

巻頭言 建設関連業の電子化に向けて

国土交通省大臣官房技術調査課長 清治真人 1

小特集 地質と調査の電子化

建設 CALS/EC と地質調査成果の電子化 土屋彰義 藤城泰行 2

地質調査業務実務における CAD の適用 田中健一 10

地質三次元解析システムの開発 和田一範 綿貫布征 山岸 保 18

地質図の数値化とその利用 長谷川功 25

ボアホールカメラの電子化 BIPS 技術研究会 技術委員会 31

建設関連業の電子化に向けて

国土交通省大臣官房技術調査課長 清治 真人

失われた10年と言われつつ21世紀が始まりましたが、景気が今ひとつ順調に回復しません。一方、官需の面からも公共事業に対する批判が各方面からなされています。国民の眼にも、建設関係はどうみても夢のある産業には映っていないようです。

財政事情の悪化、ばらまき、割高、談合等政官民の陰のイメージ、住民合意への努力不足、環境保全への配慮不足、維持管理信頼性の揺らぎ等々によるものでありましょう。

特に景気回復の阻害要因とされる不良債権の問題は銀行とともにバブルの後遺症を引きずる建設、流通、不動産が主たる原因とされています。

このような中で、国民のための公共事業をどのように進めていくかを命題として国土交通省がスタートを切りました。そのミッションは、国民の安全と生き生きとした暮らしを支え、国際競争力を有する経済社会を維持し、美しい環境を保全創造しつつ、多様性のある誇りを持った地域を形成していくことです。

建設業界は、そのミッションを具現化していくためにも、持てる能力をフルに発揮し、技術・技能をしっかりと後継しつつ健全に発展していっていただかなければなりません。

建設関連業である測量・地質・コンサルタントは、知恵と創造の時代、IT革命の時代に順応し発展を続ける可能性豊かな分野と考えています。

現状の陣容において川上にも、川下にもその分担分野を拡大することにより、建設システムのさらなる円滑化を探ってもらいたいと思います。アドバイザー、ファシリテーター、コンストラクションマネージャー等がこれに当たります。

また、日進月歩のIT化環境下に流されることなく、むしろ貪欲に業務に応用・同化していくことに将来を展望し、業務精度の向上、業務内容の高度化・効率化、建設コストの縮減等を通じて信頼性を向上し、社会に貢献していただきたいと思います。

建設関連業は、社会の潮流に乗り、国民の要請に応え、新たな競争分野に活路を見いだす業界代表となっていただきたいのです。その期待の一分野として建設CALs/ECについて述べてみます。

建設CALs/ECとは、従来は紙で交換されていた情報を電子化するとともに、インターネットを活用して、公共事

業に関連する多くのデータベースを連携して使える環境を創出する取り組みです。これによるメリットは、直接的・間接的に多くのものがあります。

たとえば、製造プロセス情報に加え、現場の維持管理情報がリアルタイムに把握できることは最適な改修・維持管理を可能とするのみに留まらず、災害時の対応や複合した施設の機能コントロール等新たな価値を付与します。また、電子調達コストを縮減し、建設産業全体のIT化を促進し競争力を高めるでしょう。

言い換えると建設CALs/EC導入の目的は、21世紀の公共事業が直面する

- ・より良いものをより安くより早く「つくる」
- ・より長くより幅広く「つかう」
- ・より高い技術力を求める
- ・より身近に語りあう

という課題にこたえることとなります。

具体的な達成イメージを列挙すると、

- ・CADなどの生産情報が円滑に利用されるとともに、コンピュータの能力を活用することによるコスト縮減、品質の確保、迅速化が図られる。
 - ・GISを基盤とする総合的な国土マネジメントによって、多彩な価値を発揮しつつ、最適な維持管理を行うことが可能となる。
 - ・受発注者間の情報交換を電子化することにより、技術水準の向上を目指す。
 - ・インターネットを有効に活用することにより国民との対話が促進される。
- となります。

このシステムが円滑に稼働するためには、まずその川上に陣を構える建設関連業の電子化が必要です。これはすなわち、測量、地質、コンサルタントの領域です。このため現在、基準の整備に向けて検討を進めています。また、測量の標準化についても、検討が開始されます。

標準という資産は、建設CALs/ECの内容が、将来さらに発展した場合にも活かされる基礎となるものです。引き続き、皆様方のご協力をお願いいたします。

建設 CALS/EC と地質調査成果の電子化

つち や あき よし
 土 屋 彰 義
 藤 城 泰 行^{*}
^{**}

はじめに

IT 革命といわれるように、昨今の情報化の流れはとどまるところを知らない。株式市場では、IT バブルの崩壊がいわれているが、通信事業の自由化が進み、インターネットやモバイルコンピューティングをツールとした情報化はますます進展している。ビジネスだけでなく世界を変えといわれる情報化の進展には電子化が不可欠である。地質調査の分野も例外ではなく建設 CALS/EC への対応をはじめ電子化が進んでいる。電子化そのものに大きな意味があるとは思えないが、電子化には、情報検索の迅速化・データの再利用が容易（業務の効率化）・データ共有による伝達ミスの低減（品質の向上）・資料授受が容易・保管場所の削減が可能（省スペース・省資源）といった利点があり、業務の効率化や改革のうえでさけて通れない。

電子化は企業活動のすべて、業務のあらゆる場面で行われるものであるが、平成 13 年度から、地質調査業務も含め、国土交通省の土木設計業務などの電子納品が始まっていることから、ここでは、地質調査データや図面類など地質調査業務の基礎的な資料についての電子化について述べる。

1. 地質調査業務と電子化のながれ

1.1 地質調査業務の電子化

地質調査業務は図 1 に示すように、業務発注に係わる情報収集から始まり、納品・竣工に至る一連の流れとして行われる。その中で発注者と関係を持つ部分が建設 CALS/EC の一環に取り込まれることとなる。効率化のためには、一連の業務すべてで電子化が行われることが望ましいが、地質調査業界としては、今年度から本格的に行われる入札・契約と、成果品の電子

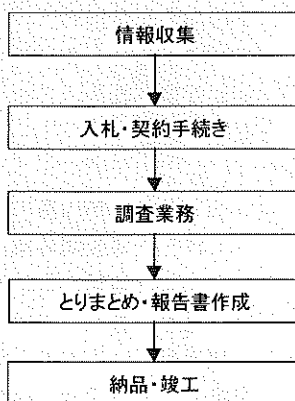


図 1 地質調査業務の流れ

納品への対応が急務である。

ワープロソフトを使った文書・報告書の作成や表計算ソフトを使った入札価格の積算、データの整理などは広く行われており、JACIC 様式による電子化されたボーリングデータの集積も行われてきた。インターネットを利用した入札や図面・写真類、データを含めた電子納品については、認証や標準化などの問題があり一部が試行的に行われてきたただけであったが、情報・通信技術の進展や法令・基準類の整備に伴い本格的に行われることとなった。

1.2 地質調査の電子化に関する全地連の対応

地質調査成果は、① 報告文、② ボーリング柱状図、③ 地質断面図、④ 地質平面図、⑤ コア写真、⑥ 各種調査・試験結果、⑦ 現場写真などから構成されている。電子納品の実施に伴い、地質調査成果についても電子化が必要となるが、電子化された成果が建設プロジェクトの各段階で共有され、有効に利用されるには、標準化が不可欠である。

建設省（現国土交通省）では公共事業支援統合情報システム（建設 CALS/EC）の構築に向けて、調査・研究を進め、その一環として土木設計業務等の電子納品要領の整備を進めてきた。しかし、地質調査固有資料については、総合技術開発プロジェクトなどをはじめとする建設省の調査・研究のなかでも十分取り上げられず、整備が遅れていた。一方、社団法人全国地質調査業協会連合会（全地連）では、地質調査固有資料の電子化・標準化については、地質調査を最も熟知し、実際に資料作成に携わっている地質調査業界が中心に行うことが、最も利用しやすいものが策定されるとの認識から、建設 CALS/EC への対応を図ってきた。

地質調査成果には報告文や現場写真のように、地質調査業務以外と共通したものもあるが、地質調査固有のものも多く、これらを一度に標準化することは、現在の全地連および会員企業の能力からは困難であり、必要性の高いものから順次検討を進めていくこととした。

1998 年には、地質調査の企業内部での業務処理や成果品の電子化の検討および設計分野など下流工程を念頭においた土質ボーリング柱状図の DXF 形式での電子交換システムの構築などを行った。このうち土質ボーリング柱状図標準化の成果は建設省の「成果品の電子化検討委員会・地質

* (社)全国地質調査業協会連合会 岩盤基準化研究会委員長
 ** (社)全国地質調査業協会連合会 専務理事

表1 基準類の改訂スケジュール

	2001				2002				2003				2004			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	4	4	4
土木設計業務等の電子納品要領(案)			●改訂													
工事完成図書の電子納品要領(案)			●改訂													
CAD製図基準(案)																
道路・橋梁・樋門			●改訂													
山岳トンネル			●追加													
その他工種												●	●全工種追加			
													順次追加			
デジタル写真管理情報基準(案)			●改訂													
地質調査資料整理要領(案)																
土質柱状図			●改訂													
土質断面図												●追加				
岩盤柱状図													●追加			
岩盤断面図													●追加			
地質平面図													●追加			
コア写真													●追加			
各種試験結果													●追加			
測量												●策定				

データの標準化検討WG」による、「地質調査資料整理要領(案)土質柱状図編」策定の基礎資料となった。

国土交通省の電子納品は、平成13年度から全面的に実施されるが、要領が整備されていないその他の項目については2004年の建設CALS/ECの全面構築までに逐次整備されることになっている(表1)。

全地連では、今まで同様先行して地質調査業界としての提案をしていくことにしており、土質柱状図に続き土質断面図についての標準化(案)をとりまとめ、その他の項目についても引き続き検討を進めている。

表2 地質調査の業務内容

	データシート	文書	図面	写真	情報の完結性
a. 既存資料の収集整理	△	○	○	△	多くは完結
b. 地表地質踏査	—	○	○	○	他分野で利用
c. トレンチ調査	—	△	○	○	他分野で利用
d. 物理探査	△	△	○	—	生データのみ完結
e. ボーリング柱状図	○	—	—	—	他分野で利用
f. 孔内試験・孔内計測	○	—	—	△	生データのみ完結
g. 物理検層	○	—	—	—	生データのみ完結
h. サウンディング・原位置試験	○	—	—	—	生データのみ完結
i. 土質試験・岩石試験	○	—	—	○	生データのみ完結
j. 解析・判定・助言等	—	○	○	—	他分野で利用

2. 地質調査成果の電子化・標準化の動向

2.1 地質調査が提供する情報の特質

地質調査成果は、通常、データ、文書、図面、写真などを用いて表現される。このうち、明確に区別されるものではないが、表2に示すように、地質調査で完結する情報は少なく、多くは加工された状態で、後工程で利用される。

設計段階においては、設計条件として活用されるが、特に、ボーリング柱状図や断面図の利用頻度が高い。地盤調査などの試験結果は生データが直接利用されることはまれであるが、地盤条件の影響が大きいような場合は、さかのぼって検討が行われる場合もある。

施工段階では、設計図面がベースとなるが、施工段階で追加された地質調査情報や施工記録などから地質データの修正が行われることがある。このため、

追加情報が逐次、データベース化され、調査段階と比較できる形式が必要となる。

維持管理段階では、各種点検や変状発生時、監視・計測などに地質調査情報が有効となる。また、地盤は経年的に変化するため、この検証にも有効である。このため、施工段階と同様に、追加調査や変状状況などを加え、調査段階と比較検討ができることが必要である。

また、コア写真に関しても地形・地質の経年的な変化を記録するうえで有効であるため、重要なものは、データベース化する必要がある。

2.2 地質調査成果報告書の電子納品

建設CALS/ECでは、建設事業におけるライフサイクル情報を有効的に活用するため、提出報告書類を電子媒体化することになっており、地質調査の成果品を電子媒体で納品する際には、国土交通省で定めた「土木設計業務等の電子納品要領(案)」の他、「デジタル写真管理情報基準(案)」、「CAD製図基準(案)」、「地質調査資料整理要領(案)」の各基準類に従う必要がある。これらは図2のようなフォルダ構成になっており、地質データフォルダには「地質調査資料整理要領(案)」が示されているが、地質調査の成果品にはこれ以外の多くの項目が必要である。このうち、① 報告文

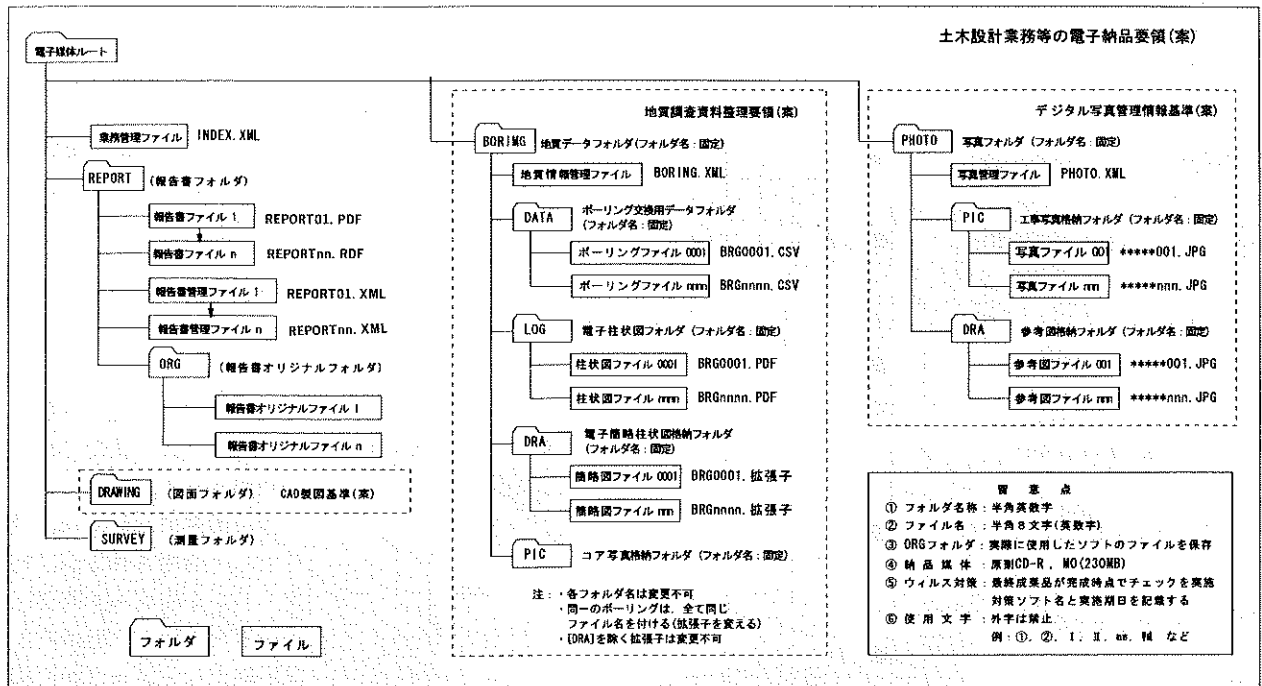


図2 「土木設計業務等の電子納品要領(案)」などに規定されたフォルダ構成

と⑦ 現場写真は報告書フォルダと写真フォルダにそれぞれの基準(案)に従い納められることになる。② ボーリング柱状図、③ 地質断面図、④ 地質平面図、⑤ コア写真、⑥ 各種調査・試験結果のうち地質調査固有のものは地質データフォルダに納められることになるが、平成13年度から適用される「地質調査資料整理要領(案)」に定められた土質ボーリングと土質断面図以外はまだ基準が整備されていない。地質断面図・平面図は「CAD製図基準(案)」と、コア写真は「デジタル写真管理情報基準(案)」との整合性を図る必要があるが、地質固有のデータと直接関連するものであり、独自の標準化が必要である。

岩盤についての、② ボーリング柱状図、③ 地質断面図、および土質も含めた④ 地質平面図、⑤ コア写真については昨年度から全地連の「岩盤標準化研究会」で検討が進められ、この夏には原案がまとまる予定である。⑥ 各種調査・試験結果の標準化については地盤工学会の「CALS検討委員会」で検討が進められ、ほぼ原案がまとまっている。

これらの原案は建設省から財団法人日本建設情報総合センター(JACIC)の「建設情報標準化委員会」に移行された「成果品の電子化検討小委員会・地質データの標準化検討WG」に提出され、そこでの検討を経て、電子納品要領の一部となる予定である。したがって2003年4月には、地質調査の固有資料についての標準化が、一通りまとまることになるが、これ以外にも物理探査など地質調査固有資料の電子化が必要で、これらや特殊なものの標準化については、今後いわゆるデ・ファクト・スタンダードとしてまとまっていく中で、逐次整備されていくことになると思われる。

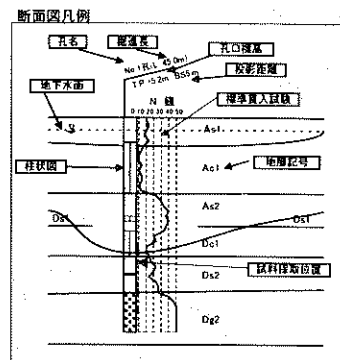
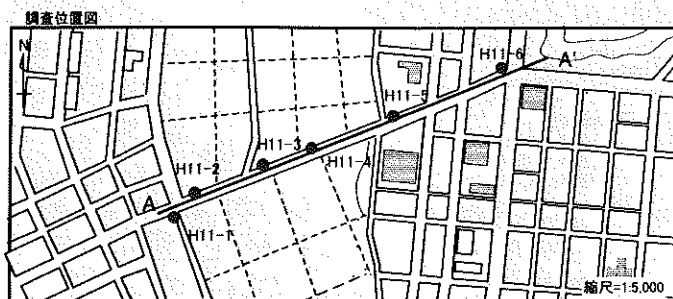
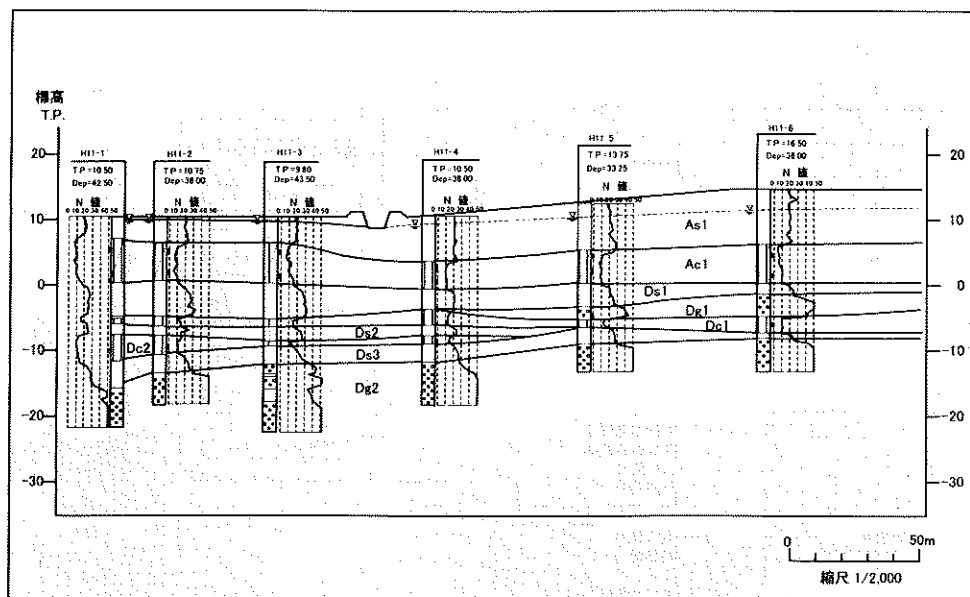
3. 土質ボーリング柱状図・断面図の標準化

3.1 土質ボーリング柱状図の標準化

建設省では昭和61年に「地質調査資料整理要領(案)」などを策定してボーリング情報の収集を開始した。しかし、これらのデータは昭和61年当時の情報システム技術を基本としたもので、建設CALS/ECが目指すところの品質を満足していないものであった。そのため、平成11年度に設けられた建設省の「成果品の電子化検討委員会」の審議を経て、建設CALS/ECに対応した「地質調査資料整理要領(案)」として公開され、平成13年度から適用されることとなった。これは従来の「地質調査資料整理要領(案)」の改訂版にあたるわけであるが、当面標準化の容易な土質調査に限って先行したことと、別途定められていた「ボーリング柱状図作成要領(案)」を合わせて一本化したことに特徴がある。委員会では全地連のまとめたフォーマットをベースに、発注者コード・海上ボーリング調査で使用する情報項目の追加や他の関係機関で定められたデータ項目についての配慮などが行われた。

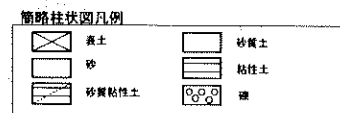
この「地質調査資料整理要領(案)」はその後検討が行われた土質断面図の標準化との整合を図り、I. 一般、II. 土質柱状図編、III. 土質断面図編として原案が公表された。また、建設CALS/EC全体の基本方針である国際規格(ISO)との整合などを図るためSGMLに準拠したXML形式が採用されCSVからの新たな修正が行われる予定である。

実際に柱状図データ交換を行うには、テキストデータフォーマットの規定だけでなく、実際に規定された項目にアクセス可能なシステム(ソフトウェア)が必要であるが、市販の柱状図作成システム提供先などからデータコンバータなどの実システムが提供され実用化されつつある。また、全地連でも、ボーリング柱状図データを元に「地質調査資



地層区分凡例

地質時代	地層区分	地層名	地質記号	層相
新第三紀	更新世	上部砂層	As1	灰質粘土を含む砂
		上部粘土層	Ac1	砂混り粘土
		火山灰層	Lm	褐色風化火山灰
	第四紀	下部第1砂層	Ds1	海沈の悪い細粒砂
		下部第1粘土層	Dc1	やや締まった灰色粘土
		下部第2砂層	Ds2	硬混り粗粒砂
新第三紀	中新世	三浦層群	Ca	貝化石を含む砂質シルト岩
		シルト岩層	Ca	



表題情報

図3 2次元地質断面図(土質編)の例

料整理要領(案)に規定されている電子簡略柱状図および柱状図のDXFファイルを作成するシステムを構築した。

3.2 土質断面図の標準化

設計・施工段階など地質調査の下流工程での地盤調査資料の活用を考えると、次のステップとしては、柱状図とともに、地質・土質断面図の標準データフォーマットを提案し、情報の共有化を図ることが必要である。このため全地連では第1段階として「断面図基準化研究会」を設置し、昨年夏に土質断面図についての原案を作成した。その成果は「成果品の電子化検討小委員会」の検討審議を経て標準化される予定になっており、この3月には土質柱状図とあわせ意見募集が行われた。

研究会では土質断面図の要素検討とその記載要領を整理し、データ交換用フォーマットの検討を行い、標準テキストデータフォーマット(案)およびDXFデータフォーマット(案)を提案した。

対象とする土質断面図は各発注機関で最も利用頻度の高い2次元土質断面図、原則として鉛直断面とした(図3)。

電子化のためには標準化が必要であるが、すべてを標準化することは不可能であり、適当でもない。当面、CADによる断面図データの交換および最低限の情報の標準化とフォーマットの作成をおこなった。2次元土質断面図に記載

すべき情報は図4のように整理することができる。その内容は大きく、① 表題情報、② 断面情報、③ 簡略柱状図、④ 凡例、の4つに区分される。

データ交換用フォーマットは、絵(線)としての情報を対象とするDXFデータフォーマットと地質情報と描画ルールを対象とする標準テキストデータフォーマットに分けられる。

i) DXFデータフォーマットは後工程である設計工程に対してスムーズにデジタル化された図面情報を提供するため、地質断面のファイル形式はDXF形式とし、「CAD製図基準」に従うことを原則とした。

ii) 標準テキストデータフォーマットはボーリング情報の追加や、断面線修正などの本格的な加工・編集に耐えられるデータフォーマットにするとともに、情報を蓄積しデータベース化するための3次元領域の情報をそのままデータ交換に利用可能なフォーマットとした。ファイル型式はCSV型式とし、1断面1ファイルに納め、ファイル管理情報と断面図情報からなるフォーマットとした。

当然ながら断面図についても、CSVからXML形式への修正が、検討されている。

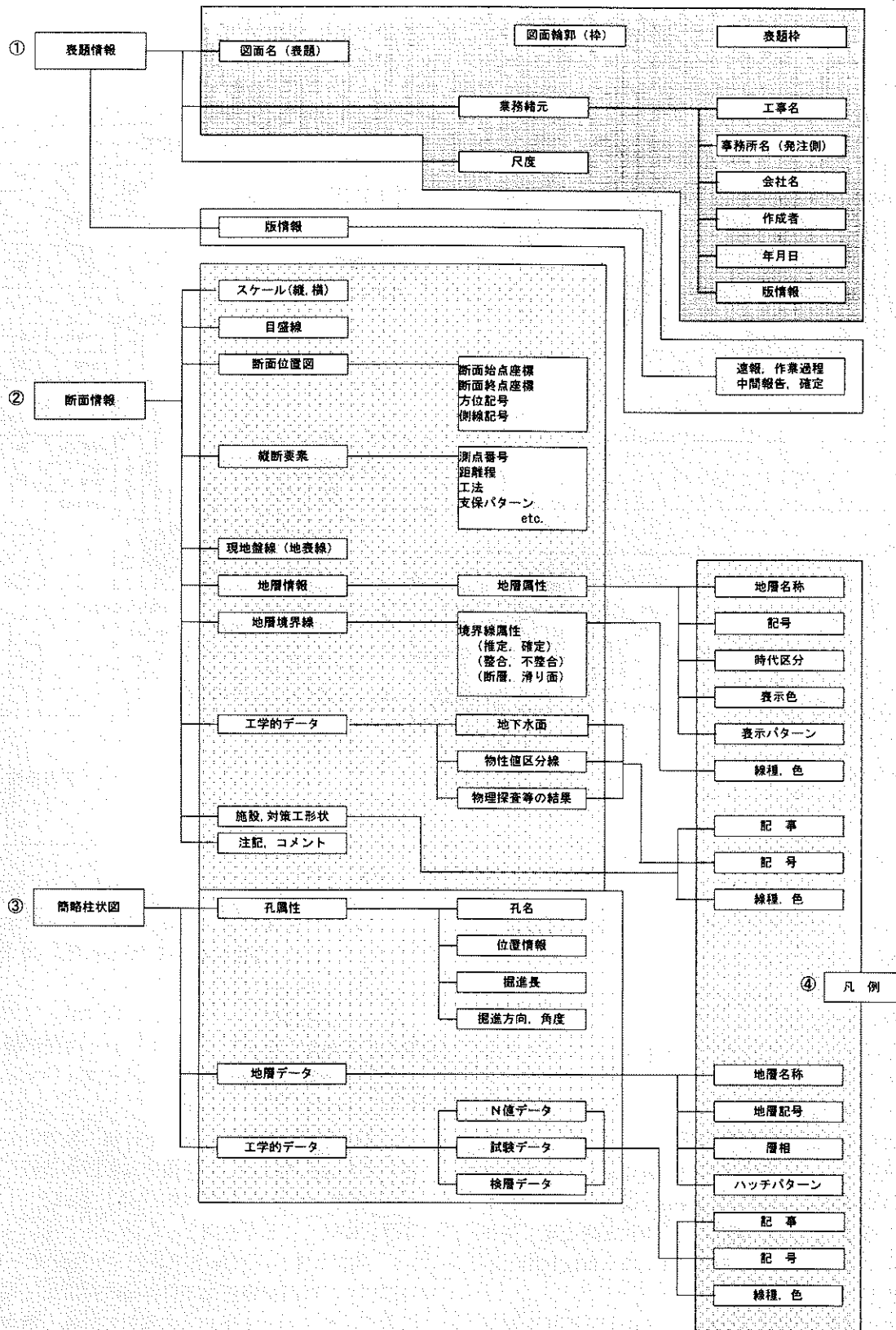


図4 地質断面図(土質編)の要素

4. 岩盤ボーリング柱状図の基準化など

全地連では昨年「岩盤基準化研究会」を設置し、岩盤柱状図・断面図などの基準化についての検討を行っている。この夏には、報告書がまとまり、原案としてJACICの委員会で検討され、2003年4月には国土交通省の電子納品要領に取り入れられる予定である。

4.1 岩盤ボーリング柱状図の標準化

柱状図の種類には、発注機関別に、JACIC様式、鉄道建設公団様式、道路公団様式などがあるが、土質柱状図に記載されるべき基本データについては、記載すべき項目や評価・分類基準について統一化が図られてきており、大きな違いはなくなっている。一方、岩盤柱状図では、発注者ごとに、入力項目や出力様式が異なっているものが利用され

てきた。これは、岩盤を対象とした調査では、目的・対象により、必要とされる項目や試験の方法、利用しやすい出力様式などが異なることや、地域に分布する地質の特性により岩盤評価の基準や評価に必要な項目が異なることなどが大きな理由である。また、岩盤柱状図に用いる地質名称に統一的なものがなく、地質学的な分類・名称を基本としているものの、土木的・経験的な名称も多く用いられていることも理由の一つである。

今後もこれらのすべての項目・様式について発注者を超えて標準化することは難しいと考えられるが、地盤情報の電子化・データベース化や情報公開の流れを考慮すると、入力データにおける基本項目（たとえば、発注機関、調査位置、孔口標高、地質区分、岩級区分、孔内水位、掘進情報、試験・検層情報など）やそのデータフォーマットについては整理を行い、出力様式を超えた標準化を行うことが必要である。標準化により、柱状図の基本情報が一元的に管理できるメリットがあり、調査する技術者にとっても、整理すべき基本項目を明確にすることができる。さらに利用者を超えた情報の蓄積や交換を可能にし、地盤情報の有機的利用を図ることが可能となる。

実際徐々にではあるが、標準化が進んでおり、従来土質編のみであった「ボーリング野帳記入マニュアル」の岩盤編を発刊できたことは、多様な様式の柱状図が利用されているものの、JACIC様式を基本とするものが主流になっている現状が寄与している。

様式としては、土質編同様、利用頻度が高いJACIC様式を基本とし、DXFデータフォーマット、標準テキストデータフォーマットの提案を行う予定である。

4.2 ボーリングコア写真の標準化

ボーリングコア写真については、基本的にはデジタル写真管理情報基準(案)に準拠するものであるが、ボーリングコア写真の特徴としては、色調や岩盤の割れ目が明瞭であることなどが重要である。このため、コア箱には業務名称、孔番、採取深度などとともに色見本をつけ撮影すること、ボーリングコアの撮影方法、写真の整理方法などを示すことなどを提案する予定である。

4.3 岩盤断面図の標準化

岩盤を対象とした断面図でも、基本的な考え方は土質と同じであり、表層部など「土質」部分を含め表現されている場合も多いため、すでに検討した土質断面図を包括する形で、地質断面図の標準化に向けての検討を行った。

その結果、岩盤を対象とした断面図においても、利用目的や発注機関による多少の差異はあるものの、基本的には土質同様2次元の鉛直断面図の利用頻度をもっとも多いと判断した。また、岩盤分野においては、構造物の設置底盤における地質分布や物性が問題となることが多く、構造物の設計に水平断面図が利用されることも多い。一方、岩盤分野における特有な図面としては横坑などの展開図があるが、地質分布の基礎データを取得する目的で作成され、法面スケッチとほぼ同等に扱われることが多く、構造物設計

などに直接利用される頻度は少ないと考えられるので、対象外とした。以上の検討から対象図面は2次元の鉛直断面図と水平地質断面図とした。

図面に記載すべき事項は土質編において区分した4つのカテゴリーを踏襲した。岩盤編においては、②の断面情報に含まれる内容のうち地質境界線と工学的データの内容が土質編と比較して多岐にわたっており、どこまでをどのように表現するかが重要な課題である。地質境界データとしては、風化・変質などの地質性状や破碎帯、工学的データとしては、岩級区分・ルジオン値などの物性区分、比抵抗・速度境界・反射面などの物理探査結果などが検討されている。

DXFデータフォーマットおよび標準テキストデータフォーマットの提案についても、基本的には土質編を踏襲する方向で検討を進めている。

5. 地質平面図の標準化

地質平面図の標準化についても岩盤標準化研究会で検討を行っている。

地質調査段階で作成される地質平面図(地質調査で作成される平面図の総称)の種類およびCADの難易度は表3のとおり整理される。このうち調査段階での作成頻度が高く、かつ、設計段階での利用頻度が高い平面図は、調査位置平面図、文献地質図、計画地点の広域・詳細地質平面図であり、基本的には「CAD製図基準(案)」に従うことになる。

地質平面図は電子化あるいはフォーマットの標準化以前の問題として、岩盤の断面図以上に、平面図自体の標準化が十分なされていないところにある。したがって、①表題情報、②平面情報、③凡例の3つの地質平面図のカテゴリーについて記載すべき情報の検討から行った。地質平面図は、地質調査で得られた地質情報を設計・施工段階へ受け渡すことを念頭に置いて作成する必要がある。その内容は第三者にわかりやすく、かつ客観的事実に基づいた情報でなくてはならない。一方、その図面は調査会社や調査技術者の能力が集約されたものであり、独自性も尊重されなくてはならない。電子化のためには標準化が必要であるが、地質平面図のすべてを規格化することは不可能であり、当面、CADによる地質平面図の交換と最低限の情報の規格化とフォーマットの作成を目標としている。そのための最終成果として、DXFデータフォーマットおよび標準テキストデータフォーマットの提案を行う方向で検討を進めている。

6. 地盤調査・土質試験結果の標準化

地質調査資料として重要なものの一つに地盤調査・土質試験のデータがある。構造物基礎や土構造物の建設に際して、基礎地盤や土の材料の諸性質を地盤調査や土質試験で明らかにすることは、建設・施工にとって不可欠である。

地盤工学会では、地盤調査を分類し、室内試験を「土質

表3 地質平面図の種類とCAD化の範囲(案)

図面	細目	CAD化の難易度	調査段階での作成頻度	設計段階の利用頻度	CAD化の方針・利点
調査位置平面図		・地形図をスキャナーで読み取り、調査位置をプロットすることによりCAD化は容易。	高い	高い	CAD化
ルートマップ		・地質踏査では重要な資料で、通常、現地において手書きで作成されることが多いのでCAD化は難。	高い	低い	スキャナー処理
文献地質図	文献地質図(1/5万) 活断層分布図 文献リニアメント図 土地条件図	・緻密で入力に手間が掛かり、入力ミスにより誤ったデータとなる可能性があることより、CAD化は難。	高い	高い	スキャナー処理
広域地質平面図	広域平面図・ダム貯水池平面図、トンネル・道路等の広域平面図	・地形図をスキャナーで読み取り、レイヤーを替えて地質図を作成することが可能なのでCAD化は比較的容易。	高い	高い	CAD化 CAD化により図面の修正が容易。塗色の手間が少なくなり省力化が図れる。
詳細地質平面図	ダム・橋梁基礎・道路・地すべり等の計画地点の詳細平面図	同上	高い	高い	同上
掘削面の地質図	・法面展開図 ・ダム基礎岩盤スケッチ	・地質(露頭)観察により、詳細なデータが手書きで作成されることが多いのでCAD化は難。	低い 施工段階では高い	高い	スキャナー処理
コンター図	・岩級区分等高線 ・着岩線等高線	・地形図をスキャナーで読み取り、レイヤーを替えて作成することが可能でCAD化は比較的容易。	高い	高い	CAD化、スキャナー処理両方可。
空中写真判読図	・空中写真判読図 ・リニアメント図	同上	低い 計画初期段階では高い	低い	同上
地形分類図	・地形分類図 ・水害地形分類図	同上	低い	低い	同上
地形計測図	・接峰面図 ・傾斜区分図 ・起伏量図 ・水系図 ・谷密度図	同上 ・入力に手間が掛かる。	低い	低い	同上
土地利用図	・土地条件図	同上	低い	低い	同上
火山・地震災害予測図	・火山災害予測図 ・予想震度図 ・液状化履歴図 ・液状化判定図	同上	低い	低い	同上
水理地質図	・水理地質図 ・地下水等高線 ・比流量分布図 ・地下水低下解析図 ・水質・水温分布図	同上	低い	低い	同上
その他					

試験の方法と解説、いわゆる赤本」それ以外の野外試験を「地盤調査法、いわゆる青本」として出版しており、これが広く使用されている。これらの調査・試験の大部分は地盤工学会を中心に、JIS(規格)やJGS(地盤工学会基準)として、規格・基準化が行われており、データシートの様式が定められているものも多い。データシートは規格・基準のものではないが、土質試験関係で68種類、地盤調査関係で17種類が作成されており、多くの調査・試験結果が、

地盤工学会のデータシートの様式でまとめられ納品されている。特に土質試験については、20規格の内18、51基準の内43についてデータシート様式が作成されており、一般的な利用が進んでいる。また、使用頻度が高い力学試験・物理試験などの一部のデータシート様式については、OA化ソフトも市販されており、電子化も進んでいる。

建設CALS/ECの検討の過程でこれら調査・試験結果についても、電子納品の対象になり、その基準化について、

当時の建設省から地盤工学会に委託された。地盤工学会ではデータシート情報化対応委員会のもとに CALS 対応委員会を設置し、標準フォーマットの検討を進めてきた。その成果については別途公表される予定であるが、ごくおおよっぱな概要は下記のとおりである。

- i) 報告事項を網羅し、データシートを再現できる情報を組み込んだ。
- ii) JIS, JGS についてはデータシートがないものも含め基本的にすべて対象とした。
- iii) 規格・基準がなく、データシートのみが定められているものは対象外にした。
- iv) この結果、地盤調査 45 種類、土質試験 48 種類、岩の試験 6 種類併せて 99 種類の試験について標準フォーマットを作成した。
- v) フォーマットの規定方法は、XML 形式も検討したが、工程・費用などから CSV 形式にとどめた。

今後の課題として、① 基準改訂などへの対応、② CSV～XML 変換の必要性、③ 実用的な入力ソフト、データシート化ソフトの開発、④ データシートとしての閲覧・印刷ビューアの必要性などが指摘されている。

おわりに

全地連では、会員企業の建設の CALS/EC への対応向上を図るため、地質調査固有資料の標準化の推進や講習会の開催によるその普及などに取り組んできた。ここ数年の間の会員企業の電子化への対応能力の向上にはめざましいものがあつた。平成 13 年度の電子入札と電子納品の本格導入で、建設 CALS/EC も大きな山場にさしかかったが、地質調査業務の電子化の一層の進展、業務の一層の効率化には、下記のような課題が残っている。

- i) 地質調査資料要領(案)で標準化されたものは地質調査成果のごく一部であり、特に岩盤を中心に全地連成果をもとに標準化を促進する必要がある。

- ii) 物理探査、検討されていないその他の試験結果などの電子化が必要であるが、デ・ファクト・スタンダードの出現など市場の動向にゆだねて支障は生じないか。
- iii) 規格のバージョンアップなどに伴い基準の修正などが常時必要になるが、その対応はどのように考えるか。
- iv) 標準化が行われただけでは、実作業での活用は難しい。入力ソフトや、図化ソフトなど支援ツールが必要である。
- v) 電子納品された成果の有効利用について、検討が進められているが明確でない。建設事業のライフサイクル全体を通じたデータの有効利用システムが必要である。柱状図をはじめ地質調査のデータベースの有効利用が望まれる。
- vi) GIS との連携を念頭に置いた電子納品要領の修正がいずれ行われる予定ではあるが、プラットフォームとなる GIS との関連がはつきりしていない。早期に GIS を取り入れた標準化・電子化が求められる。
- vii) CAD については土木学会で標準化の検討がされているが、情報化・電子化の進展のためには、国土交通省以外も対象とした幅広い標準化が求められる。
- viii) 3次元 CAD や自動積算を念頭に開発された SXF (STEP に準拠したファイル型式) が今回の電子納品要領などの改訂では明記されなかったが、必要なソフトの開発など早期の対応が必要である。
- ix) 地質調査業務の効率化のためには、発注者との間だけでなく企業内部の地質調査業務全体の電子化の推進が必要である。

全地連では、これらの課題の解決に向けて、関係機関などと連携しながら引き続き努力していきたい。

参考文献

全地連：建設 CALS/EC に対応する業界標準の構築に向けて、平成 12 年 7 月。

地質調査業務実務における CAD の適用

た なか けん いち
田 中 健 一*

1. はじめに

「ネットワーク上に存在しなければ、存在しないことに等しい」といわれるまでの世の中になりつつある。ネットワーク世界は、現実世界から近からず、遠からず、微妙な距離を保ちながらも、「人と人」、「人と社会」、「人とモノ」の全く新たな関係を築き始めている。

それに伴って、資源・物質大量消費型の 20 世紀のビジネスモデルとは異なる、IT 時代に相応しい 21 世紀型のビジネスモデルが必要とされてきている。「造る・消費する」世紀は、社会がこれまでに整備・獲得してきた共有資産を、情報技術を通じて適切に運用し、その継続的発展と次世代への継承を実現する世紀へと移行しつつある。

「CALS/EC」の概念は、このような時代に相応しい、高度に情報化した 21 世紀社会における新しい産業構造を支えていく概念の一つと位置づけられよう。

CALS/EC は、Continuous Acquisition & Lifecycle Support/Electric Commerce の略称であり、継続的な調達と製造物のライフサイクルサポートと電子商取引に関する概念である。

その概念を建設事業に適用しようとするものが、我が国をはじめとして各国が整備をすすめてきた「建設 CALS/EC」である。

日本では、建設事業以外に、運輸系 CALS、通産系 CALS、防衛系 CALS など、その事業・内容に応じてさまざまな CALS が確立されようとしているが、将来的にはこれらが相互に連携しながら、電子政府の中核的役割を担うことになるだろう。

2. 電子納品から国土整備基盤情報へ

旧建設省(現、国土交通省)が推進してきた建設 CALS/EC は、その具体像が次第に明らかになってきている。この流れは、建設事業に携わっている我々地質調査業界においても例外ではない。

現場・実務者レベルでの目下の関心事は、平成 13 年度よ

り、国土交通省発注業務の一部から適用が開始される、業務成果品の電子媒体による納品であろう。

電子納品に関する発注者側の仕様や要領もより具体的に整備されてきている。国土交通省では、すでに「土木設計業務等の電子納品要領(案)」¹⁾、「CAD 製図基準(案)」²⁾、「デジタル写真管理情報基準(案)」³⁾などを作成しており、実証フィールド実験などでその適用性について確認をすすめてきた。

地質調査業における電子納品も原則的にこれらの要領・基準を基に実施されることになる(ただし、地質調査業務については、CAD 製図基準(案)の適用開始が他分野に比べて若干遅れる公算が強まってきた⁴⁾)。

平成 11 年度からは、地質調査業における業務成果品に焦点を当てた要領(案)⁵⁾の整備も始まった。この背景には、前述の要領(案)や基準(案)が、設計～施工フェーズでの適用に比重を置いており、地質調査業固有の情報に対して必ずしも適用できないという指摘があった。

旧建設・運輸の両省(現、国土交通省)・農林水産省といった一次官庁をはじめ、公団、学会や法人・業界団体から専門の委員が参加して、「地質データの標準化検討ワーキンググループ」が組織され、地質調査業務成果品の電子化検討が進められている。平成 12 年度からは旧通産省(地質調査所)からもメンバーが参加し、関連各省にまたがる大規模なワーキングになった。地質情報に対し、多くの関係者がその重要性を認識している証であろう。

このワーキングでは、ボーリング柱状図に関する情報だけでなく、地質断面図、将来的には地質平面図やボーリングコア写真などの電子化に至るまで、地質調査固有の情報についてさらに検討がすすめられていく計画である⁶⁾。

地質調査情報は、元来、国土整備基盤情報の一つである。電子納品によって収集された地質データが蓄積され、データベース化が図られ、なおかつインターネット等を通じてそれらの情報を必要なときに入手可能な状況が整備されるようになれば、防災計画、環境計画の立案などに有効利用が期待され、また、地質調査業においてはこれまでの業務内容、業務プロセスの見直しやビジネス手法などに大きな変化をもたらすと予想される(参考文献 6)など)。

* 日本工営(株)コンサルタント国際事業本部情報・品質管理 技師

3. 地質調査業も CAD 導入時代

各種の要領(案)を俯瞰したとき、我々地質調査の技術者がこれまであまり縁のなかったと思われる「CAD」という言葉に気づかされる。

CADとは、Computer Aided Designの略称であり、コンピュータ支援による設計・製図のことを指す。CADを実現するためのソフトウェアがCADソフトとよばれるものであり、建設関連においては、すでに一般的な設計ツールとして、設計・施工会社を中心にドラフタの代用品として利用されてきた実績がある。特に二次元の設計図面を描くために多数の実績をあげていることは、CAD未経験者でも御存知の方も多いことだろう。

本拙論では、二次元の地質断面図を中心に、地質調査の現場・実務レベルでのCADの導入・利用や将来における展望等について触れるとともに、筆者自身の地質断面図作成におけるCAD利用の経験から、実際に有用なヒントについて提供を試みるものである。

したがって、建設CALS/ECや電子納品要領に関する解説等は必要最低限にとどめていることをあらかじめ御容赦いただきたい。また、CADをはじめCALS/ECに関わる情報については発注者側の発表・配布資料(たとえば、参考文献1)~5)など)や市販の参考図書等を参考にされたい。

4. CAD へのアプローチ

ひとくちにCADの導入といっても、ハードウェアの選定からCADソフトウェアの選定、出力機器としてのプリンタやプロッタの選定に至るまで、目的に応じて幅広い選択肢が発生することになる。

たとえば、プロッタを整備しなくても、出力だけを外注する方法もあるし、CAD作業自体を外注する方法もあり得よう。

CAD製図の消化体制をどのように構築するかは、各企業の事情に応じて適切に検討すべき課題である。

CADの導入に関わる機器・ソフトウェアの選定、予算の捻出・確保といった環境整備は、これから導入を始めようとする場合には、非常に骨の折れる内容である。ましてやCAD未経験者ばかりの職場では、これからCADの操作を覚え、使いこなせるようになるまでの前途を考えるだけで、CADに取り組む意欲さえ失わせるような気がしてくるかもしれない。

結論からいえば、CADデータの作成は、従来どおり、手書きや切り貼りといった手作業で原図を作成し、電子化だけを外注することでも十分対応可能である。

しかし、図面作成に関わる一連の作業の仕上げにCADを位置づけるだけでは、むしろ時間的にもコスト的にも損失の方が大きい。ましてや、年度末の業務などの場面では、限られた時間の中で、これらの作業を消化することが困難と苦痛に変わる風景は想像に難くない。

CADの導入時においては、技術者自身が主体となって、自らの業務プロセスの革新を図っていこうという、思い切

ったアプローチが必要だろう。

5. 柱状図から断面図へ

ここで、地質断面図作成作業におけるパーソナルコンピュータ(PC)の関わりについて振り返る。

1986年に、旧建設省技術調査室監修による「ボーリング柱状図作成要領(案)」⁶⁾・「地質調査資料整理要領(案)」⁷⁾が公表された。前者は建設分野におけるボーリング柱状図の標準的な記述様式をはじめて定めたものである。一方、後者は、ボーリング柱状図データの整理様式について、将来の電子化・データベース化をにらんで策定されたものであり、様式に基づいてデータを整理し、発注者側に提出することを求めた。また、地質調査データの有用性、データベース化の必要性と将来構想について行政としてはじめて言及したものであった。現在の電子納品へと繋がるはじめての試みであったことが特筆される。

現在、両要領(案)は、国土交通省をはじめとした一次官庁や地方自治体、民間企業にいたるまで、建築・土木地質分野におけるボーリング柱状図の標準記載様式として広く採用されている。地質調査業関係者には「JACIC様式」とよばれており、技術者にはなじみ深いものである。

これらの要領(案)に基づいて、民間業者のうちの数社は、JACIC様式の柱状図を効率的に作成するための柱状図入力ソフトウェアを開発し、販売するようになった。その結果、これまで手書きによって作成されていた柱状図の作成作業の簡便化・効率化が実現した。

柱状図データ入力ソフトの登場は、単にJACIC様式柱状図を作成するだけでなく、断面図作成作業の上でも大きな変革をもたらした。

柱状図ソフトウェアに連携して断面図作成機能が付加されたり、柱状図データを使用する断面図作成ソフトが出現したからである。

これらの断面図作成ソフトや断面図作成機能は、地質ハッチとN値のグラフならびにボーリング番号や標高値を含む旗揚げ情報などからなる簡略柱状図を、ボーリング孔間の距離や必要な縮尺に基づいてレイアウトし、用紙に印刷・出力することを可能としたからである。

簡略柱状図の描画は、その対象本数が増えるほど作業上の大きな負担となっていたので、このようなソフトウェアや機能は実務者にとっては大いに歓迎されるものであった。

断面図を作成する際には、簡略柱状図の描画された図面に対し、推定地質境界線や必要な文字を記入したり、切り貼りを組み合わせるなどの工夫をしながら、地質断面図の下絵・原図を作成するようになり、作業効率は飛躍的に向上した。

ボーリング柱状図や断面図作成に必要なボーリングデータはフロッピーディスク(FD)やハードディスク(HD)に保存することが可能であったため、何時でも、何枚でも必要な簡略柱状図を出力することが可能となった。変更・修正が発生した場合にも、素早くこれらに対応することを

可能にした。

このようなソフトウェアの登場により、断面図作成作業における総体的作業時間が短縮され、技術者は解析・検討に時間を割くことができるようになった。また、省力化・効率化に寄与しただけでなく、少なからず、技術的品質自体を高めることにつながった。

近年、これまでの簡略柱状図配列形式の「断面図ソフト」がさらに発展・改良され、地質境界線を画面上でマウス操作によって描画することのできる、CADに近い機能をもつものも多く市販されるようになり、それらの利用実績も確実に高まってきている。

柱状図入力ソフトウェアを端緒として地質分野に特化してきたこれらのソフトウェアは、今日、さまざまな形に進化した。一方、地質分野での機能・操作性に特化し過ぎたきらいがあり、ソフトウェア間のデータ互換性や他の汎用アプリケーションソフトウェアとのデータ連携に欠けているものも見受けられる。

結果的に、これらのソフトウェアで図面を作成・出力しても、その出力図面をさらに切り貼りして用紙へレイアウトするなどの作業を行っている風景は現在でもめずらしくない。

いずれにしても、PCの位置づけは、まだまだ紙図面の作業を補完するための補助ツールとして成立しているというのが実態のような印象を受ける。

筆者自身もこのような流れを経験してきたが、現状での電子納品における地質断面図作成のためのプラットフォームとしては、汎用設計CADの利用が実用であるという印象をもっている。

現存の地質専用ソフトウェアのいくつかは、市販の汎用CADソフトのアドオンソフトとなっていくかもしれない。

最近、地質に特化したソフトウェアや機能ツールが、地質調査業関係者のみならず、設計、施工業者、あるいは有志によって無償で提供されるような動きが出てきたことに

も注目したい。

6. CADによる地質断面図作成の実際

ボーリング柱状図を基に地質断面図を作成する際の手順は、多少の違いはあるにせよ、おおむね次のような順序を踏んでいると考えられる。

まず、ボーリング位置平面図を用意し、断面作成位置を決定し、以下の作業を行う。

- ① 断面図縮尺の設定
- ② 標尺・縦断要素等の配置
- ③ 簡略柱状図の作成と配置
- ④ 地層(推定)境界線の作図
- ⑤ 物性値境界・支持層境界・地下水位線の作図
- ⑥ 凡例の配置、平面・断面位置図の配置
- ⑦ その他必要な付加情報の配置
- ⑧ 図面枠・表題枠等の作成
- ⑨ 必要部数の印刷・着色

これら①～⑨までの過程を経て、成果品としての地質断面図が完成されるということになる。

基本的に、汎用CADではこれらすべての作業が可能と考えて良い。参考までに、筆者自身は、次のような点に留意しながら図面作業の効率化を図っている。

① 断面図縮尺の設定

断面図縮尺は、CADにおいては、紙図面のようにあらかじめ描画する縮尺を決めておく必要はない。CADでは図面の拡大・縮小は自由自在であり、また縦方向・横方向の独立変倍や回転・反転が可能だからである。起点側と終点側を逆転して描画することも容易にできる。

むしろ、CAD座標系単位と現実世界の座標系単位との関係に留意したほうが良い。CAD座標における1単位が1mであるのか、1kmであるのかなどを決定しておけば、電卓

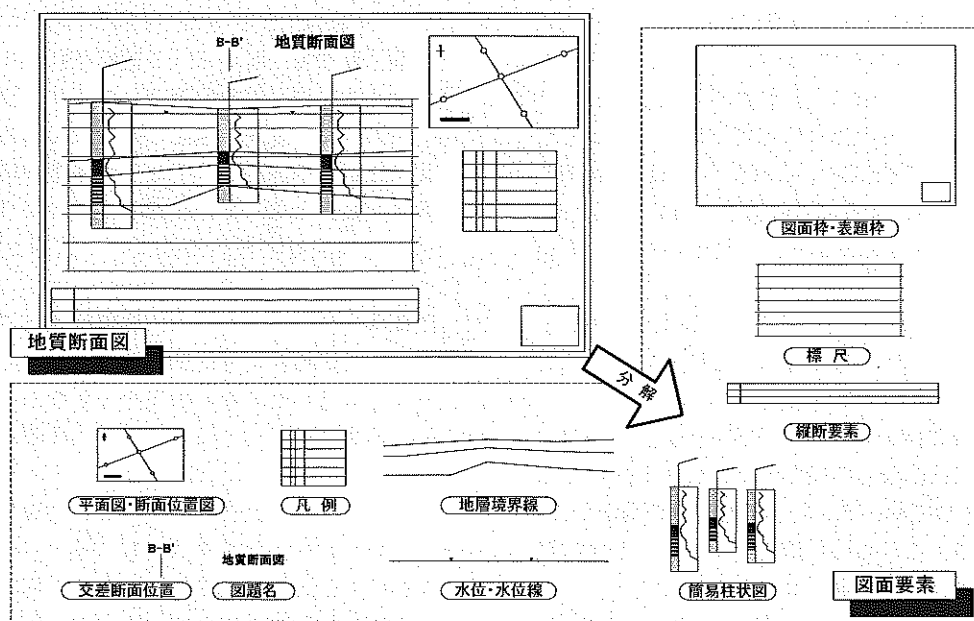


図1 地質断面図と図面構成要素

やスケールを用いながらの作図を意識する必要がない。筆者の場合はCADにおける作図1単位を、通常、現実世界の1mとしている。

単位変更の必要性がある場合は、拡大・縮小機能によって変換は可能であるので、場合に応じて、有効な単位で作図することが適当だろう。

② 標尺・縦断要素等の配置

標尺や縦断要素も①と同様にして扱えばよい。測量会社や設計会社などから計画縦断図のCADファイルを手に入れた場合は、これらを利用・加工することができるのと効率的である。電子納品では、調査業務の上流・下流工程とのスムーズなデータの交換を意識しているので、いずれは、そのような作業スタイルが一般化すると考えておいてよいだろう。測量・設計会社ではかなり以前からCADで図面を作成している場合が多く、これらの電子データは多に活用できる。

今後は、既存の電子データをいかに効率的に入手するかということが重視されるだろうし、CALS時代には業務を効率的に遂行するうえでの鍵となることを意識しておく必要があるだろう。

③ 簡略柱状図の作成と配置

簡略柱状図の作成は、柱状図入力ソフトを活用するのが効率的である。もちろんCADの中でも描画することは可能であるが、地質のハッチングパターンなどの作図などは手書き作業よりも手間がかかる。最近の柱状図ソフトでは、ほぼすべてのCADソフトで取り扱えるような、デファクトスタンダード的ファイル形式で簡略柱状図を出力・保存することが可能となっている。従来なら、簡略柱状図を紙に出力した後、これらを別の用紙上でボーリング孔間距離に基づいてレイアウトしたものである。CADでは標準的ファイル形式で保存された簡略柱状図データを読み込んで、適当な位置に画面上でレイアウトするだけでよい。デフォルトで作成されない記載事項などはCAD上で描画・文字入力する。一種の電子的な切り貼り作業である。

最近、地質専用ソフトでは、簡略柱状図を配置したうえでファイル出力できるものもあり、これらを必要に応じて利用することも有効だろう。

④ 地層(推定)境界線の作図

筆者の場合、地質境界面の描画に入る前に、一度、ここまでの図面を適当な縮尺で紙へ出力している。

長尺の地質断面図はコンピュータの画面で一覧することが難しいし、全体を画面に表示させると、必要以上に縮小されて内容が非常によみづらくなるからである。地質境界線の描画では、解析・検討の要素が含まれており、アウトプットした図面上で地質境界を検討、記入した後、それを参考にしながら画面上で入力する方が、作業的には効率が良い場合が多い。

最初に、大まかに画面上で境界線を描き、さらに細部を拡大しながら線の微調整を行うと手戻りが少なくなるよう

である。

⑤ 物性値境界・支持層境界・地下水位線の作図

④と同様の扱いでよいと考えられる。

⑥ 凡例の配置、平面・断面位置図の配置

地質のハッチングパターンは、簡略柱状図のハッチングパターン部分をコピー・貼り付けすると都合がよい。

平面図の配置は、できる限り、既存のCADデータを利用したり、簡略化した地図を用いることにしている。場合によっては画像(ラスターデータ)をCADに読み込んで使用する。

紙の地図しかない場合は、スキャナ入力して電子化する必要がある。読みとった画像からデータ変換を行ってCAD用のデータ(ベクターデータ)を作成することも不可能ではないが、通常、文字部分がつぶれたり、読み取り時の紙のゆがみに起因する変形が生じる。これらを調整するには、多少のコツが必要であり、状態に応じた手間を覚悟する必要がある。

筆者の場合、内容の詳細・複雑な地図図面を扱う際には、この作業はできるだけ外注することにしていて、A1サイズの図面のベクタライズのみなら数千円程度であり、時間的にもコスト的にも効率的と考えている。

地図のCAD化は今日では未だ非常に手間のかかる作業であり、断面図作成上、一番の障害であり、今後、電子納品をめぐる建設CALS全体のフレームワークの中で解決していなくてはならない課題の一つだろう。

⑦ その他必要な付加情報の配置

断面図内には、一定の区間ごとに地質上の問題点などのコメントを記入したり、代表的な物性値などを記入することがある。これまでは、直接紙図面に手書きしたり、ワープロで作成・出力した文字を切り貼りするなどしてきたものであるが、CADではマウスで記入位置を指定し、キーボードから文字入力を行えばよい。入力後の文字サイズ・種類・色などのフォント特性の変更も行えるので、全体のバランスをみて、後から必要な微調整を行えばよい。

⑧ 図面枠・表題枠等の作成

図面枠や表題枠は、ここまでの図面要素が全て完了した後で作図すればよい。これらは発注者ごとの指定や基準もあるので、それらに応じてテンプレートを作成しておき、必要な加筆・修正、あるいは拡大・縮小などを行うことも有効だろう。

もちろん、一から描画しても大した手間にはならない。

⑨ 必要部数の印刷・着色

着色もCAD内で可能であるが、画面上で指定したとおりの色がうまく出力・塗色されない場合が多い。完全に塗りつぶすと、出力されたときに塗りムラが目立ったりして見栄えが悪いことが多いので、ハッチング効果を利用するなどの工夫を行うことにしている。

紙図面に出力して納品する場合は、色鉛筆等による着色を発注者が指定してくる場合もあり、受発注者間で協議する必要がある。

CADでの図面作業は、その実現手段がPCをプラットフォームとしているだけで、多くの場合、手作業と大きな違いはない。CAD操作として、純然たる手作業である。ただし、一度CADでの作業環境に慣れるとその作業環境の快適性や紙図面に対する優位性から、多くの人がCADでの作業環境へと移行していくことになろう。

8. CADの優位性

紙図面では媒体の劣化や汚損、長尺図面の保管場所の確保など長期にわたる物理的スペースの確保の点などで問題が多かった。電子ファイルもハードディスクをはじめ外部記憶媒体を使用するが、それでもはるかに省スペースであるし、またデジタル媒体であり、記憶メディアを物理的に破損しない限りはデータを紛失することはない。コピーやバックアップも容易に作成できる。また、ネットワークやE-mailを利用したリアルタイムでのデータ交換や共同作業も可能である。

図面の修正も容易である。地質断面図中には、図1に示すように性質の違うさまざまな情報が描画・表現されている。このため、一箇所を修正しようとする必要な線や文字だけでなく不必要な部分まで消してしまったり、またそれを描き直すといった手間に煩わされる。

CADでは、後述するように、レイヤ構造(Layer Structure)を利用して製図を行う。したがって、不必要な部分を消すことのないように設定しながら修正を行うことができる。また、類似した既往のCAD図面をテンプレートとして利用し、必要な情報だけを追加してまったく新規の図面を作成することもできる。発注者をはじめ測量業者や設計業者から与えられた地図や計画図面のCADファイルを利用して、必要最小限の作業で効率よく図面を作成することも可能となる。

電子納品が徹底されれば、紙の使用量も最低限に抑えられることになろう。

地質調査業者内の業務の効率化も当然考えなければならないが、CALS時代における建設事業のデータの交換においては、その上流・下流工程や社会的な影響までを考えた場合、CADの要・不要議論などはすでに必要ではない。むしろ、CADというプラットフォームに自らが存在していないことの方が問題視されるような時代に突入していることを認識する必要がある。

9. レイヤ構造と作図上の利用

9.1 レイヤ構造の基本

レイヤ(Layer)とは、CADで扱う図面を図形要素や一定の情報ごとに区分して取り扱うための機能である。このレイヤ構造とその機能を理解することで作図の生産性を向

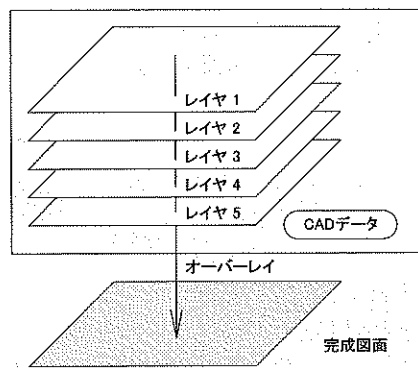


図2 レイヤ構造と重ね合わせの概念図

上させることができる。

透明な紙を何枚か用意し、本来1枚の図面に描くべき図面要素を有意なひとまとまりごとに1枚ごとに描き、最後にそれらを重ね合わせることで、まるで異なる用紙間の情報が同一の画像として映し出されるイメージを連想すればよいだろう。図2にその概念図を示す。

たとえば、図1に示すような地質断面図に描かれる要素は、断面作成プロセスごとにひとまとまりの図面要素に分解可能である。この場合には、次のような区分が可能であろう。

- レイヤ-1: 図面枠・表題枠
- レイヤ-2: 標尺
- レイヤ-3: 縦断要素
- レイヤ-4: 簡略柱状図
- レイヤ-5: 地層境界線
- レイヤ-6: 水位・水位線
- レイヤ-7: 凡例・平面図・断面位置図
- レイヤ-8: その他付加情報

地層境界線を変更するが、その他の図面要素には一切変更を加えたくない場合は、レイヤ-5のみを描画可能とし、その他には変更を加えないための指定(レイヤのロック機能の使用)を行えばよい。

描画の際に表示したくない図形がある場合には、同様にレイヤの表示・非表示の指定を行う。

作業途中でレイヤを統合・分割したり、レイヤごとに印刷や非印刷の指定を行うこともできる。さらに、レイヤごとに線種や色パターンまで指定することが可能になっている。

このように、レイヤごとにCADの振る舞いを指定しながら作図を行うわけである。

レイヤ構造の使いこなしがCAD製図を効率よく行うための鍵になる。

9.2 レイヤ構造の活用

レイヤ構造は、単に製図上の都合だけでなく、思考支援や合意形成のためのツールとしても利用できる。

どのような概念に基づいてレイヤを区分していくかは、製図者の都合にもよる。図3には、一例として、CAD上でのレイヤ区分の手法を、①意味のある図面要素ごとにレイヤ区分する方法、②時間要素に基づいてレイヤ区分する方法、③描画色に基づくレイヤ区分の方法に分類して示して

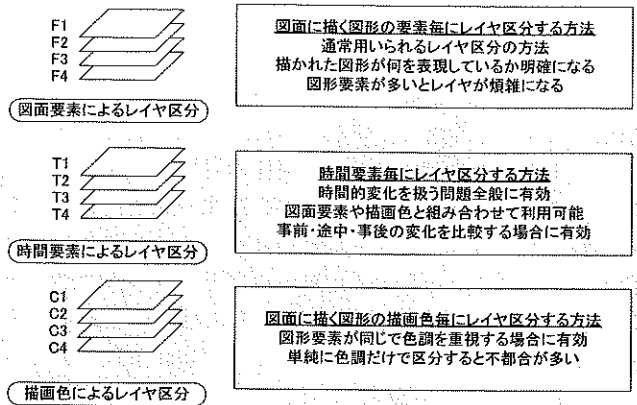


図3 レイヤ区分の手法例

いる。

通常用いられる手法は、①のように、図面要素ごとに、 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ などとレイヤ区分する方法である。作図上最も扱いやすいレイヤ構造と考えられる。

②のように、時間的変化を踏まえて図形を更新していかなければならない場合には、時系列ごとにレイヤを $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ と区分することより、同一地点において、「ある事象がどのように変化していったか」、を視覚的・数量的に捉えることが可能となる。図形要素と組み合わせると、 $t_1 \& f_1, t_1 \& f_2$ などとレイヤを指定することも考えられる。

③のように、色調ごとにレイヤを $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ と区分する方法もあろう。

注意しなければならないのは、このようなレイヤ区分やその組み合わせが可能であったとしても、過度に用いると作業の煩雑化を招き、無用な混乱を期す可能性が高くなる点である。

平面図を取り扱う場合には、レイヤ構造を利用することでCADをGIS的に運用することができる。

地図レイヤに地質、地下水、地層汚染、土地利用、地盤沈下などに関するレイヤを重ね合わせることで、地層汚染範囲、汚染経路の特定あるいは地下水開発に適した地域の抽出に役立てることができよう。

自然条件に関するレイヤに構造物・建築物等の保全対象に関する情報を重ね合わせてリスク評価を行い、ハザードマップを作成することも考えられる。

地盤改良の施工管理の場合には、段階ごとの改良効果を時系列的に追跡しながら、施工不良箇所を抽出して集中的に改良を行うなど、情報化施工への適用も可能である。筆者は、コンソリデーショングラウティングによる基礎岩盤の改良効果を時系列レイヤごとに整理・検討することによって、改良実績の向上を図った経験がある。地質的側面からの原因究明や施工不良箇所の特定において効果的であった。

CADには面積計算や距離計算の機能をもつものも多く、プランメータの代用としても使える。

一つ一つのレイヤに構築された情報は、今後再生可能な資源となり、CADデータの蓄積を続けることで強力なデータベースへと変貌する。

製図ツールを一步も二歩も踏み越えた、情報管理・思考

支援ツールとしての潜在能力もCADの魅力の一つといえる。

9.3 自動処理と他のソフトウェアとの連携

CADの多くは、スクリプト処理をサポートしている。マウスによる描画では、通常、ツールボタンやプルダウンメニューからCADに実行させる命令を送っている。これに対してスクリプト処理は、あらかじめCADの振る舞いをプログラミングさせておき、必要な時点でそれを実行させることをいう。

定型的な図形描画には非常に有利な機能である。

たとえば、平面図内にボーリング位置を多数プロットしなければならない場合には、表計算ソフトなどを利用して、次のようなデータを整理しておく。

<孔番号>	<位置：X, Y>	<標高値：Z>	<掘進長：L>
B-1	10000, 30000	724	30
B-2	11000, 35000	765	35
.....			

円の描画を行う命令が Circle x, y, z r L (Circleは円を描く命令(コマンド)、 x, y, z, r, L は変数である場合)のような文法であれば、あらかじめ用意したボーリング位置に関する情報を変数として順次読み込み、それを基に命令を繰り返し処理するようにスクリプトを作成すればよい。

線を描く場合は、たとえば、Line x₁, y₁ x₂, y₂ などのようなスクリプトを作成し、これを実行すれば、マウス操作を行うことなく自動的に描画処理が行われるようになる。

これらの命令は、BASICなど一般的なプログラミング言語に類似したものが多く、プログラミングの心得のある人ならば、馴染みやすいものである。

100箇所程度のボーリング位置のプロットであれば、ボーリング属性(標高・座標・掘進長など)を表わす文字の記入処理を含めても、わずか数秒で完了する。

描画だけでなく、図形の拡大・縮小や、縮尺の設定なども自動化できる。

標準的な地質断面図等の作成に必要なCAD操作について手順ごとにスクリプトを用意しておけば、マウス操作に不慣れな人でも、CADでの作図に参加しやすい環境となる。

CADで描いた図形データを表計算ソフトに読み込んで、計算・解析処理することも可能である。

近い将来、地質データはCADというツールを経て、解析ツールや設計ツールと統合させるだろう。将来は、CADデータを走査する自動積算システムなどの整備構想もあり、事業コストや工期の短縮の実現を意識していく必要がある。地質調査業界においては、今後、さまざまな局面での競争力やビジネスチャンスを拡大する強力な武器としていく必要があるだろう。

表1 全地連断面図基準化研究会による土質断面図用のCADレイヤ定義⁹⁾

断面要素		レイヤ名		
表題情報	図面名(表題)	S-OTHR-FRAM		
	図面輪郭(枠)	S-OTHR-FRAM		
	表題枠	S-OTHR-FRAM		
	業務諸元	工事名	S-OTHR-FRAM	
		事務所名	S-OTHR-FRAM	
		会社名	S-OTHR-FRAM	
		作成者(会社名)	S-OTHR-FRAM	
		年月日	S-OTHR-FRAM	
	図面番号	S-OTHR-FRAM		
	尺度	S-OTHR-FRAM		
版情報	速報, 作業過程, 中間報告, 確定	S-OTHR-VER		
断面情報	スケール	(縦, 横)	S-PLL-BASE	
	目盛線		S-PLL-BASE	
	断面位置図	断面始点座標		S-PLL-BASE
		断面終点座標		S-PLL-BASE
		方位記号		S-PLL-BASE
		測線記号		S-PLL-BASE
	縦断要素	測点, 距離程, 工法, 支保パターン等	S-PLL-BAND	
	現地感線(地表線)		S-PLL-EXST	
	地層情報	地層属性		S-PLL-GNM
				S-PLL-NOT
				S-PLL-AGE
				S-PLL-CLR
				S-PLL-PTN
	地層境界線	境界線属性	S-PLL	
	工学的データ	地下水	地下水面	S-PLL-GW
				S-PLL-TXT1
		物性値	物性値区分線	S-PLL-PHL
				S-PLL-TXT2
			物理探査等の結果	S-PLL-PTES
			S-PLL-TXT3	
施設, 対策工形状		S-PLL-PSTR		
注記, コメント		S-PLL-COM		
簡略柱状図	孔属性	位置情報	S-BRG-HTXT	
		孔名	S-BRG-HTXT	
		掘進長	S-BRG-HTXT	
		掘進方向, 角度	S-BRG-HTXT	
	地層データ		S-BRG	
	工学的データ	N値データ		S-BRG-NDTA
				S-BRG-NTXT
		試験データ		S-BRG-IDTA
				S-BRG-TTXT
			検層データ	
				S-BRG-ITXT
凡例	断面情報関連	地層名称	S-PTBL	
		地層記号	S-PTBL	
		時代区分	S-PTBL	
		表示色	S-PTBL	
		表示パターン	S-PTBL	
	簡易柱状図関連	地層名称	S-PTBL	
		記号	S-PTBL	
		層相	S-PTBL	
		ハッチパターン	S-PTBL	
		記事	S-PTBL	
	線種, 色	S-PTBL		

*上記に該当しない場合は, 1段階上のレイヤ名を使用する

レイヤの情報性質	文字のみ
	線画のみ
	文字+線画

10. レイヤ管理の重要性

これまでの地質断面図は, 設計者・施工者でのデータ再利用を必ずしも考慮していなかった。このため, CADデータを後工程へ受け渡す場合, 上流側の見地で作成したものになりやすい。図面に描かれた線の意味や重要性などを誤解されたり, 場合によっては無視されたり, 放置される場合も考えられる。そこで, 地質を専門としない人々が, 地質図面のCADデータを利用する場合には, 描かれている図形が何を意味し, どのようにレイヤ構造が整理されているかを明確に伝える必要がある。

たとえば, 地層境界(推定)線, 地下水位線, 物性値境界線などの色調やパターンがある基準に基づいて整理されていないと, 発注者や設計・施工の立場では, 線のもつ地質上の意味を理解するうえで, 混乱を招くことになる。

地質図面の情報が有意な単位でひとまとまりに区分されており, それらがレイヤごとに区別されているならば, 地質調査以後の下流工程における情報の加工・再利用は非常にスムーズに行うことができる。

CAD製図基準(案)ではレイヤ定義・命令の方法について要領を定めているが, 地質情報に関するレイヤ名称についてはごく簡単に記載されているのみであり, 地質調査図面にはそのまま適用できない可能性が指摘された。

地質データの標準化検討ワーキンググループでは, これらのレイヤ定義についても策定中であり, 平成13年度中には正式に公表され, 地質調査資料整理要領(案)⁹⁾に追加記載される見込みである。

レイヤ定義については, 全国地質調査業協会連合会が平成11~12年度に委員会・研究会を設置して検討しているが^{8),9)}, この結果をベースとしてさらに詳細な検討が行われてきており, 当面の参考となろう(表1)。表1は最終的に公的な基準として再編され, より利用しやすいものとなっていくはずである。土質分野だけでなく岩盤分野についても整備されることになる。

電子納品時の公的な基準としてレイヤ定義の詳細については, 随時整備される予定であり, 国土交通省などの発表を待つことにしたい。

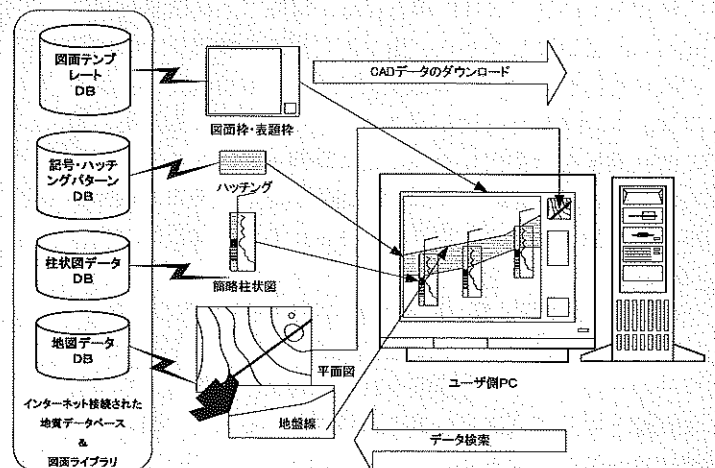


図4 オープンなCAD作業環境のイメージ

11. おわりに

—オープンなCAD環境の構築—

地質調査実務におけるCAD利用は、他分野に比べればまだまだ発展途上といえる。しかし、今後CADユーザーが増え、CADによる地質図面が多数生産されるようになれば、連携して使えるアドオンソフトやツールの開発が進み、また、テンプレートやハッチングに関する図面ツール、スクリプトなどが蓄積されていこう。こういったデータを企業間の枠を超えて業界全体として蓄積していき、インターネットでオープンな形で利用できるようにすることが期待される。「オープンCAD」あるいは「オンラインCAD」の環境の構築である。

現在すでに、CAD作業環境は、インターネットと連携したものになりつつある。図面のハッチングパターンや線種、図面の雛形がドラッグ&ドロップで自分のCAD上に貼り付けることが可能になれば非常に効率的だ。

さらに、公的機関ではボーリングデータベースが整備され、WEB等を経由してアクセス可能となることが望まれる。そこから、作業に必要な既存の柱状図データ等を検索・ダウンロードすることが可能となり、図面に貼り付けて利用できるようなフレームワークが一日も早く構築されるこ

とを望みたい。図4にはこれらの実現イメージの例を示した。

本文作成にあたっては、(株)東建ジオテックの伊藤立氏・安達和也氏、日本工営(株)の作中秀行氏・坂森計測氏・増田正弘氏・鈴木弘明氏からの御助言・資料ならびに情報提供を受けた。全地連断面図基準化研究会ならびに事務局の各位には、研究会を通じて多くの御教示を受けた。関係者に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木設計業務等の電子納品要領(案)，2001.
- 2) 国土交通省：CAD製図基準(案)，2001.
- 3) 建設省：デジタル写真管理情報基準(案)，1999.
- 4) 国土交通省：電子納品運用ガイドライン(案)，2001.
- 5) 建設省：地質調査資料整理要領(案)，2000.
- 6) (財)日本建設情報総合センター：地質調査資料整理要領(案)解説書(改訂版)，1999.
- 7) (財)日本建設情報総合センター：ボーリング柱状図作成要領(案)解説書(改訂版)，1999.
- 8) 全国地質調査業協会連合会：平成10年度中小企業活路開拓調査・実現化事業報告書，1999.
- 9) 全国地質調査業協会連合会：建設CALS/ECに対応する業界標準システムの構築に向けて 地質断面図(土質編)，2000.

地質三次元解析システムの開発

わ だ かず のり
和 田 一 のり
わた ぬき のぶ ゆき
やま 貫 ぎし たもつ
山 岸 保

1. はじめに

(財)国土技術研究センターでは、地形・地質情報の電子化・データベース化といった視点から、地質シミュレータ研究会を発足させ、三次元的な地質解釈ならびに地質図面作成業務をパソコン上で行う作業支援システムの開発と、電子化された地質三次元情報をさまざまな土木分野での作業に活用していくための議論をすすめている。

このほど発表した地質シミュレータ Ver.1 は、大容量の地質データを効率的に処理し三次元的に整合性のとれた任意方向の地質断面図、地質平面図を作成、表示、図面出力するシステムであり、これまで地質技術者が鉛筆と消しゴムで地質図面類の作成と管理を行っていた作業を、すべてパソコンの画面上に置き換えたシステムである。パネルダイアグラムによる三次元表示の視覚化や、作成した地質図面類の CAD データとしての出力機能も有している。このシステムの活用により地質解析、地質図面類の作成作業をパソコン上で的確に実施でき、直接的には地質技術者の作業が効率化、高度化し、短期間にさまざまな技術的な議論の要求に答える地質図面類を提示できる。さらに、地質図面類表示のより高度なプレゼンテーション技術の展開が可能であり、説明補助システムとして、あるいは、ダム、原石山、トンネルなどの設計や掘削管理などの土木 CAD システムに対応する自動設計にかかる技術システムとして展開することが可能である。

次の開発ステップとしては、建設 CALS/EC に対応する電子化地質図作成支援システムや、地質技術者の経験に基づくさまざまな技術的、科学的推論によって作成される地質図面類の、作成ポイントである推論部分を電子化して管理し、推論部分を一つ一つ取り出して審査、検証する地質解析システムとして発展させることができるよう地質シミュレータ研究会において議論を深める計画である。大きな地質図面を何枚も広げ、周りを技術者が取り囲んで議論する、そのような風景を一変させる可能性のある取組みである。

2. 地質シミュレータの概要

2.1 システム開発の目標

地質技術者が土木構造物を対象として地質構造図を作成する際には、さまざまな地質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、技術的な経験や知識から三次元的な推定をしている。地質シミュレータは、土木構造物を対象とした地質調査データをパソコンに整理して登録し、三次元的に整合を確認しながら地質断面図を作成することにより三次元空間内に地質構造モデルを構築する、三次元地質解析支援システムとして開発したものである。従来この種のシステムが二次元の地質断面図の作図を重視した CAD 的要素の強いシステムであるか、地質の三次元分布を大まかに推定する推論要素の強いシステムであるのに対して、三次元データを保持し、正確に断面図の整合性を確保することを可能にしている。また、地質図面類作成の際に地質的解釈を手助けする種々の作図支援機能も開発した。

2.2 システム開発の経緯

地質解析システムの開発にかかわる地質情報の電子化・データベース化は、水資源開発公団により、地質図作成を支援するシステムとして平成元年度から始まっている。

平成6年度より平成10年度まで、水資源開発公団の協力のもとに、国土技術研究センターおよび建設コンサルタント(平成8年度まで参加23社、平成9年度以降21社)の「地質情報の三次元表示システムの開発」共同研究において、EWSを使用してシステムを開発した。

平成11年度以降は、新たに「地質シミュレータ研究会」において、パソコン上で動作する地質シミュレータシステムを開発中である。

平成11年度

新たに地質シミュレータ研究会が発足し、パソコン版のシステムへ「地質情報の三次元表示システム」機能の大部分を移植し、Ver.1システムとして開発した。また、普及活動を開始した。

平成12年度

* 財団法人 国土技術研究センター 調査第一部長(現 関東地方整備局甲府工事事務所長)

** 同上 次長

*** 同上 主任研究員

地質シミュレータの不具合点を改修し、Ver.1システムの市販を開始した。また、機能向上やシステムの標準化に向けて検討中である。

2.3 システムの概要

地質シミュレータは、地質技術者が、日常の地質解析業務の中で利用することを考慮して、通常の作業フローを意識した機能構成としている。図1に地質シミュレータでの作業フローを示す。

① システム設定

まず、システムの使用にあたって、対象となる地質データに応じて、地質コードや岩級コードの種別などを設定する。

② データの入力

データは地形データと地質データをそれぞれ入力する。

地形データは、基本的には、地質解析の対象となる範囲を決定して、コンター、崖形状、河川・道路形状などをデジタイザーから入力する。また、スキャナーなどを利用して作成したDEM (Digital Elevation Model) も使用可能である。

地質データは、地質区分、岩級区分などを深度とコードの組み合わせとして、入力する。また、市販されているボーリング柱状図作成ソフトで作成したデータファイルもインポートすることができる。

③ 図面作成

作成する断面図上にボーリングなどのデータの投影範囲を指定して表示し、境界線を作成する。また、境界線の作成にあたっては、境界3点の指定あるいは境界1点と走向傾斜による平面の推定機能(平面モデル作成)や2断面の中間位置での分布形状を表示する機能(2断面間結合)などの補助機能がある。さらに、作成された境界線は、自動的に三次元座標をもち、また、断面の交線上の境界点はすべて共有し、完全に整合性が保たれている。

④ 表示および出力

作成した断面図をパソコン画面上でパネルダイアグラムとして三次元表示し、視点を自由に移動して確認することができる。さらに、プリンタやプロッタによる図面出力や、作成した地質図面類をCADデータとしてのファイル出力させることが可能である。

2.4 システム構成

地質シミュレータは、汎用的なハードウェア構成で運用されることを考慮し、システム上も、ライセンスを伴うような特別なグラフィックエンジンやCADシステム、GISシステムなどを必要としない。開発言語として、Visual Cを基本的に用い、グラフィック関連部分は、標準的なOpenGLを採用している。

3. 地質シミュレータの特徴

3.1 メニュー構成

地質シミュレータは、図2メニューの構成に示される諸機能をもっている。

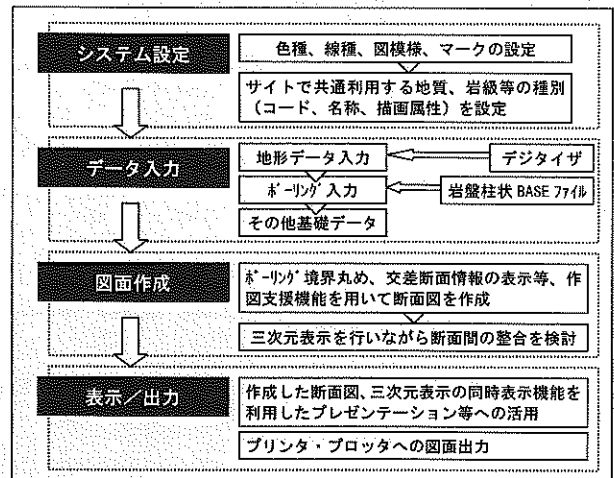


図1 地質シミュレータによる作業手順

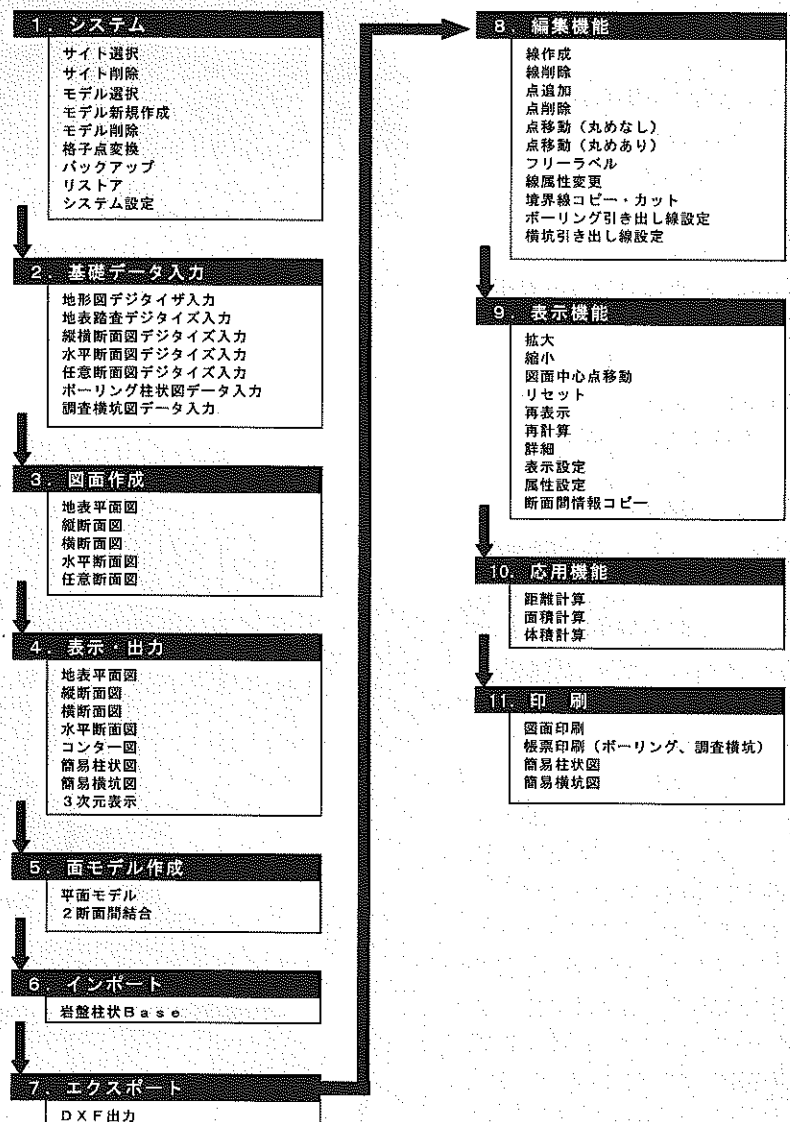


図2 メニューの構成

3.2 主要機能

(1) 入力機能

地質シミュレータへの入力機能は、地形データ、地質データおよび既往の地質図面類の入力を想定している。なお、地質データの入力の際には、オリジナルデータの1/100と、図面表示のため、オリジナルデータに解析を加えた1/500の2種類のデータを作成する。

(2) 断面図作成機能

地質区分や岩級区分などの境界線は、マウスを用いて地質技術者によって入力決定される(図5)。さらに境界線によって囲まれた閉領域に対して、その属性(地質や岩級区分の単位)を指定することで区分を確定する。

この断面図作成時に次の機能を使用することができる。

① 共有点による境界線の管理

交点を共有する機能によって、交差断面上の交線に相手側の地質や岩級区分が表示され、相互の断面を確認しながら作業を行うことができる(図6)。

② 平面モデル

地表路査における断層面などの走向・傾斜の情報を平面モデルとして記録し、これを利用して断面図上に交線として表示することが可能である。

③ 2断面間結合

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における地質、岩級区分の境界線を幾何学的な処理によって補間作成することができる(図7)。

(3) 表示・出力機能

作成した断面図や登録したボーリングデータなどは、画面上に自由に呼び出すことができる。また、プリンターやプロッターに地質図面として出力できる。登録されているデータは、すべて三次元座標を保有しているので、三次元空間内に地形形状、断面図を表示することができ、パネル

ダイアグラム表示が可能である(図10)。

(4) その他の機能

その他の機能として、数量計算の機能とCADファイルへのエクスポート機能がある。

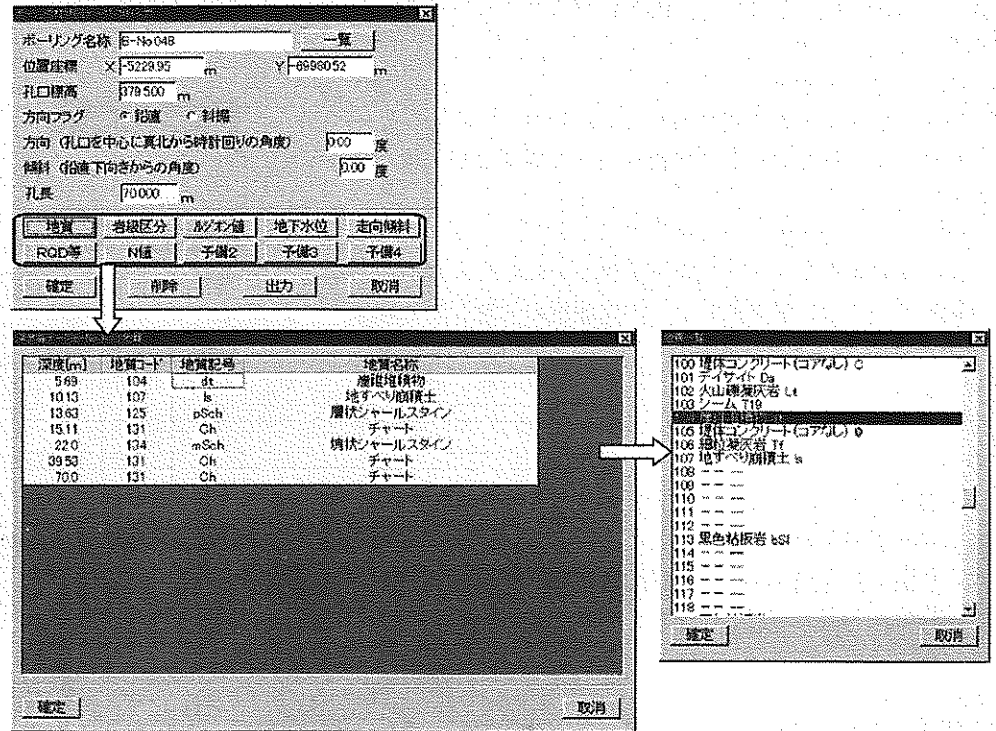


図3 ボーリングデータ入力画面例

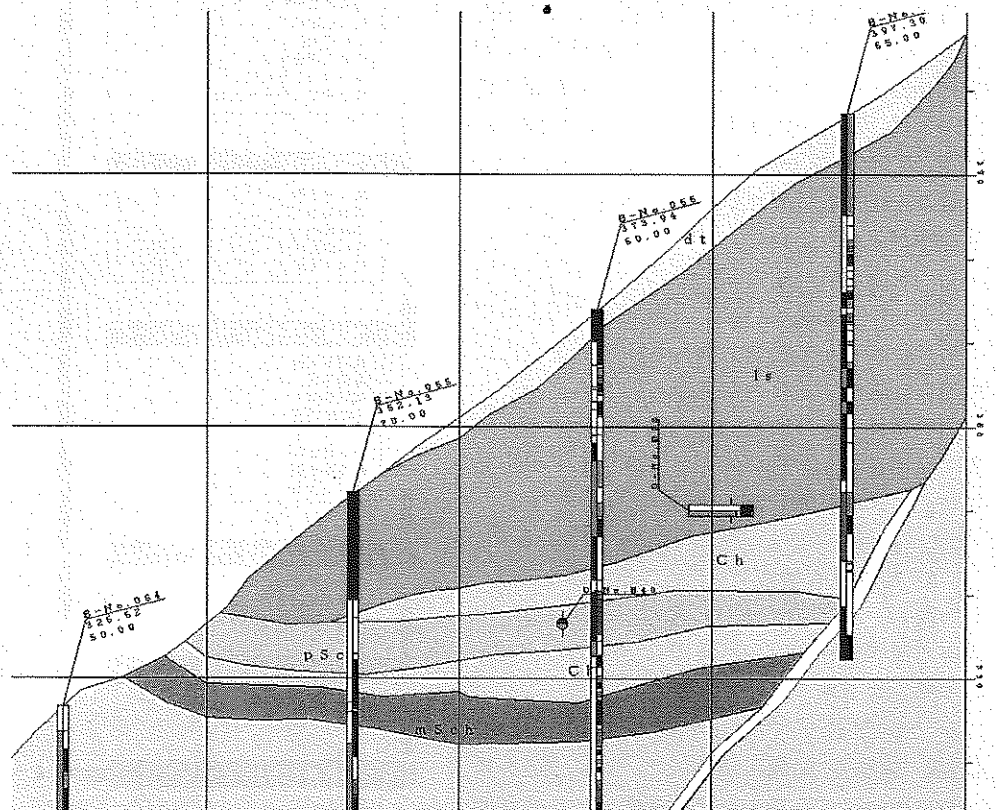


図4 断面図に表示されたボーリングデータ

3.3 地質シミュレータの活用場面

地質シミュレータは、現時点ではダムサイトや原石山などの地質調査のように、多量のボーリングデータが、グリッド上に配列して存在する土木プロジェクトに主眼をおいたシステム開発になっている。しかしながら、地質シミュレータは、多量に発生するボーリングや施工記録などの地質データをデータベースに一元的に管理することができ、また、調査結果を三次元的に確認することができる。さらに地質区分ごとの数量計算機能をもっている。この機能を利用することにより、ダムサイトや原石山の地質解析に適用できるばかりでなく、トンネルや道路、堤防、水路構造物など、従来二次元の地質断面図で示されていた構造物の地盤状況を三次元的にも表示できることになり、その適用性は高い。

また、原石山やダム本体掘削時に、調査計画時と施工時の掘削面地質データとを比較することにより、掘削工の妥当性を判断することができ、地質シミュレータは、三次元でデータを管理しているので、その作業を容易にすることができる。地質シミュレータのCADデータ(DXFファイル形式)出力機能により、既往の施工管理システムなどへの地質情報の提供も可能である。

4. 地質シミュレータの普及

4.1 地質シミュレータ研究会

地質シミュレータの開発は、「地質シミュレータ研究会」において、機能の開発や普及などを実施している。

4.2 地質シミュレータの普及

地質シミュレータは、平成13年3月より一般市販中で、これにさきがけ地質シミュレータ研究会の会員向けには、平成12年7月より21社で導入されている。平成12年10月には、実務担当者を対象として技術講習会を開催した(写真1, 2)。

平成13年3月からは、地質シミュレータ研究会員以外への販売も開始している。(財)国土技術研究センターにおいては、各地の建設技術フェアへ積極的に参加し「地質シミュレータ」をPRするとともに、建設中のダムおよびトンネルに地質シミュレータを適用した業務を施工中である。平成

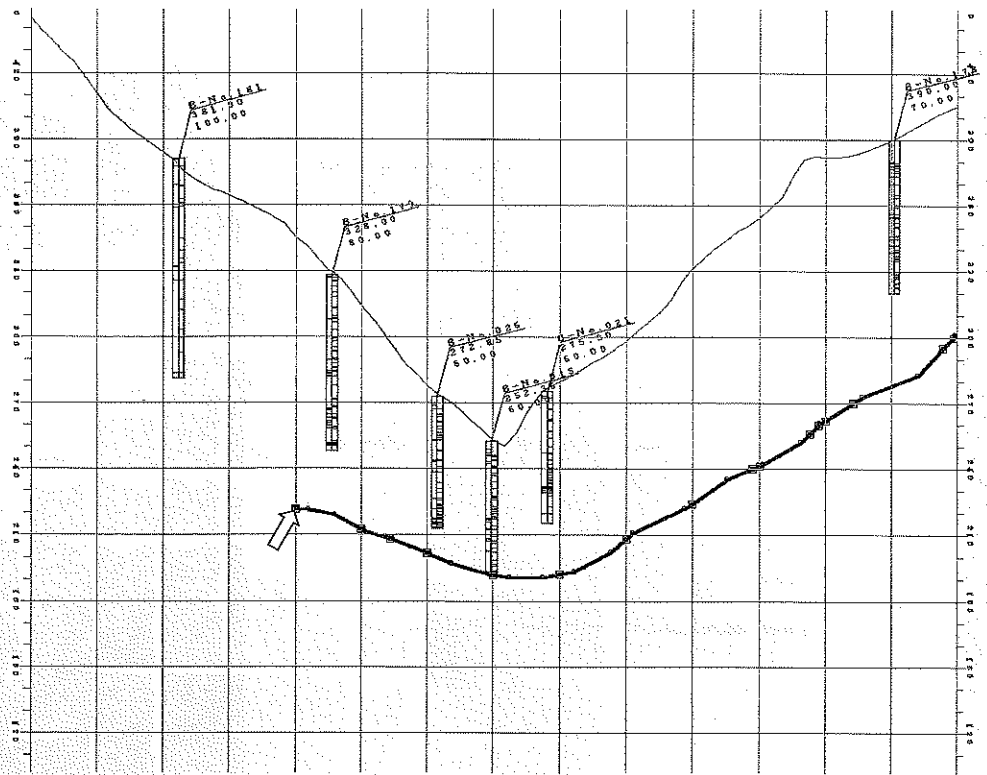


図5 地質境界線の入力

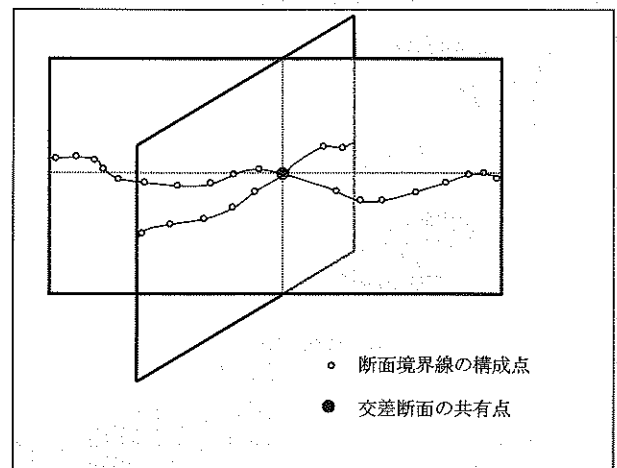


図6 共有点の概念図

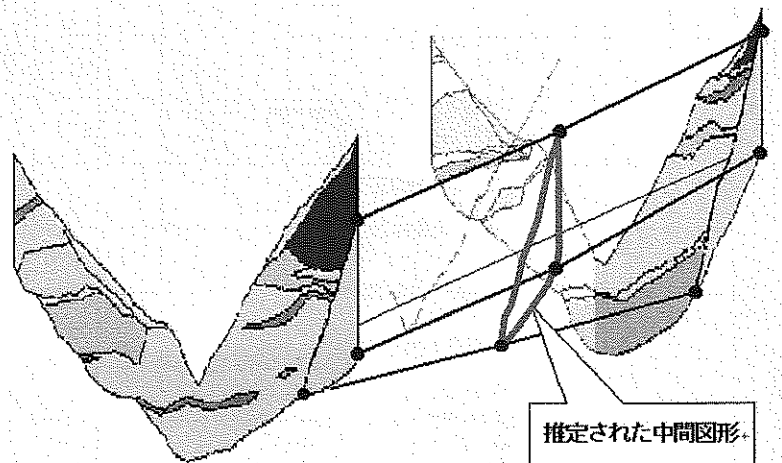


図7 2断面間結合機能の概念図

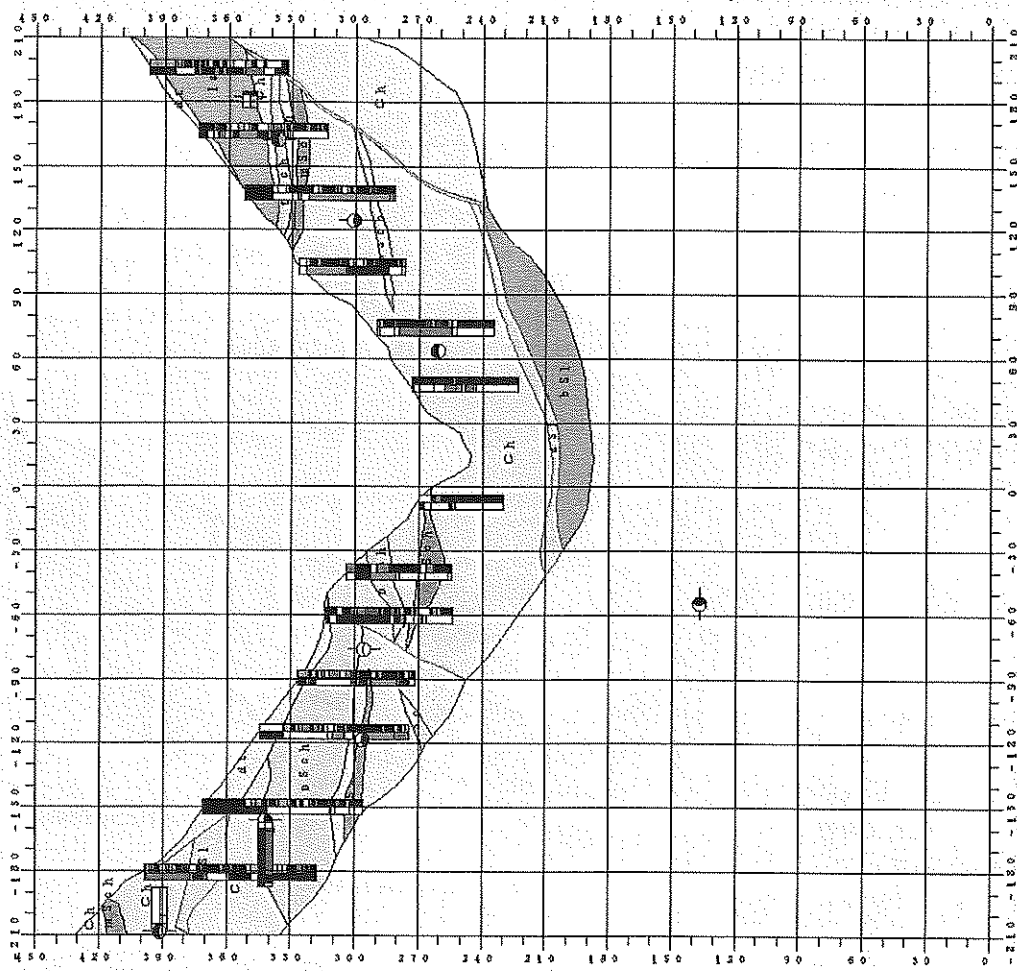


図8 断面図(全体)の表示例

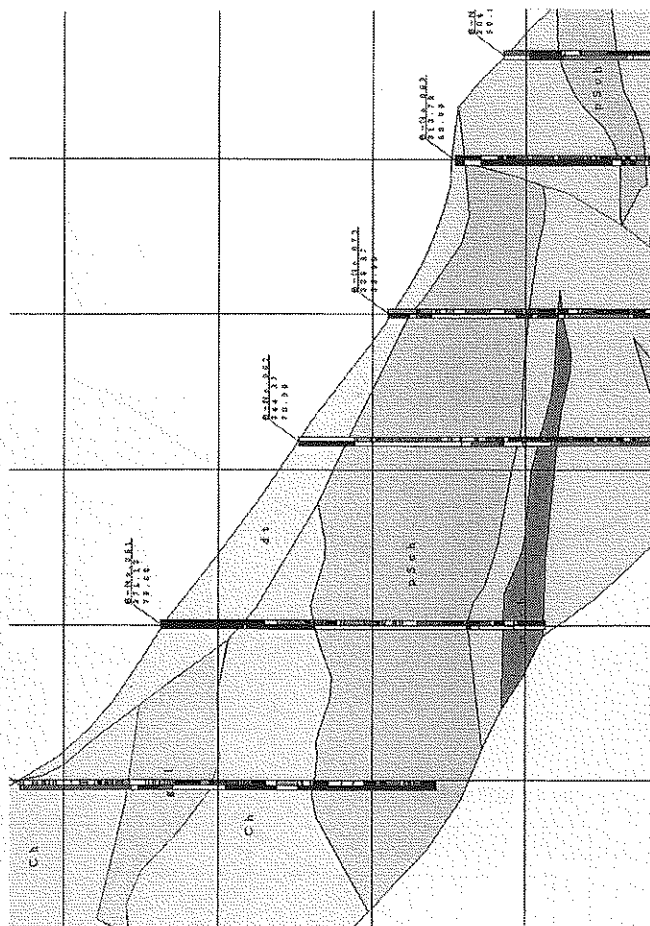


図9 断面図(一部拡大)の表示例

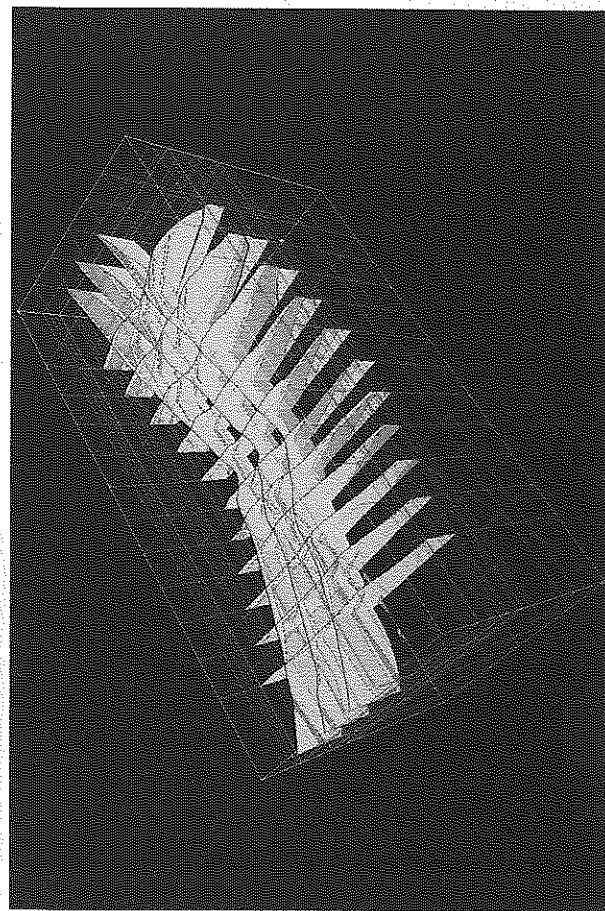


図10 3次元表示画面

表1 今後の開発課題

項目	現システム	平成12年度課題	平成13年度以降の課題
地形図	デジタイザによる入力	オンスクリーンデジタイズ	地形モデルの置換と合成
	格子データの作成	電子化地形情報の利用	
土木構造物		デジタイザによる入力	CADファイルの取り込み
		オンスクリーンデジタイズ	
地質データ	画面入力	地質分布の入力	地質データのデータベース化
			弾性波探査結果などの入力
地質図	データの表示	複数モデルの表示	地形断面の置き換え
	投影範囲の指定	縦横断比の変更	掘削面展開図(三次元表現)
	作図補助線の表示	斜・任意断面図の作成・表示	掘削面平面図(三次元表現)
	共有点の存在	区分線の再整理	コンターマップ
	着色		
図面出力	パネルダイアグラムの表示	複数モデルの表示	パネルダイアグラムの出力
	成果断面図の出力		CADファイルへの出力
付加機能	数量計算	数量計算結果の保存	鳥瞰図の表示・出力
			ステレオ投影
			安定計算へのデータ出力
			操作性の再検討
			断面間の補間機能
			サーフェイモデル化
			ソリッドモデル化
			地質図作成の手順化
		境界線の自動発生	



写真1

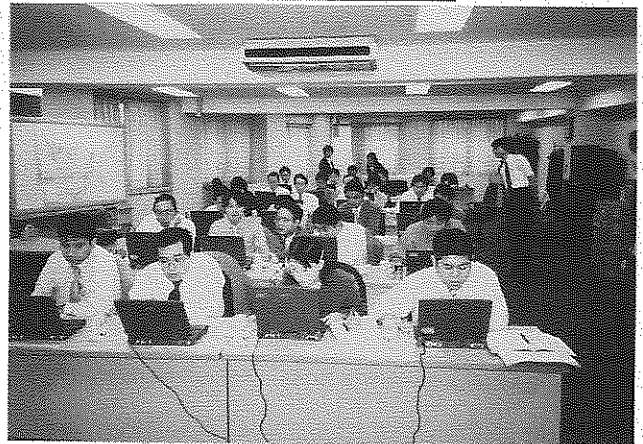


写真2



写真3



写真4

12年度では関東、四国および九州地区の技術フェアに参加している(写真3, 4)。

5. 今後の開発課題

今回公表した地質シミュレータ Ver.1 は、地質の実務担

当技術者を中心とする研究会によって意見交換を行い、各サイトからの要望を可能な限り盛り込んだ、実用的なシステムと考えている。これまでの地質技術者による鉛筆と消しゴムを使った図面の作成作業と、図面とデータの管理作業を、すべてパソコンの画面上で行い、さらにパネルダイアグラムによる3次元の視覚化ができる。反面、開発されたシステムは、主としてダム地質調査を主眼として議論がなされたため、機能の随所にダムの地質解析を意識した部

分がある。

今後は、地すべり解析やトンネルなど延長の長い構造物の解析などグムの地質調査以外への適用を視野に入れた、より汎用的な機能の拡充と操作性の向上をめざしたシステム開発の議論を進めていきたいと考えている。また、本システムによって作成された地質モデルを閲覧したり、説明するためのプレゼンテーションシステムとして利用する、あるいは、地質に関する設計CADとの連携、構造物などの表示のための三次元CADとのデータの交換、原石山などの施工管理のためのシステムとしての発展を期待している。さらには、地質図作成の際の地質技術者の経験に基づきさまざまな技術的、科学的推論部分を、デジタル管理することによる、地質図作成のより工学的な管理をめざしている。

当面の機能拡張は、表1のような計画をもっている。具体的には、調査横坑や掘削面などの領域での面的な広がりをもつ地質データやボーリングなどでの記載記録の利用、データの統計処理などをシステムに組み入れる計画である。

6. おわりに

地質シミュレータは、(財)国土技術研究センター主催の地質シミュレータ研究会で開発を進めてきた地質三次元システムである。前身にあたる共同研究「地質情報の三次元表示システム」のEWS版機能の大部分をパソコン版に機能移植、改良したものである。開発にあたっては、従来のEWS版をそのまま移植するのではなく、操作性の向上と機能の吟味を行い、パソコン機能の能力を最大限に利用し、特に表示機能については抜本的な変更を行っている。一般に、情報処理システムにおいては、機能の拡張に比例して操作に対する煩雑度が強くなる。現在のVer.1では、すべてが満足できるものではなく、むしろ多くの方に使用していただき、意見を得たうえで、早急にVer.2の開発へとつなげていきたいと考えている。また、ボーリングデータに代表される各種地質データの電子化や建設CALS/ECへの対応など、電子化、標準化の足掛かりとして発展させていきたいと考えている。なお、地質シミュレータの開発にあたっては国土交通省土木研究所ならびに水資源開発公団試験研究所の関係各位より技術的援助と、御協力をいただいている。ここに記して謝意を表する。

地質図の数値化とその利用

は せ が わ い さ お
長 谷 川 功 *

はじめに

「空間情報」すなわち、地理的な位置関係を基本的な枠組みとして有している情報は、インフラ的な性格をもつことから、急速に普及しつつある。地質図は基本的な「空間情報」のひとつであり、地質図は数値化（メタデータ化、ラスタ化、ベクトル化）することは、IT社会への当然の対応であり必然的な方向であろう。地質図をメタデータ化すと検索によってその存在が容易に知られるようになる、ラスタ化するとよりビジュアルにかつ使いやすくなり、ベクトル化すると、高度処理が可能となり、研究分野のみならず、教育、地域建設プランニング、土木分野、防災分野、環境問題、地質旅行、仮想現実等などの分野での利用の拡大が進展するだろう。ここでは、主として数値化をベクトル化ととらえ、数値化の手順、数値データの利用、標準化について述べる。

1. 地質図の数値化

最初に、野呂(1997)¹⁾に従って、GIS(Geographic Information System, 地理情報システム)を使用して、印刷地質図から数値化(ベクトル化)する一般的な手順の概略を述べる。詳細は野呂(1997)を参照されたい。

(1) 地質図の画像化(ラスタ化)

モノクロ原図があれば、その原図を2値モードでスキャンし画像化する。印刷図の場合は当然カラー scanner で画像化を行い、画像処理後以下のステップに進む。

(2) ラスタ編集

画像データにはさまざまなごみや不要なデータが含まれており、それらを画像処理ソフトで取り除く。

(3) インポート、ジオレファレンス、モザイク

ラスタ編集後、GISへインポートし、位置の基準点・縮尺・投影法等の調整(ジオレファレンス)をし、図面のつなぎあわせがあれば、モザイクする。

(4) ベクトル化

次にベクトル化を行う。パラメータの設定の後後は自動で

ベクトル化が行われる。

(5) ベクトル編集

ベクトル後に不具合があれば、ここで修正する(ベクトル編集)。ラスタ編集が完全であるとベクトル編集は簡単になる。

(6) 属性付与、印刷

ベクトルデータの要素それぞれに属性を与える。ポリゴン要素には地質凡例の属性を、ライン要素には地質境界線や断層等の属性を与える。それぞれの属性ごとに色やパターンを与えれば、それに従った表示・印刷ができる。

(7) データファイルの作成

最後に、データファイルの作成とその他必要なデータのファイル化を行う。流通を考慮すると、標準形式のデータファイルが必要となる。

今後、地質図の数値化の手法は情報処理技術の進歩とともに進化するだろうし、将来的には直接コンピュータで地質図を作成できるようになるかもしれない。

2. 利用例

地質図を数値化する目的は、コンピュータ処理に対応しつつ地質図の利・活用の拡大を図ることであり、その利点は次のとおりである。

(1) 地質図の編集

地質図の編集、すなわち地質境界線の修正、凡例の変更、図の統合、任意区画の切り取り等がコンピュータ上で容易に行える。

(2) 地質図の特性抽出——主題図の作成、統計処理

特定の地層に着目して表現する地質主題図が簡単に作成できる。その豊富な例は「日本列島の地質」(1996)²⁾にある。参照していただきたい。また、岩種ごとの面積を計算したり、地形データ(DEM)と地質図データとの相関・統計処理がすばやくでき、地質図の特徴を抽出することが容易になる。

(3) グラフィックス処理——地質図をわかりやすく表現する

数値情報の魅力はグラフィック処理ができることにある。コンピュータで可視化すればその情報をよりリアルに

* 産業技術総合研究所地球科学情報研究部門

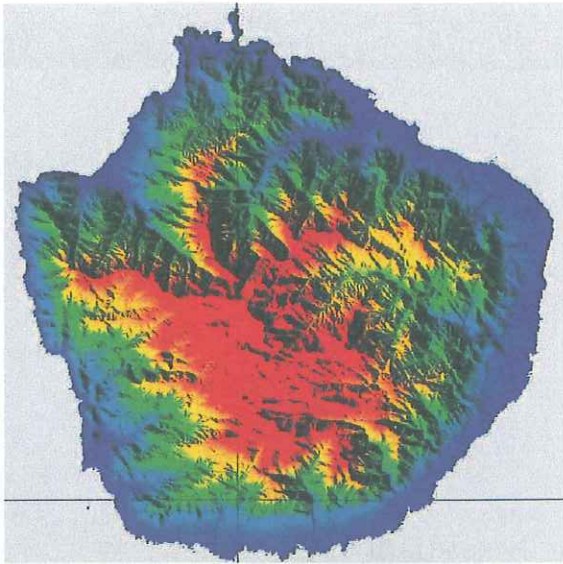


図1 屋久島の50 mメッシュの標高データを可視化したもの。空中写真および衛星写真からではわかりにくい共役線状構造が顕著に表われている(雷・長谷川, 2000)³⁾

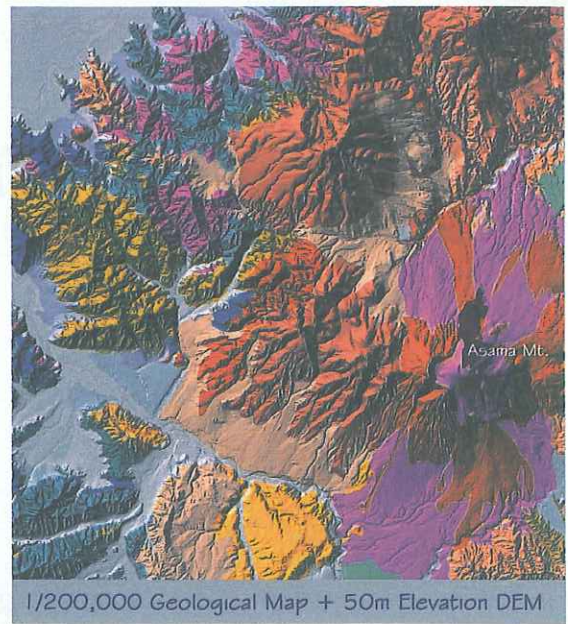


図2 浅間山周辺の地質図と地形を表した地質陰影図(雷・長谷川, 2000)³⁾。

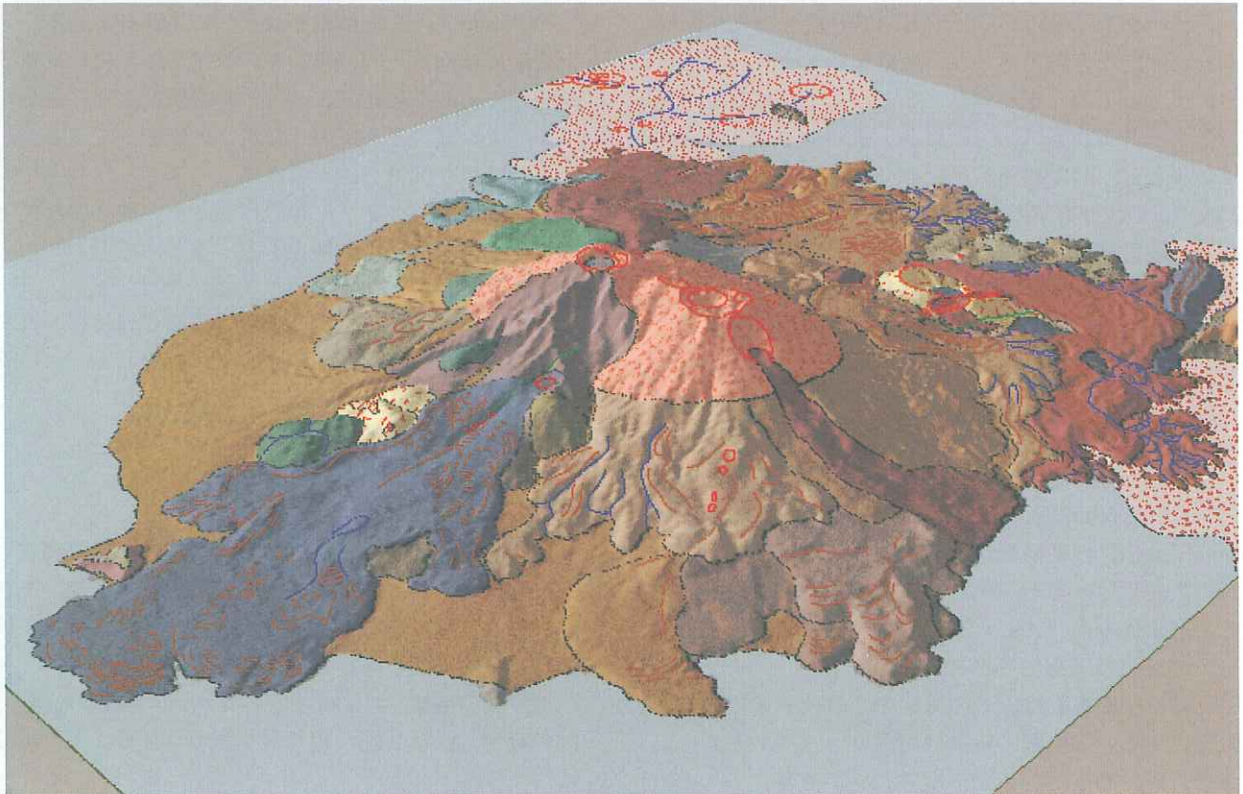


図3 桜島地形鳥瞰図と火山地質図のオーバーレイ

把握できる。また、情報の特徴を抽出することや隠された情報をグラフィック上で見出すことなどが可能になる。たとえば、地形データを可視化する場合、仮想太陽をつくり、北から照らすと普通の航空写真では見えない情報を見ることができる(図1)。

地質図では特に平面図を見て正確に地質状況を理解するのは専門的な知識も必要とされなかなかなか難しい。しかしコンピュータ処理でさまざまな表現法を取るによりリアルに理解できる可能性がある。たとえば、地質と密接に関

連する地形データを処理し地形陰影図として、地質図とオーバーレイすると、地形と地質の関係がわかりやすくなる(図2)。

さらに鳥瞰図として表現するとより一層リアルに地層の上下関係などがわかる。火山地質図(福山・小野, 1981)⁴⁾と地形鳥瞰図をオーバーレイした図3では、溶岩の流れる様子が明瞭に示されており、火山ハザードマップの地域住民への理解を促進させるのに役立つだろう。

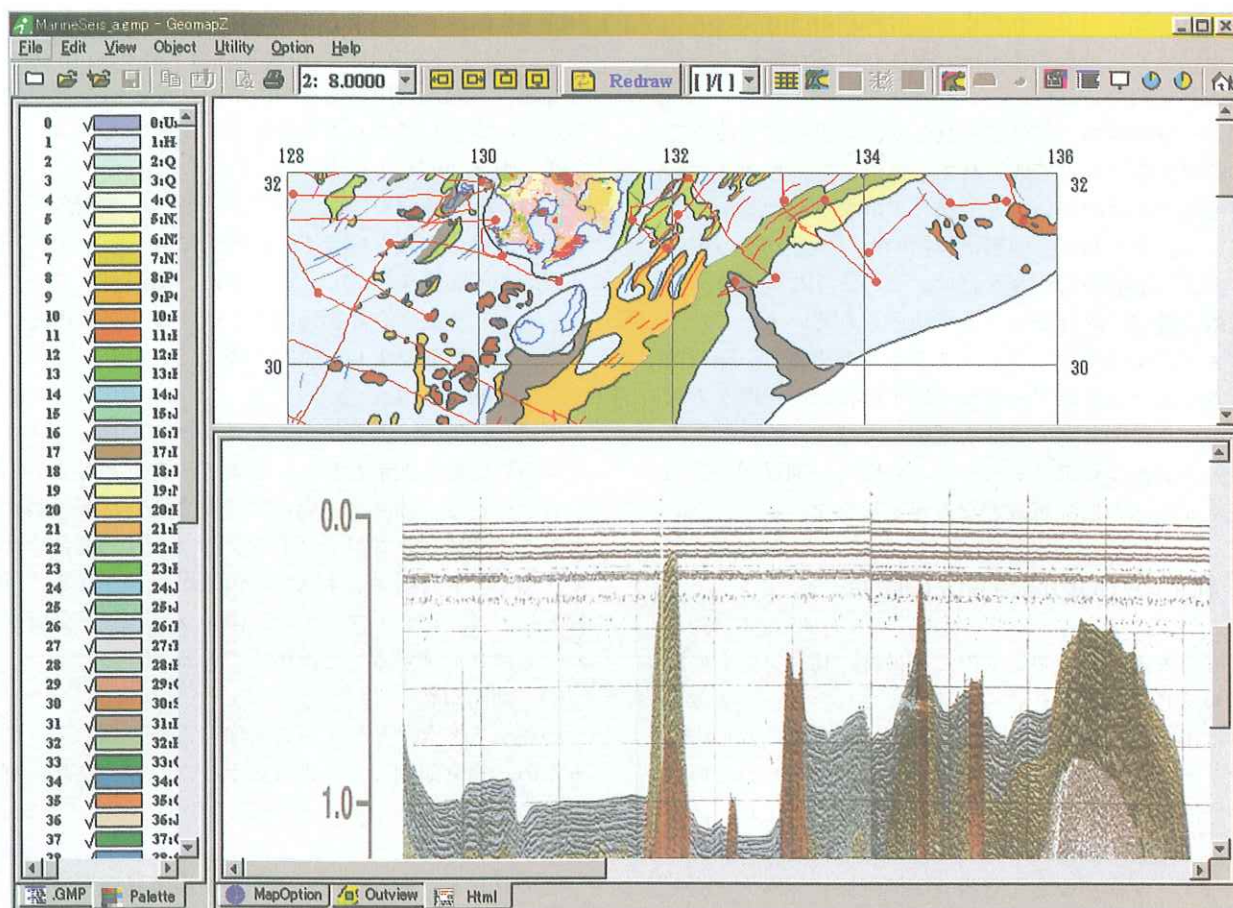


図4 音波探査測線とそのプロフィールを表示するデータベース(地質調査所, 2001)⁹⁾。測線をクリックすると、海底地質図作成の基礎となったプロフィールが表示される。

(4) 各種データベースの基図

地質図は、「表土の地下にどのような種類の石や地層がどのように分布し、どのようにして形成されてきたか」を示す図であり、地質層(地盤、岩盤、地殻)は物性データや化学的なデータと密接に関連する。数値化された地質図は、これらのデータベースの基図として利用されるようになる。たとえば、海底地質図と音波探査プロフィールデータベースなどはその例である(図4)。

産業技術総合研究所では、100万分の1数値化地質図(地質調査所編, 1995)⁹⁾が出版されて以後、各種のデータベース化が進展した。100万分の1地質図数値データが基図としての利用価値を高めた結果であろう。そして、個別の地球科学データベースの開発を基礎に統合・処理・表示し得る総合データベースの開発に取り組みられている。このようなデータベースの基図として各種地質図が利用されるだろう。100万分の1地質図の次の全国的な基図として、20万分の1全国シームレス数値地質図の整備が進められようとしている。

(5) 地質図の流通促進——CD-ROM出版, オンデマンド印刷, Webに対応できる。

数値化されると、CD-ROM出版やオンデマンド印刷に対応できる。さらにWeb上でデータを公開することも加速するだろう。メタデータの整備や標準化が一層必要となる。

情報の公開に際しては、ネットワークとマルチメディアとの二つの方法の長所、短所を考慮して対応する必要がある。ネットワークにおける情報公開は、即時性、将来性などの特長がある。他方、転送容量に制限がある、ユーザの自らのデータと合体しにくいなどの欠点もある。CD-ROMなどのメディアを利用した公開は、大容量対応やデータの再利用ができるなどの利点がある。一方出版に時間かかる、情報更新に不便などの欠点がある。

(6) 地質図の新たな利用

地質図の数値化が新たな利用を拡大させる可能性がある。従来はもっぱら地下資源の探査・開発に使われてきた地質図は、今後地表から地下の国土開発における特に環境に配慮したエコロジカルにデザインを行う場合に必須の情報となるだろう。地域特性、河川とダム、海岸侵食、地層汚染、地下水汚染、廃棄物処理・処分などの問題に利用されるだろう。たとえば、中止・休止ダム事業位置と地質図(1/5万図幅)の関係をみると、未刊行図幅内の中止・休止ダムサイト数が刊行図幅内のそれより有意に多い(図幅カバー率との比較)。1/5万に代表される広域的な地質に対する検討と、それに基づいたサイトの位置づけが、ダム事業の継続・中止に大きく関与していることを強く示唆している。実際休止の理由に地質条件の不良を挙げているケースも多く、活断層の極近傍に立地させるなど初期の地質検討の不備が疑われるダムサイトもある(稲崎, 私信)。地質図

の充実と数値化されたデータが流通すれば、地質的な検討が容易に行うことができるだろう。今後計画段階でのエコロジカルデザインがますます重要視され、地質情報も活用されることを期待したい。

地層は一見複雑のように思われるが、地質学的条件下で地質学的な法則に従って成されている。また、形成される時の自然環境条件の違いなどで種々の異なった地層が形成されている。すなわち、地層は包括的かつ定性的な規定・概念である。地層の広がりなどは、このような概念をベースに推論に基づく内外挿によって決められている。また、地層はさまざまな特性パラメータをもちその値も一様ではない。さまざまな計測データから地下の状況を把握する場合、このような地質図の特性を理解して三次元的に推定するのが効率的かつ正確であろう。この場合、地質図の数値化と三次元化への拡張が鍵となるかもしれない。

3. 利用のための簡易 GIS の開発

地質図データの利用の促進のためには、利用ソフトの開発を進める必要がある。通常、数値化されたデータを扱うためには市販の大型 GIS ソフトが必要である。これらのソフトウェアは、地質図データに完全には対応していない。また、空間情報を扱うため独特のフォーマットを有し、世界において完全に標準化されているわけではない。多くのユーザはデータ構造などを意識せず簡単にデータにアクセスし表示したり簡易処理して利用したいと望んでいる。このような要望に沿うものとして、地質情報データベースの利用を考慮した誰でも簡単に利用できる汎用性のある地質情報表示・解析用簡易 GIS ソフト-GeomapZ(雷他, 1999)⁷⁾がある。ここで、このソフトを紹介しよう。

GeomapZ は Windows 95/98/NT 上で動作し、地図画像の作成機能、地質情報の検索機能および簡単な解析能を有する。GeomapZ を使えば、大型の専用 GIS ソフトがなくても PC 上で簡単にデータベースを解読して高度な地質図画像などを作成・表示できる。

① 表示できるデータとファイルフォーマット

- ・面分布データ(地質図・標高・衛星画像等)
- ・線分布データ(河川・断層等)と点分布データ(地震震源・温泉等)
- ・ユーザ定義の線データと点データ
- ・ベクトルデータ: DLG (Digital Line Graph), テキスト
- ・ラスタデータ: DEM (Digital Elevation Model), BMP (Bitmap), TIFF (Tagged File Format) など
- ・マルチメディアデータ: BMP, WAV, AVI

② 情報の階層

第1層はベース画像で、面分布情報を現す。地質図、標高段彩図などがある。マスク画像がある場合には画像を陰影化処理または3D表示することができる。第2層はベース地図とよんで主に線データを表示する。海岸線、河川、断層および行政境界などから構成される。第3層は付加の属地的な点分布あるいは線分布データ情報層である。情報

の属性の種類ごとに表示方法を設定できる。また、第3層の情報に画像・動画等の二次情報を埋め込むことが可能である。3層の内容の組み合わせが自由である。データベースを公開する際、利用目的を考慮して、その組み合わせをあらかじめ定義しておくこともでき、便利である。

③ 画像作成および表示

任意範囲の画像を作成表示できる。ベース画像データベースが区画化された場合でも、区画にとらわれずに任意経度緯度範囲の図を作成できる。また、標高データをマスクデータとして使えば立体視画像を作成することも可能であるから、地質情報をより直感的に表現できる。

④ 情報の検索

表示した地図上でマウスをクリックするとクリックした場所の情報が表示される。地質データだと岩種や年代等が表示される。標高図の場合では標高値や勾配等が表示される。付加情報オブジェクトをクリックした場合にはそのオブジェクトに関するすべての情報が表示される。付加情報としてはテキストファイル、画像ファイル、動画ファイルなどにリンクすることが可能である。

⑤ 図面印刷

印刷するときプリンターの解像度に合う画像データを使うため、通常印刷したものは表示したものより高い解像度をもつ。

⑥ 高度処理

このソフトに取り込んだデータを高度処理するさまざまなソフトがプラグインできる。すでにフラクタル解析などの高度処理ソフトがプラグインされている。

⑦ 分散管理データベースへ対応

さらに、最新のバージョンでは分散管理されたデータベースにアクセスし処理することも可能となっているし、HTML 言語への変換機能も有し、より使いやすくなっている。

この論文で使用した図類はほとんどこのソフトを利用して作成したものである。

詳細は雷の HP (<http://www.gsj.go.jp/~lei/lei00.htm>) を参照してください。

4. 数値化とその標準化

地質図の数値化の目的は、コンピュータ処理に対応しつつ地質図データの効率的整備、流通、有効活用の拡大を図ることにあるので、その標準化は必須となる問題である。そこで数値化の標準化についての考え方と概要についての試案を提示し、標準化の議論の種としたい。

4.1 前提

ここで述べる標準化の前提は、印刷地質図(産業技術総合研究所発行地質図等)を数値化する、国内外の地質図数値化の標準情報に留意する、現状一般的に普及している GIS ツールの機能の範囲で数値化できる、地質図データを交換・公開することである。

4.2 基本的考え方

その基本的な考え方は、デジタル化する過程を規程するのではなく、地質図数値データ成果品の仕様・品質を規程するものとし、地理情報標準に準拠し、産技術総合研究所が提案している地質図凡例の標準化案と整合させることとする。

地質図数値データ成果品の仕様・品質を規程する「標準」の利点は次のとおりである。

- ・この「標準仕様」は、必要なデータ項目とその品質を示すのみである。したがって、作成手法は作成者の技術力に委ねることになるので、多くの参入が期待できる。
- ・作成手法・工程を限定しないため、関連技術の発展に応じた新しい手法等の採用が容易になり、データ作成の効率化が期待できる。
- ・従来の地図等の仕様にとらわれることなく、必要なデータ項目のみを示すため、オーバースペックの回避が容易になる。
- ・データ項目とその品質を明確にするため、他業務での活用可否を判断しやすくなり、重複投資の回避が容易になる。なお、このような「標準仕様」では成果品が要求仕様を満たしているかどうかを確認する方法を常に考慮する必要がある。

4.3 「標準仕様」による成果品

この「標準仕様」による成果品としては、通常次のものがある。

- (1) データセット……作成する地質図データそのもの。指定した媒体に指定したフォーマットで記録される。
- (2) 品質確認報告……作成されたデータセットが要求品質を満たしているかどうかの確認結果（確認方法を含む）を記述したもの。
- (3) メタデータ……データセットの内容や関連事項のデータ。指定した媒体に記録される。様式は「地理情報標準」に従う。
- (4) 他の資料……「地理情報標準」に従ったデータ交換を行う場合に上記以外に必要となる情報。データ構造や記録仕様に関するものがある。

4.4 「標準仕様」記述事項

(1) 取得するデータの概要

① データ作成の目的

データを作成する目的として、データを活用する業務、利用システム、利用方法を明確にする。地質図の作成された目的、範囲、精度を踏まえてこれらを整理し、他の空間情報と有機的に統合され、新たな利用形態を創造するための基本データとする。この内容はメタデータに記載され、データの品質を定性的・概観的に表す情報となる。

② データの地域的範囲

データを取得する地域的範囲を明確に記述する。この内容はメタデータに転記され、データの地域的範囲を表す情報となる。

③ データの時間的範囲

いつ時点のデータとするか等の時間的範囲を記述する。調査期間および地質図の作成（発行）年月日を記述する。

④ 座標系

データセットで使用する位置座標について、次の事項を明確にする。

- ・準拠する測地座標系……日本測地系、その他
- ・平面位置座標の種類……平面直角座標第〇系、経緯度座標、UTM座標、極座標、その他

これらは基本的には、作成時の地図の座標系に準拠する。

(2) 取得するデータの内容

① データ項目

データ項目の名称、定義、分類コードについて正確に記述する。

データ項目は表題情報、凡例情報、平面図、断面図、その他特記事項に分けられる。

② データ構造

データ項目ごとの使用方法を考慮し、作成するデータの構造等として次の事項を記述する。

<データの取得形態（空間属性）>

データ項目ごとに、空間属性（点（ポイント）、線（ライン）、面（エリア）、三次元閉領域（ソリッド））を記述する。さらに、データ構造を構成する空間要素を詳細に示す場合は、幾何要素（ポイント、ライン、エリア、ソリッド）、ポイント（走向傾斜、地質記号等）、ライン（地形コンタ、海岸線、褶曲、断面線、断層など）、エリア（地質体、変質帯等）、および位相要素（ノード、エッジ、フェイス、ボディ）のいずれかまたは組み合わせを記述する。

<付加する属性（主題属性および主題属性コード）>

各データ項目に付加する属性データの内容、分類、コード等を記述する。

主題属性は地物の特性を示す属性情報で、図形情報・文字情報（記載事項など）・数値情報（分析値など）・画像情報（写真、スケッチなど）などがある。

具体的には、凡例情報に付加される属性として地層名、地質年代（絶対・相対）、岩層、他の地層と関連性、地質名称テーブル（データベース）とのリンク情報などがある。また、地質境界に付加される属性として、凡例情報とのリンク情報、地質領域属性（左右の領域情報）、地形情報（三次元位置情報）、境界分類、構造情報（走向傾斜）などがある。

(3) 品質とその確認方法

① 品質

数値化されたデータが備えなければならない品質・精度を明確にすることは、データ利・活用にとって重要なことである。それらを要求品質として、次のような項目を記述する。

<完全性（網羅性）>

取得するものとして示されたデータ項目に対する実際のデータの漏れ、過剰（消し忘れ）の許容範囲を記述する。

<論理的一貫性（論理整合性）>

データの構造、付加される属性、データ相互の関係等に

関する論理的不整合の許容範囲を記述する。具体的には許容範囲0%のものは、地質境界は閉じた地質領域を形成していること、地質境界は断層を越えて連続しない、地質の領域は重ならない等である。

<位置精度>

取得するデータの座標値の位置精度をデータ項目ごとに記述する。この標準仕様では、平面位置精度として、元の地質図との誤差が0.3mm以内等と規定する。

絶対位置精度は元の地形図に依拠する。元の地形図の位置精度は、公共測量作業規程における各縮尺地図の位置精度を参照する。

<時間精度>

時間精度は、時間に関する属性を取得する場合等において、その時刻の精度を明確にする必要のある場合に記述する。調査の期間、地質図の作成・発行年月日、基準の地形図の測量・作成・発行年月日等、メタデータとなる。

<論理的精度(属性精度)>

データに付加されている分類コードや属性値について、その正確さの許容範囲を示す必要がある場合に記述する。

② 品質確認方法

要求品質の記述にあたっては、成果品が要求品質を満たしているかどうかの確認方法を合わせて考慮しておく必要がある。その方法を記述する。品質を確認した結果が品質確認報告となる。品質を確認する方法には

(i) コンピュータプログラムによる検査

論理的な不整合について自動的に検査・抽出する。データフォーマット(論理構造)の誤り等の検出に適している。

(ii) 目視による検査

ディスプレイ上または紙上に出し、目視で検査する。取得もれ、位置ずれ、属性の誤り等の検出に適している。地質の専門家による最終検査などで採用すべきであろう。

(iii) サンプリング検査

定められた地域について再度データ作成を行う等により、比較評価する。

(iv) 演繹(えんえき)による方法

作業方法・工程から成果品の精度を推定する。

(v) 集計による方法

集計表を作成し、評価する。統計データが別に存在する場合の完全性等の検査に適している。

などがあり、これらを組み合わせて行うことになる。

(4) メタデータ

メタデータは、データの内容・品質・状態・その他の特徴について記述したデータである。メタデータは、データセットを有する機関が、その資産を維持管理するために活

用するものであり、また、第三者がそのデータセットの所在と利用可能性をクリアリングハウスを通して把握するための情報となるものである。

地理情報標準(第1版)では、メタデータはその用途により2種類の適合性レベルが示されている。適合性レベル1は、空間データの概要把握や検索を目的としたクリアリングハウスでの利用に必要な内容となっている。適合性レベル2は、空間データの完全な説明のために必要な項目で構成される。

地質図標準では、適合性レベル1のメタデータに、数値地質図データの利用時に必要と思われる空間参照系を加えて、メタデータとすべきであろう。

(5) 記録仕様

作成した地質図データセットとその付属成果品(品質確認報告、メタデータ、カタログ等)をデジタルデータとしてファイルに格納するためのファイル仕様と、そのファイルを物理的に収める際の記録媒体についての指定を行う。

(6) その他の事項

データを取得するにあたって、特に明記すべきものがあれば記述する。またデータの権利関係、セキュリティ等について特に必要があれば記述する。

おわりに

今後、地質図の数値化が進展し、その利用が拡大することを期待したい。そのためには地質図へ付加価値を付与し、その利用を拡大させる研究が必要となる。また、利用のためのソフトの開発や標準化を進める必要がある。さらに、数値データの共通の問題である著作権などとの関係も整理しておく必要があるだろう。

参考文献

- 1) 野呂春文: デジタル地質図とデジタル地形図の作成, 地質調査所報告, 第283号, 102p., 1997.
- 2) 「日本列島の地質」編集委員会: 理化年表読本, コンピュータグラフィックス, 日本列島の地質, 丸善, 139p., 1996.
- 3) 雷 興林・長谷川功: 地質調査所における地質情報データベースの作成と公開, 情報地質, 第11巻, 3号, pp. 167-177, 2000.
- 4) 福山博之・小野晃司: 桜島火山地質図, 火山地質図1, 地質調査所, 1981.
- 5) 地質調査所編: 100万分の1日本地質図第3版CD-ROM版, 数値地質図G-1, 地質調査所, 1995.
- 6) 地質調査所編: 日本周辺海域音波探査データベース(CD-ROM版), 数値地質図M-1, 地質調査所, 2001.
- 7) 雷 興林・長谷川功・野呂春文・脇田浩二: 地質情報表示・解析用簡易GISソフト-GeomapZの開発, 情報地質, 第10巻, 4号, pp. 247-255, 1999.

ボアホールカメラの電子化

BIPS 技術研究会 技術委員会

1. はじめに

地質構造を把握する手段にはさまざまな方法があるが、一般的には現地踏査による概査、必要に応じて弾性波などを用いた物理探査、そしてボーリング調査の実施により、深度方向の地質情報、ボーリングサンプルからの室内試験による詳細な地質・物性情報の取得が行われる。ボーリング調査において、連続的な地質・物性情報を得る手段として一般的なのが電気検層をはじめとするさまざまな物理検層であり、その最大の特徴は原位置試験の情報を連続的に取得できることにある。

検層の一つにボアホールカメラ（またはボアホールスキャナ）がある。この検層はボーリング孔内の孔壁の状態を画像情報として連続的に取得していく手法で、原位置における亀裂や層理などの状況を、サンプリングなどのように乱すことなく把握することができる。しかも方位センサーにより亀裂や層理面の走向・傾斜、亀裂幅などの正確な情報が得られ、調査地点付近の地下構造について詳細な情報が得られる。これらの情報は地質構造を明らかにするだけでなく、岩盤の構造解析や浸透流解析をするうえで貴重な情報となる。

ボアホールテレビ装置自体は西ドイツのツァイス社によって開発され、1962年頃日本に導入された。当初は孔壁を見るだけの装置であったが、コンピュータ技術の進歩により1980年代後半には孔壁を展開画像として記録できる装置が開発された。

最近の孔壁画像収録装置はスパイラルスキャン方式など、数種類のシステムが開発されているが、BIPS 技術研究会が採用しているスキャニング・システムは円錐鏡を利用した孔壁画像取得システムの発明により、回転部のない安定したメカニズムで、全く隙間のない連続した孔壁全面の画像を得ることができる。

ここでは BIPS 技術研究会が採用している円錐鏡を用いたボアホールカメラ（BIP システム）について述べる。

2. BIP システムの構成と特徴

BIP システム (Borehole Image Processing System)

の構成図を図1に示す。

本システムは現場計測システムと室内解析システムからなり、現場計測システムはボーリング孔内に挿入するプローブ(ゾンデ)、深度カウンター、ケーブルおよびモニタ付き孔壁画像展開記録装置(コントロールユニット)などで構成され、それぞれポータブルなユニットとしてまとめられている。

現場計測システムの機能と特徴をまとめ、次に示す。

(1) 鉛直孔のみならず、傾斜孔、水平孔、上向に孔と、

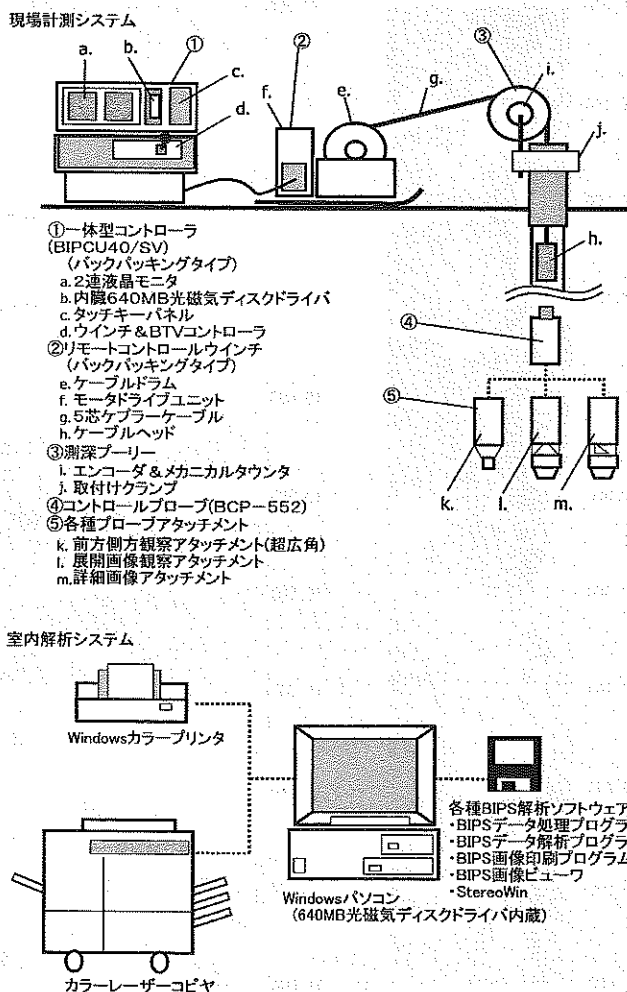


図1 BIP システム構成図

あらゆる方向でのボーリング孔での測定が可能

- (2) 展開画像のほか、目的に応じてアタッチメントを交換することにより、孔内前方（孔底方向）や詳細な孔壁を観察（ズーム機能付）することができ、亀裂からの湧水・ガスの噴出状況などピンポイントでの長時間の連続観察が可能
- (3) 孔壁の展開画像データは、MO ディスク（光磁気ディスク）にデジタル記録し、また孔壁全周画像、孔壁展開画像および詳細画像は、VTR（ビデオテープ）に録画が可能
- (4) 現場でリアルタイムに展開画像を見ることが可能
室内解析システムは、Windows 対応パソコン、カラー出力装置、MO ドライブおよび専用解析ソフトウェアなどから構成される。

室内解析システムの機能と特徴をまとめ、次に示す。

- (1) 現場で収録された孔壁展開画像の不連続面（亀裂や層理面等）の走向・傾斜および開口幅を計測・

件名：BIP システムによる展開画像出力サンプル

孔番：No. 1

孔方位：0

孔傾斜：-90

深度範囲：10.000～11.000 m

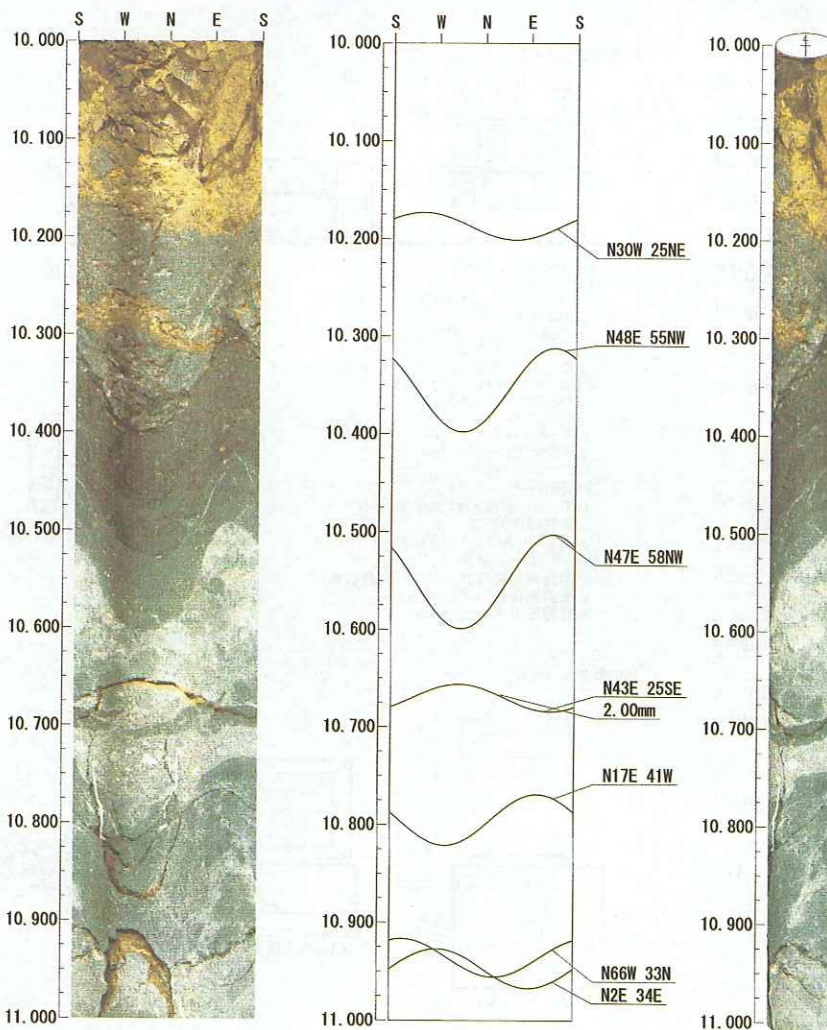


図2 孔壁展開画像と3次元イメージ画像

表示・記録が可能

- (2) 展開画像を3次元のボアホールまたはコアイメージで表現することが可能
- (3) 3次元イメージの視点位置の指定、および自動回転が可能
- (4) 展開画像、3次元イメージおよび解析結果（不連続面の走向・傾斜・開口幅）をまとめて任意のスケールでプリント出力が可能（図2参照）
- (5) 解析結果を統計処理（ステレオネット投影、岩盤の緩み状態図等（図3参照））をプリント出力可能

3. ボアホールカメラの適用性と実績

ボアホールカメラに適する調査としては、一般の地質調査や、構造物調査等が挙げられる。

3.1 一般の地質調査への応用実績

亀裂、層理などの不連続面を含んだ岩盤に構造物を建設する場合や地盤災害の原因特定をする場合に岩盤の性状は重要な情報源となる。また、既存構造物の健全度判定の際も岩盤の状態は重要な情報になることから、ボアホールカメラは有効な調査方法の一つといえる。

① ダムの基礎岩盤調査への応用

ダム建設前の基礎岩盤調査、老朽化ダムの基礎岩盤実地調査、グラウチングの評価等

② 傾斜安定解析のための調査への応用

斜面掘削のための事前調査、斜面崩壊原因調査、地すべり調査等

③ トンネルの地質調査への応用

トンネル計画時の事前調査、トンネル掘削時の切羽前方予測、老朽化トンネルの診断等

④ 大規模地下空洞建設のための地質調査への応用

空洞建設計画時の地質調査、掘削に伴う岩盤挙動の確認等

⑤ 地下ダム地点の地質調査への応用

⑥ 地下深部探査、鉞床調査への応用

3.2 構造物調査への応用

既存構造物自体の老朽化や破損状況を見る場合も原位置での状態を見ることができるボアホールカメラは有効な調査方法の一つといえる。

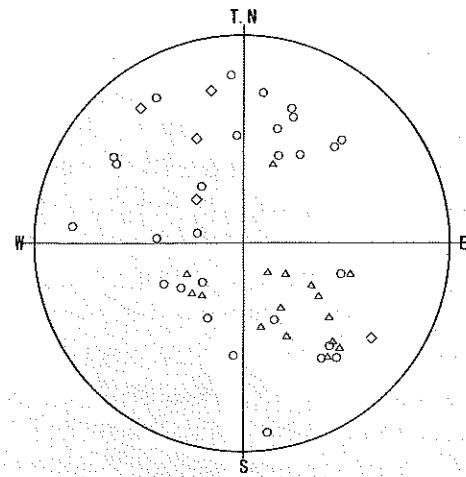
① 井戸構造の点検への応用

② 地中基礎構の点検への応用

③ 道路路床の点検への応用

④ コンクリート構造物の点検への応用

このようにボアホールカメラは、開発当



ステレオネットコンター図

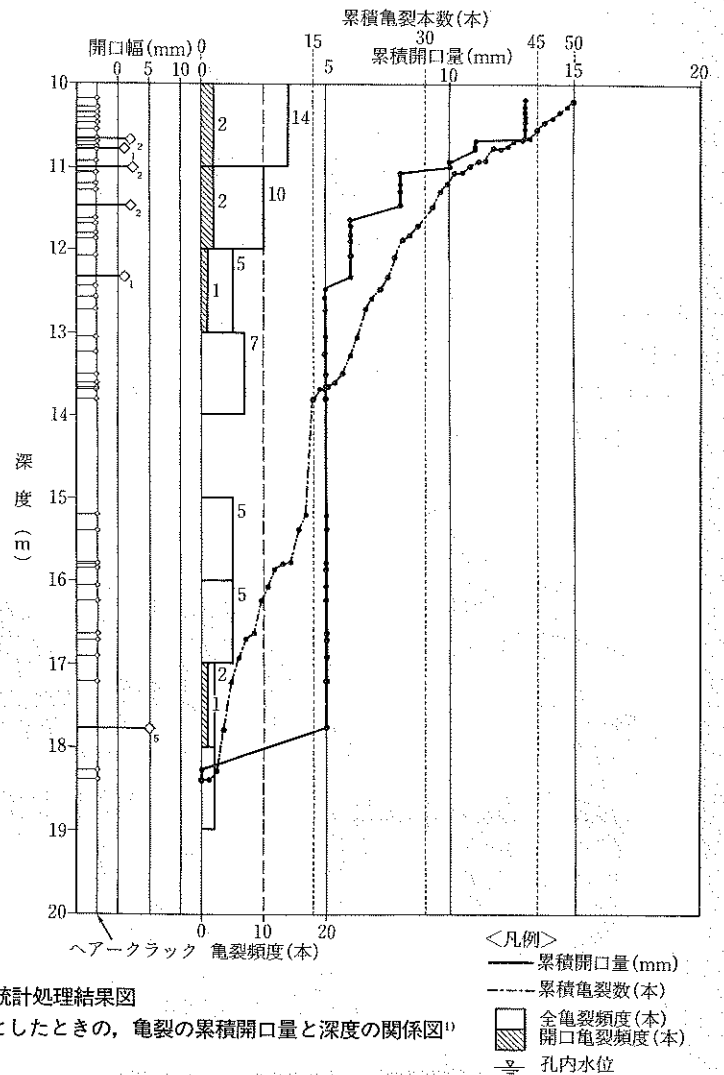
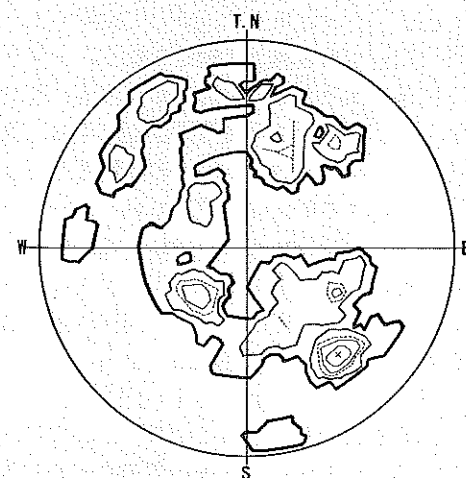


図3 統計処理結果図

* 岩盤緩み状態図：任意の深度を基準点としたときの、亀裂の累積開口量と深度の関係図

初は主にダムなどの基礎岩盤調査のニーズに対応して開発されたのであったが、最近では防災対策や断層の確認、路盤等の空洞調査、古井戸のストレーナ管の確認など、「見る」という視覚に訴える調査方法の適用範囲が広がってきている。

4. 孔壁画像を用いた新解析技術

前述したように、コンピュータ技術の進歩とともに、その能力および適用範囲を進化させてきたボアホールカメラをさらに進化させるべく、現在研究中の孔壁画像を用いた新解析技術について以下に述べる。

現在、金子氏はBIPシステムを用いて、次の2点について新しい画像認識方法を研究している。

- (1) ステレオ画像による距離計測手法^{2),3)}
- (2) 岩質自動判定を旨とした画像パターン認識手法²⁾

以下に各手法の概略を述べる。

4.1 ステレオ画像計測手法

今日まで孔壁の定量的計測（ボーリング孔の広がり）はキャリパーによる接触計測が一般的に行われているが、その分解能は低く、このため孔壁面の精密な3次元形状計測

手法確立の必要性が高まってきている。

この手法は筆者らが開発した、単一 CCD カメラとシートプリズムを組み合わせて得られる3D画像^{4),5)}を利用して、孔壁面の定量的計測を試みる手法である。

3D画像として観察する記録装置本体の構造はBIPシステムをベースとして、これに光路を変更させて視差を得るための光学要素としての円筒状シートプリズムを組み合わせている。シートプリズムは微小な三角柱を平面に並べた構造をなし、光線を一定方向に屈折させることができる。このシートプリズムを2個用い、光学特性を逆にするため各々のシートプリズムを逆向きに設置する。観測時には、点P(t)は上側のシートプリズム（左眼用）を通り観測される（図4参照）。T時間後に、下側のシートプリズム（右眼用）を通して同じ点P(t+T)が観測される。このとき、点Pを通る孔壁上で視差角 2γ をなす1組の実体視画像が得られる。

上記の手法で得られた1組の孔壁実体画像において、孔壁上に想定された点Pは、左右の展開画像上において水平位置で同一位置に表示される。仮に物体が孔壁の凹部にある場合（点P'）は、展開画像における点P'の表示位置は左眼用画像はより左に、右眼用画像ではより右に移動するため、視差角が小さくなり物体は遠方に見え、立体感が発生

する。このとき、孔壁までの距離 R は次式で表わされる。

$$R = r[\{\sin \beta / \tan(\alpha - \beta)\} + \cos \beta]$$

r : シートプリズムの半径

α : シートプリズムの屈折角

β : スキャン進行角

したがって、標準孔径の孔壁上のスキャン進行角 β に対して、凹凸部のスキャン進行角 β' の相対差 ($\beta - \beta'$) を求めることによって、凹凸をなす孔壁までの距離を求めることができる。

以上の手法をコンピュータ上で、自動計測させた結果を図6に示す。

孔壁の実体視が可能になったことにより、岩盤中の空洞の大きさ、および多孔質岩盤の空隙量の見積もりや、孔壁

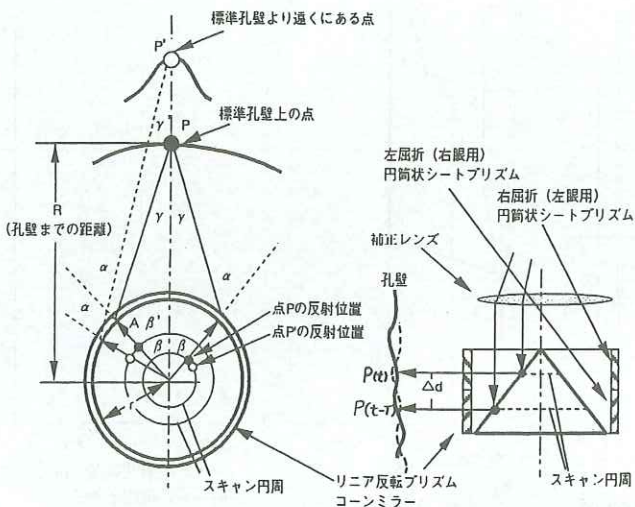


図4 反転シートプリズムを用いた実体画像の作成

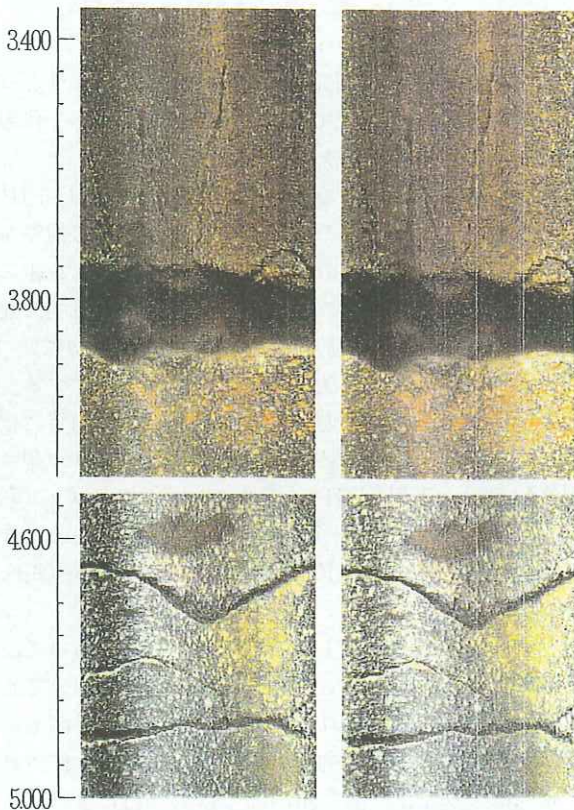


図5 反転シートプリズムを通した実体視展開画像

に現われるせん断や変形を定量的に把握することで、岩盤応力状態の推定など多岐にわたり利用が考えられる。

4.2 岩質自動判定を旨とした画像パターン認識手法

将来、ボーリングコアを管理するのに替わり、ノンコアボーリングの孔壁画像でボーリング調査を管理するようになった場合、画像で岩質を判定する必要が生じる。現在でもボーリングコアが流失した場合にボアホールカメラの画像データがあれば、それを参考に岩質を判定している。その際、判定量が少量の場合は、技術者が一つずつ判定できるが、判定量が多くなるとコンピュータによる自動判定の必要性も発生する。しかしながらその種類の豊富さ、多様性、フィールドにおける観測条件の違いなど課題も多い。

ここでは、固有ベクトルによる直交展開などを必要とせずに、識別に有効な組み合わせ特徴量を抽出できる、テスト特徴法を使った画像パターン認識手法について説明する。

テスト特徴法は、学習処理と識別処理からなり、まず学習処理で原特徴空間から派生する局所的かつ識別に有効な組み合わせ特徴（プライムテスト特徴）を生成する。識別処理では、抽出された特徴の各々が単一の識別器のように働き、それぞれに対応する局所的空間において、未知パターンと全ての訓練パターンとを比較する。類似した訓練パターンが検出されると、その訓練パターンの属するクラスにスコアを投票する。このような投票処理を全ての局所的識別器が行い、最多得票を得たクラスを識別結果とする。

上記の手法により、Letter データセット (図7参照) に対して画像パターン認識を行った。実験の結果、認識率は、97.18%と高い値を示した。それに対し線形識別法での認識率は56.20%と非常に低い値となり、Letter データセットのような特徴空間における分布が込み入った場合は、テスト特徴法が有効であることが確認された。

実際の岩質判定に有効と考えられる画像特徴としては、

- ・ 明度分布

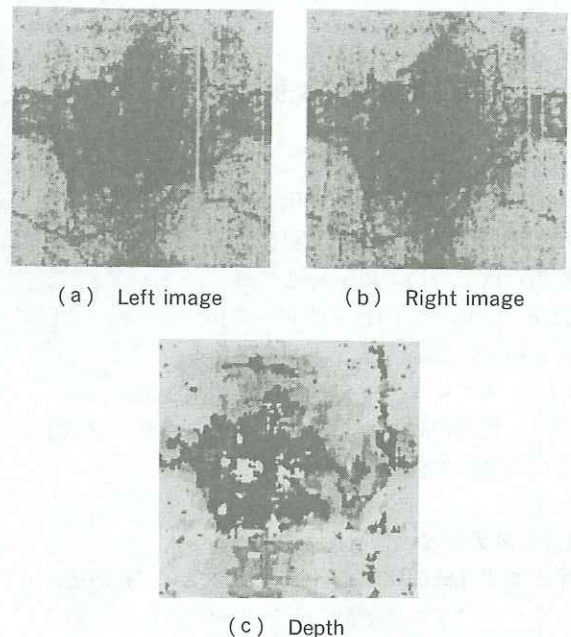


図6 コンピュータによる凹凸自動計測結果

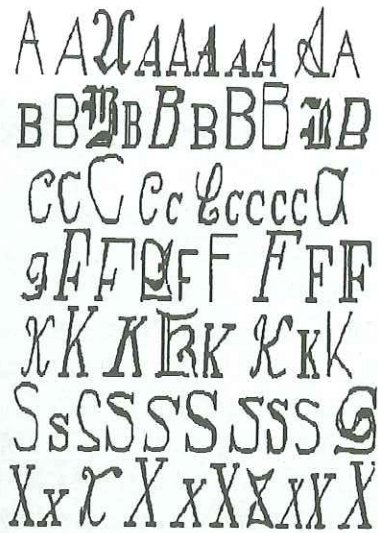


図7 Letter データセットの文字画像の一部

- ・組織構造
- ・色情報

などが考えられるが、予備実験として組織構造に着目し、特徴量は任意の参照位置近傍の K 個の変位に対して定義される明度の積和関数である高次局所自己相関特徴⁶⁾を用いている。

実験の結果、岩種によってはやや誤認識が認められるものの、全体的には概ね認識していると判断される(図8参照)。まだ実験例が少なく、系統的な評価をするには至っていないが、組織構造のみを用いた判定では90%程度の認識率と思われ、明度分布や色情報を加えればさらに認識率は向上するものと考えられる。

5. ボアホールカメラの電子化

ボアホールカメラは展開画像作成や解析データ集作成のため、開発当初から電子化を念頭に置いて開発されており、報告書など成果物の電子化にすでに即応できる状況にある。最近では孔壁展開画像をプリント出力したものを添付するのとは別に、孔壁画像データおよび解析結果を、MOディスクやCD-ROMに納め、電子納品することが多く行われてきている。このことは、将来、書類としての報告書や、全てのボーリングコアを保管する場所が不必要となるであろうことを示唆し、成果品の品質劣化の心配もなくなる。またコアの見直しという作業に関していえば、今までは、いちいちコア箱を開けて作業する必要が生じているが、デジタルデータとして保存しておけば必要な情報を容易に引き出すことができる。

しかし、ボアホールカメラの電子化にも問題がないわけではない。現在、孔壁画像展開装置は構造の違うものが数種類開発されており、それぞれ独自の画像および解析データフォーマットを採用している。つまり各々のデータには



図8 岩質判定実験結果

全く互換性がないのが現状である。今後さらなる電子化が進み、誰でもその情報を利用できるようにするためには、それらデータのフォーマットを統一する必要性が生じる。データフォーマットが統一されれば、データ収録時の機種が異なっても同じ方法で情報を見ることができ、また、解析が可能となる。最近では、成果品として提出する文章フォーマットも指定される(PDF形式等)が多くなってきていることを考えると、近い将来、ボアホールカメラのデータフォーマットも統一する必要性が出てくることが考えられる。

最後に、ボアホールカメラは他の検層システムとは異なり、画像を扱う特殊な調査手法であるため、その結果からは直接工学的な値は得られない。しかし、画像の中には、まだまだたくさんの情報があると考えられ、今後さらに新しい技術の開発により、それらの情報を引き出し、有効に使えるようになることが期待される。

参考文献

- 1) 国分秀彦：開口亀裂の観察に基づく硬質岩盤の緩み評価 北海道応用地学合同研究論文集, No. 3, 92-97, 1992.
- 2) 金子俊一：画像認識のフィールドパターン計測への応用, 第1回BIPS技術フォーラム講演集, 14-17, 2000. 11. 17.
- 3) 金子俊一・村瀬一郎・五十嵐悟・亀和田俊一：増分符号相関による孔壁3次元形状のステレオ画像計測, 精密工学会誌, vol. 66, no. 11, 2000.
- 4) 公開特許広報：孔壁全周の立体画像の撮影及び作成方法並びに立体視用プリズムとその装置, 特開平7-168124 (公開日平成7年7月4日).
- 5) 亀和田俊一・牛渡聡・金内正直：ボーリング孔壁の実体視展開画像観察記録装置の開発, 日本応用地質学会平成8年度研究発表会講演論文集, 33~, 1996.
- 6) 大津・栗田・関田：パターン認識—理論と応用—, 朝倉書店, 1986.