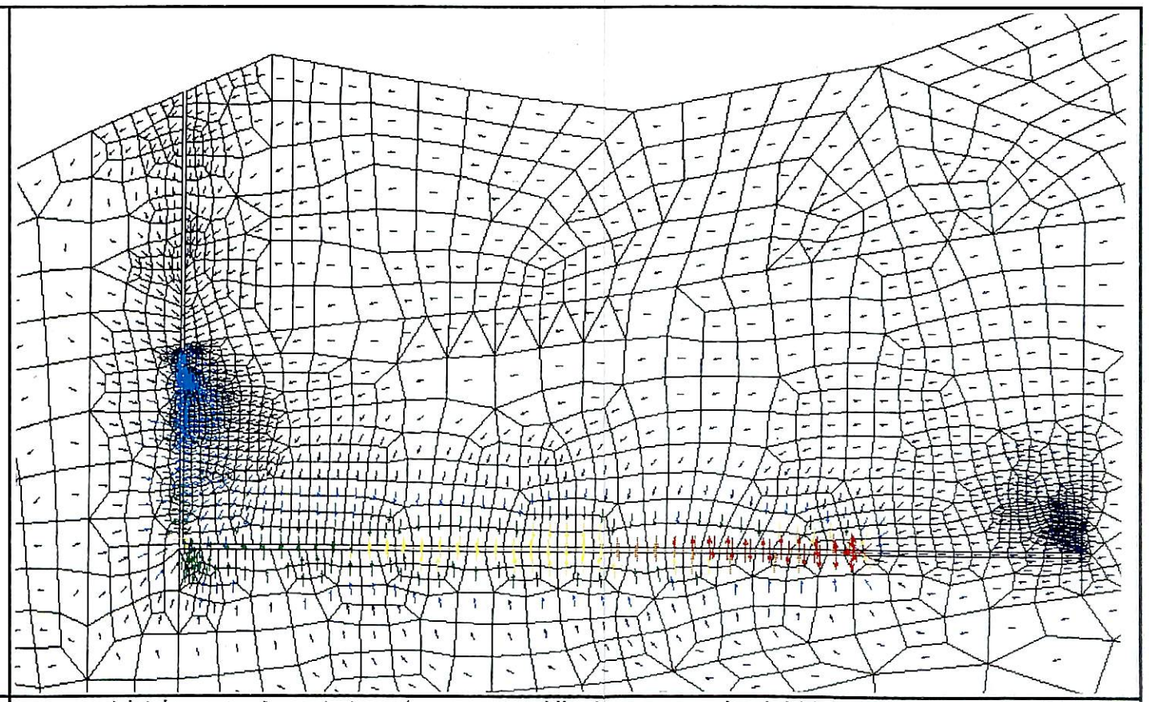
流速ベクトル図　(Step. 4, 横坑500m掘削終了時, 15年経過)

図 -4. 5. 8　立坑および処分坑道周辺での流速ベクトル分布図 (その1)

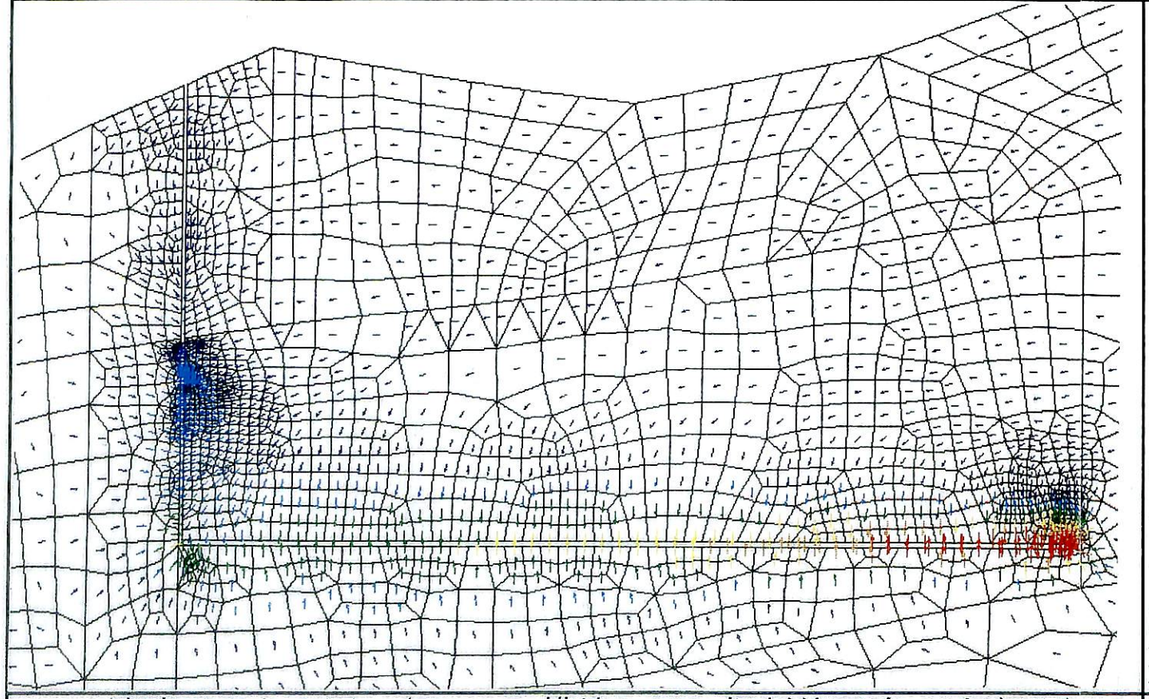




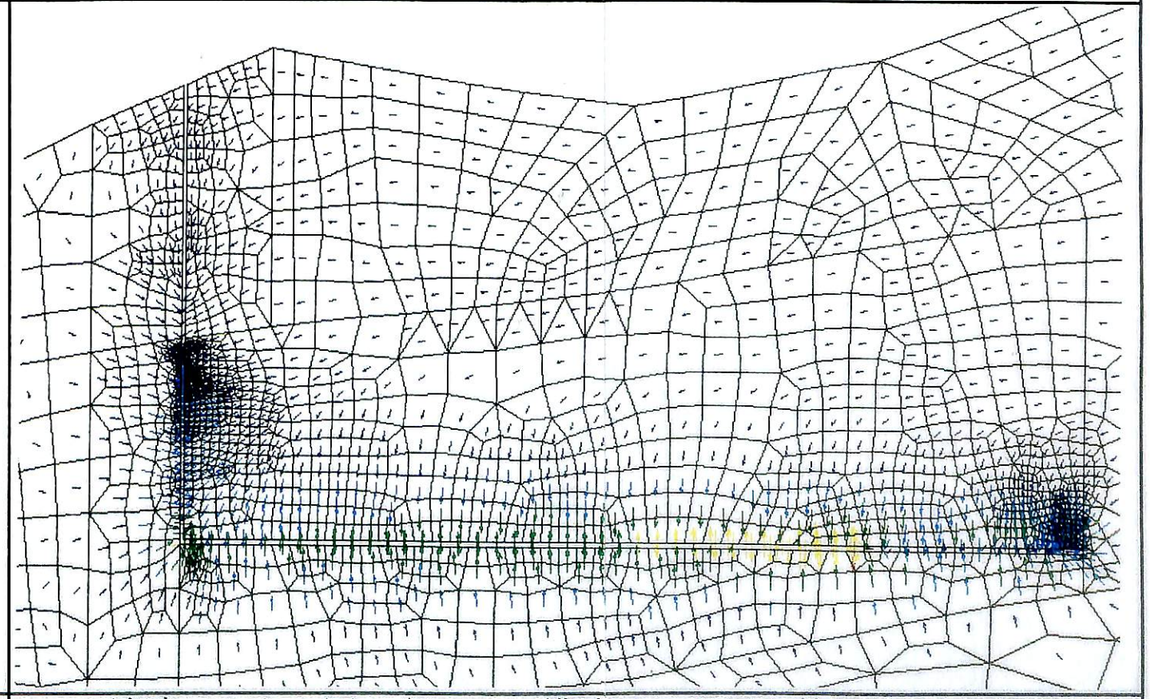
流速ベクトル図　(Step. 5, 横坑1, 000m掘削終了時, 20年経過)



流速ベクトル図　(Step. 6, 横坑1, 500m掘削終了時, 25年経過)

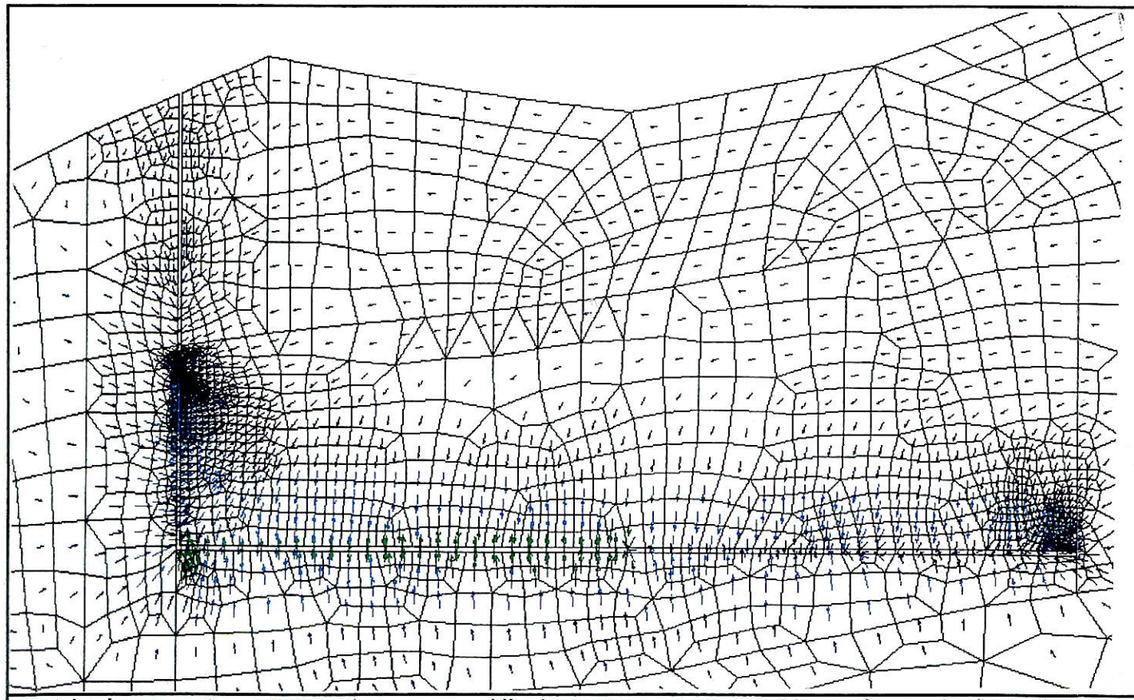


流速ベクトル図　(Step. 7, 横坑2, 000m掘削終了時, 30年経過)

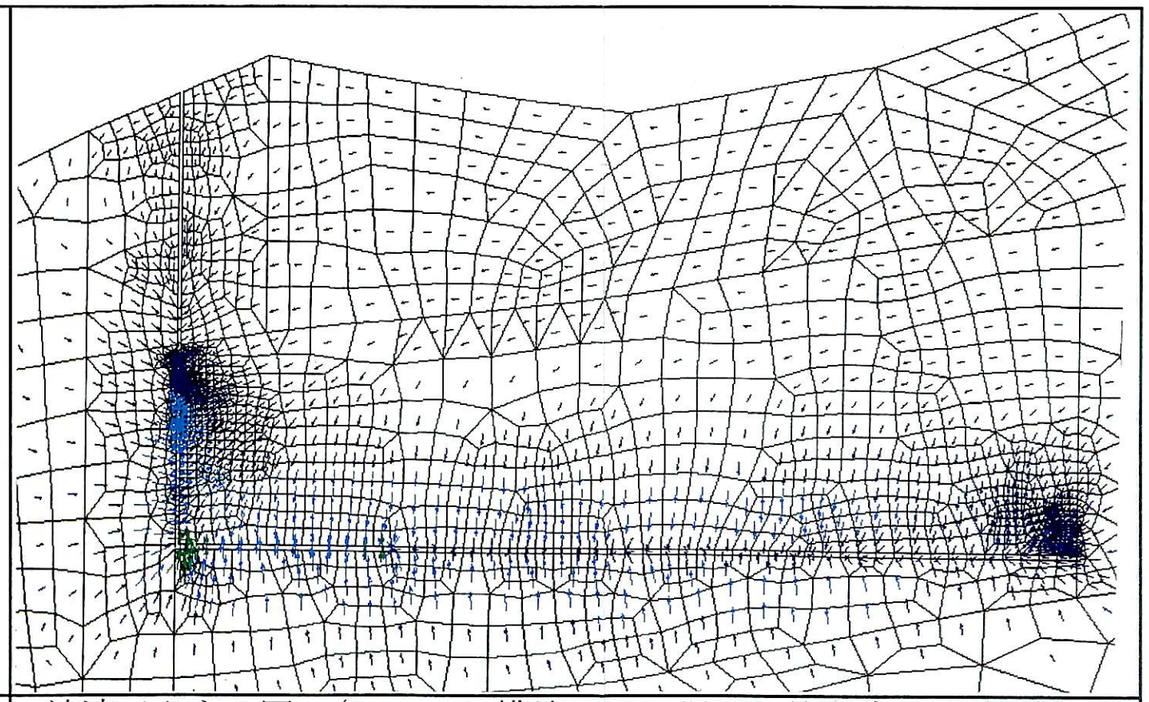


流速ベクトル図　(Step. 8, 横坑500m埋戻し終了時, 35年経過)

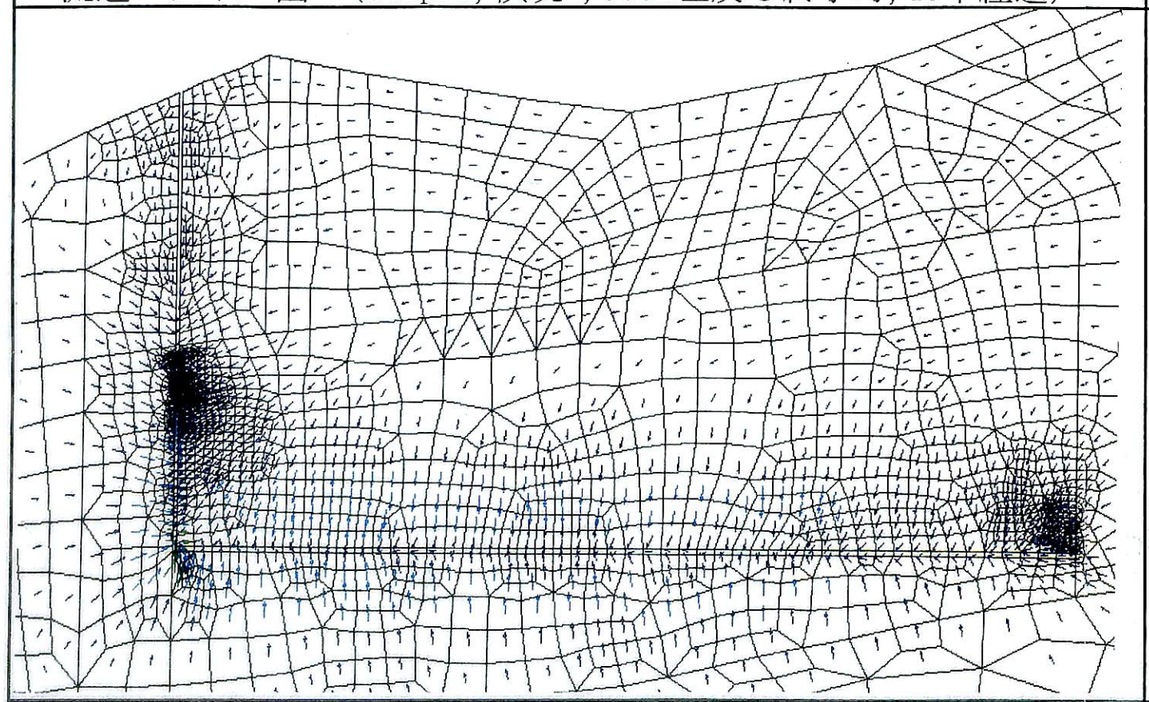
図 -4. 5. 8　立坑および処分坑道周辺での流速ベクトル分布図 (その2)



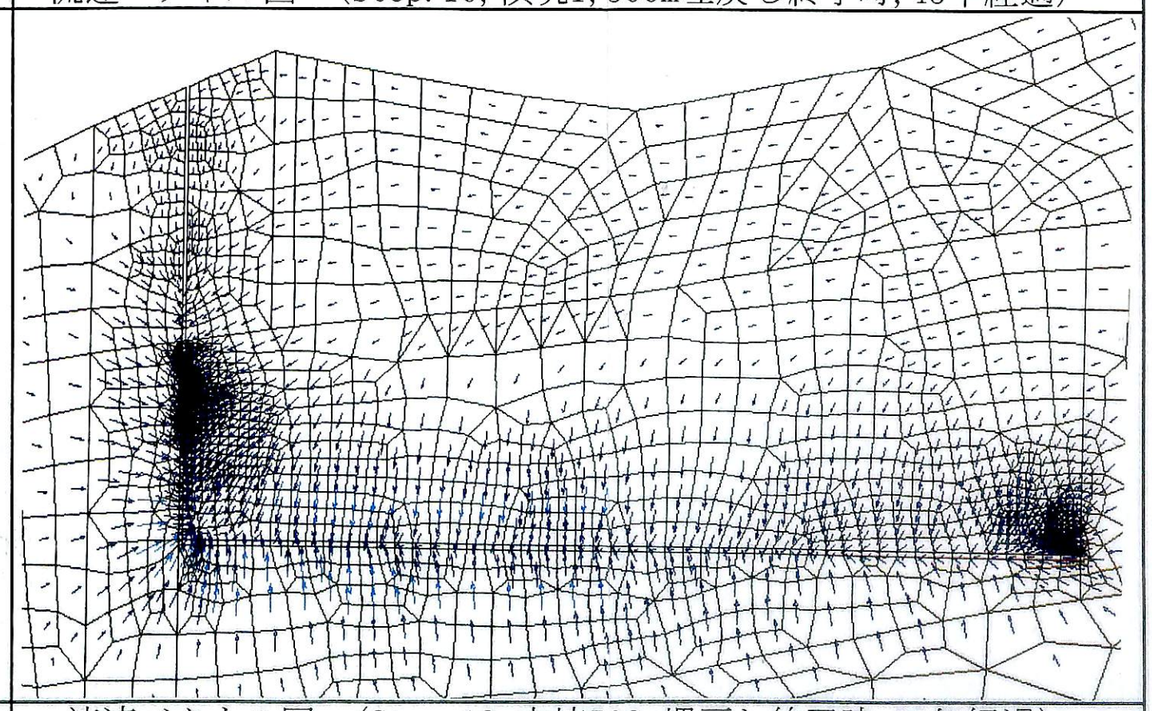
流速ベクトル図　(Step. 9, 横坑1, 000m埋戻し終了時, 40年経過)



流速ベクトル図　(Step. 10, 横坑1, 500m埋戻し終了時, 45年経過)



流速ベクトル図　(Step. 11, 横坑2, 000m埋戻し終了時, 50年経過)



流速ベクトル図　(Step. 12, 立坑500m埋戻し終了時, 55年経過)

図 -4. 5. 8　立坑および処分坑道周辺での流速ベクトル分布図 (その3)

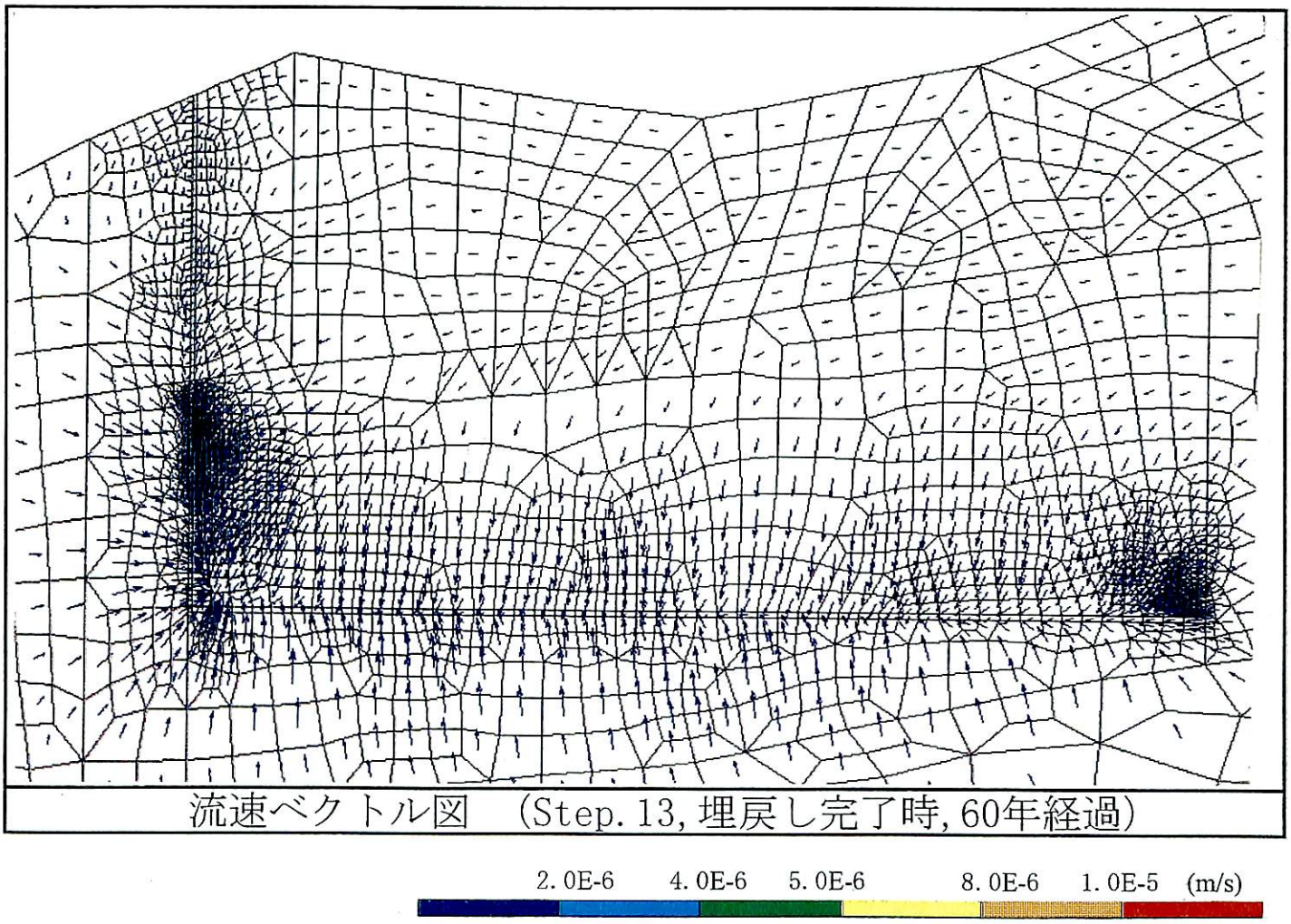
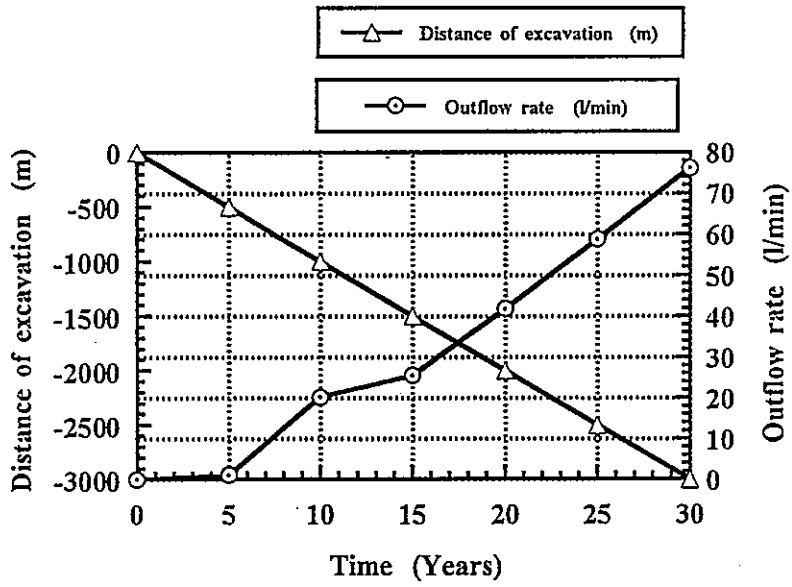
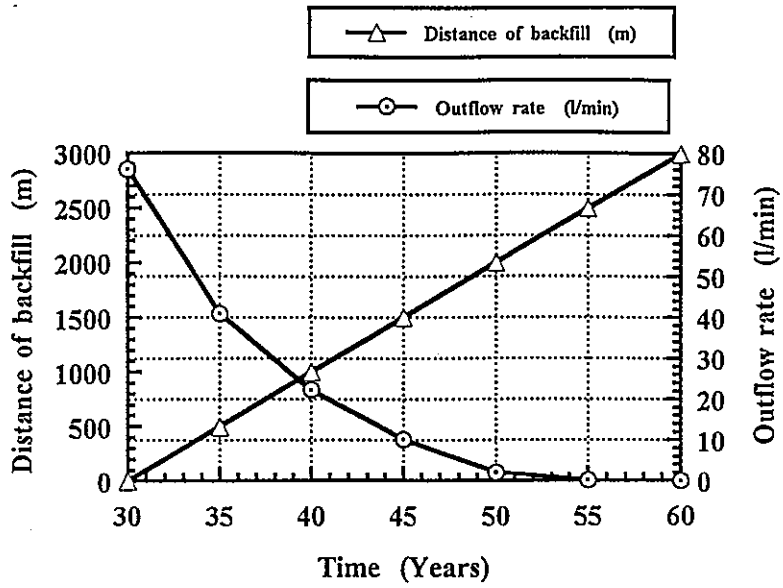


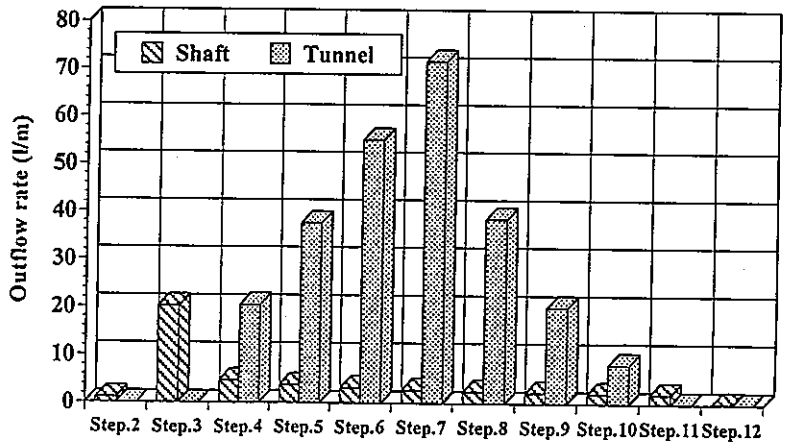
図 -4. 5. 8　立坑および処分坑道周辺での流速ベクトル分布図 (その4)



(a) 掘削時 (Step. 1～7) の全湧水量



(b) 埋戻し時 (Step. 8～13) の全湧水量



(c) 立坑および坑道からの湧水量

図 -4. 5. 9　立坑および坑道掘削と湧水量の経時変化
奥行き方向1m当たり

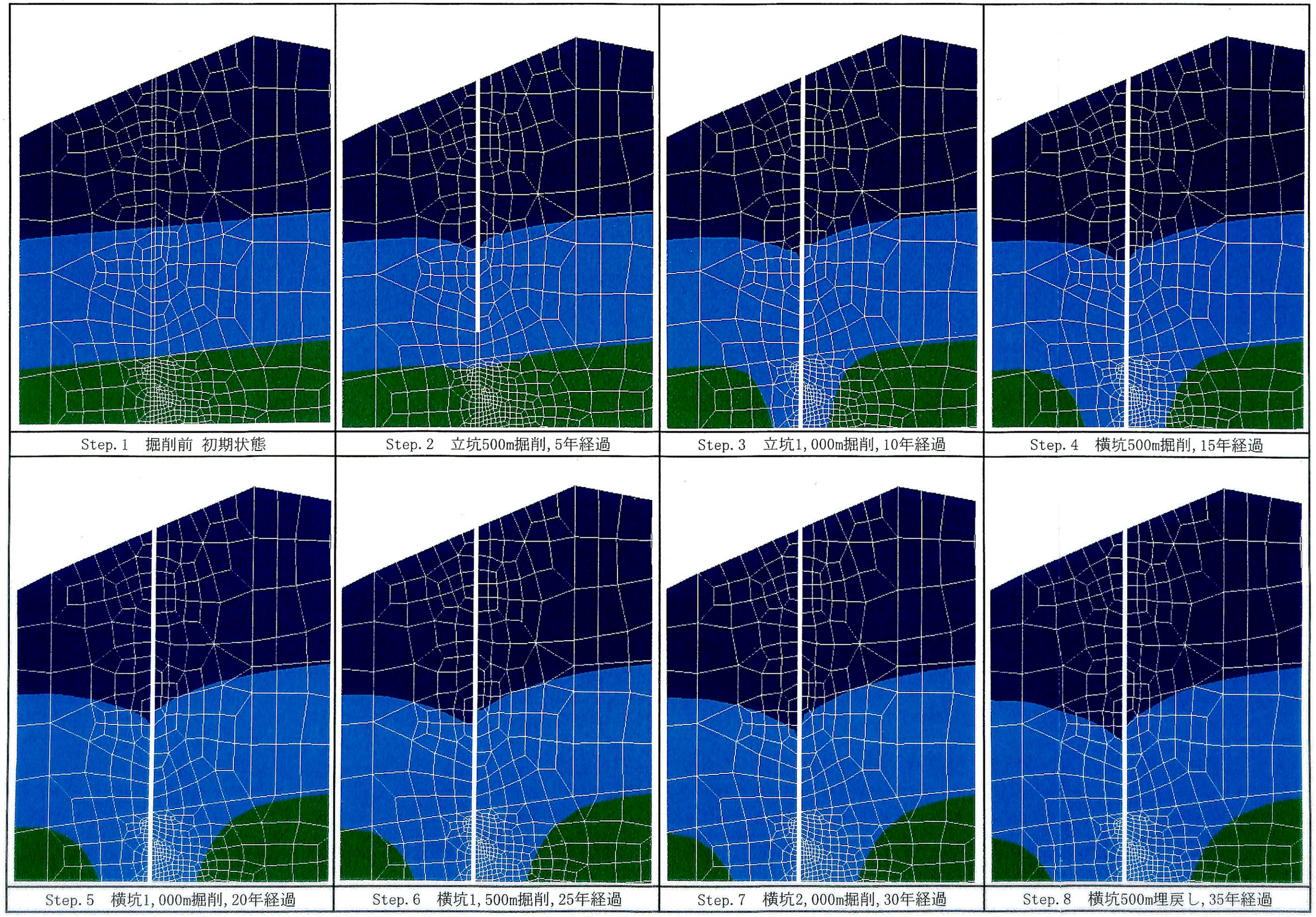
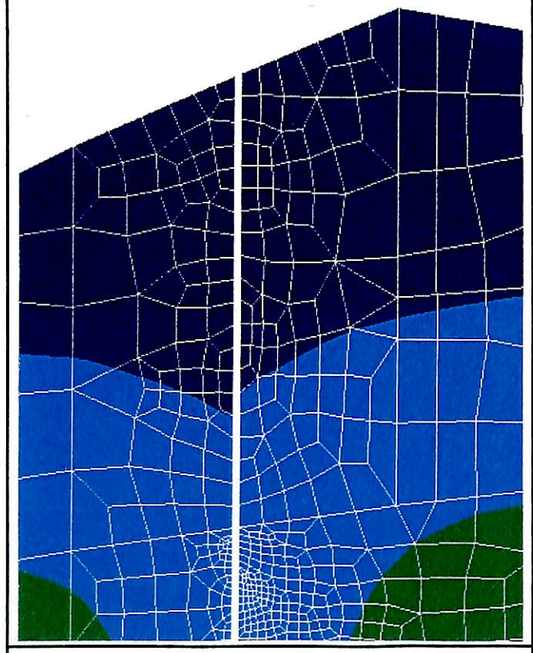
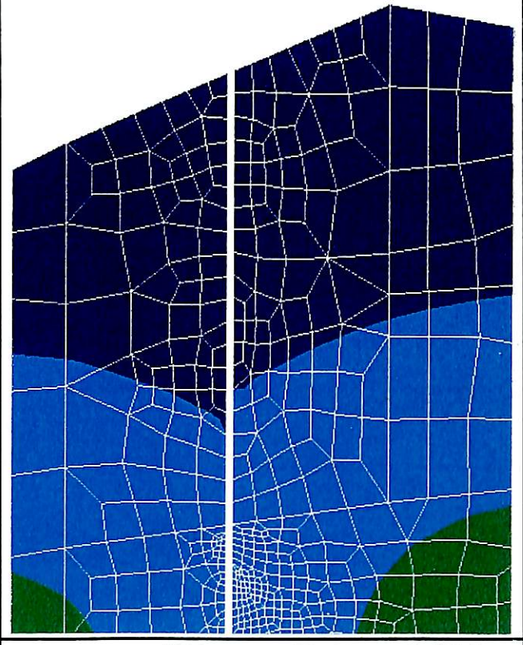


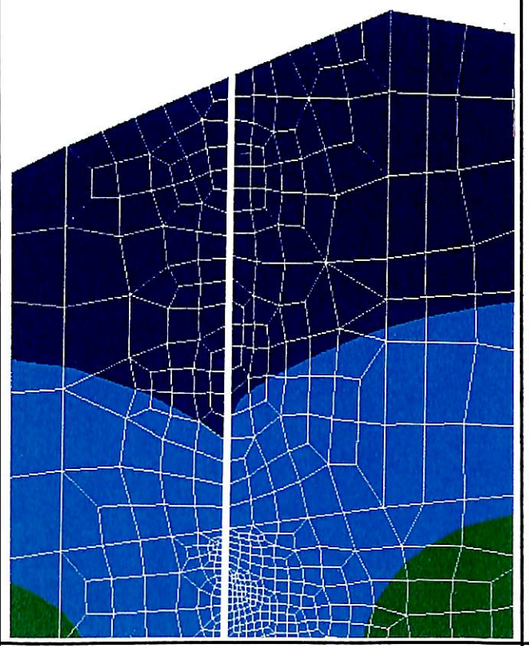
図 -4. 5. 10　立坑周辺部の地下水位の変化 (その1)



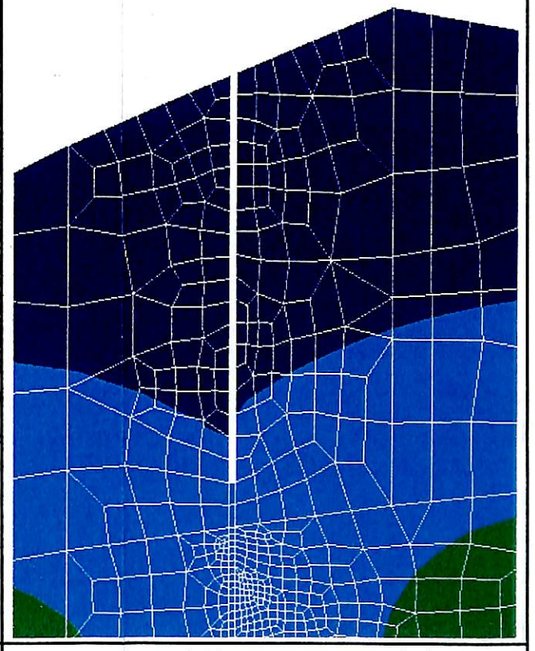
Step. 9　横坑1,000m埋戻し,40年経過



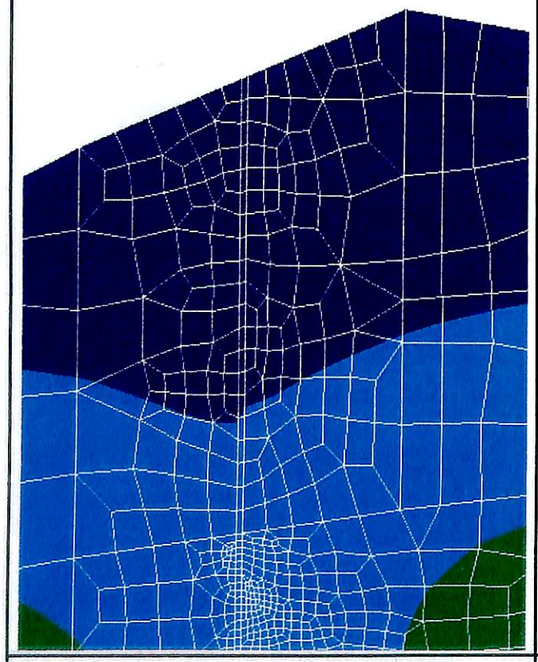
Step. 10　横坑1,500m埋戻し,45年経過



Step. 11　横坑2,000m埋戻し,50年経過



Step. 12　立坑500m埋戻し,55年経過



Step. 13　埋め戻し完了,60年経過

図 -4. 5. 10　立坑周辺部の地下水位の変化(その2)

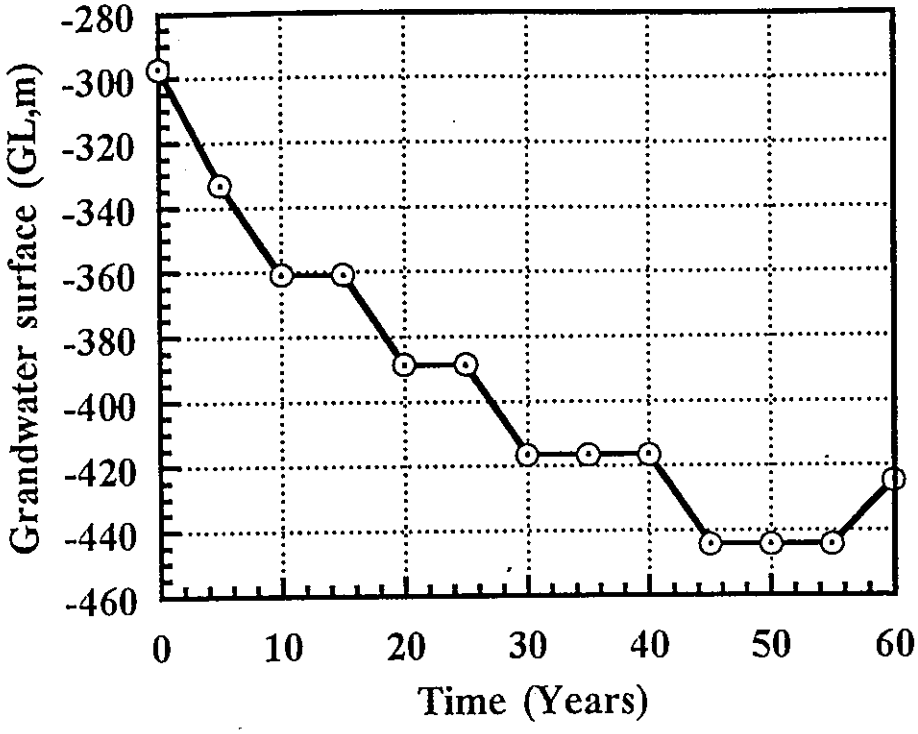


図 -4. 5. 11　処分場掘削に伴う地下水位の経時変化 (Step. 1～13)

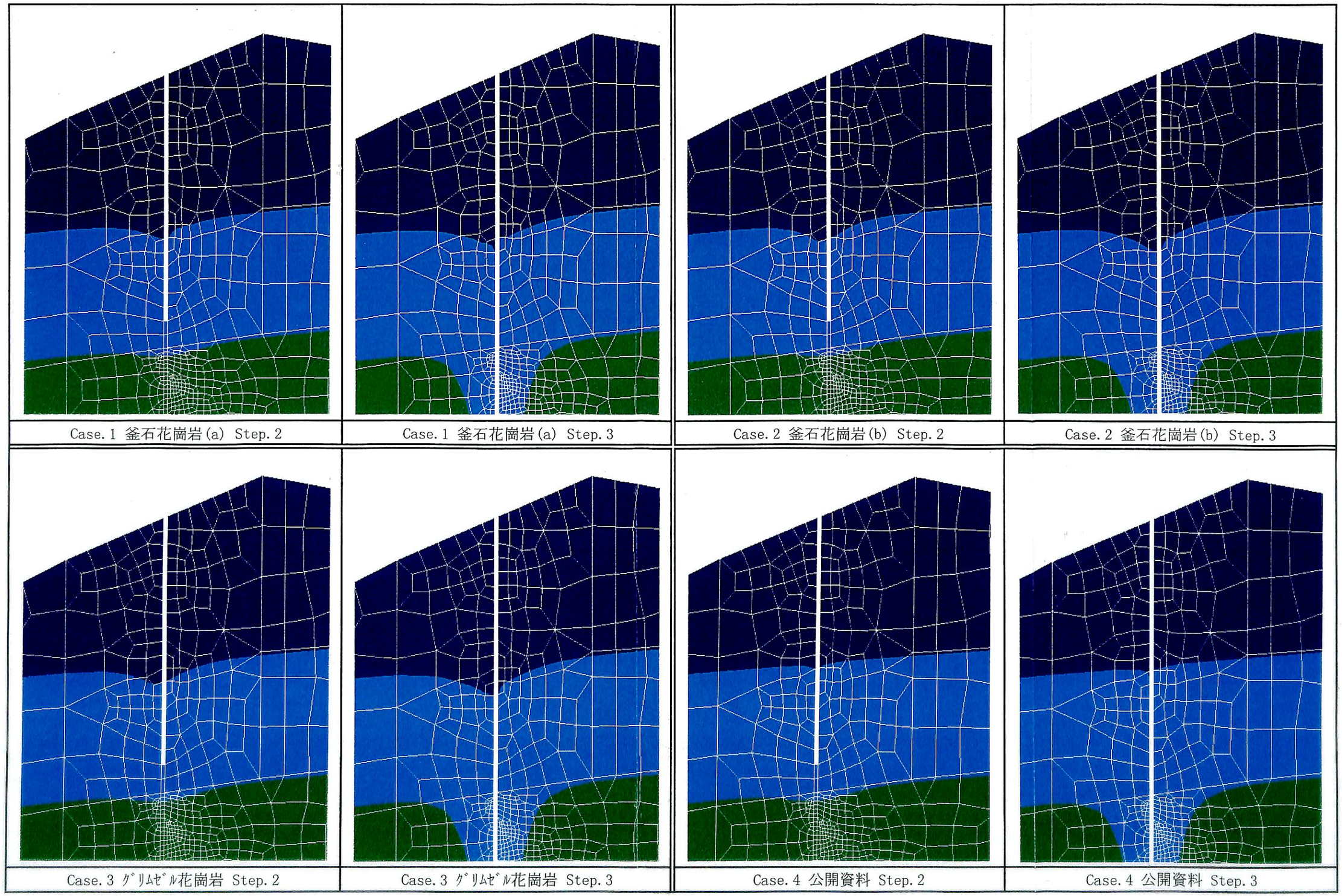
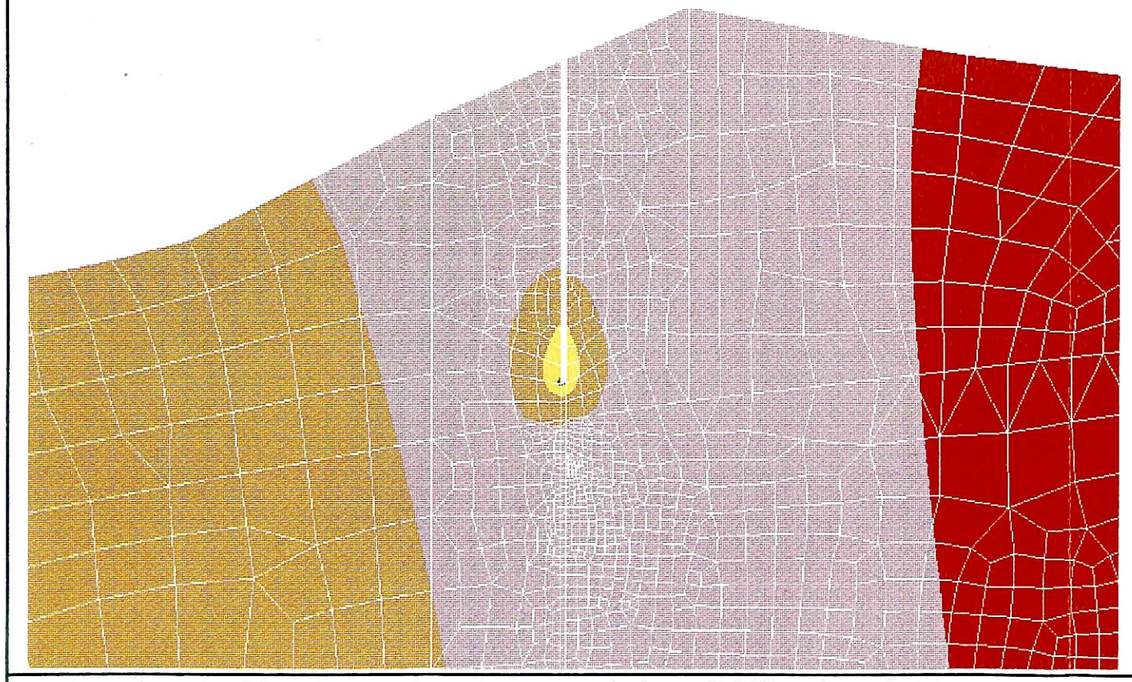
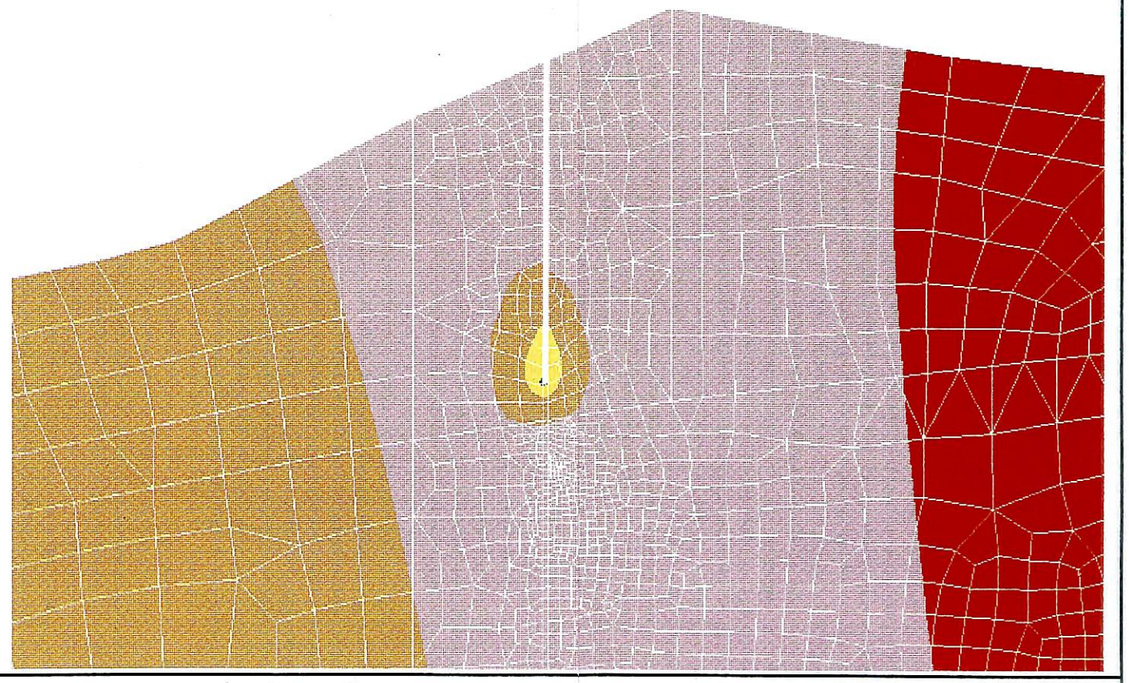


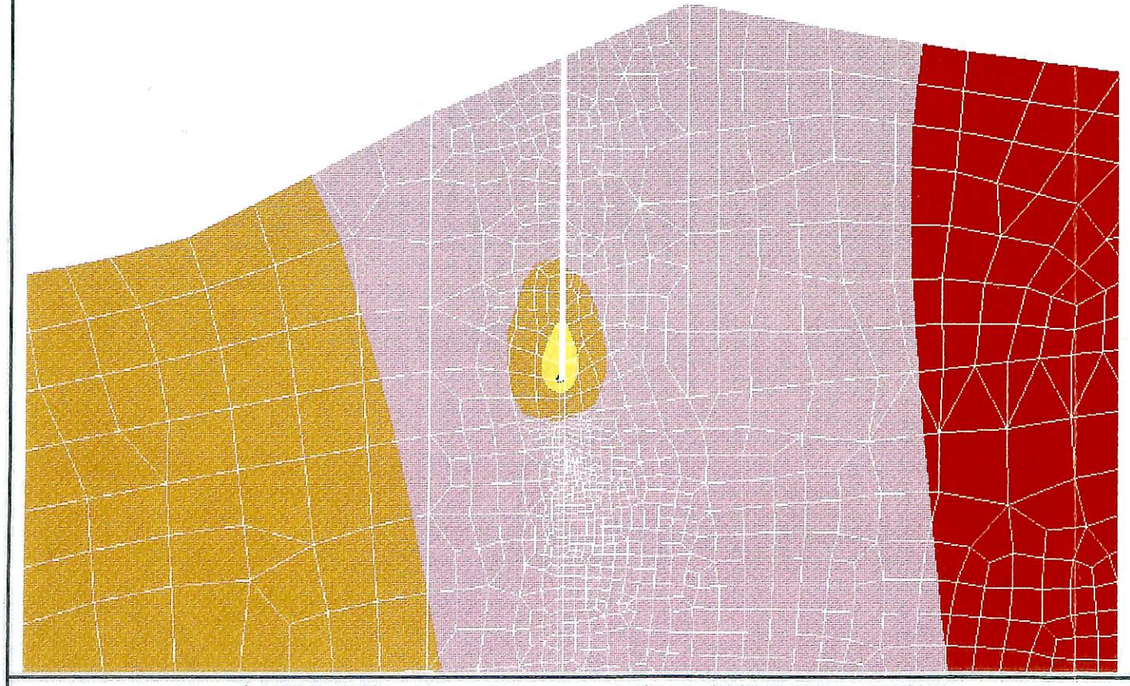
図 -4. 5. 12　Case. 1～4 (Step. 2, 3) の立坑周辺部の地下水位の変化



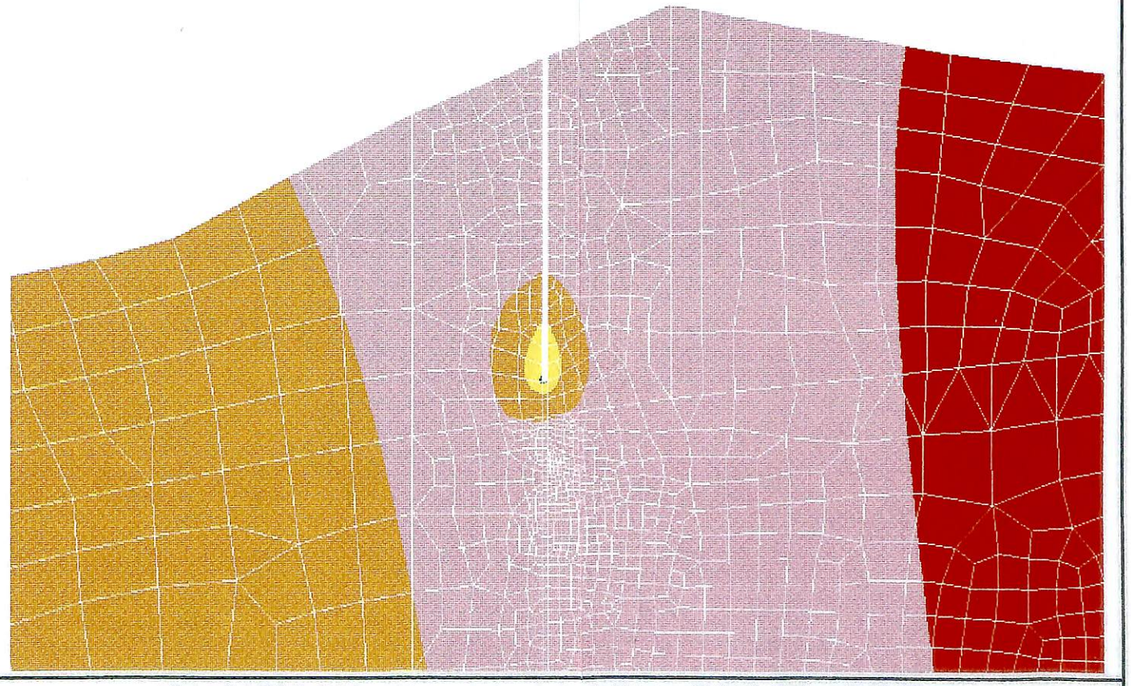
ピエゾ水頭分布図　(Case. 1;Step. 2 立坑500m掘削終了時, 5年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Case. 2;Step. 2 立坑500m掘削終了時, 5年経過)

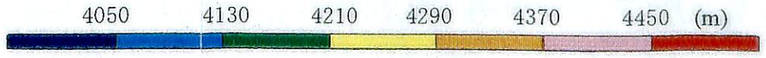


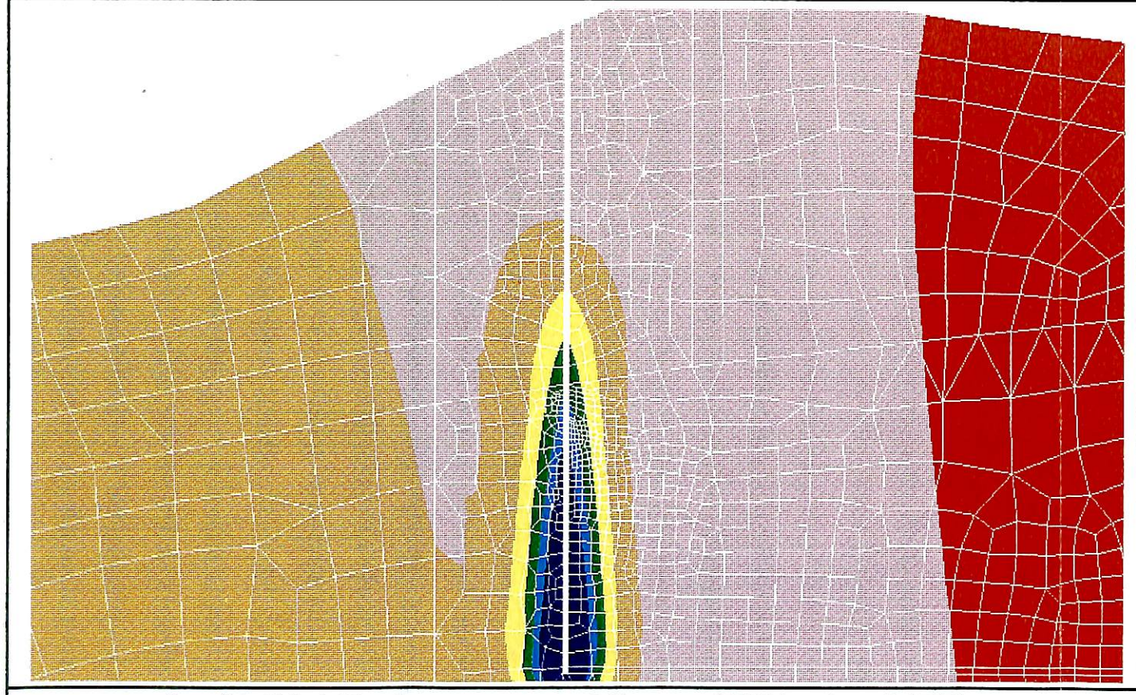
ピエゾ水頭分布図　(Case. 3;Step. 2 立坑500m掘削終了時, 5年経過)



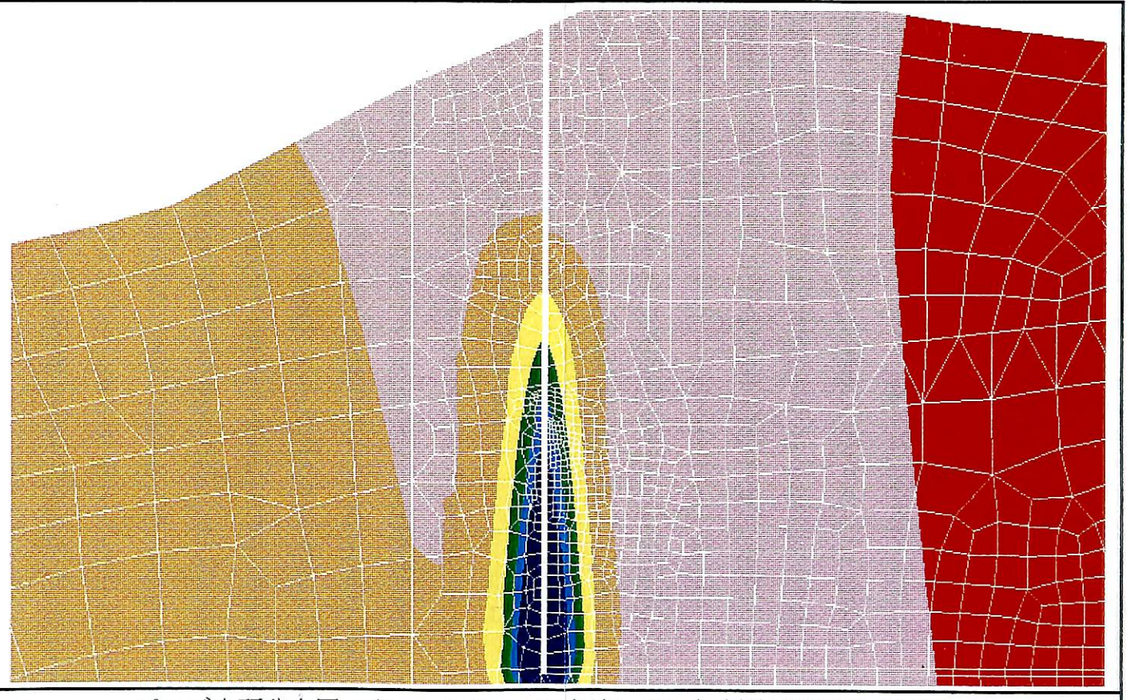
ピエゾ水頭分布図　(Case. 4;Step. 2 立坑500m掘削終了時, 5年経過)

図 -4. 5. 13　Case. 1～4(Step. 2, 3) の立坑内部のピエゾ水頭分布 (その1)

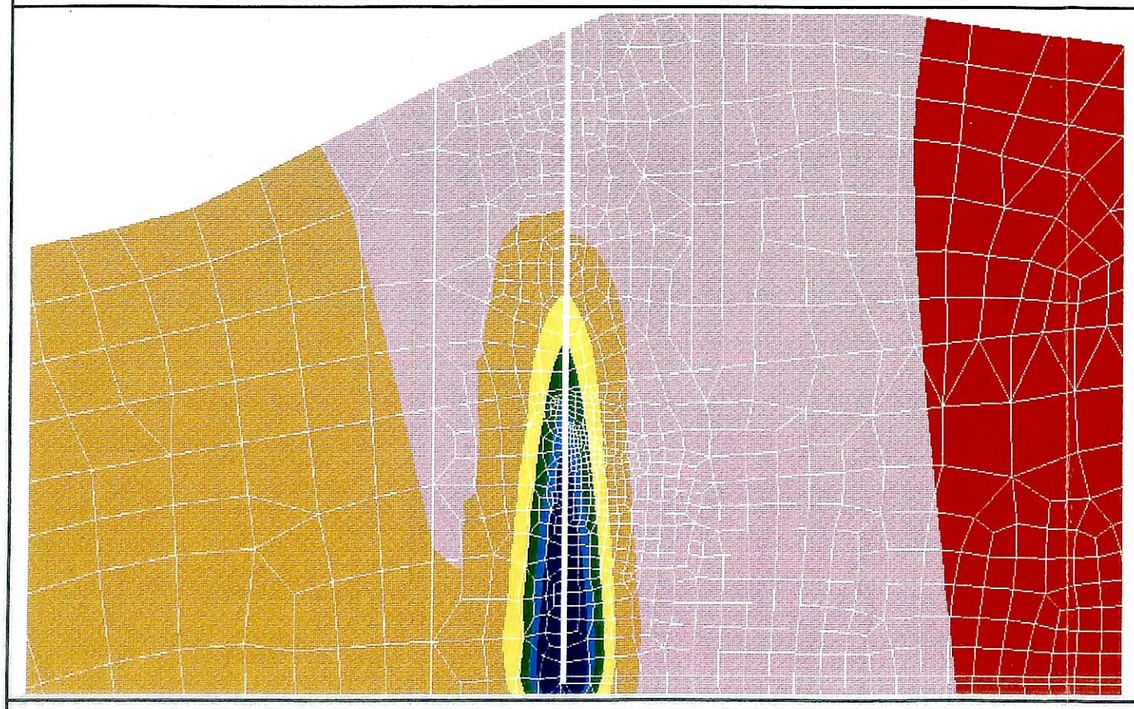




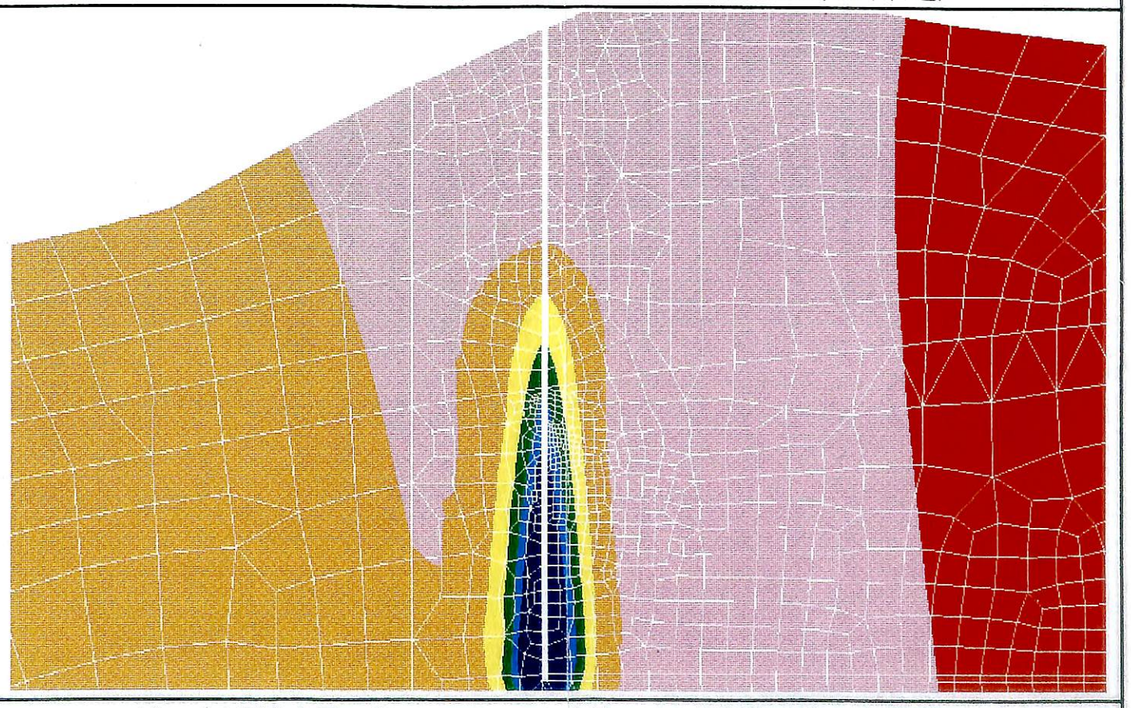
ピエゾ水頭分布図　(Case. 1;Step. 3 立坑1,000m掘削終了時,10年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Case. 2;Step. 3 立坑1,000m掘削終了時,10年経過)

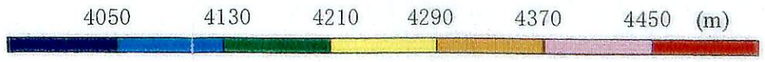


ピエゾ水頭分布図　(Case. 3;Step. 3 立坑1,000m掘削終了時,10年経過)



ピエゾ水頭分布図　(Case. 4;Step. 3 立坑1,000m掘削終了時,10年経過)

図 -4. 5. 13　Case. 1～4(Step. 2, 3) の立坑内部のピエゾ水頭分布 (その2)



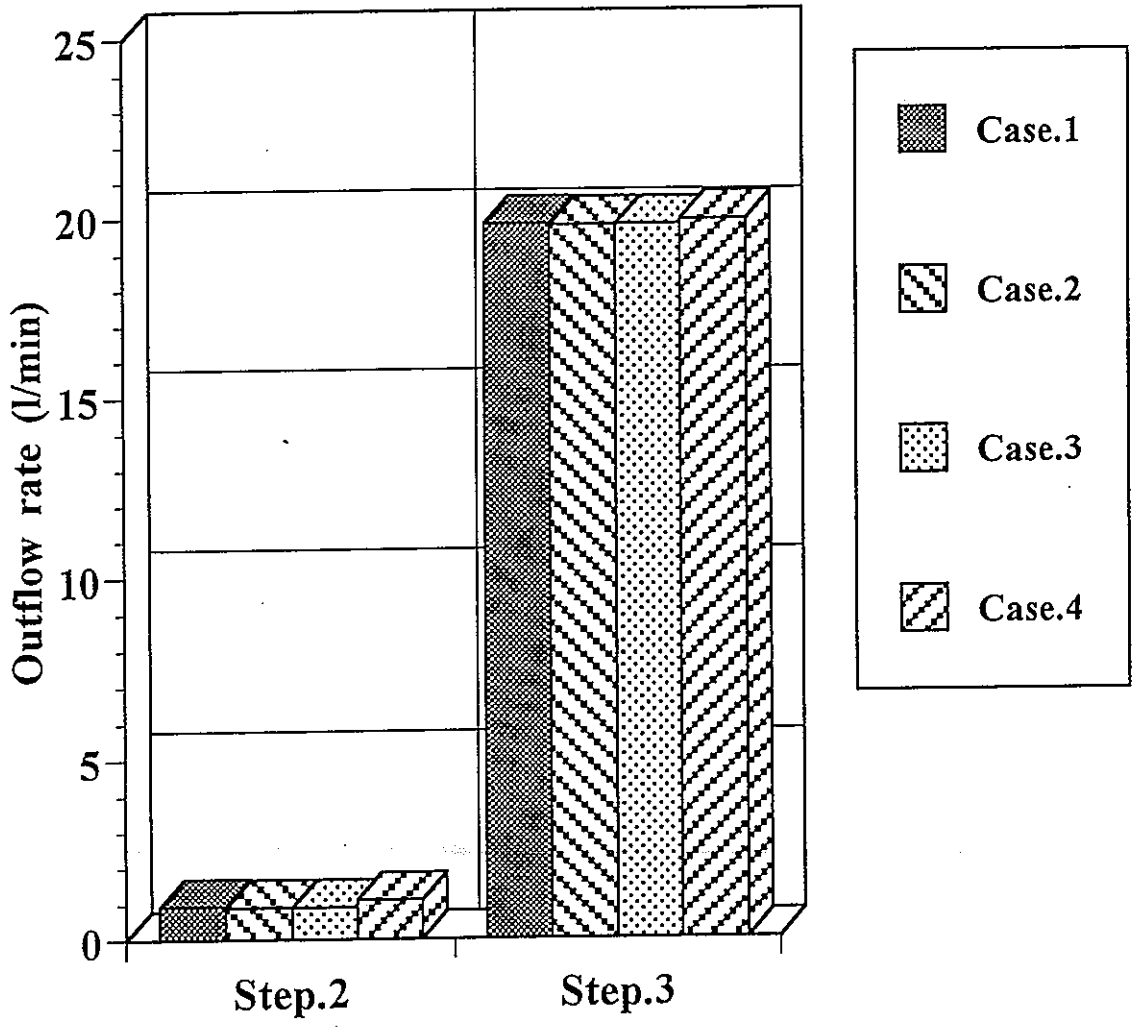


図 -4. 5. 14　Case. 1～4(Step. 2, 3) の立坑内部への湧水量の変化
奥行き方向1m当たり

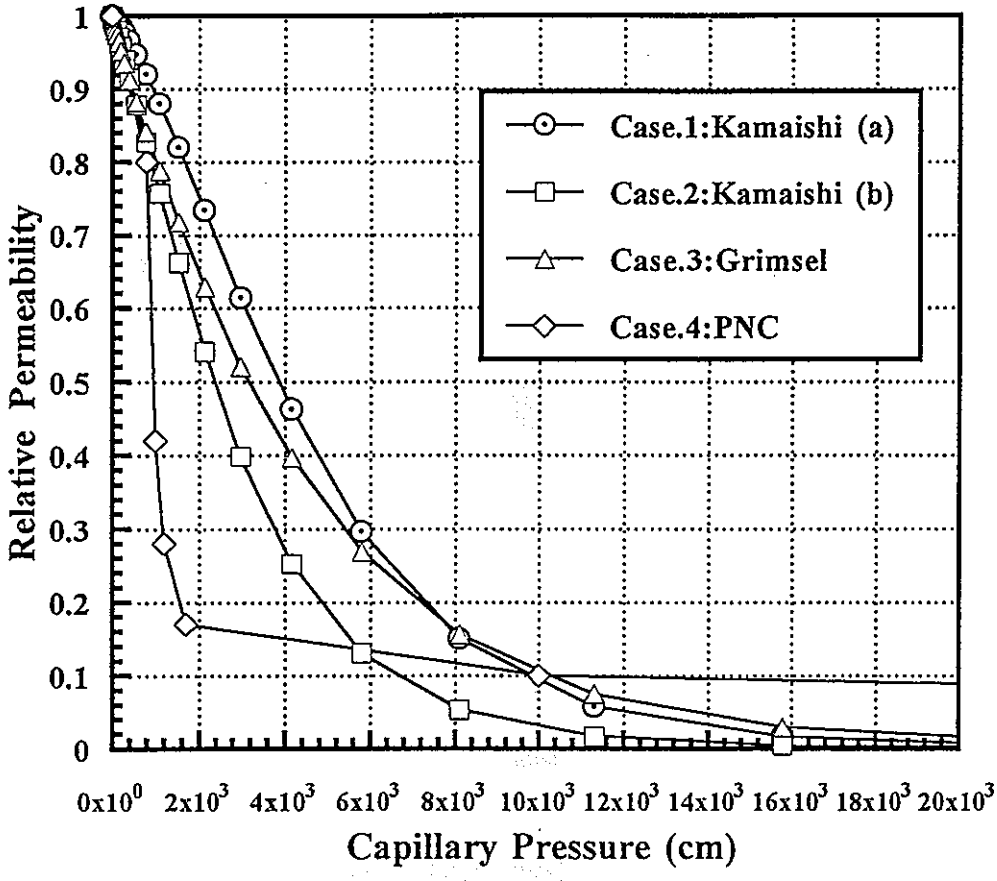


図-4. 5. 15　各解析ケースの不飽和特性に見られる
サクション圧ー相対透水係数比の関係

4.6 考察と今後の課題

本年度の2次元飽和ー不飽和浸透流解析の実施および解析に必要となる物性値、解析条件の検討から、3次元解析を対象とした以下の課題が明らかとなった。

(1) 境界条件、初期地下水面の評価および解析システムへの導入

解析領域側方の境界条件を地表面から静水圧条件とし、初期地下水面を境界条件のみを考慮した非定常解析の収束値としたことから、立坑掘削位置の初期地下水面は約 G. L-300 m と解析領域の地表形状を考慮しない非現実的な値となった。この対策としては、①原位置における地下水位測定結果を参考とした、疑似地下水面を解析モデル節点上に固定圧力水頭として設定した収束解析を行うこと、②地表面上に負圧を設定し、初期地下水面の設定を目的とした収束解析を行うことが考えられる。しかしながら、対策①については、現実的には対象領域内における数本のボーリング調査から得られた地下水位の分布から、疑似地下水面を決定することとなる。その為、点として得られたデータから、空間的な分布を推測するシステムが必要となる。また、②については地表面にどの位の負圧を設定するかのデータがない。

(2) I-deas、 SIGNAS を利用した湧水量および地下水主要流路の定量的評価のシステム化

掘削を考慮した浸透流解析では、掘削空洞への湧水量の検討は不可欠と考えられる。現状のメッシュジェネレータ (I-deas) を用いたプレ・ポスト処理システムでは、湧水量の算出が自動化されていない。本年度2次元解析では、解析結果となるテキストデータから簡易計算コードと手計算により湧水量の算出を行ったが、3次元解析における1,000m の立坑および2,000m の処分坑道という広範囲かつ複数のメッシュでの結果から、そのような算出を行うことはシステマチックではない。

また、本2次元解析においても地下水の主要な流路の流速ベクトル図からの判断は難しく、ファーフィールド領域を対象とした3次元解析では、その目的からもトラベルタイム・流出地点の定量的な評価が必要となる。設計システム (I-deas) への追加は有効と考えられる。

(3) 透水係数および境界条件の設定について

本年度解析では、ボーリングデータから GEORAMA を用いた地層区分を基礎とした透水係数場を解析モデルとしている。ここでは、5層の地層区分を5つの材料としたメッシュ分割を実施し、各材料番号に岩種・岩相を考慮した透水係数、不飽和特性、比貯留係数の

設定が可能となる。しかしながら、原位置の透水試験から得た3次元的な空間データを直接モデルの透水係数として利用するためには、推定手法を用いた同定が必要となる。このような機能は設計システムにはなく、段階的なサイト特性調査からのデータ利用を考慮した推定システムの導入が重要と考えられる。このシステムは、境界条件をボーリング試験による測定間隙水圧を基にして設定する場合や、初期地下水面の設定などにも利用できる有効なツールとなる。

参考文献

1) Yuzo Ohnishi (1995) : Modelling of Water Flow and Chemical Transport in Rock Masses, International Congress on Rock Mechanics, TOKYO/JAPAN

2) 国際原子力機関放射性廃棄物管理用語集（日本語版）, IAEA-TEC DOC-447 (RWMC-89-P-12)

3) 電力中央研究所報告 (1994) : スウェーデン・ハードロック地下研究施設における高レベル廃棄物処分のための国際共同研究 (その1), 調査報告 U94005

4) 奥野哲夫 : 透水係数の空間分布推定法と地下水流動の予測に関する研究, ORI 研究報告93-06

5) 竹下祐二, 西垣誠, 河野伊一郎 (1990) : 不圧帯水層での揚水試験結果による不飽和浸透特性の算定方法, 土質工学会論文報告集, Vol. 30, No. 2, pp199-210

6) GIMMI TH., WYDLER. H., BAER. T., ABPLANALP. H., FLUHLER. H. (1992) : Near field experiment at the Grimsel test site, NAGRA INTERNER BERICHT 92-76, pp. 1-22

7) FENSTERLE. S., VOMVORIS. S. (1991) : Inflow to Stripa validation drift under two phase condition, NAGRA INTERNER BERICHT 91-40, pp1-31

8) 堤和大, 渡辺邦夫, 菅伊三男, 山脇信二 (1994) : 岩石の不飽和特性の逆推定法, 応用地質35巻2号, pp23-30

9) 西垣誠, 竹下祐二 (1993) : 室内及び原位置試験における不飽和浸透特性試験及び調査法に関する研究

10) 動力炉・核燃料開発事業団 (1995) : 我が国を対象とした地下水流動解析, TR/GE 95-02

11) 千々松正和, 小林昇, 西山弘之, 大西有三 (1994) : スウェーデン HRL 長期揚水試験とトレーサー試験の評価, 第9回岩の力学国内ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集, pp163-168

12) 今井久, 柳沢孝一, 大沢英昭, 渡辺邦夫 : 立坑掘削の地下水流動影響予測解析 : 第23回岩盤力学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集, pp. 317-321

5. 熱解析

5.1 目的

平成6年度の「地層処分システムの設計手法の開発」では、ニアフィールドを対象とした3次元有限要素法を用いた熱解析を実施し、緩衝材の許容温度100℃を基準とした埋設密度の検討を実施した。ここでは、坑道径を小さくした場合の埋設密度の検討も行い、坑道径を3.0mから2.4mにする事により、埋設密度は105m^{2}から100m^{2}へと概略5m^{2}の減少となる結果を得た。この差異は、埋設密度つまり処分場規模の設定において有意な差とは言い難い結果である。しかしながら、昨年度の検討時において、ほぼ同一な解析条件下の動燃殿公開資料と昨年度実施の解析結果（動燃殿公開資料使用コード：ADINA-T, 昨年度検討使用コード：SIGNAS）が、やや異なる経時変化を示す結果（緩衝材内側の最高温度で約3度、ガラス固化体中心で約5度）となった。その為、この原因について、① SIGNASにおける発熱条件の設定(SIGNASは節点にマニュアル配分、ADINA-Tは自動配分)、②解析領域上下面の境界条件の設定(SIGNASは温度規定境界、ADINA-Tは熱伝達境界)という解析条件の違いによる解析結果への影響の検討を実施した。しかしながら、これら2つの検討からは、動燃殿公開資料との差異の要因を確定することはできなかった。そして、昨年度の種々の検討の結果から、この差異の要因の1つとして、解析コードの違いによる影響が考えられた。

以上のことから、本年度は解析コードの検証を目的とし、昨年度と同一の解析条件（物性値、発熱条件、解析メッシュ）を用いたADINA-Tによる検討を実施する。解析の目的は以下の2点である。

① 昨年度解析コードSIGNASを用いた同一ケースの結果と比較し、SIGNASとADINA-Tを用いた両コードによる温度解析結果の差異およびその影響を検討する。

② 上記検討により差異が生じた場合、その原因を解明することと同時に、坑道径の変化による埋設密度への影響を再検討する。

5.2 解析条件および解析ケース

本年度実施した熱解析ケースを表-5.2.1に示す。ここで解析ケース(Case. AD-1)は動燃殿公開資料（地層処分場の熱的安定性の検討）の1解析ケースと一致する条件（埋設密度・坑道径）である。また、全ての解析ケース(Case. AD-1～AD-3)は、昨年度のSIGNASを

用いた解析ケースと重複しており、埋設密度および坑道径を変化させた場合の昨年度解析結果との比較が可能となっている。表-5.2.2に動燃殿公開資料・今年度の解析モデル、そして境界条件を、表-5.2.3に解析に用いた熱物性値を示す。ここでガラス固化体の発熱条件についても、動燃殿公開資料・昨年度解析と同様に図-5.2.1に示す30年貯蔵後からの特性を用いている。また、解析メッシュについても昨年度と同様のものを使用した。

解析コードSIGANSとADINA-Tの最も大きく異なる点は、発熱条件の取り扱いである。具体的には、入力方法の違いであり、SIGNASでは各節点の指定による発熱量の入力、ADINA-Tでは要素指定による単位体積当たりの発熱量の入力という手法をとる。つまり、ADINA-Tでは節点への発熱量の分割を自動的にコードが行うこととなる。昨年度の熱解析の検討では、ADINA-Tでの発熱量の自動分割を手法を想定する為、事前解析として埋設密度100m^2、坑道径3.0mのモデルでSIGNASを用いた下記に示す発熱条件(合計4ケース)を実施している。

Case.1：1/4ガラス固化体モデルを考慮

Case.2：発熱体構成各要素に均等に分割し合成

Case.3：全ての節点に均等に分割

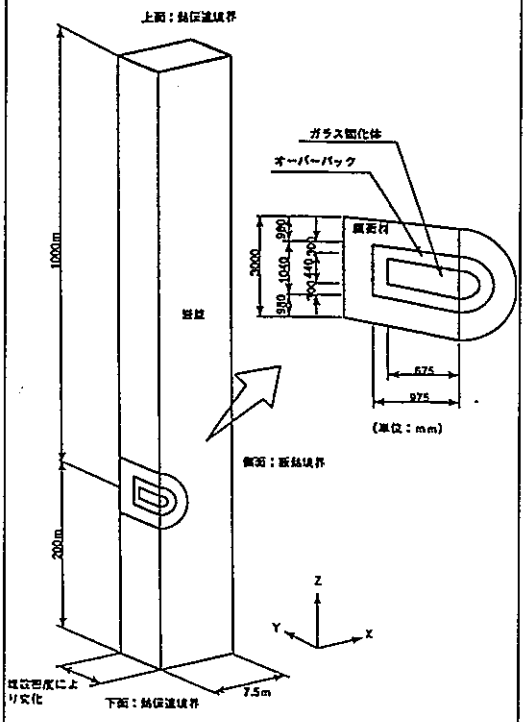
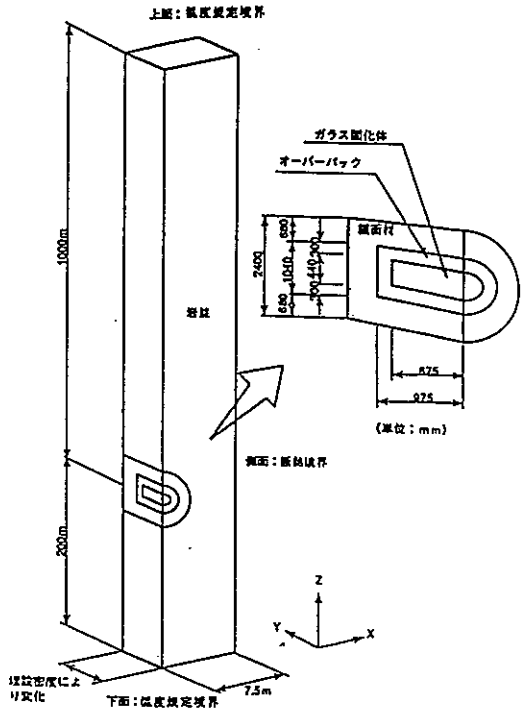
Case.4：各節点が受け持つ固化体表面積を重みとして分割

Case.1～4および動燃殿公開資料のガラス固化体中心部およびその周辺部分の温度の経時変化を図-5.2.2に示す。昨年度の検討では、上記事前解析の結果より、動燃殿結果と最も温度変化傾向の類似したCase.2の発熱条件を用いて、坑道径を変化させた埋設密度の検討を実施している。ここで特に注目すべき点は、緩衝材内側(B地点)の温度の経時変化である。昨年度解析ケース(Case.1～4)全てにおいてB地点の最高温度は約10年後に100℃を越える変化を示し、動燃殿公開資料と異なる結果となっている。

表 -5. 2. 1　本年度実施の解析ケースと検証の資料となる過去の解析ケース

	解析ケース	岩盤分類	廃棄体定置方式	廃棄体の埋設密度 (m^2)	坑道径 (m)	緩衝材の物性 / ギャップの有無
本年度検討	AD-1 AD-2 AD-3	結晶質岩系 〃 〃	坑道横置 〃 〃	$100m^2$ $100m^2$ $40m^2$	3. 0 2. 4 2. 4	乾燥状態 / なし 〃 〃
昨年度事前解析	Case. 1～4	結晶質岩系	坑道横置	$100m^2$	3. 0	乾燥状態 / なし
昨年度検討解析	Case. 7 Case. 8	結晶質岩系 〃	坑道横置 〃	$100m^2$ $40m^2$	2. 4 2. 4	乾燥状態 / なし 〃
動燃殿公開資料	Case. 5 (資料ｹｰｽ No)	結晶質岩系	坑道横置	$100m^2$	3. 0	乾燥状態 / なし

表 -5.2.2　解析モデルと境界条件

	公開資料および今年度解析	今年度解析
離間距離(m)	15	15
解析モデル	 坑道径　3.0m 緩衝材厚　0.98m	 坑道径　2.4m 緩衝材厚　0.68m

境界条件	地表面 （上面）	熱伝達境界 熱伝達率 17W/m²・K 地表面温度 15℃
	側面	断熱境界
	底面	熱伝達境界 熱伝達率 3.6x10⁻³ W/m²・K 下面温度 51 ℃
初期温度	地表面温度(15℃)から 温度勾配 3℃/100mで設定	

表 -5.2.3　熱物性値の一覧表

		公開資料	昨年度・今年度解析
ガラス固化体	熱伝導率(W/m•K)	1.2	1.2
	比熱　(kJ/kg•K)	0.96	0.96
	単位体積重量(kg•m^{-3})	2,800	2,800
オーバーパック	熱伝導率(W/m•K)	53.0	53.0
	比熱　(kJ/kg•K)	0.46	0.46
	単位体積重量(kg•m^{-3})	7,800	7,800
緩衝材	熱伝導率(W/m•K)	乾燥状態　0.9 飽和状態　1.7	乾燥状態　0.9
	比熱　(kJ/kg•K)	乾燥状態　0.6 飽和状態　1.0	乾燥状態　0.6
	単位体積重量(kg•m^{-3})	乾燥状態　1,900 飽和状態　2,100	乾燥状態　1,900
結晶質岩盤	熱伝導率(W/m•K)	2.9	2.9
	比熱　(kJ/kg•K)	0.84	0.84
	単位体積重量(kg•m^{-3})	2,700	2,700

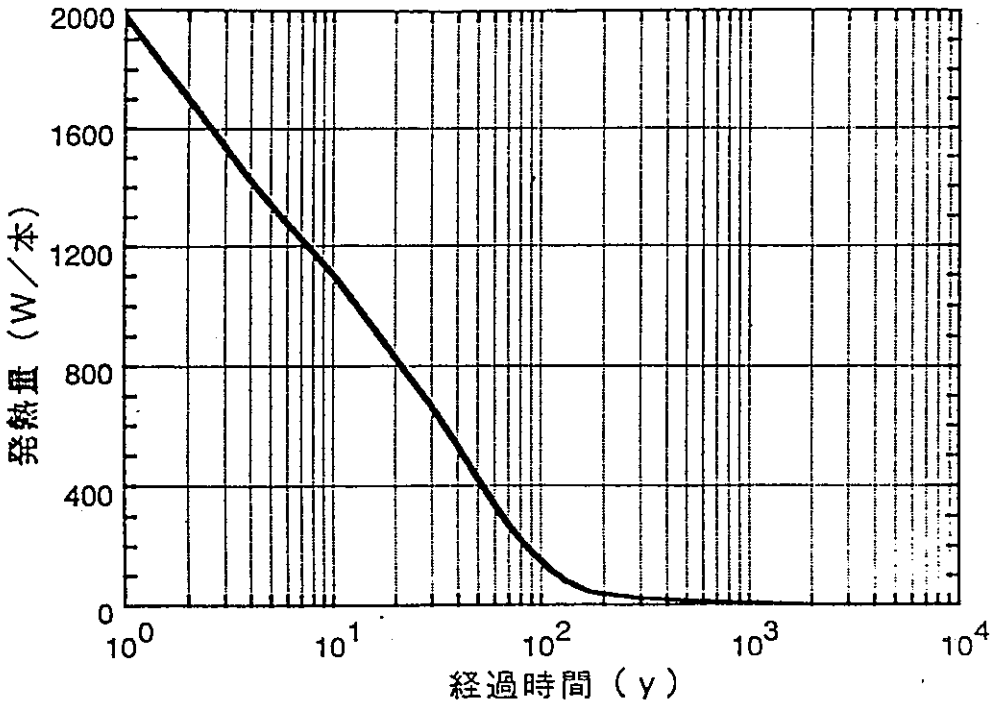


図 -5. 2. 1 ガラス固化体の発熱量の経時変化

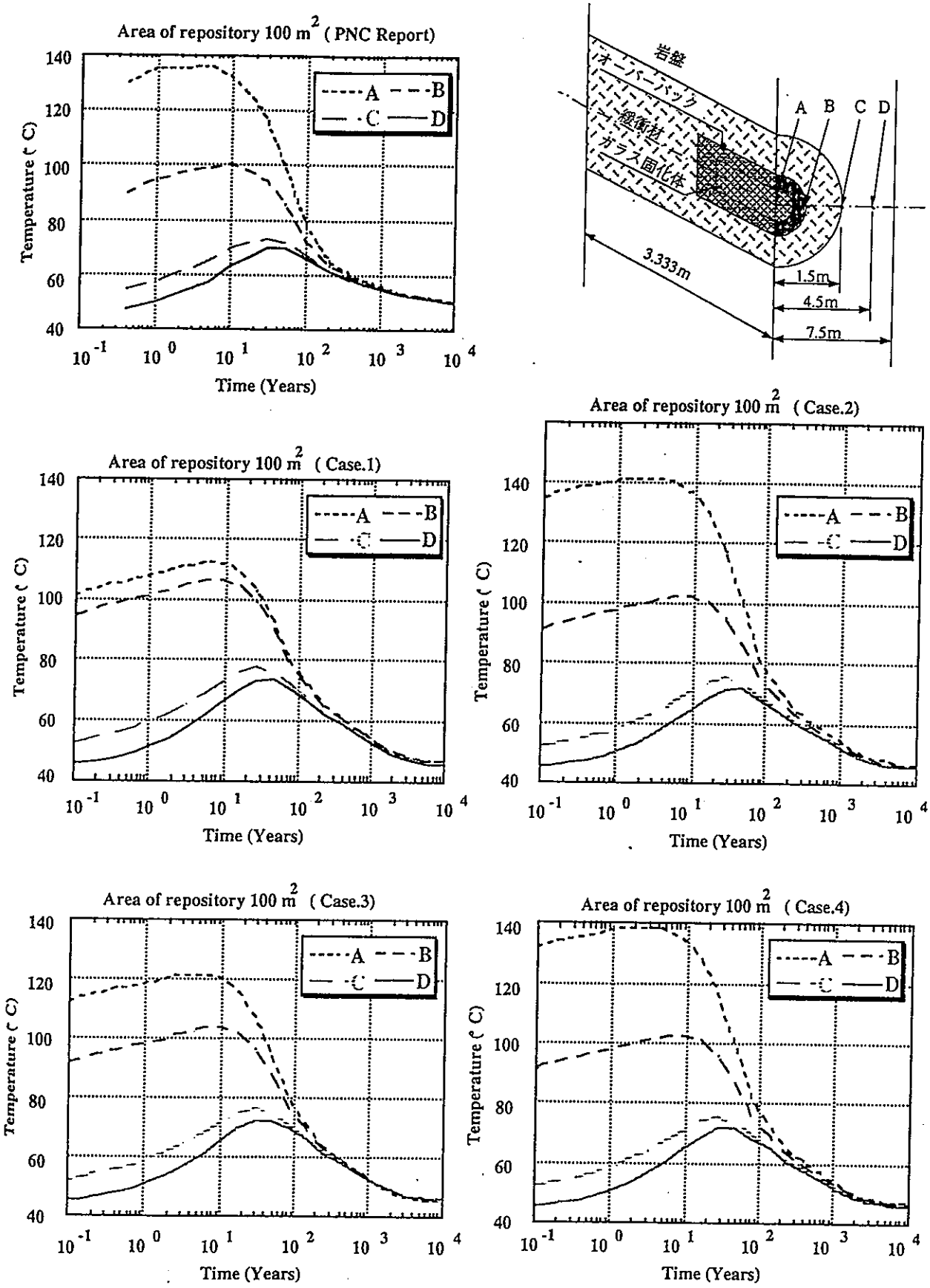


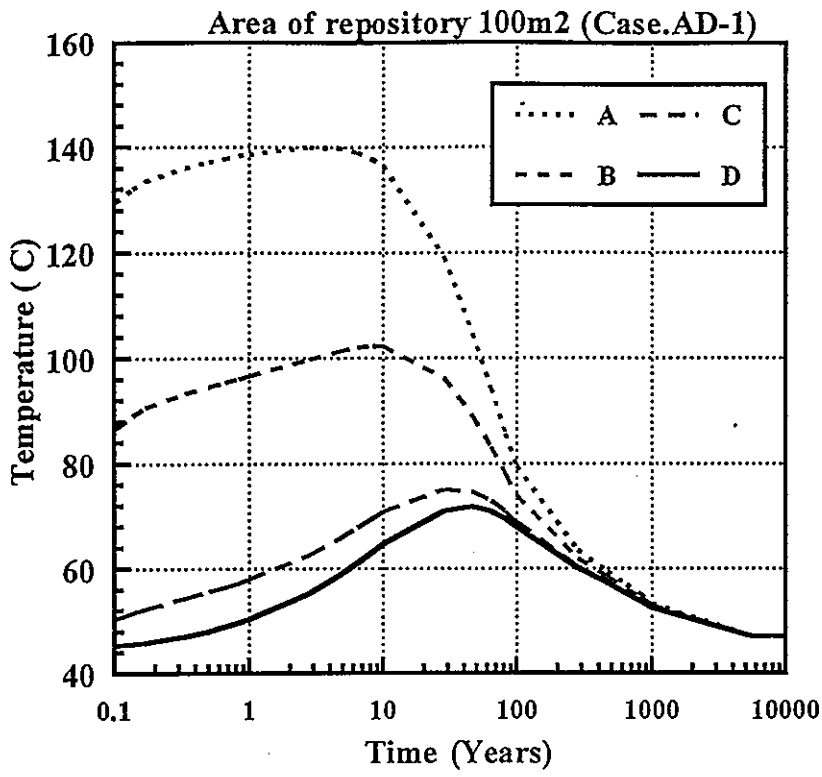
図 -5. 2. 2 事前解析 (Case. 1～4) と動燃殿公開資料解析結果

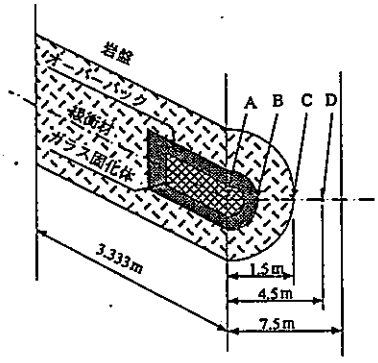
5.3 解析結果

図 -5. 3. 1に本年度解析 Case. AD-1および昨年度解析 Case. 2のガラス固化体中心部およびその周辺部分の温度の経時変化を示す。図より、両者の結果がほぼ等しいことが分かる。つまり、昨年度の検討結果と同様に動燃殿公開資料の結果とは、緩衝材内側地点 (B 点) およびガラス固化体中心部 (A 点) において若干の差異が認められることとなる。

図 -5. 3. 2および図 -5. 3. 3に本年度解析 Case. AD-2および Case. AD-3と昨年度の同一条件の解析 (Case. 7、 Case. 8) の結果を示す。また、 Case. AD-1～ AD-3およびそれらと対応する昨年の解析結果における代表節点での最高温度とその到達時間を表 -5. 3. 1に示す。図および表より、本年度 ADINA-T による解析結果は、昨年度同一条件の解析結果とほぼ一致する結果となることが分かる。ここで、到達時間において1年程度のずれが生じているのは、両コードによる時間ステップの設定方法（ SIGNAS ：非線形増加, ADINA-T ：線形増加）の違いによる結果出力時間のずれによる。また、埋設密度40m ^{2}の本年度 Case. AD-3と昨年度 Case. 8における B 地点の到達時間および最高温度のずれは、図 -5. 3. 3に認められるように、 Case. 8で示す到達時間 (16年後) が本年度 Case. AD-3における結果出力ステップ（ Step. 45 : 10年後, 137℃と Step. 48 : 28年後, 139℃）の中間点であり、これら両ステップの温度結果が Case. 8の経時変化結果と一致することから、最高温度到達地点がこれら両ステップ間に位置することによると推定される。

上述のように、両解析コードによる同一条件下の解析結果から、設定解析ステップに伴う若干のずれは認められるが、 Case. AD-3のその他3地点 (A, C, D)、 Case. AD-1, 2の経時変化が良く一致していることからも、昨年度の検討要因（ B 地点での経時変化傾向の差異）となるような両コードの違いによる解析結果への有意な影響はないと考えられる。





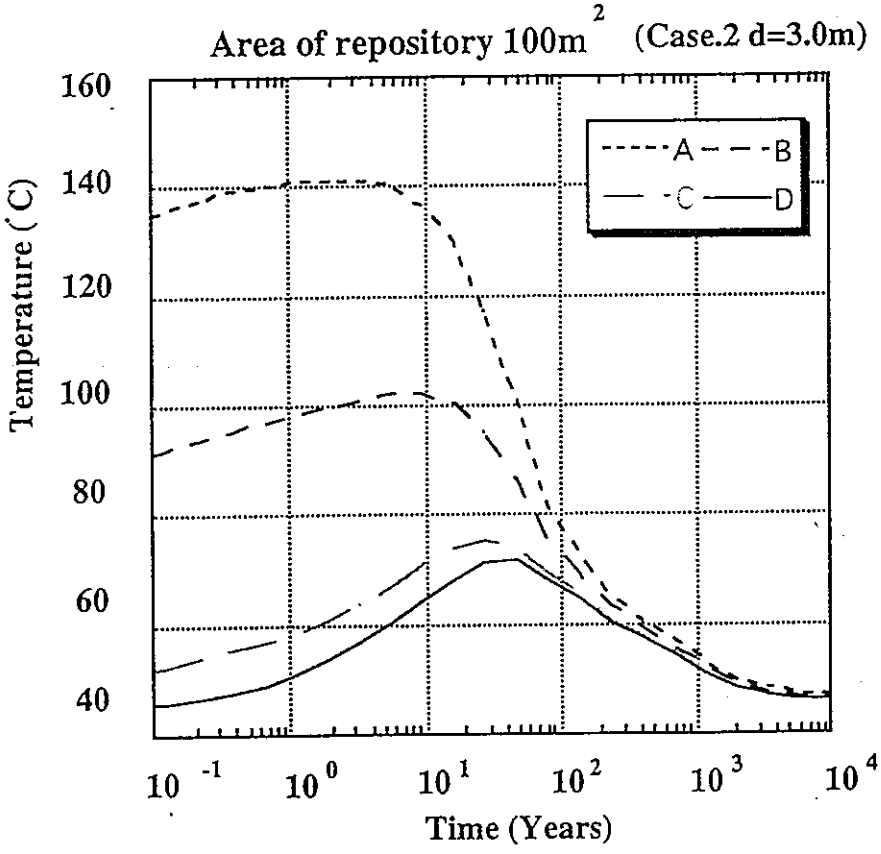
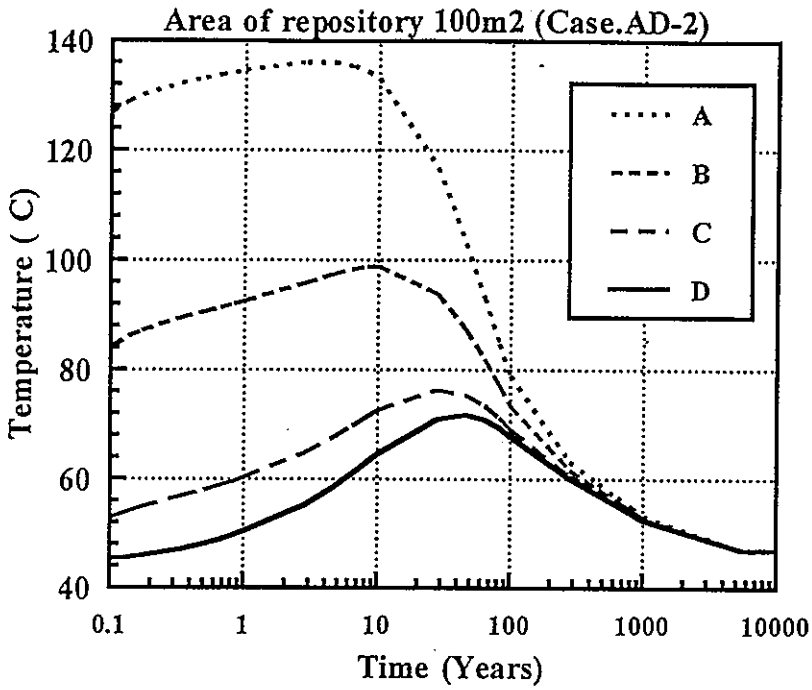
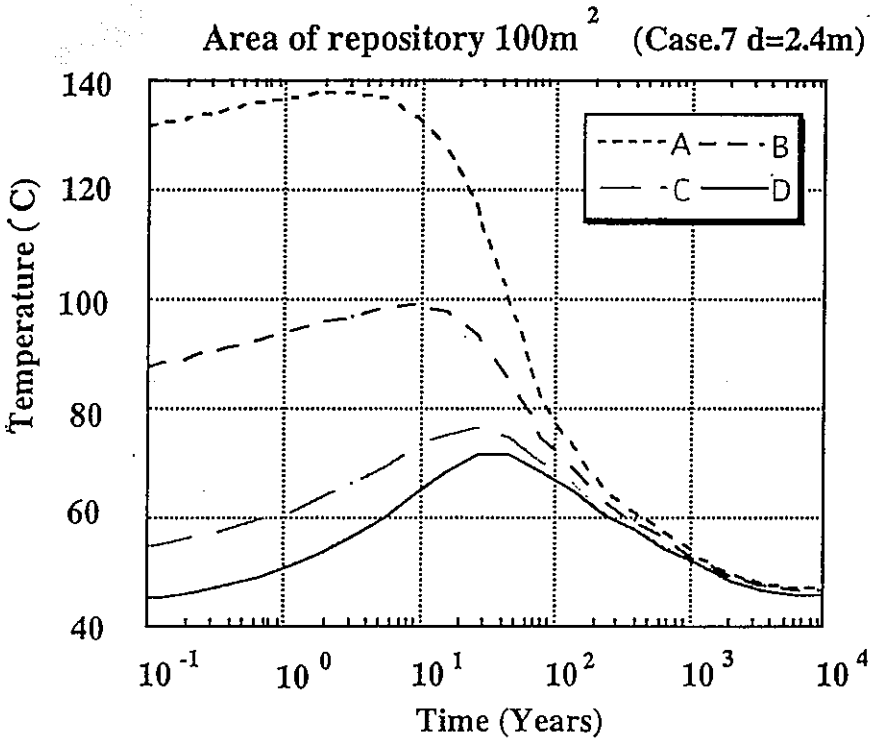


図 -5. 3. 1　本年度 Case. AD-1および昨年度 Case. 2の解析結果





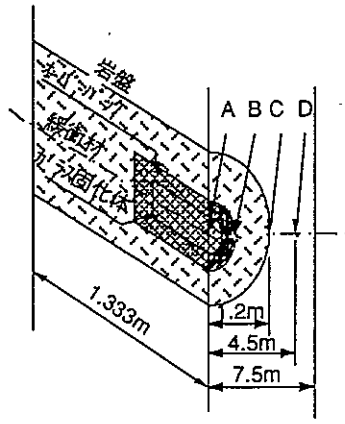
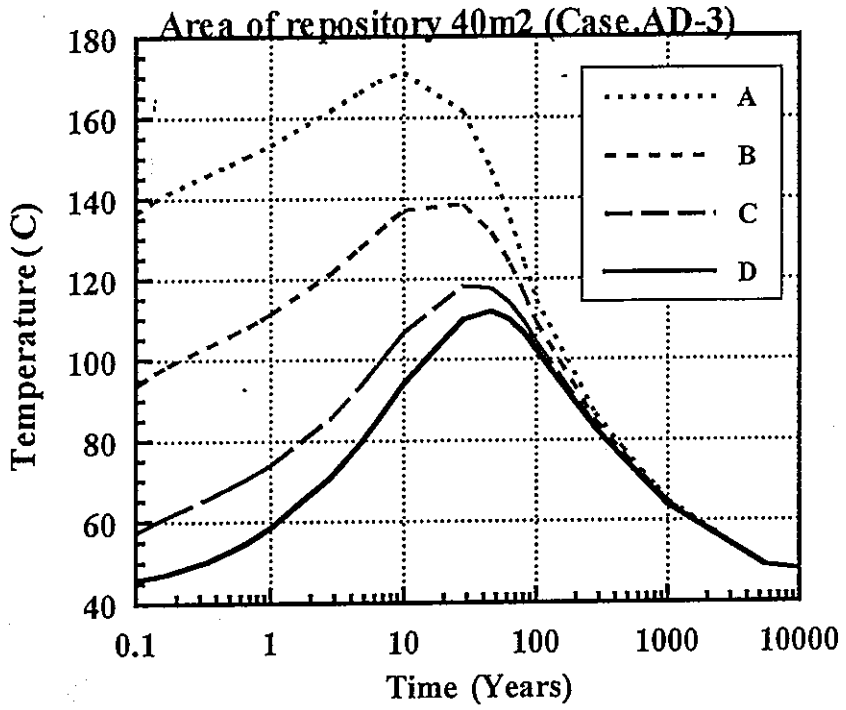
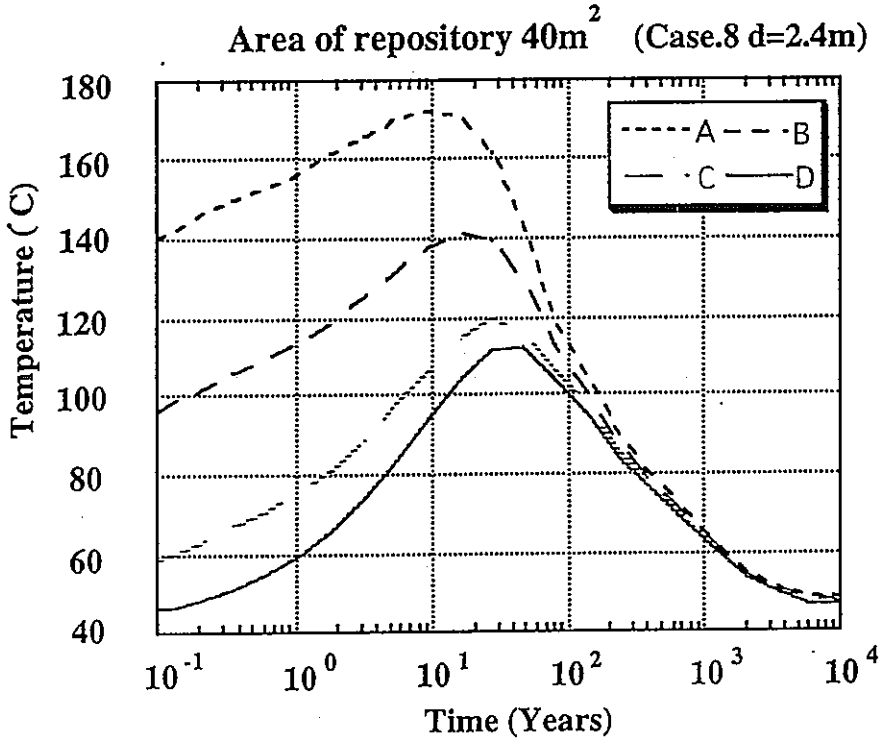


図 -5. 3. 2　本年度 Case. AD-2および昨年度 Case. 7の解析結果





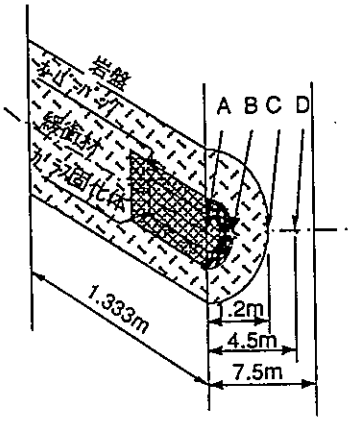


図 -5. 3. 3　本年度 Case. AD-3および昨年度 Case. 8の解析結果

表 -5. 3. 1　本年度解析結果と比較解析結果による代表節点最高温度と到達時間

埋設密度	100m²				40m²	
ケース No.	Case. AD-1 本年度	Case. 2 昨年度	Case. AD-2 本年度	Case. 7 昨年度	Case. AD-3 本年度	Case. 8 昨年度
坑道径	3. 0m	3. 0m	2. 4m	2. 4m	2. 4m	2. 4m
A 地点　最高温度 到達時間	140℃ 3年	141℃ 3年	136℃ 5年	138℃ 3年	171℃ 10年	172℃ 9年
B 地点　最高温度 到達時間	102℃ 10年	102℃ 9年	99℃ 10年	99℃ 9年	139℃ 28年	141℃ 16年
C 地点　最高温度 到達時間	75℃ 28年	75℃ 27年	76℃ 28年	76℃ 27年	118℃ 28年	119℃ 24年
D 地点　最高温度 到達時間	71℃ 46年	71℃ 47年	72℃ 46年	71℃ 47年	112℃ 48年	112℃ 47年

5.4 まとめと考察

本年度の熱解析コードADINA-Tを用いた解析結果と同一解析条件下で昨年度実施したコードSIGNASを用いた結果を比較検討することにより、両解析コードの検証を行った。その結果、同一条件下で行った両解析結果はほぼ一致する結果となり、本解析モデルについては、SIGNASでのガラス固化体の発熱に対する入力条件の若干の考慮を行えば、解析コードによる結果への有意な影響はないと考えられる。本年度検討からは、10000年におよぶ非定常解析での両コード同一経過時間後の同一節点の温度比較は、ADINA-Tコードのタイムステップ設定手法が限定されているため不可能であった。しかしながら、指定タイムステップでの温度結果出力からの10000年後までの経時変化結果を比較することにより、昨年度検討の課題となった緩衝材内側地点での温度変化の差異に示される有意な影響は検討可能と考える。有限要素法には、重み関数の取り扱いや積分法、また非定常解析における時間差分方法の違いによる数学的な近似解の差異、そして解析時のタイムステップ、メッシュ形状および時間近似に用いる差分の収束条件の設定による解析結果への微少な影響が生じる。このような影響を考慮するか否かは、解析の目的や用いる解析モデル（解析領域・物性値他）を勘案することが重要であると考える。

ADINA-Tを用いた処分坑道径の変化（Case. AD-1：3m, Case. AD-2：2.4m）の影響は、緩衝材内側の最高温度で3℃の違いとなり、昨年度検討結果と同様の結果となった。緩衝材許容温度100℃を基準とした埋設密度では、坑道径を3.0mから2.4mにすることにより、おおよそ5m^{2}の減少となる。

参考文献

・地層処分システムの設計手法の開発, 動力炉・核燃料開発事業団委託研究内容報告書 PNC, ZJ1201 95-002, 1995

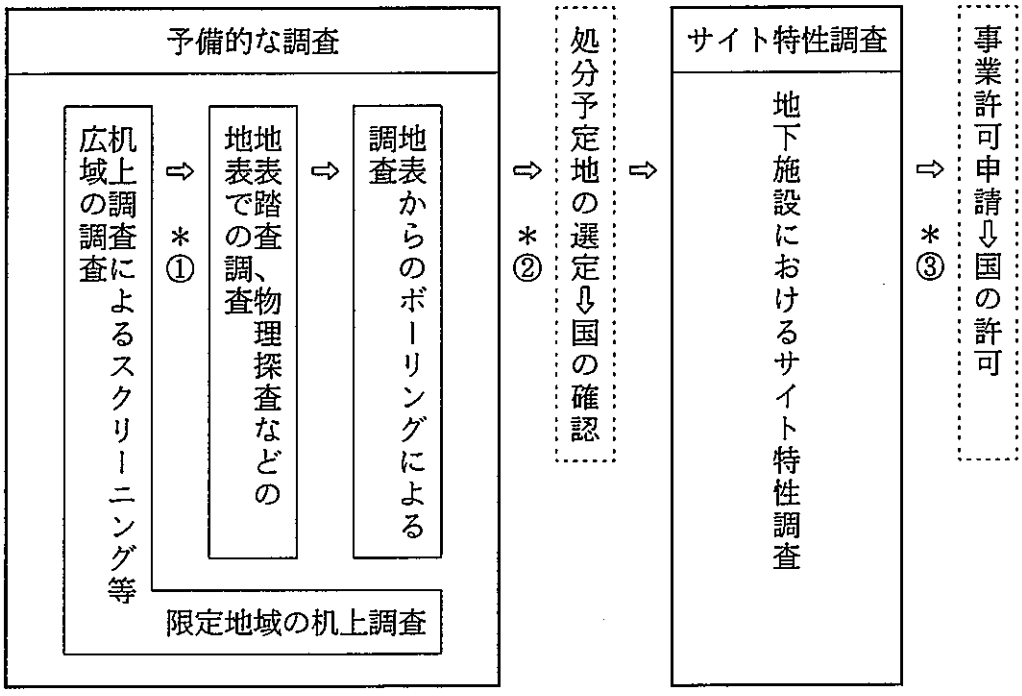
・動力炉・核燃料開発事業団：地層処分場の熱的安定性の検討, PNC TN1410 92-054

・ P. S. Huyakorn, George F. Pinder ： Conputational Methods in Subsurface Flow, Academic Press

6．サイト特性調査手法

6.1 想定される調査段階

我が国において考えられるサイト特性調査の手順について、昨年度はＩＡＥＡの指針および原子力委員会の報告を参考に、図－6.1.1 に示すようなものを考えた。



＊①：調査に対する地元の合意
＊②：予定地となることへの地元の合意
＊③：処分場建設に対する地元の合意

図－6.1.1 昨年度想定したサイト特性調査の手順

ここで図に示した各調査の対象となる地域の大きさを考えてみると、

＜机上調査＞

この段階では、地形図、地質図、リニアメント図、土地利用等社会的要因図などによるマッピングとスクリーニングが主な調査内容となるものと考えられることから、対象となる地域はかなり広範囲なものとなろう。スウェーデンのフィンジョンサイトの例やスイスにおけるサイト選定・フェーズＩ（1981～1993）等を参考にすると、この範囲は、

・数10km×数10km

になるものと考えられる。

＜地表からの調査＞

この段階での調査は、主に物理探査とボーリング調査であり、これを行うためには地元の合意が必要である。ここにおける地元とは、市町村単位が基本となるものと考えられる。我が国における市町村の面積は一部の地方を除き大体 100km^2 程度か、それ以下である。

さらにここから人口密集地区や幹線交通網、地質条件等によるスクリーニング等で地域が限定されることから、この段階での調査対象となる範囲は、

・数km×数km

になるものと考えられる。

＜サイト特性調査＞

この段階に入る前には「処分予定地の選定」が行われる。この処分予定地の範囲は、おおむね処分場サイズ＋αと考えられることから、サイト特性調査の対象となる範囲は、

・2～3km×2～3km

になるものと考えられる。

以上から、調査対象となる範囲は「机上調査」⇨「地表からの調査」⇨「サイト特性調査」と順次絞り込まれてゆくものと考える。ここでサイト特性調査について考えると、昨年度の検討においては、地表からの調査は事前に完了しており、サイト特性調査としては最初から地下施設における調査としていた。しかし、上記のように「処分予定地の選定」において調査範囲が絞り込まれることを考えると、事前の調査だけで地表からの調査が十分でないこと（予定地に限定した詳細な地表からの調査が必要なこと）も予想される。

また、スイスのＨＬＷに関するサイト調査計画においても以下のようになっている。

①フェーズⅠ（スイス北部における広域の調査）

物理探査と７本の深層ボーリング調査

②フェーズⅡ（地表からの調査）

補足の物理探査と深層ボーリング調査

③フェーズⅢ（地下での調査）

立坑、横坑掘削、原位置試験

すなわち、調査の対象地域が限定された後、地上からの調査を行ってから地下での調査を行う計画としている。以上のことから、我が国においても処分予定地選定後、直ちに地下における調査に入らず、その前に地表からの調査が行われる可能性がある。

問題は予備的な調査段階における地表調査の対象地域の大きさであり、これがかなり大きく、スイスフェーズⅠのように数十km四方である場合は、次の段階でも地表からの調査が必要となる。一方この対象地域が既にかなり限定されており、処分場規模と比較して大差ない場合、予備的な調査段階において広域の地表調査と共に、地域を限定した詳細な地表からの調査が実施されるものと考えられる。我が国において現地で調査や測量を行う場

合、地元の同意の後に行われるのが通常であり、同意する地元があった場合にはすでに適地はかなり限定されていることが多いため、昨年の検討では予定地選定後直ちに地下での特性調査にはいるものと考えた。

これは我が国においてありそうな手順ではあるが、詳細な地表からの調査段階を省けるという意味で楽観的な手順であるともいえる。よって、本年度においては保守的な設定に基づき、予定地選定後地表からの詳細調査を実施するものと考える。よって、調査段階としては、

① 広域の机上調査段階

② 準広域の地表調査段階

③ 処分場規模の地表調査段階

④ 地下施設における調査段階

の4段階を考えるものとする。

6.2 各調査段階の想定

サイト特性調査として我が国で明確になったものはないので、ここでは諸外国の計画事例や既往の研究事例等を参考に、サイト特性調査の各段階について、

・調査の目標

・概略の内容

・対象の広さ

・調査の期間

を想定する。この想定に基づき次節において適用が考えられる調査手法を選定し、その適用性の検討を行う。なお、サイト特性調査におい調査対象となる分野は多岐にわたるが、本研究においてはこの内「地球科学に関する分野」に限定するものとする。すなわち、社会的要因の調査や生活環境に関する調査は検討対象外とする。

6.2.1 各調査段階の目標

(1) 広域の机上調査段階

この段階では、処分予定地として明らかに不適当と思われる地域のスクリーニングと母岩の対象となる岩種の賦存地域の広域地質構造の確認、広域レベルの地表及び地下の水収支の把握などが目標となるものと考えられる。なお、ここで不適当な地域とされる要因の中には、活断層地域、火山帯地域、隆起浸食の著しい地域、地下資源賦存地域な

どが含まれ、これらはいわゆる基本シナリオ以外の接近シナリオの回避をねらいとするものである。当然この他に人口密集地域等も要因としてあげられる。

(2) 準広域の地表調査段階

この段階では調査結果を基に予定地を選定し、国の確認を受ける必要がある。このためには処分場の概念的な設計や予備的な性能評価を行うことが必要となる可能性がある。よって、この段階の調査の目標としては、地質構造や水理地質構造の3次元的な把握や地下水理場の把握、一定規模以上の不連続面の確認、物理・化学的岩盤物性値の把握、将来の地殻活動の予測、などがあげられる。

(3) 処分場規模の地表調査段階

この段階の調査目標は、項目としてはほぼ前段階と同様と考えられるが、対象地域が限定されることからレベル的には詳細かつ確度の高いものとなる。この段階では、調査結果を基に地下調査施設の設計がなされる。この地下施設は調査のためのものではあるが、将来処分場の施設に転用される可能性も考えられるため、要求品質としては処分場施設と同様のレベルとしておくことが考えられる。よって処分場の坑道設計に必要なデータはこの段階で必要となる。

(4) 地下施設における調査段階

この段階では立坑と横坑が掘削されると考えられることから、目標としては地表調査で予測された地質構造や掘削影響などの確認が主なものとなる。また、坑道掘削によって初めてわかる地質構造や不連続面も当然予測されることから、これらを把握しつつ想定している処分量の埋設に必要な広さの母岩を確認することが目標となる。またこの段階では原位置試験を行うことが可能であることから、ボーリングコアすなわち岩石としての特性に関連した岩盤としての物理・化学的特性の把握が目標となる。

6.2.2 各段階における調査の概要

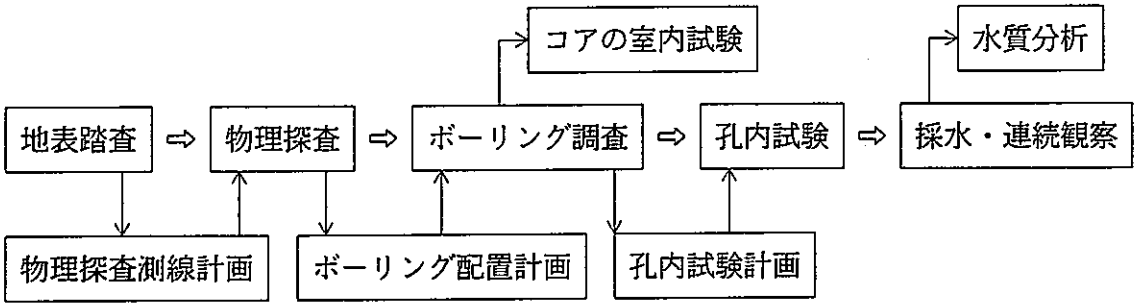
(1) 広域の机上調査段階

この段階では、地形図、地質図、リニアメント図、社会的要因図および各種文献によるマッピングとスクリーニングが主要な内容になるものと考えられる。この他、机上調査の確認の意味での現地の踏査、既往の資料では不十分な部分についてのリモートセンシング調査、空中からの物理探査が行われることも考えられる。

(2) 準広域の地表調査段階

地元の調査に対する合意を得た後、現地における本格的な調査が実施される。この段

階で調査対象となる地域は、水系など水収支を考慮した水理単位が基本となるものと考えられることから、十数km四方（100km²～200km²）程度と予想される。この時、処分場の候補地として数km四方が既に特定されている場合とそうでない場合では、調査手順やボーリング配置等に差を生じるものと考えられるが、ここでは前述のように候補地は特定されていないものと考える。この場合の調査手順はおよそ以下のようなものになると考えられる。



図－6.2.1 地表調査において想定される手順

なお、この段階の最初に補足としてのリモートセンシング調査と空中からの物理探査が行われる可能性も考えられる。また、机上調査も継続して行われるものと考えられる。

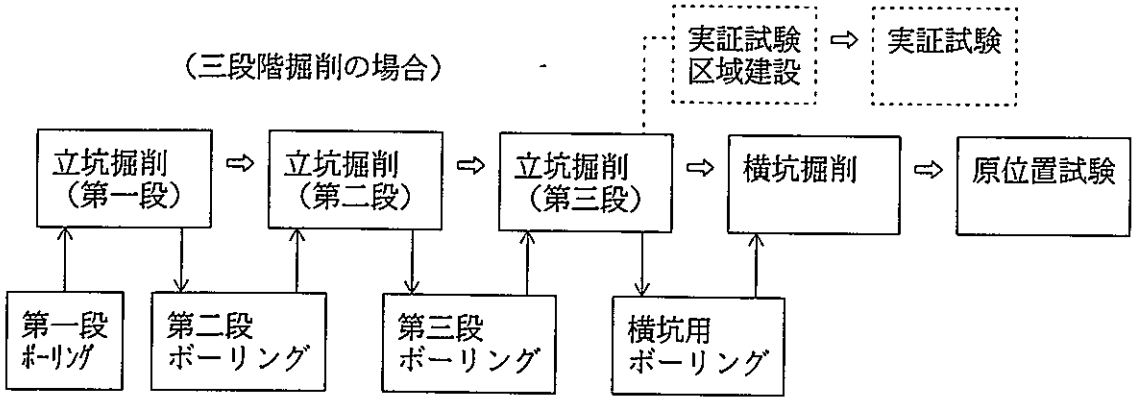
(3) 処分場規模の地表調査段階

この段階における調査内容は、前段階とほぼ同様と考えられるが、調査対象区域がかなり限定されることから、ボーリング調査およびそれに続く調査試験がより重要度を増し、その分地表踏査と物理探査の位置づけがより補足的な性格を帯びるものと考えられる。

(4) 地下施設における調査段階

国の長期計画では、この段階にサイト特性調査と共に、処分技術の実証を行うこととされている。処分技術の実証としては、「掘削性能試験」「緩衝材の挙動試験」「グラウト性能試験」「水理モデルの確証試験」「オーバーパックの腐食に関する確証試験」など各種の実証試験が行われるものと考えられるが、ここでは検討対象外とする。

この段階のサイト特性調査では、立坑および横坑掘削における地質の確認、掘削に伴う掘削影響の確認、各種原位置試験などが実施される。また、立坑掘削では、掘削影響を調査するためおよび各深度において原位置試験を実施するために、いくつかの段階に分けて掘削することが考えられる。この場合の調査手順は、およそ以下のようなものになると考えられる。



図－6.2.2 地下での調査において想定される手順

6.2.3 各段階における調査対象領域

各調査段階で、どれだけの領域が調査対象となるかについて、現段階では完全な想定とならざるを得ないが、諸外国の例などを参考に、ここでは以下のように設定する。

① 広域の机上調査段階　　：30km～40km四方（約1000km^2 ）

② 準広域の地表調査段階　　：10km～15km四方（約 150km^2 ）

③ 処分場規模の地表調査段階：６km～８km四方（約　50km^2 ）

④ 地下施設における調査段階：４km～５km四方（約　20km^2 ）

6.2.4 各段階における調査期間

現在国の長期計画において時期が明記されているのは、

・２０００年の実施主体の設立

・２０３０年代から２０４０年代半ばまでの操業の開始

の２項目である。この３０～４０年間の中で各調査期間をどのように位置つけるかについて、以下に述べる。

(1) サイト特性調査の開始時期

実質的な調査に入る前には少なくとも以下の事項（全体の内、調査関連の事項について）が明確になっていなければならない。

・調査全体の基本的な計画

・調査に関する品質管理、品質保証の計画

・処分予定地としての要件とそれに基づく具体的なスクリーニングの項目

２０００年の実施主体設立時点で、これらの事前検討がどれだけ行われているかにもよるが、ここでは１年間を要するものと考える。

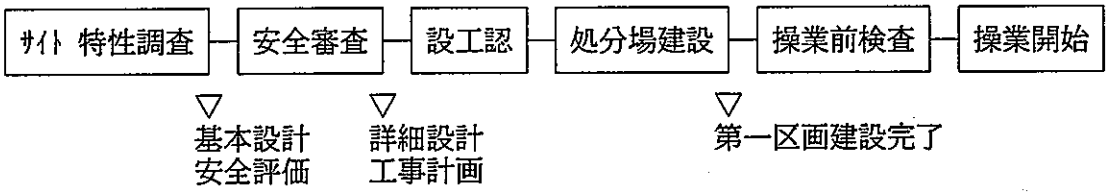
よって、サイト特性調査の開始時期（机上調査の開始時期）は、２００１年と考える

こととする。

(2) サイト特性調査の終了時期

２０３０年代から２０４０年代半ばまでに操業を開始するためには、サイト特性調査を何時までに終了させる必要があるかについてであるが、ここでは操業開始時期を２０３５～２０４０年と考えることとする。

サイト特性調査から操業開始までの流れは以下のようなものになると考えられる。



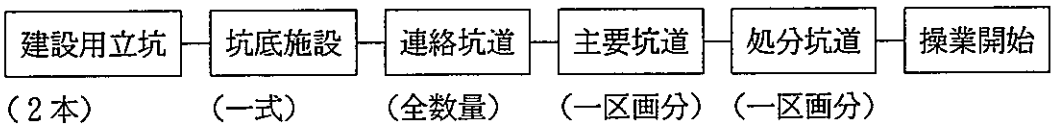
この内安全審査に係る期間（事業許可申請～事業許可までの期間）と設工認に係る期間（事業許可～着工までの期間）については、青森県六ケ所の４施設の実績が以下のようになっている。

表－6.2.1 六ケ所核燃料サイクル施設のスケジュール実績

施設		事業許可申請	事業許可	着工	安全審査の期間	設工認の期間
工場処理	再処理	平成元年３月	平成４年12月	平成５年４月	３年９月	４月
	廃棄物管理	平成元年３月	平成４年４月	平成４年５月	３年１月	１月
ウラン濃縮工場		昭和62年５月	昭和63年８月	昭和63年10月	１年３月	２月
ＬＬＷ埋設ｾﾝﾀｰ		昭和63年４月	平成２年11月	平成２年11月	２年７月	０月

表の実績より安全審査に約３年、設工認に数カ月を要していることが分かる。これよりＨＬＷの安全審査と設工認に、合わせて３年間を要するものと想定する。

また、ここにおける建設期間は、建設開始から操業開始までの期間であり、これについては1991年３月の「地層処分システムの設計研究（Ⅱ）」(PNC PJ1449 91-001) において検討されており、以下の手順において、



・結晶質岩ケース１　（処分孔定置）：１９８カ月（１６年６カ月）

・結晶質岩ケース２（処分坑道定置）：１７９カ月（１４年11カ月）

・堆積岩　　（処分坑道定置）：１９７カ月（１６年５カ月）

としている。しかし、建設用立坑はサイト特性調査において掘削される立坑を利用することが合理的であり、連絡坑道の一部も特性調査における調査坑道の利用が考えられ、その分工期の短縮が可能と考えられる。ここでは建設用立坑の工期のみ短縮できるものと考えて、3ケースそれぞれの立坑建設工期が、61カ月、61カ月、43カ月であることから、建設工期はそれぞれ137 カ月(11 年5 月),118 カ月(9年10月),154 カ月(12 年10月）となる。これより建設期間は、約１０年～１３年程度と予想される。

操業前検査に要する期間については未詳であるが、建設期間中に検査の準備を行うことが可能と考え、ここでは検査として特に一定期間を考えることはしないものとする。

以上をまとめると、

サイト特性調査	安全審査・設工認	3年	建設期間	10～13年	操業開始

となり、操業開始を２０３５～２０４０年と想定すると、サイト特性調査は２０２２年～２０２４年の間に終了させる必要があることになる。ここではこの内早い方の「２０２２年」で考えるものとする。

(3) 国の確認の期間

準広域の地表調査の結果により実施主体は処分予定地の選定を行い、国の確認を受けることとされている。我が国における法的手続きとしては、許可、認可、承認、確認、届出などがあるが、通例として「確認」は、裁量性が少なく数値が予め決まっており、○×方式に近い行為であることが多い。しかし、ここにおける確認では、選定規準等がすべて数値化されているとは考えられない。従って、確認に当たっては国における審査行為が予想され、これに伴い一定期間を要するものと考えられる。この期間の長さについては全く不明であるが、処分予定地の選定は安全審査に次ぐ重要性を持つものと考えられることから、ここでは2年間を考えるものとする。

以上の想定から、サイト特性調査を実施する期間としては、２００１年から確認期間の2年間を除く２０２２年までの「１９年間」ということになる。

(4) 机上調査の期間

机上調査の期間においては、各種文献調査や予備解析、確認や補足としてのリモートセンシングや空中からの物理探査などが想定される。また、この時期に次の段階である具体的な地域についての地表調査の詳細計画が立案される。このための期間として、ここでは「2年間」を想定する。

(4) 準広域の地表調査の期間

この段階における調査の概要は、前述のように、地表踏査⇨物理探査⇨ボーリング調査⇨孔内試験⇨連続観察の手順を踏むものと考えられる。まず、地表踏査と物理探査を行い、解析結果をまとめボーリング調査計画を立てるまでに、1～2年程度が考えられる。ボーリング調査については、HQサイズの硬岩を想定した削孔速度を4.6m/ 日として、1000m 級の削孔には216 日≒10カ月から約1年を考える。孔内試験は集中的に行うとして半年程度、連続観察は季間変動を考慮して1年程度とする。

以上から地表調査に必要な期間は3～5年程度となる。

(5) 処分場規模の地表調査の期間

この段階の調査概要は、ほぼ前段階と同様であり、調査対象区域がかなり限定されるとはいっても同様の調査手順を考えた場合、期間的にもほぼ同様の長さが必要になるものと考えられる。よって、この調査期間も3～5年程度となる。

(6) 地下施設における調査の期間

この段階の調査概要は前述したように、立坑掘削・ボーリング（複数段）⇨横坑掘削⇨原位置試験の手順を踏むものと考える。立坑では、1000m の掘削のみに5年程度を要する（1991年3月の設計研究（Ⅱ）より）ことから、複数段のボーリング調査の期間を考えると6～7年程度必要と考えられる。横坑掘削では直接の岩盤の確認という意味から、処分場エリア（約 2.5km四方）をカバーする最低の長さ2.5km +2.5km=5.0km が必要と考えられる。調査坑道のレイアウトにもよるが、切羽数を2とすると、期間としては2.5km の掘削期間となる。調査坑道の仕様を主要坑道と同等と仮定すると、既往の研究（1991年3月の設計研究（Ⅱ））から月進は約90m/月であり、掘削のみで27カ月を要することになる。掘削に伴う坑壁観察等を考慮すると、横坑掘削として3～4年程度かかるものと考えられる。

原位置試験については、横坑掘削時に平行して実施出来るものも考えられるが、掘削完了後に行う必要のあるものも当然考えられる。釜石鉱山等で実施されている原位置試験の期間が一つの試験について実質3～4年間程度であることを参考に、この半分程度が横坑掘削と平行に行えるものと考えて、掘削完了後の試験期間として1～2年間を考えるものとする。

以上から、この段階の調査に必要な期間は、（6～7）＋（3～4）＋（1～2）＝１０～１３年程度となる。

(7) 調査期間のまとめ

調査の開始可能な時期と、調査を終了すべき時期から算定した調査期間の１９年間に対して、個々の段階に必要と考えられる調査期間は、

・広域の机上調査　　：　　2年

・準広域の地表調査　　：3～5年

・処分場規模の地表調査：3～5年

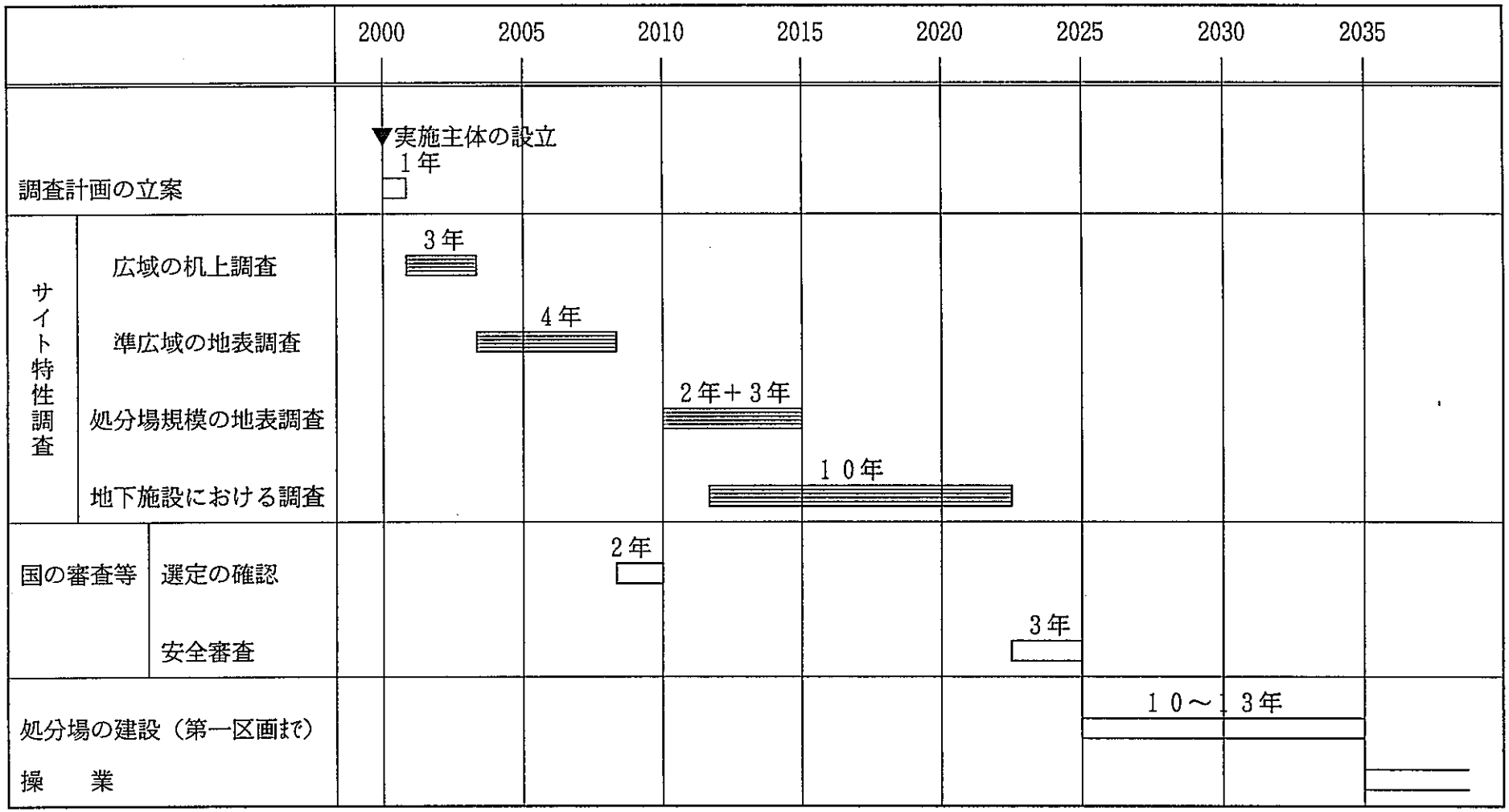
・地下施設における調査：10～13年

合　　計：18～25年

となり、想定した期間の内、ほぼ最短の期間で調査を行う必要のあることがわかった。また、上記は2つの地表調査段階を同じ期間としているが、準広域の地表調査段階の後には処分予定地の選定があること、準広域の地表調査段階において既に概略の処分場位置が判明している可能性のあること、などから準広域の地表調査がより長期間を要することが考えられる。さらに、処分場規模の地表調査は、次の段階との間に国の確認等の行為がないため、次段階とラップできる可能性があり、また前段階の調査内容によっては期間短縮の可能性も考えられる。

以上より調査期間を設定し、調査を含めた操業開始までの想定スケジュールを以下の表に示す。

表－6.2.2 操業開始までに想定したスケジュール



6.3 各調査段階に適用される手法

ここでは前節で想定した各調査段階の枠組みに基づいて、適用されると考えられる調査手法を抽出する。ここで抽出する調査手法は、昨年度の検討において抽出した調査項目とそれに対応した調査手法を基本とするものであり、表－6.3.1 に示す調査項目の内、左側の調査項目に対応する調査手法についてである。なお、表における調査項目の分類は、ＩＡＥＡの勧告に従ったものとなっている。

以降の調査手法の抽出においては、本研究が調査手法についての適用性検討を行うものであることから、各調査段階における調査手法を網羅的にあげる方針とせず、複数の段階に重複する手法については一方を省略したものもある。

6.3.1 広域の机上調査段階

この段階では文献調査がほとんどであり、確認や補足の意味で地表踏査や空中物理探査が行われる可能性もあるが、これらについては次段階でとりあげているのでここでは扱わないものとする。

6.3.2 準広域の地表調査段階

この段階では約150km^{2}を調査対象とし、５年間の間に地表踏査、物理探査、ボーリング調査、孔内試験を行うものである。この想定において考えられる調査手法を、調査項目と共に昨年度の分類に従って示すと、表－6.3.2 のようになる。

表－6.3.1 サイト特性調査の分類と項目

分　類	調　査　項　目	机上調査による調査項目
地質環境	・地質構成・層序 ・岩盤の物理特性	・空中写真 ・リモートセンシング情報（ＭＳＳ） ・地質図 ・ボーリングデータ ・検層データ ・室内試験データ
長期安定性	・地震動特性 ・地殻ひずみ観測 ・断層、破砕帯等の不連続面 ・原位置応力場 ・地温勾配	・気候の歴史 ・地質構造史 ・地質環境の概要 ・地震の記録 ・隆起、沈降の資料 ・傾斜、褶曲の資料 ・断層活動の資料 ・断層の位置、長さ、深さの情報 ・火山活動の情報
水　理	・水収支データ ・帯水層の特性 ・母岩の透水係数、動水勾配 ・地下水流動状況	・気象データ ・河川流況データ ・井戸の分布 ・地下水利用状況データ ・空中写真（水系分布） ・ＭＳＳ（水分分布、温度分布）
地化学	・地表水の化学組成 ・地下水の化学組成 ・岩盤の化学組成 ・岩盤の核種移行遅延能力	・鉱物学的情報 ・岩石分類上のデータ
人間の活動		・過去のボーリングや掘削の記録 ・エネルギーや鉱物の産出の情報 ・土地利用と地下水利用状況 ・貯水池の位置
建　設		・地形図 ・洪水の歴史 ・地すべり地帯、不安定斜面、地盤強度の小さな地域、液状化しやすい地域に関する情報 ・高温岩体やガスの情報 ・地震の歴史
輸　送		・急勾配地や障害のある地域の情報 ・輸送距離
環境保護	・大気の環境 ・陸上の環境 ・水域の環境	・国立公園の位置 ・野性動物の保護地域 ・史跡地域
土地利用		・土地の資源とその利用権 ・将来の土地利用計画
社会的影響		・人口構成、人口密度の状況と動向 ・雇用の状況と動向 ・地域サービスとインフラの状況 ・住居の需給状況 ・経済的基盤と経済的要求

表－6.3.2 準広域の地表調査段階の調査手法（その１）

調査項目		調査手法	
分類	調査項目	分類	調査手法
地質環境	地層構成、層序	地表の調査	地表踏査
		物理探査	地震探査（屈折法） 地震探査（反射法） 重力探査 空中磁気探査 放射能探査
		地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ボーリング調査 ＰＳ検層 音波検層 キャリパー検層 孔曲がり測定 ＢＴＶ・スキャナー 密度検層
	岩盤の物理特性	室内試験	一軸圧縮試験 三軸圧縮試験 圧裂引張試験 超音波速度試験 物理試験 熱物性試験 ジョイント試験
長期安定性	地震動特性	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	地震観測
	地殻ひずみ	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	地殻ひずみ観測
	断層破砕帯等の不連続面	地表の調査	地表踏査
		物理探査	地震探査（反射法） 放射能探査
		地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ボーリング調査 ＢＴＶ・スキャナー
	原位置応力場	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	初期地圧測定（水圧破砕法）
		室内試験	初期地圧測定（ＡＥ法）
水理	水収支のデータ	地表の調査	気象観測 蒸発散量測定 河川流量測定 地下水位観測（井戸） 地表水質分析（年代）
		地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	揚水試験 地下水質分析（年代）
		室内試験	ｐＦ試験 変水位透水試験（地表付近） 定水位透水試験（地表付近）

表－6.3.3 準広域の地表調査段階の調査手法（その２）

調査項目		調査手法	
分類	調査項目	分類	調査手法
	滞水層の特性	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ボーリング調査 電気検層 ＢＴＶ・スキャナー
	母岩の透水係数、動水勾配	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	地下水観測 ＪＦＴ試験 ビルドアップ試験
		室内試験	変水位透水試験
	地下水流動	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	孔内流向流速測定
地化学	地表水の化学組成	地表の調査	地表水採水調査
		室内試験	地表水水質分析（化学）
	地下水の化学組成	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ポンプ採水 天然γ線検層
		室内試験	地下水水質分析（化学）
	岩盤の化学組成	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	岩芯調査 放射化検層
		室内試験	顕微鏡観察 鉱物組成分析 化学分析 Ｘ線回折 蛍光Ｘ線分析 強熱減量試験
	岩盤の核種移行遅延能力	室内試験	バッチ法及びカラム法 岩石浸透法 陽イオン交換容量試験 Ｘ線マイクロアナライザ法
環境保護	大気の環境	地表の調査	大気質調査
	陸上の環境	地表の調査	騒音・振動調査 地形測量 陸上植生及び土壌調査 陸上動物調査 自然景観調査
	水域の環境	地表の調査	水質調査 水性生物調査
	海域の環境	海域の調査	水温・塩分濃度調査 水質調査 底質調査 海象状況調査 流況特性調査 漂砂調査 流入河川調査 海生生物調査

6.3.3 処分場規模の地表調査段階

この段階の調査対象は約 50km²と前段階よりかなり限定されているが、調査の概要は前段階とほぼ同様のものと考えられる。ここでは適用される調査手法の内、前段階と内容的にも同様と考えられる手法は省略することとする（内容的に異なる可能性のあるものは重複して取り上げている）。

表－6.3.4 処分場規模の地表調査段階の調査手法

調査項目		調査手法	
分類	調査項目	分類	調査手法
地質環境	地層構成、層序	地表の調査	地表踏査
		物理探査	地震探査（反射法） 電気探査
		地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	弾性波トモグラフィー
長期安定性	断層、破砕帯等の不連続面	地表の調査	地表踏査
		物理探査	地震探査（反射法）
		地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	弾性波トモグラフィー
		トレンチ調査	トレンチ掘削
水理	滞水層の特性	地表ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	レーダートモグラフィー 比抵抗トモグラフィー

6.3.4 地下施設における調査段階

この段階では立坑および横坑の掘削や、それに伴う調査試験を約１０年間で行うことになる。また、この段階ではサイト特性調査と共に処分技術の実証が実施され、そのための各種実証試験が行われることになっている。地下で実施されると考えられる調査試験の中には、サイト特性調査としての試験か、処分技術の実証としての試験かの位置づけが明確でないものも予想されるが、ここでは昨年度の検討で抽出された調査手法の枠組みに準じるものとする。また、ここでも実施が考えられる調査手法の内、前段階と重複するものは省略した。

表－6.3.5 地下施設における調査段階の調査手法

調査項目		調査手法	
分類	調査項目	分類	調査手法
地質環境	地質構成、層序	地下掘削調査	坑内観察
		坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ボーリング調査 弾性波トモグラフィー ＢＴＶ・スキャナー
	岩盤の物理特性	地下原位置試験	平板載荷試験 せん断試験 岩盤三軸圧縮試験 動的平板載荷試験 原位置熱物性試験
		坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	孔内載荷試験
長期安定性	地震動特性	坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	地震観測
	地殻ひずみ	坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	地殻ひずみ観測
	断層破砕帯等の不連続面	地下掘削調査	坑内観察
		坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	ボーリング調査 弾性波トモグラフィー ＢＴＶ・スキャナー
	原位置応力場	地下掘削調査	岩盤変位測定試験
		坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	初期地圧測定(ｵｰﾊﾞｰｺｱﾘﾝｸﾞ法)
水理	滞水層の特性	坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	比抵抗トモグラフィー ＢＴＶ・スキャナー
	母岩の透水係数、動水勾配	地下原位置試験	坑道換気試験 孔間透水試験
		地下掘削調査	湧水量測定
	地下水流動	坑内ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査	孔間トレーサー試験
		地下原位置試験	トレーサー試験
地化学	岩盤の核種移行遅延能力	室内試験	ブロックサンプル移行試験
		地下原位置試験	核種移行試験

6.4 調査手法の適用性の検討

調査手法の適用性を検討するに当たり、最初から個々の手法について検討を行うことは効率の面からも適当ではない。ここでは、まず調査手法の「分類」に着目し、その分類における調査手法の概略検討を行い、地層処分の調査として要求される技術レベルと現状技術レベルの比較においてスクリーニングを行い、さらに適用性の検討が必要な調査手法を設定し、検討を加えるものとする。

また、ここにおいて手法の「適用性」の意味を、調査の実施が可能かどうかという側面で考えるものとする。その手法を実施する必要があるかどうかという側面での検討は、サイト条件や調査目標がより具体的になった時点において行うことが適当であると考えられる。

6.4.1 適用性の事前検討

(1) 地表の調査

この分類には、地表踏査や気象観測、環境調査などがあり、これらの手法は実績も多く技術的にも確立していると言える。また、処分に関して通常と異なる仕様が要求されることもないと考えられることから、適用性において特に問題はないと考えられる。

(2) 物理探査

物理探査としては、比較的広域で大局的な構造の把握に適した重力探査や磁気探査、地震探査（屈折法）などと、より詳細な構造の把握を目的とする地震探査（反射法）や電気探査などがある。これらの手法は実績も多く技術的にも評価の定まったものも多いが、適用性の向上や解像度、信頼性の向上などを目指した開発も進められている。

しかし、現状技術においても先に示した調査の目標に照らして、基本的に対応可能と考えられることから、その適応性について特に問題はないと考えられる。ただし、手法に要求する性能として、現状レベルを越えるものが設定された場合は適用性の検討と共に技術開発が必要になる。

(3) ボーリング調査

ボーリング調査は実績も多く、資源探査の分野では数千mの実績もめずらしくない。ボーリングに関連した調査には、岩芯調査や採水分析など、地下の試料を採取して行う調査と、ボーリング孔の中で行われる各種検層等の試験があり、この内後者については後に述べる。試料採取の内、採水において問題があるものと考える。採水技術そのものに関しては各種の採水法が開発されており、1000m 級のボーリング孔内に存在する水は

原位置環境のままの採水が可能となっているが、孔内に存在する水そのものがボーリング掘削によって乱されている可能性が否定できず、これはボーリングの掘削方法に関連した問題であると考えられる。

また、一般に調査ボーリングは鉛直に削孔されるが、地層処分のサイト調査においてはサイト条件の制約により斜めの削孔を余儀なくされる可能性も考えられる。この場合削孔方法や削孔の精度において問題となる可能性が考えられる。

(4) ボーリング孔内試験

ボーリング孔内試験として、ここでは地表からのボーリングの場合を考える。ここで対象となる調査試験手法は，各種物理検層やＢＴＶ，透水試験、トモグラフィー調査などである。これらの手法そのものは多くの実績を持つものであるが、地層処分における調査の場合まず問題となるのは深度対応性であろう。この場合対応性の目安として考えられるのは、一応1000m と考えられる。透水試験や採水など、既にこの目標をクリアしている手法もあるが、各孔内試験についてその適用性を検討しておく必要があると考えられる。

トモグラフィー技術はボーリング孔間、あるいは孔間と地表面（坑道壁面）において適用されるものであり、ボーリング孔間の対象区域の地質構造などを詳細に把握する目的で実施されるものである。この目的からすると、調査対象となるのは地表付近というよりは、処分深度に近い深層部と考えられる。この時適用性の検討として考えねばならないのが孔間の距離である。ごく限られた部分の調査のために、２本の深層ボーリングを削孔することは、あまり効率的とは考えられない。

先のボーリング調査で述べたように、地表からのボーリングは斜めに削孔される可能性も考えられる。この場合、斜孔内で各種の調査試験を実施することになることから、このときの適用性の検討が必要と考えられる。

(5) 室内試験

試験の試料採取に関しては前に述べていることから、ここでは信頼性のある試料が採取れていることを条件に試験の方法について考えると、室内試験に関しては、その適用性において特に問題となるものはあまりないものと考えられる。

(6) 原位置試験

地下施設において実施されると考えられる原位置試験には、せん断試験や平板載荷試験など、すでにその試験方法の仕様まで定められているのもと、換気試験や孔間透水試

験など、現時点では研究開発的に実施されている手法がある。よって試験方法の妥当性の評価や試験結果の信頼性の評価等において両者の手法には大きな差があるが、試験の「実施」という側面で考えると、地層処分では共に深地層での実施すなわち大きな地圧のもとでの実施が想定される。このことから、特に堆積岩系で予想される軟岩での実施適応性の検討が考えられる。

なお、調査手法としてあげた中に核種移行試験があるが、これについては現行法規における管理区域の考え方に照らして問題となる可能性がある（岩盤中に注入された放射性物質がどこまで達しているかが特定できず、管理区域の設定が困難であると共に管理することも困難である。）。少なくとも事業許可前は原子力施設でないことから、その段階のサイト特性調査において放射性物質を扱うことが問題となる可能性がある。

以上の予備的な検討により、以降において適用性の検討を行う項目をまとめると、以下のようになろう。

・ボーリング調査における削孔水の検討
・斜め削孔に対する適用性の検討
・ボーリング孔内試験の深度対応の検討
・トモグラフィー調査における孔間距離の検討
・ボーリング孔内試験の斜孔対応の検討
・原位置試験の軟岩対応の検討

6.4.2 調査手法の適用性

(1) ボーリング調査の削孔水

ボーリング孔内の採水技術については、ＨＧＰ－１０やＢＡＴシステムなどの開発により1000m 級のボーリング孔内から、原位置での雰囲気を維持したままの採水が可能となっている。前者は採水ポンプによる連続採水が可能であり、後者は負圧ボトルを利用したシステムである。いずれの方法においても削孔後しばらくの期間削孔水の排水を行い、水質がほぼ一定に落ちついた時点で削孔水が原位置の水に置き替わっているという前提に基づいている。しかし、この前提は確かめられたものではない。ボーリング孔周辺へ一度浸透した削孔水は容易には排出しないという可能性も否定しきれない。水質が問題となるような場合のボーリング掘削では、削孔水としてボーリング孔内から採取した水を使用することも行われているが、採取深度と削孔深度の差や空気との接触による変質など、問題は残る。これに対する方策としては大きく２つの方法が考えられる。１つは現状の技術を変えることなく、原位置の水に入れ替わるという前提を実証することであり、１つは何らかの技術開発により厳密に原位置の水しか使用しないようにするか、原位置の水であることを確認するかである。

実証の方法としては、長期間の継続的な採水と水質分析によるか、原位置試験場での事前ボーリングの結果を坑道掘削掘削後の原位置採水により検証するかが考えられる。

技術開発としては、原位置の水のみ使用するという事はかなり困難であると予想される。また、原位置の水の確認も直接には困難であることから間接的な方法として、削孔水のないことの確認が考えられる。このためには削孔水に、不活性で微量を容易に検出できかつ原位置に存在しない物質を混入することが考えられる。

このことに関する技術開発として動燃殿において、崩壊性地層における孔壁の保持のため、地層水に影響を与えない固化材の開発が行われており２液混合タイプのウレタン材料が野外試験で用いられている。また、地層水に影響を与えない掘削技術として、炭素鋼ケーシングの腐食試験が行われている。

(2) 斜め削孔に対する適用性

一般に探査用ボーリングは鉛直に削孔されるのが通常であるが、サイト特性調査におけるボーリングでは、地表の使用条件や地形条件などにより、また環境への配慮から限られた地表部分しか使用できなくなる可能性が考えられる。スイスのフェーズⅡにおけ

るボーリング計画においても、地表の一か所から放射状に4本のボーリングを行う計画とされている。我が国の地熱発電所においても地表の一か所から複数の高温岩盤部分をねらって、1500mを越える斜め掘削がかなりの精度で実施されている。この斜め掘削は孔内のダウンホールモーターによって行われ、随時角度の調整が可能である。

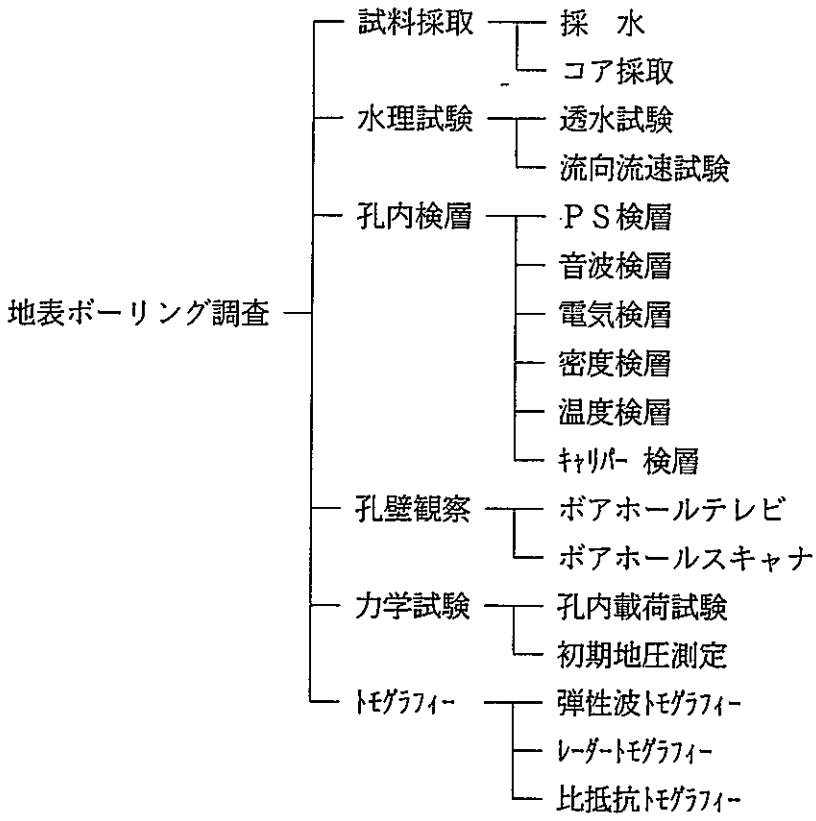
このダウンホールモーターとは、ボーリング孔内に設置されたモーターユニットを循環泥水の圧力によって駆動させ、ドリルビットを回転させるものであることから、原理的にノンコアボーリングとならざるを得ない（地熱発電における生産井および還元井ではコアを採取する場合、ワイヤーライン工法に切り換えて直線ボーリングが行われる。）。よって、ワイヤーライン工法によるコアボーリングの場合の掘削角度のコントロール方法は、まだ開発されていないと言える。

地層処分のサイト特性調査においては、限られた地上基地から地下深部の断層部分をねらったボーリング調査が必要となることも十分考えられる。この場合、現状技術においては角度のコントロールはダウンホールモーターで行い、ワイヤーラインに切り替えてコアを採取し、再び角度コントロールをダウンホールモーターに切り替えて行うといった作業になる。これは効率の面から好ましくないと共に、角度調整区間のコアが採取できないという制約があることから、この2つの点における改良が望まれる。

(3) ボーリング孔内試験の深度対応性

地表からのボーリング孔を利用した調査試験は表－6.3.3 ～表－6.3.4 に示したようなものが主なものとして考えられるが、これらは孔内の作業として分類すると図－6.4.1 のようになろう。

地表からの調査段階においてこれらの手法の適用を考えた場合、少なくとも想定される処分深度までの調査が必要である。よって、ここでは各調査方法について調査深度1000m への対応性の検討を行うこととする。



図－6.4.1　地表ボーリングによる調査試験

1)　試料採取

採取技術としては、コア採取、地下水採取共に1000m 対応は達成されていると言える。しかし、動燃殿においても1000m 対応の採水装置は１号機が完成した段階であり、今後もより確実で効率的な方法を目指して開発が進められるものと考えられる。表－6.4.1 に動燃殿における地下水採水に関する開発状況を示す。

表－6.4.1 動燃殿における採水機器開発状況

		100m対応ﾊﾟｯｶｰ式地下水ｻﾝﾌﾟﾗｰ	500m対応ﾊﾟｯｶｰ式地下水ｻﾝﾌﾟﾗｰ	1000m 対応採水装置（１号機）
仕様・性能	間隙水圧	○	○	○
	連続採水			○
	ﾊﾞｯﾁ 採水	○	○	○
	可能深度	１００ｍ	５００ｍ	１０００ｍ
	適用孔径	76～140mm	76～140mm	76～140mm

また、ボーリングコア採取に関しては大きな問題はないものと考えられる。定方位コアリングについても、従来は硬岩におけるインナーバーレルの共回りという問題があったが、徐々に改善が加えられている

2) 水理試験

透水試験に関しては、動燃殿において精力的に開発が進められており、調査機器開発については表－6.4.2 に示すような状況であり、1000m 対応は一応達成されていると言えよう。

表－6.4.2 動燃殿における水理試験機器開発状況

		200m対応低圧ルジオン水理試験装置	200m対応動燃式低水圧制御水理試験装置	500m対応動燃式低水圧制御水理試験装置	1000m 対応水理試験装置（1号機）
仕様・性能	間隙水圧	○	○	○	○
	測定範囲(cm/s)	10^{-3}～10^{-7}	10^{-4}～10^{-9}	10^{-4}～10^{-9}	10^{-4}～10^{-10}
	定常法	○	△	△	○
	非定常法		○	○	○
	可能深度	２００m	２００m	５００m	１０００m
	適用孔径	66～100mm	66～100mm	66～100mm	66～100mm

△：改良により測定可能

流向・流速測定には、複数のボーリング孔によるトレーサーを用いた試験方法もあるが、ここでは単孔式試験手法の深度対応性について述べることとする。単孔式の流向・流速測定手法には種々のものがあり、それぞれの概要と深度対応性は以下のようになっている。

・画像追跡式：セル中のトレーサーの移動をテレビカメラで観測するものであり、測定範囲は５×10^{-6}～２×10^{-0}cm/s程度である。測定深度については不明。

・熱量式：地下水を加熱し、熱の移流・拡散から流向・流速を求める方法であり、測定範囲は10^{-4}～10^{-1}cm/s程度である。測定深度は３０m。

・中性子検出型：ほう素をトレーサーとし、孔内で中性子水分計のカウント数により流向・流速を求める方法であり、測定範囲は３×10^{-5}～10^{-1}cm/s程度である。測定深度は１００m。

・レザードップラー式：レーザー光を回折により収束させ、そこを懸濁物質が通過する際の光の散乱により流向・流速を求める方法であり、測定範囲は10^{-5}～10^{-2}cm/s程度である。測定深度は４００m。

・電位差式：センサー部分に注入された蒸留水の移動によって生ずる比抵抗の変化を電位差で検出することにより流向・流速を求める方法であり、測定範囲は10^{-6}～10

$^{-2}$cm/s程度である。測定深度は１０００m。

深度対応としては電位差式で１０００-m対応可能となっているが、流向・流速測定は裸孔が条件となるので孔壁の保持時間や他の調査試験との競合が問題となる可能性がある。

3) 孔内検層

図－6.4.1 に上げたような代表的な検層類に関しては、１０００m級の深度対応は問題ないと考えられる。動燃殿においても東濃地科学センター正馬様サイトＡＮ－１号孔において実績があり、調査結果についてはなお比較検討を加える計画としているが、調査手法そのものについては特に問題点の指摘はなされていない。

4) 孔壁観察

孔壁観察を行う測定装置としては、光学的方法（ボアホールテレビカメラ⇨ＢＴＶと略す）と超音波(0.5～2.5MHz) を利用した方法（ボアホールテレビュア⇨ＢＨＴＶと略す）があり、両者の特徴をＢＨＴＶの利点・欠点の観点から整理すると、以下のようになる。

＜利点＞

・亀裂の方位や傾斜等の把握、開口亀裂の検出の点ではＢＨＴＶの方が優る。

・反射強度という孔壁の物性を把握できる。

・地圧の応力差による孔形状の歪みが把握できる。

・泥水中でも測定可能である。

・孔壁の色調に左右されない。

＜欠点＞

・ＢＴＶに比べて画像の解像度が低い。

・測定結果のイメージが見づらい。

・亀裂の充填物の反射強度が岩盤と同等の場合、検出できない。

深度対応の点ではＢＨＴＶについて確認はできなかったが大きな問題はないものと考えられる。ＢＨＴＶの機器の仕様例を以下に示す。この機種は地熱開発で使用されたものであることから、深度対応において問題はないものと考えられる。またこの仕様からも、深度対応で問題となる耐熱性、耐圧性において十分な性能を有していると言えよう。

＜高温用＞　　＜小孔径用＞

・長　さ：　4ｍ　　3ｍ

・外　径：　88mm　　60mm

・重　量：　120kg　　60kg

・耐　圧：　1,400kg/cm²　1,050kg/cm²

・耐　熱：　300℃(5～8h)　120℃

また。光学式のＢＴＶについて調査した範囲では、我が国における現状機種では３００ｍ対応までのようである。この機種はだいぶ以前に開発されたものであり、その後ニーズがなかったために開発されなかったようである。深度対応性に関してＢＴＶはＢＨＴＶと本質的に異なるものではないと考えられることから、ＢＴＶの１０００ｍ対応はそれほど困難なものではないと予想される。

5)　力学試験

ここで取り上げた孔内載荷試験と初期地圧測定の内、孔内載荷試験について国内の実績では２５０ｍ対応までのようである。現状機種では、載荷を地上のポンプで行いそれを油圧ケーブルで伝達しているため、油圧の伝達やケーブルコネクターの耐力などの制約から対応深度に限界がある。よって載荷機構をプローブ側に組み込むことで深度対応はクリアすることができるものと考えられる。この開発に関しては、動燃殿においても以前に試験装置の試設計を行った経緯があり、それほど困難なものではないと予想される。

初期地圧測定については、調査した範囲の実績として、スイスのグリムゼルテストサイトにおける水圧破砕法、オーバーコアリング法ともに２００ｍ程度のものがあり、動燃殿においても水圧破砕法で２００ｍの実績がある。水圧破砕法についても載荷機構に関して初期地圧測定と同様のことが考えられるが、現行機種や開発の見通しについては今回の調査では明らかにならなかった。

6)　トモグラフィー

トモグラフィーの内レーダートモグラフィの深度対応については、通常の孔間トモグラフィーと類似のシステムにおいて単孔で１０００ｍの実績がある（動燃殿のＡＮ－１号孔における実績）。よって、レーダーに関して深度対応はあまり大きな問題とならないものと考えられる。弾性波、比抵抗の深度対応については今回の調査では明らかにならなかった。

(4) トモグラフィー調査の孔間距離

トモグラフィー調査は、限られた区域において地質構造や水理構造を詳細に把握するために有効な方法と言われている。この手法は原則的に発信孔と受信孔の間の信号（地震波、電磁波、比抵抗）の授受によるものであることから、この間隔が大きくすることには限界がある。この間隔は岩種や測定条件、信源のエネルギーに左右される。弾性波トモグラフィーの信源に関して言えば、十数mの間隔では、通常電気スパークによる地震波を信源とするが、より大きなエナルギーを必要とする場合には、雷管を信源として利用することもある。しかし、発信エネルギーを大きくすると孔壁の損傷や崩壊の危険性があり、トモグラフィー測定後に水理観測に利用する場合などには問題となる。電気スパークの場合でも、信号をより大きくし測定を確実なものにするために孔内水に塩水を混入することが行われるが、地層処分の調査においては地下水の化学成分を乱すことは極力避けなければならない。

トモグラフィーの実績に関して我が国の原位置試験では、孔間隔十数m程度で50m以下の場合が多い。諸外国の事例では、スイスのグリムゼル地下研究所において弾性波トモグラフィーが、孔間隔２２５ｍ（ボーリング長150m）で実施されている。なお、この文献では同じく孔間隔２２５ｍでレーダートモグラフィーが実施されたとの記述があるが、レーダーは使用する周波数が数10MHz と非常に高く、探査深度は一般に数m程度と言われている。また、比抵抗トモグラフィーについては孔間隔は３００ｍ程度は可能としている文献もある。

しかし、スイスの事例やこの３００ｍという適用範囲は非常に条件のよい場合と考えるべきであり、泥岩などの堆積岩で考えられるような軟岩では孔間隔はかなり限定されるものと予想される。専門技術者に対するヒアリングでは、弾性波トモグラフィー、比抵抗トモグラフィー共に孔間隔の適用範囲は５０～１００ｍ程度とみるべきであるとの意見であった。なお、軟岩に関しては孔壁の保持からケーシングの設置が考えられるが、鋼製ケーシングが測定の支障となることが考えられる。特にレーダーに関しては原理的に測定不可能となる。

(5) 孔内試験の斜孔対応性

スイスのサイト特性調査の第Ⅱ段階（2000年～）では、１本の鉛直ボーリングを取り囲む形で放射状に４本の斜めボーリングが計画されている。この斜めボーリングの角度

は鉛直に対して３０°であり、この角度は現状技術において孔内試験が可能な角度として設定されたものと記述されている。孔内試験が何度の斜孔まで対応可能かは、プローブが孔内に自重で降りて行くかどうかの問題であり、機構的な問題ではない。従って亀裂が少なく孔壁が非常に滑らかな場合と、孔壁が荒れている場合では対応可能な角度は異なり一概には言えないが、専門家へのヒアリングでは、３０°ではほぼ問題なく孔内試験は可能であるが、４５°では試験の実施に苦労することがあるとのことであった。

以上のことから孔内試験の斜孔対応性は、３０°程度と考えるのが妥当なものと考えられる。

(6) 軟岩における原位置試験

軟岩の定義は明確ではないが、一般的には一軸圧縮強度が 100～200kgf/cm²以下で、岩盤の力学特性が構成岩石の特性に支配されるとともに、間隙水圧の影響を受け、さらに応力の開放や乾湿の繰り返しにより劣化する岩石と言われている。また、花崗岩のような硬岩では、岩石と岩盤の性質の関係が、主に岩盤内の亀裂や節理などの不連続面に影響されることから、両者の工学的性質は大きく異なる場合が多いのに対して、軟岩では一般に亀裂や節理が未発達もしくは明瞭でなく、岩盤と岩石の特性の対応がつけやすいとされている。

しかし、軟岩では層理の方向による強度特性や変形特性の異方性を考慮する必要があると共に、強度特性や変形特性が吸水状態や風化の程度、夾雑物の存在などで影響を受ける。また、軟岩として広く見られる泥岩・砂岩の互相などでは、層の厚さを考慮した試験体の大きさとする必要がある。原位置試験としてせん断試験と平版載荷試験について軟岩における試験の特徴は、以下のように述べられる。

現状では軟岩に対する原位置せん断試験の指針、基準は定められていないが、供試体を切り出してから試験を行う間に劣化したり、強度低下を生じたりする場合もあるため、すみやかに試験を実施する方法等も考慮しておく必要がある。これは変形特性よりも強度特性の方がさらに鋭敏であると言われている。また、硬岩に比較して破壊に至るまでの変形量が大きいことから、ジャッキストロークや変位計の選定、設置位置等についても考慮する必要がある。

一方、軟岩の変形試験では、硬岩における平版載荷試験方法が一般的に用いられているが、軟岩の場合、

・繰り返し荷重による残留変形量（塑性変形量）が大きい

・持続荷重によるクリープ変形量が大きい

・降伏荷重が小さい

等の特徴があげられる。試験方法としては載荷速度を遅くすることなどが行われており、試験結果については載荷の繰り返し回数の増加につれて締め固まり効果が現れ、接線弾性係数が大きくなる例や、割線弾性係数と接線弾性係数の値が大きく異なる例などが報告されている。

また、上記の２試験に限らず、軟岩においては空洞の安定性確保のため相当規模の支保工が設置されると予想されることから、この支保工の影響が考えられる。すなわち、坑道壁面が支保工によって覆われていることが原位置試験の実施にあたって支障となる可能性が考えられる。例えば坑道壁面を利用した弾性波探査では、支保工の内側からの計測では支保工の影響が考えられるため、あらかじめ計測部分については支保工に窓を設けておくなどの配慮が必要と考えられる。さらに、軟岩では地圧に対して岩盤の強度が小さいと予想されるため、坑道壁面近傍の物性は塑性化など、掘削による影響の程度が大きいと考えられるため、掘削の影響を受けていない健全部岩盤の物性値を得るための配慮が、試験方法に関して必要と考えられる。

6.5 まとめと今後の課題

サイト特性調査に関する本年度の検討では、特性調査が段階的に進められることを考慮して、各段階における調査の目標、調査の概要、調査対象となる面積、調査期間の検討を行い、これらを基に各調査段階毎に適用されると考えられる調査手法を抽出した。次に抽出された調査手法について、適用性における問題点についていくつかの観点から検討を行った。主な検討結果は以下のようなものである。

・ボーリング掘削技術では、原位置の状態をできるだけ乱さないという観点から、周辺への影響の少ない孔壁保持方法が望まれる。また、斜め掘削への対応としてダウンホールモーターとワイヤーライン方式の交換による非効率性の問題が上げられる。

・孔内試験における深度対応の観点では、代表的な検層類や水理関係の試験は一応1000m対応は達成していると言えるが、ＢＴＶや孔内載荷試験など２～300m程度が現状における限度という手法もある。

・トモグラフィー調査の孔間距離については、状況にもよるが弾性波、比抵抗では100m程

度、レーダーでは10m 程度が現状における限度である。

・斜孔内での試験について実績からは、３０° 程度では問題ないが、４５° ではトラブル発生の可能性がある。

・軟岩における原位置試験では、切り出しから試験までの劣化の問題などが考えられる。

以上にあげたような問題点に対する技術開発については、それぞれの要素技術の枠組みにおいて検討されるものと考えられる。本研究における今後の課題としては、現時点で想定されるＨＬＷ処分事業のスケジュールを基本とした、サイト特性調査のより具体的な工程検討が考えられ、この検討を通じて、調査工程に関する問題点の抽出を行うことが考えられる。

＜6章　参考文献＞

1）大成建設㈱他；地層処分システムの設計研究（Ⅱ）、PN PJ1449 91-001、1991.3

2）黒田篤郎；化学技術庁所管・原子力規制法体系の詳細解説、㈱日本原子力情報センター、1994.4

3）柳沢孝一；広域地下水流動調査解析手法の開発、第11回放射性廃棄物夏期セミナー資料、1995.7

4）動力炉・核燃料開発事業団　中部事業所；動燃事業団中部事業所地層科学研究外部発表集、1994.5

5）動力炉・核燃料開発事業団　東濃地科学センター；動燃事業団東濃地科学センター地層科学研究外部発表集、1995.4

6）地熱技術開発㈱；論文報告集第1集、1993.7

7）尾方伸久、大澤英和；地下水特性調査技術開発の現状　検層技術(2)、動力炉・核燃料開発事業団　中部事業所、PNC-TN7410 90-006 、1990.1

8）BORJE NIVA et al;RADAR CROSSHOLE TOMOGRAPHY WITH APPLICATION TO MIGRATION OF SALINE TRACER THROUGH FRACTURE ZONES,NAGRA TECHNICAL REPORT 88-31 1988.10

9）A.Pahl et al;ROCK STRESS INVESTIGATIONS,NAGRA TECNICAL REPORT 88-39E 1989.4

10）土木学会；軟岩評価－調査・設計・施工への適用－、1992.11

11）大成建設㈱他；堆積岩を対象とした地層科学研究に関する調査・開発検討、PNC SJ449 90-005(2),1990.7

ＦＥＭによる総合地盤解析支援システム（ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳ）

－ジョイント要素対応利用マニュアル－

平成８年２月

株式会社　大林組

1．概要

1.1　改良の目的および対象範囲

ＦＥＭによる総合地盤解析支援システム「UＩ－ＳＩＧＮＡＳ」（以下、ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳ）は、地層処分におけるＣＡＥシステムの地盤解析サブシステムとして、平成５年に開発したものです。ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳは、ＣＡＥ支援システム「Ｉ－ＤＥＡＳ」（以下、Ｉ－ＤＥＡＳ）を用いて、総合地盤解析システム「ＳＩＧＮＡＳ」（以下、ＳＩＧＮＡＳ）による解析を、モデリングから解析結果のポスト処理に至るまで一貫してサポートします。

Ｉ－ＤＥＡＳ、ＳＩＧＮＡＳおよびこれらを関連づけるデータ・トランスレータ（以下、ＳＩＧＮＡＳＴＲ）を盛り込んだＵＩ－ＳＩＧＮＡＳの機能を図１.1に示します。

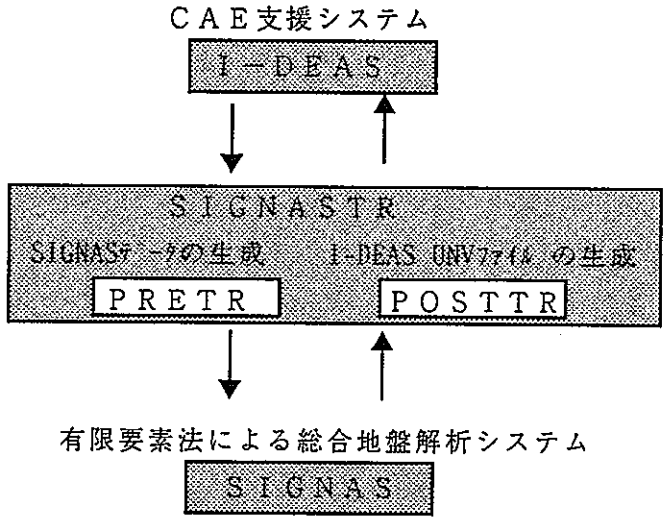


図１.1 ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳの機能概要

さて地層処分のための検討においては、断層や亀裂等の岩盤の不連続性を考慮した解析が日常的に実施されるようになってきています。ＳＩＧＮＡＳではジョイント要素を用いることによって不連続性の挙動を考慮することができます。しかし、現在のＵＩ－ＳＩＧＮＡＳでは、このジョイント要素に関するデータ変換機能を有していないため、不連続性を考慮したい部位については、データ変換後に生成されたＳＩＧＮＡＳ入力のデータに手作業でジョイント要素を追加していかなければなりませんでした。

今回の改良は、このジョイント要素についてＩ－ＤＥＡＳによるモデリングからＳＩＧＮＡＳのデータ生成までを自動で行えるようにするものです。また、従来より要望の高かったステップ解析のためのデータ（特に削除要素グループのデータ）生成についても、今回の改良に盛り込んでおります。さらに、解析のポスト処理においてジョイント要素が図化できるように若干の改良を加えました。

これらの改良はＳＩＧＮＡＳＴＲの中のＳＩＧＮＡＳプリ・トランスレータ（以下、ＰＲＥＴＲ。Ｉ－ＤＥＡＳのモデリング情報からＳＩＧＮＡＳの入力データを生成する）で対応しています。ポスト処理でのジョイント要素の図化については、ＳＩＧＮＡＳポスト・トランスレータ（以下、ＰＯＳＴＴＲ。ＳＩＧＮＡＳの解析結果保存情報からＩ－ＤＥＡＳポスト処理用のデータを生成する）で対応しています。

1.2 稼働環境

ＵＩ－ＳＩＧＮＡＳは、現在以下の機器・ソフト環境で利用可能です。

表-1. 機器・ＯＳおよび開発用基本ソフト

	機　器	ＯＳ	開発用基本ソフト
ＳＧＩ	ＩＲＩＳ ｼﾘｰｽﾞ	IRIX Ver5.3以上	・Motif Ver2.0 ・C ・FORTRAN (77)
ＩＢＭ	ＲＳ６０００ｼﾘｰｽﾞ	AIX 3.2	

2. ＳＩＧＮＡＳ＿ＰＲＥＴＲの改良

ＰＲＥＴＲは、Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリング情報からＳＩＧＮＡＳの入力データを生成するものですが、その機能は大きく分けるとデータ変換とＳＩＧＮＡＳ入力データの出力に分けられます。

今回実施したＰＲＥＴＲの改良について、機能毎に以下に説明します。

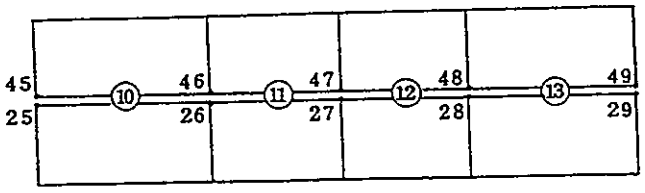
2.1 データ変換機能

1)ＳＩＧＮＡＳにおけるジョイント要素定義

ＳＩＧＮＡＳのジョイント要素は、不連続挙動を表現するために要素内で開口／閉口を許すモデルとして定義されます。このため、開口／閉口が生じる節点は、モデル化の初期状態（閉口状態）において、同一の座標値をもつ別の節点として独立していることが前提となります。これにより、隣接する有限要素の節点においてもこの開口／閉口する節点を考慮した要素定義が必要となります。

ＳＩＧＮＡＳでのジョイント要素と隣接する有限要素の要素定義を図２.1に示します。

2次元ジョイント要素

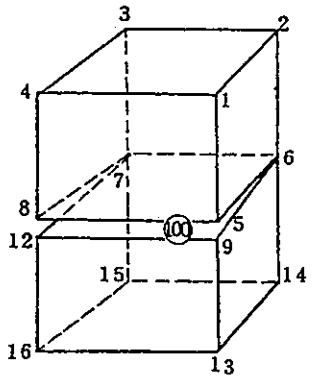


JOINT　4

10　25　26　46　45　0　1

13　28　29　49　48

3次元ジョイント要素



JOINT　10

100　12　9　5　8　1

図２.1 ＳＩＧＮＡＳでの要素定義

2)ＰＲＥＴＲでのジョイント要素の認識とデータ変換

Ｉ－ＤＥＡＳでモデリングする際、本来Ｉ－ＤＥＡＳの中にはジョイント要素と同等の要素は存在しておりません。したがって、-Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリングの段階で、ジョイント要素として判断ができるような何らかの約束を設けてＰＲＥＴＲへの情報を出力する必要があります。この情報があれば、ＰＲＥＴＲでジョイント要素を生成することが可能となります。

以下にジョイント要素としての認識の方法とＰＲＥＴＲでのジョイント要素への変換方法について説明します。

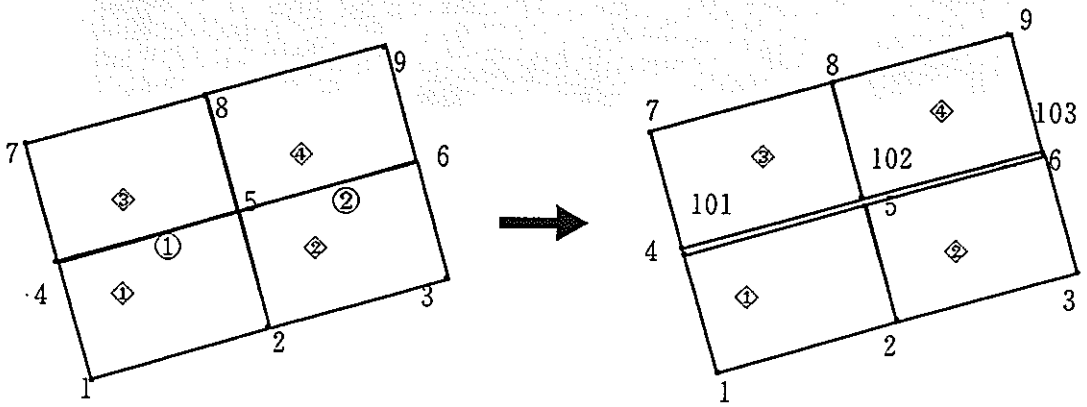
①Ｉ－ＤＥＡＳでは梁要素（ＬＩＮＥＡＲ＿ＢＥＡＭ）を用いて、ジョイント要素定義上の最初の２点を反時計回りに定義する。（ジョイント要素の構成節点は４点。図２.1参照）

②ジョイント要素にするための梁要素は必ずグループ化を行い、要素グループの名称として”ＪＯＩＮＴ＿”なるヘッダを付けるものとする。

③ＰＲＥＴＲでは、”ＪＯＩＮＴ＿”なるヘッダを識別し、ジョイント要素を生成するためにこの梁要素を構成する２端点の座標を検索し、同座標値を持つ新たな節点を生成してジョイント要素の構成節点とする。

④ジョイント要素に隣接する有限要素の構成節点を検索し、開口／閉口方向を考慮して、新たに生成した節点を用いて要素の再定義を行う。

このような方法でジョイント要素を生成する概念を図２.2に示します。



*** ジョイント要素生成のために ***

・グループ化した梁要素
　梁要素①（4-5）
　梁要素②（5-6）

・生成した節点　101,102,103
・再定義された有限要素
　平面要素③(101,102,8,7)
　平面要素④(102,103,9,8)

図２.2 ジョイント要素の生成

また、図２.３ に梁要素を代用してモデリングしたＩ－ＤＥＡＳでのトンネル解析モデルの例を示します。

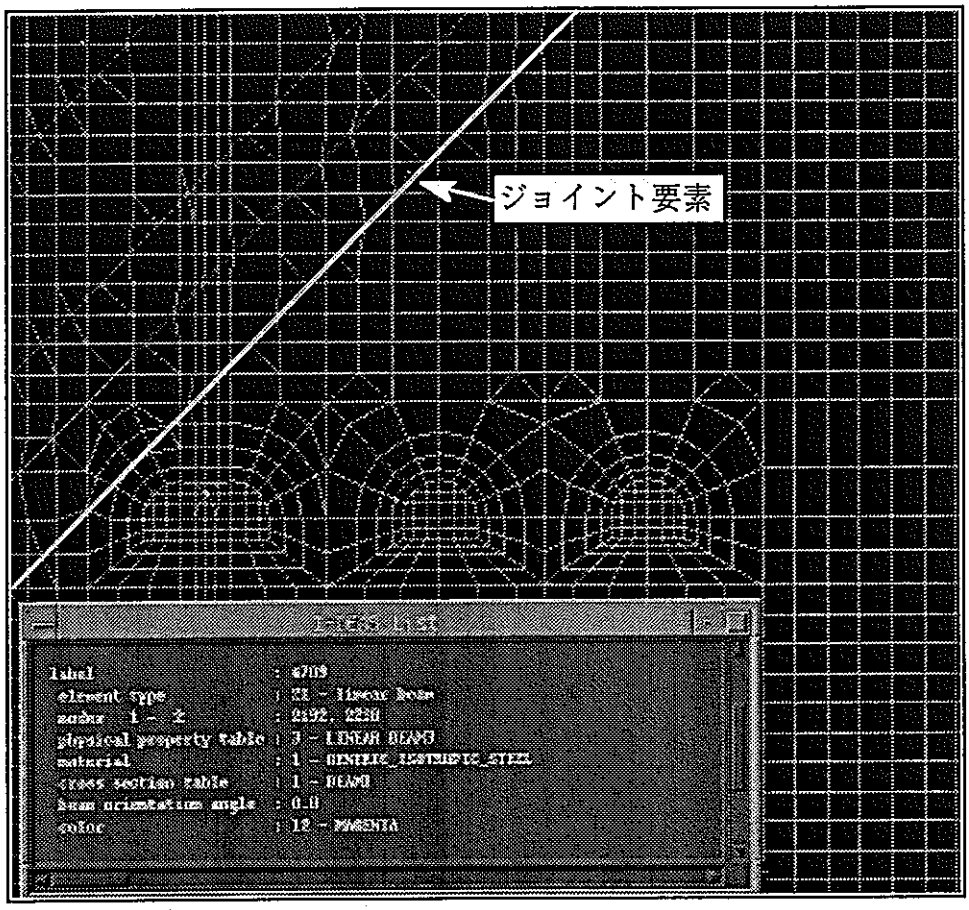


図２.３ Ｉ－ＤＥＡＳジョイント要素モデル化の例

3)削除要素グループのデータ生成

削除要素グループのデータ生成については、Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリングの際にステップ解析を考慮しながら、同一ステップで削除する要素をいくつかのグループに分けてグループ化処理を行って下さい。このとき、グループの名称として、”ＪＯＩＮＴ＿”以外の名称が付けられていれば、ＰＲＥＴＲでは削除要素グループのデータと認識し、ＳＩＧＮＡＳのデータ・キーワードである”ＤＥＬＥＭＥＮＴ”を生成後に、機械的にグループ内の要素を削除要素グループとして生成することができます。

2.2 ＳＩＧＮＡＳデータの出力

ジョイント要素の生成後、ＳＩＧＮＡＳ入力データとして出力します。このとき、新たに生成した節点は本来の節点データの後に追記の形で出力していますので、確認することができます。また削除要素グループについては、１つのグループ毎に"ＤＥＬＥＭＥＮＴ"を生成し、Ｉ－ＤＥＡＳでのグループ化のまま、要素データ定義の最後に追記しています。

以下に、生成されたＳＩＧＮＡＳデータの例を示します。

```
*
*-------------*
*   ELEMENT   *
*-------------*
ELEMENT
PLANE8    1    0    0    4
1      67      7      4     66
2     130     67     66    129
3     192    130    129    191
4     254    192    191    253
5     316    254    253    315
                ≀
PLANE3    1    0    0    3
205      69     63     68
206      62      9      2
207      69     71     63
208      10      9     62
277     127    132    133
                ≀
JOINT     2
4650      1     63   4566   4565
4651     63     71   4567   4566
4652     71    127   4568   4567
                ≀
DELEMENT
*DELM__GROUP1
4650   4651   4652   4653   4654   4655   4656   4657   4658   4659 &
4660   4661   4662   4663   4664   4665   4666   4667   4668   4669 &
4670   4671   4672   4673   4674   4675   4676   4677   8224
*
*-------------*
*  MATERIAL   *
*-------------*
```

資料２.１ ＳＩＧＮＡＳ生成データ例

３．ＳＩＧＮＡＳ＿ＰＯＳＴＴＲの改良

ＰＯＳＴＴＲに関しては今回は改良の対象外でしたが、ＰＲＥＴＲの改良によってジョイント要素の対応が可能となったことに伴い、２.１での約束に従って梁要素への逆変換を施し、ジョイント要素の表示ができるように改良しております。ただし、モデルとしてジョイント要素が表示できるのみで、解析結果については取り扱っておりません。

4．Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリングおよびＰＲＥＴＲ実行上の留意点

今回の改良に関するＵＩ－ＳＩＧＮＡＳの利用上の留意点を、モデリングとＰＲＥＴＲを中心に述べます。

4.1　Ｉ－ＤＥＡＳでのモデリング上の留意点

①ジョイント要素を生成するための梁要素の節点定義は、ジョイント要素の構成節点回り（反時計回り）を考慮して、左から右へ定義する。

②①によって定義されたジョイント要素を生成するための梁要素は必ずグループ化を行い、名称として”ＪＯＩＮＴ＿”を先頭につける。

③削除要素グループ生成のためのグループ化においては、”ＪＯＩＮＴ＿”で始まるグループ名称としない。

④削除要素グループのためのグループ化においてはＳＩＧＮＡＳでの解析ステップを念頭におき、異なるステップで削除する要素を同一グループに入れてはならない。

⑤ユニバーサル・ファイルへの出力に関する制御ではＦＥＭ情報をすべて出力するように設定しておく。

4.2　ＰＲＥＴＲ実行上の留意点

①ジョイント要素は、ＳＩＧＮＡＳの解析種別で静的応力変形解析の中の弾塑性解析機能でのみ使用可能である。したがって、ＰＲＥＴＲ実行時のデータ指定時に弾塑性解析以外が指定された場合は、ＰＲＥＴＲが自動的に解析種別を修正する。
但し、静的変形解析以外が指定された場合は、ジョイント要素のＳＩＧＮＡＳデータへの出力は行わない。

②削除要素グループデータの生成に関してはステップデータ”ＳＴＥＰ”との組み合わせは行っていない。したがって、ＳＩＧＮＡＳデータ生成後にステップデータを追加し、対応する削除グループを移動しなければならない。

③ステップ解析対応のデータの内、生成要素”ＧＥＬＥＭＥＮＴ”については、今回の改良では対応していない。