

(8) 山岳トンネルにおける予測型CIMの開発

畑 浩二¹・藤岡 大輔²・杉浦 伸哉³・後藤 直美⁴

¹正会員 大林組 技術研究所 地盤技術研究部 (〒204-8558 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)
E-mail:hata.koji.ro@obayashi.co.jp

²正会員 大林組 技術研究所 地盤技術研究部 (〒204-8558 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)
E-mail:fujioka.daisuke@obayashi.co.jp

³正会員 大林組 土木本部本部長室情報企画課 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)
E-mail:sugiura.shinya@obayashi.co.jp

⁴非会員 大林組 土木本部本部長室情報企画課 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)
E-mail:goto.naomi@obayashi.co.jp

山岳トンネルでは、地質性状に適した支保選定や補助工法選定を行う場合、切羽前方の地質状況を精度よく予測することが重要である。施工サイクルへの影響をできるだけ少なくし、コストを縮小させる方法として現場常駐の削孔機械を利用したノンコア削孔切羽前方探査技術を開発し、多くのトンネル現場で適用中である。

山岳トンネルのCIMにノンコア削孔切羽前方探査やボーリング孔内観察から得られる結果を反映することで、より精度の高い地質構造モデルを作成できるとともに、発注者と施工者間での情報共有の促進ならびに意思決定の迅速化に繋がる。

Key Words : tunnel, predictive CIM, non-core drilling exploration, geological profile

1. はじめに

近年、建築分野で注目を集めている手法に BIM がある。この手法は、構造物の3次元モデルに設計データを組み合わせて PC 上で仮想的に建物を建設しながら設計、施工、維持管理の生産性のさらなる向上を目指すものである。通常、CAD では形状情報のみを有しているのに対し、BIM では形状情報に部品の材質や特性などのさまざまな属性情報を持たせたところに違いがある。同様な生産システムを土木インフラにも展開すべく、国土交通省は CIM を推進している。その結果、設計部門、施工部門で注目を集め、種々なインフラに適用、展開しつつあるのが現状がある。

山岳トンネルは、ダムや橋梁のような構造物と異なり、ルート of 地質状況を完全に把握して施工に入ることは少ない。つまり、当初設計段階では、設計条件の基礎となる地質構造モデルが完全には確定されていないという特徴を有している。そのため、想定していなかった断層破砕帯や突発湧水に遭遇し、工費や工期に影響が出てしまう事が少なくない。計画や当初設計段階では、大まかな地質性状の把握しかできず、精度がそれほど高くない情報に基づき支保設計がなされる。そこで、施工時には施

工最前線である切羽をよく観察し、地山の力学的挙動、水理学的挙動および割れ目等の幾何学的情報に基づき、最適な支保構造や補助工法を選択し施工することが必要となる。この考え方は直近の地山性状を考慮した修正設計に該当し、情報化施工のカテゴリーに分類される。山岳トンネルの CIM を構築する場合、この特徴を考慮した形態になることで、当初の地質構造モデルが現実に近いモデルに修正され、維持管理により貢献できるものと考えられる。

本報では、開発済みの山岳トンネル CIM¹⁾に、この考えを導入し、切羽前方の地質構造を評価できる予測型 CIM の開発について述べる。

2. ノンコア削孔切羽前方探査技術

山岳トンネルでは、弾性波探査等の物理探査手法で施工全線における当初支保規模が検討される。しかし、施工の段階で遭遇する脆弱部や断層破砕帯が分布する場所に大きな隔たりのあることが少なくない。原因として、弾性波の伝播経路は地層の密度に影響を受ける事、地表面とトンネルの離間(土被り)が大きい場合には弾性波

は伝播しにくくトンネル全線を探査できていない事などが挙げられる。その結果、当初予想とは全く異なる地質性状に遭遇し、大きな変形や異常出水に見舞われ掘削に支障をきたすことになる。

著者ら²⁾は、施工サイクルへの影響をできるだけ少なくし、かつコストを縮小させる方法として現場常駐の削孔機械を利用したノンコア削孔切羽前方探査技術（トンネルナビ[®]）を開発し数多くのトンネル現場で活用している。この方法では岩石コアを採取せず、高速で削孔する穿孔ビットの進行速度や打撃圧および打撃回数などから削孔部位の硬軟や脆弱性を予測するものである。図-1に探査の概要を示す。

評価に際しては、最も影響の大きな穿孔ビットの押付け圧力（フィード圧）の変動を適切に補正し、かつ削孔速度の最大値と最小値で正規化した「正規化削孔速度比」を用いる。計測結果の一例を図-2に示す。図中、縦軸の正規化削孔速度比が大きくなるということは、削孔速度が速くなるので地山が硬質から軟質に変化することを示す。計測例では、網掛を施した2ヶ所で地山の脆弱性を予測し、実績として断層破碎帯とき裂集中帯の発現とよく整合した。さらに、正規化削孔速度比と地山等級を関連付けているため、予測の段階で地山に適した支保規模を評価、提案できる。現在までに22ヶ所の山岳トンネルで実施し、探査延長は26kmに達している。切羽観察による支保規模との適合率は約80%と高精度な地質予測となっている。

3. 山岳トンネルCIMの考え方

CIMを効率良く運用するためには、対象構造物に適したプロダクトモデルを構築する必要がある。山岳トンネルにおけるプロダクトモデルは、本体部分のコンクリート、支保部材としての吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工などが該当する。ここまでであれば、高層ビルなどの建築物に比べて格段にモデル種類は少なく済む。しかし、上述のように山岳トンネルが他の構造物と決定的に異なる項目として、掘削するまで岩盤や地質が不明瞭な事である。具体的には、岩盤崩落を引き起こす断層破碎帯や突発湧水の有無、地下水の分布状況、岩盤強度に伴う変形性など、必要とする多くの情報が未明のまま掘削することが少なくない。したがって、構造物周辺の環境条件ともいえる情報を取り込む場合、当初設計から施工段階で逐次情報の質が変わる事を如何に考慮するかがカギになる。

山岳トンネルのCIMにおけるモデル化項目を表-1に示す。表中、(1)計画・設計時の項目は、事前に入手可能な情報である。その内、②地質と⑤当初設計に関して

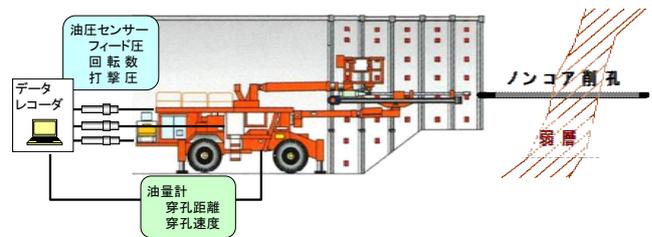


図-1 ノンコア削孔切羽前方探査の概要

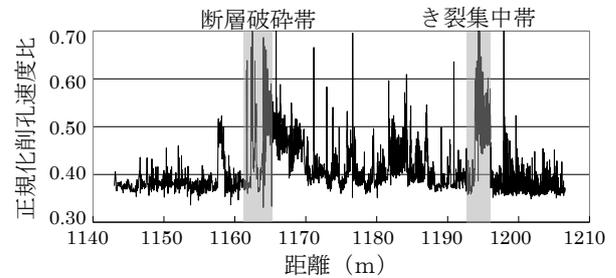


図-2 地山評価の一例

表-1 CIMにおけるモデル化項目

モデル化項目		情報内容
(1)計画・設計時		当初モデル
①	地形	
②	地質	
③	ボーリングデータ	
④	地下水・水文学情報	
⑤	当初設計	施工中および施工後の修正モデル
(2)施工時		
⑥	切羽観察	
⑦	切羽画像・スケッチ	
⑧	A計測	
⑨	B計測	
⑩	切羽前方探査・追加ボーリング	
⑪	き裂分布、崩落岩塊	
⑫	岩石・岩盤試験	
⑬	覆工コンクリート材質他	供用開始時 当初モデル
(3)維持管理時		
⑭	覆工コンクリート形状	
⑮	覆工コンクリート表面	
⑯	地山と覆工コンクリート境界	

は、弾性波探査などの結果から類推した情報である。(2)施工時の項目は、いずれも施工時に得られる実質情報であり、特に⑥～⑫の各情報は②地質と⑤当初設計を補完すると共に、必要に応じて(1)の項目を修正する貴重な情報源となる。一方、(3)維持管理時の項目は、山岳トンネルの最終出来上がり状態の確認に利用されるもので、供用に資する時の初期モデルに該当する。これらの多岐にわたる項目は、従来は個別に整理されてきたものの、多くの場合関連付けられたデータベース的な整理はされてこなかった。そこで、CIMの構築に際しては、表-1に示した項目を一元的に統合化することにした。

ただし、必ずしも全項目を網羅する必要は無く、発注者の要求項目に合わせて取捨選択すれば良い。

4. 山岳トンネル予測型CIMの開発

開発コストを下げるるとともに、システム変更の容易性を念頭に、一般的に利用されているソフト群を選定した。各ソフトの役割と構成を図-3に示す。まず、地形モデル、トンネル形状モデル作成には AutoCAD Civil3D®を、地質構造モデル作成には GEORAMA®を使用する。施工時に日々得られる切羽観察、各種計測結果、支保工情報および切羽前方探査情報は、CyberNATM®と Excel®を基本に作成し、属性データの紐付けは Navis+®で行う。そして、全ての要素を Navisworks®で統合し管理する。CIMにおいて極めて重要な事項に、各種データの連関と紐付けがある。現場での各種情報整理には Excel が使用されていることから、図-3に示すモデル間の結合には Excel データをそのまま利用するシステムとする。この工夫により、現場での CIM 適用が親和的になり、通常のデータ整理がそのまま CIM に活用できるというメリットが生まれる。

基本形の山岳トンネル CIM (図-4 参照) は、表-1 の構成要素の内、①～③、⑥～⑨、⑬、⑭～⑯を組み込

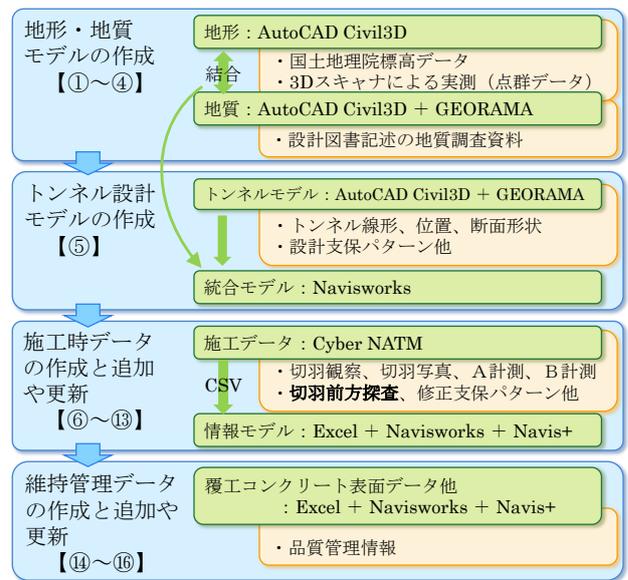


図-3 使用ソフトと構成

でいる。図中、下段の地形図は国土地理院の測地データを用いた地表面形状と、当初設計における縦断および横断の地質深度分布図を結合させており、トンネルを建設する場所の地形や地質分布を理解する上で役立つ。左上図はトンネルデータ、計測・品質データ、現況地形データを統合化した全体像であり、切羽画像を核として掘削方向の経時変化がリアルタイムで確認できる特徴を有す。

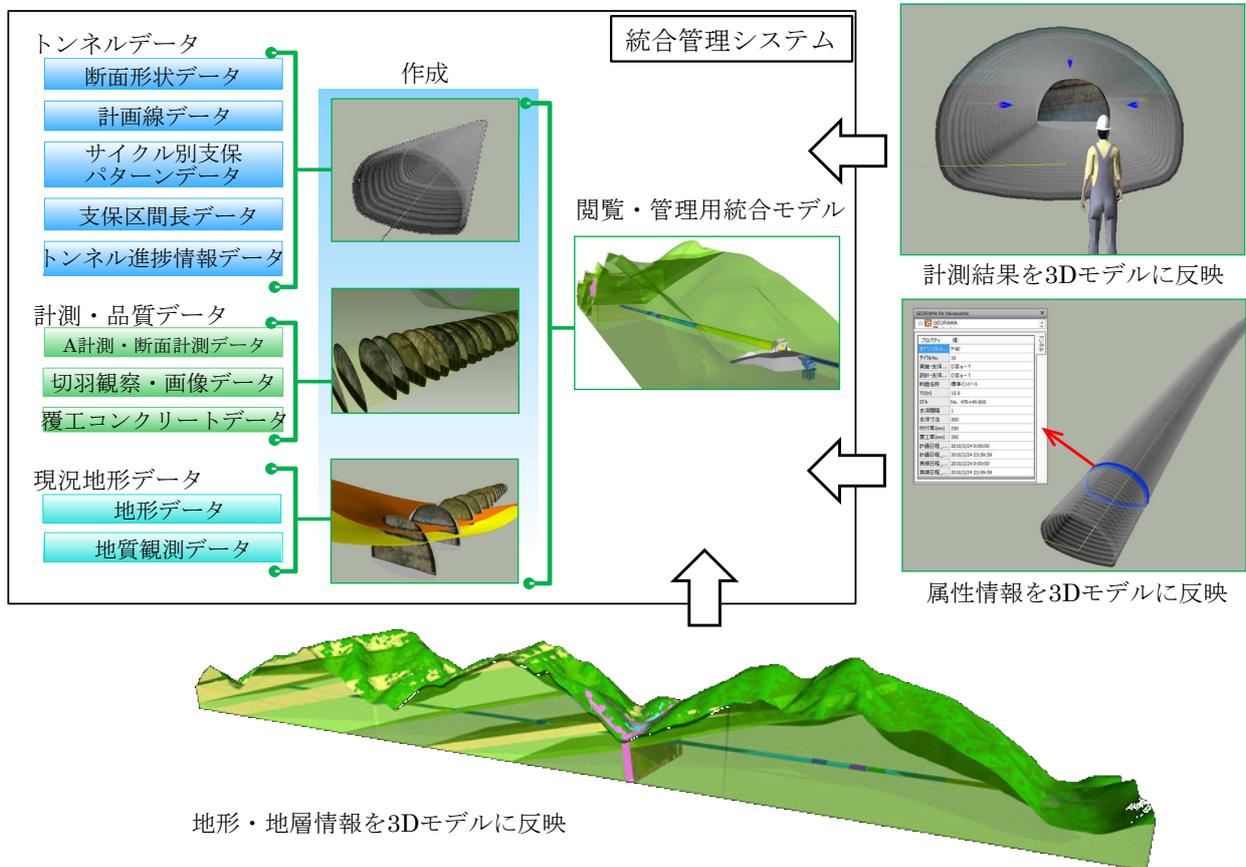


図-4 山岳トンネルCIMの基本形

一方、右図は計測データおよび支保工の属性データである。連携表示することで変状の推移情報が得られ、それに伴い修正支保工規模が当初設計と共に表示され、設計変更内容がほぼリアルタイムでわかる仕掛けになっている。

上記基本形に、表-1 に示す⑩～⑫を適宜組み込むことで予測型となる。図-2 の削孔機械データは1秒ピッチで取得した時系列である。CIM データとして取り込むためには、図-5 に示すように CAD 図面に変換して描画すると視覚性が高まり相互の理解度が高まり好都合である。また、著者ら³⁾は、ノンコア削孔切羽前方探査情報をさらに高めるため、削孔したボーリング孔の側壁状況を簡易なビデオカメラで観察できる装置を開発し、現場展開している。得られる画像情報からは、図-6 に示すような壁面の(a)強風化、(b)弱風化、(c)健全の違いを目視確認できる。この種の画像データをも取り込むことで切羽前方地質構造の確度が飛躍的に高まると考えられる。

以上の情報を CIM に取り込んだ例を図-7 と図-8 に示す。図-7 はノンコア削孔切羽前方探査結果を地山等級と関連付け色分けし描画したものであり、支保工の修正設計に役立つ。図-8 は、図-6 を元に色分けし地質境界や岩質区分を、き裂等の走向傾斜情報を円盤モデルで表示したものである。これにより、切羽前方の構造的不連続面を事前予測でき、トンネル掘削により不連続面で囲まれる岩塊が崩落するか否かの事前判定が可能になる。

5. おわりに

山岳トンネルや地下空洞構築では、目視確認できない地山を手探り状態で掘削していると言っても過言ではない。当初の計画、設計段階で行われる調査は十分ではないことから、施工中の観察や計測によって、支保工は必要に応じて修正設計される事になる。したがって、山岳トンネルにおける CIM は、発注者、施工者および協力会社の3者間で相互理解のための「会話システム」となることが理想形と考える。発注者にとっては維持管理に引き継がれた統合化情報が重要であるが、施工者にとってはそれに加え、施工時の地質情報の共有化が重要になる。特に、切羽前方の地質情報は重要で、工期遵守、工費削減、安全安心施工のためには必要不可欠である。この種の情報は、設計段階における初期地質構造モデルを現実に合わせて加筆修正でき、維持管理段階に引き継がれると初期モデルとなる。

今回開発した予測型 CIM は、ノンコア削孔切羽前方探査とボーリング孔内観察に着目しているが、鉋物情報やガス情報の組み込みも検討中である。今後は、積極的な現場展開を通してシステムの活用に努めていきたい。

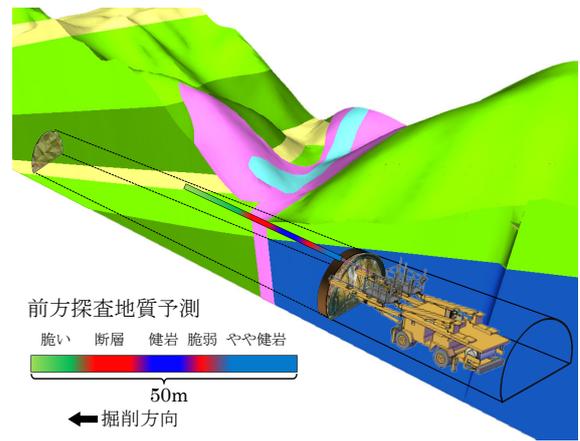


図-5 CIMへの取り込みイメージ



(a) 強風化 (b) 弱風化 (c) 健全

図-6 ボーリング孔内壁面画像の一例

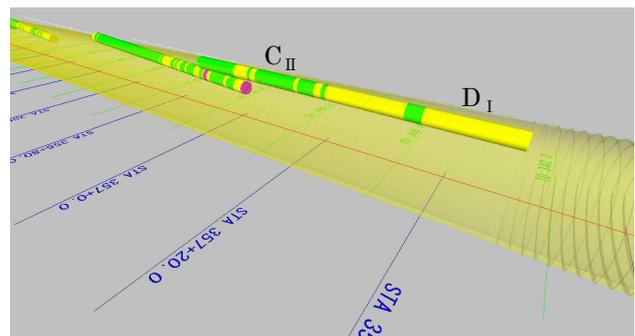


図-7 ノンコア削孔データの取り込みと描画

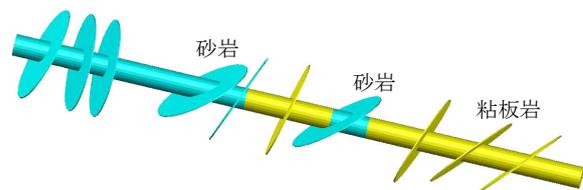


図-8 地質境界およびき裂の走向傾斜モデル

参考文献

- 1) 畑 浩二, 杉浦伸, 後藤 直美: 山岳トンネルにおける CIM の開発, 大林組技術研究所報 No.78, 2014.
- 2) 桑原 徹, 畑 浩二, 赤澤正彦: ノンコア削孔調査による山岳トンネル切羽前方探査精度の検討, 第 23 回トンネル工学研究発表会 トンネル工学論文集, 第 23 巻, pp.1-9, 2013.
- 3) 藤岡大輔, 畑 浩二: 簡易な孔内カメラを用いたノンコア削孔切羽前方探査の高度化, 第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集, VI-684, pp.1367~1368, 2015.