

地質解析に関する研究

地質構造の三次元表示・データの一元管理機能を備えた地質図作成支援システムの構築



綿貫布征
調査第一部
次長



高橋英徳
調査第一部
主任研究員



我妻敏昭
調査第一部
主任研究員



長谷川英幸
調査第一部
上席主任研究員



清水義治
調査第一部
主任研究員

研究の背景と目的

我国は、治水、利水、発電等を目的とした新たなダム建設を必要としているが、日本列島の地質構造の複雑さもあって近年では良好な地形・地質条件を有するダムサイトが少なくなっている。

そのため、ダムサイトの地形・地質条件に適合した安全で合理的なダムの設計・施工を行うことが更に重要になり、地質調査についても、よりの確で精度の高い解明が求められるようになってきている。

その結果、ダムサイトの地質調査の多様化、データの増大をもたらし、調査業務量の増大と複雑化をもたらしている。

ダムサイトの地質構造把握の過程では、弾性波探査、ボーリング、横坑調査などによって得られた詳細な位置地質情報をもとに、ダムサイト周辺に関する地域特性など地質技術者の多角的な知識や経験による地質学的推測で、関連するデータの間を埋めていくことが必要である。

このとき、地質技術者の地質図面作成に関わる業務時間は地質解釈のための思考時間ではなく、データの整理・検索・加工や作図に大半を費やしている。

また前述の地質条件の複雑化、設計・施工条件の多様化の状況から地質図作成など地質情報処理に関する技術開発や合理化を図ることが極めて重要な課題となっている。

この状況を踏まえ、国土技術研究センターでは、地質構造の立体的視覚化や地質情報の電子化、データベース化といった視点から三次元の地質図作成が行える地質図面作成作業支援システムを開発してきた。図-1に本システムの代表的な機能である地質構造の三次元表示例を示す。

本報告では、システム概要と開発内容について紹介し、

実業務への適用事例を報告するものである。

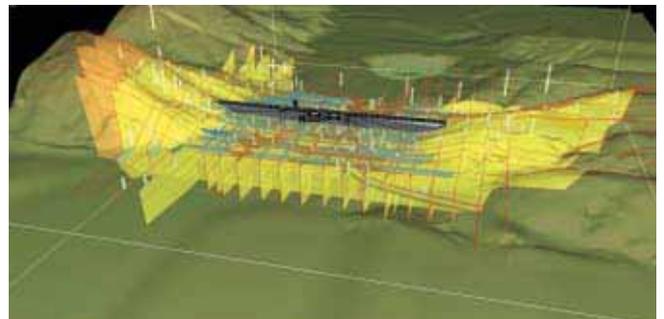


図-1 地質構造の三次元表示例
(地形・ボーリング・縦横断地質3次元情報・ダム本体構造を表示した画像)

システムの概要

地質技術者がダムサイトの地質構造を理解するには、様々なデータを総合的に解釈して、頭の中でそれらを論理的に組み合わせ、経験や知識から推定する。

地質構造推定の基礎となる地質調査データは、建設CALS/ECといった情報の電子化に関わる動きにあわせ、その一部については様式の統一化、データの電子化が進みつつある。一方、その後の地質図作成などの業務は、その大半が机上で図面を広げて行われているのが現状である。

本システムの開発コンセプトは「地質技術者の経験、知識といったノウハウが十分に活かせる地質図面作成支援システムの構築」であり、地質技術者の地質解釈の思考の手助けをする道具として、ダムサイトの地質に関するデータを整理して入力することで、考察に必要なデータを迅速に表示することが可能なことである。

地質図作成機能の電子化を図ることは、図-2に示すように例えばダムサイト全体の地質調査業務の電子化を大き

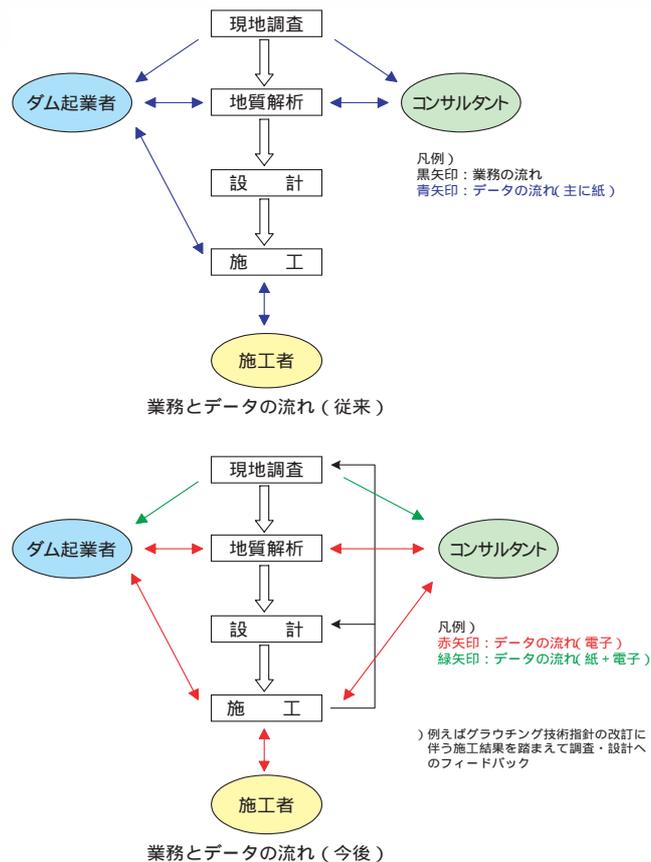


図 - 2 ダム地質調査業務とデータの流れ

く推進し、その結果、今まで紙ベースのデータとして保存してあった地質情報の共有化が図れ、地質図作成業務の効率化だけでなく、地質調査・解析業務全体の効率を向上させることにつながると考えられる。

また、従来のこの種のシステムは二次元の断面図作成を重視したCAD的要素の強いものであるが、本システムは三次元のデータを保持し、正確に断面間の整合性を保つ事により、人的ミスを最小限に防ぎ、効率的に図面作成の作業を行うことができる。

さらに、作成した地質図面は三次元表示などプレゼンテーション機能を活用することで地質状況の把握が容易になり、ダム事業者、施工業者、地質調査者の3者間における技術的な議論の場での活用が可能である。

システムの構成

1 システムの構成

本システムは、地質技術者の地質図作成、地質解析の日常業務の中で利用することを考慮して、地質技術者の業務フローを意識した機能構成となっている。図 - 3に作業手順、図 - 4にメニュー構成図の例を示す。

まず、システムの使用に先立ち、対象となるダムサイトにおける地質コードや岩級コードの設定、対象とする解析範囲の設定を行う。次に地質図面作成に必要な基礎的なデータ、地形、ボーリング、横坑、露頭情報の入力を行う。このとき、これらの電子基礎データ（CADデータ、電子成果データなど）が入手できれば作業時間の短縮が行えるよう、データの取り込み機能が用意されている。

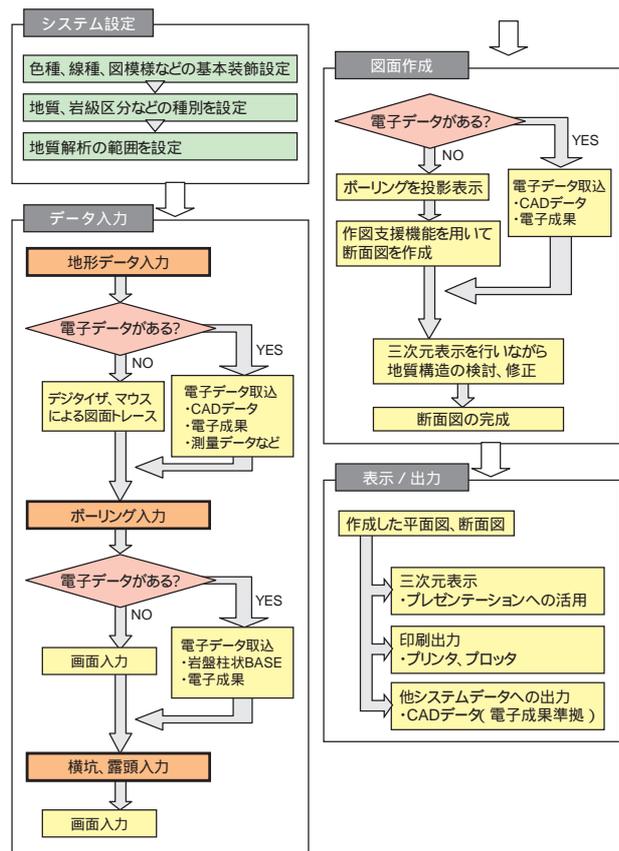


図 - 3 作業手順図

<p>1.システム</p> <ul style="list-style-type: none"> サイト・モデル選択 モデル座標系設定 地形格子作成 地形コンター作成 地下水コンター作成 バックアップ リストア システム設定 ツール 	<p>... システム、サイトの設定機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... サイト・モデルの新規作成、切替、削除 ... モデルの座標系の設定 ... 地形格子の作成 ... 地形コンターの作成 ... 地下水コンターの作成 ... 作成したサイト、モデルのバックアップ ... バックアップしたサイト、モデルの復元 ... 各種テーブル設定 ... 各種変換ツール、共通設定など 	<p>7.エクスポート</p> <ul style="list-style-type: none"> DXF 地質シミュレータRAW形式 	<p>... 作成した図面の外部出力機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 図面データ、DXF形式（電子納品準拠）の出力 ... 図面データ、地質シミュレータ形式の出力
<p>2.データ入力</p> <ul style="list-style-type: none"> 地形図入力 露頭入力 地質平面図デジタイザ入力 縦断面図デジタイザ入力 横断面図デジタイザ入力 水平断面図デジタイザ入力 任意断面図デジタイザ入力 ボーリング柱状図データ入力 横坑図データ入力 	<p>... 基礎的なデータのデジタイザ、マウス、画面入力機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 地形データのデジタイザ、マウス入力 ... 露頭データのデジタイザ、マウス入力 ... 地質平面図のデジタイザ入力 ... 縦断面図のデジタイザ入力 ... 横断面図のデジタイザ入力 ... 水平断面図のデジタイザ入力 ... 境界線のデジタイザ入力 ... ボーリング柱状図の画面入力（1/100、1/500スケール） ... 横坑図の画面入力（1/100、1/500スケール） 	<p>8.図面編集機能</p> <ul style="list-style-type: none"> 境界線選択 線作成 線削除 点追加 点削除 点移動 折り目への点移動 区分領域設定 任意文字入力 ユーザー線データ入力 点の格付け 点の格上げ 境界線属性変更 境界線のコピー 境界線のカット 境界線のペースト コピー、カット種別選択 ペースト種別選択 ボーリング引き出し線設定 横坑引き出し線設定 引き出し線設定オプション 	<p>... 図面の編集機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 入力する境界線の種別選択 ... 境界線の追加 ... 境界線の削除 ... 境界線上の点の追加 ... 境界線上の点の削除 ... 境界線上の点の移動 ... 任意断面における折れ目線上への点の移動 ... 区分領域の設定 ... 任意文字の入力 ... ユーザー線データの入力 ... 暫定点、確実点の設定 ... 補助線の境界線への変換 ... 境界線の属性変更 ... 境界線の複数選択 ... 境界線の複数削除 ... 境界線のペースト ... 境界線のコピー、カット種別の選択 ... 境界線のペースト種別の選択 ... ボーリング引き出し線の個別設定 ... 横坑引き出し線の個別設定 ... 引き出し線のオプション設定
<p>3.図面編集</p> <ul style="list-style-type: none"> 地質平面図 縦断面図 横断面図 水平断面図 任意断面図 斜断面図 掘削平面図 	<p>... 図面のマウス入力機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 地質平面図のマウスによる編集 ... 縦断面図のマウスによる編集 ... 横断面図のマウスによる編集 ... 水平断面図のマウスによる編集 ... 任意断面図のマウスによる編集 ... 斜断面図のマウスによる編集 ... 掘削平面図のマウスによる編集 	<p>9.表示機能</p> <ul style="list-style-type: none"> 拡大 縮小 表示中心位置の指定 リセット 再描画 再計算 表示項目設定 属性設定 詳細 オリジナルデータ表示 表示属性のコピー 	<p>... 図面の表示設定、拡大・縮小等の操作</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 図面の拡大 ... 図面の縮小 ... 図面の表示中心位置の指定 ... 画面サイズにあわせて全体表示 ... 図面の再描画 ... 交線情報の再計算 ... 表示項目の設定 ... 表示項目の属性設定 ... ボーリング、横坑、露頭の情報表示 ... 地質オリジナルデータの情報表示 ... ある図面の表示項目設定を他断面に適用
<p>4.表示出力</p> <ul style="list-style-type: none"> 地表面図 鉛直断面図 水平断面図 任意断面図 コンター図 簡易柱状図 簡易横坑図 3次元表示 	<p>... 作成した図面などの表示機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 地質平面図の表示 ... 縦断面図、横断面図の表示 ... 水平断面図の表示 ... 任意断面図の表示 ... 岩級コンター、地下水位コンターの表示 ... 簡易柱状図の表示 ... 簡易横坑図の表示 	<p>10.応用機能</p> <ul style="list-style-type: none"> 距離計算 面積計算 体積計算 	<p>... 距離・面積・体積計算などの計算機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 任意の区間の距離計算 ... 任意の領域、地質区分指定での面積計算 ... 平均断面法による体積計算
<p>5.面モデル作成</p> <ul style="list-style-type: none"> 2断面間の結合 平面モデル 	<p>... 補助線作成機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 中間断面における図形形状の推定 ... 補助線の作成 	<p>11.印刷</p> <ul style="list-style-type: none"> 図面印刷 帳票印刷 簡易柱状図 簡易横坑図 	<p>... プリンタ・プロッタへの印刷出力機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 平面図・断面図・3次元表示の成果図面印刷 ... ボーリング・横坑・露頭データの帳票出力 ... 簡易柱状図の印刷 ... 簡易横坑図の印刷
<p>6.インポート</p> <ul style="list-style-type: none"> 岩盤柱状BASE 土質柱状BASE 測量データ 国土地理院50mメッシュ標高 DXF(2次元) DXF(3次元) ボーリング柱状図電子成果 地質平面・断面図成果 地質シミュレータRAW形式 	<p>... 電子データの入力機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ... 柱状図データ、岩盤柱状BASE形式の取込 ... 柱状図データ、土質柱状BASE形式の取込 ... 地形データ、SIMA形式の取込 ... 地形データ、国土地理院50mメッシュ標高の取込 ... 図面データ、DXF形式の取込 ... 3次元構造物データ、DXF形式の取込 ... 柱状図データ、電子納品準拠形式の取込 ... 図面データ、電子納品準拠形式の取込 ... 図面データ、地質シミュレータ形式の取込 		

図 - 4 メニュー構成図

次に登録された地形データやボーリングデータを断面図上に投影し、補助線作成機能や交差する断面の領域情報表示機能など支援機能を用いて地質境界線を入力していく。この手順は新規に断面図を作成する場合であるが、既往断面図の修正を行う場合、電子化されている図面データを取り込むことや、紙面での断面図を画像ファイル化したものを背景図として貼り付け、マウスでトレースすることによ

り作業時間を大幅に軽減することが可能である。

最後に作成した地質図面を3次元表示し、ユーザが自由に視点を変えあらゆる角度から地質構造を確認することができる。

2 システムの実行環境

本システムは、汎用的なハードウェア資源で運用されることを考慮し、他のライセンスを必要とするような特別なグラフィックエンジンやCADシステム、GISシステム等を必要とせず、ごく一般的なPC上で実行できることが特長である。

本システムの実行環境を表 - 1 に示す。これらの条件は、現状でのものであり、将来のWindows環境についても大きなOSの構成上の変化のない限り、対応可能である。

表 - 1 システム実行環境

マシン	DOS - V互換機
OS	Windows95/98/NT4.0/Me/2000/XP
CPU	Pentium III 350MHz(Pentium IV 500MHz推奨)
メモリー	128MB以上(256MB以上推奨)
ハードディスク	2GB以上(10GB以上推奨)
モニター	VGA(SVGA推奨)

3 データ構造の特長

本システムの特長の一つに座標データの共有が挙げられる。システムに登録されたボーリングや地質境界線は、全て三次元座標値を保有しており、断面図同士が縦断、横断、水平で共に共有する場合には、それらの図上の境界点は「共有」している。これにより、一度の境界線の変更処理によって相手側（直交する断面の境界線上）の共有点が同時に移動することが可能となり、データの整合を保つこと

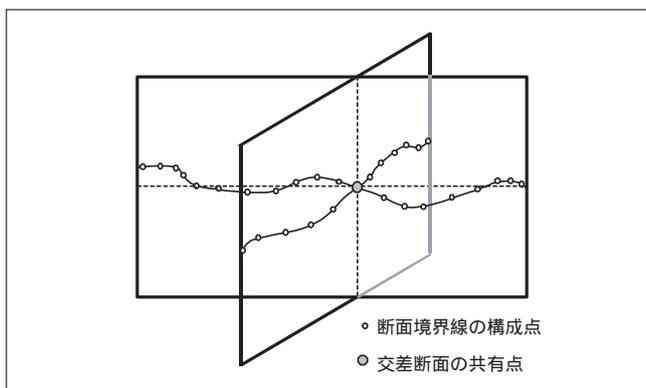


図 - 5 点の共有の概念

ができる。

4 入力機能

入力機能は、既存の図面からの入力、デジタルデータの入力ならびに本システムによる入力を想定している。紙図面からの入力は、既に断面図が作成されている場合や、地形図コンターの入力の場合を考慮している。その際、市販されているデジタイザーの汎用的なコマンドを利用して図面の標定を行い入力する。

デジタルデータの輸入は、地形データに関してはCADデータおよび電子成果基準のデータの取り込み機能、ボーリングデータに関しては、岩盤柱状BASE形式および電子成果基準のデータの取り込み機能が用意されている。既にデジタル化されているボーリングデータが存在しない場合には、本システムの入力機能を用いてボーリング1本毎のヘッダー情報と深度毎の属性データを画面より入力する（図 - 6）。



図 - 6 ボーリングデータ入力画面

入力の際には、表示する縮尺によって柱状図の表現を変更することを考慮して1 / 100と1 / 500の2種類のデータを持つことができる。横坑のデータについても、ボーリングデータと同様の扱いで入力することが可能である。

5 地質断面図（縦断、横断、平面）作成機能

断面図の入力は、編集対象とする断面測線を平面図や断面図上で選択し、地形データとボーリングデータを断面に投影表示した状態で、マウスを用いて地質境界線の入力を行う。地質や岩級の境界線の入力後、境界線によって囲まれた閉領域（地質や岩級の単位）に対してその属性を与えることで区分が確定する（図 - 7）。

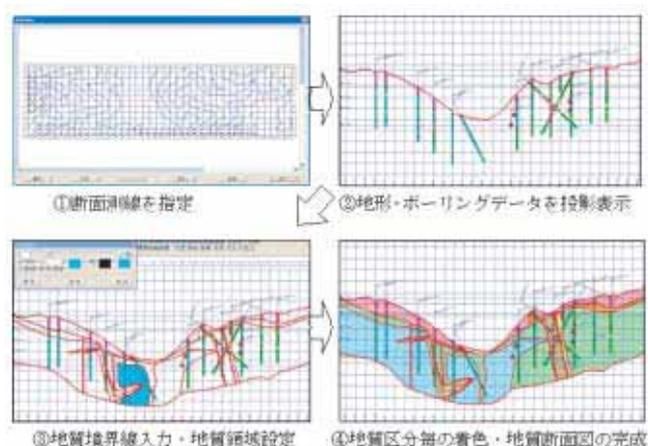


図 - 7 地質断面図作成の手順

本システムでは、この段階で地質境界線作成時における地質技術者の思考の手助けとなる各種支援ツールを提供しており、特長のあるものについて以下に述べる。

(1) 共有点による境界線の管理

断面図上に入力された境界線は、直交する断面位置を通過する際にシステムが自動的に共有点を発生させる。この共有点は、互いに直交する2断面において移動が行われた場合に正確に反映することができる。つまり、直交断面図上で不整合が発生しない仕組みとなっている。また直交する断面図が既に入力されている場合、直交断面上の交線（相手側の地質や岩級区分が表示される）があたかもボーリングデータのように表示され、相互の断面を確認しながら作業を行うことができる。

(2) 平面モデル

断面図上に境界線を作成する際に、断層面や地表踏査における走向、傾斜の情報を平面のモデルとして登録し、作成中の断面図上に交線を補助線として表示することが可能

である。

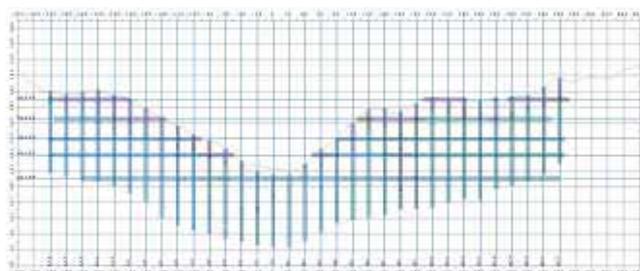


図 - 8 直交断面情報の表示例

(3) 2断面間結合

この機能は断面図作成機能で作成された2つの平行な断面においてその中間位置の断面図における各地質や岩級の境界線を幾何学的な処理によって補間作成する機能である。

対象となる2断面上で閉領域を各々指定し、それらが同一の塊であると仮定したときにその中間断面における形状を推定することで断面図作成の補助を行う。その結果は、中間図形の境界線として対象断面図上に補助線として表現される。

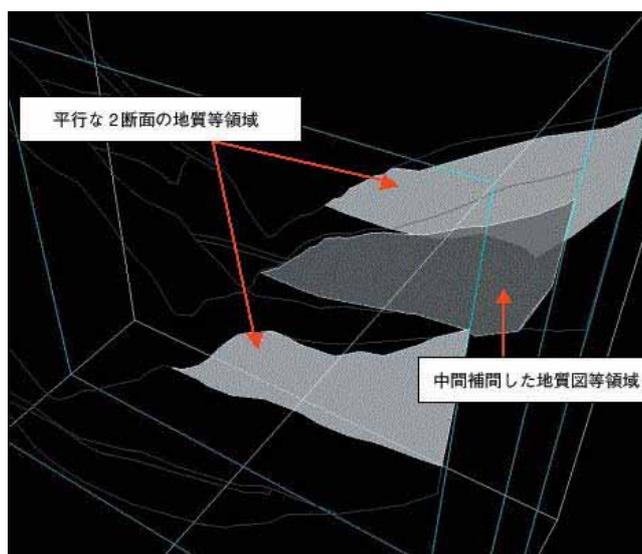


図 - 9 2断面結合の概念

これまでの手順は、新規に断面作成を行う場合の手順であるが、既往断面図の電子化されているデータ（CADデータまたは電子成果基準データ）がある場合、データ取り込み機能を利用することにより作業時間の短縮が行える。既往断面図が紙面しか存在しない場合は、スキャナにより

画像ファイル化したものを背景図として貼り付け、マウスでトレースすることが可能である。このときは、地質技術者ではなく、補助作業員に境界線入力作業をまかせることが可能である。

6 表示機能

作成された断面図や登録したボーリングデータ等は、システム内部で項目別に管理され、ユーザは表示したい項目を指定することにより、簡単に呼び出すことができる。

(1) 断面図表示

作成された縦横断面図は、対象領域の平面図に表示された断面位置測線を指定して表示される。水平断面図は、断面図に表示された断面位置側線を指定して表示する。

断面図や平面図の表示の際は、表示する項目やその表示形式など詳細な設定が可能であり、ユーザが指定した地質や岩級区分のみの表示等が可能である。また、ボーリングや横坑の表示方法についても詳細な指定ができる。

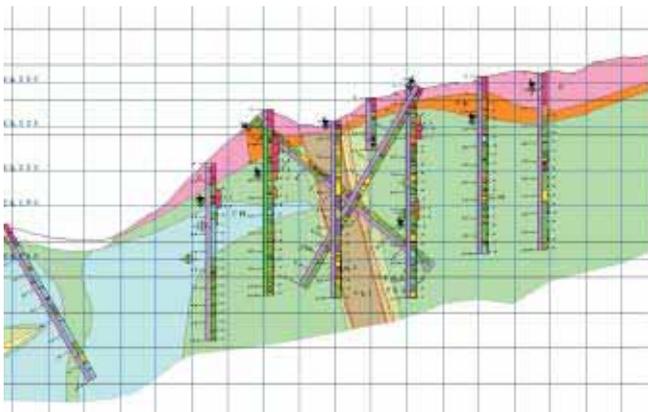


図 - 10 断面図表示例

(2) 三次元表示

入力されている断面図における境界線等のデータは、全て三次元位置座標を保有しているため三次元空間内に地形モデル、断面図を表示することができる。いわゆるパネルダイアグラムの表示が可能となる。本システムでは、三次元表示用のコントロール画面を用意しており、マウスによって視点位置や拡大、縮小を自由に設定して表示することが可能である（図 - 1 参照）。

従来、模型や着色フィルムによって確認してきた地質の立体モデルを断面図データを用いてその場で立体視できる利点は、地質解釈を行う上で非常に強力な機能である。三次元表示の際も二次元断面図の場合と同様に表示する地質や岩級区分を指定することができるので対象となる岩体を空間内に表示して三次元的に位置を把握することが可能となる。三次元表示で空間的な状況を確認しながら二次元の断面を修正できるのも本システムの特徴といえる。

また、プレゼンテーション用として、プレゼンテーションのストーリーに沿ったシナリオを手軽に編集できる機能を持っている。

7 出力機能

出力機能として、作成された断面図を成果図面として印刷出力する機能と、作成した断面図データを他システムへ引き渡すデータ出力機能がある。

(1) 印刷出力機能

作成した断面図に関して、地質解析の成果図としてプリンターやプロッターへの出力が可能であり、凡例やその他タイトル等を自由に配置して出力することができる。

ユーザは、印刷レイアウト画面において出力するスケールやタイトルの位置、大きさの情報を指定し接続されている印刷装置より出力することができる。

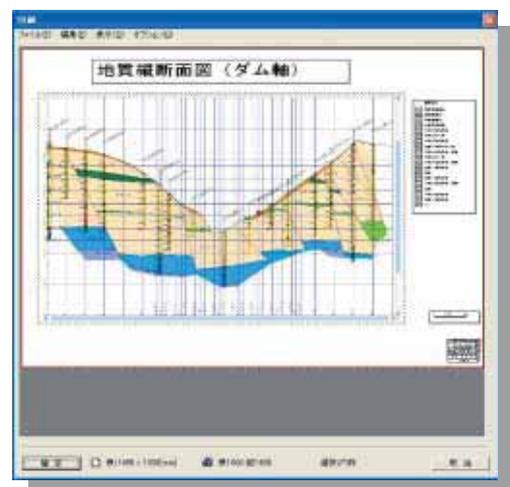


図 - 11 印刷レイアウト画面

(2) データ出力(エクスポート)機能

本システムで作成した図面データを他システムで利用するためのデータ出力機能として、二次元CADの代表的なフォーマットであるDXFファイルへの出力機能がある。このとき、電子成果基準に合わせたレイヤ分類で出力を行い、作成した図面データをそのまま成果図として活用することができる。

8 データベース機能

本システムのデータベース機能として、ボーリング・断面図等の図面作成に関わる地質データの管理、モデル管理、地質オリジナルデータの管理があり、これらを利用することでダム地質解析以外の用途にも活用することが可能である。

(1) モデル管理機能

本システムでは、地質解析の対象とする領域を「モデル」と呼び、「モデル」ではボーリング、断面図等の図面データを管理している。ダム地質解析を例として、原石山、本体、仮排水トンネル、周辺施設整備区域といった複数箇所地質解析を行う場合、本機能を利用するとダム全体の地質状況の把握が容易に行える。ダム全体の広い領域を本システムでは、「広域図」と称しているが、広域図を表示しながら各モデルの地質データ表示が同時に行え、全体的な地質状況と詳細な地質状況の把握が同時に確認できる。

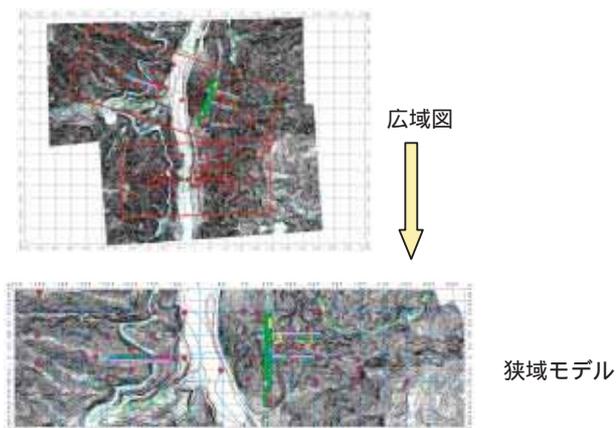


図 - 12 広域図の概念

(2) 地質オリジナルデータ管理機能

地質図面以外のコア写真、柱状図、横坑展開図、地下水など、取り込みが困難な既往地質調査資料を本システムでは「地質オリジナルデータ」と呼ぶが、これらデータは画像ファイルや文書ファイル等、電子化することにより、システムへの登録が可能となる。ボーリング、調査横坑といった大カテゴリの分類、ボーリングの簡易柱状図・コア写真といったカテゴリの分類でデータの整理が行え、調査位置との関連づけができる。

また、平面図上で調査位置をマウスで指定し、データの表示が行え、必要な情報が迅速に抽出可能となる。

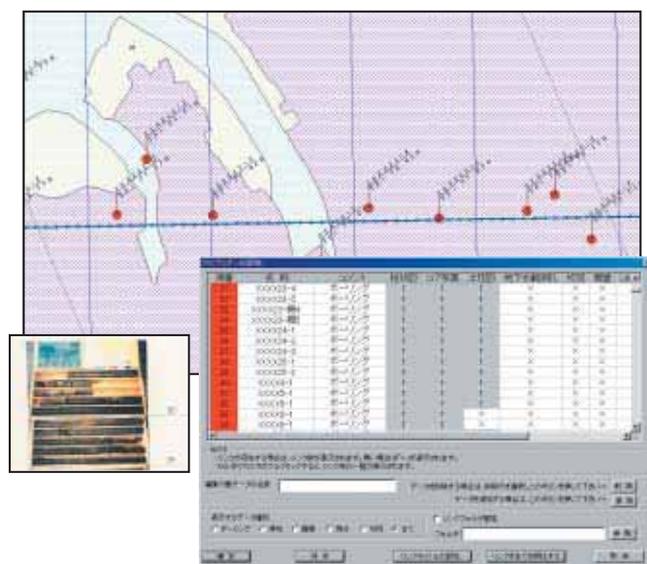


図 - 13 地質オリジナルデータ登録画面

適用事例

1 ダムサイトへの適用

ダム軸位置の比較検討に伴う膨大な地形地質調査情報を地質シミュレータに取り込み、地形地質情報(新・旧ダム軸)の総合的な比較、及び検索作業を効率化、さらに新たな地質情報の処理を図った。これにより主要地質断面図を基本図として必要図面を補完作成し、パネルダイアグラムとしてダムサイトの地質状況を三次元表示することがで

き、地質構造の比較、理解を容易にした。

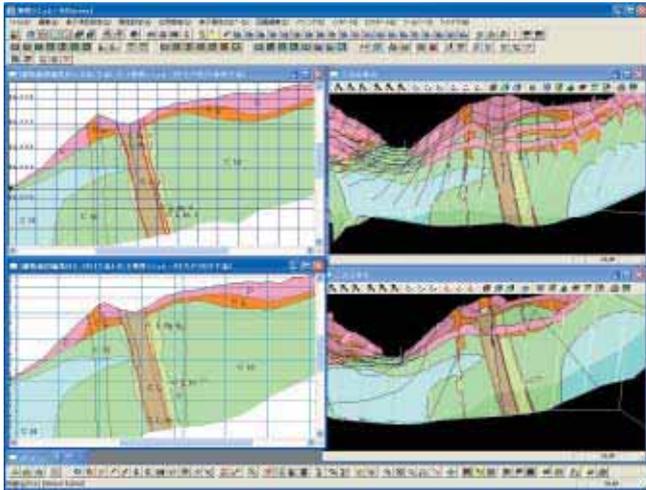


図 - 14 ダム軸変更による脆弱部の比較の検討

2 ダムサイト以外（導水路トンネル）への適用

既往地質解析結果およびその後の地質調査（ボーリング調査）資料や施工記録を統合して、パソコン上に3次元資料としてデータベース化し、地質平面図、地質断面図、ボーリングコア写真、施工記録などのデータの保管および検索の簡素化、効率化を図った。特にNATM施工区間の地質構造と地下水位の視覚化を目指し、パネルダイアグラムによる地質状況の3次元表示を行い、理解を容易にした。

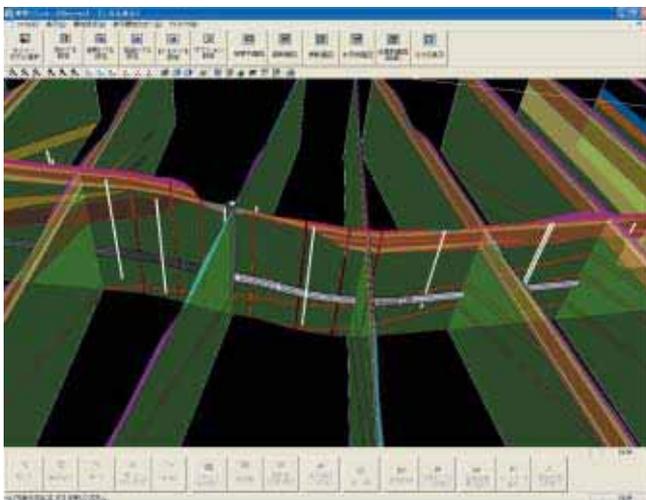


図 - 15 パネルダイアグラム表示例

3 基礎処理管理システムとの連携

基礎処理グラウチングデータを地質シミュレータに取り込み、地質シミュレータのシステムにおいて基礎処理データを図化することで、地質データとの整合、不整合が確認でき、基礎処理の数値データの編集を可能にした。

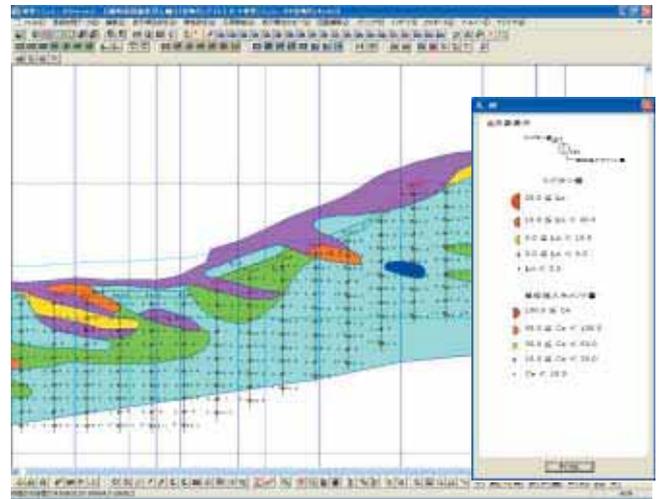


図 - 16 グラウト処理画面表示例（ダム軸）

おわりに

本研究では「地質技術者の経験や知識、ノウハウが十分に活かせる地質図面作成支援システムの構築」を開発のコンセプトとして、地質解析システム（地質シミュレータ）を開発するとともに、周辺・拡張機能としてデータベース機能、ビジュアル（プレゼンテーション）機能、基礎処理機能、電子納品対応等の各種拡張機能を付与することで、統合的な地質解析システムとなっている。

本システムは、当初からダムサイトを意識し開発を行ってきたが、ダム以外のトンネル、道路、河川等の分野においても適用可能であると考えている。

最後に、パソコン版の研究開発に当り御指導、御協力いただいた「地質シミュレータ研究会」のメンバーをはじめ、アドバイスをいただいた水資源開発公団、国土総合政策研究所に心より御礼申し上げます。