

## 3次元地質解析支援システム

原 弘・小川卓司

### A 3D Geological Interpretation Support System

Hiroshi Hara, Takashi Ogawa

#### Abstract

A computer-aided 3D geotechnical interpretation support system was developed and released so that the geoscientist could perform the geological interpretation in an efficient manner. The system, equipped with a robust database system, not only deals with various kinds of data ranging from the boring cores, the wireline-logging to the geophysical explorations, but also provides sophisticated modeling functions. The state-of-the-art interpretation techniques combined with 2D/3D visualization tools enable the seamless workflow from the data input, model-building, to high-quality output. The system has been applied to various fields such as dam-sites, landslides, and so on, which have proven its effectivity.

キーワード：3次元 地質解析 コンピュータ

## 1 はじめに

従来の土木・建設分野での地質解析では、平面図・断面図上で解釈作業を行って地質構造モデルを作成し、平面図や各鉛直・水平断面図間で整合性をチェックしながらモデルの3次元精度を上げていくという方法が取られていた。従って、3次元解析といいながら、3次元のモデルは解析者の頭の中にしかない、という実情であった。

そのため、このような従来の地質解析では、データの管理も含め、以下のような問題点が指摘されてきた。

- (1) 交点合わせ等、図面の図学的整合性のチェックにかなりの時間と労力がとられる。
- (2) 新規にデータが加わった場合や、解釈を変更する場合などのモデルの修正・再構築が、容易でない。
- (3) 2次元図面から3次元モデルへの組み立てを各個人が頭の中で行わねばならず、地質構造の理解が解析者とその他の関係者間で異なったものとなりやすい。
- (4) 地質解析は、ボーリング情報、物理探査などのデータを総合的に判断・解釈して、地下という直接は目に見えない所の構造を推定する作業である。従って、

通常、唯一無二の解というのではなく、いくつかの可能な解釈の中から、解析者が主観的に、最も妥当であると判断した解を選ぶことになる。通常、解析者は結果である地質構造モデルしか後に残さないため、担当者の交替でもあれば、なぜこのような判断をしたのかという考え方が、正しく伝わらない。

- (5) 長期のプロジェクトではデータの劣化・散逸といったおそれもでてくる。

3次元地質解析支援システムは、これらの問題点を解決し、解析作業の迅速化、データの効率的な活用と保存、解析精度の向上、客観性のある解釈結果を得ることをめざしたコンピュータ・システムとして、シュルンベルジェ株式会社と共同開発されたものである。

## 2 システムの概要

図-1に本システムの概要を示す。

ハードウェア (推奨構成)

\* SunUltra<sup>TM</sup> 80 Model1450.

ソフトウェア

\* OS : Solaris2.6

\* GeoFrame<sup>TM</sup> (Schlumberger/GeoQuest)

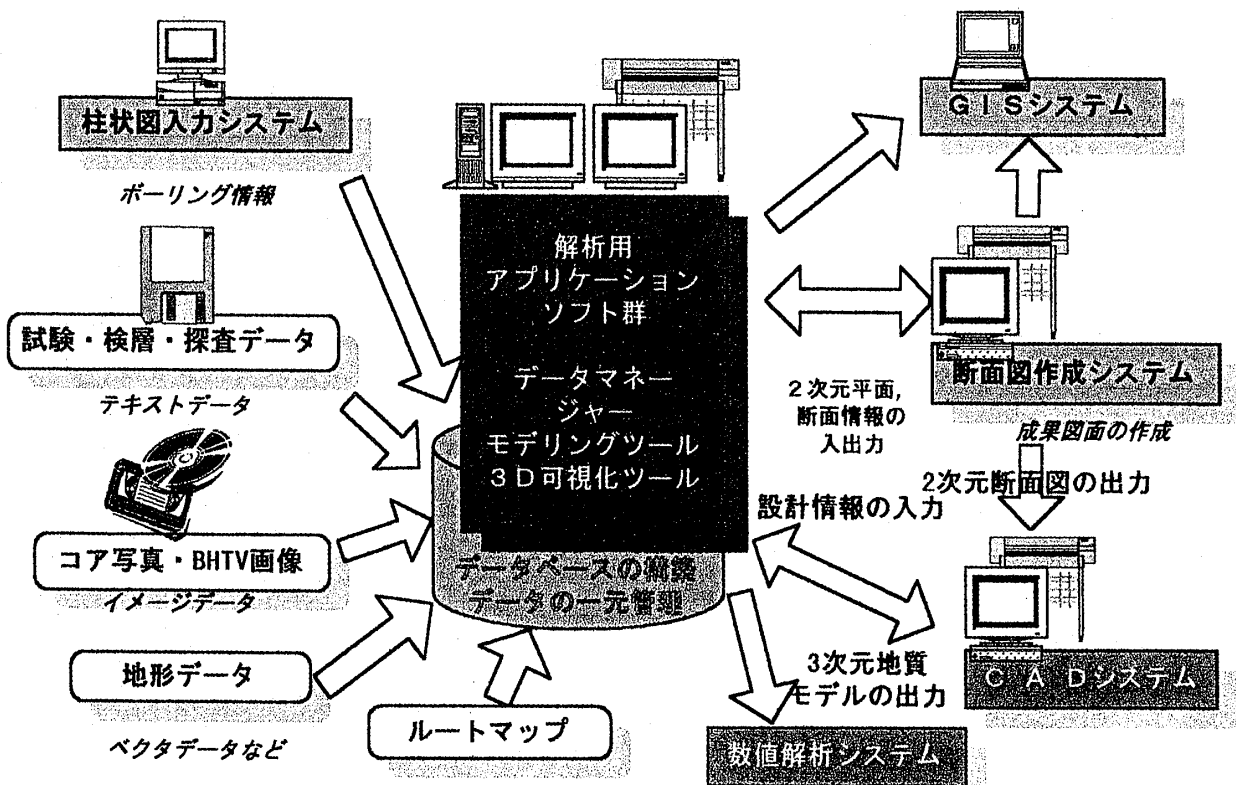


図-1 システムの概要

Fig.1 Overview of the system

社の開発した、石油探査・開発向けソフト)。

入力データ (主要なもの)

解析に最低限、必要なものとしては、

\* ボーリング・データ (アスキーファイル)

\* 露頭位置、走向・傾斜 (アスキーファイル)

がある。その他、利用可能なものとして、次のようなものがある。

\* 検層データ (アスキーファイル他)

\* 反射法地震探査データ等 (SEG-Y形式)

\* 既存の断面図やBHTVなどの画像 (TIFF形式)

当システムの特徴・利点を以下にまとめた。

- (1) 強力なデータベース・システムにより、入力データのみならず、解析過程・結果もプロジェクト単位で一元管理している。
- (2) 客観性の高い3次元地質構造を、数学的手法を用いて、短時間に作成できる。
- (3) 反射法地震探査や地下レーダー、検層データの取り扱いにも優れている。
- (4) 「A断層がB地層境界面を切っている」といった、堆積構造の関係を登録でき、データの見直しや追加による再解析時に、効率よく作業を進められる。
- (5) 構築した地質モデルの3次元表示を、モニター上で視点・倍率を変えながら眺めて、解析者と関係者が、モデルのチェックや問題点を一緒に検討できる。
- (6) 多大な時間を費やしていた、断面図間の交点チェックや、構築したモデルからの任意断面の切りだし、などの作業時間を、大幅に削減できる。
- (7) システムの操作に、特殊な技能を必要としない。データのバックアップも、容易にできる。

### 3 解析の流れと機能の概要

本システムの特徴や利点の理解を容易にするため、本システムを用いた地質解析の流れを、従来の場合と対比しながら説明する (図-2参照)。さらに、機能の概略も示す。

#### 3・1 地質構造解析の流れの比較

##### 1) 従来の地質解析の流れ (図-2左図)

地質解析の初期の段階では、地質解析エリアにおいて、基本的な地質構造モデルの構築が行われる。まず、踏査結果から地質平面図を作成し大局的な地質構造を推定する一方で、ボーリング情報から代表的な断面図を作成して、岩盤内部の構造を推定していく手法が一般的である。初期の基本的な地質構造モデルを作成する段階では、断

面図と平面図の間での地質学的な整合性は検討されるが、これは、言わば2次元平面間での整合性の確認に過ぎず、エリア全体の3次元構造は具体的な姿になっていないことが多い。

調査が進行してボーリング数や、作成する断面図数が増加するにしたがって、各断面間の地質学的・図学的な整合性を保つ作業を繰り返し行い、断面図を作成する過程で、解析エリア全体に3次元的地質構造モデルの構築作業が展開されていくことになる。しかし、この時点では、地質学的な整合性よりも、図学的な整合性をとることに費やされる時間が多くなる。特に、付加体などの複雑な地質構造や、情報量の少なくなりがちの高角度の断層が存在する場合においては、重大な解釈上の問題が見落とされることもあり、解析の終盤においても、基本構造の見直しを余儀なくされる場合もある。

##### 2) 本システムを用いた地質解析の流れ (図-2右図)

解析の初期段階での主要断面を作成する作業は、従来の方法と同様に必要に応じて行われる。しかし、作成された断面図の地質境界線 (解釈結果)、踏査やボーリングの地質境界情報をもとに、解析の初期段階から解析エリア全体の地質構造モデルを3次元的に構築していくことに本システムの特徴がある。

したがって、ボーリング情報が追加されるたびに、直接3次元の地質構造モデルの修正を行い、モデルの精度の向上を図っていくことに作業の重点が置かれる。また、初期の段階から解析エリア全体で地質構造モデルを構築していくことにより、モデルの精度向上に必要なボーリングを的確に提案することも容易となる。断面図は、モデルの精度の確認や最終成果の作成時など、必要な時点で任意の場所、任意の形状で切り出すことになる。

#### 3・2 機能の概要

##### 1) データ入力

ボーリングや検層などを基本情報として用いる点は、既存の解析手法と変わらないが、大量のデータ入力や、類似フォーマットを持つファイルの繰り返し入力作業を、入力フォームを定義することで、効率的に行うことができる。

##### 2) 地形面の生成

不規則に分布する、地形データ (XY座標、標高) から、規則正しく並ぶ格子点での標高値を、数学的に計算する。これをグリiddingと呼び、作成した面は、簡単に3次元表示できる。

##### 3) 基本地質構造の解析

断層面や地層境界面もグリiddingで作成する。

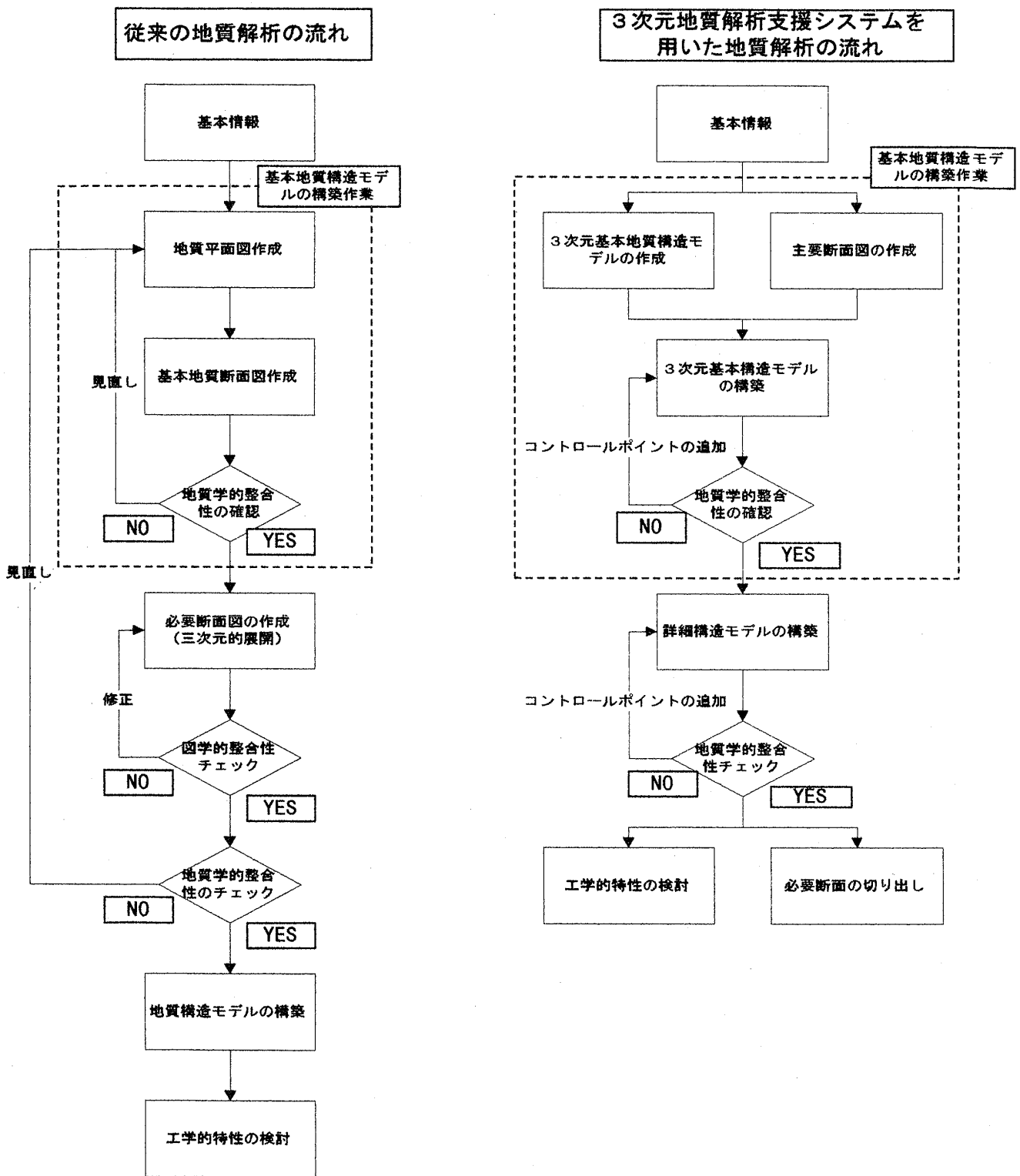


図-2 地質解析の流れ  
Fig.2 Flow of geological interpretation

入力データとしては、地表踏査で得られた、3次元空間（地表面）上に分布する観測点（露頭）での地質境界の位置情報（XY座標、標高、走向・傾斜）、および、

ボーリング孔から採取したコアなどから観察された地質境界の位置情報を用いる。これらの点をコントロール・ポイント（面がその点を通るという拘束条件）として、

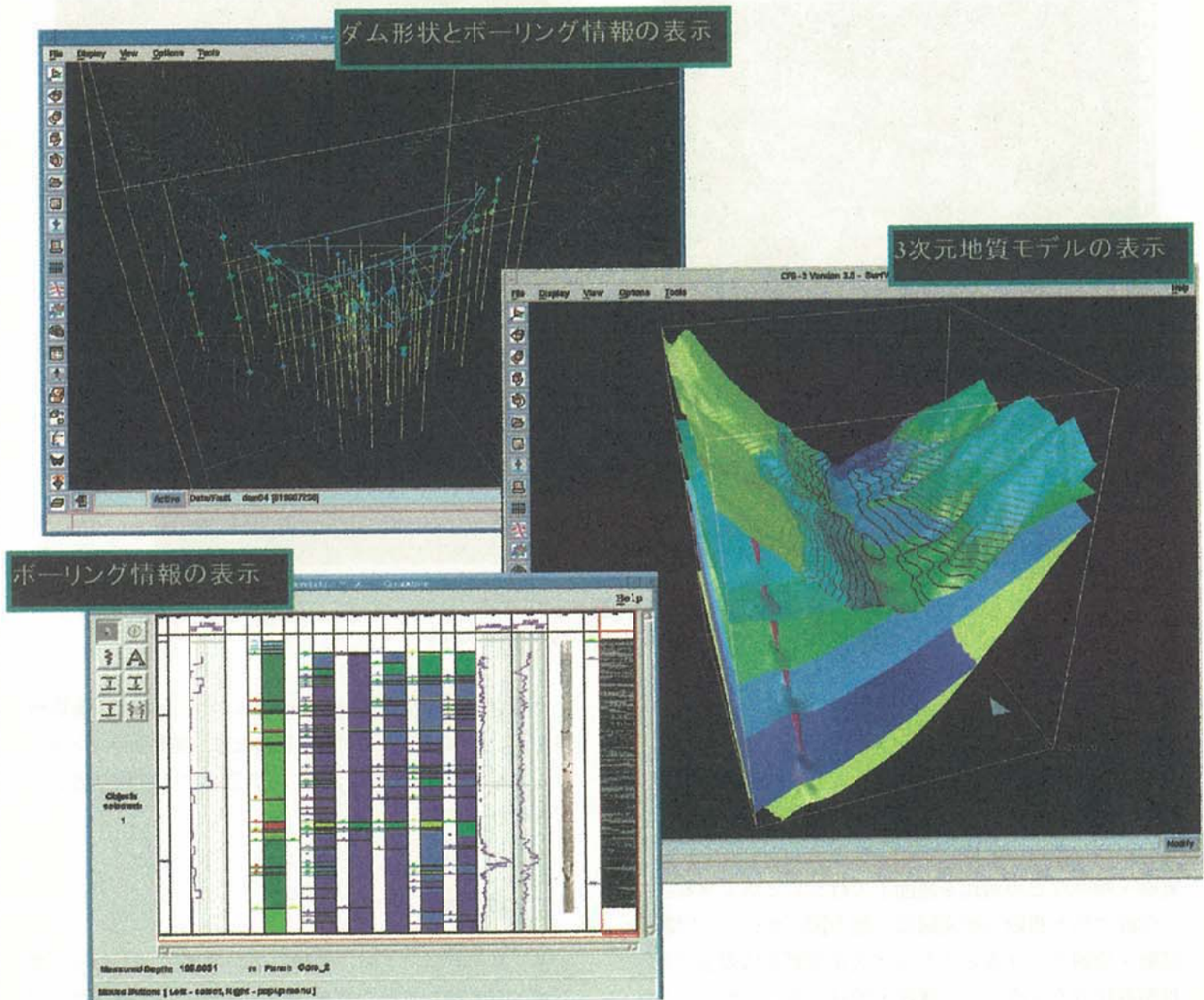


図-3 ダムサイトの地質解析事例

Fig.3 Geological interpretation for a dam site

数学的に3次元曲面を計算する(図3参照)。

基本的な地質構造を、最初の段階から3次元面モデルとして作成するところが特徴といえる。この時点では、データが3次元空間中に十分密に分布している範囲は限られているために、1次近似的なモデルでしかないが、交点合わせなどは必要なく、断面の切りだしも容易に行える。

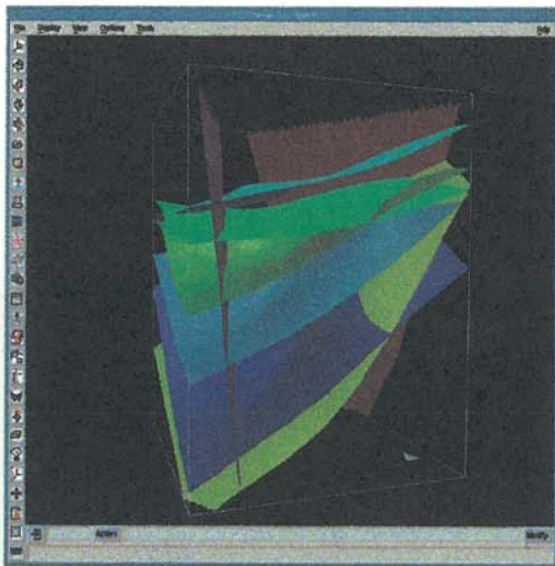
#### 4) ボーリング情報の表示

ボーリングの位置情報は、平面図上にその分布を表示するほか、3次元表示も可能である。図-3の左上の図は、3次元空間上に、ボーリング孔の位置と、ボーリン

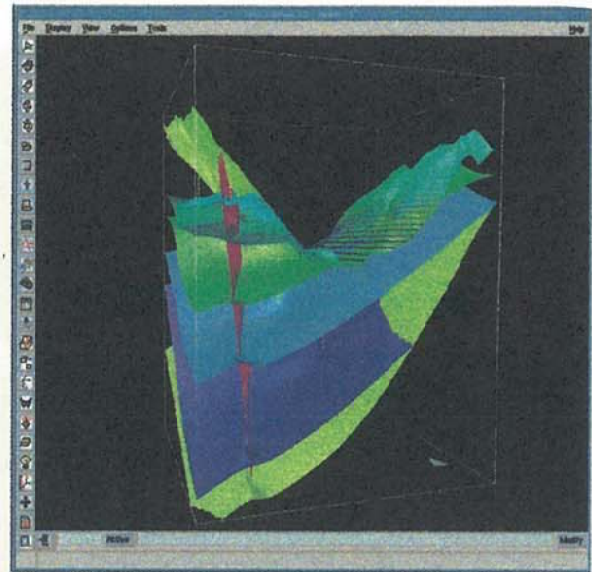
グ孔上での地質境界の位置を表示したものである。

図-3の左下の図に示すように、風化の度合いなどコア観察から得られた区分や検層ログなど、多くのデータを自由に組み合わせ、総合柱状図として多様な表示をすることが可能である。この図のように、いくつかのボーリング孔の持つ複数の情報を並列に示すことで、ボーリング情報をもとにした地質・岩級区分、物性区分といった、多くの情報を参照する作業の効率化・高精度化を図ることができる。

たとえば、ボーリング情報や物性値の組み合わせ、対比の結果から判定した地層単元を、新たな柱状図情報と



断層・地質境界の3次元モデル化



断層変位・地質構造の定義

図-4 3次元地質構造の組み立て

Fig.4 Constructing 3D geological structures

して追加登録していくことも可能である。

#### 5) 断面図の作成

ボーリング情報、試験・検層データ、物理探査結果、および物性コンターマップなどを、断面図上に並列またはオーバーレイ表示し、これらを参照しながらの地層・岩級・物性などの対比を画面上で行うことができる。

作成された複数の断面図は、地形図、ボーリング情報、試験・検層データ等とともに3次元空間上に表示でき、地層対比等を3次元上で確認・検討することができる。

#### 6) 3次元面モデル(詳細地質構造)の構築

基本的な地質構造が確定したら、さらに、ボーリング情報からの層境界点、断面図からの層境界線データなどを加えて、図-3の右図に示すような、より詳細な3次元面モデルを作成する。この際に、断層、不整合、アバットといった地質現象を考慮し、モデルに反映させることができる。例えば、図-4の左図の段階では、個々の断層面や地質境界面は、グリiddingで作成されているが、それらの関係を定義していないので、地質境界面どうしが交差するという、地学的にはありえない構造になっている。断層面や地質境界面どうしの関係を定義して、図-4の左図の構造を修正した結果が、図-4の右図である。

3次元空間上で、地形面、作成された層境界などを選択的に表示し、解析結果の確認や地質構造についての検討を行うことができる。

作成された3次元面モデルにおいて、面同士の演算機能を用いてボリューム計算を行ったり、境界面のコンターマップをDXF形式で出力し、CADソフトに取り込むことも可能である。

#### 4 解析事例

本システムは、ダム、造成、トンネル、地すべり、地下水など多様な分野の解析業務に適用可能であるが、以下に、造成地の地質および材料区分の解析に用いた例について、手順を簡単に説明する(図-5参照)。

##### \* 解析手順

(1) 踏査データ(露頭位置、走向・傾斜)、ボーリング情報、及び、弾性波探査の結果から、速度層区分と風化区分をもとに、材料区分図を紙図面上で作成した(図-5 Step-1)。通常、このような作業も、本システム上で行うことが可能である。

(2) 材料区分断面図をデジタイズしデジタルデータとして本システムに入力した(図-5 Step-2)。材料区分の境界面は、ボーリングが比較的密に掘られている地域や、弾性波探査の測線に沿っての領域では、精度よく求められると考えてよいであろう。しかし、解析エリア全体で3次元の材料区分モデルを精度良く構築するためには、ボーリングの数が不十分であった。そこで、「地質が比較的均一なため、材料区分の境界面は、地表からの

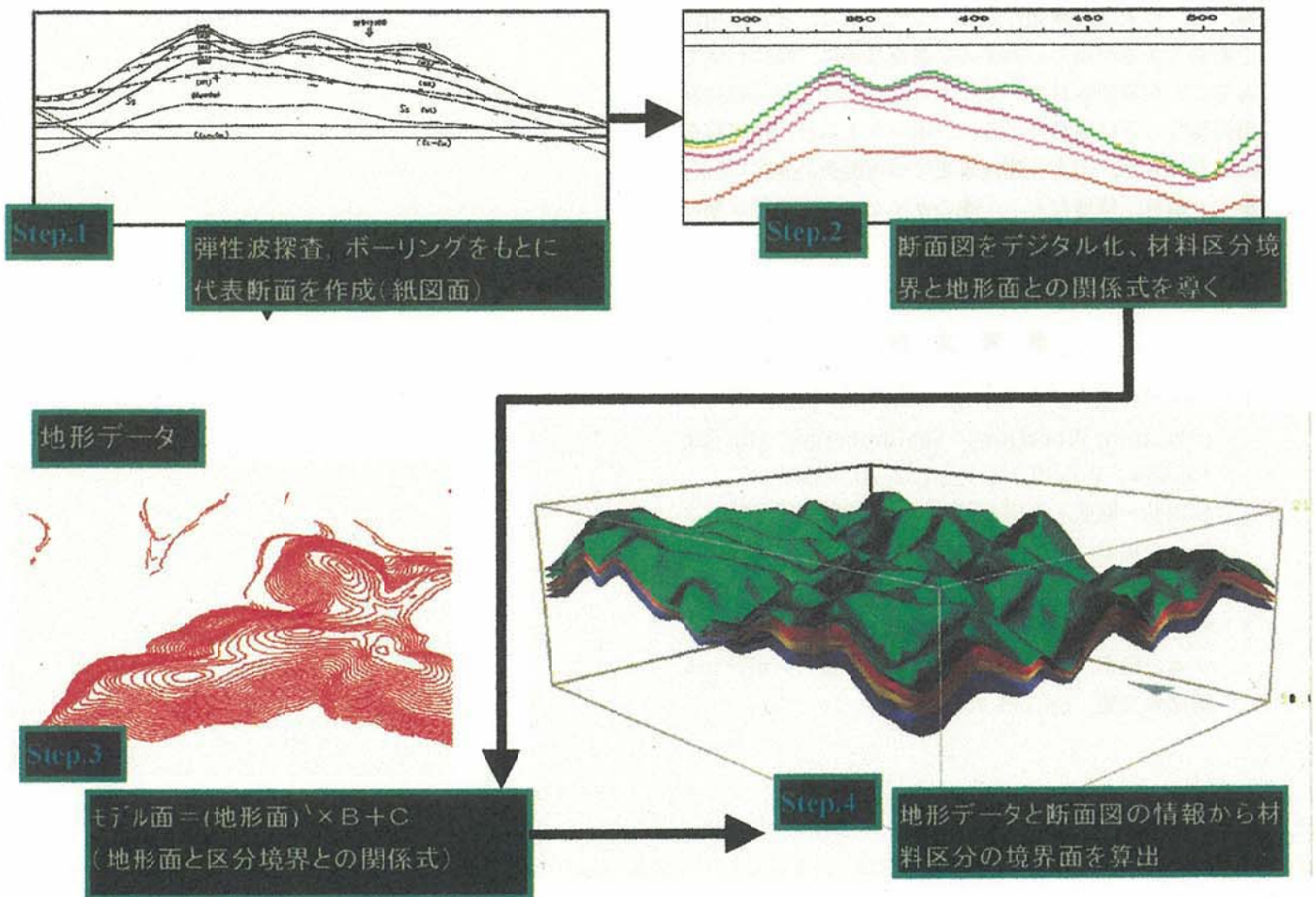


図-5 材料区分境界の3次元モデル構築例  
 Fig.5 Case study: 3D model of material boundaries

風化作用と浸食作用の関係ではほぼ決定される。従って、材料区分の境界面は地形面と相似形である」と仮定をした。問題は、地形面と材料区分境界面の数学的関係を推定することに帰着された。

(3) 複数の屈折法弾性波探査断面上で、作成された材料区分断面をもとに、各材料区分境界と地形面との関係式を求めた(図-5 Step-3)。

(4) (3)で求めた関係式を用いて、調査領域全体で地形面から材料区分境界面を算出した(図-5 Step-4は、算出された複数の材料区分面と地形面を示している)。

(5) 以上の手順により、短期間で精度の良い材料区分モデルを解析エリア全体に構築することができた。また、設計に必要な数百枚の断面図の切り出しも容易に行うことができた。

## 5 まとめ

3次元地質解析支援システムは、従来の地質解析に見

られたいくつかの問題点を解決し、作業の効率化と解析精度、品質向上に有効であることを示した。

また、本システムを利用することにより、これまでと地質解析の流れや考え方が変わるとともに、データの取得の仕方や調査の組み立て方にも大きな変化が生じるものと考えられる。たとえば、これまで定性的に判定することが多かったボーリングコア判定による岩盤評価も、コアの判定要素を数値化し、簡易試験や検層などを組み合わせることにより、客観的で効率的な岩盤評価を行う方向へと変わっていくものと考えられる。今後、建設CALS/ECの要求をはじめ、設計や施工、管理の現場の要求に対し、いかに客観的・定量的で質の高い地質情報を短時間で提供できるかが大きな課題である。3次元地質解析支援システムは、これらの要求に対するひとつの答えであると考えられる。

これまで、本システムをダム(ダムサイト、原石山)、造成、地すべり、地下水解析などといった業務に適用してきたが、その中でも、断層やすべり面、地下水分布把

握、および大量の断面作成といった作業で、また、用地上制約のある現場での効率的な調査などに、特に有効であることが確認されている。さらに、先に土量計算に利用可能なことに触れたように、本システムは、地質解析にとどまらず、土木・建設事業での再調査の提案、設計、施工、積算、管理など、一連のサイクルでの活用が期待できる。

#### 参 考 文 献

- 1) Beardsell, M.B. et al.: Streamlining Interpretation Workflow, Schlumberger Oilfield Review, Vol.10 No.1, pp22-40, 1998.
- 2) 和田弘・原弘・小川卓司: 3次元地質解析支援システムの提案, 日本応用地質学会平成11年度研究発表会講演論文集, pp.311-314, 1999.10.
- 3) 和田弘・原弘・小川卓司: 3次元地質解析支援システムの提案, 第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.148-152, 2000.1.