

3次元地質解析支援システムの提案

Suggestion of 3-D Geotechnical Interpretation Support System

和田 弘*・原 弘**・小川 卓司***

Hiroshi WADA, Hiroshi HARA, Takashi OGAWA

A computer-aided 3D geotechnical interpretation support system was developed so that the geoscientist could perform the geological interpretation in an efficient manner. The system not only integrates various data from the boring cores, wireline-logging, geophysical exploration, etc., but also provides sophisticated modeling functions in order to create objective results. 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 workflow is recorded for reducing the time necessary for the further re-analysis.

1. はじめに

我々は、建設工学分野での地質解析を効率的に、且つ、精度良く行い、また、その結果に客観性を持たせること、および解析結果をデジタルデータとして以降の調査・設計等での有効利用をも図るべく、コンピュータを利用した3次元地質解析支援システムの開発を進めており、これまでにその基礎的なシステムを確立した。

従来、地質解析においては、地質モデルを考える際に、鉛直または水平の2次元断面を作成し、これらを組み合わせることによって3次元の地質モデルを構成してきた。このため、複数断面図間の整合や3次元モデルの図学的な矛盾といった本来の地質解析以外の部分で時間を要したり、実際の地質構造の認識が関係者間で異なったりといった問題があった。また、解析そのものについても、解析者の主観による部分が多く、その結果には決して客観的とは言えない点が多々見られた。さらに、解析にはボーリング情報、露頭情報、物理探査結果等多くのデータを利用するが、ややもするとそれらの関係が曖昧になることもあり、また、長期のプロジェクトではデータの散逸等管理上の問題も出てくる。

今回開発を進めているシステムは、地質解析作業をコンピュータで支援することで、これらの問題点に対するひとつの解決策を与え、作業の効率化、精度向上、客観性のある結果の提示等を図るものである。

また、コンピュータを利用することの利点の一つとして、デジタル化されたデータをCADをはじめとする他のシステムと交換できることがあり、本システムで地質解析を行うことで、この面でのメリットも享受できる。

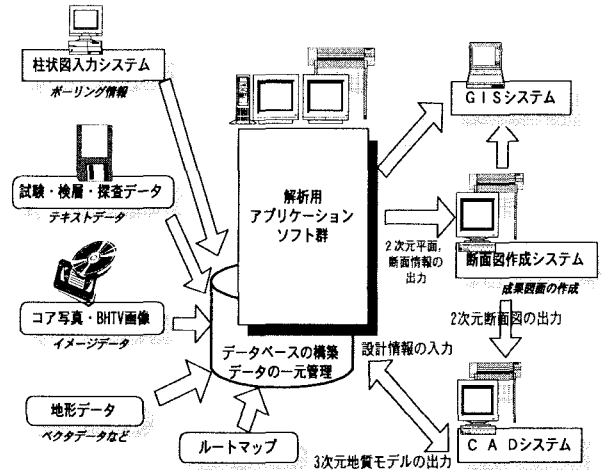
* 正会員 応用地質株式会社 技術本部 企画部

** 応用地質株式会社 技術本部 企画部

*** シュルンベルジェ株式会社 (現 応用地質株式会社 技術本部 企画部)

2. システム概要

本システムは、石油開発分野で使用されている一連の解析ソフトをベースとし、この上に建設工学分野でのデータの取込みや従来から使用してきた成果図作成・出力ソフトとのインターフェース、解析過程で求められる様々な機能の組み合わせや結果の表現方法、および他のアプリケーションとのデータ交換機能などを構築したものである。図一にシステムの構成概要を示す。なお、システムの動作環境は、SUN製ワークステーションとその OS(UNIX ; Solaris)にデータベース・マネージメントシステムとして Oracle を使用している。また、2次元画像と3次元画像を同時に表示するために、ディスプレイを2台接続している。



図一 システム構成概要

システムを用いた解析では、ボーリングや地質踏査から得られる基本的な地質情報をはじめ、物理探査・検層データ、試験・計測データなどを一元管理しながら、これらのデータをもとに数学的アルゴリズムを用いて客観性の高い解析モデルを作成していく。また、2次元断面と3次元地質構造モデルをリンクさせることで、データの参照、対比、モデル構築、データおよびモデルの可視化、検証までの作業を並列的に処理すると共に、高品質・高精度の成果品の提供を可能としている。さらに、基本データや解析結果のみならず、解析過程をデータとして残すことで、追加調査や施工時の情報追加による再解析等にも迅速な対応が可能となる。

なお、システムの操作は、マウスとウィンドウ画面を用いたわかりやすいユーザーインターフェースにより、多くの細かな機能を対話的に扱うことができ、実際の作業においては、CADのように専属のオペレーターが操作するのでは、解析者自らが操作しつつ自身の思考を具体化していくものとなっている。

3. 解析事例（機能概要）

我々は、本システムの開発に際して、ダムサイトの調査を例として機能の検証を行ってきた。ダムサイトを事例として選んだ理由は、ダムサイトの調査には、

- ・基本的な地質情報をはじめ、様々な物理探査・試験・計測データを扱っており、また、データ量も豊富である。
- ・調査～施工の期間が長く、データ管理の重要性が高い。
- ・調査結果の検討等に合わせて、多くの断面図等の作成、修正が繰り返し行われる。
- ・広い調査範囲の中に様々な地質的・工学的検討課題を有する。

といったことがあり、本システムの有効性を確認する上で最適と判断したことによる。以下にデータ入力～解析・モデル作成までの概略を記す。

3.1 データ入力・管理

地形・ボーリング・踏査・検層・試験データ等の入力データや解析過程・結果をプロジェクト単位で一元管理している。入力データは、ASCII形式であればデータフォーマットに合わせたテーブルを個別に作成することで、様々なフォーマットのデータをフォーマット変更することなく入力できる。また、この機

能により大量データの入力や繰り返しての入力作業もスムーズに行える。この他に入力データとして画像データ (TIFF 形式) が扱える。

解析過程・結果データとしては、作成されたモデルを構成する地質境界面や断面上での境界線、面同士の交線等、解析過程で作成されたあらゆる要素をデータとして保存できる。これらのデータは、入力データや調査位置、解析範囲と合わせてリレーショナル・データベース・マネージメント・システムで一元管理される。

3-2 地形情報の生成・表示

入力された3次元の地形データ (XY 座標、標高) を元に地形図の3次元表示図 (鳥瞰図) を作成できる。これを、画面上であらゆる角度から見せることで地形解析を支援できる。この地形の3次元表現においては、標高別の色分け等のカラー表現、コンターライン表示、および、別途、物性データ等より作成したコンターマップの貼り付けが可能である。図-2 に地形データ表示例を示す。この図では、国土地理院発行の数値地図 1/2.5 万を4枚合成し、合計16万点のデータを使用している。

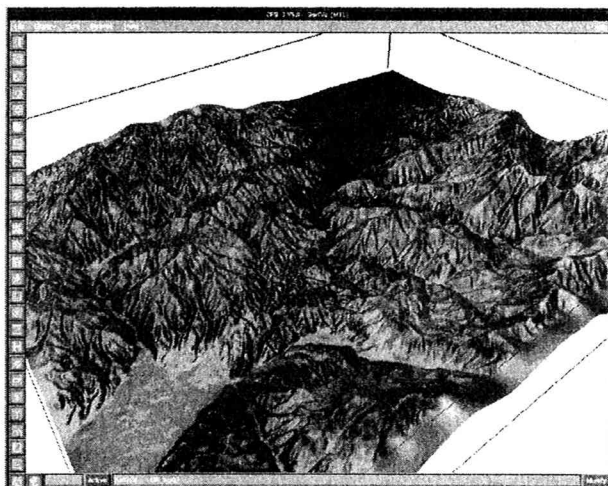


図-2 地形データ鳥瞰図表示

なお、地形データの表示は、メッシュ状に配置された格子点データからだけではなく、平面上にランダムに分布するデータからも、内部で格子点データを生成すること (グリidding) によって可能である。この機能は、地形データに限らず、地層境界面をはじめとする本システムで扱う全ての面データに共通のものであり、システムの特徴の一つでもある。

3-3 概略構造の解析

踏査データ (露頭位置と走向・傾斜、地質) を元に、既存地質図、既往調査結果等を参照しながら、概略の地質情報による3次元地質図を作成できる。

空間上に分布する複数の任意点における位置情報と走行・傾斜を与えることで計算により曲面が生成される。この時に、既存地質図や既往調査データを参照しながらコントロール・ポイントを与えることで既存情報をも取り込んだ形で概略の地質構造を3次元モデル化することができる。

このモデルを参照しながら今後の調査計画立案や解析方針検討といった作業を行うことができる。

3-4 ボーリング情報の表示・参照

ボーリング情報は、位置情報とコア判読結果や試験・検層データ等の掘削情報を扱うことができる。

位置情報は、孔口座標をもとに平面上にその分布を表示する他、傾斜角や掘進方向を入力することで斜孔の表示も可能である。

掘進情報は、コア判読結果、試験・検層データ、BHTV 記録やコア写真等の画像データを扱うことができ、これらを自由に組み合わせて総合柱状図として表示することが可能である。コア判読結果は、名称や記号および色での表示が、また、試験・検層等の数値データでは、折れ線グラフや棒グラフ、階段状グラフ、プロットでの表現に加え、データ範囲やゾーン毎の色分けも可能である。図-3 に柱状図の表示例を示す。

このようにいくつかのボーリング孔のもつ複数の情報を並列に示すことで、ボーリング情報を元にした地質や岩級区分、物性区分といった多くの情報を参照する作業が効率よく、また、精度よく行え、これらは、以降の断面作成作業等においても有効な機能と言える。

3・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等を並列表示、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。

ボーリング情報や地層対比線等の情報は、3次元面モデルを生成するためのデータとして使用され、逆に、3次元面モデルからの断面図切り出しや任意の面と断面図との交線を断面図上に取り込むことも可能である。

作成された複数の断面図は、地形面、ボーリング情報、試験・検層データ等と共に3次元空間上に表示することができ、地層対比等を3次元的に確認、検討することができる。図-4に、3次元での断面図表示例を示す。

これらの機能を活用することで、従来の2次元上の作業で見られた、複数の断面図を組み合わせた際の地質的、または、図学的に矛盾のない、また、多くの関連データを総合的に参照しながらの作業による、より精度の高い断面図を作成することができる。

3・6 3次元面モデルの構築

先の概略構造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等を加えて、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、反映させることが可能である。また、こうした地質現象をもモデル化し、データとして保存することも可能である。図-5に3次元面モデルの例を示す。

作成された層境界面モデル、地形面等、任意の面を選択的に表示し、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。

この3次元面モデルと前述の断面図がリンクしており、両者を互いに参照しながら解析作業を進めることで、地質的・図学的な矛盾のないモデルを作成することができる。

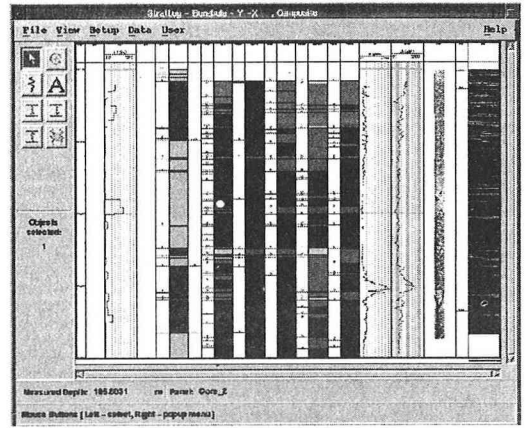


図-3 柱状図表示

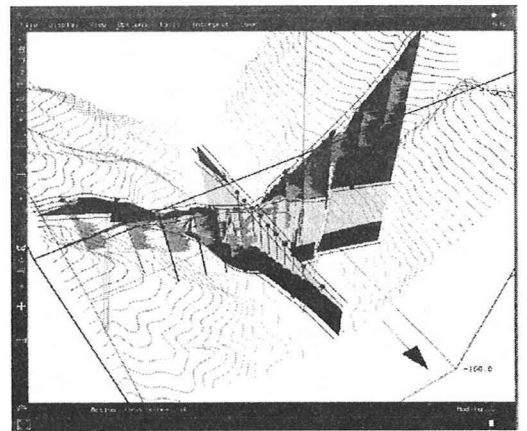


図-4 3次元での断面図表示

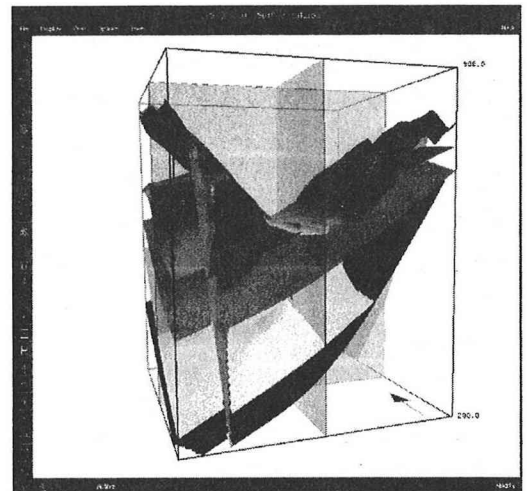


図-5 3次元面モデル

従来は、複数の2次元断面を組み合わせることで3次元構造をイメージしていたため、複雑なモデルになるほ

ど解析者以外にはわかりにくく、また、矛盾を含んでいるケースが多々見られた。本システムを使うことで、複雑な構造も視覚化され、関係者間で共通の認識を持つことができると共に、第三者への説明においてもわかりやすいものを提供できる。

さらに、この3次元モデルからの任意断面の切り出しが可能のため、新たな断面作成や地表・掘削面への層境界表示等も容易に可能となる。

3.7 その他の機能

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、ボリューム計算や任意の深度における物性データや基盤岩深度、岩級等のコンターマップを簡単に作成することができる。

また、面モデルから作成した境界面のコンターマップを DXF 形式のデータとして出力し、CAD ソフトへ取り込むことも可能である。図-6 に出力された DXF データを CAD ソフトで表示した例を示す。

さらに、面モデルから FEM 解析などのメッシュモデルを作成する機能や、ボクセルモデルの構築機能、クリッピング機能を備えている。

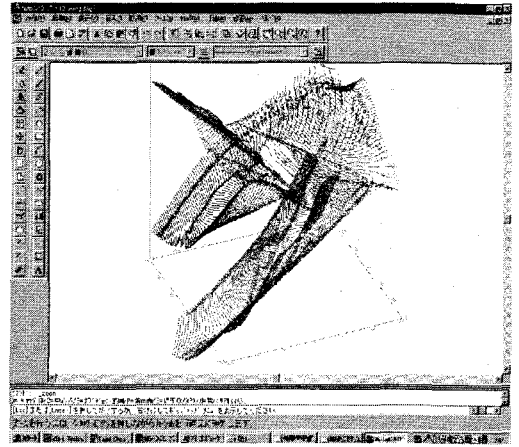


図-6 CAD ソフトでの DXF ファイル表示

4. まとめ

これまで述べてきたように、新たに開発してきた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、作業性と解析精度、品質の向上に有効であるとの知見を得ることができた。

我々は、これまで本システムをダム（ダムサイト、原石山）、地すべり、造成、地下水解析といった業務に試行的に適用してきた。それらの中で、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部分で、また、用地上制約のある現場での効率的な調査等にその有効性を確認することができた。さらに、これらの検証を通じて、本システムの利用が地質解析にとどまらず、その結果を受けての第三者へのプレゼンテーションや新たな調査の提案・積算といったところにも広がるものとの感触を得ている。

本システムの適用をさらに拡大していくためには、現状の各機能をより使いやすいものとして改善していくと共に、より簡便なツールとして地質技術者が日常的に使用できる環境を整えること、このようなシステムに乗せやすい形でのデータ収集・整理方法の検討、さらには、CADをはじめとする他のソフトとのより強力なリンク機能を持たすことが必要と考えている。

また、コンピュータによる3次元地質解析を標準的なものとし、建設 CALS 等のコンピュータ活用の流れに乗っていくためには、データの標準化と地質技術者が身近に使えるツールの整備が必須と考える。

今後は、こういったことを念頭に本システムの更なる開発を進めていきたい。

5. 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.