

## 「地盤の可視化」を目指して30年



随筆

松井保\*

Thirty Years with an Intensive View for “Visualization of Ground”

Key Words : Geoinformatics database, Geophysical prospecting, Geotechnical engineering, Visualization of ground

### はじめに

筆者が地盤工学（土質力学）に係わり始めたのは学生時代であり、それ以来60年近くにもなる。その中で30年ほど前から、地球の表層を形成する土や岩のような自然材料を対象とする地盤工学がさらに発展するためには、地盤特性の同定手法のレベル向上が不可欠であることを指摘してきた。理由は、地盤工学における実際の現象へのアプローチ手法の中で、地盤調査手法の信頼性のレベルが解析手法、実験手法、現場計測手法に比して相対的に低いからである（それなりの理由はあるが・・・）。さらに、計画、設計、施工の流れの中で横糸の役目を果たす地盤調査分野の発展のためには、地盤の可視化と同定に係る物理探査および地盤情報データベースの必要性・重要性を指摘してきた<sup>1)</sup>。前者は比抵抗や弾性波速度などによる「高密度物理探査」の土木分野へのルーチン化であり、後者は地域ごとに高度な地盤情報を提供できる系統的なシステムづくりである。ちなみに、「地盤の可視化」という用語を初めて用いたのは筆者であり、単に地盤情報の分布を表示するだけでなく、地盤情報の信頼性向上も暗に含めたつもりである。

30年ほど前の土木分野における物理探査の利活用に関しては、電気探査は精度が悪いとされ、ほとんど利活用されておらず、弾性波探査はトモグラフ

ィ解析が未開発で、信頼性に課題がある状況にあった。また、地盤情報データベースに関しては、アナログデータのものがあったが、世界的に見てもデジタルデータに基づく系統的で本格的な地盤情報データベースは構築されていなかった。

爾来、筆者はこの約30年の間、地盤の可視化技術に関する研究に関わるとともに、いくつかの研究会・委員会の活動に主導的役割を果たしてきた。本稿では、地盤の可視化を目指した約30年の経緯の概要と現状とともに、「地盤の可視化」に基づく地盤調査手法の今後について述べることにする。

### 地盤の可視化と可視化手法の特長

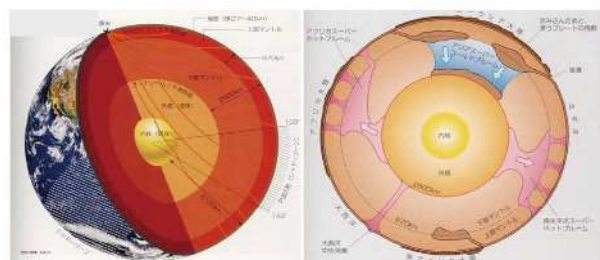
図-1(a)および(b)は、それぞれ誰も見たことのない地球およびマンツルの内部構造を示す地球の可視化である。いずれも地球内部を伝わる多数の地震波データを用いた解析結果に基づいて想定されている。

しからば、地盤とは地球のどの部分を指すのであろうか。地下において人が活動する範囲を地盤と定義すれば、たかだか地下1万mまでである（ほとんどの活動は地下100mにも満たない）。地球をりんごに例えれば、地盤は0.2mm程度の薄皮の部分である。したがって、地盤の可視化においては、地球の可視化より高い精度が必要であることは想像に難くない。



\* Tamotsu MATSUI

1940年8月生まれ  
大阪大学工学部構築工学科（1963年）  
現在、一般財団法人 災害科学研究所  
理事長 大阪大学名誉教授 工学博士  
地盤工学  
TEL : 06-6202-5602  
FAX : 06-6202-5603  
E-mail : t-matsui@csi.or.jp



(a) 地球の内部構造

(b) マンツルの内部構造  
(ブルームテクトニクス)

図-1 地球の可視化

地盤の可視化手法の主なものは、物理探査（比抵抗高密度探査、弾性波探査など）および地盤情報データベースである。比抵抗高密度探査と弾性波探査は、それぞれ地盤材料の間隙部（軟弱部）と実体部（固体部）の特性が反映されるので、互いに競合するものではなく補完関係にある。したがって、両探査法を用いる複合探査は信頼性向上に有用である。また、物理探査はデータの連続性に勝れているが、精度は比較的低い。一方、地盤情報データベース（ボーリング）はデータが不連続で、コストは比較的高いが、精度はよい。したがって、両手法の特長を生かした地盤調査をすることが効果的である。

### 物理探査のトンネル調査への活用（経緯）

筆者は、1984年からトンネル工学の授業を担当した。ご記憶の方もおられるかと思うが、1985年に生駒トンネル工事（現近鉄けいはんな線）で陥没事故が発生し、その事故調査委員会の委員として事故原因究明に係わった。このような経緯もあって、1987年に金剛山と葛城山の間にある水越峠付近を通る水越トンネルの技術委員会委員長を拝命した。このトンネルは、断層の間を縫うように建設するもので、特に地下水状況の調査が必要であった。既存の調査法で有効な方法が見当たらなかったが、高密度に測定した比抵抗データを基にコンピュータを使って最適解を求める方法（比抵抗高密度探査）と巡り会った。当時、電気探査は精度が悪いというのが定説であり、まずその信頼性をトンネル横断面で検証した。図-2に示すように、4箇所の高比抵抗帯が予め調査されていた断層位置とよく一致したので、水越トンネルの縦断面に初めて適用し、その有用性を確認した。

その後も、新玉手山トンネルや伯母谷トンネルなどに適用したが、非常によい結果が得られた。新玉手山トンネルは大阪教育大学キャンパス下を通る近鉄大阪線のトンネルで、図-3はその比抵抗による可視化断面と地山評価の結果である。比抵抗高密度探査結果とトンネル掘削時の地山評価がよく一致していることが分かる。また、大台ヶ原に向かう国道169号線において、連続した5トンネルの間にループ橋がかかる所をご存知だろうか。その内の一つが伯母谷トンネルである。この道路線形は、筆者が委員長の技術委員会において、地盤情報を熟知した

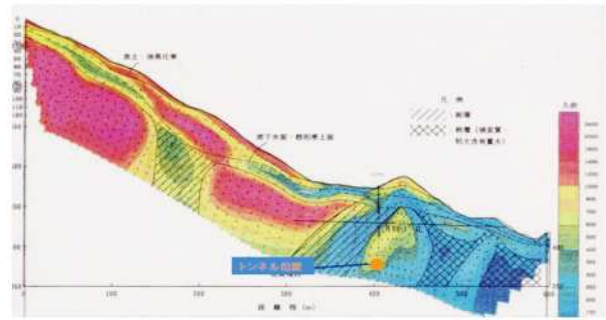


図-2 水越トンネルにおける比抵抗高密度探査結果

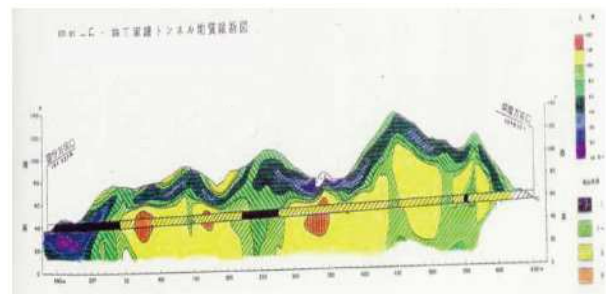


図-3 新玉手山トンネルにおける比抵抗高密度探査結果と施工時の地山評価結果

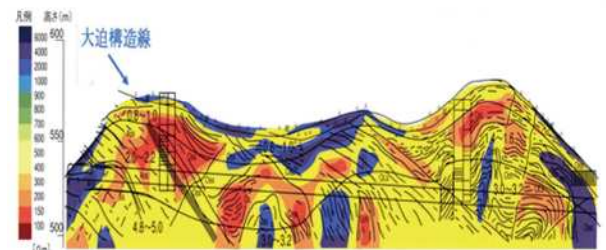


図-4 伯母谷トンネルにおける比抵抗高密度探査結果

上で26通りのルートから最適ルートを選定したものである。ユニークな所であるので、機会があれば走行していただきたい。図-4は、伯母谷トンネルの比抵抗による可視化断面である。このデータに基づいて、中央構造線の一部と考えられる大迫構造線の存在が予想されたが、実施工では予想通りの位置で筆者自身が断層に立ち会えたのは、忘れられない思い出である。

### 物理探査による地盤の可視化研究

上記のような背景の下で、1992年にトンネル地盤の可視化技術の確立を目標に、災害科学研究所トンネル調査研究会（委員長：筆者）を発足させ、比抵抗高密度探査による地盤の可視化に焦点を当てて、その適用性・有用性について研究・検討を進めた。27年目を迎える現在も継続している。この研究会の委員構成は、地質学、資源工学（物理探査）、地

盤工学の3分野にわたるとともに、所属機関が大学、発注機関、ゼネコン、コンサル、地盤調査会社と多様である。このことは、それぞれの“常識”が少しずつ違うので、研究会としてのマネジメントが難しくなる。このような困難さを乗り越えて、ようやく研究成果を「地盤の可視化と探査技術－比抵抗高密度探査法の実例」<sup>2)</sup>として出版し(図-5)、比抵抗高密度探査の活用の普及に努めた。

その後、この書籍の寄与もあって、比抵抗高密度探査の有用性が広く認知されてきたので、次の目標として、弾性波探査(トモグラフィ解析を含む)など他の物理探査手法も用いた複合探査の実用化を目指し、その成果を「地盤の可視化技術と評価法」<sup>3)</sup>として出版した(図-5)。さらに、山岳トンネル建設事業の効率的な推進に役立つように、「複合探査」と「切羽前方探査」に焦点を当てて、上記2書の内容も含めて集大成し、「トンネル技術者のための地盤調査と地山評価」<sup>4)</sup>を出版した(図-5)。この発刊に伴う講習会を札幌、東京、大阪、博多で実施し、それぞれ約90～120名の参加者を得て、好評を博した。リニア新幹線を初め多くのトンネルが施工されている現在、トンネル技術の発展に少なからず寄与していると自負している。

### 関西圏地盤情報データベース構築の経緯

地盤情報データベースに関しては、1984年に土質工学会(現地盤工学会)関西支部に大阪湾海底地盤の研究委員会(委員長:赤井浩一)が発足し、筆者がコントロールタワーの役割を任せられ、海底地盤の研究推進には多機関からのデータ収集とデータベース構築が不可欠であると考えた。しかし、データベースの構築までには多くのバリエーションが存在した。

まず、ボーリングデータとともに、データベース構築のための経費提供を発注機関にお願いしても、当初はよい返事が得られなかった。主な理由は、ボーリングデータを公開すると、それを基に既存のプロジェクトにクレームがつく恐れがあるというものであった。地盤調査会社からは我々の仕事が減少するとか、研究者からは間違っただデータを多くの技術者に使わすことになる恐れがあるなどとクレームがついた。また、データベース構造のフォーマット等の選定は、技術的進歩にもフォローできるものでなければならぬという課題もあった。理由は、一旦選定すれば、途中での変更は多大の労力が伴うからである。これらの懸念には、然るべき対応をとるとともに、データベース構築が社会のためになることを粘り強く説明し、技術的進歩にもフォローできると思われる大阪湾地盤情報データベースを構築した。ここに、関西圏地盤情報データベースの礎が築かれたと言っても過言ではない。

その後の経過は、図-6に示すように、大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会を経て、大阪湾地盤情報の活用協議会(ともに委員長:筆者)へと発展した。このような委員会から協議会への移行は、地盤工学会関西支部所属の委員会では、一貫した方針での運営が継続できないという不都合に直面し、苦慮した末に主だった発注機関がすべて参加する協議会方式としたことに起因している。その後、陸域の地盤情報データベースを扱ってきた関西地盤情報活用協議会(委員長:足立紀尚)と合体し、関西圏地盤情報の活用協議会(委員長:筆者)が発足し、関西圏地盤情報データベースとして統合された。その後2005年に、国交省近畿地整が防災検討における地盤情報データベースの有用性を認識して本格



図-5 トンネル調査研究会の出版書籍

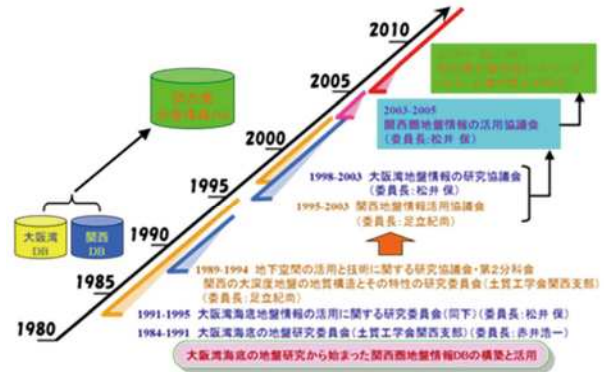


図-6 関西圏地盤情報データベースの系譜

的に参加することになった。しかし、国の機関としての制約もあったので、筆者がアイデア提供とともに主導することにより、組織連携方式として協議会 (KG-C)、DB 運営機構 (KG-A)、地盤研究会 (KG-R) からなる関西圏地盤情報ネットワーク (KG-NET) として改組し、現在に至るまで非常に良好に機能している<sup>5)</sup>。KG-NET では、筆者は当初は副会長、2007 年まで KG-R の委員長を務め、現在は顧問である。

### 関西圏地盤情報データベースの現状

関西圏地盤情報データベースは、図-7 に示すように、現在約 6.6 万本のボーリングデータと各種地盤調査データから構成されており、上記の関西圏地盤情報ネットワーク (KG-A) により運用されており、これまでに活発な種々の研究活動 (KG-R) が行われてきた。当初からは数多くの書籍を出版しているが、最近の数年間では、例えば新関西地盤シリーズとして、京都盆地、大阪平野から大阪湾、和歌山平野、近江盆地、奈良盆地を出版している。関西圏地盤情報データベースは、これらの成果を活用しつつ、

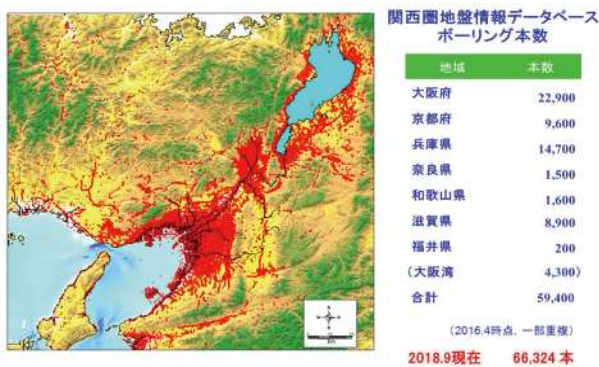


図-7 地盤情報データの分布

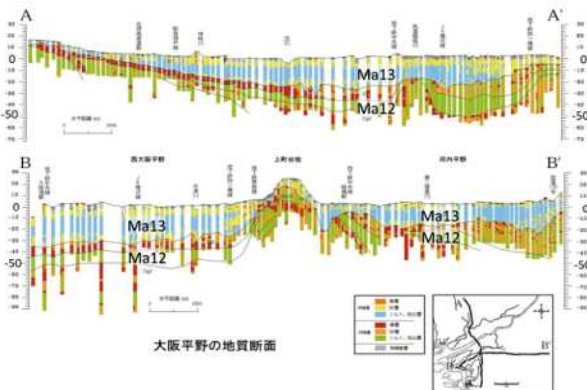


図-8 大阪平野中央の地層断面 (断面の可視化)

関西圏域で広く活用されている。

例えば、図-8 の上図は大阪平野中央の南北断面 (阪神高速池田線・堺線沿い)、下図は東西断面 (中央大通り沿い) を可視化したものである。図-9 は、1995 年の阪神淡路大震災における液状化について、地盤情報データベースを用いて解析した液状化危険地域の可視化である。実際の液状化地点の分布と類似の結果が得られている。また筆者は、関西国際空港島や神戸空港島建設の技術委員会の委員長・委員として参画してきたが、これらの人工島の沈下予測にも、地盤情報データベースが活用されている。図-10 は、関西国際空港島の地盤情報データベースに基づく 3 次元地盤構成を示している。軟弱層が厚く、非常に複雑な地層構成であり、ここには表示していないが、花崗岩の基盤は約 1.3 km の深さにある。

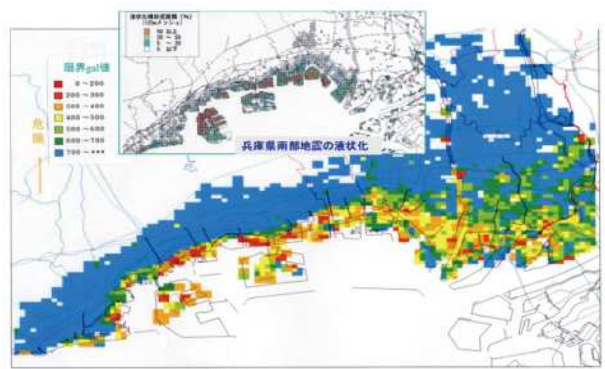


図-9 地盤情報 DB を用いた液状化危険地域の予測

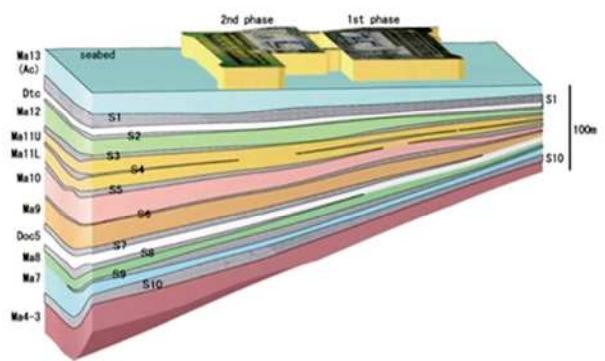


図-10 関西国際空港島の 3 次元地盤構成

### 地盤の可視化の将来

「地盤の可視化」を目指して約 30 年を経た現在、土木分野における「高密度物理探査」の現状については、当初に比して隔世の感があり、土木分野では広く活用されるようになってきた。とはいえ、発注機関の地盤調査マニュアルが、すべての調査を一

度に行うという旧来の域を出ておらず、これまでの成果が十分生かし切れていないように感じている。そこで以下では、効果的に精度の高い地盤の可視化と同定を目指す地盤調査に関する2つの提言について述べることにする。

第1には、2ステップ地盤調査、すなわち図-11に示すように、地盤調査を2段階で行うことを基本とすることを提言する。第1ステップでは、空中電磁探査や物理探査を主体として、連続的で広域3次元の地盤情報に基づいて、地盤の複雑箇所を抽出し、第2ステップでは、その複雑箇所に対して重点的に詳細な調査を行い、全体として総合的に判断すれば、効果的に精度の高い地盤評価が得られることになる。このような2ステップ地盤調査は、少なくとも重要なプロジェクトでは必ず実施すべきであろう。図-12は、空中電磁探査による比抵抗の3次元分布の一例を示している。任意断面の比抵抗分布が得られることが理解できよう。

第2には、プロジェクトを企画立案・決定する際には、“地盤情報主導型プランニング”を実施することを提言する。例えば、道路のルート決定の際には、通常、詳細な地盤調査が行われずに、社会的、政治的などの条件を主にして計画立案・決定される。その結果、設計・施工に際して詳細な地盤調査を実施し、複雑で問題の大きい地層に遭遇することが分かっても、既に都市計画決定がなされた後では、ルート変更が困難な場合がほとんどであり、効率性も経済性もよくない結果に至る。今後は、社会的、政治的などの条件のみならず、地盤情報を考慮して計画立案・決定をすべきである。

このような“地盤情報主導型プランニング”は、決して不可能なものではなく、筆者が技術委員会委員長を務めた、先述の水越トンネルや伯母谷トンネルとともに、新御堂筋の北端にある箕面グリーンロードトンネルでの実績がある。図-13はそのトンネルにおける比抵抗高密度探査の3次元表示であるが、最短距離の西ルートは箕面の滝や箕面川ダムに近くかつ低比抵抗領域（地盤は比較的悪い）にある一方で、トンネル延長が長くなる東ルートは高比抵抗領域（地盤は比較的良い）を通るので、最終的に地盤条件を考慮するとともに、箕面の猿の生息域を外した東ルートを選定した。このトンネルを通られた方はお分かりだと思うが、このトンネルの途中に

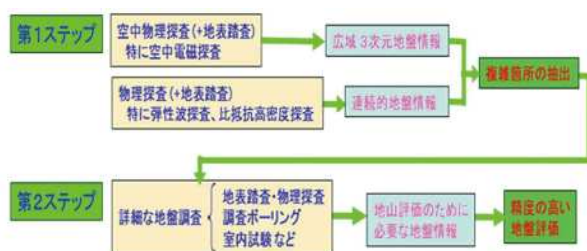


図-11 2ステップ地盤調査のフロー

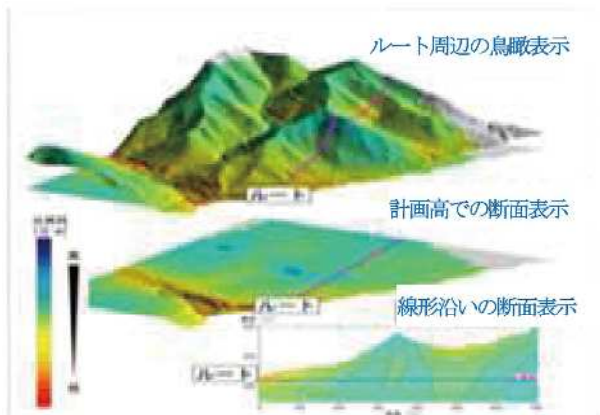


図-12 空中電磁探査による3次元比抵抗分布の例

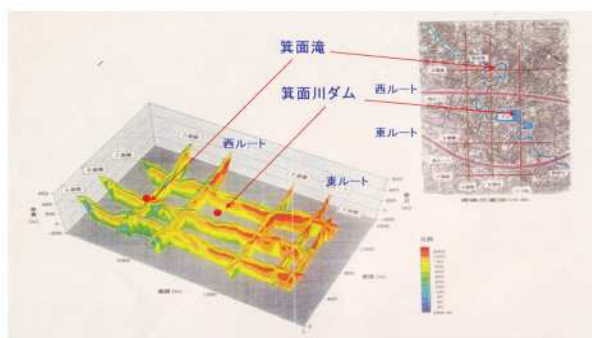


図-13 箕面グリーンロードトンネルにおける3次元表示の比抵抗高密度探査

大きなカーブが入っているのはこのためである。

関西圏地盤情報データベースは理想形にかなり近づいており、世界的に見て先駆的に実用に供されているのは、画期的であろう。最近、全国の地盤情報データベースを構築する試みが国主導で始められている。長期的には、市販されている全国の地図や地質図のように、国家事業として全国の地盤情報データベースを完備すべきであろう。その際には、全国一元的ではなく、地盤特有の地域性を生かせる系統的なシステムを構築することが肝要である。さらに、超長期的には、空中物理探査データで全国土をカバーした地盤情報データベースが構築されることを夢見ている。

参考文献

- 1) 松井 保：「巨大化する地盤工学」，論説，土と基礎，pp.1-2 (1994).
- 2) トンネル調査研究会：「地盤の可視化と探査技術—比抵抗高密度探査法の実際」，鹿島出版，pp.187 (2001).
- 3) トンネル調査研究会：「地盤の可視化技術と評価法」，鹿島出版会，pp.207 (2009).
- 4) トンネル調査研究会：「トンネル技術者のための地盤調査と地山評価」，鹿島出版会，pp.255 (2017).
- 5) 松井 保：「地盤の可視化技術と地盤情報データの活用」，特別論文，阪神高速道路管理技術センター，技報第24号 (2007).

