

# 次世代の三次元地質解析システムの開発

西山 昭一\*

## Development of Next-Generation Three-Dimensional Geological Analysis System

Syoichi NISHIYAMA\*

### Abstract

Three-Dimensional geological analysis systems have not yet been widely used in the field of civil engineering geology because of their unique model-building rules and complex functionality and operation. Recently, with the progress of CIM, three-dimensional modeling is increasingly being tested in civil engineering; however, the basic ground information is insufficient. On the other hand, precise topographical and geological information is becoming available thanks to large-volume laser profiling data and high-quality borehole log data sampling. Three-dimensional modeling of ground information, including such information, together with tools for using the data quickly and efficiently, is urgently required. This report describes the development of a new three-dimensional geological analysis system (RAViTS). The system design is based on our experience in three-dimensional ground analysis technology and enables civil geological analysis to be conducted quickly. It clarifies the data and model structures, and turns geological reconnaissance data and borehole core observation results into visual or three-dimensional information, thus creating a real-time realistic three-dimensional geological model.

**Keywords:** Three-dimensional (3D) ground analysis, 3D geological analysis, CIM, Geological model, 3D CAD

### (要 旨)

三次元地質解析ツールは、独特のモデル構築ルールや機能・操作の難解さなどから、土木地質分野での利用は浸透していない。近年、CIMの提唱で土木建設分野の三次元モデル化が試行されているが、基本情報としてあるべき地盤情報は対応の遅れが懸念される。一方で、大規模データのレーザー測量や高品質ボーリングのように、地形・地質情報の高精度化が進められており、これらの情報も含めて地盤情報の三次元モデル化を推進し、事業に速やかに、かつ、効率的に役立てられるためのツール整備が急務である。本報告では、新しい三次元地質解析システム（RAViTS：ラビッツ）の開発結果を報告する。本システムの特徴は、弊社における三次元地盤解析技術の経験に基づく設計により、土木地質的判断を速やかに行うことを目指したことである。データ・モデル構造を明確にし、地質踏査データやボーリングコア観察結果の速やかな可視化や三次元情報化をおこない、リアルタイムで現実的感覚のある三次元地質モデル構築が可能である。

**キーワード：**三次元地盤解析，三次元地質解析，CIM，地質モデル，三次元CAD

---

\* 応用地質(株)社会システム事業部

\* OYO Corporation Social System Business Division

1. まえがき

本稿で述べる三次元地質解析システムとは、様々な地質解析ツール(ソフトウェア)の集合体と定義する。これらを連携させ、土木建設事業に役立てる技術を三次元地盤解析技術とする。

国土交通省の推進するCIM(Construction Information Modeling/Management)<sup>1)</sup>は、調査・設計・施工・維持・管理の各段階で、事業対象の三次元モデルを共有・流通させる概念であり、そのためのデータ整備やツール導入が事業関係者に求められる。最近では、CIM対象事業へ三次元地盤モデルを提供する機会も増えつつあり、地盤情報にも三次元モデル化の必要性が迫られているといえる。しかし、土木地質分野における三次元地盤モデルは、依然として特殊な情報表現・流通手段として位置付けられており、かつ、これを構築するための三次元地質解析ツール自体が手軽に扱える段階にもない。

そこで、地質踏査によるルートマップ作成時からの三次元情報化と地質モデリング作業に対応し、高品質ボーリングコア<sup>2)</sup>情報も反映させ、地質技術者が手軽に使えるような、一貫した技術支援システムの開発に着手した。

本稿では、弊社における三次元地盤解析技術の適用事例より、ニーズや問題点を整理しシステム設計を行うことで、新しい三次元地質解析システムRAViTS(ラビッツ: Realtime, Analysis, Visualization, Total System)を開発した内容について報告する。

2. 三次元地盤解析技術のニーズ

弊社において、三次元地盤解析技術を適用した事例の目的について分類したものを表-1に示す。主要な目的は、①三次元可視化により説明性向上や合意形成に用いる、②調査データから三次元の地形・地質解析を行う、③三次元地盤モデルを設計やシミュレーションに二次的に用いることの3つに分類できる。

多くの事例において、「地盤情報の三次元可視化」が求められている。三次元可視化機能により地質解析結果と事業対象との相互関係を”見える化”することで、説明性を向上させる利点がある。マクロな視点で情報を俯瞰できるダイナミズムは、三次元可視化ツールでないと成し得ない技術である。

地盤モデルの二次利用としてのシミュレーションは、地下水流動系の把握や地盤の揺れやすさ、液状化危険度予測、構造変形解析などを目的として実施される。これらを三次元で評価する場合に三次元地盤モデルは必須の材料である。

思考作業を伴う地形・地質解析は、事例として少ないものの、複雑な地質構造が事業に悪影響を与えると予想されるものや、数多くの地盤情報を扱わなければならない場合に実施されることが多い。三次元地質解

析システムの性能を生かし、地質データの三次元的な整合性の照査をおこない、成果品の品質向上にも貢献できる。

表-1 三次元地盤解析技術の適用事例

Table 1 Application example of 3D geological analysis technology

Table with 4 columns: 事業分野毎の適用例, 三次元可視化, 地形地質解析, 二次利用. Rows include categories like 道路、トンネル, ダム, 斜面災害, エネルギー施設, 地盤汚染・廃棄物, 空港, 地中熱開発, 建築, 橋梁基礎, 地下水資源, 環境保全, 火山災害地.

### 3. 三次元地質解析ツールの実態

#### 3.1 ツールの特殊性と利用の際の問題点

三次元地質解析ツールには様々な種類が存在し、PC (パーソナルコンピュータ) 単体で動作する製品やWEB上で利用できるもの<sup>3)</sup>もある。弊社においても、土木分野における三次元地質解析に対応するために、UNIX用の「GISS」<sup>4)</sup>、Windows PC用の地盤情報モデリング・可視化ツールの「IG-Info」<sup>5)</sup>および「IGV」<sup>6)</sup>を開発してきた。しかし、依然として三次元地質解析ツールの利用・活用は進んではいない。その原因は、下記に示す、ツール独特のモデル構築ルールや、ツール自体の操作性の難解さ、ツールの性能限界にあると考えられる。

##### (1) ツール独特のモデル構築ルール

三次元地質モデルを作るために、完成された地質断面図や地質層序の存在を前提とするツールが多い。地質図を作る際には、地質踏査により地形・露頭情報を記述・記録・整理・統合し、地質構造を分析しつつ地質層序を組み立てる作業に最も作業負荷がかかる。いわゆる、地質踏査における“現場で考えながら地質図を作る”プロセスと、このような前提を持つツールは馴染みにくい。

根本的に、断面図だけで地質構造を考え組み立てることに限界がある。一般に、事業における地盤リスクの検討内容の質や数量に比例して調査量は増加し、検討すべき地質構造の複雑さは増す。断面などの検討図面の数も多くなるため、解釈のくい違いや図面間の不整合が生じ易くなり、それを解消させる作図作業だけで相当な時間が必要になる。

このようなツールは、完成している二次元の地質図を三次元で可視化するだけの“作図ツール”に過ぎず、地質技術者の思考補助や作業負荷を軽減させるものとは言い難い。

##### (2) 操作性の難解さ

地質モデルを作成する際に、ツールの性能に依存する一定の作業手順を求められる。地理座標系や単位などの初期設定、地質境界面モデルの演算に必要な地質層序テーブルの作成など、操作画面には見えないが確実にしなければならない細かい設定が必要になる。

さらに、いざ使おうとしても、余計な機能が多く操作が複雑で直感的に使えない、データ整理やモデル計算処理に時間を要するなどの問題もある。ツール側の内部処理の都合で実務に沿わない作業ルールが組み立てられており、地質技術者の思考を補助し拡張するような性能を満足できるものは少ない。

##### (3) ツールの性能限界

三次元地質解析ツールにもかかわらず、最も作業時間を要する画面が二次元であり、三次元の画面は単なるモデルのプレビューでしかないものも多い。これでは、立体的に可視化・分析が可能な三次元機能の利点を活かしかれていないとはいえない。

CIMの場合は三次元CADが必須であるため、三次元地質解析ツールはCADと連携できる性能が望ましく、実際にそのようなツールも存在する。しかし、三次元CADは一般に高価であり、短いサイクルでバージョンアップする場合はランニングコストも必要になる。

以上の問題を解消するためには、ツール毎にモデル構築ルールを理解し、そのための準備作業を正確に行い、操作を習得するための時間と労力が必要となる。価格やランニングコスト以外にも、海外製品はローカライズ (日本語化) されていないなど導入時の障壁もある。

これでは、評価が急がれる実務や、顧客の要望が動的に変化する現場には積極的に使いにくくなる。これらが、三次元地質解析ツールの使用頻度を少なくする主因と考えられる。

#### 3.2 空間補間手法の問題点

離散的なデータの空間補間により地質・物性の分布を推定することが、三次元地質解析ツールの最大の特徴である。この空間補間手法には様々な種類があり、モデルの目的や種類に応じて使い分ける必要がある。

簡便で再現性の高い手法としてTin (三角網補間)<sup>7)</sup>を用いる場合があるが、適用できる場面はデータが密にある場合に限られる。例えば、航空レーザー測量 (LPデータ) のような高密度で取得された標高データから地形モデルを作成する場合に適する。しかし、データ点数が限られる場合は、注意が必要である。

例えば、LPデータから再現された地形面モデルは、植生・構造物など被覆物の除去処理により残された、グラウンドデータ (地表面) 以上の情報を示すことはない (図-1)。

一般的な三次元地質解析ツールにおいて地質境界面

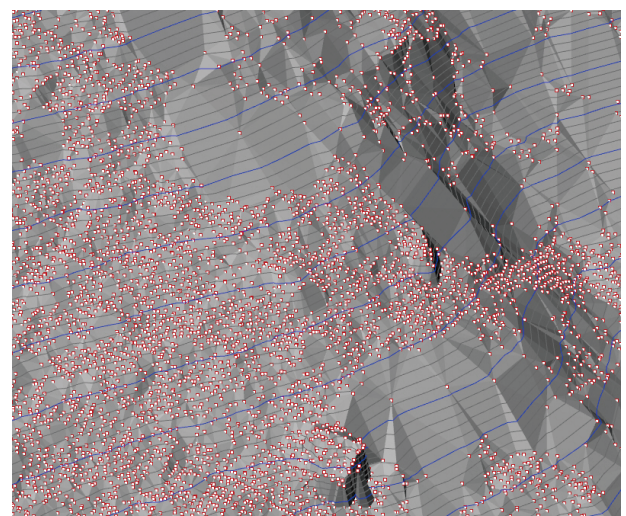


図-1 LPグラウンドデータによる地形の再現性

Fig. 1 Topographic reproducibility of LP ground data

の補間に採用されるのは、地質境界面同士の演算処理が簡単な、グリッド（格子）モデルを計算する手法である。例えば、最適化原理<sup>8)</sup>やクリギング（Kriging）<sup>9)</sup>を採用するツールが多い。これらは、少ない離散点から自然な形状の曲面を計算する。最適化原理は入力データと曲面モデルとの平均誤差を計算するので、一定の精度評価を示すことが可能である。クリギングはグリッドモデルを計算する前に空間相関性やデータの異方性を求め、最適な補間パラメータを決定できる。反面、データの追加や見直しの度にパラメータが変わる可能性もある。

いずれの手法もパラメータの設定根拠や記録が残されていないと再現性は悪くなる。特に、土木事業における地盤情報は、事業の進展や調査精度に応じて追加・更新が必要になることが多い。地盤モデル化を担当する業者も複数にわたる可能性があるため、再現性の高い空間補間手法を採用することが望ましい。

### 3.3 モデルを評価する際の問題点

空間補間処理により推定したモデルの信頼性を、定量的に評価する手法は確立されていない。そのため、地質技術者の考察を正しく反映できているかが、三次元地盤モデルを評価する着眼点である。三次元地盤モデルの信頼性向上を図るためには、地形形成過程、地質構造発達史、物理法則や地盤物性などにに基づき、演繹・帰納的に評価する地質技術者の能力が必要となる。

一方、モデルを評価する前段階として、モデルが入力データを正確に反映しているかのチェック作業は必須である。このチェック作業をPCモニタ上で行うのが時間ロスが少なく効率的と考えられる。しかし、三次元地盤モデルをPCモニタ上で可視化する方式<sup>5)</sup>の表現精度には限界がある。

例えば、地質境界面に用いられるグリッドモデルの場合は、本来そのような精度がない範囲まで簡単に補間してしまう。ソフト・ハードの計算負荷を下げるため、計算領域や解像度を制限する場合は、事業が求める解像度に簡単に達しない。特に、グリッドモデルにおけるグリッドの値は補間計算によって理論的に求まるものの、グリッド間にある入力データとモデルには、図化した際の見かけ上の誤差が生じる（図-2）。

三次元地盤モデルの信頼性を評価するためには、ツール側に入力データと作成モデルを重ねて示す機能や、誤差計算、断面図・等高線図などの図化機能が必要になる。なお、技術者はPC画面で表現される三次元モデルの仕組みや精度表現について理解しておかなければならない。

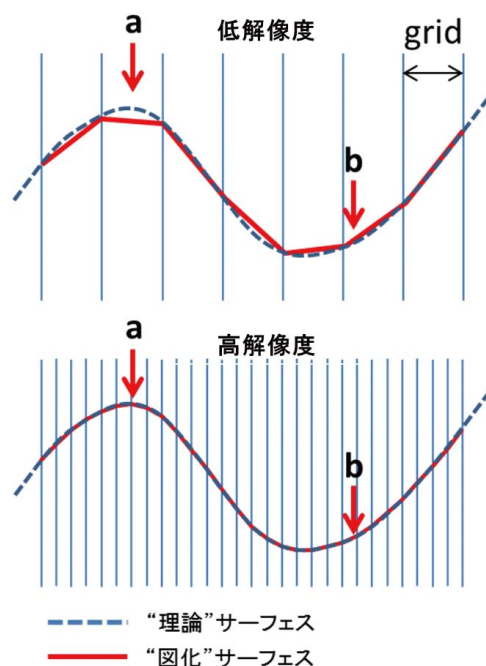


図-2 グリッドモデルにおける解像度とモデルの再現性  
※矢印の観測地点では、計算上の“理論”サーフェスモデルと“図化”サーフェスモデルには解像度に応じた誤差が生じる

Fig. 2 Resolution and model reproducibility in grid model  
※ At observation points indicated by arrows, resolution-based errors will occur between the calculated theoretical surface model and the mapped surface model.

## 4. 三次元地質解析システムの設計

### 4.1 三次元地質解析支援システムの改善点

既存の三次元地質解析ツールには多くの課題がある。もちろん、弊社で過去開発してきたツールも例外ではない。ここで、既存ツールの改善すべきポイントをまとめると次の3つと考えられる。

- ① 技術者の考えるスピードに追従できる地質解析機能と可視化機能
- ② 作業フローとデータ構成のわかり易さ
- ③ ソフトウェアとしての柔軟性と拡張性

システムの設計に際して、これらの観点から要求仕様を整理した。要求仕様に基づきシステムが扱うデータ・モデルを単位とした“プロジェクト”の構造を組み立てた。次に、業務経験上組み立ててきた基本的な地盤モデル構築ワークフローにおいて、クリティカルパスを短縮できる部分を検討した。最後に、三次元可視化に利用するプラットフォームや、モデル作成に必要な空間補間手法を選定した。

### 4.2 要求仕様の整理

システム全体の構造を設計するに際し、先の改善ポイント毎に整理した要求仕様を表-2に示す。

表-2 三次元地質解析システムの要求仕様  
Table 2 Required specification for a 3D geological analysis system

① 地質解析機能と可視化性能
・簡単に(直感的に)使えること
・技術的判断を短時間に行えること
・高度な編集機能を持つこと
・CADの精度で測定・分析を行えること
・地質境界面モデルの計算・演算を行えること
・表現力、表示処理速度、高度な表示機能、時にはリッチな表現(アニメーションなど)も可能とする
② 作業フローとデータ構成
・仕組みが自然であり容易に理解できること
・トレーサビリティを明確にすること
・標準的なCADデータフォーマットに対応すること
③ 柔軟性と拡張性
・長期的に使える将来性があること
・開発が比較的容易であること
・高品質コア情報などの情報化にも対応できること
・メンテナンス性が高いこと

4.3 プロジェクトの構造

データ構造は直感的に判読できるように、データとモデルとの関係性を明確にした。具体的には、Windows のフォルダを情報の繋がりや階層化し、データを管理する。フォルダは図-3に示す階層構造とし、材料となる基本データ(地質図面など)と解析結果のモデルデータとは区別する。モデリングに用いるパラメータファイルや一次加工データは、モデルと近い階層として保持する。

4.4 ワークフロー

表-1に示す業務経験より、三次元地盤モデル構築の一般的な流れは次のようになる(図-4)。

- ① 事業の目的や用途を考慮し、必要とされる地盤モデルの対象やサーフェス・ソリッド等のモデル形式・解像度を検討し、構築方法を設計する。
- ② モデル構築に必要な資料を収集、分類、整理し、モデルに必要な位置情報を地理座標空間にプロットすることで三次元データ化する。例えば、LPデータや地形等高線、柱状図電子データ、地質平面図および断面図CADデータに三次元座標を持たせる。十分なデータが揃えば、地盤モデル構築に移る。
- ③ 三次元地盤情報解析により地盤モデルを構築する。三次元空間でデータのクロスチェックを行い、整合性がとれた地層(地質)について対比作業や地質構造検討を進める。②のデータで情報が不十分な場合は、地質構造学に従った解釈によるコンター図や断面図を追加作図して用いる。地質境界のサーフェスモデルを空間補間処理により計算し、必要に応じて地層ソリッドモデルを作成する。構築したモデルは、地質学的な観点で妥当と判断できれば完成となる。

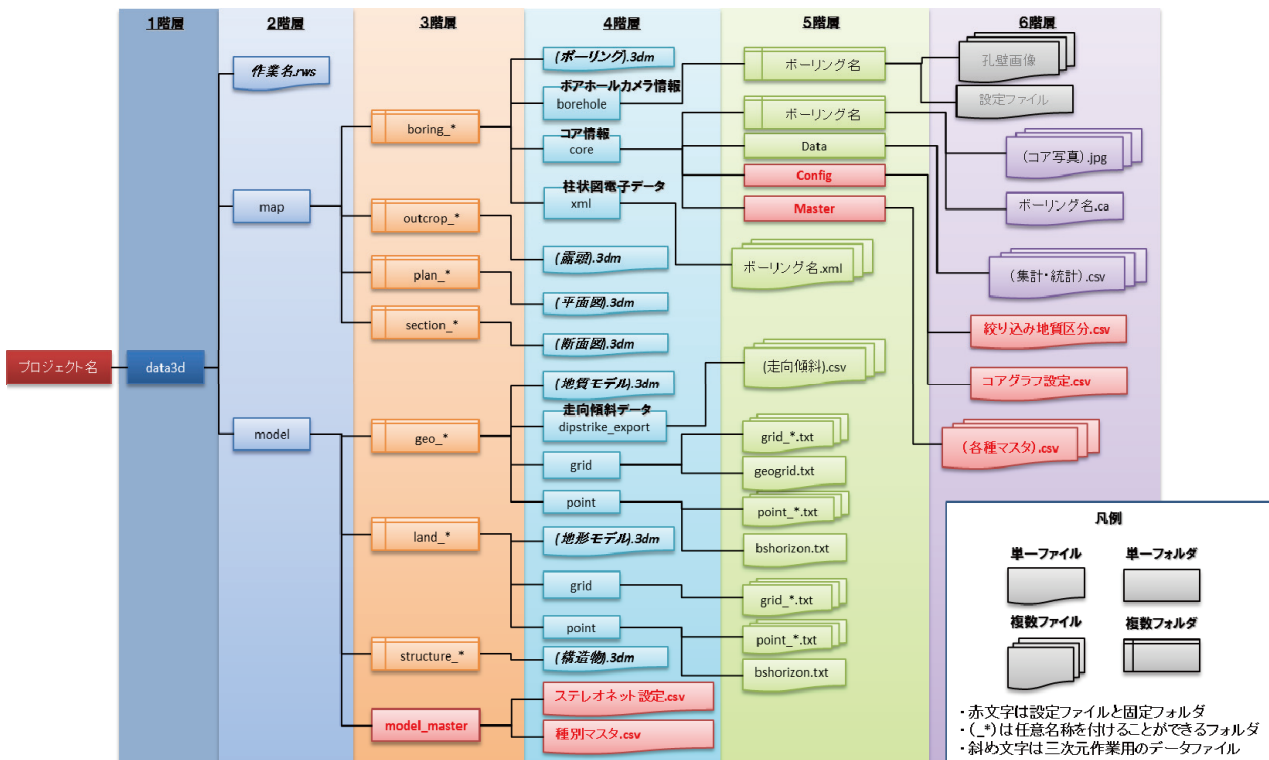


図-3 プロジェクトフォルダ構成図  
Fig. 3 Project folder schematic diagram

④ 構築した地盤モデルを元に、三次元可視化資料や、シミュレーションなどに用いるデータの出力や加工、地質断面・平面図などの図面を作成する。

以上のワークフローのうち、システム開発によって省力化できる部分は②③④である。

さらに、三次元地質解析システムを用いる三次元地盤情報解析の作業（図-4の③）を詳述すると、図-5の流れになる。③-1～3の作業は地質技術者の判断がその都度必要になる部分であるため、システム化は困難である。それ以降の③-4、5の作業を省力化する機能を開発することに注力した。

4.5 三次元可視化プラットフォーム

高性能な三次元可視化・作図・編集機能を一から構築することは、費用の面から現実的ではない。そのため、市販の三次元CADソフトをプラットフォームにした。

プラットフォームとして、Robert McNeel & Associates製のRhinceros（以降Rhino）を採用した。Rhinoは

NURBS (non-uniform rational B-spline: 非一様有理Bスプライン) サーフェスマーケティングに特化した三次元CADソフトウェアである<sup>10)</sup>。

Rhinoはインダストリアルデザイン、建築、造船、カーデザイン、CAD/CAM、ラピッドプロトタイプング、リバースエンジニアリング、プロダクトデザイン、マルチメディアデザイン、グラフィックデザインなどの業界で使われている。SDK（ソフトウェア開発キット）としてRhino development toolsやopenNURBS、Rhino Pythonが公開されており、Rhinoをコアとした様々な専門設計やデザインツールも開発・販売され

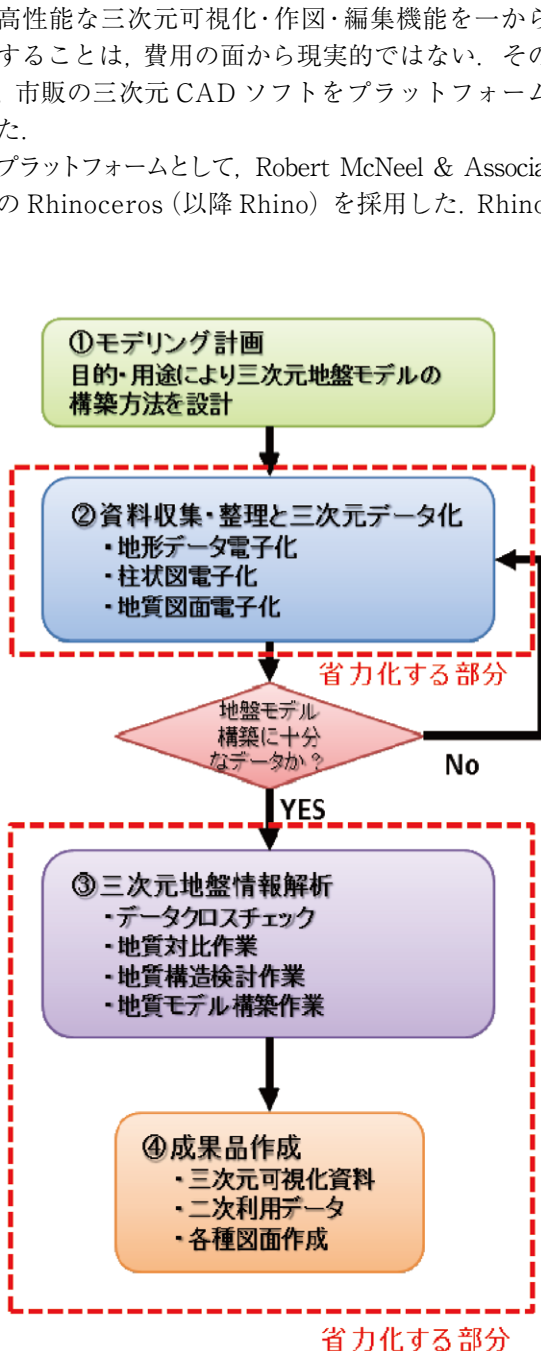


図-4 三次元地盤モデル構築フロー  
Fig. 4 Flow of creating the 3D ground model

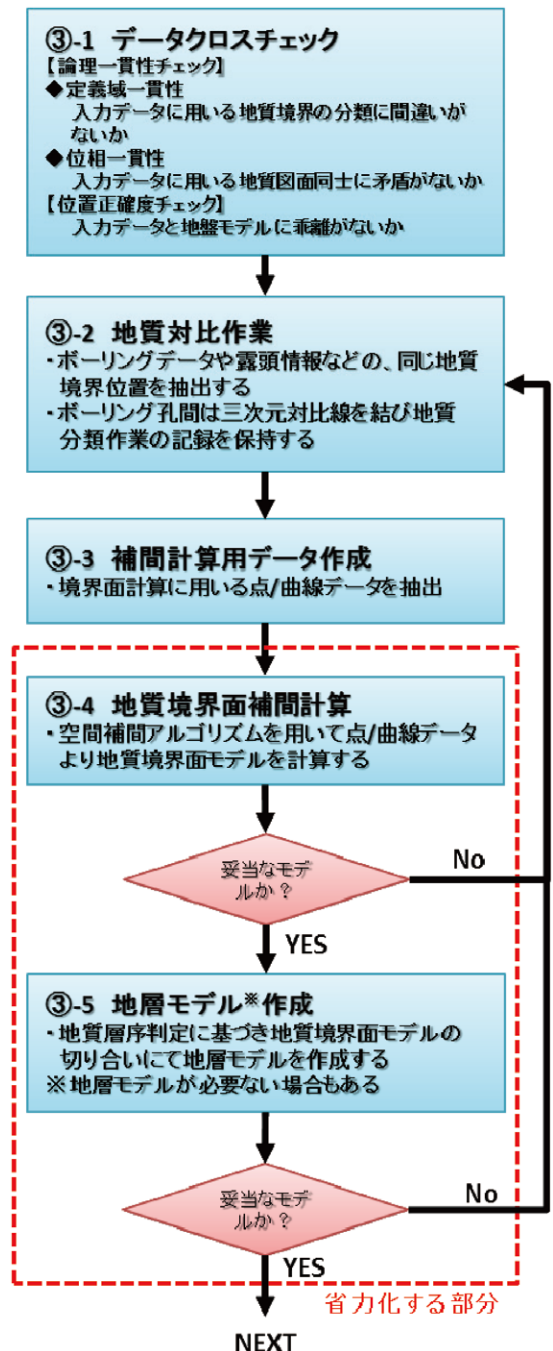


図-5 三次元地質解析システムの作業フロー  
Fig. 5 Flow of operating the 3D geological analysis system

ている。

プラットフォームに Rhino を採用した理由は、三次元 CAD の性能を持つこと、操作性のシンプルさ、習得し易さ、作図アルゴリズムのオープンソース化、開発環境の公開や活発な開発コミュニティ<sup>11)</sup>が存在するため、柔軟性かつ将来性が認められるためである。さらに、三次元地盤解析への Rhino の導入以来、表-1 に示したような、多数の三次元地盤モデルの構築実績がある。Rhino は同種の三次元 CAD よりも比較的安価に供給され、年間保守費もかからないことから、低いランニングコストであると言える。この Rhino をコアに、フレームワーク機能やデータ I/O、補間・演算機能を開発した。開発環境は、C# (Microsoft Visual Studio 2012) や前述の SDK を使用した。

#### 4.6 空間補間手法の選定

地質境界面を計算処理するために必要な空間補間手法は、三次元地質解析ツールに採用例が多い最適化原理<sup>8)</sup>をベースとする BS-horizon<sup>12) 13)</sup>を選定した。

このアルゴリズムは、地質図作図上の制約条件(図-6)や露頭の走向・傾斜データを利用してグリッドモデル(図-7)を計算し、かつ、入力データとモデルの平均誤差を計算できる。BS-horizon の入力データは三次元座標で定義される離散点と地層の走向・傾斜値であり、出力データは等間隔格子の xyz 座標データ、入力パラメータおよび誤差計算記録ログとなる。

オーバーハングモデルの場合はグリッドモデルとして計算できないため、Rhino に実装されている NURBS を利用する。この場合は、離散点・曲線・既存サーフェスエッジなどを入力データとし、出力は NURBS サーフェスモデル(図-8)である。

地形モデルには Tin を用いる。離散点や点群データを入力データとし、出力は三角メッシュである(図-9)。

### 5. 開発したシステムの機能と性能

#### 5.1 プロジェクト作成機能

システムを起動(図-10)すると、システムの起動画面が表示される。この起動画面より、“新規プロジェクト”作成か“既存プロジェクト”の利用かを選択する。

“新規プロジェクト”作成を選択すると、指定した任意のフォルダに図-3 に示すプロジェクトフォルダ群が生成される。既存プロジェクトを選択した場合、該当する個別のプロジェクトファイルを読み込み、既存プロジェクトで最後に保存した状態が起動することになる。

#### 5.2 インターフェースの構成と機能

開発したシステムのインターフェースを図-11 に示す。インターフェースでは地質解析やモデリング作業

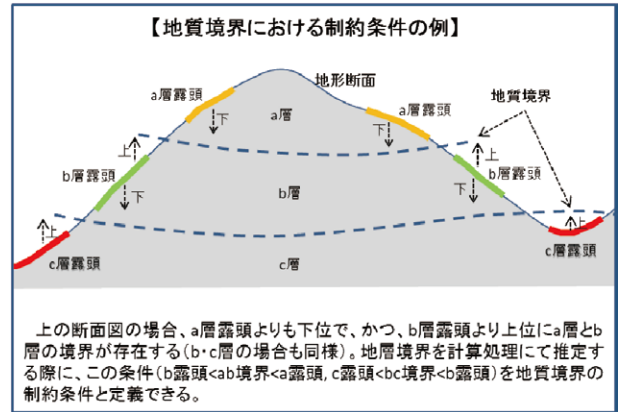


図-6 地質図作図上の制約条件

Fig. 6 Constraints in creating geologic maps

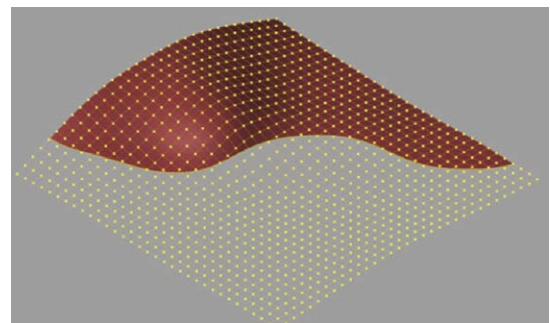


図-7 グリッドモデルの例

Fig. 7 Example of a grid model

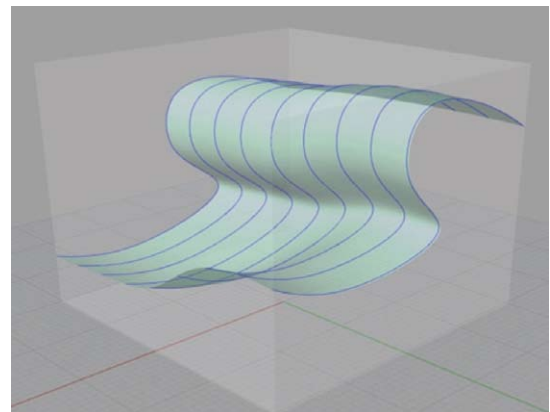


図-8 NURBS サーフェスによって補間されたオーバーハングモデル<sup>4)</sup>

Fig. 8 Overhang model interpolated by NURBS surface

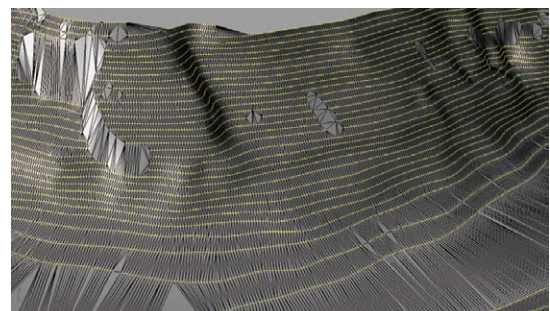


図-9 Tin による地形モデルの例

Fig. 9 Example of topography model by Tin

単位を想定し、作業単位毎に上段の機能タブ（図-11の①）で分類した。タブを切り替えることで、それぞれのデータやモデルにアクセスし作業を行うことができる。

図の最前面に表示されている「地質モデル」タブでは、システムの主目的である三次元地質モデルを構築する。ワークフローにおける、より上流側作業の解析・データ整理機能を順に右側のタブとして配置し、将来的に機能追加可能な構成としている。

三次元機能を持つタブには、Rhinoの三次元ビューアが埋め込まれている（図-11の②）。専門ツールにあ

りがちな機能ボタンを最低限廃し、操作空間である三次元ビューアを広くした。モデリングに必要な最小限の機能は、必要な際にマウス中ボタンで呼び出すことになる。

作業中は最前面のタブがアクティブな状態であり、そのタブ以外の三次元データを同じ空間上で重ねて表示することができる。この場合、別のタブに該当するデータは誤操作を避けるため修正や編集はできない。入力データやモデルの構成は階層型レイヤマネージャ（図-11の③）で管理するため、互いに関連するものがわかりやすく一覧できる。ビューアの空間諸元やデータ・モデルの属性情報はプロパティウインドウ（図-11の④）に示される。

なお、作業空間の座標系はメートル系であるが、測地座標の管理機能は持たせていない。ユーザー自身が常に測地座標や三次元空間を意識し、プロジェクトごとに正しい地理空間座標を認識して欲しい。

以下、各タブの機能について解説する。

#### (1) 「地質モデル」タブ

三次元地質モデルを構築するためのタブである。

作成できるモデルの種類は、地質境界面モデル、地層モデルである。地質境界面モデルはBS-horizonを使用したグリッドモデルとNURBSサーフェスの2種類が利用できる。

地質対比は三次元空間上で直接行う。走向・傾斜データは、地形モデル上にマーカーとして直接設置する。補間に用いるデータは、補間対象の地質に相当するレイヤにまとめて管理する。

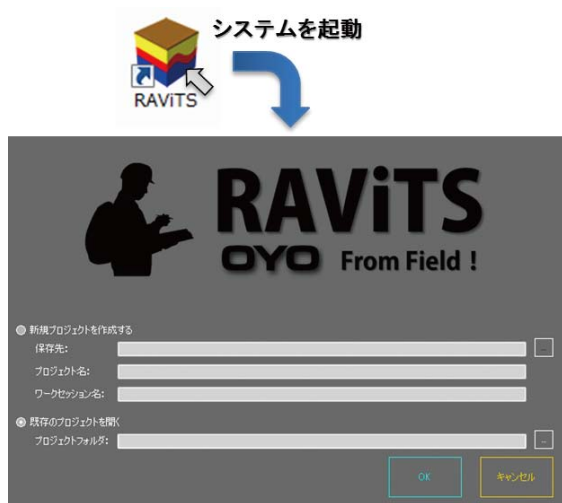


図-10 システム起動画面

Fig. 10 System start-up screen

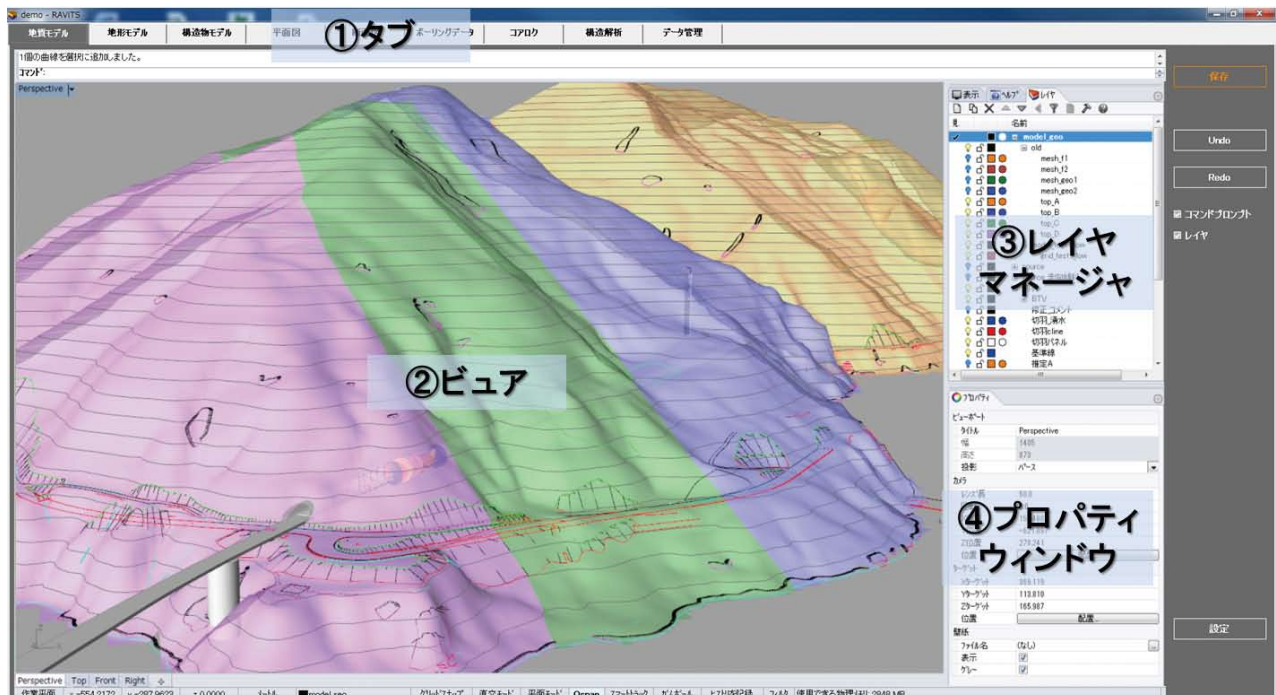


図-11 システムのインターフェース

Fig. 11 System interface



以上のようなデータを用いて、補間領域とグリッドの解像度等の各種パラメータを設定した後、地質境界面モデルを計算する。なお、複数の境界面モデルの連続計算も可能である。地層モデルはグリッドモデルの演算によって自動で生成することが可能である。

(2) 「地形モデル」タブ

三次元地形モデルを構築するためのタブである。

地形モデルは国土地理院の数値標高データや、航空・地上レーザー測量の点群データ、CAD等高線データなどを用いてTin補間で作成する。点群データはXYZの3列座標ファイルであれば、ファイルをインポートし、点群データとしてシステムに取り込まれる。

(3) 「構造物モデル」タブ

三次元構造物モデルを構築するためのタブである。

構造物モデルは、単純な形状のものからNURBSやポリゴンメッシュで作成する複雑なものまで対応できる。

他の三次元CADやモデリングツールで作成したモデルのインポートも可能である。なお、ミリ単位で作成されているものについては、メートル単位に尺度変更する必要がある。

(4) 「平面図」と「断面図」タブ

二次元の地質・設計図面を編集するタブである。他のCADで作成した図面をインポートすることが可能である。ミリ単位で作成されているものについては、メートル単位に尺度変更する必要がある。また、作業モデル対象や、工程毎に図面が変わる場合は、レイヤを階層で分類することが望ましい。

パネルダイアグラムの作成は、「断面図」タブ内で行う。物理探査断面はGeoPlotよりエクスポートしたファイルと測線測量結果のxyz座標ファイルを読み込み、三次元で可視化し色調・コンター・物性値表示ができる(図-12)。さらに、探査断面上に三次元曲線を描写し、サーフェスモデルを計算するための入力データに用いることが可能である。

(5) 「ボーリングデータ」タブ

柱状図を三次元可視化するためのタブである。電子納品におけるボーリング交換用データの柱状図xml(Extensible Markup Language)ファイルを、三次元のオブジェクトに変換して取り込む。地質区分やボーリング名称の表示は標準であるが、柱状の右側に併記する判定項目(岩級区分、N値など)を指定することが可能である。

サウンディングデータの場合は、所定のテキストファイルを柱状図xmlファイルに変換後、同様に三次元オブジェクト化する。

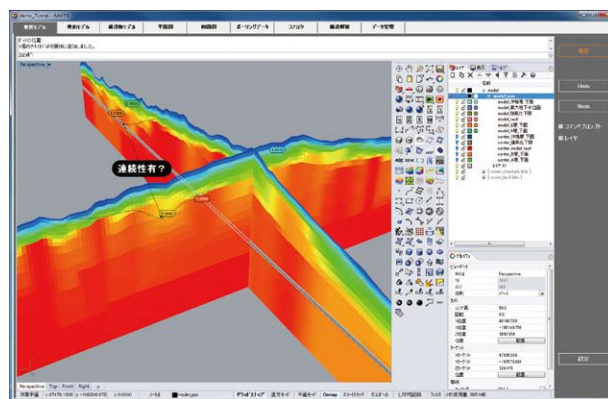


図-12 物理探査断面の三次元表示

Fig. 12 3D indication of geophysical exploration cross-section

(6) 「コアロク」タブ

ボーリングコア観察結果の速やかな可視化と電子化の機能を持つタブであり、三次元のビューを持たない。単独のソフトウェアとして利用する場合を想定し、コアロク(コア情報を記録するツールをイメージしたもの)という通称とした。

コアロクで入力できるデータは表-3の項目となる。操作の流れを図-13に示す。コアロクでは、まず、データ入力の背景図となるコア写真を登録する必要がある。単一孔の複数コア写真を自動でつなぎ写真にした上で、観察内容のデータを画面上で入力していく。

コアロクで入力した観察情報は、「コアグラフ」にて横並びに可視化するため、単一孔の地質状況を定量的に俯瞰できる(図-14)。コア写真上に判読情報を重ねることや、各項目を任意に組み合わせてグラフとして表示することができる。「コアグラフ」は成果図として高解像度の画像ファイルを出力できる。

コアロクで入力したデータは柱状図xmlファイルとして出力が可能である。また、コア写真を登録後、既存の柱状図xmlファイルをインポートし、コアグラフを作成することも可能である。柱状図xmlファイルを介して、三次元柱状図として三次元空間にプロットできるため、「地質モデル」タブ上での三次元対比分析～サーフェスモデル計算が可能となる。なお、

表-3 コアロクの入力項目と解析機能

Table 3 Input items and analysis functions of COREROKU

項目	内容
データ入力	区分情報: 地質、色調、硬軟、形状、割れ目状態、岩級、風化、変質、土軟硬 面構造: 各種不連続面 点情報: 針貫入などの試験情報 ポリゴン情報: 混入礫などの形状
可視化	コアグラフによる可視化 棒グラフ、散布図、コア写真重ね図(区間区分テーブル、面構造、点情報位置)
解析	不連続面の傾斜角計算 ポリゴン集計(統計データ出力) 区間集計(細区分集計グラフ)

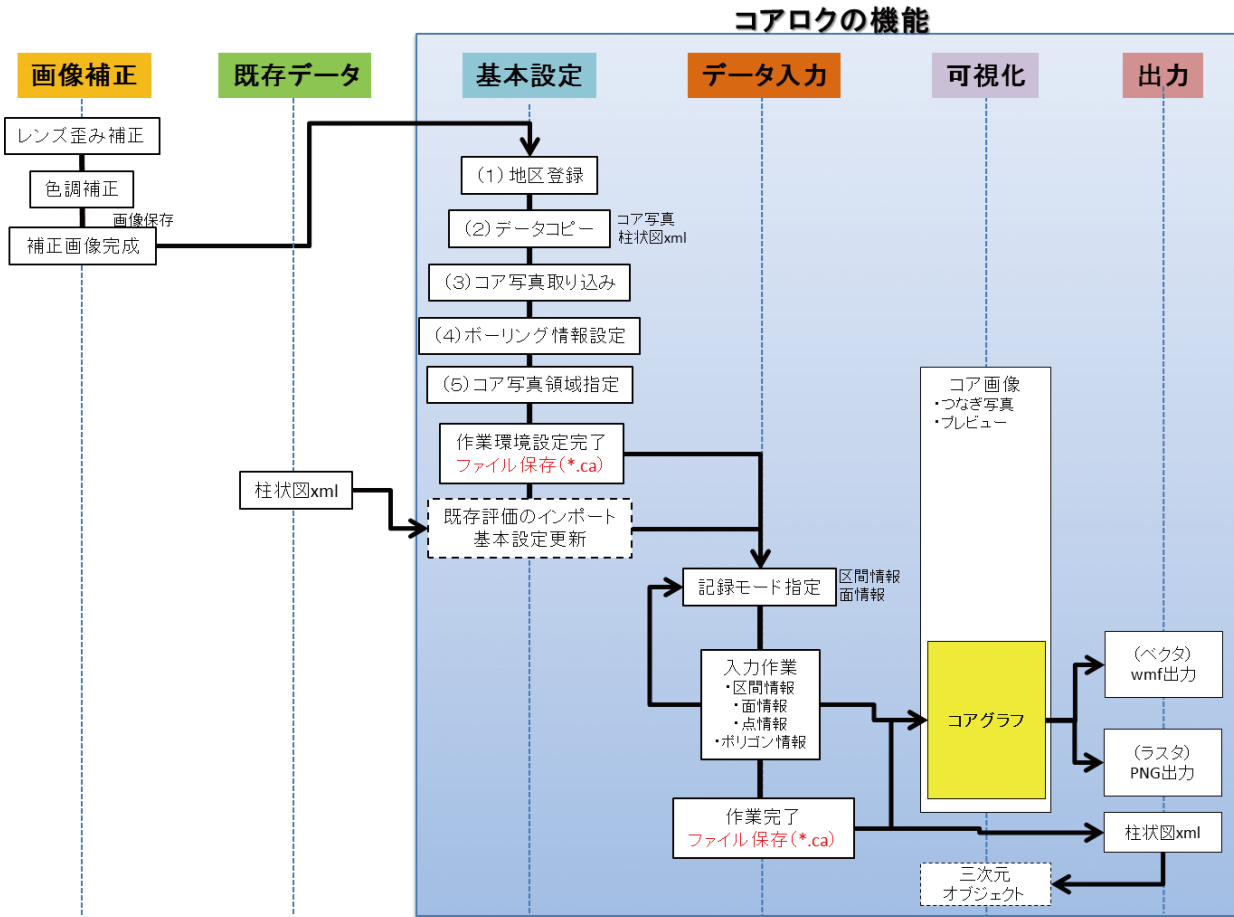


図-13 コアロクによる操作の流れ  
 Fig. 13 Flow of using COREROKU

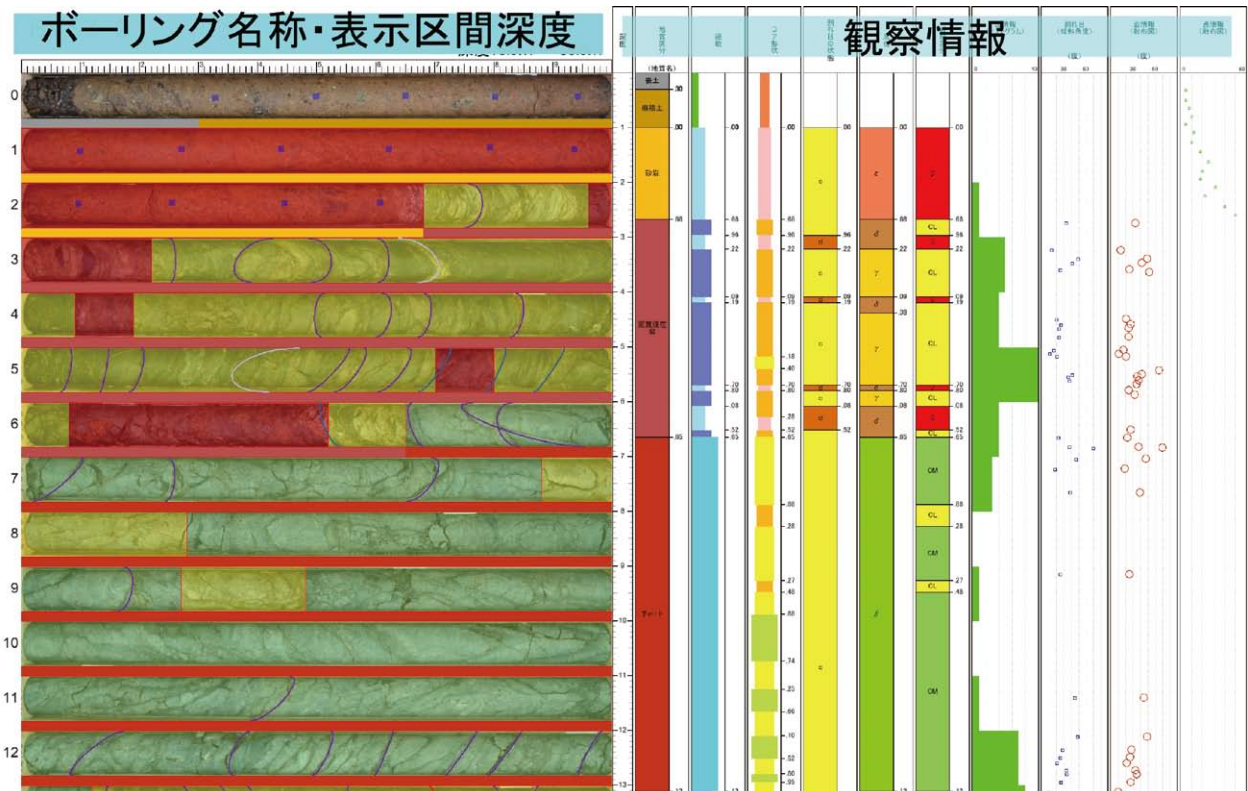


図-14 コアグラフによるボーリングコア情報の可視化  
 Fig. 14 Visualization of borehole core information by COREGRAPH

Rhino がインストールされていなくてもコアロクの基本機能は利用可能である。

(7) 「構造解析」タブ

露頭などで取得された地質構造データについて、統計解析を行うタブである。

基本的なウルフネットやシュミットネット図化、コンターマップ、ローズダイアグラム、大円図化が可能であり、解析による任意構造データをエクスポートし、三次元地質解析に用いることが可能である。この機能も「コアロク」と同様に Rhino がインストールされていなくても利用可能である。

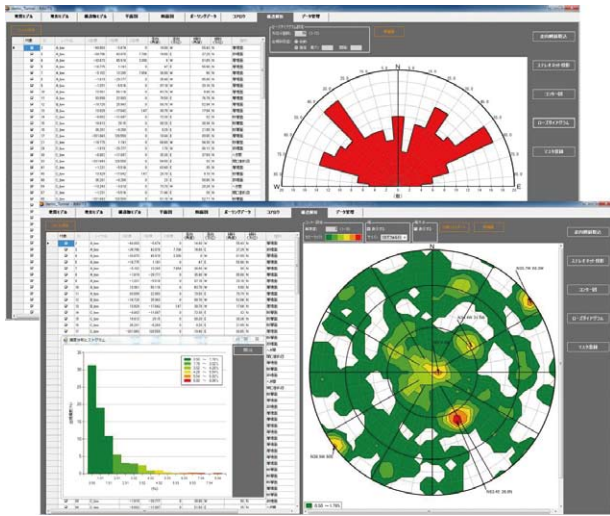


図-15 地質構造解析機能  
Fig. 15 Geological structure analysis function

(8) 「データ管理」タブ

プロジェクトフォルダの構造(図-3)と内容を管理するためのタブである。画面では、プロジェクトフォルダの構成とフォルダ内のファイルを表示する。プロジェクトフォルダの追加や、モデルファイルの新規作成や削除が可能である。また、モデルファイルをプロジェクトファイル(ワークセッションファイル)に登録することができる。

5.3 動作環境

本システムにおいて、三次元可視化や編集機能をストレスなく扱うために望ましい、ソフトウェア・ハードウェア環境を表-4に示す。LPのような大容量点群データよりモデルを作成する場合、点数に比例して処理時間は増加するため、64bit環境を推奨する(図-16)。なお、コアロクや構造解析機能のみを使用する場合は、32bitCPUでも十分利用可能である。

表-4 ソフトウェア・ハードウェアの要求性能  
Table 4 Required specifications of software and hardware

<b>【ソフトウェア構成】</b>
OS: Windows 7/8 64bit/32bit(64bit推奨)
Rhinoceros Ver5 rev9以降対応(三次元機能の利用に必須)
<b>【ハードウェア構成】</b>
CPU: Intel Core™ i5以上
搭載メモリ: 8GB以上
GPU: グラフィックボード利用を推奨
HDD: 20GB以上の空き容量
モニタ: 画面解像度1920×1080以上を推奨

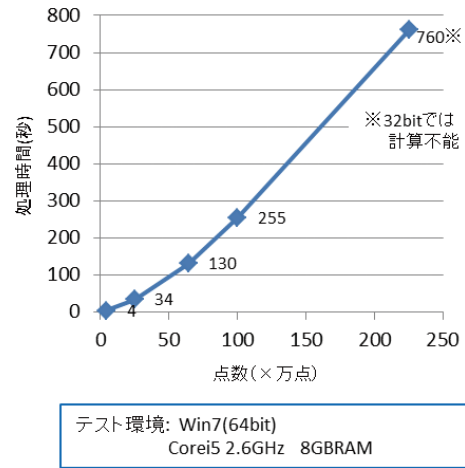


図-16 LP点群データの地形モデル計算負荷  
Fig. 16 Calculation load of LP point cloud data topography model

6. システムの検証と効果

(1) データ入力性能

コアロクは、実務においてコア解析機能を検証中であり、本稿執筆時点での処理数は約70孔(総計約9000m)である。タブレットPCにおける現場検証も進めており、土軟硬区分の確認・集計機能を利用し、顧客とのコミュニケーションにも利用できる可能性がある。

コアロクでは、ボーリングコア観察の段階より速やかに情報化が可能となった。ただし、表題情報や記事入力、ボーリング掘進記録入力には対応していないため、一旦xmlデータで出力した後にシステム付属の柱状図データ入力ソフトで入力編集が必要となる。

(2) 解析性能

三次元機能のタブ画面では、三次元データやモデルをあらゆる視点で確認しながらの情報入力、可視化およびモデリングまでシームレスに行えるようになった。

Rhinoの標準機能を用い、オブジェクトに対し、三次元距離・角度計測、オブジェクト交差計算、面積・体積・重心計算を少ない手順で行うこともできる。サー

フェスの形状を速やかに調べる手段としては、等高線生成（水平、任意方向）、ゼブラマップ表示、点とサーフェスの偏差計算、断面図作成などがある。

これらは、いずれも三次元ビュー内で手に取るような感覚で、かつ、没入感のある操作が可能である。地質モデル作成において、これらのチェック機能を適宜活用できており、三次元地質解析作業は概ねリアルタイム処理が可能になったと評価できる。

### (3) 短所

個々のモデルやデータのファイルサイズが増えると内部連携機能のパフォーマンスが低下する。特に容量の大きいレーザー測量による地形データの読み込みや地形モデル作成時にその現象が顕著である。

このようなパフォーマンス低下の問題については、現状では64bitハードウェアの利用や、モデリング計画時（図-4①）に分割処理を検討することが望ましい。

コアロクでは、コア写真登録に際し、画像補正機能が無いため、あらかじめ画像処理ソフトで写真の回転・歪み補正が必要になる。高画質や高品質コア画像であれば、面構造や礫形状などのトレースが容易であることから、より精度の高いコア写真の撮影技術も求められる。むしろ、これはデメリットではなく調査データの質の向上に寄与すると捉えるべきであろう。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、三次元地質解析ツールとしての統一感を持つシステムを開発し、リアルタイムな三次元地質解析を実現できたと考えられる。明らかになった問題点については、より一層の手順の簡素化、処理スピード向上、ワークフローや細部のデータ連携の見直しなど、適時解消していきたい。

CIM対応については、CIMの属性情報も扱えるように、三次元ボクセルモデルの機能、CIM属性付与・管理機能、計測機器、物理探査データとの連携など、属性データを持つ三次元地盤モデルの取り扱いを目指したい。

最後に、本稿表題の「次世代」とする意図は、どの世代も違和感なく使え、将来性・応用性を持ち、さらに次の世代につながられることの希望と考えている。このシステムを広く普及していきたい。

## 謝辞

本システム開発は、現場の地質技術者のニーズを発端に、様々な方々のご理解・ご協力により実現したものである。中部支社の辻岡GL、谷川工務副本部長、エンジニアリング本部山根技師長、四国支社山田GL、東北支社仙石GL・須田さん、二次元マトリックス地質岩盤分野のメンバーには、多くのご教示、ご助言を頂

くとともに、各種資料の提供や検証作業のご協力を頂いている。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) JACIC CIM 技術検討会. [http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/index\\_CIM.htm](http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/index_CIM.htm), (参照2015-02-03).
- 2) 独立行政法人土木研究所ほか. すべり層のサンプリングと認定に関する研究 共同研究報告書. 2013.
- 3) 野々垣 進. 地質境界面に基づく3次元地質モデリングシステムの現状と課題. 情報地質. 2011, 第22巻, 第3号, p.131-142.
- 4) 和田 弘, 原 弘, 小川 卓司. 3次元地質解析システムの提案. 第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集. 2000, p.148-152.
- 5) 西山 昭一, 小川 卓司, 原 弘. 地盤技術者のための3次元地質モデル構築とその利用. 応用地質技術年報. No.22, 2002.
- 6) 西山昭一, 谷川正志. 中部地質調査業協会「土と岩」3次元地盤情報解析技術の現状と展開. 2014, p.37.
- 7) S.W.Sloan. A Fast Algorithm for generating constrained Delaunay triangulations. Computers & Structures. Vol.47, No.3, 1993, p.441-450.
- 8) 塩野 清治, 能美 洋介, 升本 眞二, 坂本 正徳. Horizon2000 等式・不等式制約条件や傾斜データを活用した地層面推定プログラムの改良. 情報地質. 2001, 第12巻, 第4号, p.229-249.
- 9) Hans Wackernagel 原著 地球統計学研究委員会訳編, 「地球統計学」. 2003, p40-60.
- 10) Rhinoceros Home. <http://www.rhino3d.com/>, (参照2015-02-03).
- 11) Rhino ウィキホーム. <http://wiki.mcneel.com/ja/rhino/home>, (参照2015-02-03).
- 12) 野々垣 進, 升本 眞二, 塩野 清治. 3次B-スプラインを用いた地層境界面の推定. 情報地質. 2008, 第19巻, 第3号, p.61-77.
- 13) BS-horizon ソース公開先. <http://www.jsgi.org/>, (参照2015-02-03).