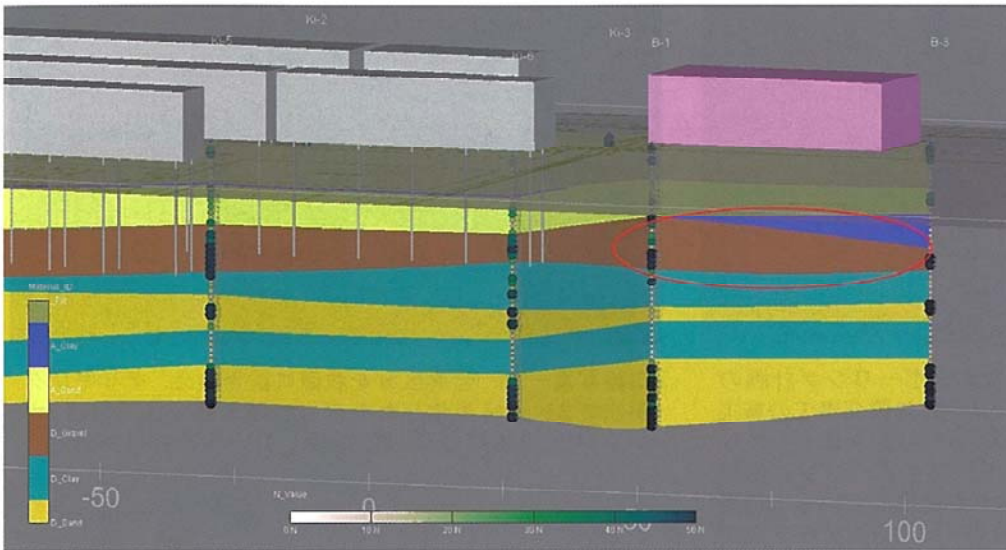


# 地盤情報の共有に寄与する 3次元可視化手法の取り組み

林 義 隆  
太 田 英 将  
美 馬 健 二

## 地盤情報の共有に寄与する3次元可視化手法の取り組み (本文14～17ページ参照)

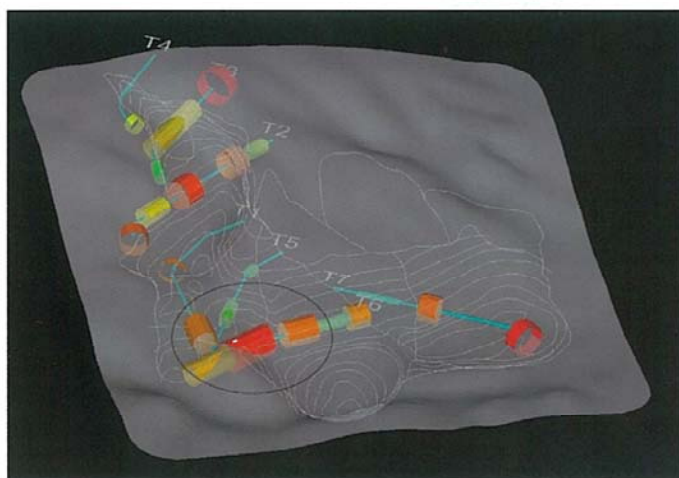
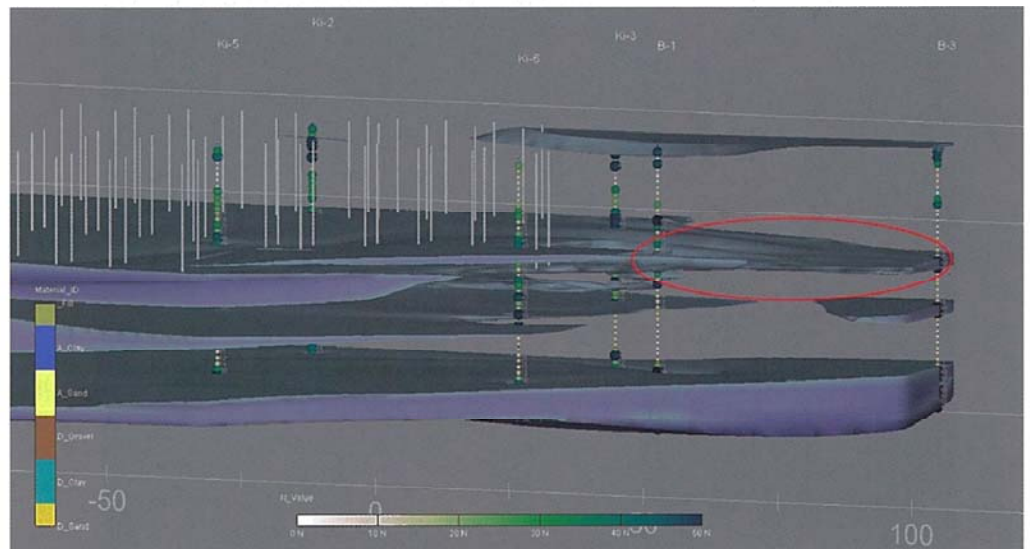


口絵写真—1

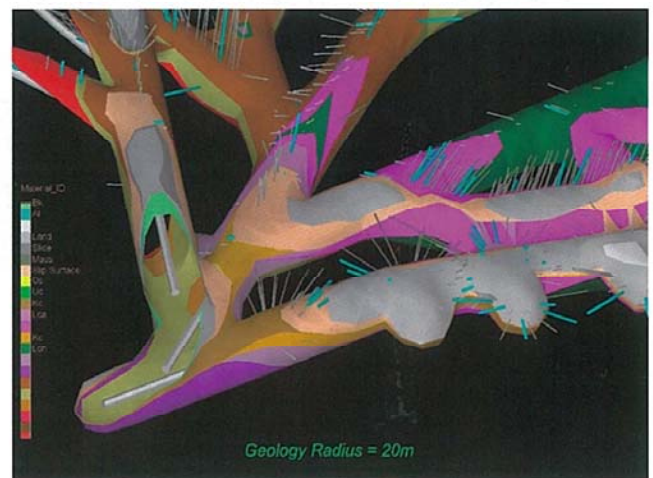
建築物基礎調査結果。地層情報だけをモデル化。ピンクが計画中のビル。茶色の礫層は既設ビル(左灰色)の杭基礎地盤となっている。このため、計画ビルの基礎も地層情報のみを頼れば、茶色の礫層を支持層にできる可能性がある。

口絵写真—2

N値50以上を3次元補間してモデル化。口絵写真—1の礫層位置(赤楕円部分)のN値50以上の空間的な広がりには均一ではなく、計画ビル直下では基礎地盤としては不適である。このように、複数の地盤情報を3次元化して示すことによって、より適切な設計、施工の計画を立てることができた。

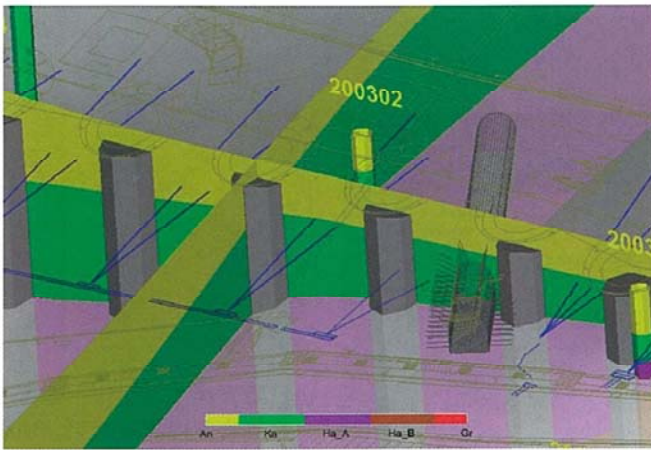


口絵写真—3 大規模地すべり地における排水トンネル内の排水状況を3次元可視化した事例。3日間雨量172.5mm後の状況、排水量をトンネルの色と太さで表現、赤部分は排水量が多い。図ではすべり面等高線も示し、地下水排除対策位置と地すべりのすべり面の関係も把握できるようにしている。

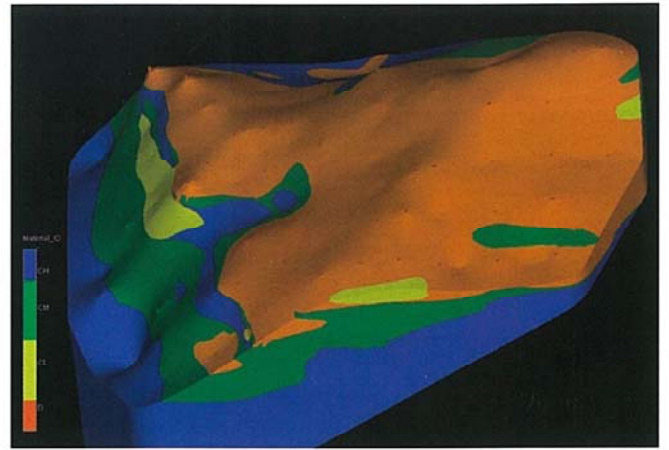


口絵写真—4 排水トンネル(灰色の線分)から半径20mの地質状況図。集水ボーリング(灰色と水色の針状の突起)による地下水排除は、すべり面を貫き地すべり土塊(灰色および肌色)に到達している部分に効果がある(表示範囲は口絵写真—3の黒楕円の部分)。

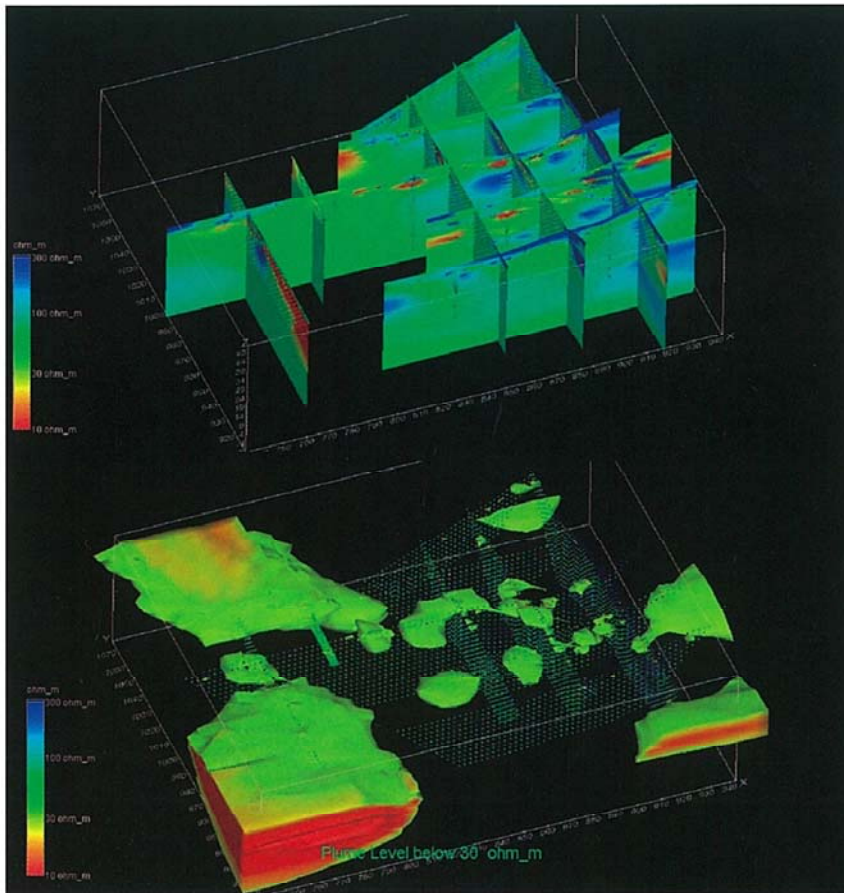




口絵写真一五 地すべり地での集水ボーリング計画の事例。深層すべり(断面図緑色の地層)対策深礎工の施工に先立ち、浅層すべり(断面図黄色の地層)対策として地表からの集水ボーリングを計画。集水ボーリングは深礎杭の杭間に打設し、浅層すべりが発生している土砂層(断面図黄色)下底のすべり面を貫くよう3次元モデルで計画を検討。

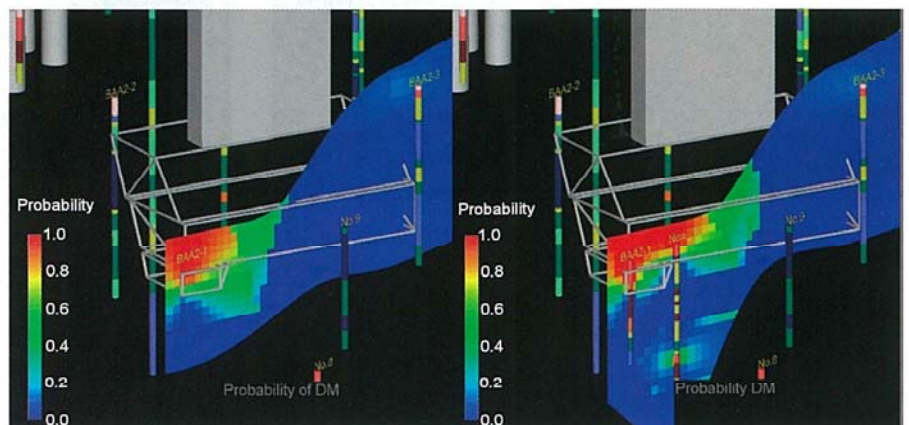


口絵写真一六 岩盤区分を数値に置き換え、クリギング手法で3次元可視化したモデル。離散値であるD級(オレンジ色)とCM級(緑色)が接していることに注意。



口絵写真一七 複数の電気探査結果(図上)を統合して3次元モデル(図下)を構築(比抵抗 30Ωm以下を表示した例)。

口絵写真一八 インジケータクリギング手法による岩級区分可視化の応用例。DM級の岩盤が存在する確率(Probability)を示した図。左が追加調査前、右が調査後。調査によって問題箇所DM級岩盤の存在可能性は非常に小さくなり、工事中の変更リスクが少ない、経済的な施工が期待できるようになった。



## 地盤情報の共有に寄与する 3次元可視化手法の取り組み

Study of Three-dimensional Visualization Technique for Making a Contribution to Civil Engineering Information Sharing

林 義隆 (はやし よしたか)  
(株)太田ジオリサーチ

太田 英将 (おおた ひでまさ)  
(株)太田ジオリサーチ

美馬 健二 (みま けんじ)  
(株)太田ジオリサーチ

### 1. はじめに

地盤調査の情報は、CALS/ECが発展した現在でも、2次元情報が主流となっている。本論では、そもそも3次元的な広がりを持つ地盤情報を3次元可視化して、調査→設計→施工の各段階で有効に利用できるような仕組みについて取り組んだ事例を紹介する。

### 2. 地盤情報可視化の事例

以下は、筆者らが探鉱開発用に作成された地盤情報可視化システム (Mining Visualization System) を利用して、調査・設計・施工段階やクライアントとのコミュニケーションを図った事例である。

#### 2.1 建築基礎設計における事例

##### (1) ビルディングの基礎地盤調査

口絵写真—1は既設ビルディング地下の情報がわかっており、これら情報と新規建築するビルディングの地盤調査情報を併せて3次元モデルを作成したものである。

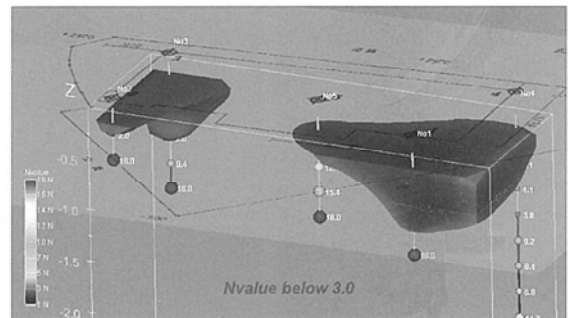
図では既設ビル(灰色)の基礎杭が茶色の礫層まで根入れされていることが読み取れる。

計画ビル(ピンク)の基礎も当然茶色の礫層におかれることが予想される。しかし、地層の分布状況だけでなく、他の地盤情報(この場合N値)も3次元化し、その分布を見てみると、基礎杭の支持層として必要なN値50以上を示す地下空間は、計画ビル付近では非常に薄くなっており、より深い地層を基礎地盤とする必要があることが判明した(口絵写真—2)。

このように複数の地盤情報を2次元の図面のみでなく3次元化して空間分布をビジュアルに示すことにより、直感的に理解しやすく、しかも合理的な調査に資する情報の共有に寄与できたと考えられる。

##### (2) 戸建住宅の宅地地盤調査

図—1は宅地地盤のスウェーデン式サウンディング結果を3次元表現し、調査結果を施主に報告する場合の手法として用いた事例である。図のように地盤の硬軟を3次元化して示すことにより、普段土質工学や建築に無縁な施工主に対して、自分の購入した土地の地下状況についてより理解を深めてもらうことができる。



図—1 換算N値3以下の脆弱な部分のみ表示

#### 2.2 防災における事例

##### (1) 地すべり地の排水トンネル排出量の評価

口絵写真—3は大規模な地すべり地における排水トンネル内部の降雨直後の排水量を示したものである<sup>1)</sup>。また、口絵写真—4は排水トンネル周辺の地質状況をトンネル中心から等距離の断面で表示したものである<sup>2)</sup>。これによれば排水量が多く、地すべり抑制効果の高い区間は、①すべり面が谷状になって、不圧地下水の流れ道になっている箇所。②集水ボーリングが確実にすべり面を貫き地すべり土塊に到達している箇所、の二つのファクターが関係していることが判明した。この情報を基に、集水ボーリングの追加工事箇所や、ボーリング工の洗浄作業等メンテナンスの優先順位付けを計画することができた。

##### (2) 集水ボーリングの設計

口絵写真—5は深礎杭が計画されている箇所で、施工中の斜面安定を図るために集水ボーリングの計画を行った事例である<sup>2)</sup>。斜面はすでに小規模な浅層の土砂すべりが発生しており、このすべり面を貫き、かつ深礎杭(深層の岩盤すべり対策)に影響を与えない配置が必要であった。現場は既存の排水トンネル坑口(ロックボルト補強)などもあり、施設が入り組んでいるため2次元での設計計画がたてにくく、3次元で検討することによって、施工現場でも手戻りのない計画を立てることができた。

##### (3) 宅地地盤耐震化工事の可視化

図—2は地盤耐震化工事の状況を可視化したものである。

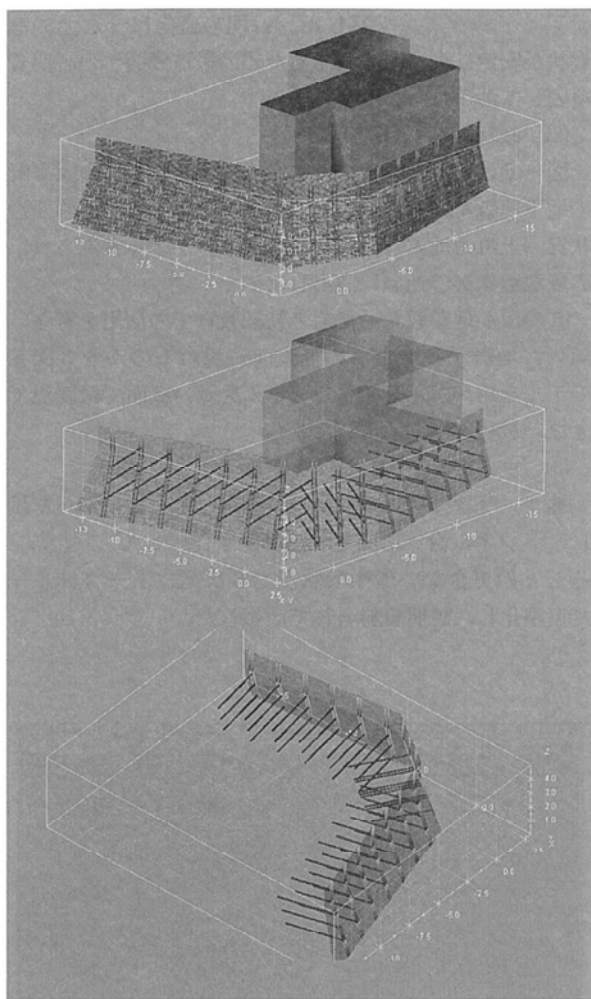


図-2 長さ3.6 mの鋼製有孔パイプを盛土擁壁に打撃圧入し、地盤を補強した状態  
上；建物外観モデル 中；透過モデル 下；建物非表示モデル

宅地は古い造成地にあり、地震時にはブロック積擁壁背後の盛土崩壊が懸念され、排水補強パイプによる地盤補強を行った。補強状況を3次元モデルにして示すことにより、地中の状況が可視化され、施主にわかりやすく示すことができた事例である。

### 2.3 地盤汚染評価における事例

(1) 探査手法の違いにおける地盤汚染範囲の推定  
操車場における hidrocarbon 汚染を例にして、土壌汚染法で行うようなメッシュ法による探査と汚染範囲推定における不確実性をキーとした調査手法による汚染量の相違について3次元可視化した<sup>3)</sup>。

図-3はその一例であり、同じ汚染現場でも、調査手法により汚染範囲の推定が大きく異なることを示す事例となった。

#### (2) シミュレーションへの活用

汚染地盤の状況を3次元可視化するだけでなく、そのデータを用いて、3次元移流拡散ソフトウェアのプレおよびポストモデルとして活用することも可能である。図-4は工場内タンクからの汚染物質漏洩状況をシミュレーションした結果である。その他、六価クロム汚染現

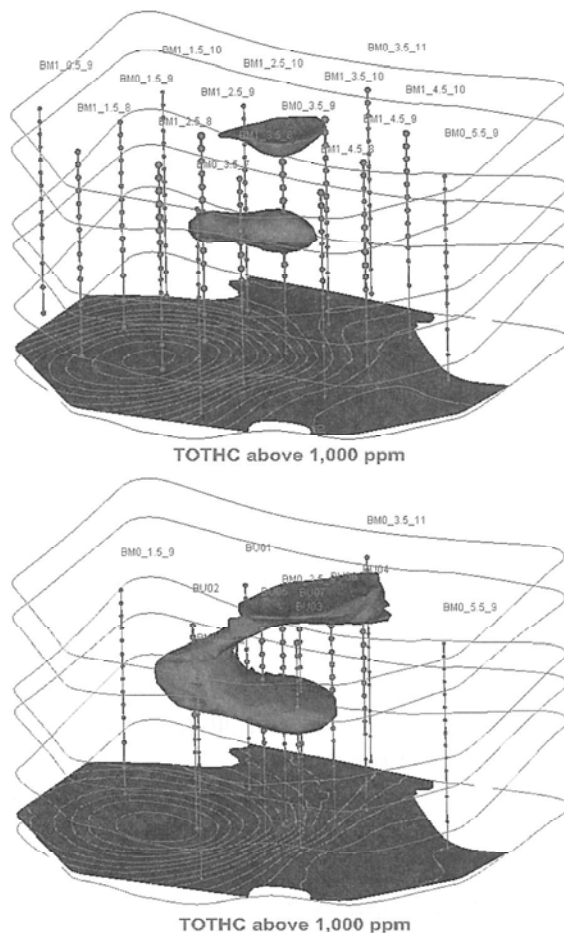


図-3 上はメッシュ法による推定、下は地盤調査の不確実性を指標にした推定。同じ汚染濃度の広がりをも3次元で表示。

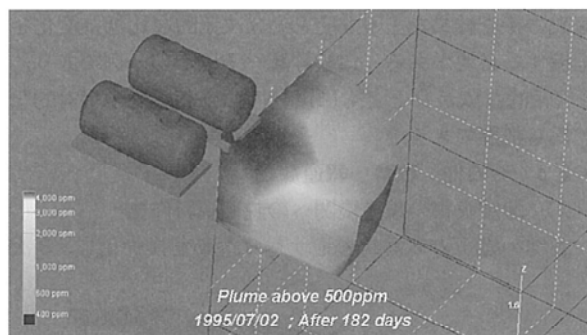


図-4 汚染源のタンクから汚染物質が漏洩し、移動している状況をシミュレーションした結果。

場の浄化用揚水井戸配置計画に利用した事例などがある。

#### (3) 汚染除去状況の可視化

油漏洩のあった地盤の浄化処理に際して、揚水処理による汚染プルームの縮小状況を観測井戸の油層表面標高を基にモデル化した事例がある。プルームの縮小状況が3次元かつ時系列に表現できるため、依頼主への説明に利用された。

#### (4) 揮発性有機化合物の汚染状況の可視化

沖積層への揮発性有機化合物 (VOC) の漏洩、拡散状況について3次元モデル化を行った。VOCは汚染源から離れるに従い、テトラクロロエチレン・トリクロロ



エチレン→cis シクロロエタンと変化しており、それぞれの種類ごとに汚染ブリュームを作成することで、漏洩が不透水性基盤上に時間をかけながら変化・変質し、広範囲に広がって行く状況を示すことができた。

## 2.4 土木工事における事例

### (1) 岩盤分類の3次元補間と可視化

ダムサイトや造成地の岩盤区分を3次元表示した事例を口絵写真-6に示す。

通常の地層区分とは異なり、岩盤区分は不連続的に等級が変化する。例えば、岩盤はD級→CL級→CM級→CH級等のように軟から硬へ次第に変化するのではなく、D級→CM級→D級のように不連続かつ同じ等級が繰り返す場合も少なくない。

これらの不連続的な岩盤区分の評価には、①離散値をそのまま補間できるインジケータクリギングを用いた手法 ②岩盤区分を数値化してクリギングする手法がある。図は後者の手法を用いている。どちらの手法を用いるかはその目的によって異なる。②の手法は岩盤区分の境界がスムーズで視覚的には優れている。一方、①の手法は次章で扱う岩盤のリスク評価に応用可能である。

### (2) 橋脚の基礎地盤

橋脚の基礎となる地盤が傾斜している場合、2次元断面では表現しきれない場合がある。図-5はボーリング調査結果を3次元モデル化し基礎の設計深度を決定するために活用した事例である。

### (3) 広域電気探査結果の3次元補間と可視化

電気探査は線状に実施され、結果は2次元断面で表示されることが多い。トンネルなどの線状構造物はそのままで活用できるが、廃棄物処分場や土地造成などでは複数の探査結果をとりまとめ、3次元的な比抵抗変化を把握する必要がある。口絵写真-7はこの一例であり、3次元的な広がりとともに複数の探査測線間の相対的な差異も把握できる。

## 2.5 その他、教育・報道など

### (1) 地震災害の報道機関への説明資料作成

谷埋め盛土の地震時の地すべり挙動を模式化し、3次

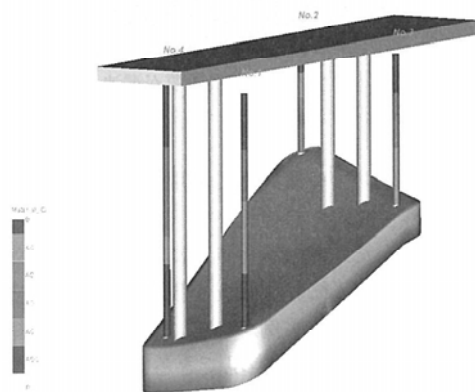


図-5 橋梁基礎地盤調査のため4本のボーリングが実施されたが、それぞれで支持層となる岩盤深度が大きく異なり、断面図のみでは表現が煩雑になったため3次元モデルを作成し、基礎杭の長さを把握した例。

元アニメーションで示した。谷埋め盛土は3次元的な形状が安定に大きく関係するため、報道機関への説明資料として活用した。

### (2) 教材としての利用

図-6は約400本のボーリング柱状図を基に大阪平野の地下地盤をモデル化したものであり、大阪層群の変形状況(上町台地周辺の撓曲構造など)がよく表現され、広域地盤状況の把握に活用した。

このほか地学教育や技術者初期教育での活用を考え、傾いた地層がどのように地表面に現れるのかを3次元モデルを用いて示した例など、2次元の紙面では表現できない教材として活用した。

### (3) ウォークスルーシミュレーション

地すべり地の排水トンネル、抑止杭等を地中から俯瞰し、トンネル沿いに閲覧する動画を作成した<sup>2)</sup>。実際見ることのできない地中の状況も3次元ウォークスルーで可視化し、説明資料として活用した。

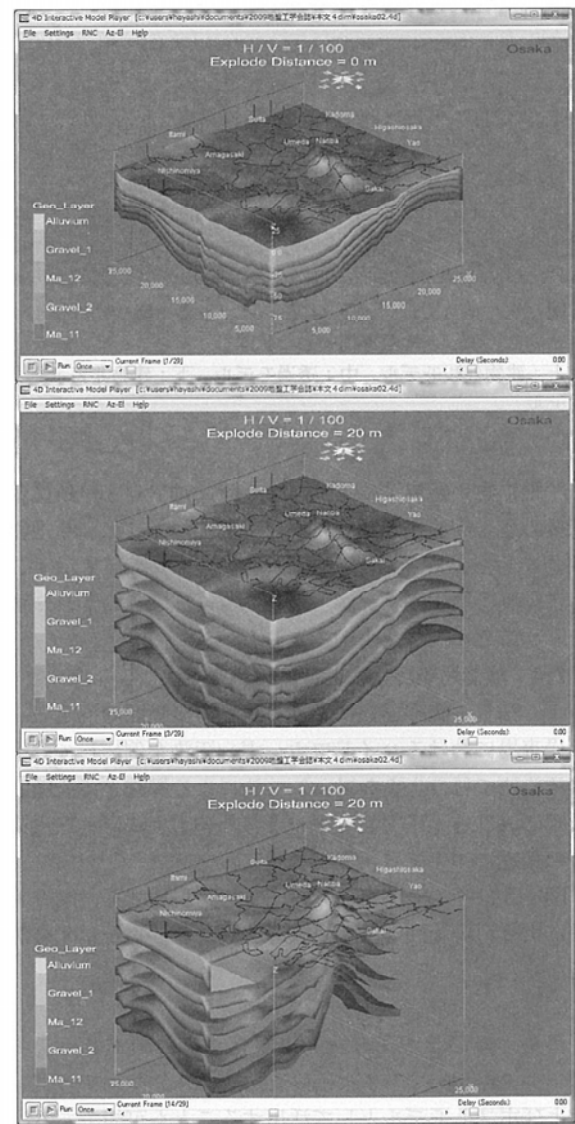


図-6 大阪層群および上位の地層をモデル化した。各地層の状況が分かるように地層を分離して表示。

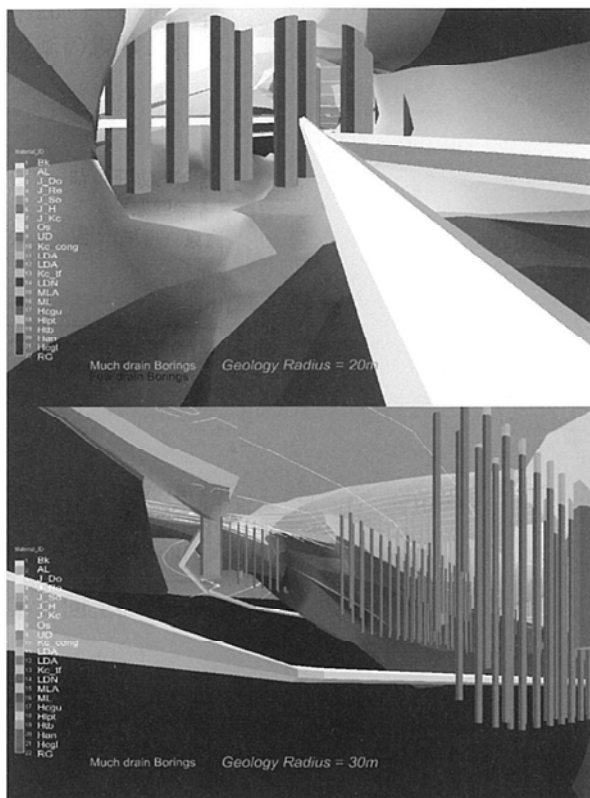


図-7 口絵写真-3~4で示した地すべり地排水トンネル沿いのウォークスルーアニメーションの1シーン

上; 深礎工は排水トンネルに当たらないように設計されている。

下; 抑止杭の下を抜ける排水トンネル

### 3. リスク評価を取り入れた新しい取り組み

口絵写真-8はインジケータクリギング手法を用いた橋脚基礎の岩盤区分モデルである<sup>4)</sup>。本手法では推定した岩盤区分箇所すべてについてその存在確率が定義され

るため、同じ岩級区分でも「その確からしさ」の程度を数字で評価する事ができる。このため、設計上重要でかつ、調査が不足している部分を抽出し、追加調査の必要性をリスクという概念を用いて施主等に説明することができるようになった<sup>5),6)</sup>。

### 4. 今後の課題

筆者らは様々な案件について、地盤情報の可視化を行ってきた。2次元情報の組み合わせ表示だけでは難解な事例でも、3次元表示すればその本質が見えてくることがある。ICTが発達した現在、あらゆる地下情報は3次元で表示可能である。今後は「地卜空間情報は3次元表示があたりまえ」になるよう、普及発展に努力していきたいと思っている。

### 参考文献

- 1) 田中基幸・大西民男・永野将太郎・林 義隆・太田英将・國眼 定: 亀の瀬地すべりにおける排水トンネルの水文地質的位置付け, 日本地すべり学会誌, Vol. 40, No. 3, pp. 50~58, 2003.
- 2) 林 義隆・國眼 定・太田英将・北方泰憲: 空間情報技術による地すべりの可視化と解析, 日本地すべり学会誌, Vol. 42, No. 4, pp. 44~50, 2005.
- 3) 地盤汚染の環境評価および拡散防止技術に関する研究委員会: 「地盤汚染のリスク評価及び調査対策」, 地盤工学会関西支部, pp. 16~26, 2006.
- 4) 林 義隆・城井浩介・美馬健二: 3次元岩盤分類とその可視化, 第42回地盤工学研究発表会発表講演集, G-13, 28, pp. 55~56, 2007.
- 5) 林 義隆・太田英将: 3次元モデルを用いた地盤調査リスク評価事例, 応用地質, Vol. 48, No. 6, pp. 299~303, 2008.
- 6) 林 義隆・太田英将・國眼 定・飯室明夫: 地すべりとリスクマネジメント, 日本地すべり学会誌, Vol. 43, No. 6, pp. 18~24, 2007.

(原稿受理 2010.1.29)