

トンネル工事で採用した予測型 CIM の事例について

(株)大林組 正会員 ○鈴木 拓也, 正会員 西野 俊論
 同 上 正会員 畑 浩二, 正会員 後藤 隆之
 同 上 正会員 中戸 敬明, 正会員 木梨 秀雄

1. はじめに

山岳トンネルを順調に進めるためには、切羽前方の地質を事前に把握することが重要となる。しかし、複雑な地質を計画段階に正確に把握することは難しく、想定外の地質や突発湧水の出現等により、掘削作業を中止し、対策を講じるケースがある。そのような場合、対策工の検討は掘削作業を中断して行われるため、その検討時間と頻度をできるだけ削減し、掘削工程への影響を小さくすることが重要となる。そこで、発注者と施工者がイメージを共有し、意思決定を迅速にできるよう、各種前方探査結果や、地山の動態観測結果をCIMに取り込み情報を一元的に管理することを試みた。今回は東九州自動車道 椿山トンネル工事における事例について報告する。

2. 工事概要

工事概要と工事位置図を表-1および図-1に示す。

椿山トンネルの地質は、基盤に新生代古第三紀の四万十帯日南層群があり、これを不整合に第四紀完新世の崖錐堆積物が覆っている。四万十帯日南層群は付加体に属し、不規則で複雑な地質構成を呈しているため、既往の地質調査だけでは前方地山の地質状況を把握することは難しい状況であった。近隣のトンネル工事において、切羽の崩壊や地すべり等が発生し、補助工法等の対策工を繰り返し講じる難工事となっていた。

表-1 工事概要

工事名称	東九州自動車道（清武～北郷） 椿山トンネル新設工事	
施工場所	宮崎県宮崎市大字鏡洲地先	
発注者	国土交通省九州地方整備局 宮崎河川国道事務所	
工期	平成 26 年 2 月 4 日 ～平成 29 年 3 月 30 日	
工事概要	延長	・ L=1,100m
	掘削断面積	・ (標準部) 120 m ² ～(拡幅部) 140 m ²
	支保タイプ	・ C II i、D I i、D III a
	地質	・ 新第三紀～古第三紀 四万十帯日南層群 ・ 頁岩層、砂岩頁岩互層、砂岩層

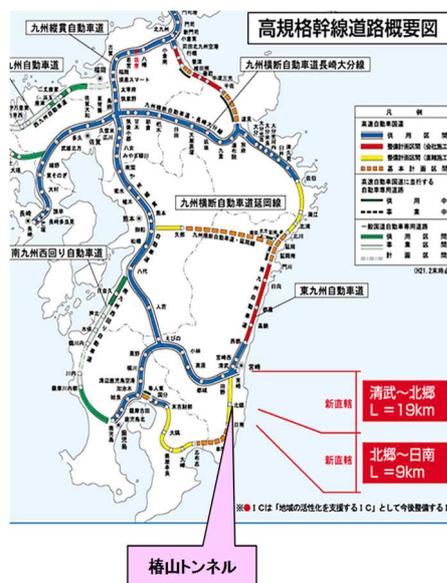


図-1 工事位置図

3. 予測型 CIM の概要

これまで当社が展開してきたCIMは、切羽に現れた地質と支保工設置後の計測結果をモデル化し、発注者と施工者が共通認識を持つことを目的とされていた。しかし今回取り組んだ椿山トンネル工事では、トンネルを

キーワード CIM, NATM, 前方探査

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組生産技術本部トンネル技術部 03-5769-1319

掘削中に前方地山の情報等を整理し、これから掘る地山の地質の情報を取り込むことで、切羽前方の地質予測に活用できるCIMとなっている。

4. 地山前方調査結果のモデル化

(1) コアボーリングによる地山前方調査

トンネル工事で用いられる切羽前方調査の方法は間接的に調査する弾性波探査や直接的に調査するボーリング調査があるが、椿山トンネルではボーリング調査を行うこととした。ボーリング調査にはコアボーリングとノンコアボーリングの2種類があり、今回は両方を採用しCIMに取り込むこととした(図-2)。それぞれ特徴を図-3に示す。コアボーリングでは採取されたコアを実際に確認することができ、得られたコアを用いて一軸圧縮強度試験を行うなど室内試験などにより精度の高い調査が実施できた。しかし、調査に要する時間は4本/断面とした場合には50mの調査に昼夜作業で2日以上を要した。

このボーリングで得られた情報について砂岩層を黄色、頁岩層を水色、互層を緑色として観察をモデル表示した。

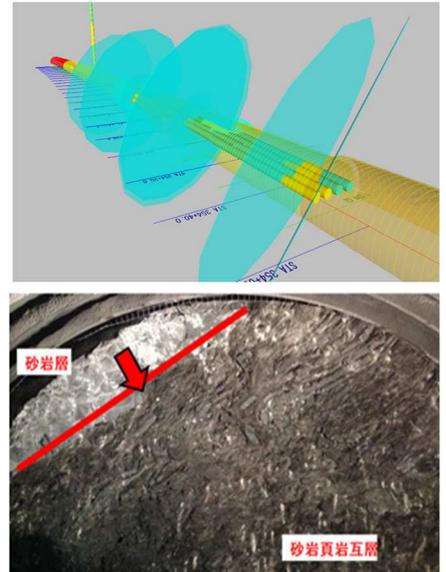


図-2 ボーリング結果のモデルと実際の切羽状況写真

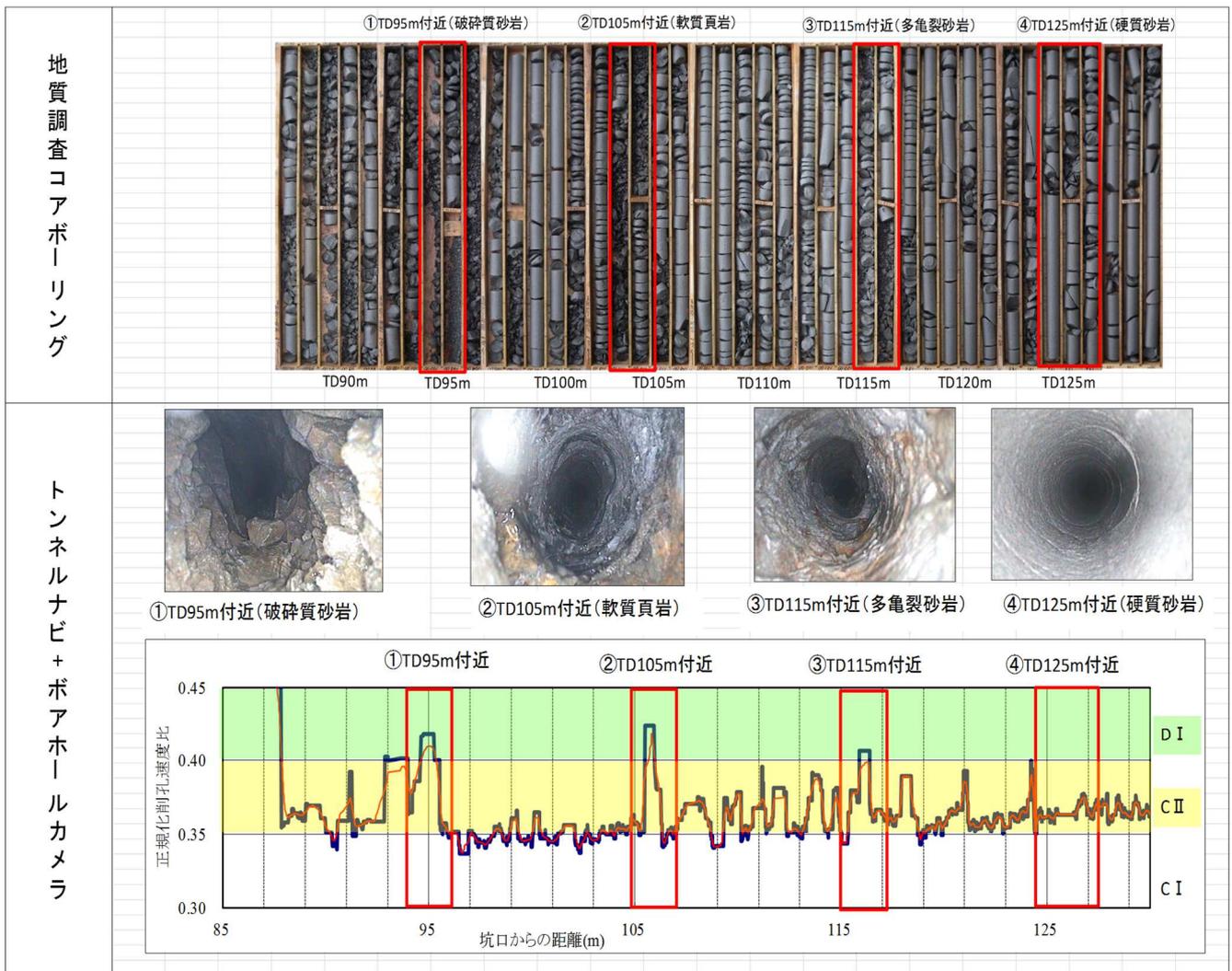


図-3 地質調査コアボーリングとノンコアボーリング(トンネルナビ)の比較

(2) ノンコアボーリング

コアボーリングに加えてノンコアボーリング（トンネルナビ：当社開発¹⁾）でも調査を実施した。

種々ある切羽前方探査の中で現場に常駐するジャンボ削孔による方法は最も低コストである。当社が開発した方法は従来の削孔エネルギーから算定する方法ではなく、削孔時に逐次変動するフィード圧を適切に補間した削孔速度から地山等級を算定できる方法である。今回はそのボーリング孔を観察し、風化変質や、湧水箇所を特定することで、地山評価の高度化を目指したものである²⁾。

これによる観察によって湧水の発生する位置や、地質が変化する位置等を詳細に把握することができる。また、このノンコアボーリングでは地山等級を判別できる。調査に要する工程は50mを4本調査するのに8時間程度であった。

このノンコアボーリングで得られた情報については地山等級がCを黄色、Dを緑色としてモデル化した（図-4）。

ノンコアボーリングの調査と孔内写真をCIMに取り込むことで前方の地質がイメージしやすくなり³⁾、コアボーリングと同様の予測ができるものと思われた。物性値などの具体的な数値を取ることは難しいものの、相対関係を取っておけば、十分地山の予測ができる調査であることが確認できた。コアボーリングに比べて、工程も工費も削減できるノンコアボーリングで調査できるとなれば掘削作業の中断時間も短縮でき、生産性向上に寄与するものと考えている。

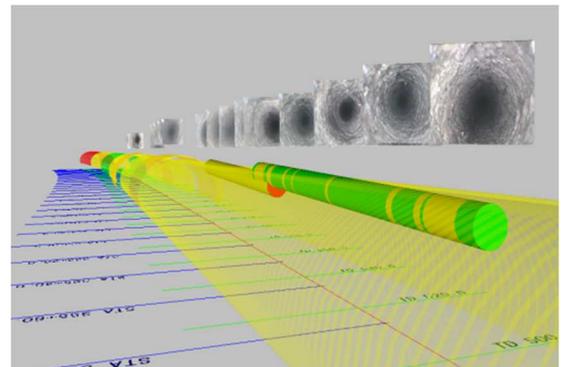


図-4 天端部で調査したノンコアボーリングと孔内写真（上）

5. 既往の調査結果等をモデル化

(1) 既往の調査結果

当現場の発注時にはすでに地表からの弾性波探査とボーリング等が行われており、それらを同様にモデル化（図-5）した。地表面のモデルも追加し、坑口周辺の地形は3次元スキャナで詳細に測量しモデル化した。地下水位についても当初の調査結果では貫通点側で高い地下水位が確認されていたためモデル化（図-6）し、対策工の検討に用いた。CIMはCADをベースに様々な情報を紐付けしており、従来では図-3のようにヒストグラムで地山等級変化を示していたが、三次元で描写することで、その視認性は飛躍的に向上した。

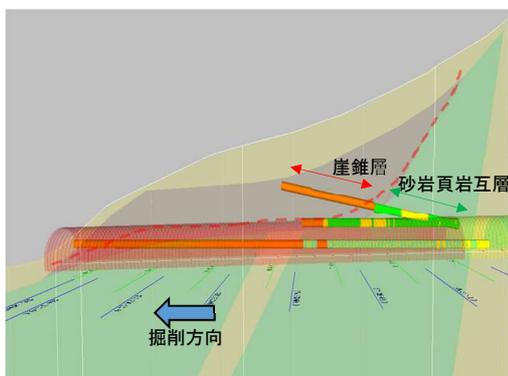


図-5 貫通側坑口地質縦断図

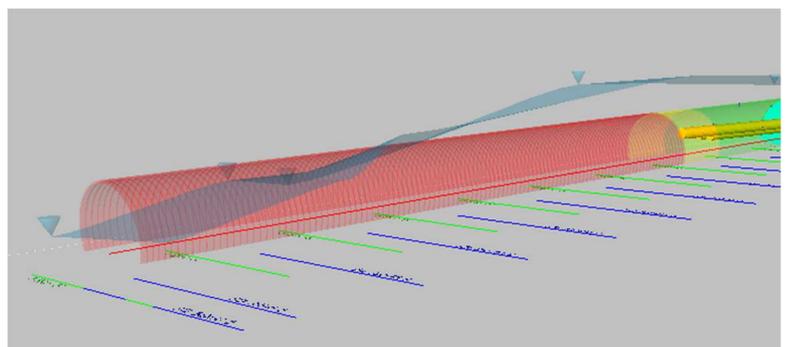


図-6 地下水モデル

(2) 地表面踏査結果のモデル化

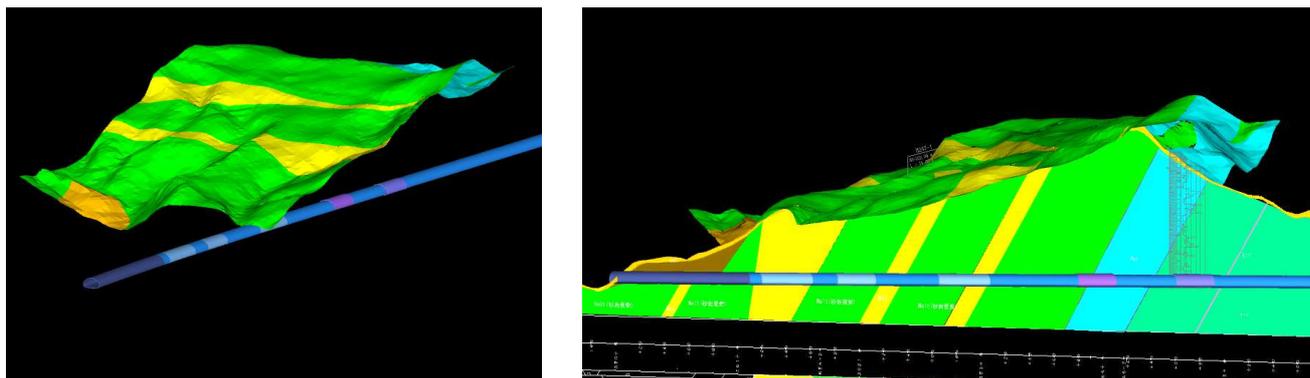


図-7 地表踏査平面図のモデル（左）と地質縦断面図を重ねたモデル（右）

追加調査として、地表面の踏査も追加実施した。調査の目的は、既往の調査よりもさらに詳細に地質の変化を予測することであった。具体的には当トンネル工事を進めるに当たり最大の問題となる頁岩層が実際どの範囲で分布するかを確認したが、当初の範囲よりも短い範囲になることがわかった（図-7）。さらにその先には硬質な砂岩層が確認され、これらの踏査結果をモデル化し、CIMに取り込んだ。その後、ボーリング結果等によると実際に砂岩層が確認され、当初 D パターンが想定されていたが、事前に C パターン変更することを予測でき、実際に C パターンを採用した。

6. 地すべりの挙動を把握するため4次元化したモデルの採用

(1) 地すべり区間のモデル化

当トンネル工事では、貫通点側坑口においてトンネル掘削によって地すべりの発生が懸念された。そのためトンネルと地すべりの関係を一元的に把握するため坑口付近の崖錐層と、トンネル、上述した地下水位のモデルを作成した。この地下水を排水することで地すべりの発生を防止することを提案し、水抜きボーリングを坑内と坑外から実施した。実施後は排水パイプを通じて降雨時にも排水を促進することができた。また、既往のボーリング孔を利用して地すべり土塊の中にトンネルを挟む形で孔内傾斜計を設置し、動態観測を行い、その結果もモデル化した。計測モデルが見えにくいぐらいの微小な変位であった。

(2) 時間軸を追加した4次元モデルの採用

この地すべりが懸念されていた土塊の直下をトンネルが通過する際は、トンネルの進捗と各種の動態観測結果を一元的に把握するために、計測結果をモデル化する際に3次元の位置情報に加え、時間軸の情報を加えた4次元のモデルを作成した（図-8, 9）。これは単に各計測地点の結果を比較するだけでなく、切羽位置との関係をつかむことを目的とし、モデル化した。時間軸を進めると切羽位置が進行しそれに伴って地表面や坑内の変位が大きくなることが確認できた。その中でトンネル内の変位は沈下量が150 mm以上

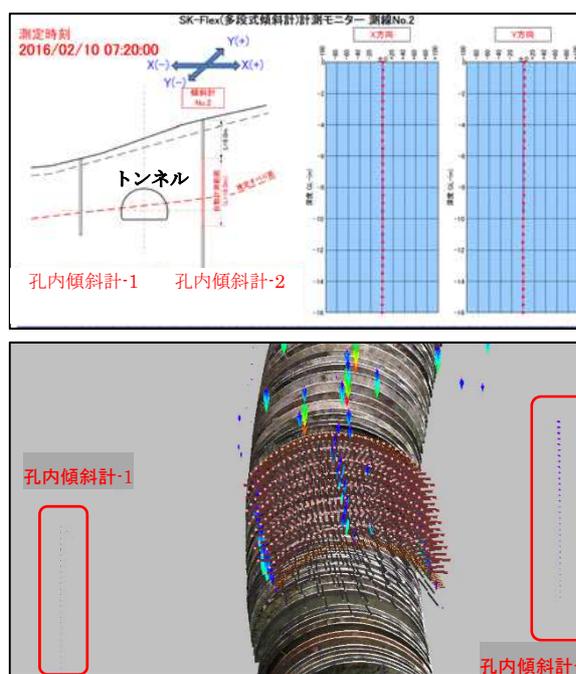


図-8 坑内傾斜計の配置（上）とモデル（下）

となる場所が見られた。しかし、傾斜計はトンネル切羽に近づく形でわずかに傾斜していたものの、地すべりの方向には動いておらず、トンネル掘削により地すべりが発生していないことが確認できた。この結果により、地すべりに対して特別な対策を講じることなく、無事に貫通することができた。

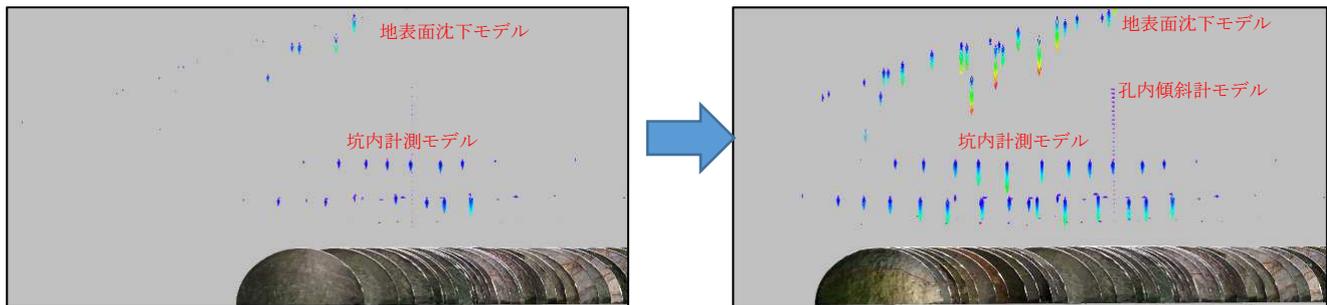


図-9 時間の要素を付加し切羽の進行と動態観測をモデル化した例

7. まとめ

今回、予測型CIMは、地山を予測するうえで、非常に有効であることが確認できた。これにより、山岳トンネルの工事において多くの問題が事前に予測でき、工事が遅延するリスクが低減され、生産性の向上となるものと期待する。CIMを用いることで関係者の経験や想像力に依存せず具体的なイメージを共有し、具体的な対策の決定までが速やかに進んでいく。

さらに、各種の調査結果がわかりやすく整理できることから、施工中の調査で詳細に判明する部分については施工前の地質調査の低減などが期待できる。具体的にはコアボーリングの数量の低減や、コアボーリングよりも経済的なノンコアボーリングを採用することでも同様な地質予測をすることができると考えられる。

このように、地質が詳細に予測でき、選定する支保パターン等が予測できることで工事の工程や、残土の搬出計画といった工事計画を立てる上でも有効であった。

また今回、4次元のモデルを採用したが、トンネル掘削の進捗によってどのような変位がいつ発生するかを詳細に把握するなど、複雑な挙動を4次元モデルで表現することで関係者が共通認識を所有することができた。例えば、近接する構造物に対して新設のトンネル工事が及ぼす影響を検討する際にも、解析結果等を事前にモデル化することでトンネル工事が進むに従ってどのような影響を及ぼすのかがわかりやすく予測できるようになると考える。

今後は地質の予測だけでなくトンネルの掘削による影響や供用中に起こりうるトラブル等についても予測できるよう開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 桑原 徹, 畑 浩二, 稲川雄宣, 平川泰之: 変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術, トンネル工学論文集第18巻, 2008
- 2) 畑 浩二, 中岡健一, 藤岡大輔: 山岳トンネルにおける施工型CIMから予測型CIMへの転換, トンネル工学報告集, トンネル工学報告集, 第26巻, 2016
- 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精度化, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, 2015