

【CO05】

人工改変地形のトンネルにおける施工上の問題を把握するための BIM/CIM モデルの活用事例

中央開発株式会社 ○川野 菜々美, 小川 雄大

1. はじめに

本事例で対象とする開削トンネルの周辺は、丘陵地が大規模な谷埋め盛土や切土により造成された人工改変地形であり、現在の地表面からはその改変状況を把握することが困難であった。当該地には、造成年代が古く、締固めが不十分な盛土層と、その直下に未固結な旧表土層が分布している。設計前に行われた地質調査では、通常行われるボーリング調査に加えて物理探査も実施されており、軟弱層（盛土層+旧表土層）の分布範囲の把握が行われていた。しかし、トンネル工事の際には、想定外の軟弱層が分布していたことから、施工上の問題となり、工事費や工期の増加が生じた。また、トンネル函渠等により主要な帯水層のほとんどが塞がれることから、地下水の流動阻害が懸念された。本論文では、旧地形を踏まえた三次元地盤モデルを作成し、施工上の問題となった軟弱層や帯水層の三次元的な把握を行った事例を示す。

2. 対象地の地盤状況

対象とする開削トンネルは、丘陵地から山地に至るトンネルであり、複数の谷埋め盛土を横断する。地質は、丘陵地を構成する砂礫主体の更新統と、山地を構成する砂岩頁岩互層からなる整然相の白亜系付加体堆積物が下

位に分布している。いずれも上部は風化しており、亀裂の多い層相を呈すため、主要な帯水層となっている。下部の新鮮部は軟岩に該当し、十分な強度を有しており、風化部も施工においては、荷重履歴よりも小さくなるため、施工上大きな問題とはならないと考えられる。しかし、前述のように谷埋め盛土は、N 値が 10 以下で締固めが不十分であることや、その下位の旧表土層は、有機物を多く含む軟弱な土層であり、施工時の乱れによって強度が低下する可能性があった。また、ボーリングにより、これら軟弱層の分布及び層厚は大きな不陸が存在し、旧地形に影響を受けていると考えられた。

3. 三次元地盤モデルの作成

既往ボーリングは、用地上の制約からトンネル計画範囲外で実施されたものが多いため、既往業務では調査結果をトンネル計画ルート上の測線に投影して推定地質縦断面図が作成されており、地層の傾斜が十分反映されていない可能性があった。そのため、本事例では、実際のボーリング調査地点の地層構造を正として、推定・解釈モデルからソリッドモデルを作成し、地質構造の三次元的な整合を図った。具体的な手順は以下に示す。

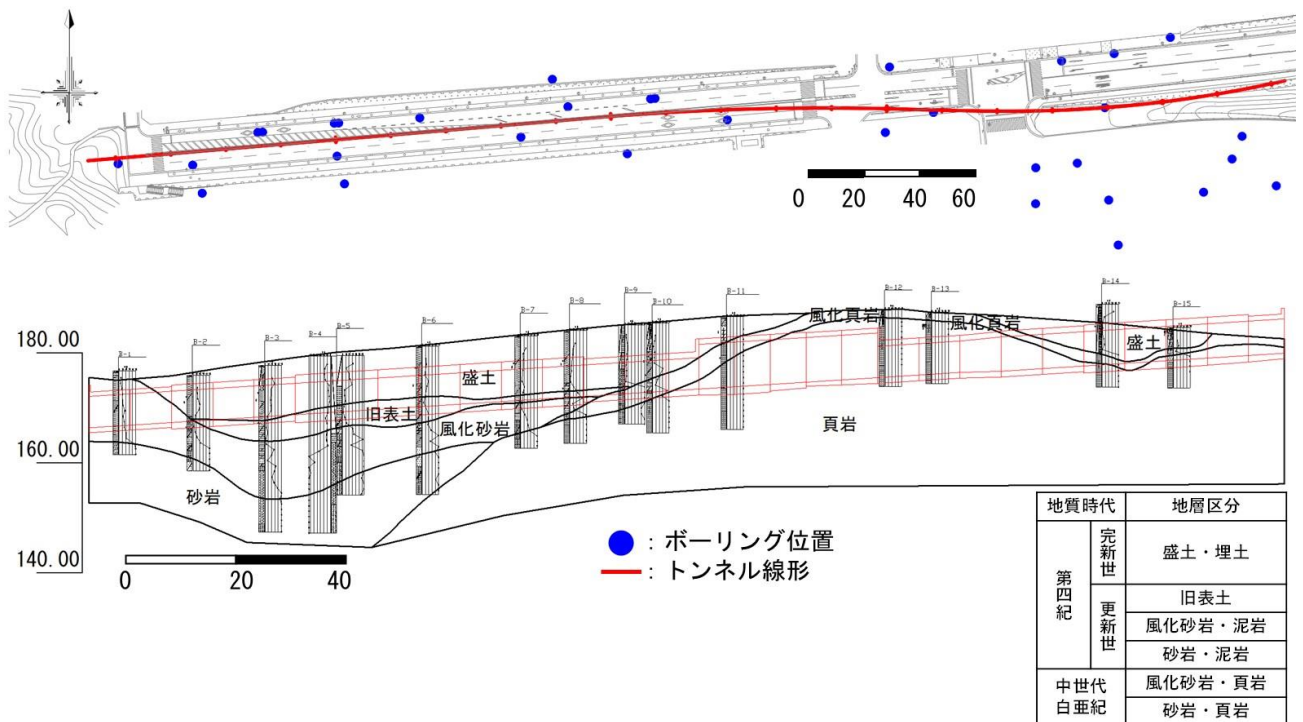


図-1 対象地の地盤状況(上段:平面図, 下段:断面図)

(1) 地層対比

対象地は、道路事業や関連する周辺の造成工事も含め、複数の地質調査業務が行われていた。そのため、計74本の既往ボーリングについて、同じ条件（同一時代、同じ地質種・地質体、類似物性値等）の境界を判別し、地層解釈の統一を行った。統一的な解釈を行ったボーリングは、三次元空間上に配置し、推定・解釈モデルを作成した。

(2) 地層境界面の作成

推定・解釈モデルから、同一の地層境界点を抽出し、空間補間計算を行って地層境界面を作成した。空間補間計算には、地層面の推定に一般的に用いられる野々垣ほか(2008)¹⁾の最適化原理(BS-Horizon)を用いた。また、盛土層のモデル化では、既往調査で行われていた物理探査結果に加え、造成以前の、縮尺1/3,000地形図も用いてモデリングを行い、現況の数値標高モデル (DEM) と標高を比較することで、モデル化範囲の盛土層の全体の形状を作成した。図-2に作成した盛土層と旧版地形図の等高線を示す。

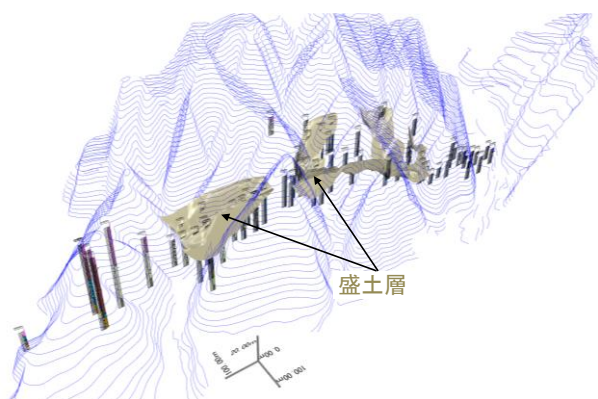


図-2 盛土層と旧版地形図の等高線の三次元表示

(3) ソリッドモデルの作成及び検証

作成した各層の地質境界面を用いてソリッドを切断し、三次元地盤モデルを作成した。妥当性の検証として、ボーリング間を結んだ断面図を切り出し、解釈に矛盾が無いかの確認を行った。

4. モデルの活用効果

本事例において、作成した BIM/CIM モデルより以下に示す活用効果が認められた。

(1) 軟弱層の分布の把握

既往縦断面図に三次元地盤モデルから切り出した地層境界線を重ねることで、軟弱層の範囲を確認した(図-3)。その結果、施工上の問題となっていた軟弱層の分布範囲を明らかにすることができ、既往調査で想定されていたよりも、軟弱層の層厚が厚いことが分かった。これは、旧谷筋が当該箇所を横断しており、軟弱層が厚いことが既往調査でも想定されていたが、用地上の制約から道路センターで調査できなかったことが原因であると考えられる。今回、軟弱層の分布範囲が明らかとなったことか

ら、今後、地質に応じた合理的な施工が期待できる。

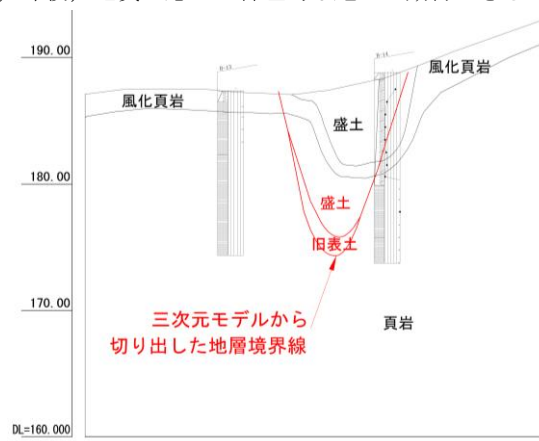


図-3 既往地質断面図と三次元地盤モデルの地層境界線の対比

(2) 流動障害リスクの可視化

三次元地盤モデルに設計業務で別途作成されたトンネルの BIM/CIM モデルを統合することで、土留壁及びトンネル函渠が主要帯水層をどの程度閉塞するかを確認することができた。その結果、谷筋では帯水層を遮断することが分かった。ただし、谷筋以外では帯水層の遮断は小さいことや、周辺に井戸利用が無いことから、積極的な対策は行わないこととした。

(3) 任意箇所での切り出し

三次元地盤モデルを作成したことにより、任意の位置で二次元断面図への切り出しが可能となった。対象地周辺では、道路事業に関連した埋設管移設・敷設の工事も行われており、発注者の指定した位置で切り出しを行い、迅速に二次元的地質断面図を提供できるようになった。

5. おわりに

本事例では、既往調査結果だけでなく、旧地形も踏まえた三次元地盤モデルを作成することで、切土や未固結な盛土層、旧表土層の軟弱層の分布範囲を三次元的に明らかにすることができた。また、三次元地盤モデルを作成したことにより、帯水層の分布範囲やトンネル函渠による流動障害リスクを可視化することができた。造成盛土等の人工地盤をモデル化する際には、旧地形図等から盛土分布を三次元地盤モデルに反映することで、モデルの精度向上が期待される。また、地質調査前の資料収集整理の段階から、旧地形(旧表土層)の情報を反映することができれば、軟弱層の範囲を十分に予測することができたと考えられるため、地質調査においても、調査前の地形の概査をはじめ、資料収集整理が重要であると考ええる。

《引用・参考文献》

- 野々垣 進・升本 眞二・塩野清治：3次B-スプラインを用いた地層境界面の推定. 情報地質. 2008, 第19巻, 第3号, pp. 61-77.