

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 委託研究概要報告書）

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
又	ZJ1201 96-002	1996.7.9

この資料は技術管理室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

1996年2月

株式会社 大林組

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

本資料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

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 委託研究概要報告書）

1 9 9 6 年 2 月

株式会社 大林組

限 定 資 料
PNC ZJ1201 96-002
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. G I S C A E 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G I S C A E 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、断層破碎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、空洞掘削が破碎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

目 次

3.2.1	解析条件の設定	30
3.2.2	解析ケース	32
3.2.3	解析結果	32
3.2.4	結果の考察	32
3.2.5	まとめと今後の課題	40
4.	地下水流动解析	41
4.1	本年度における解析条件	41
4.2	本年度の解析ケース	46
4.3	解析結果	46
4.4	考察と今後の課題	49
4.4.1	初期地下水表面の設定	49
4.4.2	地下水流动場の定量的評価のシステム化	49
4.4.3	物性値等の補間設定システム	50
5.	熱解析	51
5.1	解析ケース	51
5.2	解析結果	52
5.3	結果の考察	55
6.	サイト特性調査手法	56
6.1	各調査段階の想定	56
6.1.1	各調査段階の目標	56
6.1.2	各段階の調査の概要	56
6.2	各調査段階に適用される手法	57
6.3	調査手法の適用性の検討	61
6.3.1	ボーリング調査の削孔水	61
6.3.2	斜め削孔に対する適用性	62
6.3.3	ボーリング孔内試験の深度対応性	63
6.3.4	トモグラフィー調査の孔間距離	65
6.3.5	孔内試験の斜孔対応性	65
6.3.6	軟岩における原位置試験	65
6.4	まとめと今後の課題	66

1. C A E 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 I R I S 動画機能改良に関する調査

現在用いている動画機能は I R I S 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 G I S C A E 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、S U N 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 I R I S 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、G I S C A E 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、G I S C A E の継続的な課題である。

1.3 I - D E A S 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。

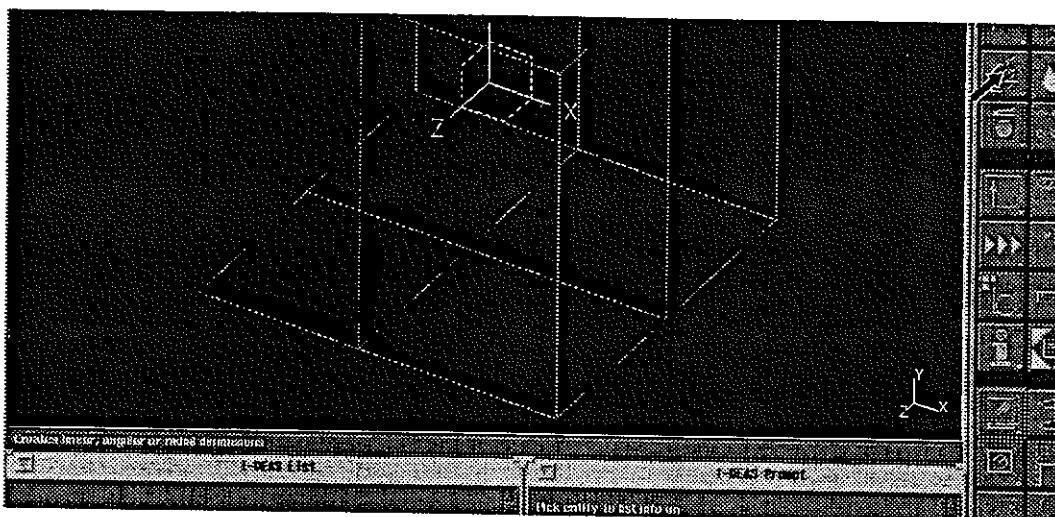


図-1.3.1 クイックヘルプの表示

② クリッピング機能の強化

ハードウェ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。

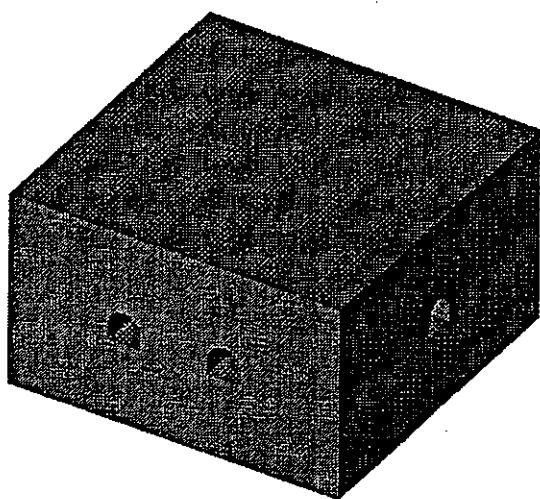


図-1.3.2 クリッピング機能OFF

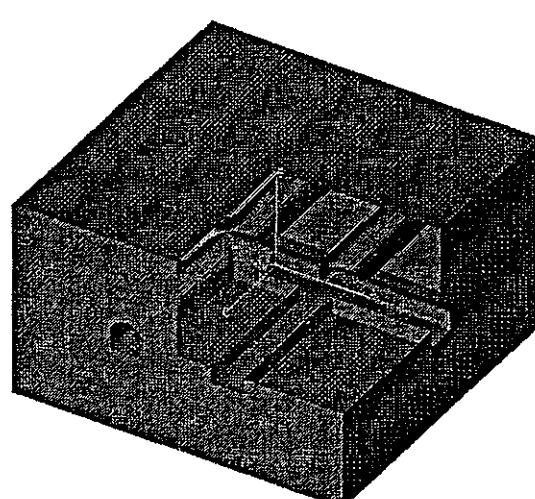


図-1.3.3 クリッピング機能ON

(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。

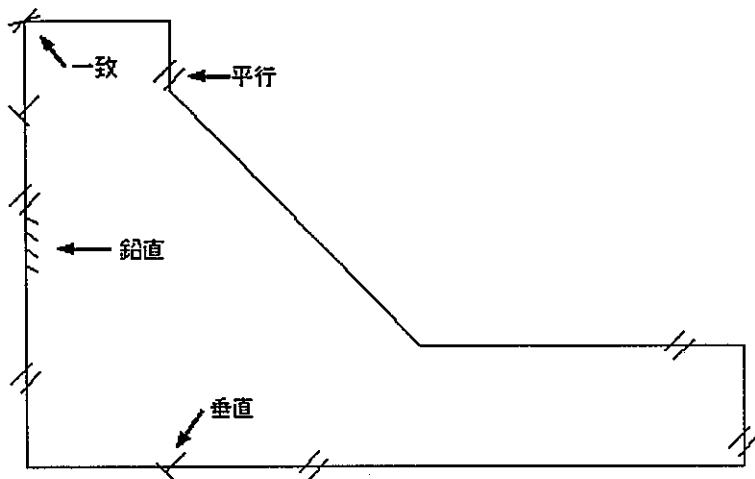


図-1.3.4 拘束条件のラベル表示

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)

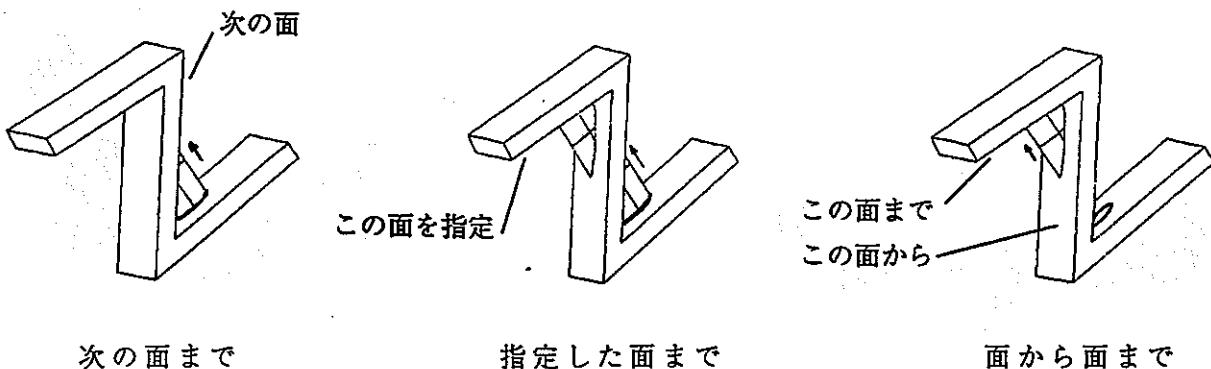


図-1.3.5 追加されたオプション

③ パーツの履歴ツリーの表示

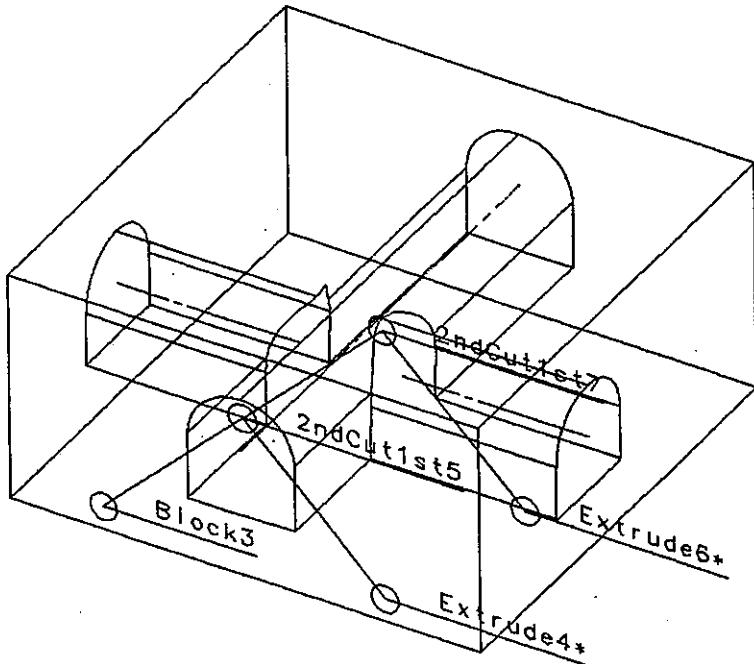


図-1.3.6 履歴ツリーの表示

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）

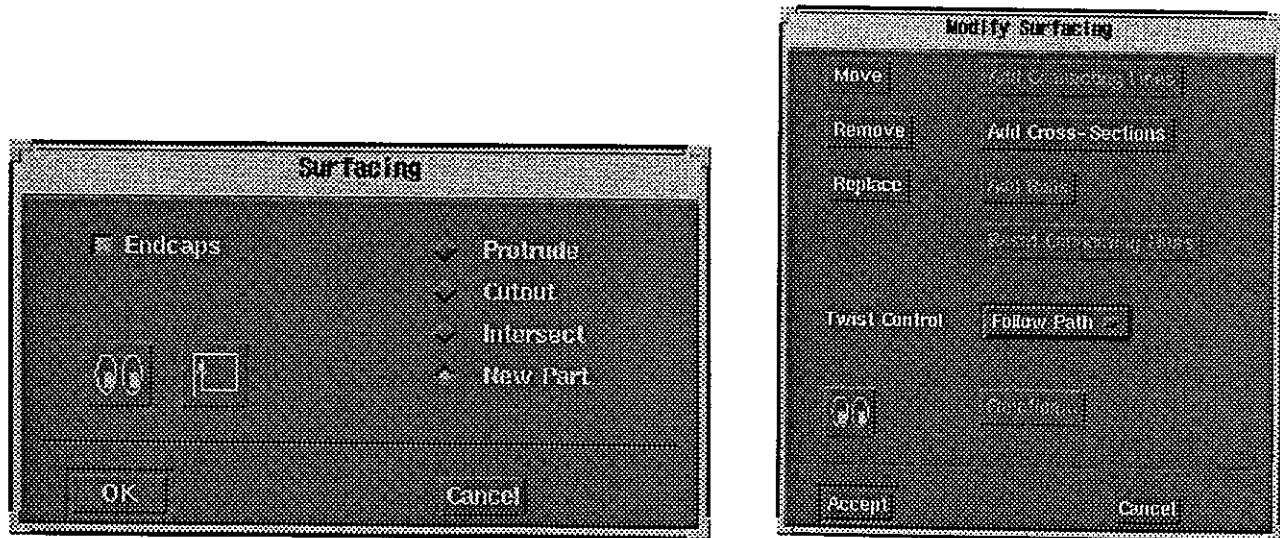


図-1.3.7 ロフト／スイープのフォーム

(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。

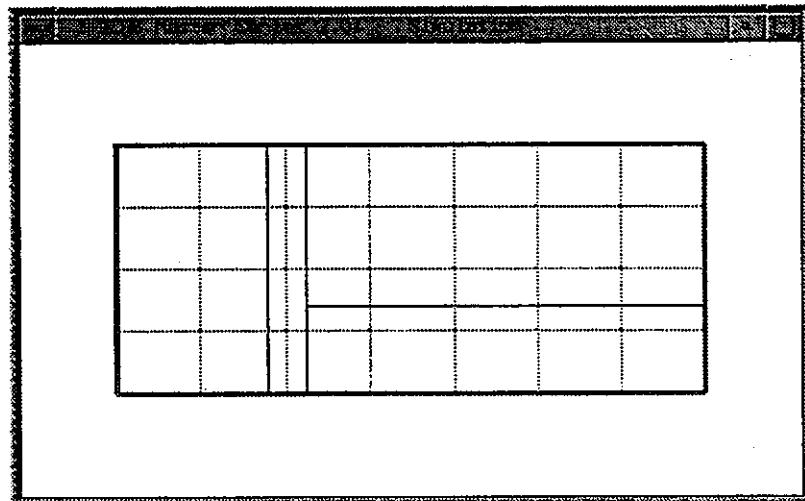


図-1.3.8 セクションメッシュ

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。

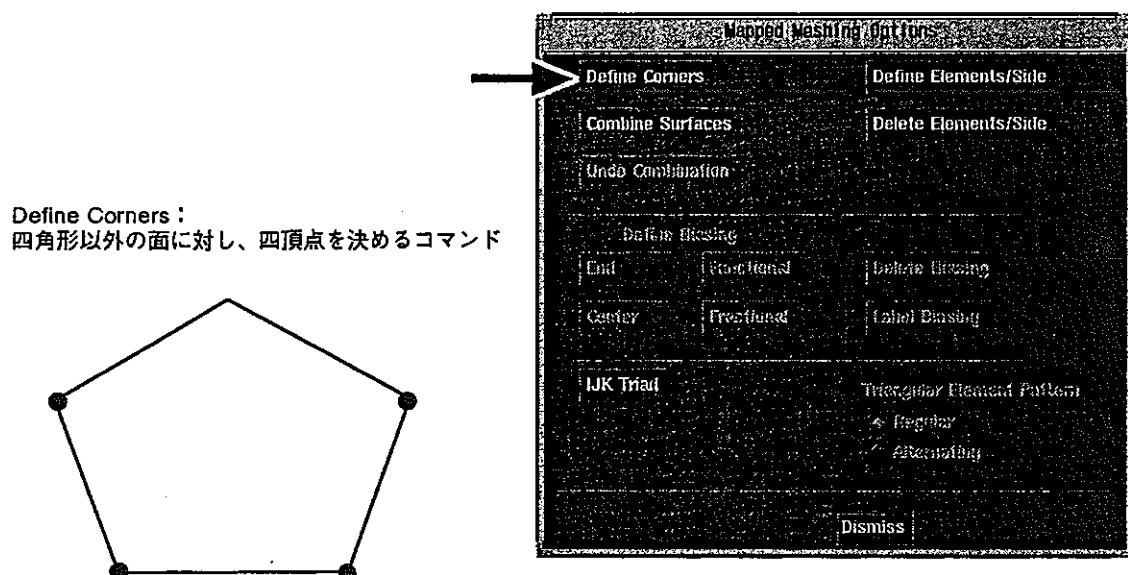


図-1.3.9 マップトメッシュオプションフォーム

③コンター図の表示速度の改善

Fast Display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UISIONS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、Master Series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UISIONS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 F I N A S、S I G N A S 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	F N S T A B		U I S I G N A S	
	UNV. 変換	FINASテータ変換	UNV. 変換	SIGNASテータ変換
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、F I N A S 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 G I S C A E 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 G I S C A E 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 G I S C A E 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 Tangent Analysis)
 - 3. Far Field Model (3-D Steady Analysis) ←----- (昨年度登録済)
 - 4. Far Field Model (2-D Saturated-unsaturated Tangent 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 Distribution 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 C A E 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
- ②U I - S I G N A S, F N S T A B のセーブファイルのバイナリー変換
(大型計算機→W S)
- ③処分施設配置地質図(モデル)の改良
- ④処分坑道図(モデル)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 U I - S I G N A S のトラブル対応について

- ①S I G N A S 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)
- ②S I G N A S 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W S上ではうまく作動しなかったが、弊社のW S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 F N S T A B 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(ユニバーサル・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F N S T A B(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、IDEAS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、IDEAS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) IDEAS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。

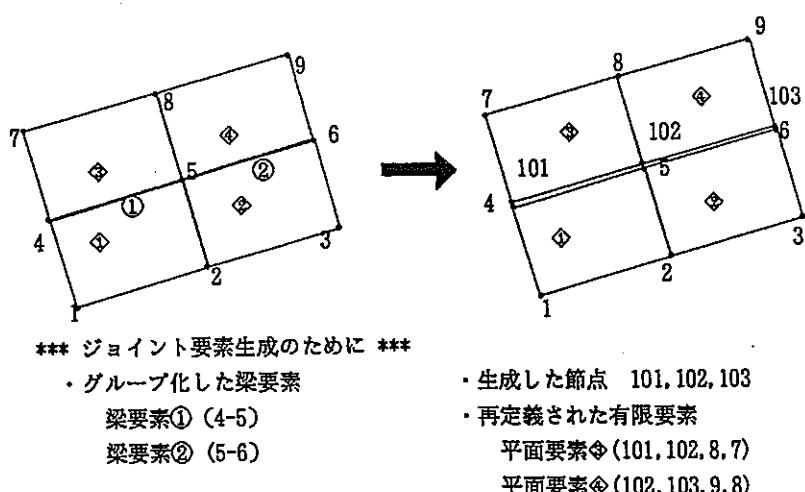


図-1.5.1 ジョイント要素の生成

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

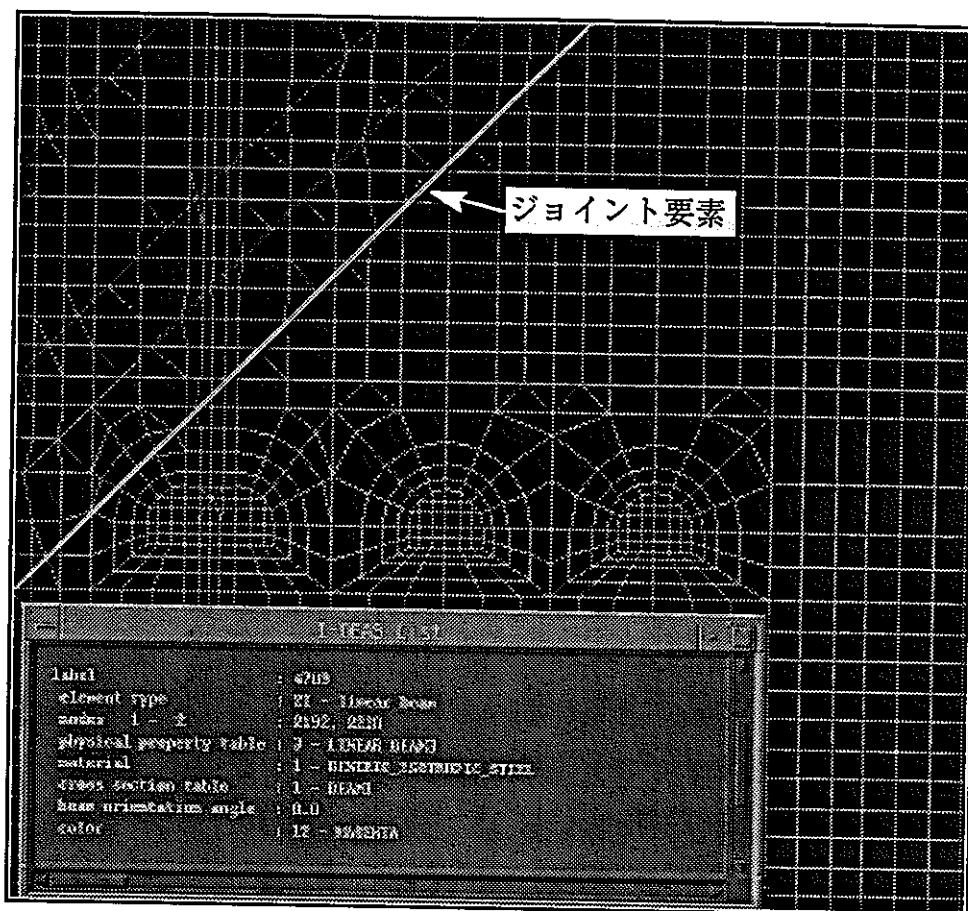


図-1.5.2 I - D E A S でのジョイント要素モデル化の例

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。）

1.6 今後の課題

G I S C A E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とどっている。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。G I S C A Eは現在、I R I S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L A N）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U I - S I G N A S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る。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3 D 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H T M L (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

現在動燃殿が保有している積算システムでは、データ入力項目としてアクセス坑道や処分坑道などについて、掘削単価、ロックボルト単価などが設定されており、結晶質岩系4ケース（C1～C4）、堆積岩系4ケース（S1～S4）の単価が設定されている。ここではシステムへの入力データの供給を目的とした単価の積算を行う。積算のケースは、1991.3「地層処分システムの設計研究（Ⅱ）」に示されている3ケースとする。この概要は表-2.1.1 および表-2.1.2 に示すようなものである。

表-2.1.1 本研究における積算ケース

積算ケース	対象岩種	処分形態	処分深度	動燃殿対応ケース
K 1	結晶質岩系岩盤	処分孔縦置方式	1,000m	C 2
K 2				C 1
T 1	堆積岩系岩盤	坑道横置方式	500m	S 1

表-2.1.2 積算ケースの概要

	部 位	内空断面	掘削工法	施工延長 (m)	掘削量 (千m ³)	工 期 (月)
結晶質岩系 k1	立 坑	円形φ 6.5m	発破NATM	6,200	297	177
	連絡坑道	ホロ型5×5 m	発破NATM	17,900	573	57
	主要坑道	ホロ型5×5 m	発破NATM	25,100	803	224
	処分坑道	ホロ型5×5 m	発破工法	321,400	8,400	328
	処分孔	円形φ 1.7m	TBM タイプ 挖削機	——	454	330
	合 計			370,600	10,527	485
結晶質岩系 k2	立 坑	円形φ 6.5m	発破NATM	6,200	297	177
	連絡坑道	ホロ型5×4 m	発破NATM	17,900	464	53
	主要坑道	ホロ型5×4 m	発破NATM	25,100	650	208
	処分坑道	円形φ 3.0m	TBM工法	321,400	3,019	312
	合 計			370,600	4,430	452
堆積岩系 T1	立 坑	円形φ 6.5m	発破（ショートステップ）	3,200	196	129
	連絡坑道	3 R 5.0m	ブーム式機械掘削	17,900	553	77
	主要坑道	3 R 5.0m	ブーム式機械掘削	25,100	775	304
	処分坑道	円形φ 3.0m	TBM工法	321,400	3,873	312
	合 計			367,600	5,397	470

*掘削量は余掘を含む地山体積。工期は部位単位のため合計=全体工期とならない。

2.1.1 積算方法

(1) 横坑・発破工法の積算方法

積算は、以下に示す表を順次作成する事によって行う。なお、ブーム式機械掘削工法についても同様の積算方法による。

①サイクルタイム表：1掘進当たりの単位作業に要する時間を算定し月進を算出する。

この表は機械損料補正に用いられる。

②積算単価表：原則として公開資料（建設物価：材料は平成7年3月東京、労務は平成6年6月東京）に基づいて設定する。

③機械損料補正表：平成6年度版建設機械等損料算定表により標準的な損料を求め、作業条件による補正を行う。

④直接工事代価表：積算単価表および機械損料補正表を用いて、各工種毎に労務費、材料費、機械損料、諸雑費を求め、各工種毎の直接工事費単価を算定する。

⑤共通仮設工事代価表：共通仮設の項目毎に積み上げ積算を行い、各項目毎の単価を算定する。

⑥総括表：直接工事代価表および共通仮設工事代価表から純工事費を算出する。また、純工事費から率計算により現場管理費および一般管理費を算出する。

(2) 横坑・TBM工法の積算方法

TBM工法については、発破工法のように公開資料による積算基準はないため、過去の施工実績における費用を参考として、今回の施工条件に応じた単価修正を行うこととし、その結果を総括表にまとめることとする。

(3) 立坑の積算方法

立坑についてもTBM工法と同様、公開資料による積算基準はない。さらに立坑工事は特殊性が強く参考となる事例も少ないので、今回の積算にあたっては人件費、設備・機械費、材料費を「設計研究（II）」に示された施工条件に基づき独自に費用を積み上げて積算することとする。従って積算にあたって作成する表は、人件費計算表、使用機械・設備価格表、総括表である。

(4) 処分孔の積算方法

「設計研究（II）」では、処分孔の施工に全断面掘削機（TBM類似仕様）を使用する計画となっているが、このような施工の実績はまだない。従って今回は、Φ1.7mのTBMによる施工として積算することとする。

2.1.2 積算結果

表-2.1.1 におけるK-1、K-2、T-1の3ケースの積算結果を動燃殿の単価と合わせて表-2.1.3～5に示す。

表-2.1.3 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	
		インパート費	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	
		掘削費	6,327,680,500	572,900	m3	11,045	41,000
K-1	連絡坑道	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	
		インパート費	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		
		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	
K-1	主要坑道	覆工費	3,980,401,600	133,840	m3	29,740	
		インパート費	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		
		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		
K-1	処分坑道	インパート費	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	
		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		
K-1	処分孔	インパート費	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-2.1.4 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	動燃段単価
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	
		インパート費	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	
		インパート費	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	
主要坑道	現場管理費	0	1	式			
		一般管理費	0	1	式		
		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	
		インパート費	950,353,040	50,960	m3	18,649	
		補助工費	0	0	m3		
処分坑道	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	
		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		
		インパート費	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-2.1.5 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	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	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	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	

2.1.3 動燃殿単価との比較

(1) K-1とC-2の比較

アクセス坑道の掘削費は動燃殿単価65,000に対して70,000とやや高めの単価となって いる。横坑（連絡、主要、処分坑道）の掘削単価は動燃殿単価41,000に比べ約11,000と かなりの開きがある。この原因としては、動燃殿単価に補助工費および仮設費が含まれ ていることが考えられる。処分孔については1本当たりの動燃殿単価が5,280,000 であ るのに対して1,330,000 となった。これについては動燃殿単価における施工方法がまっ たく不明のため比較が困難である。

(2) K-2とC-1の比較

アクセス坑道、主要・連絡坑道についてはK-1と同様である。処分坑道（TBM） について動燃殿単価の354,000 に対して45,000となっている。この動燃殿の単価は35,4 00の入力ミスの可能性が考えられるが、これが正しいものとするところは補助工費から 一般管理費までを含んだ単価であることも考えられる。

(3) T-2とS-1の比較

アクセス坑道については、ほぼK-1、K-2と同様のことが言える。連絡坑道、主 要坑道についてもほぼK-1、K-2と同様の結果となっているが、このケースに関し て動燃殿の掘削単価には支保工費用が含まれていることが考えられる。処分坑道につい ては動燃殿単価は58,000であるのに対して54,274と若干低めの単価となっている。

2.1.4 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。

2.2 岩盤工学データベース

処分施設の設計においては様々な種類の解析や検討が必要であり、このためには入力物性値として岩盤に関する各種データが必要となる。これらデータはデータベースとしてシステム化されるが、ここではこの岩盤工学データベースに資するため、地下発電所、地下岩盤タンクに関する文献調査より岩盤物性値の調査を行うこととする。

2.2.1 調査結果

今回の調査範囲は、地下発電所、地下岩盤タンクに関する公開資料であり、それらの文献から抽出した物性値を表-2.2.1 に示す。これらはほとんど力学物値であり、これは設計にあたって空洞の安定性の検討が主となることに加え、現場および室内で通常実施される試験項目は限定されることがあげられる。

2.2.2 既往の収集データとの比較

岩盤物性に関して広くデータを収集した成果として、動燃殿公開資料の「文献調査による我が国の岩石の物理特性に関するデータの収集(PNC TN7410 92-018)」があり、これと今回の調査データの比較を行い、これを表-2.2.2 に示す。

各物理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こともあるため、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いが、これも今回調査のデータ数から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に関しては、データ件数に差が大きいため明確なことは言えない。

2.2.3 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、熱物性、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。

表-2.2.1 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	花崗閃綠岩、斑状細粒閃綠岩	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	閃綠岩、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	—
保野川	花崗岩、ひん岩	CH,CM	87.00	64.20	—	—	0.21	0.16~0.23	2.00
天山	花崗閃綠岩	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。

表-2.2.2 岩種別物理特性値の比較

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 10件	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
	平均値	139.1	-	24.10	-	0.290	-	20.0	-	11.9	-
流紋岩類 4件	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	-
	平均値	109.1	-	16.60	-	0.290	-	16.4	-	7.7	-
玄武岩類 1件	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
	平均値	141.9	-	25.00	-	0.300	-	23.6	-	10.9	-
新第三紀堆積岩 2件	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
	平均値	27.1	-	6.45	-	0.310	-	5.0	-	5.7	-
先新第三紀堆積岩 6件	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
	平均値	138.5	-	27.40	-	0.170	-	22.0	-	12.1	-
片岩 1件	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	-
	平均値	85.1	-	47.60	-	0.300	-	12.9	-	7.3	-

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に影響を与える要素の一つとして、断層が考えられる。この影響とは断層からの離間距離であり、断層の規模に応じて、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に分類される。この場合問題となるのは

- ① どの程度の規模以上の断層が処分場として避けるべき断層となるのか
- ② 断層からの離間距離は何m程度必要か

の2点と考えられる。これらの点について、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。

3.1.1 スイスにおける断層のモデル化

スイスでは、現在フェーズIのサイト特性調査が終了した段階にある。このフェーズIでは、スイス北部の約90km×30kmの範囲が調査され、断層等の不連続面が大きくは以下の4つに、より詳細には表-3.1.1に示すように分類されている。

- 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）
- 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）

分類された断層の内、1st、2ndオーダーの断層についてモデル化したのが図-3.1.1(の下側)である。このモデルを基にスイスでは処分場の配置の可能性を検討している。すなわち、間隔が5～7kmの1stオーダーの断層を範囲境界とした2ndオーダーの断層モデルを統計的に発生させ、その結果得られた図-3.1.2に示すようなモデル図において区画配置の可能性を検討している。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。

一方、断層からの離間距離については、これを100mとしている。この理由として、低透水性の岩盤が100mあれば、処分場から出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あげている。さらに、天然バリアにおける核種の保持はクリティカルではなくなったとして、離間距離が100mより小さくなる可能性や、2ndオーダーの断層を貫く処分区画の建設の可能性を示唆している。

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		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	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	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		断層に伴い異なる破碎帯を発生するか、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）	現地調査によるマッピング 物理探査（磁気探査等）	コア調査、 検層+ 薄片調査	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。

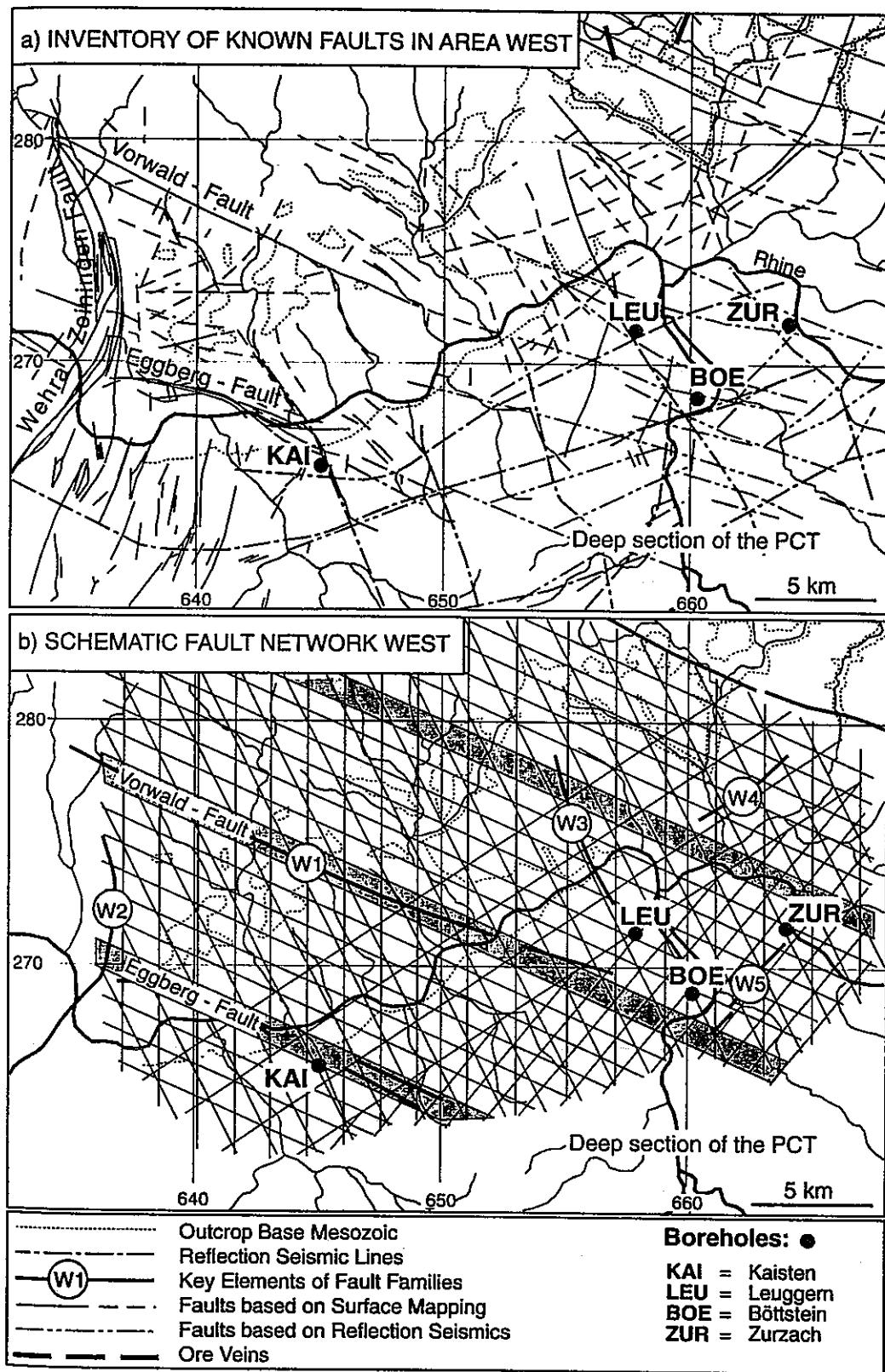
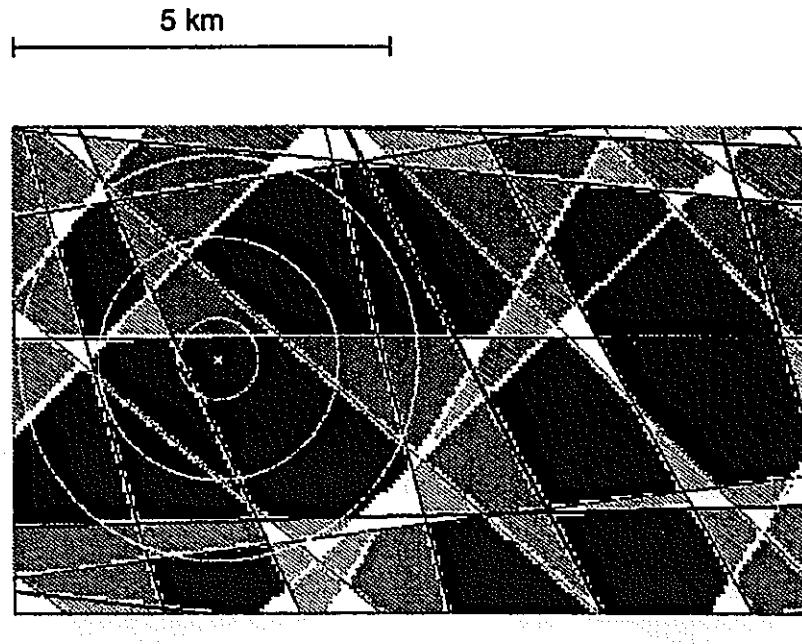


Fig. 5-7a : Inventory of structures in the area West. Seismically mapped faults and depth lines of the Top Basement in black, structures mapped by surface geology in red (incomplete!).

Fig. 5-7b : Schematic fault network of the area West.

図-3.1.1 スイス北部・西地区の断層とそのモデル化



(同心円とその中心は、ランダムに打たれたボーリングからの距離とその中心を示す。)

図-3.1.2 処分場配置検討のための 2ndオーダーの断層モデル

3.1.2 スウェーデン・フィンジョンサイト

ジェネリックな処分場の検討と、安全評価を行うスタディサイトとしてフィンジョンサイトが選定された。ここでは広域から準広域、地域スケールといった3段階の調査が行われ、図-3.1.3 に示すような断層モデルが作成された。ここでも階層的な断層の分類がなされている。これら断層の内図-3.1.4 及び表-3.1.1 に示す14本の破碎帯が、処分場配置のケーススタディにあたって考慮されている。

処分場の配置にあたっては、処分場の外縁を規定する主要な破碎帯として、破碎帯1、破碎帯2、破碎帯4、破碎帯12を設定し、それらからの離間距離を100mとしている。これら処分場として避けるべき破碎帯は、表-3.1.1 に示した幅からすると、スイスにおける1st～2ndオーダーの断層に相当する。この内破碎帯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すると共に処分深度を規定している。上記の考え方に基づいて2案の処分場の配置例が考えられており、その1案を図-3.1.5 に示す。（他の1案は処分坑道の方向が異なる案である）

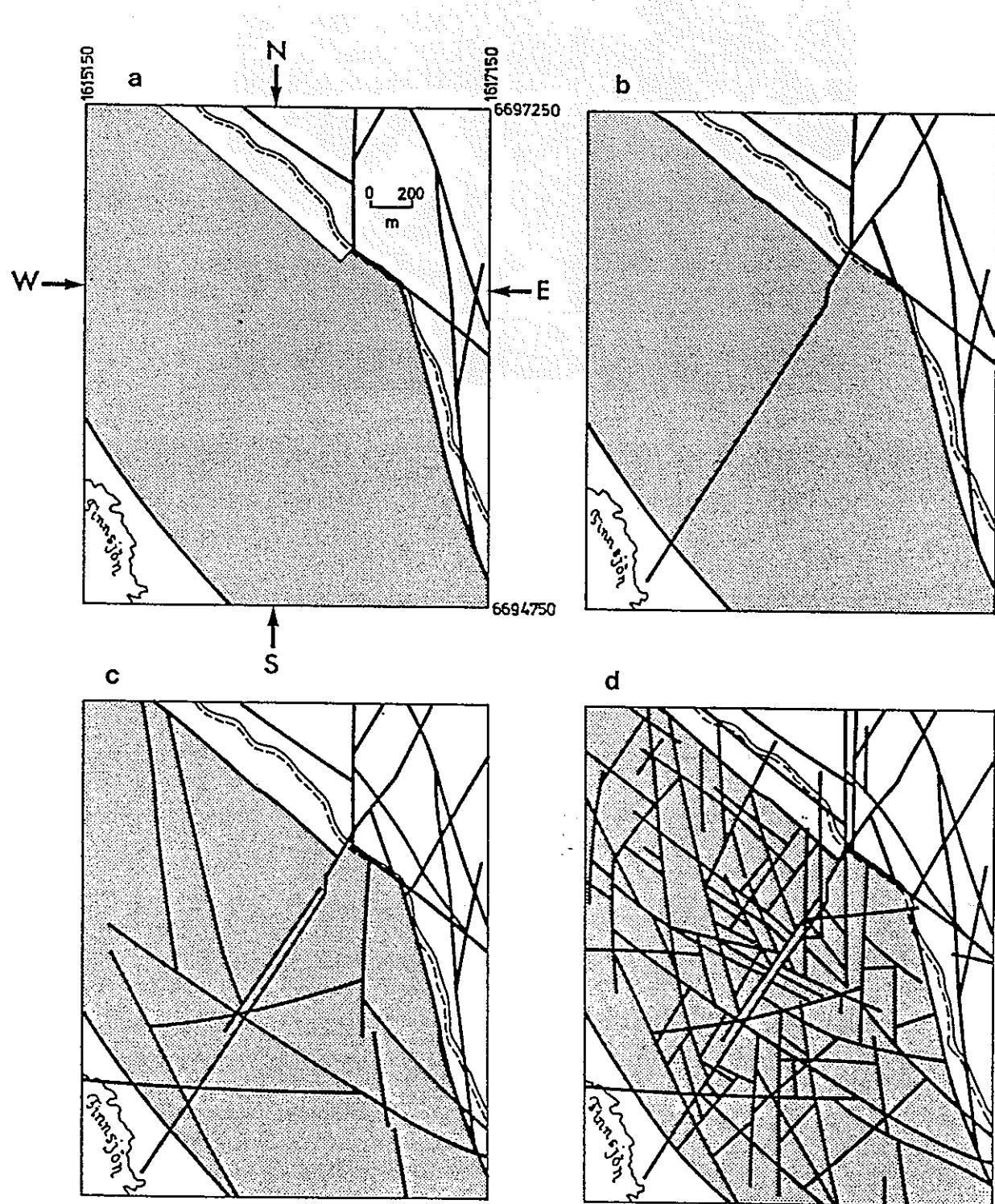


Figure 11. Four orders of rock block boundaries in the Finnsjön site.: a. first order structures, b. with second order structures added, c. third order added and d. all four order structures compiled.

図-3.1.3 地域スケールにおける岩体構造の階層

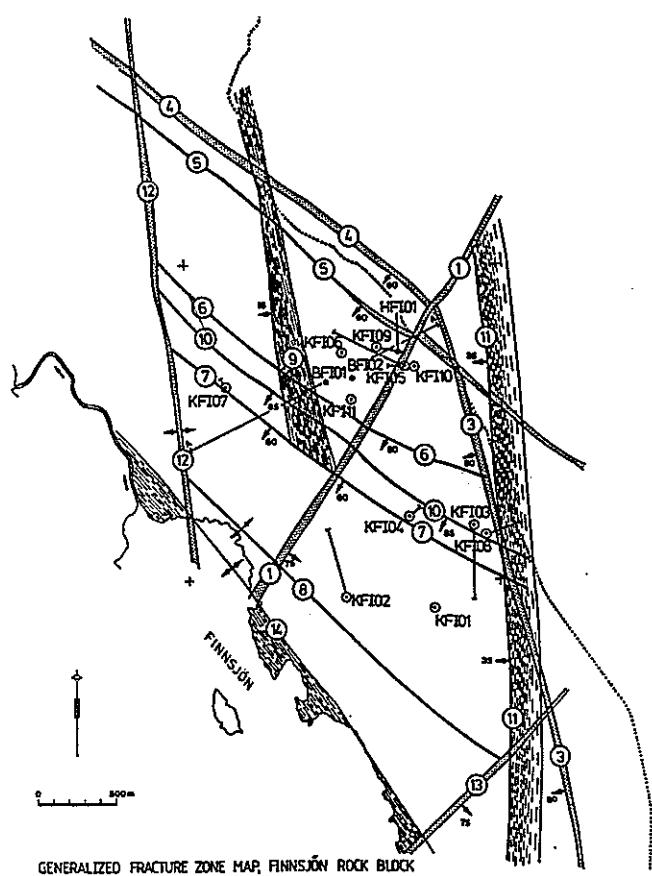


図-3.1.4 フィンジョンサイトにおける破碎帶

表-3.1.1 フィンジョンサイトにおける破碎帶

破碎帯	走 向	傾 斜	長さ (km)	幅 (m)
1	N 30 E	75 SE	5	20
2	N 28 W	16 SW	1.5	100
3	N 15 W	80 W	5	50
4	N 50 W	65 SW	1	10
5	N 50 W	60 SW	5	5
6	N 55 - 65 W	60 SW	2	5
7	N 55 W	60 SW	2	5
8	N 50 W	90	3	5
9	N 10 W	15 W	2	50
10	NW	85 SW	2.5	5
11	N 5 W	35 W	2	100
12	N - S	90	6	25
13	N 30 E	75 SE	7	20
14	NW	90	> 50	100

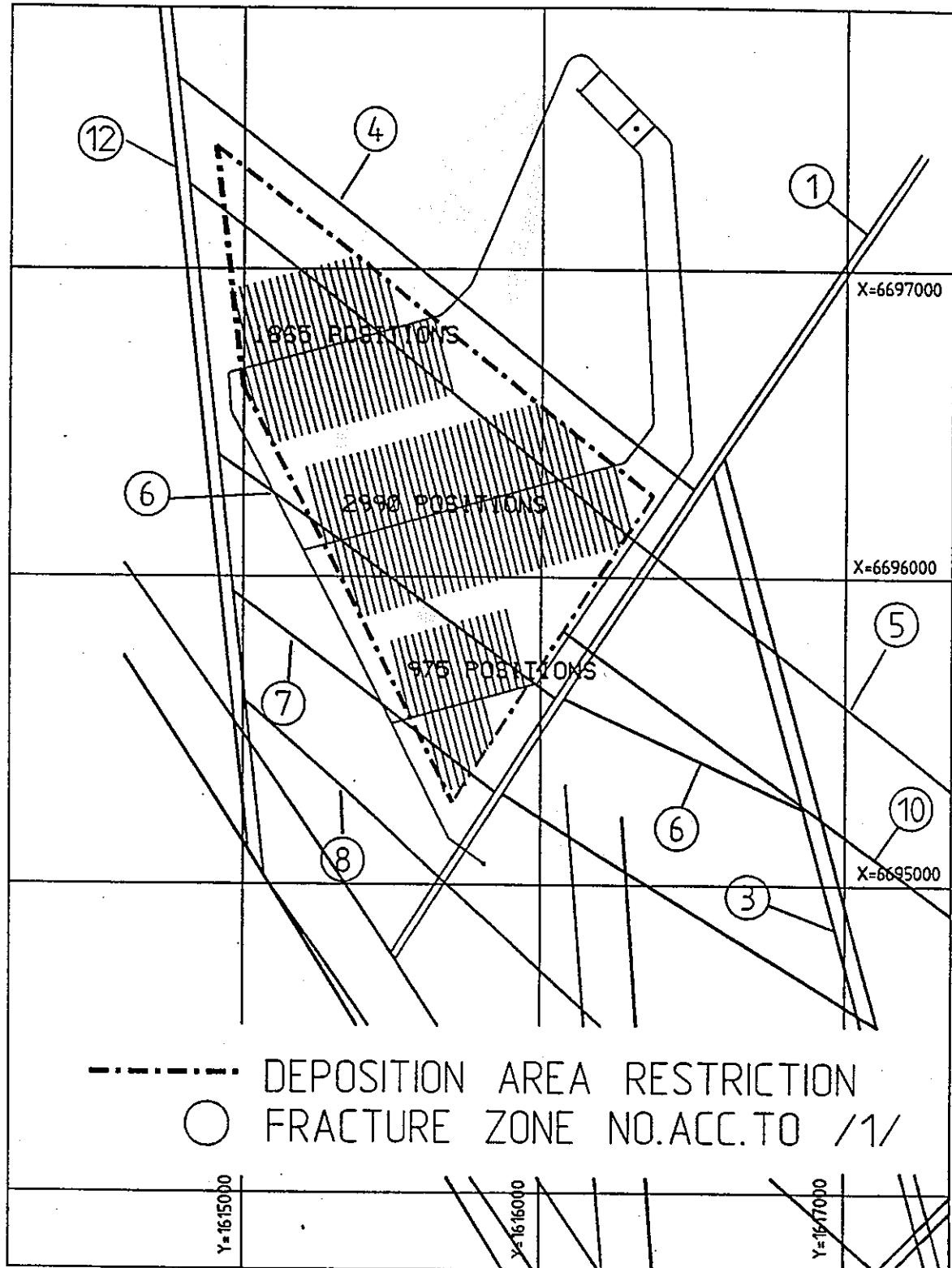


Figure 4 Repository layout with north/south orientation of deposition drifts. Level -600 m.

図-3.1.5 フィンジョンサイト処分場配置例

3.1.3 断層破碎帯とレイアウトの関係

以上に述べた2つの事例から断層規模とレイアウトの関係をまとめると、表-3.1.2のようになろう。

表-3.1.2 断層規模とレイアウトの関係

	処分場として避けるべき断層	処分区画として避けるべき断層
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オーダーの断層	—————

* 1stオーダーの断層：長さ10km以上、幅数100m～1km

* 2ndオーダーの断層：長さ数km～10km、幅数m～100m

両国の事例に共通して言えるのは、

「幅10～20m以上の断層・破碎帯から100mの離間距離をとる」

となる。ただし、避けるべき断層として明記されているのは、スイスにおける処分区画として避けるべき2ndオーダーの断層のみであり、スウェーデンでは処分区画として避けるべき断層という概念はないようである。（スウェーデンでは断層との交差部にはプラグを設け、そこには処分しないという対処方法によっている。）

さらに両国とも、処分場として避けるべき断層という考えはそれほど明確ではない。スイスでは1stオーダーの断層の中に、スウェーデンでは2ndオーダーの破碎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。スイスの考えによれば、安全評価の観点からは低透水性の岩盤が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。大規模な断層をまたぐことで問題となるのは、むしろ「施工性」や「用地確保」ではないかと考えられる。大規模な断層を貫いてトンネルを掘削することは、不可能ではないにしてもかなりの困難が予想される。また、離間距離を考えると処分区画と区画が数百m以上離れことになり、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り、用地確保の観点からは好ましくない。

従って、今後の断層規模とレイアウトの関係の検討の観点として、この施工性と必要面積を取り上げることが考えられる。

3.2 離間距離に関する感度解析

昨年度の検討においては、離間距離のみをパラメータとする解析検討を行ったが、本年度は離間距離に加えて断層規模、物性値、破碎帯部の特殊要素をパラメータとする感度解析を行うこととする。

3.2.1 解析条件の設定

(1) 破碎帯幅と坑道離間距離

破碎帯幅について昨年度は10mに固定したが、今年度はこれを5m、10m、20m、30mの4ケースとする。また、坑道離間距離については、昨年度のケースに1D(D=坑道径)を加え0.5D、1D、3D、5D、10Dの5ケースとする。

今年度における解析モデル概念図を図-3.2.1に示す。

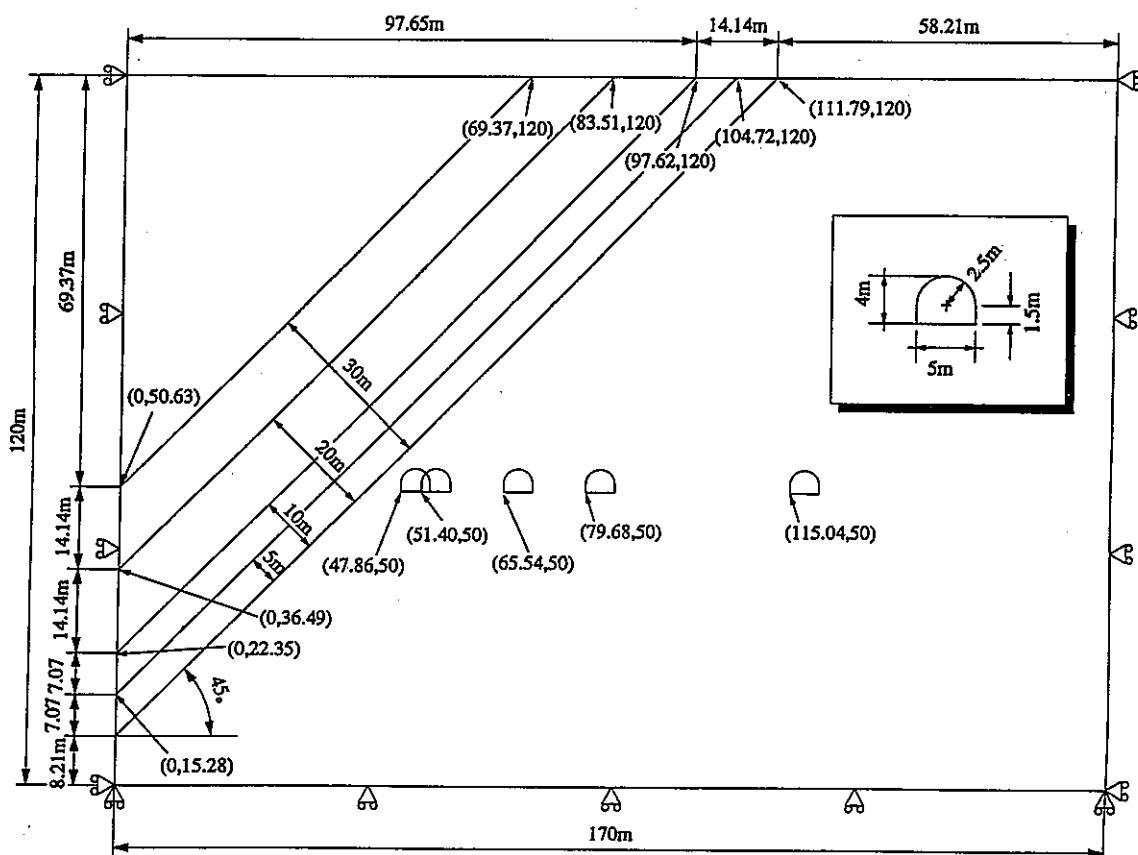


図-3.2.1 解析モデル概念図

(2) 特殊要素の考慮

FEMモデルにおける破碎帯のモデル化方法の一つとして、物性値を低減させる方法と共に特殊要素を用いる方法がある。今回用いる解析コードSIGMASではジョイント要素がこれに相当し、ここでは摩擦型のジョイント要素を適用する。

ジョイント要素は、ジョイントの閉合時およびすべり以前では、垂直・せん断に対して一定の剛性を有するバネとして扱われる。また、ジョイント要素両側の垂直変位差が > 0 の場合は開口とし、ジョイントの全応力が開放される。垂直変位差が < 0 の場合は閉口であり、せん断応力がジョイントのせん断抵抗の範囲にあるときはジョイントにせん断変形を生じ、これを越えたときはすべりを生じ、抵抗を越えた部分のせん断力は開放される。

(3) 入力物性値の検討

健岩部の物性についてはその変化の影響を調べるため、昨年度採用した動燃殿の公開資料における結晶質岩系岩盤Aに加えてBを用いる。

破碎帶の物性値について昨年度は複数の文献調査から低減率を求め、そ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、設定した物性値の現実性が問われる。そこで、破碎帶物性値とジョイント要素物性値の解析結果への影響度について、予備的な解析検討を行った。その結果、ジョイント要素物性値は破碎帶物性値に比べ変化させた場合の影響が小さいことから、今回の解析ではジョイント要素物性値は固定することとする。破碎帶物性値については、その変化の影響が小さくないと考えられることから、文献における低減率の最小値から求められる最大値と、低減率の最大値から求められる最小値を採用することとした。表-3.2.1 および表-3.2.2 に今回の解析における入力物性値を示す。

表-3.2.1 健岩部および破碎帶の入力物性値

項目	健岩部		破碎帶		
	標準的* 岩盤A	軟弱 岩盤B	最大値	標準的*	最小値
単位体積重量(N/m ³)	26,478	26,478	26,213 (0.99)	23,830 (0.9)	18,270 (0.69)
弾性係数(MPa)	30,000	10,000	16,500 (0.55)	9,000 (0.3)	300 (0.01)
粘着力(MPa)	7.5	6.0	7.125 (0.95)	3.750 (0.5)	0.003 (0.0004)
内部摩擦角deg	35	30	35 (1.0)	24.5 (0.7)	17.5 (0.5)
ポアソン比	0.2	0.2	0.2 (1.0)	0.2 (1.0)	0.2 (1.0)

* : 6年度における物性値 () 内は健岩部Aに対する低減率

表-3.2.2 ジョイント要素の入力物性値

項目	物性値
垂直剛性(MPa/m)	100,000
せん断剛性(MPa/m)	5,000
粘着力(MPa)	1.0
内部摩擦角(deg)	20

3.2.2 解析ケース

本年度における解析ケースを表-3.2.3 に示す。

表-3.2.3 離間距離感度解析のケース

ケース	ジョイント要素	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	

3.2.3 解析結果

解析結果の出力例として、ケース 2 についての最大主応力分布と最大せん断ひずみ分布を図-3.2.2 および図-3.2.3 に示す。離間距離検討の指標となる断層破碎帯への掘削の影響の見方は、昨年と同様坑道に最も近い破碎帯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（掘削前 - 掘削後）／掘削前 × 100(%) とした。これらの結果を図-3.2.4 ~ 図-3.2.7 に示す。

3.2.4 結果の考察

(1) ジョイント要素の影響（図-3.2.4）

最大主応力、最大せん断ひずみ共にジョイント要素を適用した方が変化率は大きくなっている。この傾向は離間距離が 0.5D、1 D に関しては明瞭であるが、3 D 以上にな

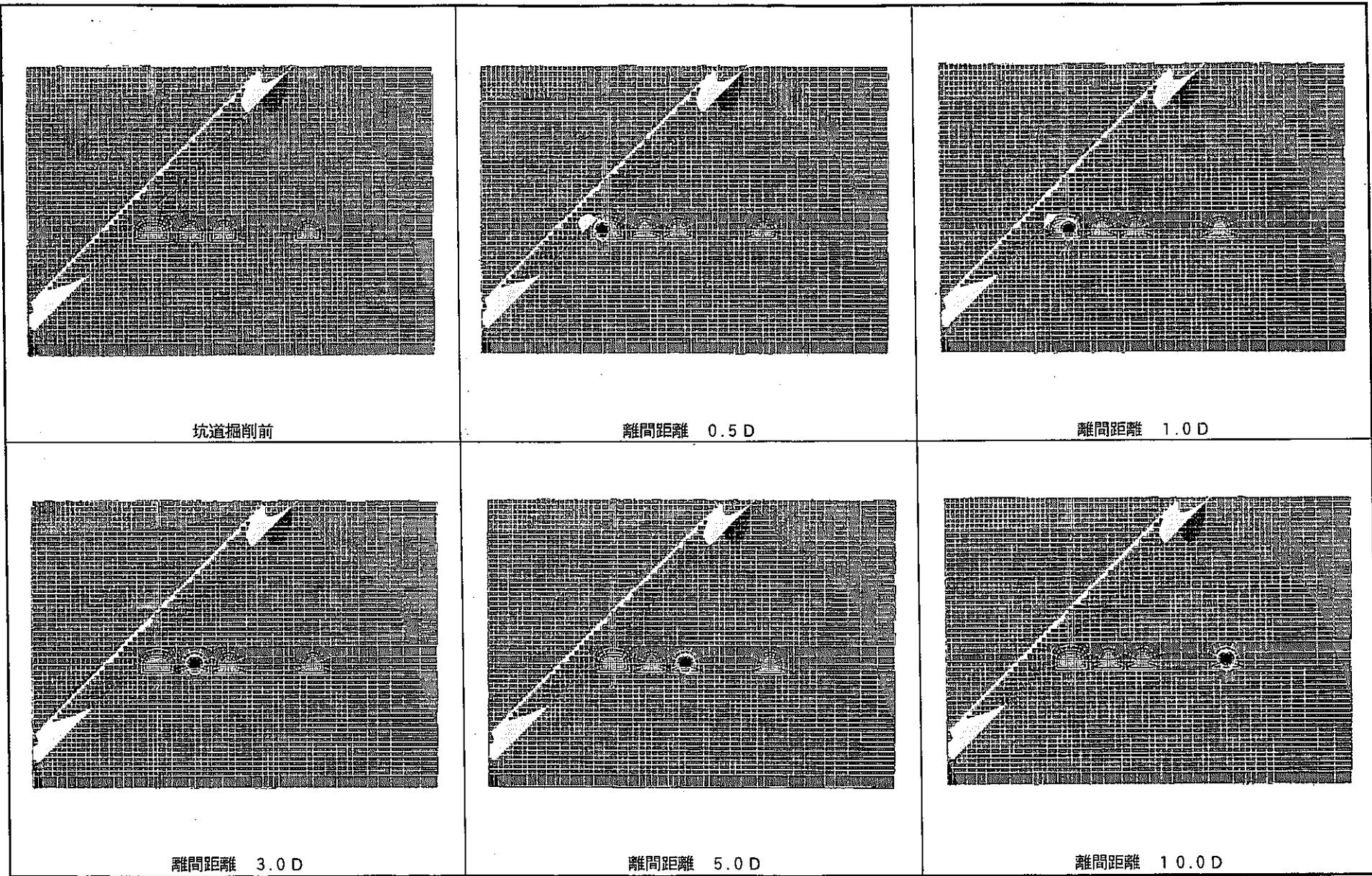


図-3.2.2 最大主応力分布（ケース2）

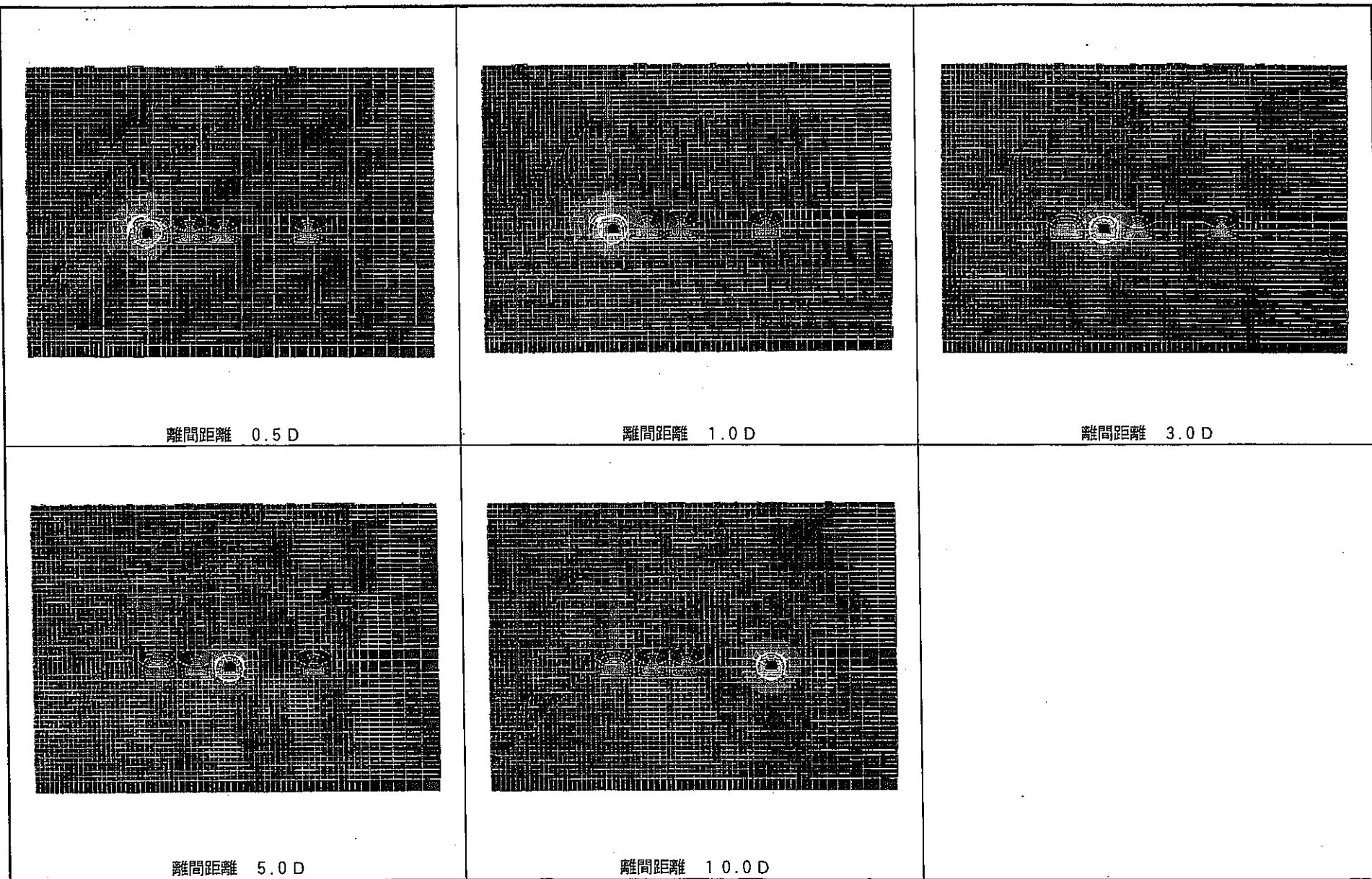


図-3.2.3 最大せん断ひずみ分布（ケース2）

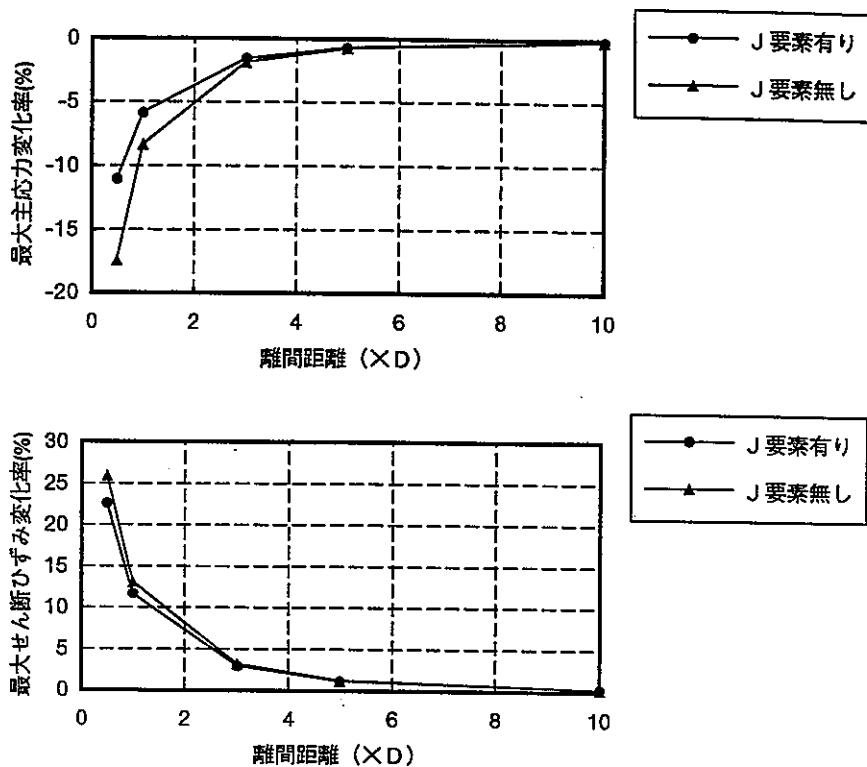


図-3.2.4 ジョイント要素の影響（解析ケース1、2）

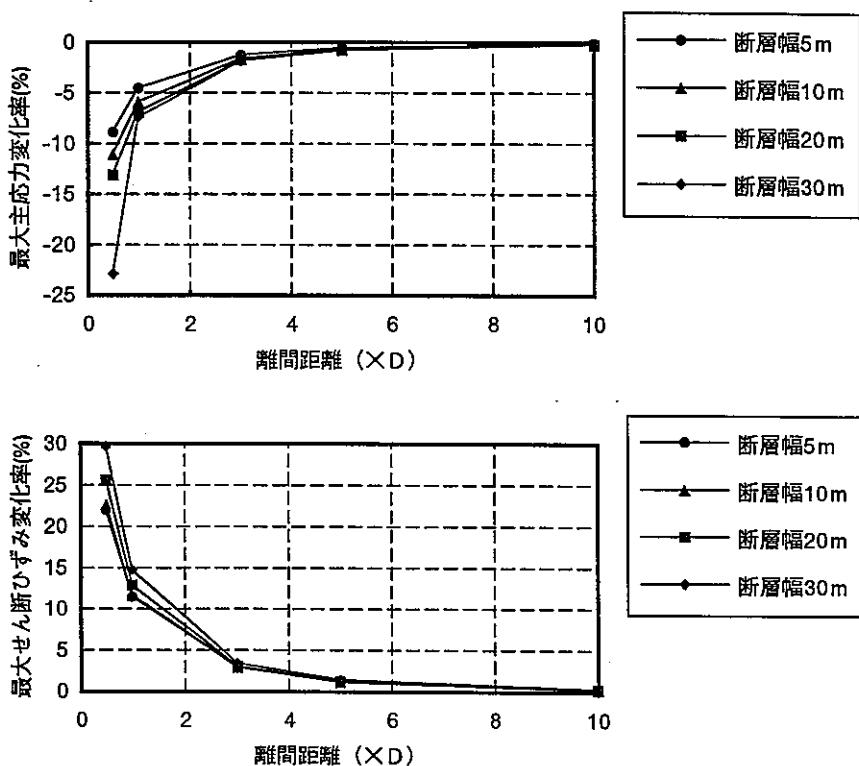


図-3.2.5 断層幅の影響（解析ケース2、3、4、5）

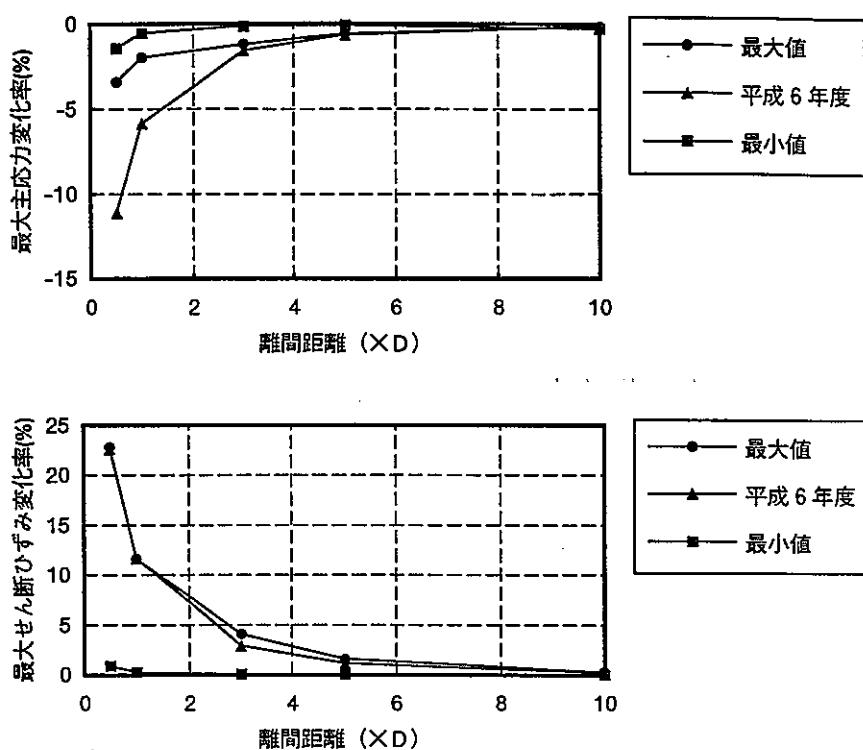


図-3.2.6 断層部の物性値の影響（解析ケース 2、6、7）

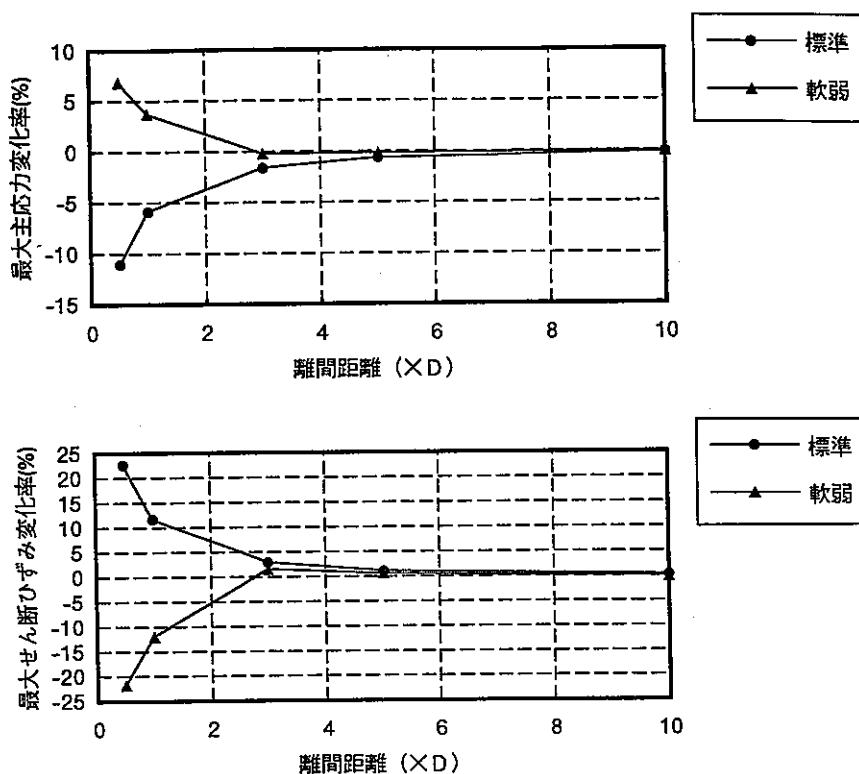


図-3.2.7 健岩部の物性値の影響（解析ケース 2、8）

るとほぼ同程度となり変化率の大きさそのものも小さくなる。よって、坑道掘削による断層部への影響は、ジョイント要素の有無に係わらずほぼ 3 D 以内であると言えよう。

(2) 断層幅の影響（図-3.2.5）

断層部分の最大主応力、最大せん断ひずみ分布は、断層幅が大きくなるにつれて減少している。これは、ジョイント要素と反対側の健岩部－断層部境界の影響が、断層部分によって緩和されるため、断層幅が大きくなるにつれて減少したものと考えられる。また、応力、ひずみの変化率については断層幅に比例するが、離間距離が 3 D 以上になるとほぼ同じになりその大きさは小さくなる。

(3) 物性値の影響（図-3.2.6 及び7）

断層部の物性値について最大値と 6 年度の値（平均値）を比べると、応力の変化率では最大値の方が小さくなっているが、離間距離 3 D 以上ではほぼ等しくなっている。また、ひずみの変化率は離間距離に係わらずほぼ等しい。一方、最小値の場合は、初期応力計算の段階で断層部分が塑性化している。このため、掘削による応力とひずみの変化率をそのまま他のケースと比較することは困難である。

健岩部の物性値について、離間距離 3 D 以下では応力、ひずみとも増減が逆になっている。これは、健岩部と断層部の物性値の差が大きい方が、境界部に発生する応力、ひずみとも大きくなるため、断層部分の応力、ひずみは大きくなること、また坑道掘削によって変化する断層部の応力、ひずみの分布が相対的に、標準的な場合と軟弱な場合の中間となることによると考えられる。

(4) 離間距離の影響

初期応力計算の段階で塑性部の発生するケース 7 を除き、掘削による応力、ひずみの変化率の絶対値は表-3.2.4 の範囲にある。表より、離間距離に関する結論として、断層幅や物性値のいかんに係わらず 3 D 以上の離間距離において坑道掘削の影響はほとんどない、といえる。

表-3.2.4 応力およびひずみの変化率の絶対値

離間距離	最大主応力変化率	最大せん断ひずみ変化率
0.5D	3.43 ~22.90	21.71 ~29.64
1 D	1.99 ~ 8.36	11.50 ~14.73
3 D	0.24 ~ 1.87	1.57 ~ 4.10
5 D	0.20 ~ 0.78	0.62 ~ 0.62
10D	0.06 ~ 0.18	0.07 ~ 0.32

3.2.5 まとめと今後の課題

今回の感度解析では、ジョイント要素の適用、断層幅や物性値が断層部の応力、ひずみにもたらす影響、坑道と断層の離間距離について検討を行い、以下のようなまとめと共に課題を抽出した。

- ・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。
- ・断層幅については、応力、ひずみの変化率と比例関係のあることが確認された。今後は幅とともに角度についても考慮してゆくことが考えられる。
- ・物性値に関しては、今回設定した断層物性の最小値は、入力データとしては不適当ではなかったかと考えられる。しかし、実際の断層物性値の下限の目安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方法が適当であると考えられるため、物性値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、昨年度の結論と同様 3 D 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。今後は坑道の径や形状などをパラメータとして組み合わせることが考えられる。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

昨年度の検討においては、それまでに開発した設計解析システムを利用して、3次元地下水水流動解析を行い、全体配置設計における処分場位置の設定を行った。ただし、これは定常飽和条件におけるものであり、処分場の掘削等を考慮したより詳細なシミュレートのためには、地層モデルの中に施設モデルを組み込んだ上で非定常・飽和-不飽和条件での解析が必要となる。このため本年度においては、問題となる可能性のある以下の3点を念頭に置き、予備的に2次元での非定常・飽和-不飽和解析を行うこととする。

- ① 解析に必要となる物性値および境界条件の設定とのデータ取得方法
- ② S I G N A S を飽和-不飽和浸透流解析に適用する場合の留意点
- ③ I - D E A S を用いた解析結果出力についての留意点

4.1 本年度における解析条件

本年度の解析モデルは昨年度の3次元モデルをY-Z軸で切断したもので、図-4.1.1に示すように地層は第一層から第五層に区分されている。このモデルの領域は幅8km、高さ約5kmである。この断面に高さ1000m、長さ2000m、幅4mのL字型の処分施設モデルを配置する。

処分施設の建設から閉鎖にいたる工程のモデル化は、図-4.1.2に示すstep2～step13までの60年間とした。なお、step1は掘削前の初期段階であり、この段階での非定常解析で求めたデータをstep2の初期状態とした。

入力物性値の内、透水係数については昨年度と同様とし、これを表-4.1.1に示す。また、本年度の解析で新たに取り上げる不飽和物性値は、van-Genuchten式におけるパラメータの測定結果から求めた値として3ケース、動燃殿公開資料で用いられた値を参考とした1ケースの合計4ケースとする（図-4.1.3参照）。この内1ケースについてはstep1～step13まで行うが、他の3ケースはstep3までとする。これは不飽和物性値が解析結果に与える影響を調べるためにここまで十分と考えられるためである。

境界条件として、側方境界は静水圧条件で一定水頭、下方境界は不透水境界、上面は不飽和領域をより明確に示すため、涵養量を考慮しないこととした。

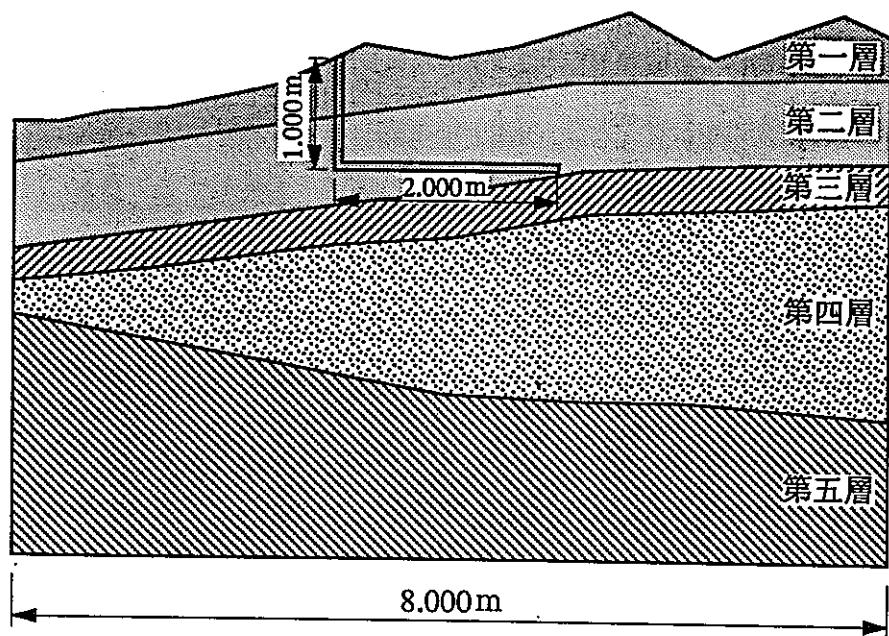


図-4.1.1 2次元解析モデル

表-4.1.1 解析における飽和透水係数

分類	部位等	飽和透水係数
地層	第一層(表層)	1.0E-6(m/s)
	第二層(処分地層)	1.0E-8
	第三層(下層)	1.0E-9
	第四層(下層)	1.0E-9
	第五層(下層)	1.0E-9
処分施設	第一層建設前	1.0E-6
	部分閉鎖後	1.0E-10
	第二層建設前	1.0E-8
	部分閉鎖後	1.0E-10

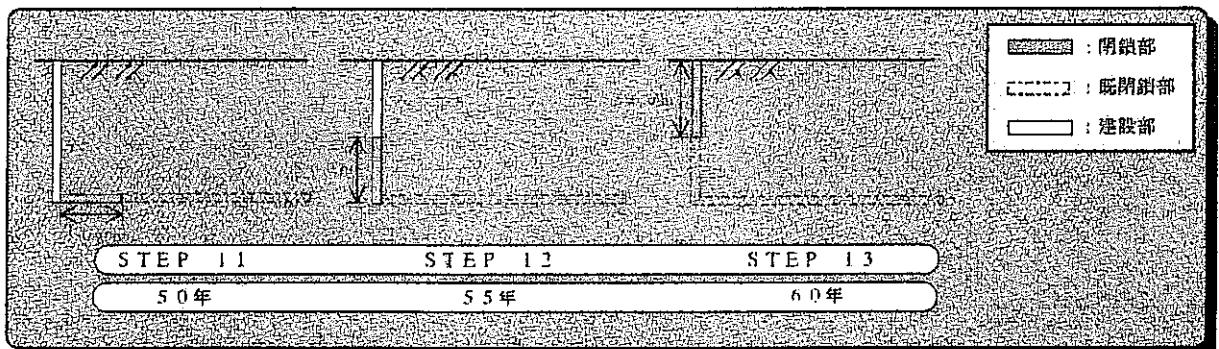
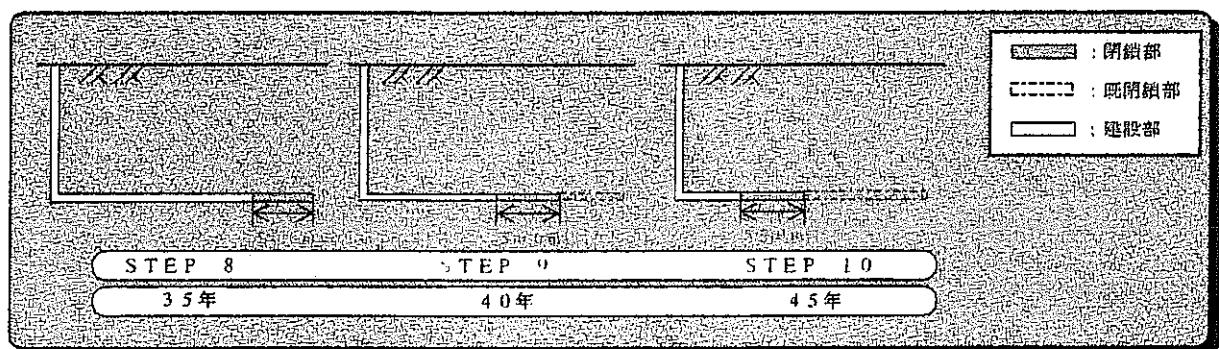
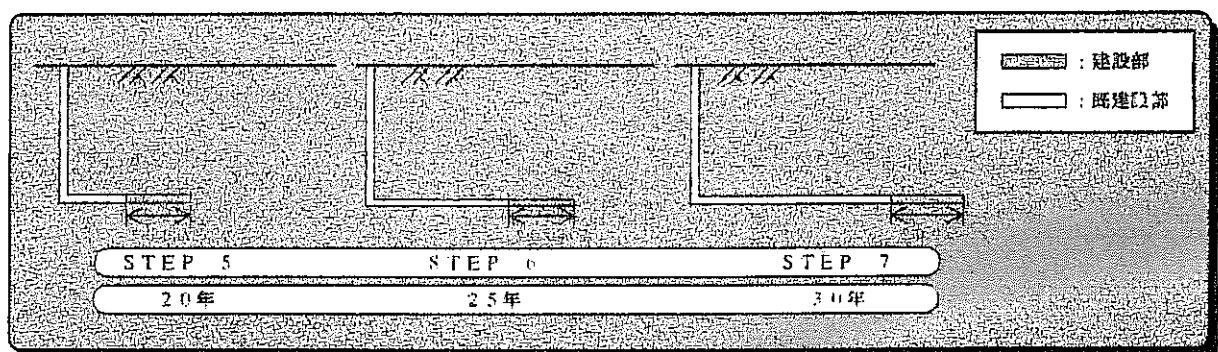
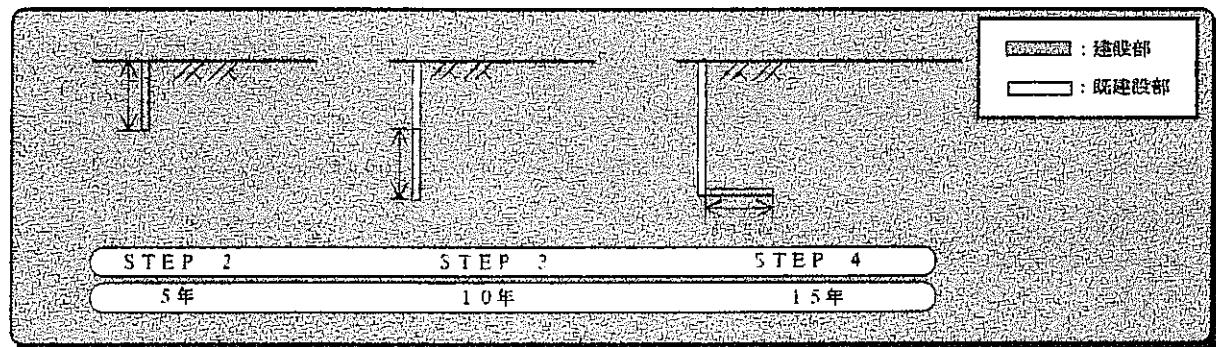
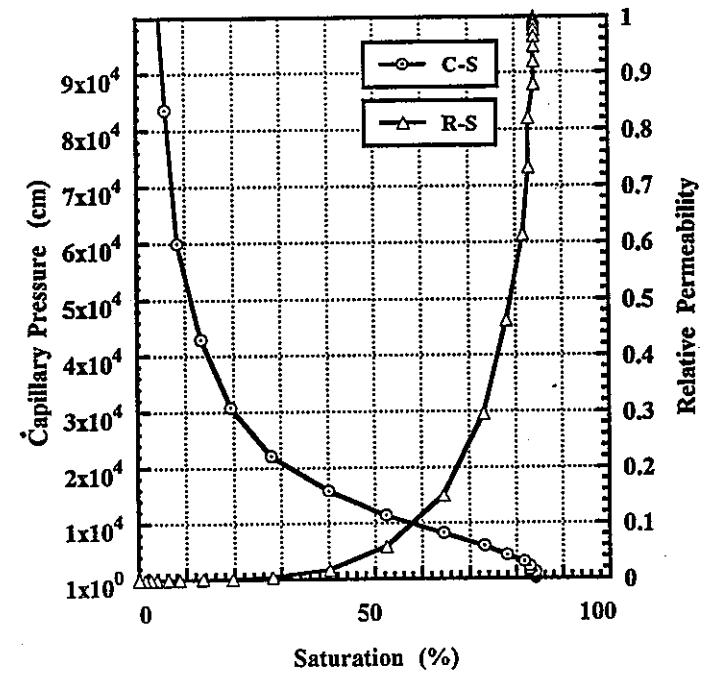
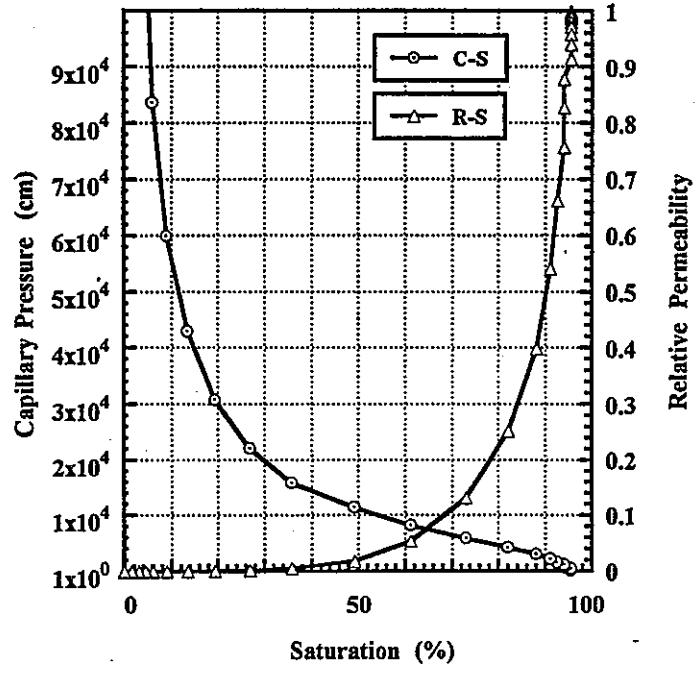


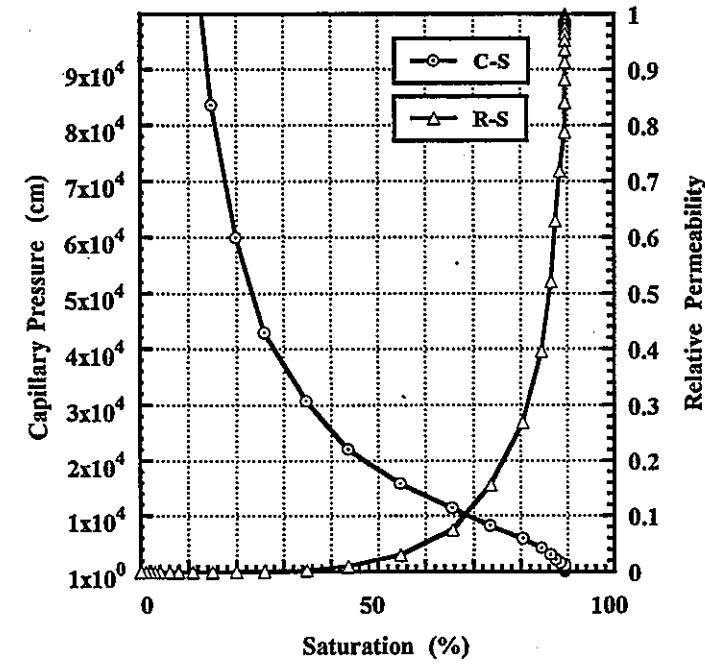
図-4.1.2 処分施設の建設から閉鎖にいたる段階の想定



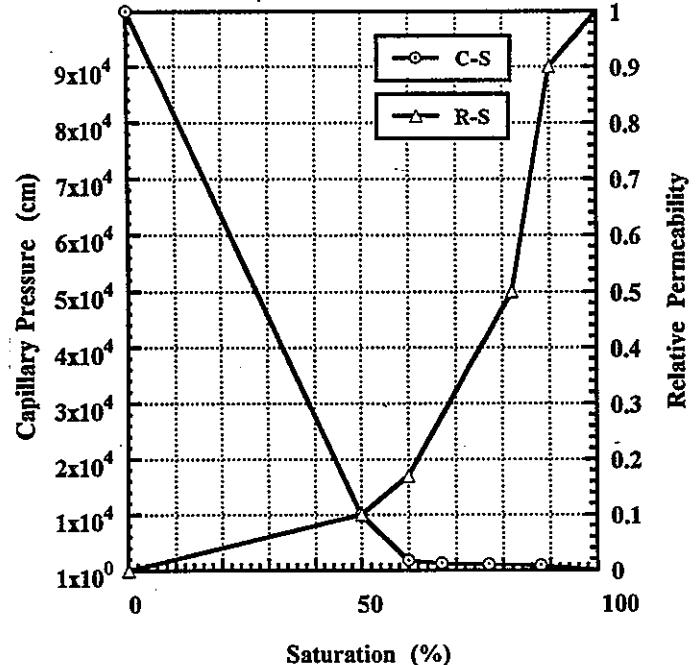
Case. 1; 釜石花崗岩 (a)



Case. 2; 釜石花崗岩 (b)



Case. 3; グリムゼル花崗岩



Case. 4; 動燃殿公開資料

図-4.1.3 解析に用いる不飽和特性の4ケース

4.2 本年度の解析ケース

表-4.2.1 に本年度の解析ケースを示す。

表-4.2.1 に本年度の解析ケース

	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) $\alpha = 0.0001$ $m = 0.558$	0.82
Case. 2	Step. 1~3	釜石花崗岩 (B) $\alpha = 0.00014$ $m = 0.522$	0.67
Case. 3	Step. 1~3	スイスグリムセル花崗岩 $\alpha = 0.000085$ $m = 0.48$	1.006
Case. 4	Step. 1~3	動燃殿公開資料より線型データとして直接入力	動燃殿資料より 30

4.3 解析結果

解析 Case. 1 について、Step. 1~13 の内 Step. 2, 4, 7, 13 のピエゾ水頭分布を図-4.3.2 に示す。また、坑道部への湧水量を図-4.3.1 に示す。横坑部 2000m からの湧水量は立坑部 1000m からの湧水量に比べて約 3 倍となっているが、この原因の一つとして、側方境界を静水圧条件としているため、立坑部分における初期地下水面が GL-297m となっていることがあげられる。図-4.3.3 には立坑部分における地下水位の変動を示す。地下水位は建設と共に低下し、閉鎖の最終段階付近から回復に向かうことがわかる。

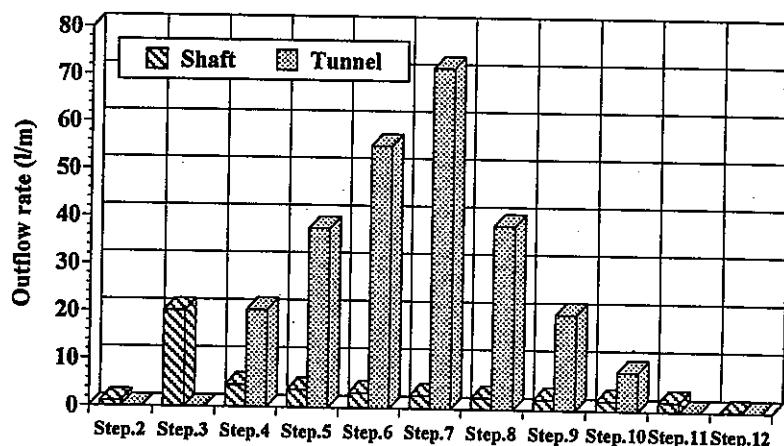


図-4.3.1 立坑と坑道からの湧水量

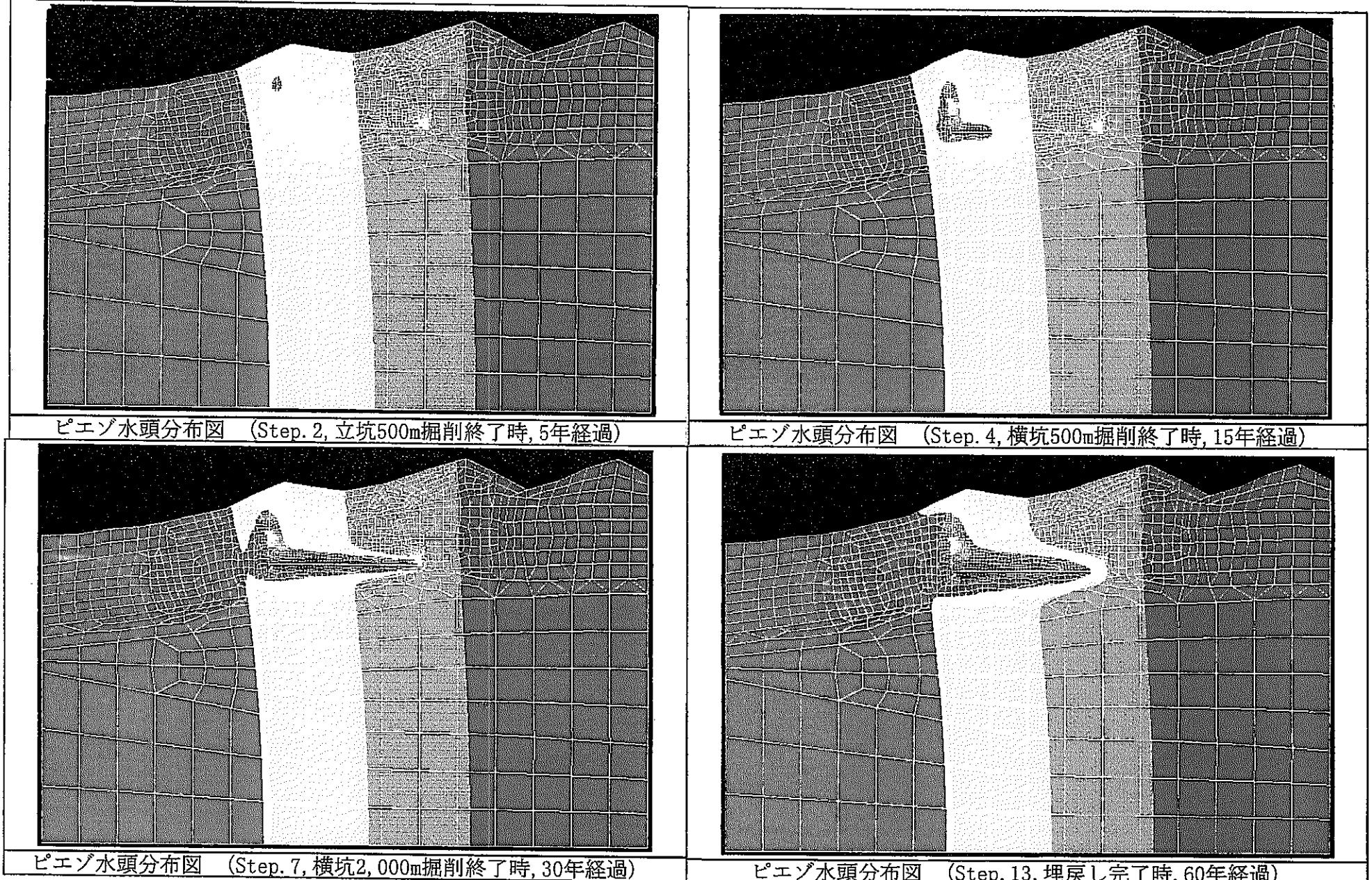


図-4.3.2 ピエゾ水頭分布(Step. 2, 4, 7, 13)

4050 4200 4350 4500 4650 (m)

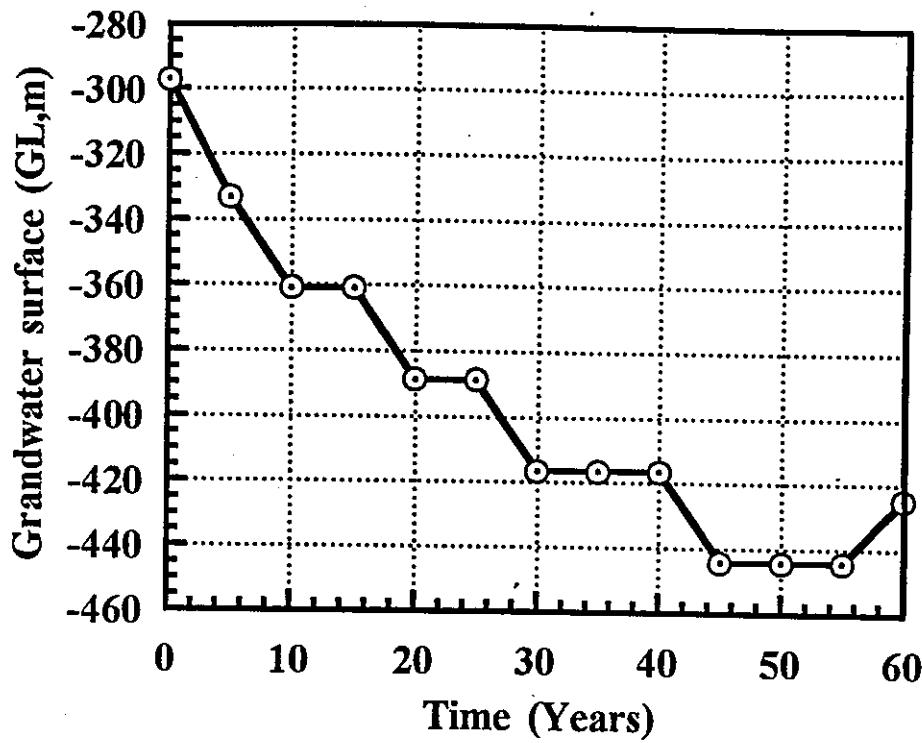


図-4.3.3 立坑周辺部の地下水位の変化

一方、不飽和特性値の違いによる影響については、地下水位の低下、ピエゾ水頭分布、湧水量の3つの観点から検討した。その結果、飽和領域における水頭分布および坑道への湧水量にはそれほど大きな影響はないが、地下水位の変動に与える影響の大きいことがわかった。

4.4 考察と今後の課題

4.4.1 初期地下水位の設定

今回の解析では、側方境界を地表からの静水圧条件とし、これのみを条件とした非定常解析の収束値として初期地下水位を設定したため、GL-300mというような結果となった。この対策としては、想定される地下水位観測結果に基づいた疑似地下水位をモデル接点上に固定圧力水頭として設定した収束解析を行うか、または地表面に負圧を設定して収束解析を行うことが考えられる。しかし、いずれの場合においても妥当性を持って疑似地下水位や負圧を設定するための方法について、なお検討しなければならない。

4.4.2 地下水流動場の定量的評価のシステム化

ファーフィールドにおける地下水流動解析結果に求められる情報としは、以下の項目が考えられる。

- ① ピエゾ水頭の分布
- ② 圧力水頭の分布（自由地下水位の位置）
- ③ 処分場周辺の流向と流速
- ④ 掘削面あるいは設定断面を流れる流量

⑤ 処分場位置を通過する流路における最終流出地点

⑥ 処分場位置から流出地点までのトラベルタイム

この内①～③については現システムで対応可能であるが、④～⑥についてはシステム的な対応はとれていない。④については浸出面要素の特定、流量フラックスに要素面積を乗じた総和の算出について、システムの開発が有効と考えられる。また、⑤、⑥については、このための手法としてパーティクルトラッキング法（粒子追跡法）があり、この手法を利用した流出地点の特定とそのトラベルタイムの算定を行うためのシステム整備が必要と考えられる。

4. 4. 3 物性値等の補間設定システム

今回の解析では、5層の各地層と施設について单一の透水係数を設定している。しかし将来的なシミュレーション解析においては、モデル境界部や内部に設置されたボーリング孔のデータ（数本の線上のデータ）から3次元的にデータを設定することになる。現在これに類似した機能として、ボーリングデータから3次元モデルにおける地層境界を推定するシステム（GEORAMA）があるが、これを透水係数や間隙水圧、地下水面の補間システムとして導入・整備することが考えられる。

5. 熱解析

昨年度実施した熱解析は、動燃殿公開資料から読み取れる範囲において同様の条件で行ったが、その結果は緩衝材内側で約3°Cの差を生じた。この原因の一つに解析コードの違いが考えられる（昨年度実施はS I G N A S、公開資料はADINA-T）。このことから本年度においては昨年度と同一条件（物性値、発熱条件、解析メッシュ）でADINA-Tによる解析を行う。解析のポイントは以下の2点である。

- ① 昨年度の結果と比較し、S I G N A SとADINA-Tのコードによる差異の影響を検討する。
- ② 解析結果に差異が生じた場合、その原因の検討を行うとともに、坑道径の変化による埋設密度への影響の検討を行う。

5.1 解析ケース

本年度における熱物性値、発熱条件、解析モデルは、昨年度と同一のため、ここでは省略する。S I G N A SとADINA-Tの大きな違いは発熱量の与え方であり、S I G N A Sでは各節点に指定した発熱量を入力するのに対して、ADINA-Tでは発熱量の分配を自動的に行う。そこで昨年度は事前解析として発熱量の配分について以下の4ケースを取り上げ、その中でCase. 2をADINA-Tに対応するケースと考えた。

- ・ Case. 1 : 1/4 ガラス固化体モデルを考慮（埋設密度1本/100m²、坑道径3m）
- ・ Case. 2 : 発熱体構成各要素に均等に分配し合成（ 同 上 ）
- ・ Case. 3 : 全ての節点に均等の分配（ 同 上 ）
- ・ Case. 4 : 各節点が受け持つ固化体表面積を重みとして分配（ 同 上 ）

また、昨年度は坑道径の影響を調べるためにCase. 2の発熱条件において、2.4m径で100m²と40m²の2ケースの解析（Case. 7とCase. 8）を行っている。

以上のことから、本年度解析を行うケースを表-5.1.1に示す3ケースとした。

表-5.1.1 本年度および対応する昨年度の解析ケース

	解析ケース	廃棄体埋設密度	坑道径
本年度解析 (ADINA-T)	Case. AD-1	100m ²	3.0m
	Case. AD-2	100m ²	2.4m
	Case. AD-3	40m ²	2.4m
昨年度解析 (SIGNAS)	Case. 2	100m ²	3.0m
	Case. 7	100m ²	2.4m
	Case. 8	40m ²	2.4m

5.2 解析結果

Case. AD-1 と Case. 2、Case. AD-2 と Case. 7、Case. AD-3 と Case. 8を比較した解析結果を図-5.2.1、図-5.2.2、図-5.2.3 に示す。それぞれの図においてADINA-TとSINGNASの結果がよく一致していることがわかる。

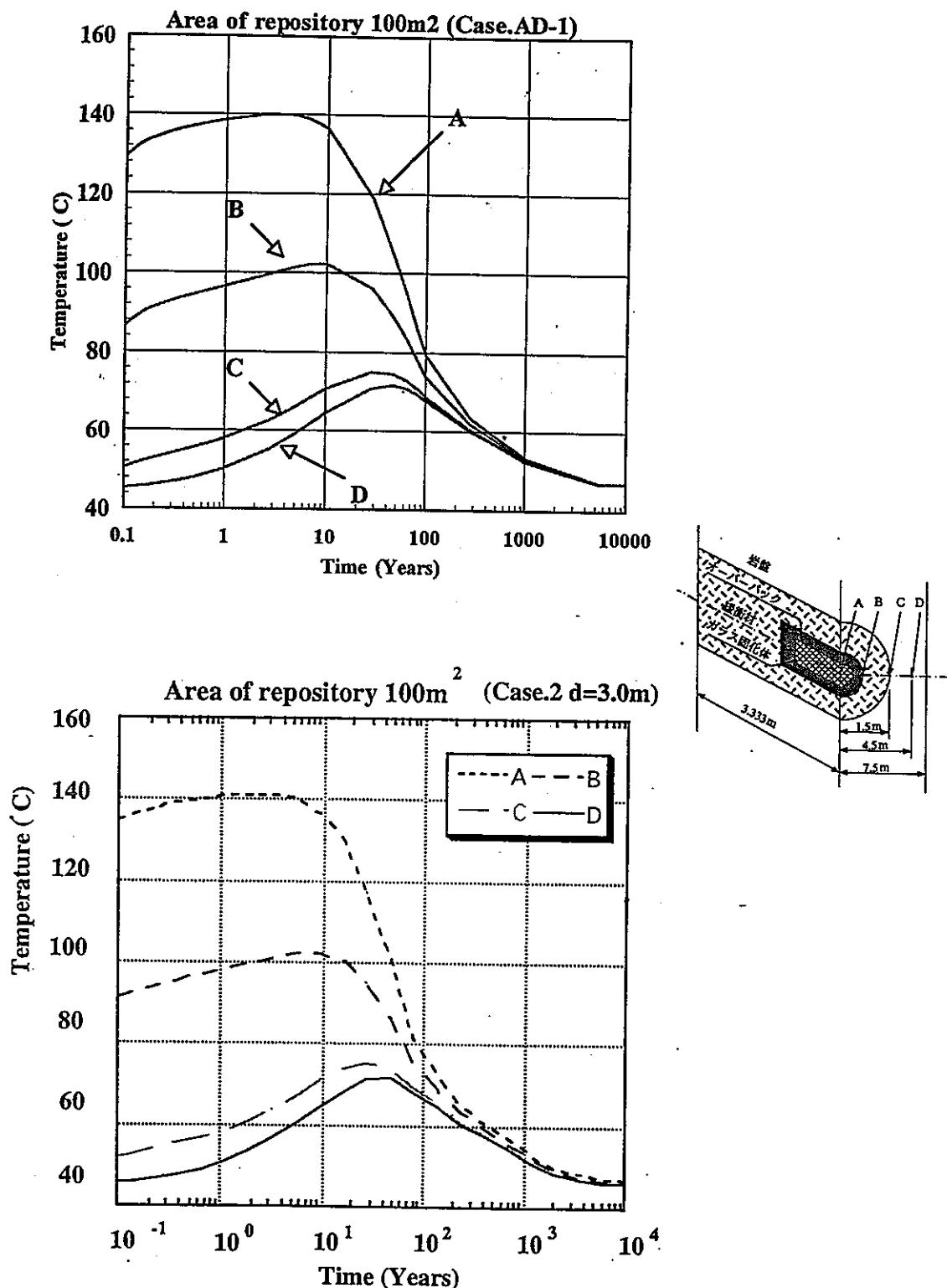


図-5.2.1 解析結果の比較 (Case. AD-1 と Case. 2)

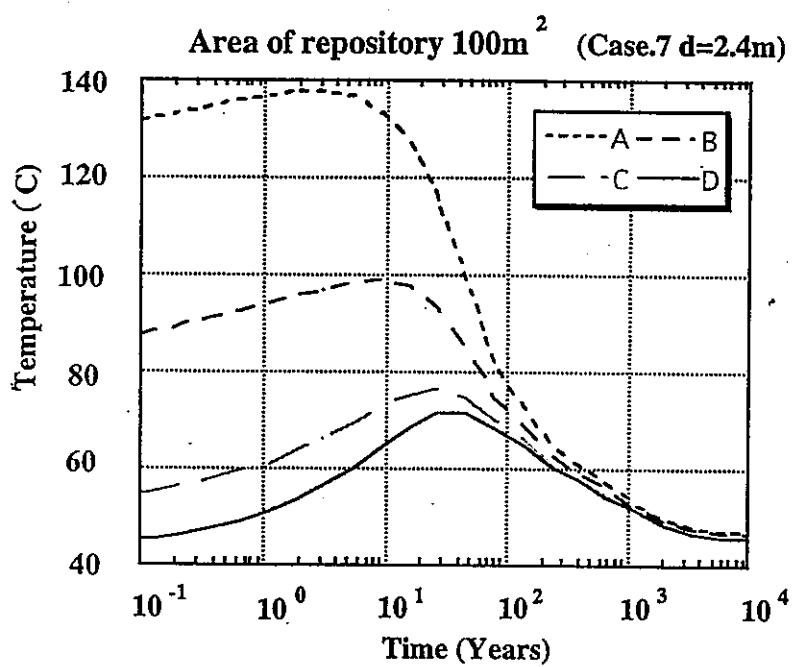
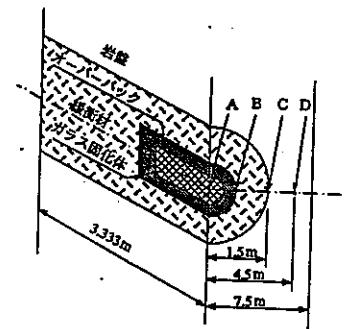
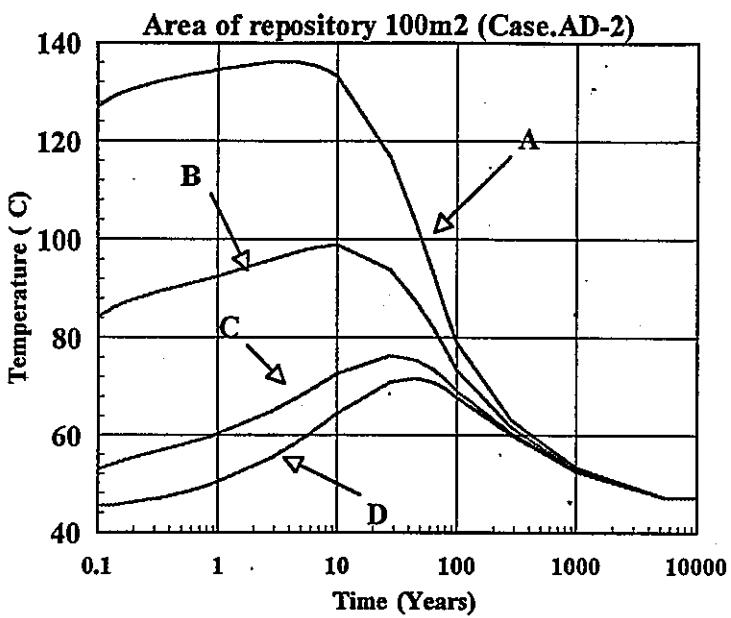


図-5.2.2 解析結果の比較 (Case. AD-2 と Case. 7)

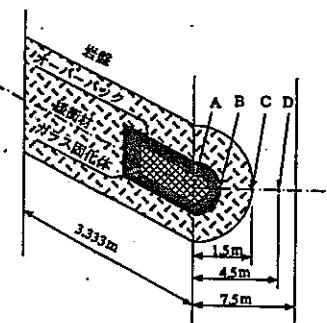
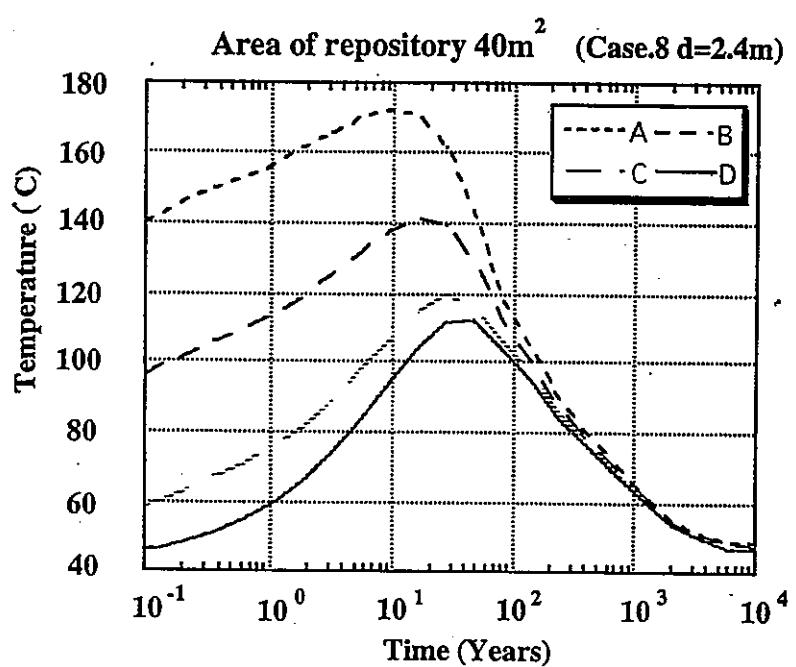
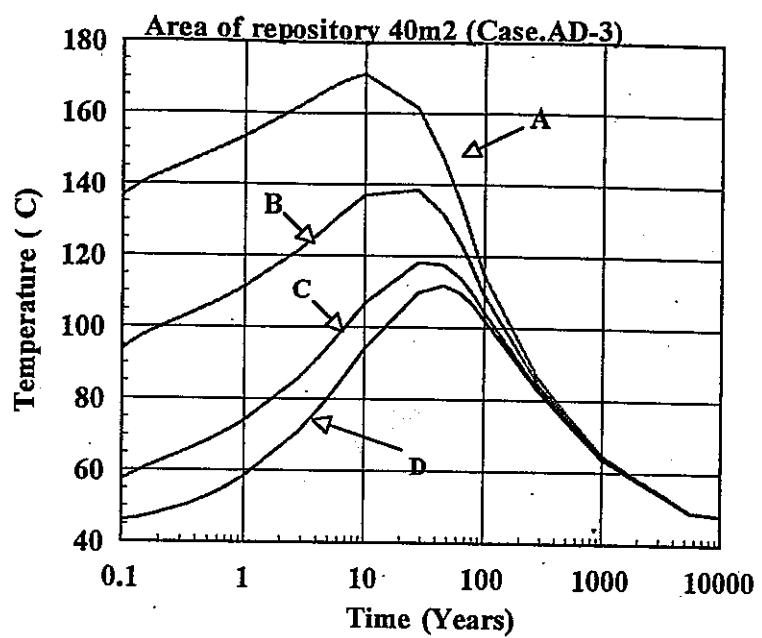


図-5.2.3 解析結果の比較 (Case. AD-3 と Case. 8)

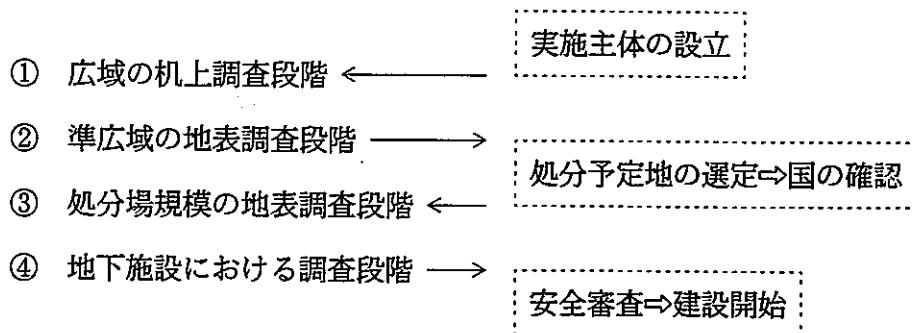
5.3 結果の考察

本年度の熱解析コードADINA-Tによる解析結果と、同一条件下で昨年度実施したSIGNALSによる解析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、両解析コードはほぼ一致した結果を示したことから、本解析モデルについてはSIGNALSを用いる場合に発熱の入力条件に関して若干の配慮を行えば、解析結果への有意な影響はないと考えられる。両コードの解析結果である温度比較では、ADINA-Tのタイムステップ設定手法が限定されているため、同一時点における温度を数値で比較することはできなかったが、経時変化を示すグラフでの比較において有意な差異の検討は可能と考えた。

有限要素法では、重み関数の取扱いや積分法、また非定常解析における時間差分法の違いによる数学的な近似解の差異、さらに解析でのタイムステップ、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り、解析結果は影響を受ける。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、物性値等）を勘案することが重要であると考えられる。

6. サイト特性調査手法

我が国で想定されるサイト特性調査の段階としては、以下の4段階を考える。



6.1 各調査段階の想定

6.1.1 各調査段階の目標

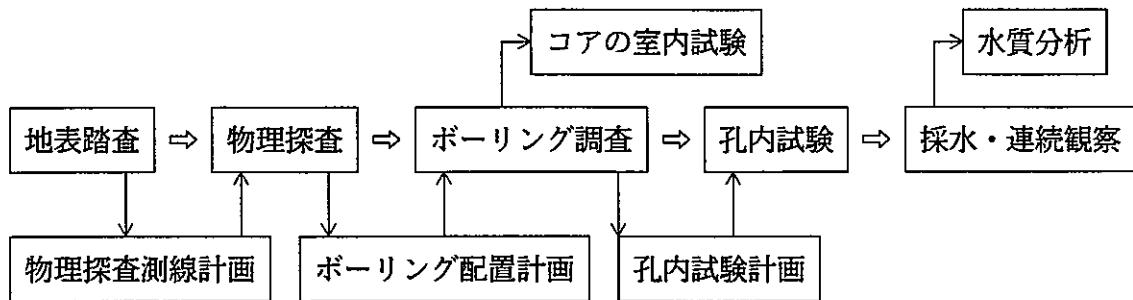
- ① 広域の机上調査段階：この段階では、予定地として明らかに不適当と考えられる地域のスクリーニングと、広域レベルの地質構造や水収支の把握が目標となると考えられる。
- ② 準広域の地表調査段階：この段階の調査結果から処分予定地を選定することから、この段階の目標としては、地質構造や水理地質構造の3次元的な把握、一定規模以上の不連続面の把握、岩盤の力学的特性や岩盤・地下水の化学特性の把握、将来の地殻活動の予測などがあげられる。
- ③ 処分場規模の地表調査段階：この段階の調査目標は、項目としてはほぼ前段階と同様と考えられるが、対象地域が限定されることからレベル的には詳細かつ確度の高いものが要求される。
- ④ 地下施設における調査段階：この段階の目標は、前段階までに把握された地質構造等の確認が主なものとなる。また、予定される処分量の埋設に必要な母岩の確認や母岩の岩盤としての特性の把握なども目標となる。

6.1.2 各段階の調査の概要

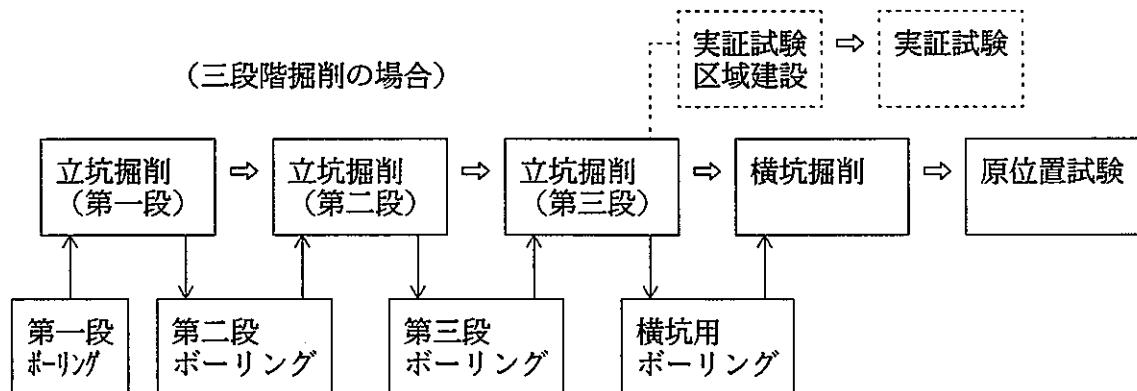
サイト特性調査手法の検討を行うに当たり、各段階における調査の概要を上記の目標を踏まえて、以下のように考えた。

- ① 広域の机上調査段階：この段階では30km～40km四方（約1000km²）の範囲を調査対象として、地形図、地質図、社会的要因図や各種文献によるマッピングとスクリーニングが主な調査の内容となる。期間としては実施主体設立後の2001年頃～2004年頃までの3年間程度が考えられる。
- ② 準広域の地表調査段階：この段階では10km～15km四方（約150km²）の範囲を調査対象として、現地における調査がおよそ以下のような手順によって実施される。この期間と

しては、2004年頃～2008年頃までの4年間程度が考えられる。この調査に基づき処分予定地を選定し、国がその確認を行う。このための期間として2010年頃までの2年間を考える。



- ③ 処分場規模の地表調査段階：この段階では、処分予定地として6km～8km四方（約50km²）の範囲が調査対象となる。この段階における調査内容は、ほぼ前段階と同様と考えられる。期間としては2010年頃～2015年頃までの5年間程度が考えられる。
- ④ 地下施設における調査段階：この段階では4km～5km四方（約20km²）の範囲を調査対象とし、地下施設を利用した各種原位置試験がおよそ以下の手順で実施される。この期間として、調査施設の建設を含めて2012年頃～2022年頃までの10年間程度が考えられる。



6.2 各調査段階に適用される手法

前節で想定した各調査段階の概要を踏まえ、昨年度抽出した調査手法を調査段階ごとにまとめたものを以下に示す。なお、最初の机上調査は対象外とする。

表-6.2.1 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
		地表ボーリング 調査	ボーリング調査 P S 検層 音波検層 キャリバー検層 孔曲がり測定 B T V・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
		地表ボーリング 調査	地震観測
		地殻ひずみ 調査	地殻ひずみ観測
	断層破碎帯等の不連続面	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
		地表ボーリング 調査	ボーリング調査 B T V・スキャナー
長期安定性	原位置応力場	地表ボーリング 調査	初期地圧測定（水圧破碎法）
		室内試験	初期地圧測定（A E 法）
	水理	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）
		地表ボーリング 調査	揚水試験 地下水質分析（年代）
		室内試験	p F 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-6.2.2 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
	滯水層の特性	地表ボーリング 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	地表ボーリング 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	地表ボーリング 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	地表ボーリング 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	地表ボーリング 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
		地表の調査	大気質調査
		地表の調査	騒音・振動調査 地形測量 陸上植生及び土壤調査 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

表-6.2.3 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
		地表ボーリング 調査	弾性波トモグラフィー
長期安定性	断層、破碎帯等の不連続面	地表の調査	地表踏査
		物理探査	地震探査(反射法)
		地表ボーリング 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	滯水層の特性	地表ボーリング 調査	レーダートモグラフィー 比抵抗トモグラフィー

(前段階と重複するものは省略した)

表-6.2.4 地下施設における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	地質構成、層序	地下掘削調査	坑内観察
		坑内ボーリング 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
		坑内ボーリング 調査	孔内載荷試験
長期安定性	地震動特性	坑内ボーリング 調査	地震観測
	地殻ひずみ	坑内ボーリング 調査	地殻ひずみ観測
	断層破碎帯等の不連続面	地下掘削調査	坑内観察
		坑内ボーリング 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
		坑内ボーリング 調査	初期地圧測定(オーバーコアリング法)

表-6.2.5 地下施設における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
水理	滯水層の特性	坑内ボーリング調査	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
	地下水流动	坑内ボーリング調査	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

6.3 調査手法の適用性の検討

ここでの適用性を検討は、調査の実施が可能かどうかという観点で行うこととする。その手法を実施する必要があるかどうかの観点での検討は、条件や目標がより具体的になった時点で行うことが適当と考える。予備的検討により問題となりそうな項目として以下の6項目を抽出した。

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

6.3.1 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。しかし、いずれの方法においても削孔後排水を行い、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が、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ことも考えられる。このため、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の問題から、一定期間の排

水の後に原位置の水であることを確認する必要がある。こ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。

これに関する技術開発として、動燃殿においても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。

6.3.2 斜め削孔に対する適用性

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も考えられる。この場合、地表の一か所から放射状に数本のボーリングを行うことになる。このような掘削は地熱開発において実績があり、1500mを越える斜め掘削がかなりの精度で実施されている。

この斜め掘削はダウンホールモーターによって行われ、このモーター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。このような場合、現状技術においてコアを採取するために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、再び角度の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。

6.3.3 ポーリング孔内試験の深度対応性

ここでは各調査方法をいくつかに分類し、調査深度1000mへの対応性の検討を行うこととする。

(1) 資料採取

採取技術としてはコア採取、地下水採取共に1000m対応は一応達成されていると言えるが、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、今後も開発が進められるものと考えられる。

表-6.3.1 動燃殿における採水機器開発状況

		100m対応パッカ式地下水サンブラー	500m対応パッカ式地下水サンブラー	1000m対応採水装置（1号機）
仕様・性能	間隙水圧	○	○	○
	連続採水			○
	パッチ採水	○	○	○
	可能深度	100m	500m	1000m
	適用孔径	76~140mm	76~140mm	76~140mm

また、コア採取の定方位コアリングについては、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、調査機器開発は表-6.3.2に示すような状況にあり、1000m対応は一応達成されていると言えよう。

表-6.3.2 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)	$10^{-3} \sim 10^{-7}$	$10^{-4} \sim 10^{-9}$	$10^{-4} \sim 10^{-9}$	$10^{-4} \sim 10^{-10}$
	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

単孔式の流向・流速測定については、画像追跡式、熱量式、中性子検出型、レーザードップラー式、電位差式と、種々のものがあるが、調査した範囲ではこの内電位差式のみが1000m 対応可能となっている。なお、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

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、両者はそれぞれに利点・欠点を持つが、深度対応の点でBHTVは地熱開発にも実績をもつことから、問題はないものと考えられる。深度対応で問題となる耐熱性、耐圧性についてBHTVの機器の仕様例では、300°C(5~8h)、1,400kg/cm²となっており、この仕様からも、十分な性能を有していると言えよう。

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対応までのようにある。

(5) 力学試験

ここで取り上げる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対応までのようにある。これは載荷機構が地上にあるため、これ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。

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碎法、オーバーコアリング法とともに200m程度のものがあり、動燃殿においても水圧破碎法で200mの実績がある。水圧破碎法についても載荷機構に関する初期地圧測定と同様のことが考えられる。

(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の実績があることから、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。

6.3.4 トモグラフィー調査の孔間距離

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。この間隔について我が国の実績では、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 225 m（ボーリング長150 m）で実施されている。また、比抵抗トモグラフィーについては孔間隔は 300 m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 300 m 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。専門家へのヒアリングでは、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は 50 ~ 100 m 程度とみるべきであり、レーダーについては使用する周波数が数 10 MHz と非常に高く、探査深度は一般的には数 m 程度とのことであった。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、鋼製ケーシンの場合レーダーに関しては原理的に測定不可能となる。

6.3.5 孔内試験の斜孔対応性

スイスの今後のサイト特性調査では、鉛直に対して 30° の斜めボーリングが計画されており、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。

6.3.6 軟岩における原位置試験

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、夾雜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。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、以下の特徴を考慮する必要がある。

- ・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

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。例えば坑道壁面を利用した弾性波探査では、支保工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に配慮が、試験方法に関して必要と考えられる。

6.4 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実施さ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。