

3次元モデルを活用したトンネル坑口部の設計について

杉 陽生

兵庫県 丹波県民局 丹波土木事務所 道路第1課 (〒669-3309兵庫県丹波市柏原町柏原688)

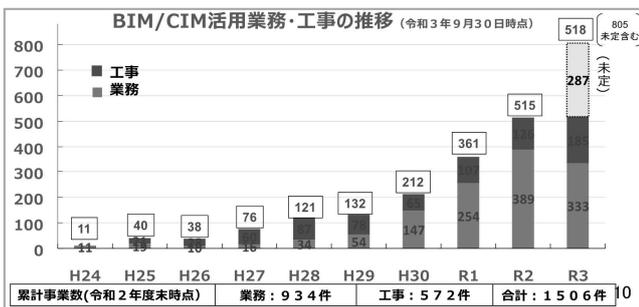
本論は、兵庫県と京都府の境に位置する(国)429号榎峠のバイパス道路整備(トンネル化)において、今後のBIM/CIMの本格運用に向けた実践的な知見を得ることを目的として、試行的に実施した3次元モデルを活用したトンネル坑口部の検討事例を紹介するとともに、効果と課題および取組み結果から得られた知見を報告するものである。

キーワード BIM/CIM, 3次元モデル, トンネル設計

1. はじめに

人口減少や高齢化が進む中、建設業界全体として生産性向上は喫緊の課題である。加えて、新型コロナウイルスの感染拡大を契機として、テレワークの活用等のリモート化・デジタル化の重要性が認識され、生産性の向上とともに、感染リスクの低減の観点からもデジタル DXの推進が一層求められている。

国土交通省では、i-Construction の取組みとして、ICT 施工については 2016(H28)年度を生産性革命元年と位置づけ、これまでに基準類の整備や適用工種拡大を進めてきている。また、BIM/CIM(3次元設計)については、2012(H24)年度から試行を始め、2021(R3)年3月までに累計934件を実施し、活用を拡大させている<図-1>。



<図-1> 国土交通省のBIM/CIM活用の推移¹⁾

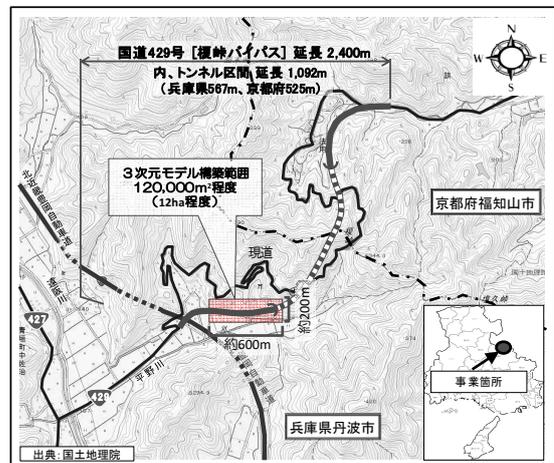
本県においては、2017(H29)年度より ICT 活用工事をスタートさせ、実施件数を拡大させている一方で、設計段階でのBIM/CIMの活用は2020(R2)年度から試行着手したところであり(2020(R2)年度:4件、2021(R3)年度:1件)、生産性向上や維持管理の効率化のために普及拡大が必要な状況にある。

本稿では、今後のBIM/CIMの本格運用に向けた実践的な知見を得ることを目的として、2020(R2)~2021(R3)年度に実施した(国)429号榎峠トンネル(仮称)設計において実施した3次元モデルを活用した坑口部の検討事例を紹介するとともに、効果と課題の検証結果を報告する。

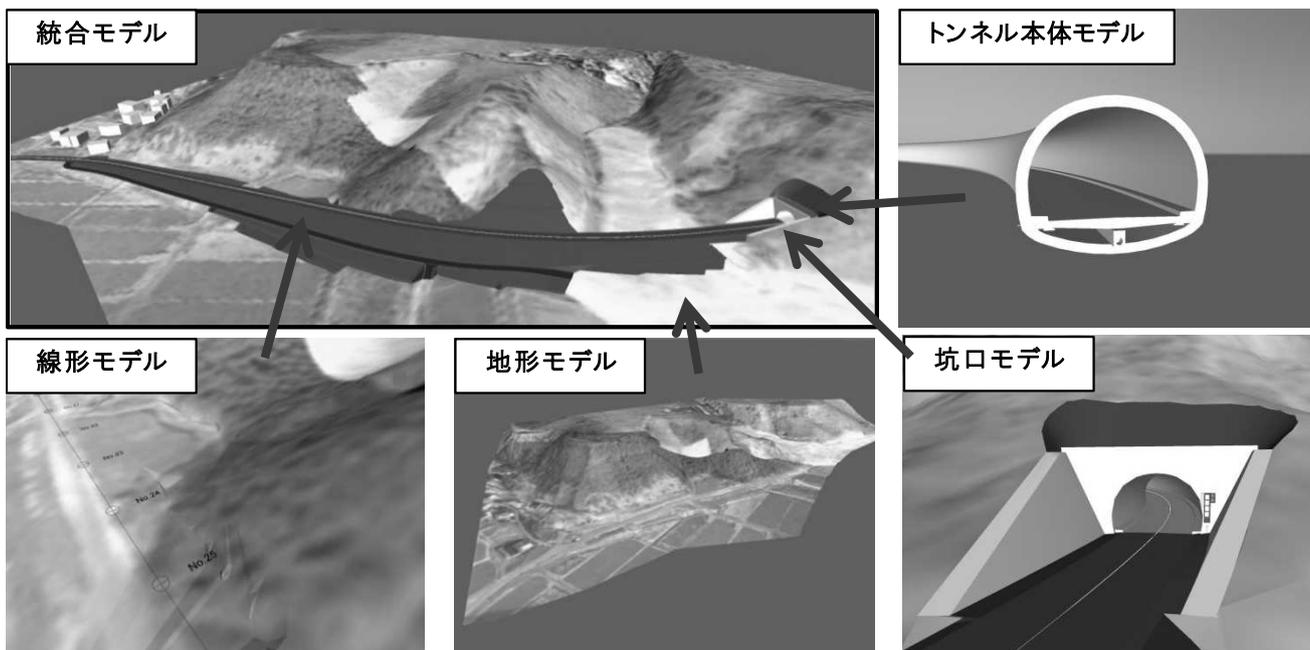
2. 検討事例

(1) 目的

(国)429号榎峠〔兵庫県丹波市青垣町と京都府福知山市との府県境〕は幅員狭小で急カーブが連続する未改良区間である。榎峠バイパス整備事業は、安全・安心な交通確保および地域間の交流促進を目的として2020(R2)年度に事業化し、全長1,092mのトンネル区間を有する<図-2>。坑門工の最適な位置と構造を比較検討するため、兵庫県側坑口部において3次元モデルを用いて検討する。



<図-2> 位置図



〈図-3〉 3次元モデル

(2) 3次元モデル作成

一般に坑門工の設計は坑口部において精度の高い細部測量(S=1/250)が必要であり、今回は 3 次元点群測量(地上LS)により地形データを取得した。

3次元モデルは操作性、作成時間の観点から、いたずらに詳細に構築するのではなく、活用目的を達成するために必要な作り込みレベル(範囲、詳細度)で作成した〈表-1、図-3〉。また、作成に用いたソフトウェアは、活用目的、市場性、操作性等を考慮し、選定した〈表-1〉。

〈表-1〉 3次元モデルの諸元

階層	内容	種類	詳細度	ソフトウェア
統合モデル	各構造モデルを統合したモデル	NavisWorks (サーフィス+ソリッド)	詳細度 300 (一部 400)	NavisWorks Manage 2018
構造モデル	①線形モデル	道路中心線形 XML	—	Civil3D2018 (Landxml1.2 対応)
	②地形モデル	サーフィス	最小 10m メッシュ (周辺建物 200)	Civil3D2018
	③トンネル本体モデル	ソリッド	詳細度 300	Civil3D2018
	④坑口(コンクリート)モデル	ソリッド	詳細度 300 (一部 400)	Civil3D2018
	⑤坑口(土工)モデル	サーフィス	5m メッシュ程度	Civil3D2018

※) 詳細度は、LevelOfDetail(形状の詳細度)のほか、LevelOfInformation(情報の詳細度)、LevelOfDevelopment(展開度)等の考え方があり、BIM/CIMモデルの活用にあたってはいずれも重要である。本稿での詳細度はLevelOfDetail(形状の詳細度)を指している。

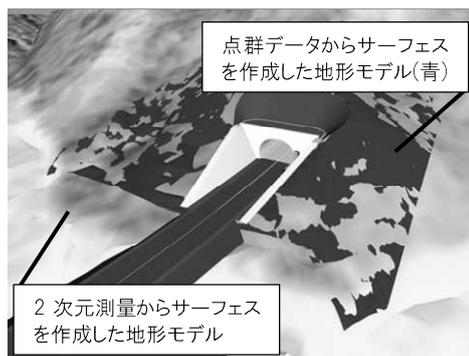
地形モデルのうち、坑口部は坑門工検討のため 3 次元点群測量(地上LS)データを使用した。明かり部は構造物の詳細な配置を照査する目的ではないため(後述する騒音対策の要否判断および警報表示板配置の比較選定のため)、2次元測量からの等高線を 3次元化した。

統合モデルは、地形モデル、線形モデル、構造物モデル等のそれぞれのモデルを組み合わせ、モデル全体を把握できるようにしたモデルである〈図-3〉。今回は坑門工

の配置検討を主目的としてモデルを作成したため、明かり部では小構造物は未反映、法尻端部等の処理を精緻に構築しないこととし、また地質・土質モデルの作成は省略した。なお、地質・土質モデルはBIM/CIMによりトンネル本体設計を実施する場合には重要なモデルとなる。

(3) 2次元測量データから作成した3次元モデル(地形モデル)の精度確認

坑口部において3次元点群測量と2次元測量とのそれぞれから作成した地形モデルを比較し、2次元測量からのモデル精度を検証した。それぞれのモデルはサーフェス(面)の作り方・取り方が異なるため、完全に一致することとはなく、重ね合わせるとそれぞれのモデルの面の高さ位置が各地点で上位、下位に位置することでまだらな見栄えとなる〈図-4〉。このまだらな分布が概ね半分程度(50%程度)であれば、それぞれの地形モデルの形状が概ね一致していると判断できる。ソフトの性能上、分布の割合を定量的に表示することは出来ないため、あくまで視覚的な評価となるが、今回モデルでは大きく精度は変わらないと判断した。



〈図-4〉 地形モデルの比較

ただし、一般的にはサーフェスを作成する接点数が多い3次元点群データの方が高精度となる。今回は、地形が比較的単純（複雑な凹凸や勾配変化点がない斜面）であったことで2次元測量から作成した地形モデルであっても一定の精度が確保されたと考えられる。

(4) 3次元モデルの活用

今回は、今後のBIM/CIM活用を見据えて、主目的である**a)** 坑門工の比較検討に加えて、3次元モデルの有用性を幅広く検証するため**b)** ~**d)** の検討も実施した。なお、いずれの検討も国土交通省が示すリクワイヤメント（要求事項）に該当するものから選定した。（リクワイヤメントを【】内に記載）

a) 坑門工の比較検討

【R3:設計選択肢の調査(配置計画案の比較)】

3次元モデルを用いて視覚化し、構造イメージの理解促進、景観への配慮、設計照査の効率化等を図るため、3案の坑口構造をモデル化し、坑門工の構造比較検討および照査を実施した<図-5>。

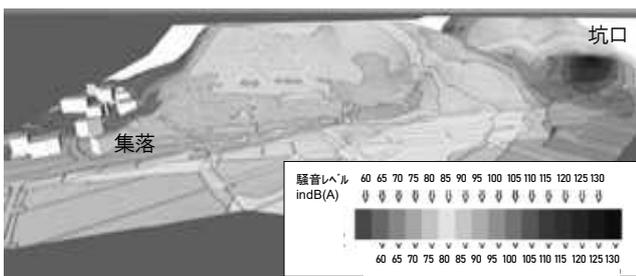
比較案	第1案 面壁型 背掘切土無し No.30+10.0 (基準案)	第2案 面壁型 背掘切土1段(安定勾配1:1.2) No.30+18.0 (-8.0m) <標準案>	第3案 面壁型 背掘切土1段(法种併用1:0.8) No.30+1.0 (-11.0m)
平面図			
断面図			
掘削現場イメージ			
掘削現場イメージ(トンネル)			

<図-5> 坑門工比較表

b) 騒音対策の要否判断

【R3:リスクに関するシミュレーション(騒音)】

3次元モデルを活用した3次元騒音解析により、▽坑口の施工仮設備騒音、▽発破騒音、▽発破低周波音について、それぞれ昼間・夜間の計6ケースの騒音対策工の検討および照査を実施した<図-6>。

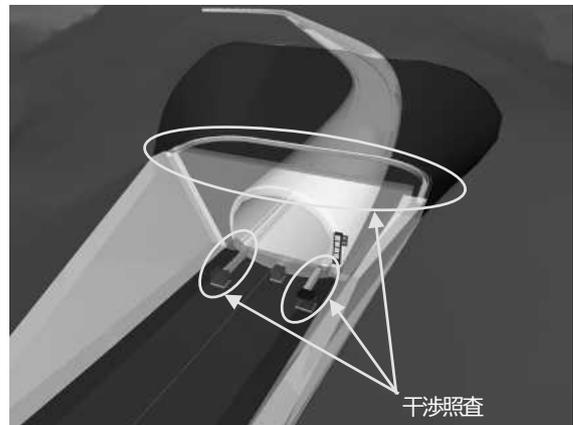


<図-6> 3次元騒音解析結果(発破騒音・昼間/無対策)

c) 配管と構造物の干渉照査

【R2:BIM/CIMモデルを活用した効率的な照査】

トンネル本体、および設備設計にて計画した配管類を3次元化し、3次元モデル(構造物モデル)へ統合することで、面壁、坑口前面擁壁工、および坑口上部の法枠工との位置関係、干渉の有無を照査した<図-7>。

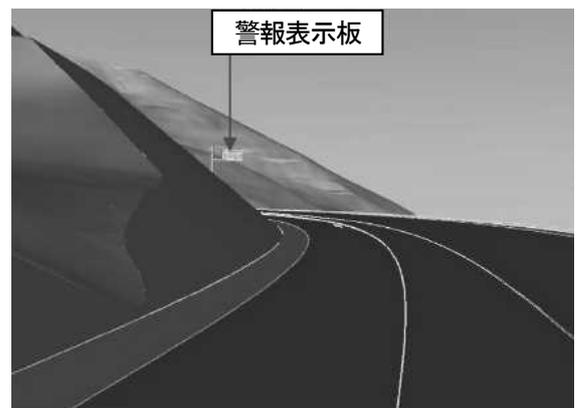


<図-7> 構造物の干渉照査

d) 警報表示板配置の比較選定

【R3:対外説明(関係者協議)】

トンネル設備設計でのトンネル警報表示板の配置検討において、3次元モデルを活用して各案の視認性、補助表示板の必要性判断要素である警報表示板と坑口との同時視認の可否を照査し<図-8>、その結果を関係機関(警察・消防)協議で活用した。



<図-8> 警報表示板の配置照査

3. 効果と課題

各取組みの効果と課題を以下にまとめる。

(1) 3次元モデル作成

a) 効果

- ・3次元サーフェス作成後に電子国土基本図(オルソ画像)を貼り付けることで、景観との調和の確認に役立つ

つ結果が得られた。

b) 課題

- ・3次元データは容量が大きく（今回モデル 152MB）、実務上の運用（操作性、受発注者間の情報共有）を見据えてファイルサイズを意識する必要がある。
- ・実際にビューワーソフトへのモデル取り込みに時間を要するなど作業性が悪かったため、職員用パソコンのスペックのアップグレードが望まれる。

(2) 坑門工の比較検討

a) 効果

- ・複雑な構造となる坑門工の比較検討段階において、3次元で視覚化することで、各案の構造イメージが短時間で理解できた。
- ・周辺地形を含めモデル化することで、景観との調和の確認に役立つ結果が得られた。

b) 課題

- ・坑門工と周辺地形との擦り付けのモデル化は難易度が高いため、モデル作成に時間を要した。

(3) 騒音対策の要否判断

a) 効果

- ・3次元モデルを活用した3次元騒音解析により、通常の2次元騒音解析では考慮できない周辺地形の反射や複合音を反映することができ、解析の高度化が図れた。
- ・解析結果を視覚的に表現することで、対策の要否、および対策工の有用性について一括で確認でき、照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・3次元騒音解析結果の3次元モデルへの取り込みは、使用するソフトウェアが異なることから自動では出来ないため、解析結果と3次元モデルの統合に手間を要した。
- ・上記手間に関連して、ヒューマンエラーのリスクが生じる可能性がある。

(4) 配管と構造物の干渉照査

a) 効果

- ・3次元モデルを活用することにより、これまで平面図、縦断図、横断図を見比べて確認していた配管と構造物の干渉の有無を立体的に一括で確認することができ、干渉照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・関連業務（明かり部道路設計、トンネル設備設計）の検討を待って、その結果を3次元モデル化するため、照査のタイミングが関連業務の検討工程に左右される。
- ・モデル化には土木・設備の知識とモデル作成のスキルを合わせ持った専門技術者が必要となることから、業界として人材育成が求められる。

(5) 警報表示板配置の比較選定

a) 効果

- ・3次元モデルを活用することにより、運転者視点からの警報表示板の視認性を現実に近い形で容易に把握することが可能となり、関係者間の合意形成が円滑に行えた。
- ・各配置案の比較、妥当性の判断段階において、視点ごとの視認性を段階的に確認することが可能となり、照査の高度化・効率化が図れた。

b) 課題

- ・関連業務（明かり部道路設計、トンネル設備設計）の検討を待って、その結果を3次元モデル化するため、照査のタイミングが関連業務の検討工程に左右される。
- ・モデル化には土木・設備の知識とモデル作成のスキルを合わせ持った専門技術者が必要となることから、業界として人材育成が求められる。

4. まとめ

今回の試行的な取組みの結果、以下の知見が得られた。

取組み結果		知見
3次元モデルを用いて視覚化することで、構造イメージの理解向上、景観との調和の確認、関係者との合意形成の円滑化、設計照査の効率化が図れる。	⇒	3次元モデルは設計の品質・生産効率を高めるツールとして使いこなすことで、大きな武器となる。
地形・地物等の現場条件によっては、3次元点群測量データにより作成した3次元モデルと、2次元測量データにより作成した3次元モデルとでは、サーフェスは概ね一致する（大きく精度が変わらない）場合がある。	⇒	3次元モデルの作成において3次元点群測量データが必ずしも必要ではなく、生産性が左右されるため（3次元点群測量データは容量がかなり大きい）、3次元モデルの活用目的に応じて使用する測量データを判断する必要がある。
詳細度 300（国土交通省が定める3次元モデル成果物納品要領（案）において基本とされる詳細度）は、今回の取組みで設定したリクワイアメントを十分に満足するものであり、現段階で想定される3次元モデルの活用において詳細度 300は国土交通省が示す概ねのリク	⇒	3次元モデルは、作成に時間を要し、精緻にするほど非効率となる場合があるため、活用目的に応じて作り込みレベル（範囲、詳細度）を見極める必要がある。

ワイヤメントに適合すると思われる。		
リクワイヤメント（目的）に応じた3次元モデルの利活用を図ることで効果的な成果が得られる。	⇒	3次元化は手段であり目的ではないことを認識する必要がある。 さらにその認識は、建設生産システム全体において各工程で目的意識を持って効果的に使いこなす視点が重要となる。

県レベルでは利活用が普及していないのではないだろうか。その要因の一つとして、筆者は3次元モデルをどのように活用するか（できるか）のノウハウが乏しいためではないかと考えている。そこで、都道府県や市町への普及拡大に向けて、国等においては講習会や担い手育成を目指した技術普及、BIM/CIM 利活用により得られる利点（成果）のPR等の強化を図るとともに、都道府県は積極的な試行的取組みの推進や組織・職員の意識改革が求められる。

本県では2025(R7)年度から測量設計の原則3次元化を目指しているが、現状を鑑みるにその実現に向けた道りは遠いと感じている。本取組みが今後の推進の一助となり、本県の全土木事務所で展開されるように、私自身はBIM/CIMの推進、普及（定着）に向けて、これからも邁進する所存である。

5. おわりに

BIM/CIMは3次元化モデルを導入することで、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化が図れる。それにもかかわらず、本県でもそうであるように、都道府

参考文献

- 1) 国土交通省：第7回 BIM/CIM推進委員会 資料1