

## 3次元岩盤分類とその可視化

3次元可視化 地球統計学 リスク工学

太田ジオリサーチ 国際会員 ○林 義隆  
中電技術コンサルタント 正会員 城井 浩介  
太田ジオリサーチ 正会員 美馬 健二

基礎地盤の岩盤区分は従来、技術者の地質学的スキルに依存することが多かった。本論では、離散値の補間が可能なインディケータークリギング (indicator kriging) 手法を用いた3次元自動補間により推定した岩区分事例を紹介し、今後の土木工学への適用について考察する。また、地盤を従来のような2次元断面とは異なる、3次元モデルによる新しい可視化手法についても紹介する。

## 1. モデル化の手法

3次元岩盤区分モデルの作成には Copsey(2006)による Geologic Indicator Kriging (GIK)手法を用いた。同様の手法はすでに大津ら (2004) によりリスク工学の分野で本邦に紹介されている。今回モデル化した地盤は花崗岩であり、層状岩盤に比較し連続性と異方性に乏しく、かつ地表面からの風化やいわゆる深層風化による不規則な脆弱部が存在する。このような岩盤をモデル化する場合、熟練の地質工学技術者が露岩を探し、割れ目の方向や熱水変質の方向、貫入岩の分布など間接的な情報を多く集め、ボーリングデータにその情報を加味し、経験によって断面図を作成する。一方、本地区では、数年にわたり複数の会社が行ったボーリング 19 本 (230 サンプル) の結果を GIK により直接3次元化することとした (図-1)。

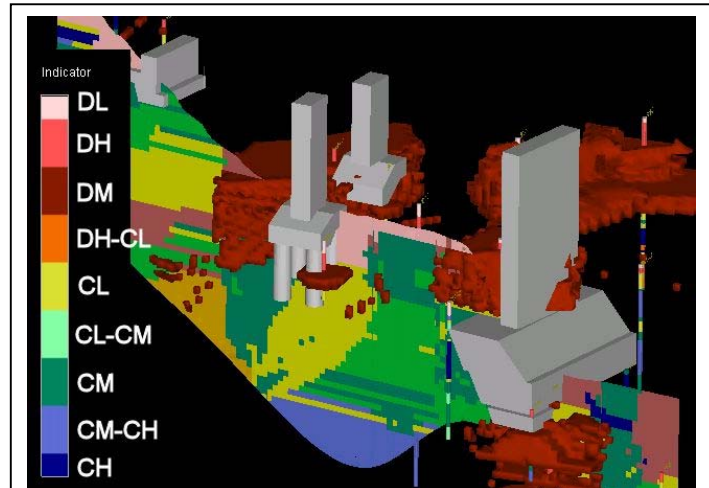


図-1 モデル事例

GIK による中心縦断面図と岩盤3次元モデル (DH クラス) 表示

## 2. 岩盤分類を行う上での問題点とインディケータークリギングによる解決の事例

岩盤分類は地質工学技術者によってモデル化されるとはいえ、建設する構造物が巨大であったり、いくつもの構造物に分かれていると、設計に必要な岩盤区分図の数は10~20にもなることがあり、しかも線形構造物であると断面が彎曲している場合も少なくない。また、地下深部空洞などでは露岩からの情報は皆無であり、立坑掘削など、詳細調査に段階にならないと、有意な情報が得られず、断面作成を岩盤分類の矛盾なく作成するためには非常に多くの労力と時間を必要とする。

本解析では GIK により自動生成した3次元モデルを用いることにより任意の位置・方向で岩盤区分図を作成し、これをそのまま3次元 cad データとして出力し、構造物設計に用いた。具体的には DL~CH まで9種類のボーリング柱状図にある岩盤分類をそのままデータとして用い、1mメッシュの精度で岩盤の性状を補完した。これにより、地質解析に係る時間と労力を節約し、且つ岩盤分類結果を地球統計学的に評価することにより、従来の地質工学技術者のスキルのみ依存していたモデル作成を代替することができた。

## 3. インディケータークリギングによる金融工学的なリスク評価

図-2は、橋脚基礎部の CL クラス以上の岩盤を3次元で示したものである。調査の結果では、基礎地盤となり得る CL 以上の岩盤が当初予定していた基礎よりも深いことが予想された (図-3 断面図)。この分布状況では現在の基礎形式では耐えられず、さらに深礎などの補助工法が必要になる可能性があった。

GIK による岩盤モデルは1m角の立体セル(cell)で構成されており、すべてのセルについて、9種類すべての岩級区分の存在する可能性が、確率 (以下 Probability と呼ぶ) として算出される。このため、岩盤区分の Probability を図-4のように表示させ、DH 以下の部分で且つ Probability が低い部分 (地球統計学的にみて不確実性の高い部分) にボーリングを1本のみ追加して調査を行った。その結果図-4に示すような岩盤区分図が得られ、より正確な岩級区分を効率的

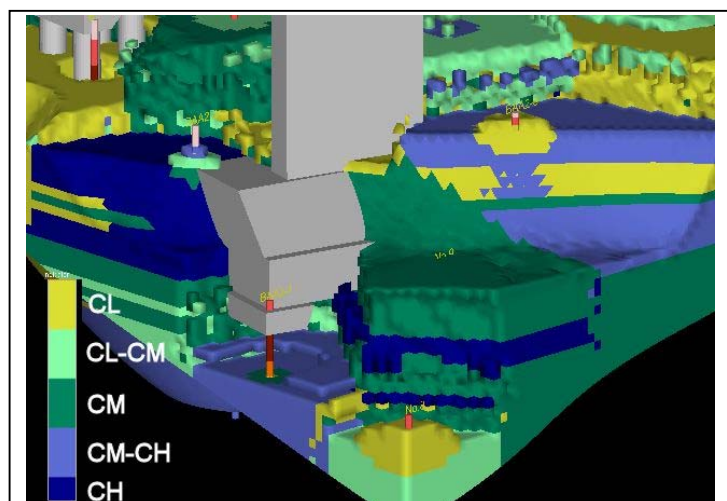


図-2 橋脚基礎部の CL クラス以上の岩盤分布状況

に把握することができた。

この結果、当初予想よりも補助工法を用いる範囲を事前に限定でき、結果的に最小調査費用で、施工時点での手戻りの少ない設計（基礎部分の岩盤同定における不確実性の少ない設計）をすることができた（金融工学というリスクの低減（林ほか，2006））。

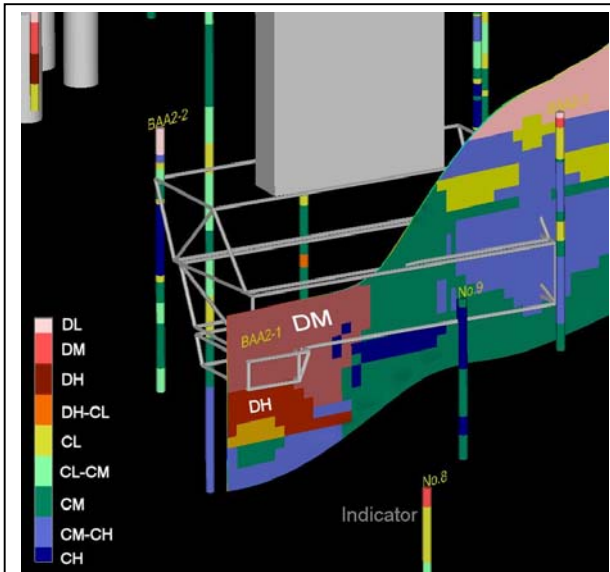


図-3 当初の岩盤区分断面図  
基礎底面の下に DM~DH クラスの岩盤が推定された。

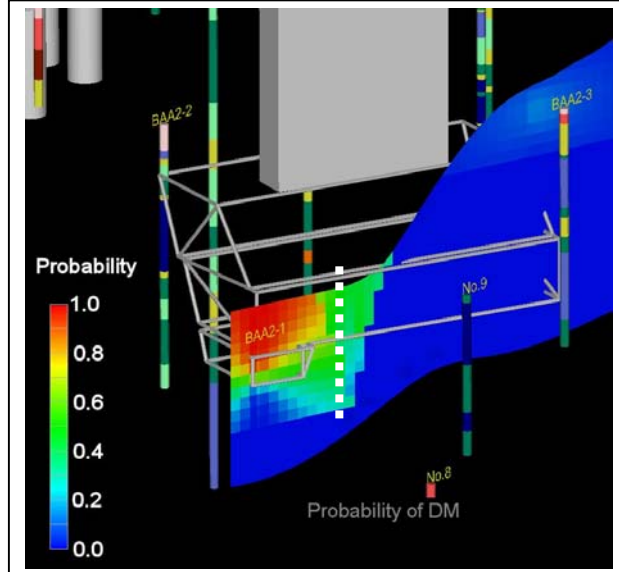


図-4 DH クラスが存在する確率(Probability)断面図  
DM が深く且つ Probability の低い部分（点線位置）にボーリングを計画

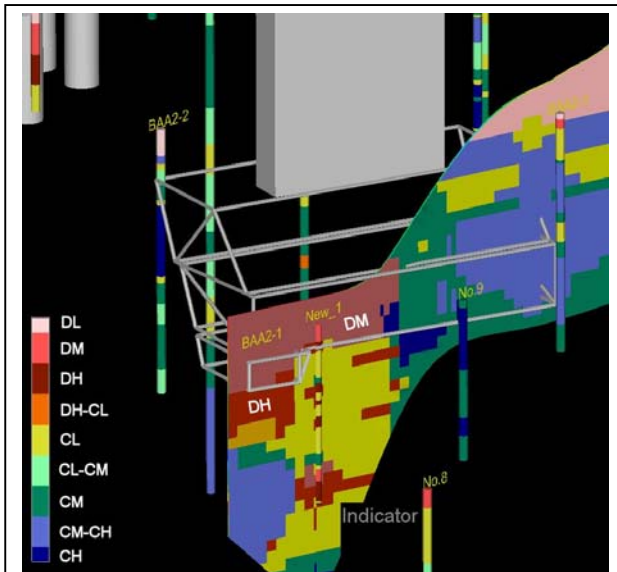


図-5 Probability に基づき追加調査したあとの  
岩盤区分断面図  
CL クラスの分布が広がった。

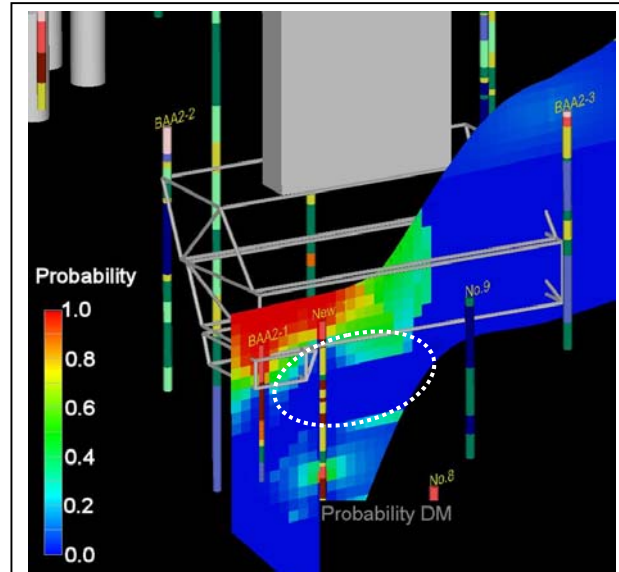


図-6 追加調査後の DH クラスが存在する  
確率(Probability)断面図  
基礎より下位の部分は DH の存在する確率が低くなった。

#### 4. 今後の課題

GIK に代表されるような地球統計学は 1950 年代から始まったと言われているが、近年の IT 技術の進捗とリスク工学という 2 つの流れにより今後も発展していくものと考えられる。著者らはさらに異方性岩盤における検討も行い、リスク工学的な観点にたったトータルなコスト及び安全管理のツールとして本手法を発展させていきたいと考えている。

#### 引用文献

- 大津宏泰, 尾ノ井芳樹, 大西有三, 高橋徹, 坪倉辰雄 (2004) ,力学地盤リスク要因による建設コスト変動の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.756, VI-62, 117-129.
- Reed D. Copsey (2006) , 'EVS/MVS MODULE LIBRARIES Indicator Geology ' and 'Workbook 13: Advanced Geologic Modeling Concepts', EVS/MVS MAIN HELP VERSION 8.50,C Tech Development Corporation. e-book, 49.07 MB, (<http://www.ctech.com/>).
- 林 義隆, 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および調査対策「1.3.2 客観的リスクを用いたリスク評価事例」, 地盤工学会関西支部, 175p, 2006.