

立坑掘削影響試験に関わる三次元地質構造のモデル化

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1990年7月

電源開発株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

立坑掘削影響試験に関わる三次元地質構造のモデル化

田代 襄二[※] 村 良平[※]

要 旨

地層科学研究の一環として実施している東濃鉦山における立坑掘削影響試験について、広報用の技術資料を作成することを目的として試験立坑周辺の三次元地質構造モデルをCAD (Computer Aided Design) システムにより作成した。

モデル化の範囲としては、試験立坑、調査坑道及びボーリング孔を包含する東西400m 南北300m 深度300mである。

モデル化した対象物は、地形、主要地表構造物、地下構造物、地質境界面、断層面及び緩み領域の物性、透水性変化の評価に関わる試験レイアウトである。

データは、X、Y、Zの座標値を持つ点及び線として入力(ワイヤフレーム)し、それを輪郭線として面(サーフェスモデル)を作成した。

これら入力データを基に、地表、地下構造物、地質、断層等の相互関係をわかりやすく表現するため全体立体図、地質構造断面図、地下構造物立体図、カットモデル、フェンスモデルで表示した。また、試験レイアウトは各試験毎にシンボルフィギュアを決め、相互関係が判るように立体的に表示した。

また最後に、地下水流動解析や地下構造解析等へのCADシステムの利用可能性についての研究結果を記した。

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

契約番号：010D221

事業団担当課室および担当者：環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ 塩田哲也

※ 建設部 設計室



Three Dimensional Modeling of Geologic Structure on the
Shaft Excavation Effect Project

Joji Tashiro,* Ryohei Mura*

ABSTRACT

This report describes three dimensional modeling of geologic structure around the test vertical shaft using CAD (Computer Aided Design) system. The purpose of this study is making the technical document for public relations on the Shaft Excavation Effect Project which is performed as a part of geoscience research.

Modeling ranges approximately 400m from east to west, approximately 300m from north to south and approximately 300m in depth which is including the vertical shafts, inspection drifts and the drill holes.

The objects of modeling are topography, principal structures on the ground, underground structures, geologic boundary surfaces, fault surface and the layout of tests on evaluation of material properties and changes of permeability of disturbed zone.

Data of model are input by dots, lines and so on which have coordinates of X, Y and Z axis (Wire Frame Model) and then the surface model is manufactured from wire frame model.

Relationships among topography, underground structures, geologic boundary, fault and so on are shown by block diagrams, geologic cross sections, block diagrams of underground structures, cut models and fence models, which are easy to be understood. And the layout of tests are also three-dimensionally shown as a purpose of making clear the relationships each other by setting up symbol figures of every test.

And this report describes in addition the investigation results on probability of applications of CAD system to underground water flow and structural analysis.

Work performed by Electric Power Development Co., Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Geoscience Research Program Radioactive Waste Management Project, Tetsuya Shioda

* Construction and Engineering Department, Civil Design Office

目 次

1. まえがき	1
2. 業務の内容	9
2. 1 三次元地質構造モデルの作成	9
2. 2 緩み領域の物性、透水性変化の評価に関する試験レイアウトの 三次元モデルの作成	9
2. 3 報告書の作成	10
2. 4 業務工程	10
3. CADシステムの概要	13
3. 1 CADシステム概念	13
3. 2 CADシステムの構成	13
3. 3 CADシステムの機能	16
4. 三次元モデルの作成	19
4. 1 モデル作成の手順	19
4. 2 地形、主要地表構造物、地下構造物	19
4. 2. 1 地形（在来地表面、造成面）	19
4. 2. 2 主要地表構造物（主要建屋、道路）	24
4. 2. 3 地下構造物（調査立坑・坑道、試験立坑・坑道、ボーリング孔）	24
4. 3 地質境界	27
4. 3. 1 地質境界の作成条件	27
4. 3. 2 CADシステムによる地質境界の作成	29
4. 4 試験のレイアウト	39
5. 三次元モデルの検討	41
5. 1 全体立体図	41
5. 2 地下構造物立体図	41
5. 3 地質断面図	42
5. 4 フェンスモデル図	42
5. 5 全体カットモデル図	42

5. 6	試験のレイアウト	4 3
6.	CADシステムの適用性の検討	4 7
6. 1	全般	4 7
6. 2	地盤構造のモデル化への適用	4 7
6. 3	解析への適用	4 7
6. 3. 1	解析モデルの作成	4 7
6. 3. 2	CADによるモデル化の例	5 1
6. 3. 3	解析の後処理	5 2
6. 4	ビジュアルプレゼンテーション	5 3
7.	あとがき	5 4

表・図・写真目次

表 2 - 1	入手資料一覧	1 1
表 4 - 1	モデル対象物と入力時参照資料の対応	2 2
表 4 - 2	入力データ一覧	2 6
表 4 - 3 (a)	地質境界深度一覧	2 7
表 4 - 3 (b)	地質境界深度一覧	2 8
表 4 - 4	試験レイアウトの三次元表現に用いるシンボルフイギュア	4 0
表 5 - 1 (a)	成果出力図 (ピクチャー) 一覧	4 5
表 5 - 1 (b)	成果出力図 (ピクチャー) 一覧	4 6
図 1 - 1	立坑掘削影響試験錐及び水理観測システム計画図	3
図 1 - 2	立坑及び坑道試験施設	5
図 1 - 3	試験施設鳥瞰図	7
図 2 - 1	モデル化の範囲	1 2
図 3 - 1	CADシステムの構成	1 5
図 4 - 1	全体モデリング作業のフロー	2 0
図 4 - 2	CADによるピクチャー作成フロー	2 1
図 4 - 3	地質境界ポイントデータ	3 1
図 4 - 4	地質境界のTIN (Triangulated Irregular Network)	3 1
図 4 - 5	TIN DTMから求めた等高線	3 2
図 4 - 6	等高線の外挿	3 2
図 4 - 7	等高線からB Spline Surfaceの作成	3 3
図 4 - 8	地質境界のB Spline Surface	3 3
図 4 - 9	地質境界面と断層面の関係	3 6
図 4 - 1 0	断層との交差部での地質境界のトリミング	3 6
図 4 - 1 1	地質境界面のモデル化領域外の部分のトリミング	3 7
図 4 - 1 2	地形面による地質境界面のトリミング	3 8
図 5 - 1	作成したピクチャー相互の関連	4 4
図 6 - 1	本地点におけるCADシステムの適用可能性	4 8
図 6 - 2	三次元モデル解析手順	5 0

1. まえがき

本件は、地層科学研究の一環として実施している、東濃鉾山における立坑掘削影響試験について広報用の技術資料を作成することを目的として試験立坑周辺の三次元地質構造モデルをCAD (Computer Aided Design) システムにより作成したものである。

モデル化の範囲は、試験立坑、調査坑道及びボーリング孔を包含する東西400m、南北300m、深度300mで、モデル化した対象物は、地形、主要地表構造物、地下構造物、地質境界及び緩み領域の物性、透水性変化の評価に関わる試験のレイアウトである。

岩盤内における坑道の掘削時には、一般に坑道周辺の水理環境の変化を促し、地下水流動へ影響を及ぼし、岩盤本来の力学的・水理学的特性に影響を与えることが考えられる。立坑掘削影響試験は、これらの現象を定量的に把握、評価を行うことを目的に実施されるもので、東濃鉾山鉾業用地内に仕上がり内径6m、深さ150mの立坑を建設し、この立坑を利用した研究が実施されている。

その内容は、以下の通りである。

(1) 試験位置

東濃鉾山は岐阜県土岐市に位置する。東濃鉾山の立坑を中心とした試験位置を図1-1に示す。

(2) 試験施設

立坑及び坑道の試験施設は、立坑、計測坑道、ナチュラルアナログサンプリング坑道、上盤連絡坑道及び下盤連絡坑道の5要素により構成される。試験施設の断面図を図1-2に、また、試験施設の鳥瞰図を図1-3に示す。

(3) 試験内容

① 立坑掘削による緩み領域の物性、透水性変化の評価

- a. 緩み現象の把握と評価
- b. 緩み領域の計測手法の評価
- c. 岩盤挙動の解析手法の評価
- d. 緩み領域における力学特性と水理特性の相関性

e. 断層周辺の岩盤挙動の把握

② 立坑周辺地域の地下水流動の評価

a. 水理計測システムの開発・評価

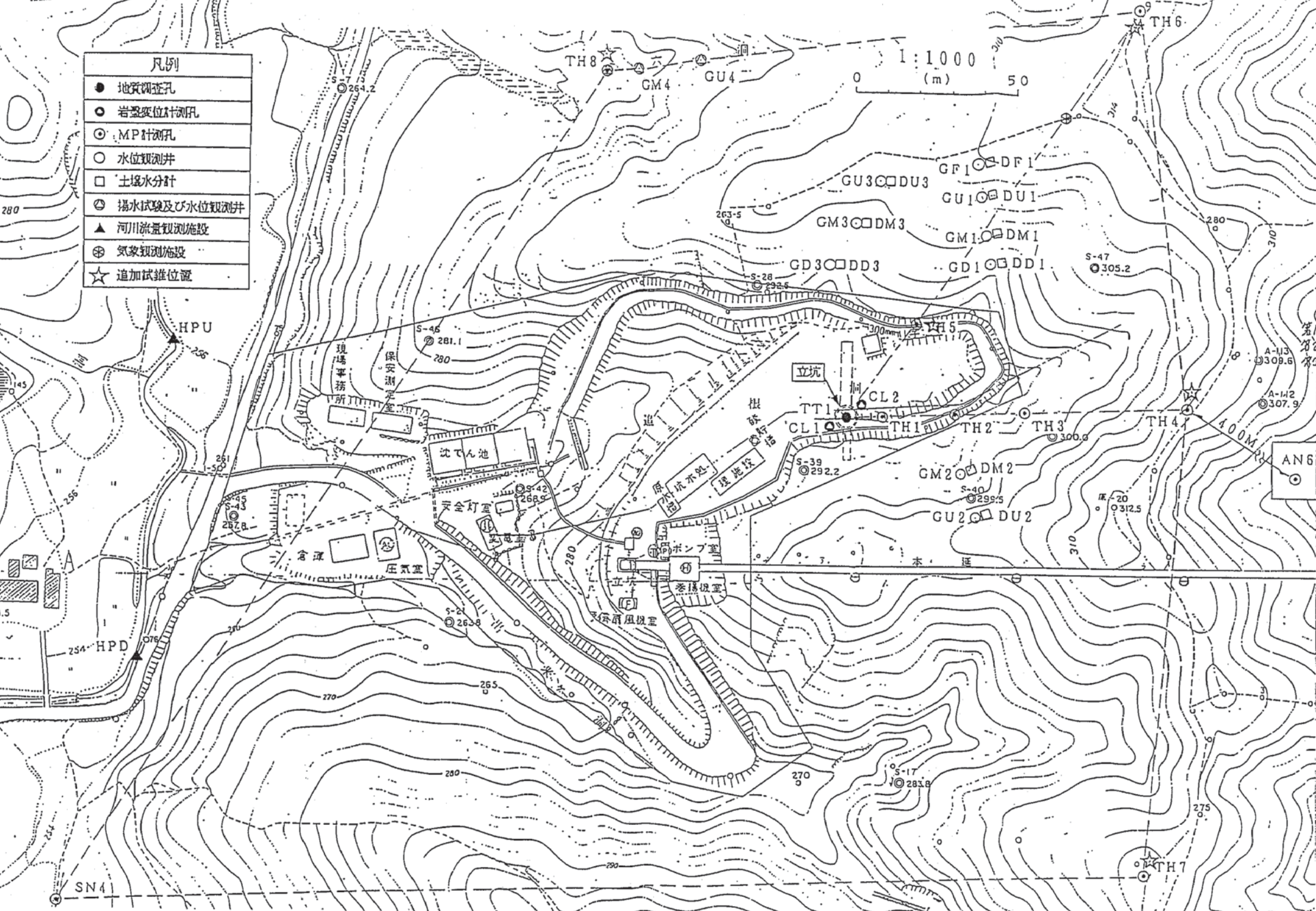
b. 立坑の地下水流動への影響評価

c. 地下水モデルの検証

③ ナチュラルアナログの研究

a. 断層周辺鉍体部U系列核種の三次元分布の把握

b. 各地層毎の地下水特性の把握



凡例	
●	地質調査孔
○	岩盤変位計測孔
⊙	MP計測孔
○	水位観測井
□	土壌水分計
⊕	揚水試験及び水位観測井
▲	河川流量観測施設
⊗	気象観測施設
☆	追加試験位置

図 1 - 1 立坑掘削影響試験錐及び水理観測システム計画図

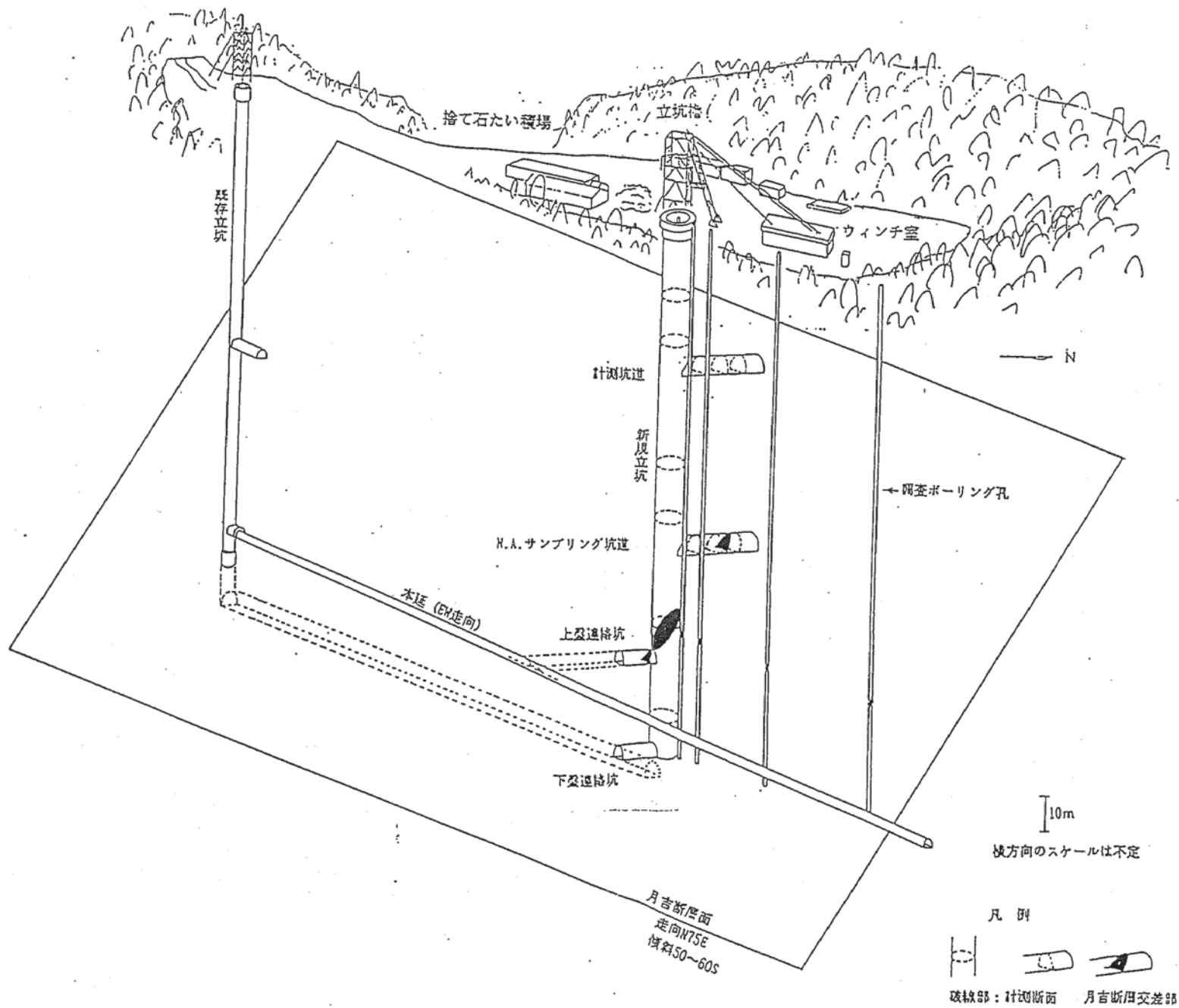


図 1 - 3 試験施設鳥瞰図

2. 業務の内容

2. 1 三次元地質構造モデルの作成

表2-1に示した入手資料に基づいて、CADシステムを用い、立坑掘削影響試験地域の三次元地質構造モデルを作成する。

(1) モデル化の範囲

図2-1に示す、東西約400m、南北約300mの範囲。

(2) モデル化対象物

① 地形

② 地下構造物

イ. 調査坑道

ロ. 調査立坑

ハ. 試験立坑、計測坑道、サンプリング坑道、上・下盤連絡坑道

ニ. ボーリング孔 (TT1、TH1～TH8、SN4)

③ 主要地表構造物

イ. 道路

ロ. 管理棟等の主要建物

④ 地質

イ. 地質境界面

ロ. 断層面

2. 2 緩み領域の物性、透水性変化の評価に関わる試験レイアウトの三次元モデルの作成

CADシステムを用いて、緩み領域の物性、透水性変化の評価に関わる試験レイアウトの三次元モデルを作成する。

(1) モデル化の範囲

試験立坑における上記試験範囲。

(2) モデル化対象物

- ① 支保工応力測定、覆工応力測定、覆工背面土圧測定、ロックボルト軸力測定、岩盤変位測定、内空変位測定、天端沈下測定、孔内載荷試験、透水試験

2.3 報告書の作成

上記の(1)、(2)の成果を踏まえ、CADシステムの機能、三次元モデルの作成手順、さらに地下構造解析や地下水流解析等へのCADシステムの利用可能性について記述した報告書を作成する。

2.4 業務工程

項目 \ 月	4月	5月	6月	7月
資料チェック等	—			
構造物入力	—	—		
断層面・地質境界面の作成	—	—		
地質境界面の修正		—	—	
成果図面の作成			—	—
CADシステムの利用可能性	—	—	—	—
報告書作成				—

↑ 中間報告

表2-1 入手資料一覧

No	名 称
1	東濃鉾山周辺地形図 1/1000 1-1
2	東濃鉾山平面図 1/250 1-1
3	東濃鉾山立坑掘削影響試験試錐 成果表
4	東濃鉾山調査坑平面図 (160mレベル) 1/500
5	東濃鉾山調査坑北延地質断面図 1/500
6	東濃鉾山調査坑本延地質断面図 1/500
7	ボーリング柱状図 (THシリーズ)
8	ボーリング柱状図 (Sシリーズ)
9	東濃鉾山調査坑道平面図 1/500 1-1
10	調査坑道 測量結果一覧表
11	東濃鉾山試験用立坑工事 地質区分及び立坑構造図 鳥瞰図 1-3
12	東濃鉾山試験用立坑工事 立坑平面図 断面図 1-4
13	東濃鉾山試験用立坑工事 計測坑道断面図 1-5
14	東濃鉾山試験用立坑工事 サンプリング坑道断面図 1-6
15	東濃鉾山試験用立坑工事 上盤・下盤連絡坑道断面図 1-7
16	東濃鉾山試験用立坑工事 立坑鋼製支保工図 1-8
17	東濃鉾山試験用立坑工事 水平坑道鋼製支保工図 1-9
18	東濃鉾山試験用立坑工事 湧水部集排水リング計画図 1-10
19	立坑掘削影響試験実施計画書
20	東濃鉾山坑道平断面模式図

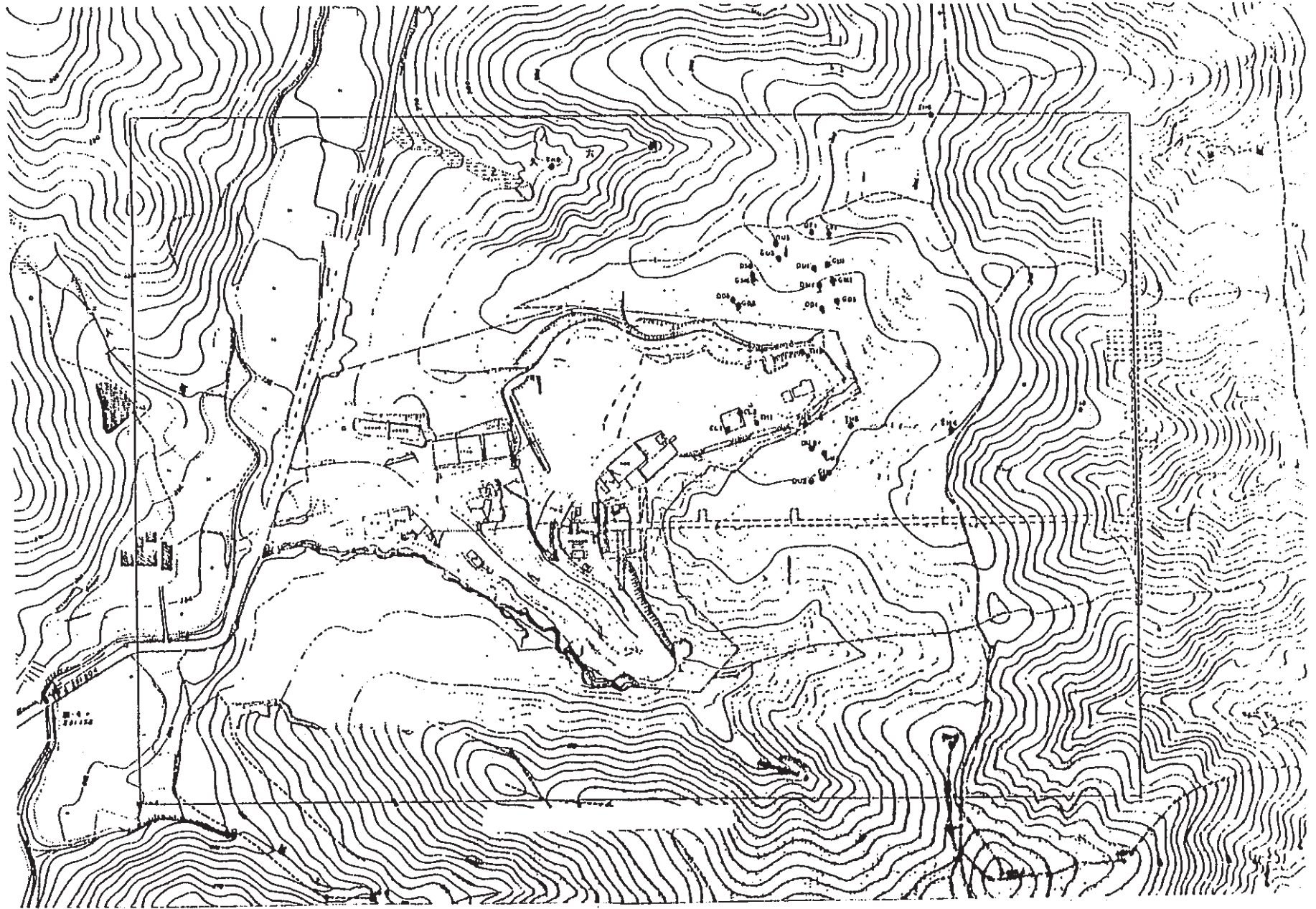


図 2 - 1 モデル化の範囲図

3. CADシステムの概要

3.1 CADシステムの概念

CADとは、Computer Aided Design の略で、「コンピュータに支援された設計」と訳される。一般的には設計者がグラフィックディスプレイを通じてコンピュータと対話しながら設計・製図作業を行うものである。

このシステムを利用すると、等高線の入力、編集、修正、DTM (Digital Terrain Model) の作成、編集、これらを利用した地層境界モデルの作成、造成計画、土量計算、道路線形、予備設計、縦横断面作成、三次元カラー景観シュミレーション等、幅広く土木設計計画の支援が得られる。

従来から電算機による自動設計システムが開発されているが、これとCADとの最も異なる点は、従来のシステムでは一旦データを入力すると途中で修正が不可能で、固定化された計算論理に基づいて図面が出力されるのに対し、CADは対話形式で設計を行うので修正や追加が簡単にでき、試行錯誤をしながら柔軟かつ自由度の大きい設計を行うことが出来るという点である。

3.2 CADシステムの構成

(1) 概要

使用したCADシステムは、EWS (Engineering Work Station) タイプのCADDStation システム (米国プライムコンピュータ社製) である。CADシステムの構成を図3-1に示す。

(2) CADDStation システム

このシステムは、各端末がそれぞれCPUを持ったEWSタイプである。各端末のCPUではシミュレーションや設計計算を独立して行うことができる。OSは、UNIXであり、UNIX環境の下にCADDStationというCADソフトが動くシステムである。

(3) ローカル・エリア・ネットワーク (LAN)

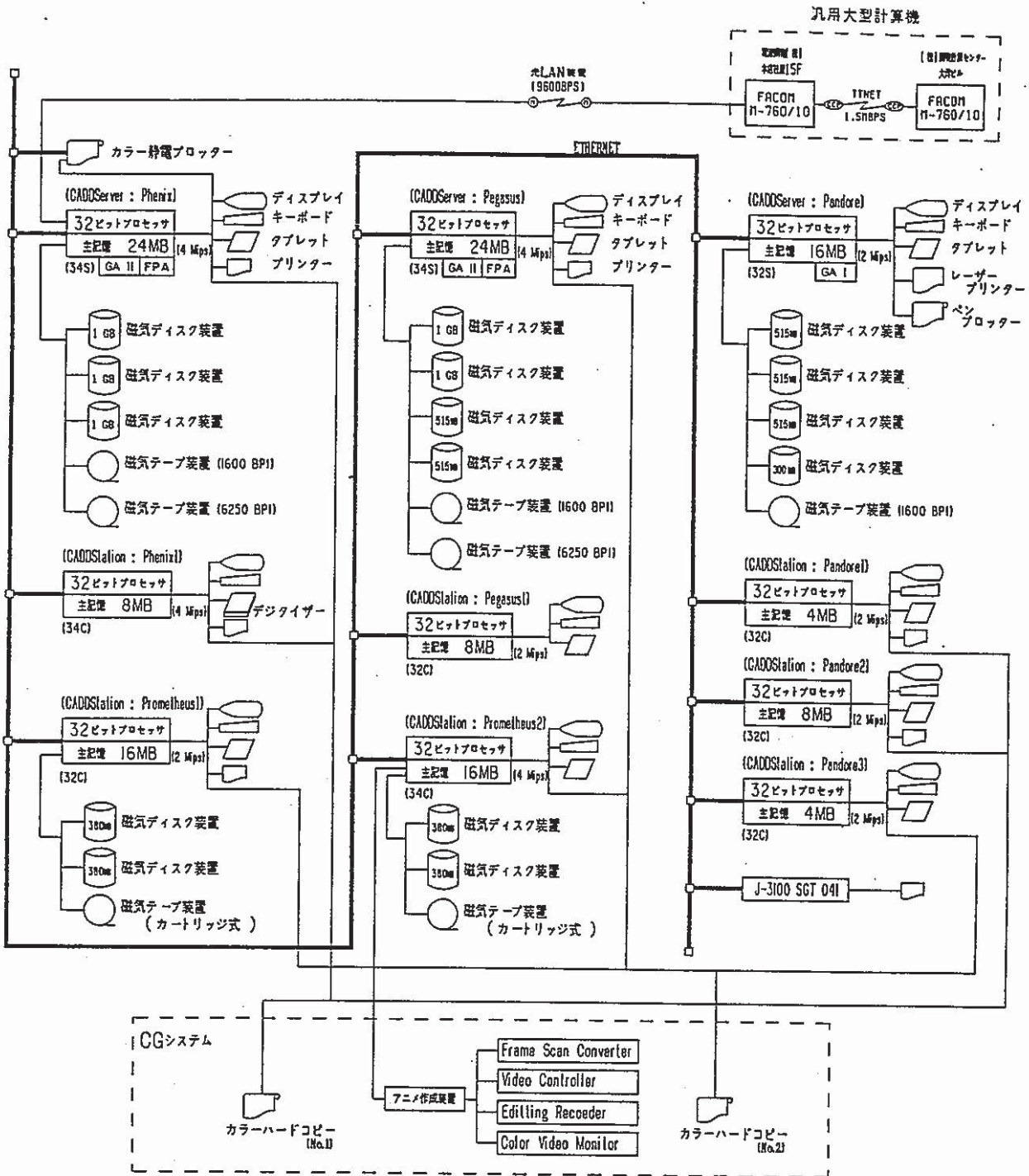
CADDStation システムは、各端末がイーサネットにより結合されている。このネッ

トワークを通してデータの転送ができ、同一データをそれぞれのシステムで利用可能である。

(4) オンライン

CADDStation システムは、ローカルにシステムが結合されていると同時に、光LAN装置を通じて汎用大型コンピュータとも結合されていて、各種の大型計算機の技術計算が可能となっている。

CADDStation システム



- Note :
- LAN : Local Area Network
 - GA : Graphics Accelerator, Board
 - MIPS : Mega Instructions Per Second
 - BPS : Bits Per Second
 - ETHERNET : Local Computer Network

CADDServer, CADDStation, CVMACはComputervision社
ETHERNETはXEROX社の登録商標です。

図3-1 CADシステムの構成

3.3 CADシステムの機能

(1) 二次元・三次元モデリング機能

CADシステムが一般のコンピュータシステムと大きく異なる機能がこの二次元・三次元モデリング機能である。

構造物、またはグラフを作図する場合は、点・線・折線・円・円弧等を紙に書いていくが、CADシステムにおいてもこれらと同様にシステムの中にモデルを組み立てるための各種要素が用意されている。これらをエンティティと呼んでいる。これらを用いて、構造物をCADシステムの中に挿入する。このシステムの中に挿入されたエンティティは、3次元データとして一元的に管理されている。

エンティティは、一般にCADのモデラーの概念により、以下のように分類される。

- ① ワイヤフレームモデル (X, Y, Zの座標を持つ点及び線等)
- ② サーフェスモデル (①を輪郭線とした面)
- ③ ソリッドモデル (中身の詰まった実体)

これを、設計・解析等の用途別に分類すると、

- ① 一般図面要素 (点、線、円弧、寸法等)
- ② FEMモデル (節点、エレメント)
- ③ DTMモデル (地形メッシュ、標高ネットワーク)
- ④ その他 (等高線、鉄骨要素、プラント部品等)

CADの特徴的な機能として一度挿入したエンティティは固定されたものではなく、必要に応じて自由自在に修正変更できるという操作性がある。その操作機能の主なものは、エンティティの削除・平行移動・回転・分割・複写、及び寸法の変更等などが上げられる。

(2) 製図機能

製図機能は、二次元・三次元モデリング機能により作成されたモデルを図面として表現するものである。CADシステムには長さ、径、角度等の寸法を記入する機能がある。どこの寸法をどこに記入するかを指示するだけでモデルの座標を自動的に計算し、寸法線と寸法値を記入する機能がある。モデルが変更されても寸法を再度自動的に計算し表現することも可能である。

この他図面枠やコンクリート、地質等の記号もシステム内部に登録しておき、これをその都度呼び出してはめこむことも可能である。

(3) 数量計算機能

設計作業においては構造物の延長・距離・面積・体積等の諸量を求め、それを集計することが必要である。このようなモデルの諸量を求める機能が数量計算機能である。

一般に人工物の数量の計算は何もCADに限ったことではないが、地形情報も織り込んで計算できる機能いわゆる土工量計算はCADの得意とする機能である。それについては以下の2つの代表的な手法がある。

① 線的土工量計算（断面積法）

道路・堤防・護岸等のように線的に形状が広がっているものに対して利用される方法である。構造物の平面的線形と縦断的線形及び標準断面形を与えることにより、自動的に各測点の横断図が作成され、各測点における切土、盛土の面積が求められ、平均断面法によりその体積が計算され数量計算結果が表示されるものである。

② 面的土工量計算（点高法）

敷地造成や建屋の基礎掘削のように面的に形状が広がっているものに対して利用される方法である。この方法では計算しようとする構造物と地形を指定することにより、構造物と地形に囲まれる体積が一括して求められる。

土工量計算を効率的に行う場合は、いずれの場合も数値地形モデル（DTM）を組み込んで利用することが必要である。

(4) 景観図作成機能

CADシステムにおいては、モデルは三次元座標データで格納されているが図面ではあくまで二次元的な表現でしかない。そこで三次元データとして扱われている特色を生かすため透視図とか陰線・陰影処理図とかで表現されたいわゆる景観図が必要となってくる。

これまで設計者が良く利用してきた完成予想図における鳥瞰図とか地下空洞の内部構造の立体模型とか各種の構造物をCADを利用して表現することができる。

(5) 解析支援機能

構造物の安定、地盤の安定、水理的な問題等々数値解析を行わなければならないことは多く、最近特にそれらの問題をFEM解析などで処理するケースが増えている。

FEM解析においては、有限要素を小さくし、分割を細かくすればする程精度が向上することから通常の問題においても1,000~2,000個程度の有限要素が用いられている。このようにFEM解析を行う際には、膨大な図形処理作業を必要とするが、CADシステムはこのような作業を効率的に行う機能を持ち、特に要素作成には有効な手段となりうる。

通常、要素作成の際には前後処理機能の利用により要素番号・節点番号の順序づけ、そのチェックならびに修正が極めて容易となる。また出力方法も等高線表示や濃淡表現のように色彩豊かにしかも任意の縮尺で結果の表示ができる。

4. 三次元モデルの作成

4. 1 モデル作成の手順

図2-1に示したモデル化領域で三次元モデリングを行った。図4-1に全体モデリング作業のフローを、また図4-2にCADによるピクチャー作成のフローを示す。このうちこの章では、各々のモデリングの方法について説明する。モデル化の対象物と、入力の際に参照した資料番号（表2-1の番号に対応）との関係を表4-1に示す。

4. 2 地形、主要地表構造物、地下構造物

4. 2. 1 地形（在来地表面、造成面）

地形をモデル化する場合、DTM（デジタル地形モデル）を用いるのが一般的である。DTMには、GRIDによる手法とTIN（Triangulated Irregular Network）による手法がある。

前者は、地形標高データを矩形のGRIDとしてファイルし、これらを滑らかに結ぶ自由曲面（BSurface）を発生させる手法であり、見栄えのする地形モデルの作成が可能である反面、標高が急変したり滑らかに続いている地形を忠実に表現することはできない。

これに対し後者は、3点の地形標高データを結ぶ任意の三角形で地形を表現する手法であり、地形の直線情報を三角形の一辺として取り込むことで、滑らかに続いている地形の境界線（ブレイクライン）を表現することが可能である。また、TINは任意の三角形の集合として地形を表現するため、GRIDによる手法に比して滑らかな見栄えのする地形は作成できないが、逆に、岩体表面などゴツゴツした感じを表現するのに適しているといえる。

本研究においては、在来地表面はGRIDを用いてモデル化を行った。また造成面は、検討の結果、DTMを用いないで自由曲面（BSurface）で作成した。以下にそれぞれのモデル化手順を示す。

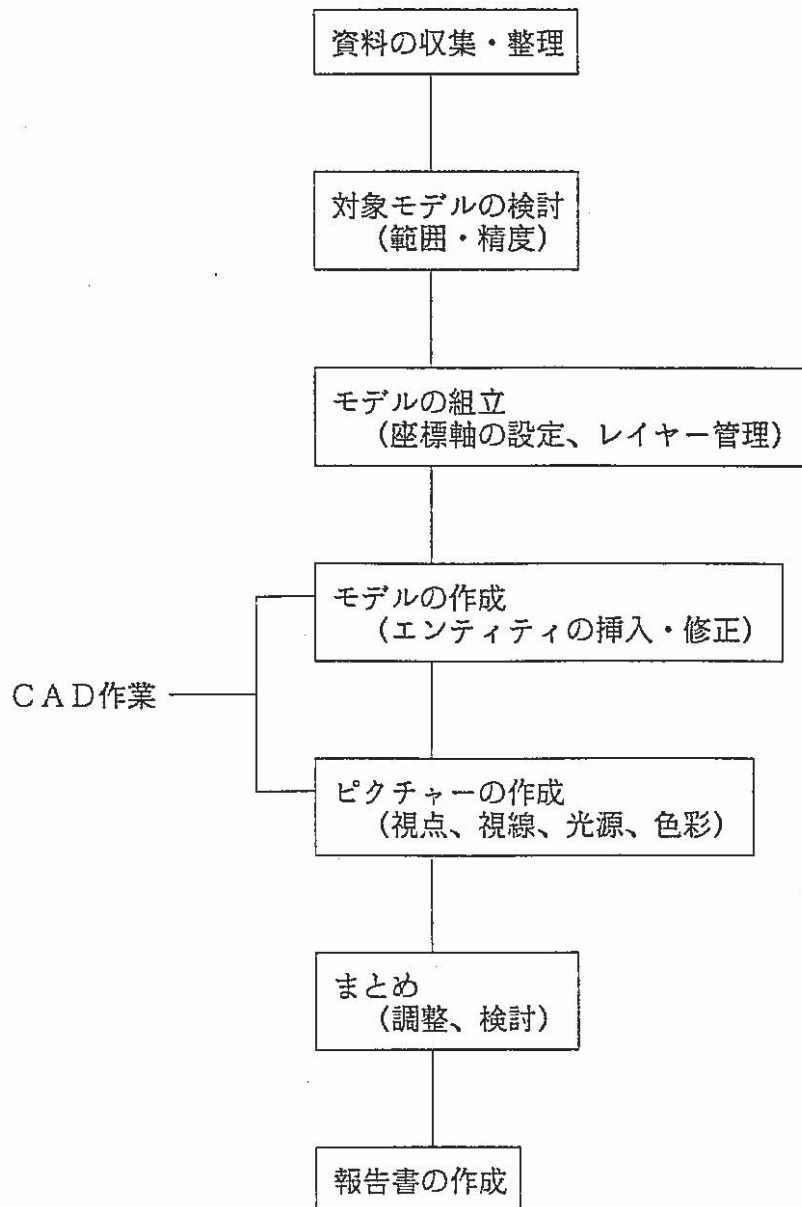


図4-1 全体モデリング作業のフロー

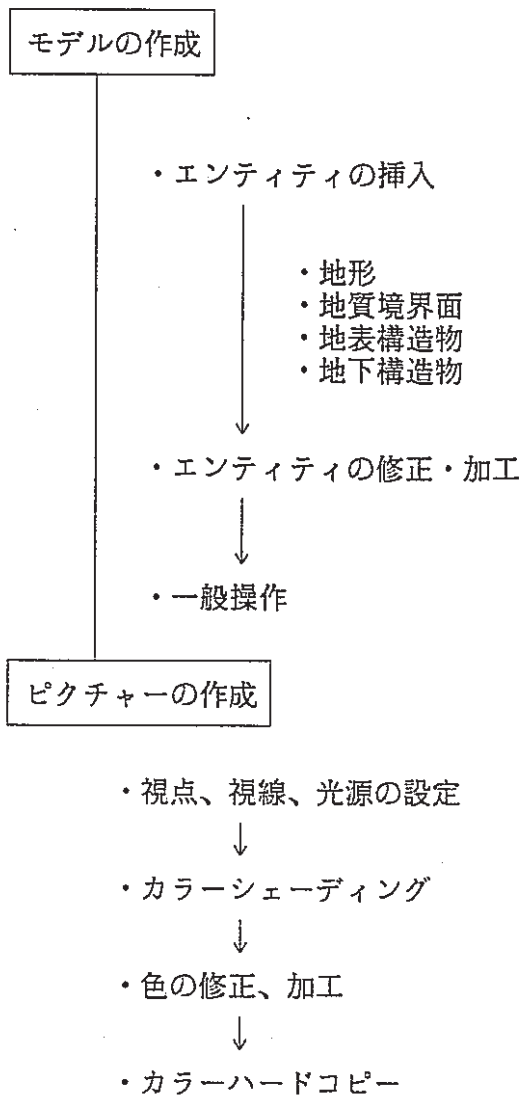


図4-2 CADによるピクチャー作成フロー

表4-1 モデル化対象物と入力時参照資料の対応

分類	モデル化対象物	入力時参照資料No
地形	在来地表面	1, 2
	造成地形	1, 2
地表構造物	道路	1, 2
	建物	2
地下構造物	調査坑道、立坑	9, 10
	試験立坑、諸坑道	11~18
	ボーリング孔	3, 7
地質	地質境界面	3~8
	断層面	4, 5, 7, 8
試験レイアウト	シンボルフィギュア	19

注) 入力時参照資料No. は、表2-1の番号に対応

(1) 在来地表面

まず、東濃鉾山平面図（表2-1 No.2 S=1/250）の等高線をデジタイザーにより1 m間隔で入力した。モデル化領域に足りない部分については、東濃鉾山周辺地形図（表2-1 No.1 S=1/1000）の等高線を2 m間隔で入力した。この等高線より地形標高データファイル（DTMグリッド）を作成し、メッシュ状の地形データを発生させた。グリッド間隔は、大きすぎると不自然な地形が生じることがあり、また、小さすぎるとデータファイルの容量に問題が生じてくるため、適切な値を選択する必要がある。本研究においてはグリッド間隔は5 mとした。

次に、これらのメッシュ状の地形データを行あるいは列方向に三次曲線で結び（BSpline）、さらにこれらを通過する滑らかな自由曲面（BSurface）を作成した。

最後に、このようにしてできた自由曲面（BSurface）を、造成面との境界線で切り取る必要がある。そのために、まずBSurfaceをSpoleという小さなパッチの自由曲面の集合に変換し、境界線に沿って切り取った。

以上の手順で在来地表面モデルを作成した。

(2) 造成面

東濃鉾山平面図（表2-1 No.2 S=1/250）には、造成面の等高線情報は記載されていないため、境界線上で標高の既知な点と複数の測量点をデジタイザーにより入力し、地形標高データとした。場所によって、データ数にばらつきがある場合には標高を推定し、データを補間した。

これらの標高点からグリッドデータを発生させるには点数が少なすぎることに、及び在来地表面（BSurfaceで作成）とのハンドリングの相性を考慮して造成面をDTMを用いない自由曲面（BSurface）で作成することにした。

自由曲面（BSurface）を定義するために、まず、造成面をいくつかの領域に分割し、その境界となる三次曲線（BSpline）を標高点を結ぶことにより作成した。次に、これらの三次曲線（BSpline）を通過する自由曲面（BSurface）を作成し、造成面モデルとした。

4. 2. 2 主要地表構造物（主要建屋、道路）

主要地表構造物については詳細なデータが不足のため、東濃鉾山平面図（表 2-1 No. 2 S=1/250）を用いた。

（1） 主要建屋

まず、平面位置をデジタイザーにより投入（標高 $Z=0$ ）し、造成面まで投影する。次に、現場写真等を参考にしながら建屋の高さを決め、その高さまで投影して外郭面を作成した。

（2） 道路

デジタイザーによりセンターラインを入力（標高 $Z=0$ ）し、在来地表面のDTMグリッドに投影する。そのセンターラインを道路両端に平行移動し、さらにそれを輪郭線とする曲面を作成して道路モデルとした。

4. 2. 3 地下構造物（調査立坑・坑道、試験立坑・坑道、ボーリング孔）

（1） 調査立坑・坑道

調査坑道については、断面形状情報がないため、東濃鉾山調査坑道平面図（表 2-1 No. 9 S=1/500）より坑道幅を決め、それを直径とする半円形断面とした。直線部分は、調査坑道測量結果一覧表（表 2-1 No. 10）から任意の個所に断面を入力し、それを両端とする面を作成した。本延坑道から北延坑道に至る曲線部分は、その両端に断面を入力しこれらを始末端としてガイド曲線（センターライン）に沿って連続移動し、面を作成した。

調査立坑は、東濃鉾山調査坑道平面図（表 2-1 No. 9 S=1/500）より直径 3 mとし、東濃鉾山坑道平断面模式図（表 2-1 No. 20）より標高を確認して円柱状のモデルとした。

（2） 試験立坑・坑道

東濃鉾山試験用立坑工事図面（表 2-1 No. 11 ~18）の平面図及び断面図よ

りモデル化を行った。

立坑は、直径6mの円柱で、周囲に40cmの巻立てが施されている。計測坑道、サンプリング坑道、上盤・下盤連絡坑道は、馬蹄形の断面を有しており、両端に断面を入力した後、面を作成した。

試験立坑・坑道は、試験レイアウトを三次元表現する際にワイヤフレームとして表示するため、サーフィスモデルとワイヤフレームモデルの両者を作成した。

(3) ボーリング孔

モデル化の対象としたボーリング孔は、TT1, TH1~TH8, SN4の10本である。この10本について、ボーリング柱状図(表2-1 No.7)より作成した地質境界深度一覧表(表4-3)をもとに、当社の開発した「ボーリング柱状図作成プログラム」を用いてモデル化を行っている。

このプログラムは、坑口座標、地質区分数、地質境界深度などの数値データ及びボーリング孔名、地質名といった属性データをCADシステムに入力することで、三次元モデルを作成することができる。また、一度モデル化したボーリング孔の径を簡単に変更できるという特徴を持っている。

プログラムを実行すると、2種類のボーリング孔がモデル化される。一つは孔口から孔先端まで1つの円柱として、あとの一つは地質別に要素が分割された複数の円柱として出力される。ボーリング孔を一本の構造物として表現すればよい場合には前者を採用し、地質別に色分けする必要のある場合には後者を採用すればよい。

なお、本研究において、ボーリング孔の径は、他の構造物に比して表現上小さすぎるため、1.5mとしている。

4. 3 地質境界

4. 3. 1 地質境界の作成条件

(1) モデル化の範囲

地質境界を作成するモデル化の範囲に関しては、

- ①水理観測システムの計画範囲を包含すること
- ②東側境界は既設の北延を包含すること
- ③モデル化に必要な地質データが得られること
- ④深度方向には十分な厚さの基盤の花崗岩を包含すること

と言った条件が上げられる。これらの条件を考慮して、本研究では北延を東辺とする東西約400m南北約300m長方形の範囲で、標高 0m より上部をモデル化範囲とした。

(2) モデル化に利用したデータ

表2-1の資料に基づいて、モデル化範囲内の地質境界データを入力データとして整理した(表4-2参照)。入力データとしては新規のボーリングデータを中心に整理し、従来の地質の解釈と整合性をとるため、調査坑の鉛直・水平断面図のデータも利用することとした。

表4-2 入力データ一覧表

資料名	資料No *	入力データ
試錐成果表 (座標・標高)	3] 表4-3 地質境界深度一覧表参照
ボーリング柱状図	7, 8	
調査坑平面図 (160m レベル)	4	断層通過地点 (5点)
北延地質断面図	5	花崗岩上面地質境界コンター
		断層通過地点 (4点)
		地質境界 (断層北側領域, 4層×2点)
		地質境界 (断層南側領域, 3層×5点)
本延地質断面図	6	地質境界 (断層南側領域, 3層×13点)

* 表2-1参照

表4-3(a) 地質境界深度一覧表

		地質境界深度							
孔名	座標 X Y	孔口 地質 略号 境界略号 標高 (m)	地質名→瀬戸	生俵	明世	土岐夾炭層		花崗	月吉
			層群 →ST	累層 OD	累層 AK	上部 TU	下部 TL	岩 GR	断層 T-F
			S-DA	O-A	A-T	TU-TL	T-G		
断層 北側 領域 ボー リ ン グ デ ー タ	TT1	-68244.75 4819.72	287.00	16.4	—	—	—	—	116.2
	TH1	-68245.68 4829.58	286.41	不明 (ケ-ソウガ)	—	—	—	162.7	132.5
	TH2	-68246.57 4850.47	289.32	20.0	—	—	—	169.2	136.5
	TH3	-68247.02 4870.35	297.55	26.0	—	—	—	189.8	170.7
	TH4	-68249.09 4913.54	310.07	38.1	—	—	—	—	—
	TH5	-68216.92 4849.53	287.42	21.0	—	—	132.3	165.2	不明 (記載無)
	TH6	-68120.52 4906.60	312.78	42.9	88.6	117.8	146.4	163.0	—
	TH8	-68141.20 4742.55	276.12	12.3	51.3	78.3	106.5	139.1	—
	S46	調査工事位置図 及び調査坑平面図 (160mレベル) に従ってデジタル ズ入力		13	58	111	116	145	56
S43	—		—	—	—	125	103		
S71	—		—	—	—	122	96		
S28	23		—	90	128	171	52		
S78	14		53	96	110	141	—		
S7	2		37	64	93	119	—		
S83	—		48	66	94	111	—		
S85	27		72	90	127	157	—		
S82	19		63	90	114	156	—		

表 4 - 3 (b) 地質境界深度一覽表

地 質 境 界 深 度										
孔名	座 標 X Y	孔口 標高 (m)	地質名→瀬戸		生俵	明世	土岐夾炭層		花崗	月吉
			地質 略号	層群 →ST	累層 OD	累層 AK	上部 TU	下部 TL	岩 GR	断層
			境界略号→S-OA		O-A	A-T	TU-TL	T-G	T-F	
断層 南側 領域 ボー リ ン グ 等 デ ー タ	TT1	-68244.75 4819.72	287.00	16.4	—	59.7	(84.0) (記載無)	—	116.2	
	TH1	-68245.68 4829.58	286.41	不明 (ケ-ンガ)	—	60.3	85.0	—	132.5	
	TH2	-68246.57 4850.47	289.32	20.0	—	64.0	89.0	—	136.5	
	TH3	-68247.02 4870.35	297.55	26.0	—	74.3	123.0	161.5	170.7	
	TH4	-68249.09 4913.54	310.07	38.1	—	79.1	139.2	175.4	—	
	TH5	-68216.92 4849.53	287.42	21.0	—	67.5	—	—	不明 (記載無)	
	TH7	-68380.72 4912.35	306.83	38.5	—	90.3	118.0	136.0	—	
	SN4	-68402.93 4563.56	254.17	—	—	41.0	不明 (記載無)	75.5	—	
	既存 立坑	-68288.23 4750.36	285.4	13.0	—	68.4	85.9	120.6	—	
	S46	調査工事位置図 及び調査坑平面図 (160mレベル) に従ってデジタイ ズ入力	13	26	—	—	—	56		
S43	—		—	48	72	—	103			
S71	—		—	43	61	—	96			
S28	23		29	—	—	—	52			
S21	—		8	53	68	99	—			
S67	10		—	56	74	108	—			
S158	30		—	70	88	107	—			
S201	22		—	74	85	110	—			
S203	30	—	75	89	100	—				

地質モデルの作成に利用した立坑及びボーリングの柱状図に示されている地質境界（各地質の境界、花崗岩上面の不整合面、断層面）の深度を、表4-3に一覧表として整理した。本地区の地質境界は月吉断層により変位しており、各地質境界面はこの断層を境にして不連続な2つの面に分けられていることから、地質境界面のデータを断層を境にしてその北側と南側の2領域に分けて整理した。

4. 3. 2 CADシステムによる地質境界の作成

コンピュータによる地質の主なモデル化手法としては、次のようなものがあげられる。

- ① 地質境界面をその面上の線またはメッシュの集合として表現するもの
（ワイヤフレームモデル）
- ② 地質境界面をその面上の長方形等の小さな平面の集合として表現するもの
（サーフェスモデル（平面））
- ③ 地質境界面を3次元の自由曲面として表現するもの
（サーフェスモデル（曲面））
- ④ 地層あるいは岩体自体を3次元のマスとして表現するもの
（ソリッドモデル）

これらの内で④は最も理想的なものではあるが、現時点のハードウェア及びソフトウェアでは現実の複雑な地質構造を取り扱うのは不可能である。①から③の中では、モデルの全体のデータ量は最も大きくなるが、表現力の点で最も優れているのは③の曲面を用いたサーフェスモデルである。広報用資料の作成を目的とする本研究ではこのモデル化手法を用いることとした。以下にCADシステムを用いて東濃鉾山の地質境界をモデル化した手順を説明する。

(1) データの入力

データは X, Y, Zの座標値を持つ“点”として、各地質境界ごとにレイヤー（データの保存領域）を区分し、キーボード及びデジタイザーを用いて入力する。

一例として土岐夾炭層の上部と下部の境界面のデータを入力した結果を図4-3に示す。

(2) 地質境界“面”の作成

地質境界“面”の作成手順は以下の通りである。

① 三角形の作成

(1)で入力した点データは、数が少なく分布も変則的なので、モデリングの最初のプロセスとして、TIN (Triangulated Irregular Network)アルゴリズムに従って地質境界面のDTM (Digital Terrain Model) を作成した。具体的には入力した各点を連結した各三角形の各辺の長さが出来るだけ均等になるように反復計算を行い、最適な三角形群を自動作成した。(図4-4)

② 地質境界面のコンター(“線”)の作成

①で作成したTIN DTM の各三角形の頂点の座標に基づいて等高線の補間計算を行い、各線分を滑らかに連結して等高線を作成した。(図4-5)

③ コンターの外挿

地質境界面のTIN DTM は入力データの分布する範囲の内側に限って作成されるので、以上のプロセスでは地表面、断層面、不整合面及びモデル化の東西南北の鉛直境界面との交差部までのDTM は得られない。地質モデルを作成するためにはこれらの交差部を求める必要があるので、地質境界面を交差部を越える範囲まで予め作成しておく必要がある。このような地質境界面の外挿は自動化が困難なので、地質の分布形状の全体的傾向を考慮しながら手作業で地質境界面の構成要素となるコンターを延長する手法を採用した。(図4-6)ただし本モデルの地質情報は比較的密に与えられているので、(3)で述べるようにトリミングにより消去される部分を差し引くと、実際は外挿により作成された地質

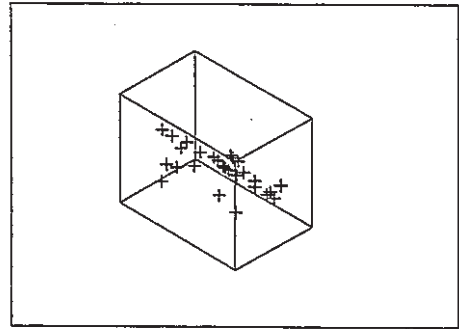
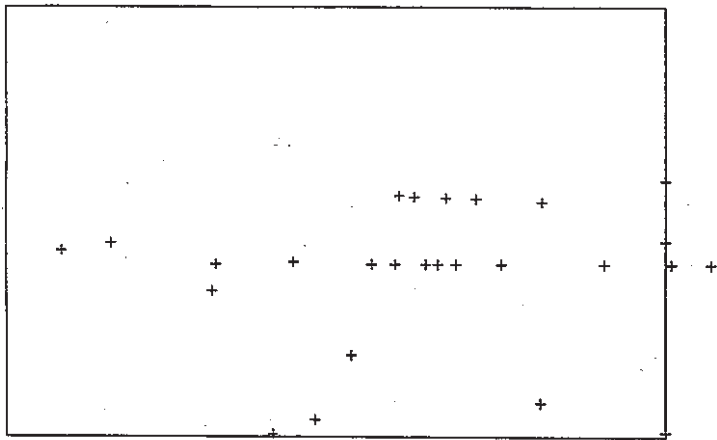


図 4 - 3 地質境界ポイントデータ

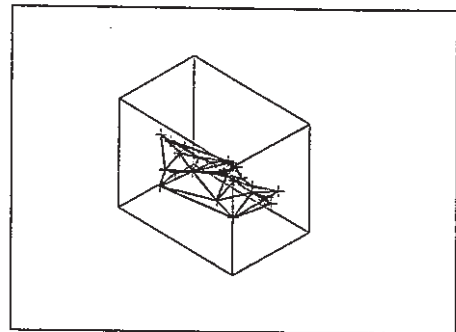
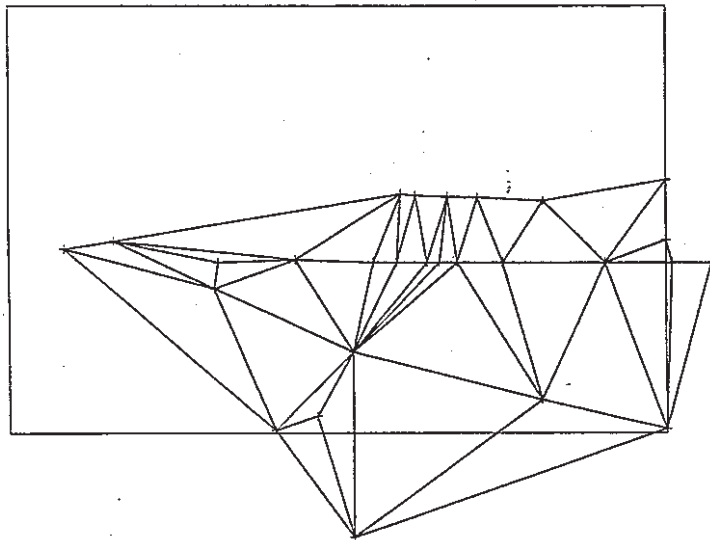


図 4 - 4 地質境界のTIN (Triangulated Irregular Network)

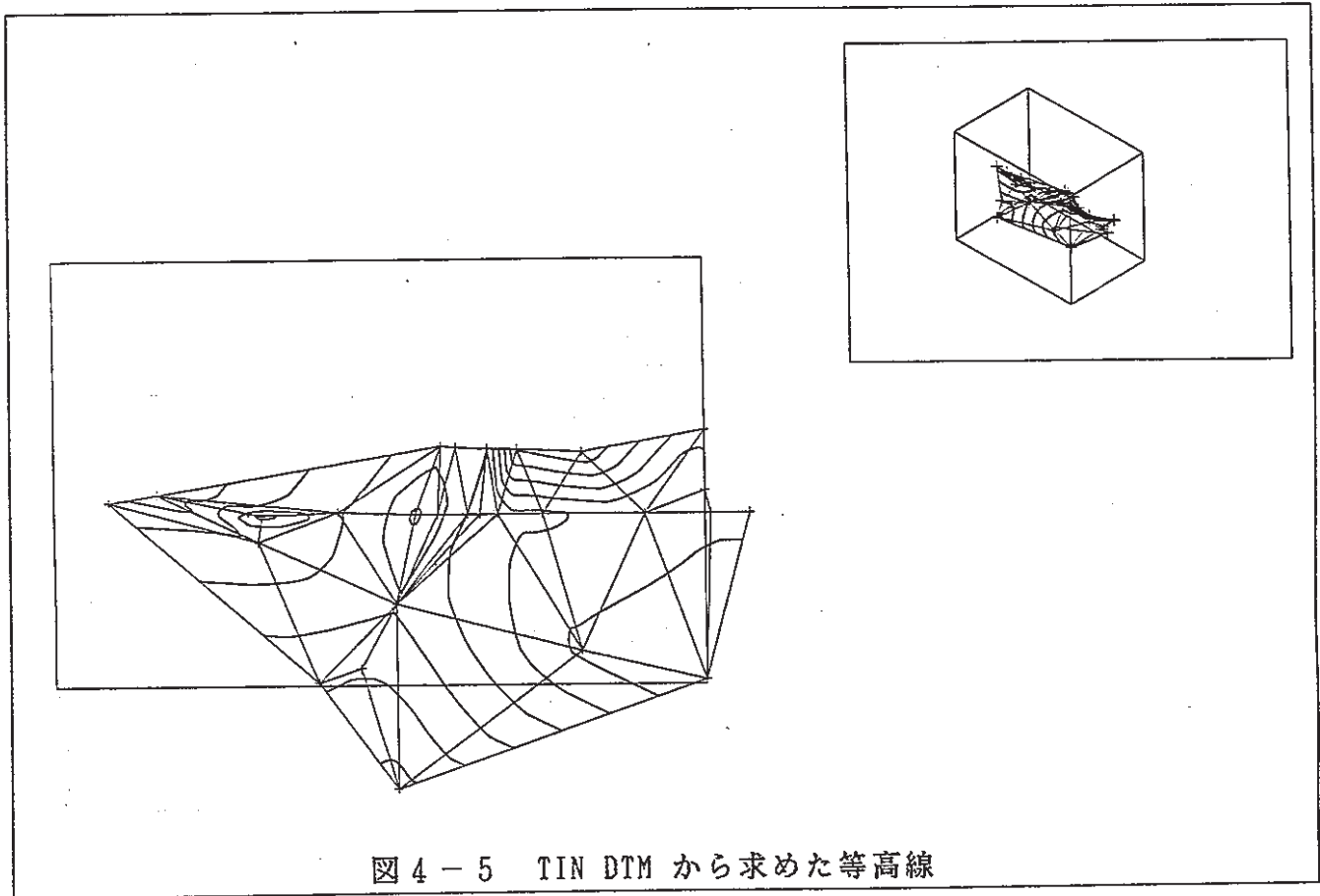


図 4 - 5 TIN DTM から求めた等高線

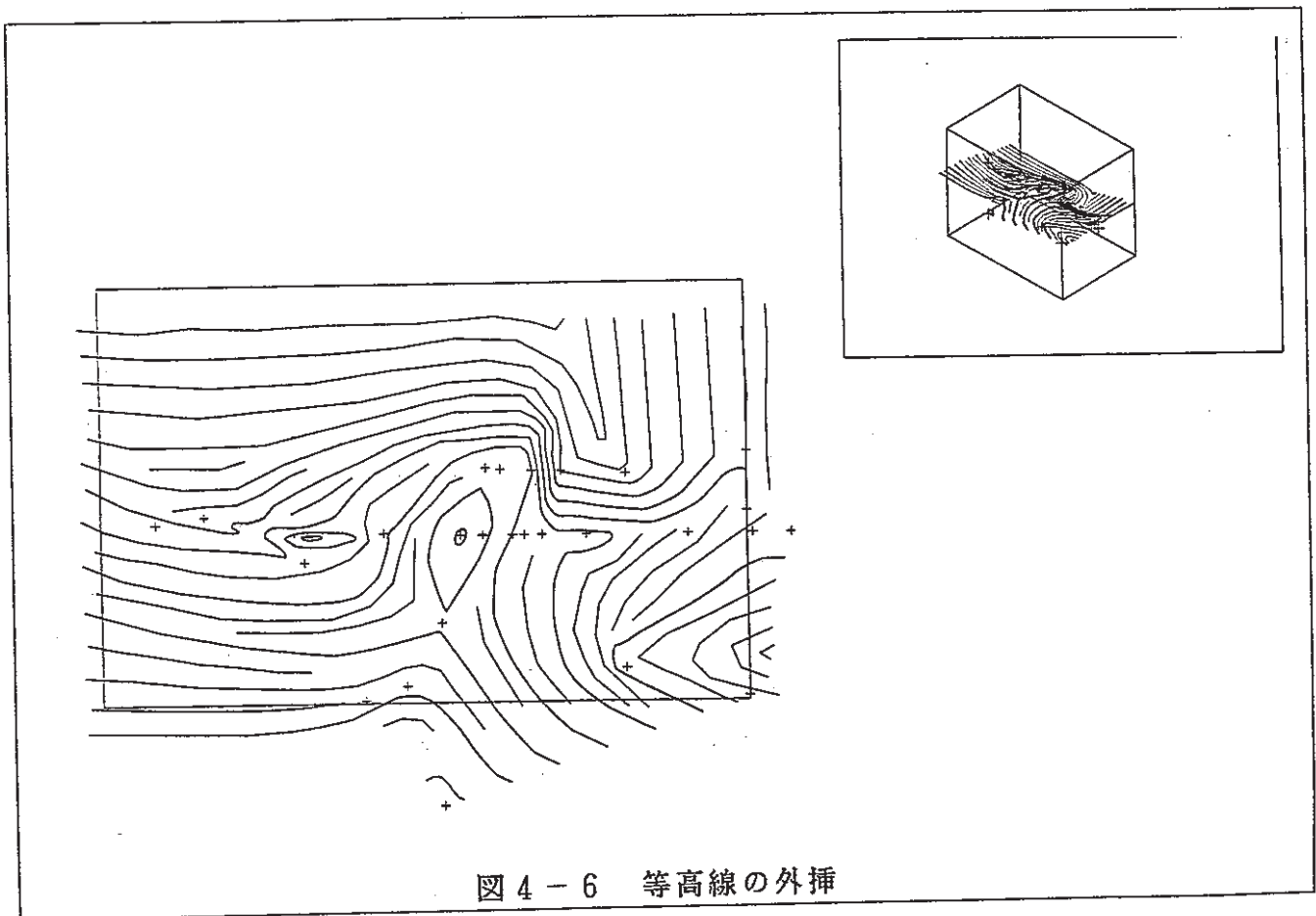


図 4 - 6 等高線の外挿

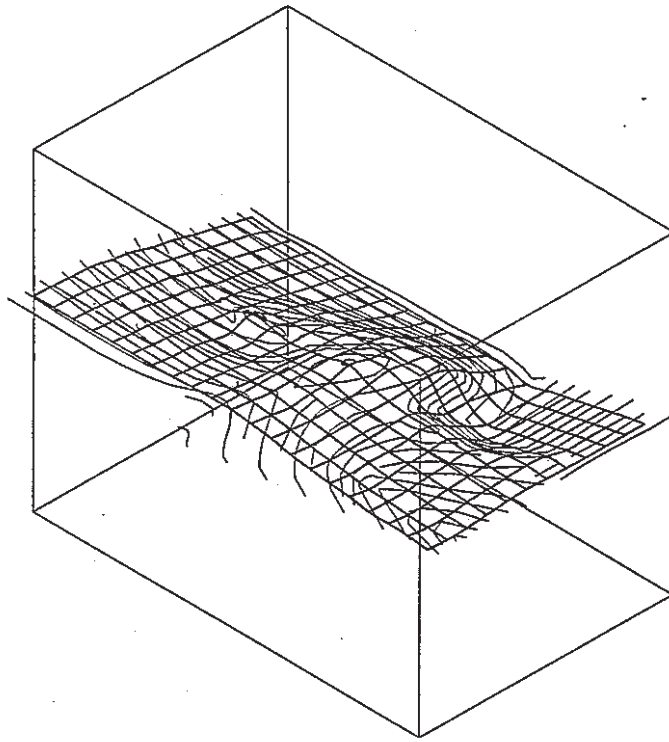


図 4 - 7 等高線から B Spline Surface の作成

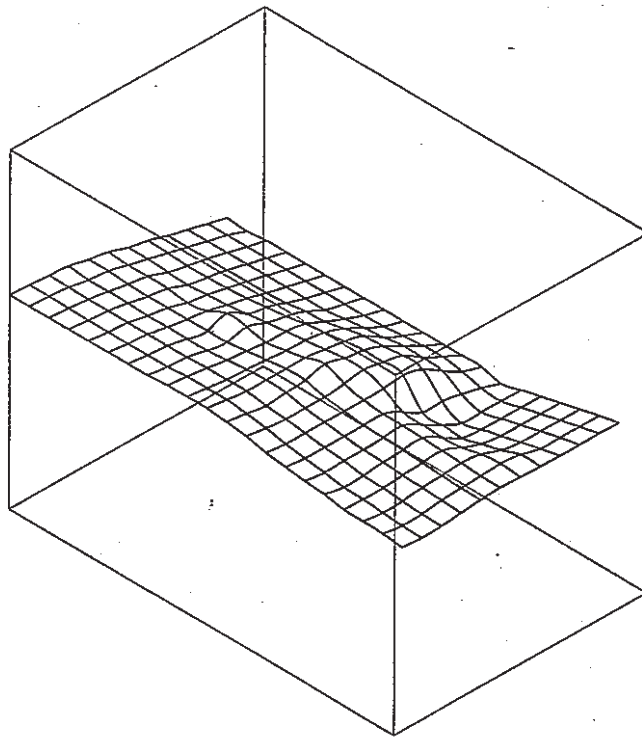


図 4 - 8 地質境界の B Spline Surface

境界面はわずかで、人間の推定の仕方の違いがモデル形状に与える影響は少ない。

④ 地質境界“面”の作成

地質境界面を外観の優れた B Spline Surface (以下 B Surface とする) による三次元自由曲面として作成するために、③の地質境界面のコンターからグリッドDTM データ (各格子点の標高データ) を計算し、このデータを用いて B Surface で構成される地質境界“面”を作成した。(図4-7, 8)

なお月吉断層面についても上述の①から④の手順で“面”の作成を行った。

(3) 地質境界面の編集

(2)で作成した地質境界面は断層面や不整合面との関係が表現出来ておらず、地質境界相互の切断関係を考慮して地質境界面のトリミングを行う必要がある。また、モデル化領域からはみ出した地層境界面についてもトリミングを行った。以下にその内容を説明する。

① 地質境界間の交差部のトリミング

地質境界間でトリミングを必要とするものは次のものである。

- ・月吉断層下面 T-F —— 瀬戸層群下面 S-OA (不整合)
- ・生伎累層下面 O-A —— 瀬戸層群下面 S-OA (不整合)
- ・明世累層下面 A-T —— 瀬戸層群下面 S-OA (不整合)
- ・生伎累層下面 O-A —— 月吉断層 T-F
- ・明世累層下面 A-T —— 月吉断層 T-F
- ・土岐夾炭層上部下面 TU-TL —— 月吉断層 T-F
- ・土岐夾炭層下部下面 T-G —— 月吉断層 T-F

(いずれも左側のものが右側のものに切断される)

これらの面を構成する B Surface はそのままでは任意の形状にトリミングを行うことが出来ないので、先ず Bozier Surface へ変換し、次にトリミングを行った。(図4-9, 10)

② 地質境界とモデル化領域境界面との交差部のトリミング

モデル化領域の側面及び底面が鉛直及び水平の地質断面となるように領域からはみ出した部分のトリミングを①と同様にして行いモデルの外観を整えた。(図4-11)

③ 地質境界と地表面のトリミング

地質境界の中で瀬戸層群下面(S-0A)は地表面と交差し、その交線は地質境界の地表露頭線(真上から見ると地質平面図の地層境界線)となる。この部分のトリミングも①と同様にして行った。(図4-12)

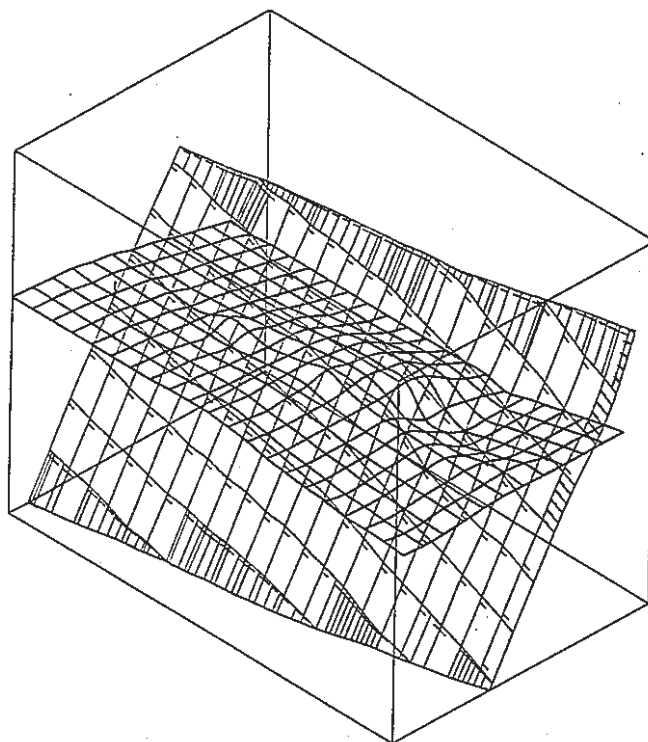


図 4 - 9 地質境界面と断層面の関係

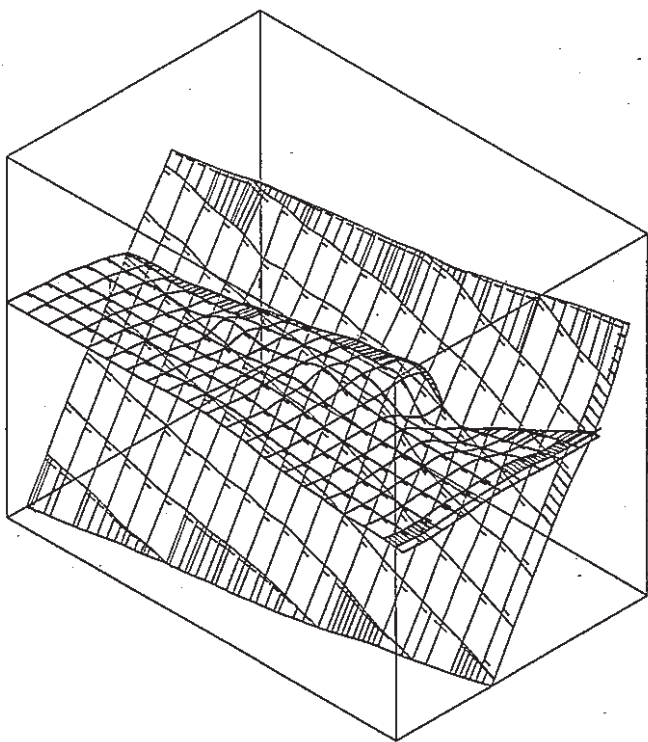


図 4 - 10 断層との交差部での地質境界のトリミング

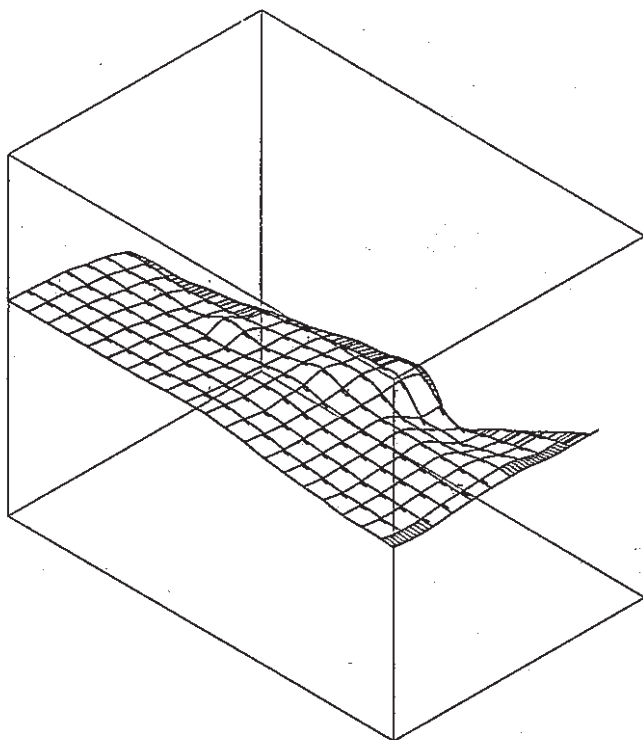
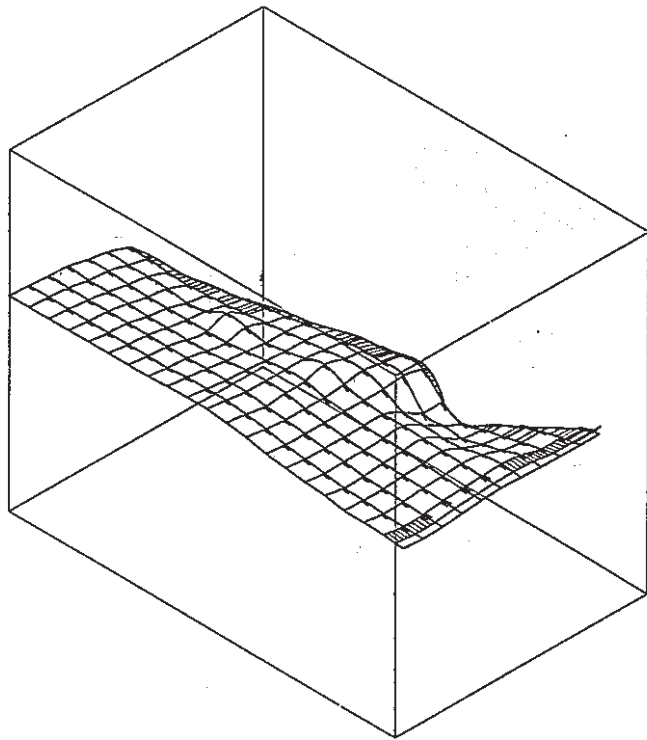


図 4 - 11 地質境界面のモデル化領域外の部分のトリミング

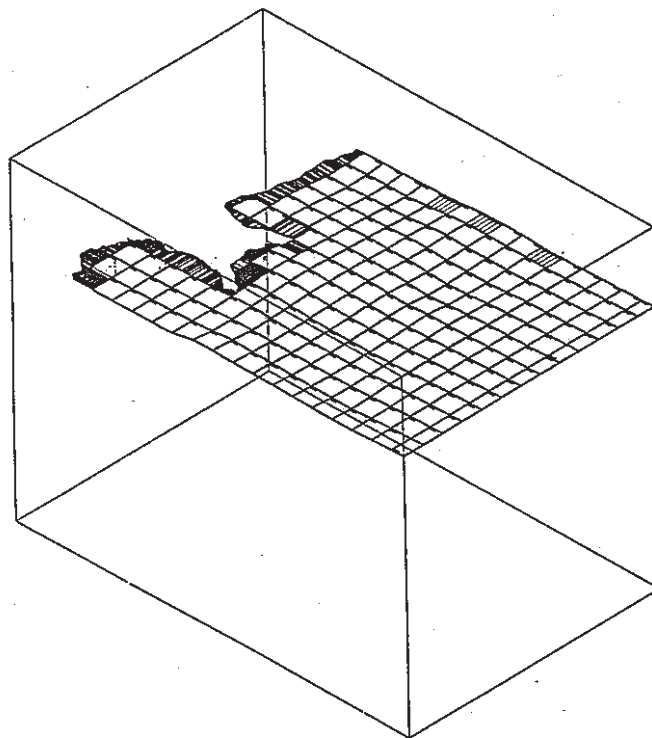
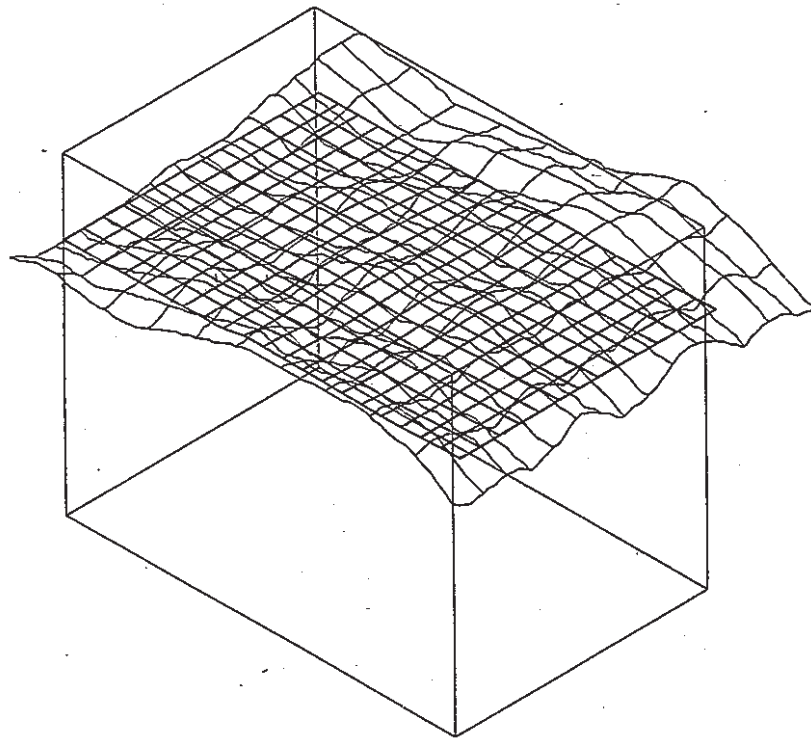


図 4 - 12 地形面による地質境界面のトリミング

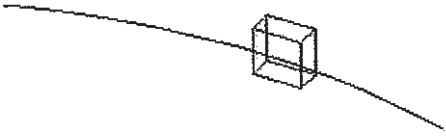
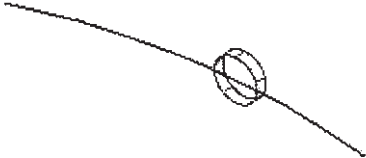
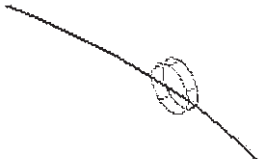


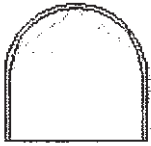



4. 4 試験のレイアウト

支保工応力測定、覆工応力測定、覆工背面土圧測定、ロックボルト軸力測定、内空変位測定、天端沈下測定、孔内載荷試験、透水試験の配置計画についてシンボルフィギュアを決め、モデル化した。

各シンボルフィギュアを表4-4に示す。フィギュアとは、要素の集合を一つの要素として登録したものであり、これを準備しておけば図形情報を効率よく挿入でき、作業時間を短縮できる。

シンボルフィギュアは、なるべく実際の試験を表現するような形状とし、紛らわしいものについては色を変えることにより区別した。

表 4 - 4 試験レイアウトの三次元表現に用いるシンボルフィギュア

試験名	シンボルフィギュア	色
支保工応力測定	直方体 	緑
覆工応力測定	円柱 (ディスク状) 	赤
覆工背面土圧測定	円柱 (ディスク状) 	茶
ロック付軸力測定	円柱 (棒状) 	黄緑
岩盤変位測定	円柱 (棒状) 	紫
内空変位測定	円柱 (棒状) 	黄
天端沈下測定	円錐 	赤
孔内載荷試験	円柱 (棒状) 	ピンク
透水試験	円柱 (棒状) 	青

5. 三次元モデルの検討

4章で作成した三次元モデルを可視化した。作成したピクチャー相互の関連を図5-1に示す。また、その成果出力図の一覧を表5-1に示す。成果出力図は別冊の付録に添付している。

5. 1 全体立体図

付図-1～3に全体立体図を示す。付図-1～2は、本地点を南東方向上方から眺めたものであり、付図-3は、南西方向上方から眺めたものである。CADの中ではこのモデルは、実寸法で認識されているため視点、視線、光源、色彩等を指定するだけで自在に比較検討が可能である。方位を示す記号は、予めフィギュア(4.3参照)として登録しておき、図面作成の際に呼び出して使用したものである。

各地質に使用する色は、本来ならば現地で用いている地質図等の配色と同じであることが望ましいが、図面の中にスケールや方位を示す記号あるいは文字等を挿入するためには使用可能な色が限定されてしまう。そこで、本研究では以下の色を用いて地質を表示した。

瀬戸層群	: 水色
生俵累層	: 白色
明世累層	: 黄色
土岐挾炭層上部	: 緑色
土岐挾炭層下部	: 灰色
花崗岩	: 紅色

5. 2 地下構造物立体図

付図-4～6に地下構造物を示す。付図-4は調査立坑・坑道、付図-5は調査立坑・坑道に試験立坑、計測坑道、サンプリング坑道、上盤・下盤連絡坑道を加えたもの、付図-6はそれらにボーリング孔を加えたものである。

4.1.3(3)で記述した通り、2種類のボーリング孔がモデル化されており、付図-6では地質別に要素が分割されたモデルに各地質と同じ色を付けて表

示したものである。

5. 3 地質断面図

付図-7～11に地質断面図を示す。その断面は以下に示すような立坑、坑道を通る東西あるいは南北方向である。

- (1) 北延を通る南北断面
- (2) 試験立坑を通る南北断面
- (3) 調査立坑を通る南北断面
- (4) 試験立坑を通る東西断面
- (5) 調査立坑を通る東西断面

各地質断面図には、その位置にある立坑、坑道あるいはボーリング孔も一緒に示してある。

5. 4 フェンスモデル図

5. 3で作成した地質断面図を組み合わせて、モデル領域境界部の地質断面図とともに示した。付図-12は、調査立坑を通る南北、東西断面、及び試験立坑を通る南北、東西断面と、モデル領域境界部の西側及び北側地質断面図を組み合わせたものである。また、付図-12から、調査立坑を通る東西断面図を除いたものを付図-13に示す。これらは、地質断面図相互の関係を把握する手掛かりとなると思われる。

5. 5 全体カットモデル図

全体地形と地下構造物を同時に表現するために、地形を一部分切り取ったモデルを考え、これをカットモデルとして表示した。ボーリング孔や坑道、立坑の位置関係がわかるように2つのカットモデルを作成した。一つは南東部分を切り取ったものであり、もう一つは南西部分を切り取ったものである。

付図-14は、南東部分を切り取ったモデルのうち、領域が分かるようにワイヤースケッチモデルを上から見たものである。これに色を着けて表現し、南東方

向上方から眺めたものを付図-15~16に示す。付図-17は、南西部分を切り取ったモデルのうち、領域が分かるようにワイヤーステッドモデルを上から見たものである。これに色を着けて表現し、同様に南西方向上方から眺めたものを付図-18に示す。

5. 6 試験のレイアウト

付図-19は、試験レイアウトを表現するためのシンボルフィギュアを試験立坑・坑道とともに示したものである。シンボルフィギュアを見せるために、試験立坑・坑道は、ワイヤーステッドモデルで表現してある。また、ジオトモグラフィ用ボーリング孔の径は、他の構造物に比して表現上小さすぎるため、付図-19~30のうち19のみ25cmとしてある。なお、試験立坑・坑道断面に沿って同一平面上に試験配置が計画されている場合には、それをはっきりと示すために断面形の補助線をシンボルフィギュアとともに示した。

付図-20~23は、試験立坑での試験レイアウトを示したものである。この際、各坑道での試験レイアウトは表現を省略してある。このうち付図-23は、S1断面を拡大し、各測定位置を分かりやすく示したものである。

付図-24~26は、各坑道での試験レイアウトを示したものである。この際試験立坑での試験レイアウトは表現を省略してある。

付図-27~30は、試験レイアウトのうち特に孔内載荷試験及び透水試験位置を指定している断面A~Dについて示したものである。B断面では、明世累層及び土岐挟炭層上部の境界面を挟んで各試験について各層で4点ずつ位置を定義している。C断面では、断層面を基準に測線を決め、各試験位置を定義している。いずれの断面についても、基準となるモデル化した地質境界面と、試験レイアウトの関係が「立坑掘削影響試験実施計画書」の計画通りに配置されていることをCADの中で確認している。

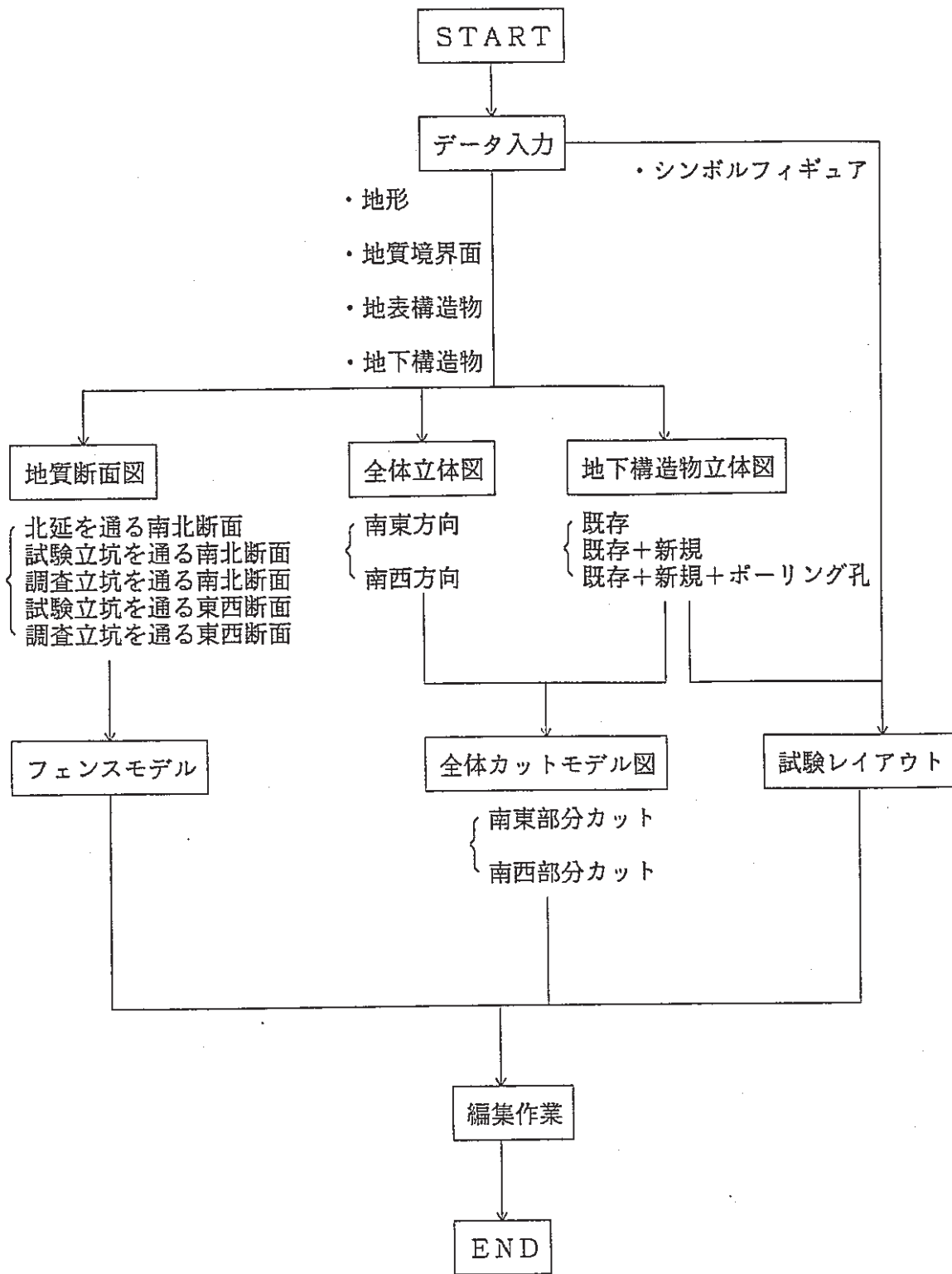


図5-1 作成したピクチャー相互の関連

表5-1 (a) 成果出力図 (ピクチャー) 一覧

図 番	タイトル	備考
Appended Fig-1 付図-1	Block Diagram view from South-East direction (1) 全体立体図	南東方向 (1)
Appended Fig-2 付図-2	Block Diagram view from South-East direction (2) 全体立体図	南東方向 (2)
Appended Fig-3 付図-3	Block Diagram view from South-West direction 全体立体図	南西方向
Appended Fig-4 付図-4	Existing Underground Structures 既存地下構造物	
Appended Fig-5 付図-5	Underground Structures(including Test Shaft) 新規・既存地下構造物	
Appended Fig-6 付図-6	All Underground Structures 新規・既存地下構造物 (含ボーリング孔)	
Appended Fig-7 付図-7	Geologic Cross Section of Kitanobe 北延地質断面図	北延を通る 南北方向
Appended Fig-8 付図-8	Geologic Cross Section of Test Shaft (N-S) 試験立坑地質断面図	試験立坑を通る 南北方向
Appended Fig-9 付図-9	Geologic Cross Section of Existing Shaft (N-S) 調査立坑地質断面図	調査立坑を通る 南北方向
Appended Fig-10 付図-10	Geologic Cross Section of Test Shaft (E-W) 試験立坑地質断面図	試験立坑を通る 東西方向
Appended Fig-11 付図-11	Geologic Cross Section of Honnobe 本延地質断面図	調査立坑を通る 東西方向
Appended Fig-12 付図-12	Fence Diagram (1) フェンスモデル図 (1)	付図-7を除く
Appended Fig-13 付図-13	Fence Diagram (2) フェンスモデル図 (2)	付図-7及び11 を除く
Appended Fig-14 付図-14	Model Zone of Cut Block Diagram (1) 全体カットモデル領域 (1)	南東側カット
Appended Fig-15 付図-15	Cut Block Diagram (1) 全体カットモデル図	南東方向 (1)
Appended Fig-16 付図-16	Cut Block Diagram (2) 全体カットモデル図	南東方向 (2)
Appended Fig-17 付図-17	Model Zone of Cut Block Diagram (2) 全体カットモデル領域 (2)	南西側カット

表5-1 (b) 成果出力図 (ピクチャー) 一覧

図 番	タ イ ト ル	備 考
Appended Fig-18 付図-18	Cut Block Diagram (3) 全体カットモデル図	南西方向
Appended Fig-19 付図-19	Layout of Tests (All Tests) 試験レイアウト (全体)	
Appended Fig-20 付図-20	Layout of Tests (Section S1, A, M1) 試験レイアウト (試験立坑)	S1, A, M1
Appended Fig-21 付図-21	Layout of Tests (Section M2, M3) 試験レイアウト (試験立坑)	M2, M3
Appended Fig-22 付図-22	Layout of Tests (Section M4, D, S2) 試験レイアウト (試験立坑)	M4, D, S2
Appended Fig-23 付図-23	Layout of Tests (Section S1) 試験レイアウト (拡大図)	S1
Appended Fig-24 付図-24	Layout of Tests (Measurement Drift) 試験レイアウト (計測坑道)	K1~K3
Appended Fig-25 付図-25	Layout of Tests (N, A, Sampling Drift) 試験レイアウト (サンプリング坑道)	SP1, SP2
Appended Fig-26 付図-26	Layout of Tests (Upper/Lower Connection Drift) 試験レイアウト (上・下盤連絡坑)	U, L
Appended Fig-27 付図-27	Layout of Tests (Deformation & Permiability Test) 試験レイアウト (孔内載荷試験・透水試験)	A
Appended Fig-28 付図-28	Layout of Tests (Deformation & Permiability Test) 試験レイアウト (孔内載荷試験・透水試験)	B
Appended Fig-29 付図-29	Layout of Tests (Deformation & Permiability Test) 試験レイアウト (孔内載荷試験・透水試験)	C
Appended Fig-30 付図-30	Layout of Tests (Deformation & Permiability Test) 試験レイアウト (孔内載荷試験・透水試験)	D

6. CADシステムの適用性の検討

6. 1 全般

CADシステムは、その強力な三次元モデリング機能により、今後益々重要となるであろう複雑な境界を持った地盤などのモデル化、あるいはそのモデルを利用した有限要素法などの解析への適用に大きな威力を発揮するものと考えられる。

図6-1に、本地点におけるCADシステムの適用可能性について示す。本研究においては、このうち地質構造のモデル化と計測機器の配置計画（試験レイアウト）の三次元表現にCADシステムを適用した。

本章では、これら以外の適用性について検討を行う。

6. 2 地盤構造のモデル化への適用

地質構造の三次元モデル作成の他に、各種の調査、試験、測定データを用いて地盤を工学的に分類し、地質学的に整合を図りながら三次元的に理解し、表現して、さらに解析モデルへと発展させていく方法を検討する。

一般に、地盤の調査、試験、測定結果は、二次元の平面図や断面図で表され、これまで設計者はこれらを頭の中で三次元的に組み立てて理解するという手段をとっており、多大な労力を要する割には、それを理解するには限度があった。CADシステムは、各種図面を三次元的に表現でき、かつ各種情報を容易にハンドリングできる機能を有しており、従来不可能であった地盤の調査、試験、測定結果から地盤を三次元的に表現し、地盤構造の工学的理解を容易にすることが可能である。

6. 3 解析への適用

6. 3. 1 解析モデルの作成

一般に、三次元モデルを有限要素法で解析する場合、解析用のモデルはソリッド（六面体）要素になる。しかし、地質モデルのようにそのほとんどが自由曲面で構成されているような形状では、最初からソリッド要素でモデル化していくことは、技術的に非常に困難

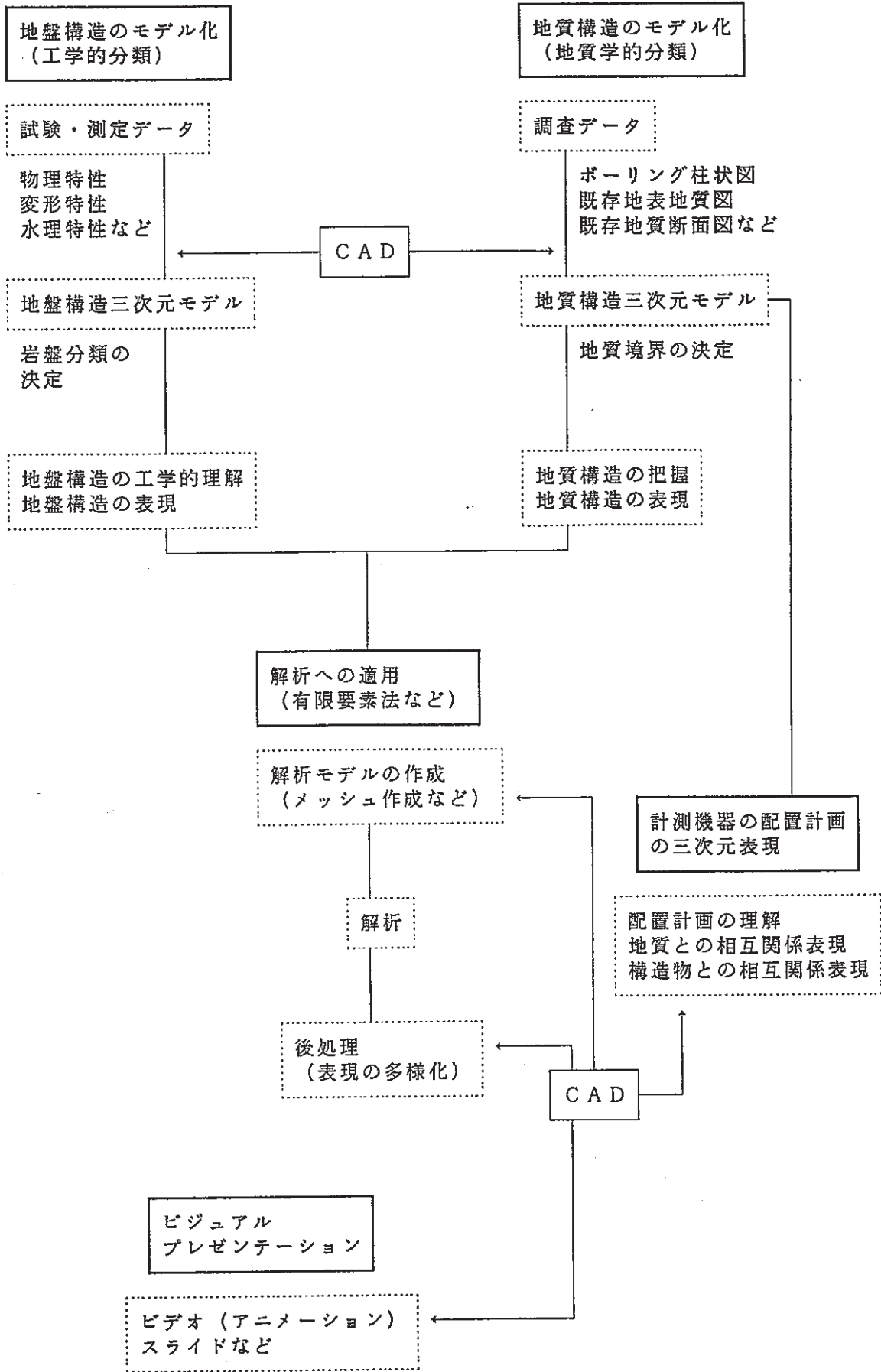


図6-1 本地点におけるCADシステムの適用可能性

である。そこで、以下にCADシステムで作成したサーフェスモデルを用いて地質境界面や地表面のような不規則な解析形状を有する解析モデルを作成する手順について述べる。なお、ここでは、有限要素法の前処理のための汎用ソリッド要素モデラーを使用する場合を想定して検討を行う。

図6-2に三次元モデル解析手順を示す。また、以下に各プロセスの詳細について述べる。

① 断面データの作成

CADシステムで作成した地質のサーフェスモデルをX方向、またはY方向に等分に切断し、断面モデルを作成する。この時の切断間隔は、有限要素モデルを作成する時の精度に合わせて決定する。

② 中間ファイルの作成

①で作成した断面モデルから断面データを取り出し、中間ファイルとしてプリプロセッサが読めるような形式のテキストファイルに書き出す。ここで、IGESのような標準的なものがあれば問題はないが、そうでない場合には、ソリッドモデラーに合わせた中間ファイル作成用の専用ソフトウェアが必要になる。

③ 前処理（有限要素モデルの作成）

②で作成した中間ファイルから断面データを読み込み、ソリッド要素でモデル化する。これには、汎用ソリッド要素モデラーの機能を使用する。このとき、メッシュの最適化、ナンバリング、解析条件の設定などといった作業もこのモデラーを利用して行う。

以上が、CADシステムにより作成したサーフェスモデルを用い、汎用ソリッド要素モデラーでメッシュ作成を行う手順である。この方法でモデルを作成すれば、解析、及び後処理については、任意の解析コードが使用可能である。

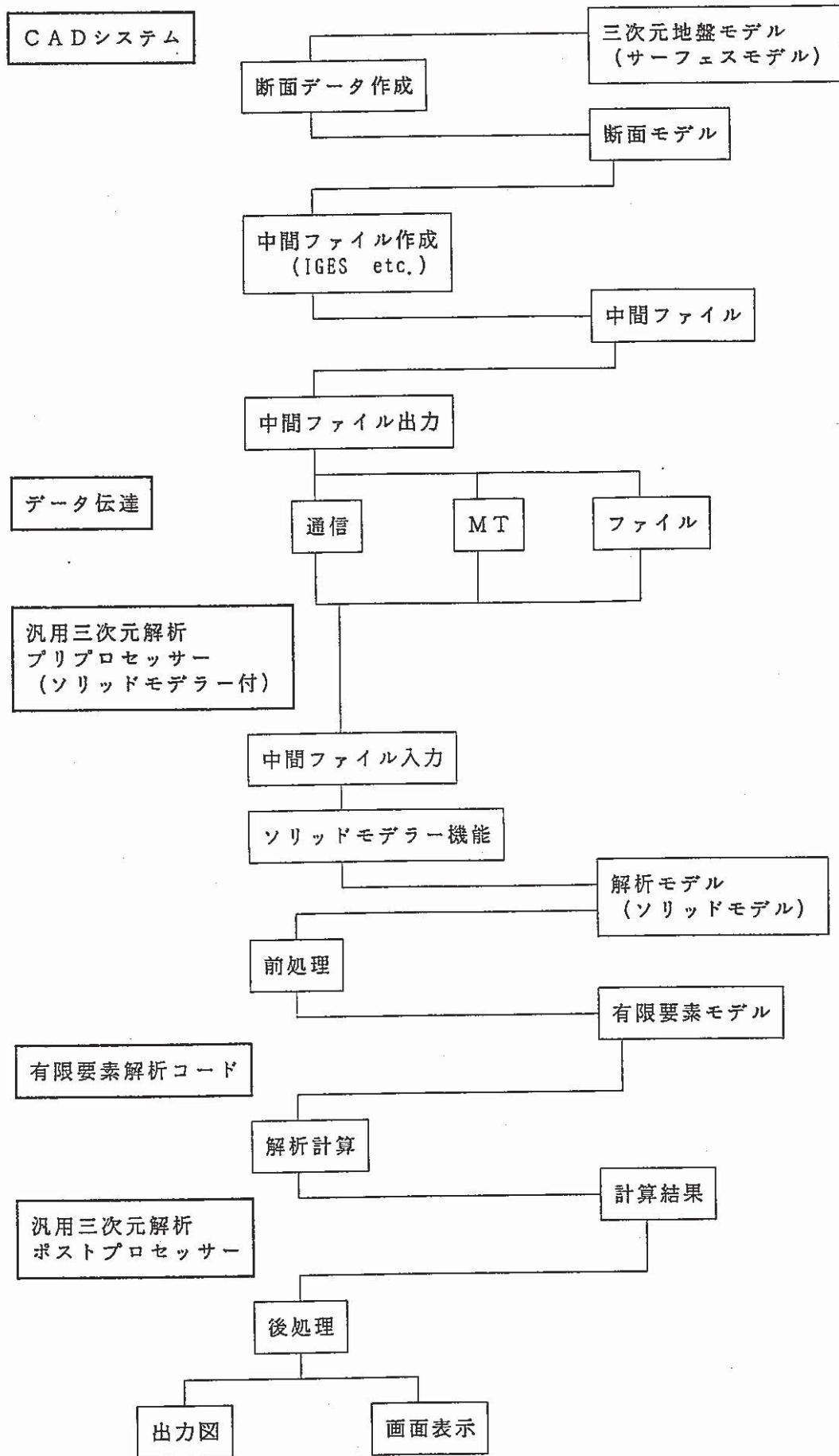


図6-2 三次元モデル解析手順

6. 3. 2 CADによるモデル化の例

一般に、有限要素法を用いて解析計算を行う場合、要素モデルには、適用する有限要素解析コードにより演算の際に必要な記憶容量を最小限に押さえるための様々な制限や条件がつけられている。

ここでは、二次元及び三次元の要素モデルを解析コードに適用する場合について、これらの条件を、一般的と思われる解析コードの例を挙げて地下浸透流解析及び構造解析について述べる。

(1) 浸透流解析の場合

(a) 二次元解析～飽和・不飽和二次元浸透流解析コード "SEEPAGE 2" 等

二次元飽和・不飽和浸透流解析は、浸透流問題についての最も良く使われるコードのひとつである。有限要素としては、三角形や四角形が良く用いられる。CADシステムは、これらの要素に対応しているため、FEMモデル作成には特に問題はない。また、こういった二次元解析では、解析領域の形状や物性境界が自由曲面で表されるケースは稀なため、通常モデル化が容易で、大幅な省力化が可能である。

(b) 疑似三次元解析～飽和・不飽和多層準三次元浸透流解析コード"QUASAR" 等

多層準三次元浸透流解析コードは、モデルを層毎の二次元モデルとして解析し、層間の水の流れを考慮に入れるものであり、有限要素には、三角形や四角形が用いられる。準三次元解析は、三次元解析に比べ計算時間が短くて済み、かつ二次元的なモデルで良いため、簡便な疑似三次元解析手法として用いられている。この場合のモデル化は、各層を二次元で要素分割することにより行うものであるが、この解析コードでは各層を包括するようなメッシュを作成する必要があるため、CADシステムを利用しても二次元解析に比べ複雑にはなるが、技術的には特に問題なく要素分割が可能である。

(c) 三次元解析～三次元飽和・不飽和地下水流動解析コード "TAGSAC" 等

三次元解析は、浸透流モデルを最も現実に近い形で解こうとするものである。有限要素としては、6 節点や 20 節点のソリッド要素がよく用いられる。しかし、一般にボーリング孔における透水試験から得られた透水係数から三次元的な分布を把握することは困難である。また、複雑な境界を有する透水区分を表現する手法が難しいこと、さらには計算機自体の速度や容量の問題から三次元解析はかなり困難であった。最近では、計算機自体の容量や速度が飛躍的に向上し、解法自体の進歩もあり三次元解析が計算機能上は実用的になりつつある。しかし、前処理や後処理の複雑さについては、なかなか解決していないのが現状である。しかし、CADシステムを利用すれば、今回の地質境界作成に用いた手法を応用し、各断面の透水係数分布図（ルジオンマップ）を描き、それらを自由曲面で結ぶことにより三次元の透水係数の物性区分面の作成が可能である。これを、利用してCADシステムを利用した三次元メッシュの作成を行うことにより精度の高いモデル化が可能であると思われる。

(2) 構造解析の場合

構造解析の場合も、取り扱う要素の形状が多種多様であるものの、基本的には浸透流解析と同様でありCADシステムを利用した前処理が可能である。

また、CADシステムはEWSをベースとしているため、UNIX上で使用可能なソフトウェアを搭載することができる。また、解析コードに合わせてアプリケーションソフトを作成することにより目的に応じて解析結果のデータを三次元表示することも可能である。

6. 3. 3 解析の後処理

後処理については、例えば浸透流解析の結果としての浸潤線をCADシステムに戻して地質図の中に表示したり、構造解析において緩み領域を表現すること等が可能であろうと思われる。

6. 4 ビジュアルプレゼンテーション

CADシステムにおいては、モデルは三次元データとして格納されているため、視点、視線、光源、色彩等を指定することにより三次元表現が容易に行える。そこで、その特徴を生かしたビジュアルプレゼンテーションは、より有効な広報用資料となると思われる。

例えば、

①スライド

②ビデオを用いたアニメーション

などである。

7. あとがき

本研究では、立坑掘削影響試験に関わる地形、地表構造物、地下構造物、地質及び試験レイアウトの三次元モデルを作成した。

地質境界面の作成では、従来地質技術者が、ボーリングデータや断面データを手作業で行っていた手順に沿って、CADシステムを利用し、与えられた資料に基づき正確な地質境界を作成する手法を考案し、採用した。

この結果、精度的に与えられた地質情報を十分に反映した地質モデルが作成できたものと思われる。試験レイアウトについても、実際の試験をできるだけ表現できるシンボルフィギュアを作成し、各試験項目相互の関係を分かりやすく表現するモデルを作成した。

CADシステムは、正確な座標値を持った三次元モデルを構築でき、多くの応用機能を持っており、解析の前処理、後処理さらには解析自体を含め、解析分野への適用性は非常に高く、今後ここで開発された技術を利用することにより、より精度の高い解析システムの構築が可能になるものと考えられる。

最後に、本業務を遂行するにあたり、ご指導を戴いた御事業団本社及び中部事業所の各位に厚く御礼申し上げます。