

海部野根道路におけるBIM/CIM実施状況の報告

ー3次元地質・土質モデルの活用事業の取り組みー

徳島河川国道事務所	計画課	宮脇 裕二
徳島河川国道事務所	計画課長	海崎 健志
徳島河川国道事務所	計画第一係長	佐々木 惇郎

平成31年度に新規事業化した海部野根道路において、事業開始時よりBIM/CIM活用に積極的に取り組んでおり、四国の地質調査の先駆けとして3次元地質・土質モデルの作成に取り組んだ。その実施状況、活用内容と今後の課題や展望について報告する。

キーワード BIM/CIM, 準3次元地盤モデル

1. はじめに

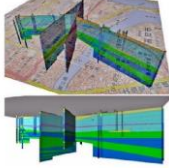
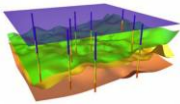
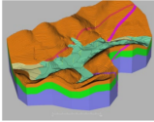
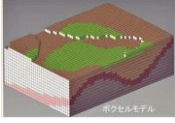
国土交通省では、ICTの活用等により調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、抜本的な生産性向上と、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction」に取り組んでいる。その中で、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) とは、計画・調査・設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報を充実させながらこれを活用し、あわせて事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産システムにおける受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものとして、i-Constructionの深化に向けて推進している。海部野根道路においても事業化初年度より3次元地質・土質モデル作成に積極的に取り組んでおり、ここでは現段階での取り組み状況を報告する。

2. 3次元地質・土質モデル作成の考え方

3次元地質・土質モデルは、実際の形状を表現する地形や構造物モデルと異なり、ボーリング調査などの成果による地質や土質の分布、物性などの限られた情報から調査成果がない箇所には地盤技術者の解釈を加えて作成した推定モデルである。このためモデルの精度は作成時の調査の量や内容に依存するので、事業の進捗に応じて地質調査情報が増加していく場合はモデルを修正する必要がある。また、設計から施工までの各段階毎に必要とされるモデルの種類や精度は対象構造物およびその事業段階によって異なるので事業段階に応じた地質・土質モデルを選択し、グレードアップすることが必要になる。

表-1に主な3次元地質・土質モデルの概要を示す。

表-1 3次元地質・土質モデルの主な種類と概要

種類	概要	長所	短所
① 準3次元地盤モデル	地質調査結果の地質断面図を3次元空間に配置したモデル。 	・ボーリングモデル(柱状図)を併用することにより、地質断面図の作成時の推定範囲および解釈意図を表すことができる。 ・後続調査の追加に伴い、複数断面を重ねる事で地質解釈の矛盾を比較的簡単に把握できる。 ・後続調査の追加に伴い、複数断面を重ねる事で地質解釈の矛盾を比較的簡単に把握できる。 ・構造物等との位置関係を把握しやすい。	・断面を配置した箇所以外の空間的な状況が分からない。
② サーフェスモデル	複数のボーリング結果を基に、様々な情報を地質学的な解釈を加えて総合的に表現したものである。地層などの境界面に地層・岩体区分等の属性を持つ面で構成されるモデル。 	・ソリッドモデルに比べて、データ容量が小さく比較的作成時間が短い。 ・3Dビューアで3次元表示する場合は地形図(テクスチャモデル)、準3次元断面図やボーリング柱状図なども同時に表示できるため、視覚効果に優れている。	・複数のサーフェスモデルを用いないと1つの地盤モデル(地層、岩体区分、土軟硬区分等)を表現できない。 ・データ交換形式、品質の評価基準、ソフトやスキルの認定等の標準化が未整備である。
③ ソリッドモデル	サーフェスモデルが地層などの境界面の上面のみを表現しているのに対して、上面・下面・側面の境界面とで挟まれた内部の地質情報などを付加した属性情報から構成されるモデル。 	・一つの地盤モデル(地層、岩体区分、土軟硬区分等)を一つのソリッドモデルで表現できる。 ・体積計算や構造物モデルとの干渉計算が容易にできる。	・サーフェスモデルに比べデータ容量が大きくなり、作業時間を要する。 ・高い解像度が要求される場合、データ量が膨大になる。
④ ボクセルモデル	モデル全体を小さな立方体(空間格子)の集合体として表現するものである。通常は、サーフェスモデルの形状と境界面間の属性情報を微小立方体に付与することにより作成する。 	・表面だけでなく内部構造も表現可能である。 ・3次元FEM解析に用いるボクセル要素モデル等に使用できる。	・サーフェスモデルに比べデータ容量が大きくなり、作業時間を要する。 ・高い解像度が要求される場合、データ量が膨大になる。 ・データ交換形式、品質の評価基準、ソフトやスキルの認定等の標準化が未整備である。

第一次調査では大局的な地層構成の把握を目的とするための準3次元地盤モデルで充分活用できる。そして地層が複雑な場合や構造物の安定が危惧されるような軟弱層の存在、杭基礎の支持層に起伏がある場合は、二次調

査においてサーフェスモデルを構築する。更に3次元安定解析や対策工設計・施工維持管理までを考慮するとソリッドやボクセルモデルで構築する必要がある。

本業務においては、道路予備設計の段階であり、準3次元地盤モデルの作成を行った（図-1参照）。

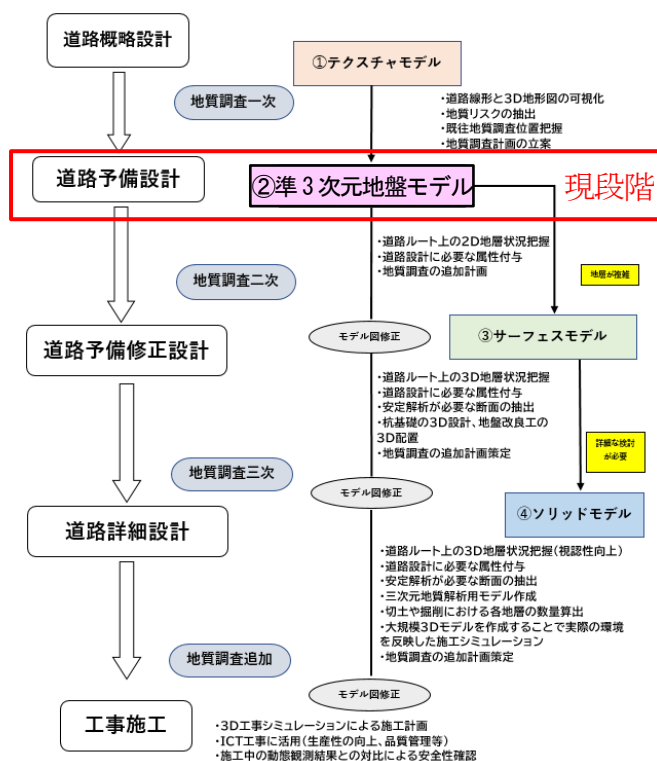


図-1 各段階の3次元地質・土質モデル選定フロー

3. 3次元地質・土質モデルの作成

令和2年度までに海部野根道路で実施した合計38箇所のボーリング調査データをBIM/CIMに取り込み、属性情報を付与した準3次元地盤モデルを今後の利活用のため情報を一元化させて作成した。

(1) 準3次元地盤モデルの作成

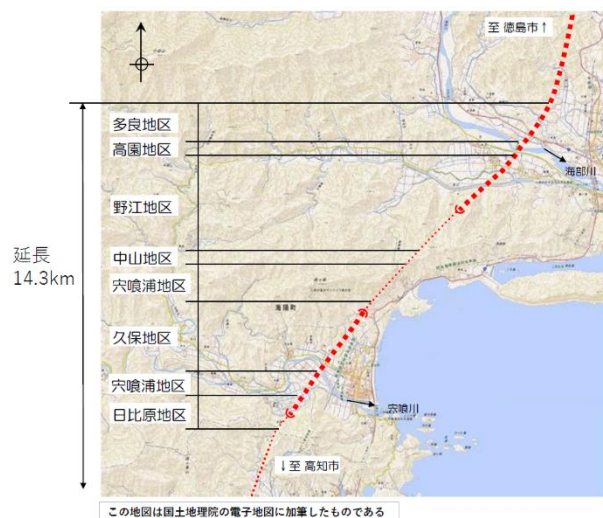


図-2 一般国道55号 海部野根道路

a) ほぼフラットな成層状況にある地盤

野江、久保、穴喰浦、日比原地区は海部川の沿岸低地にあたり、扇状地礫層や沖積平野の粘土・砂・礫を主体とする地層がほぼフラットに分布する成層状況である。盛土工の設計検討には準3次元地盤モデルがあれば十分対応可能である（図-3、図-4、図-5、図-6参照）。

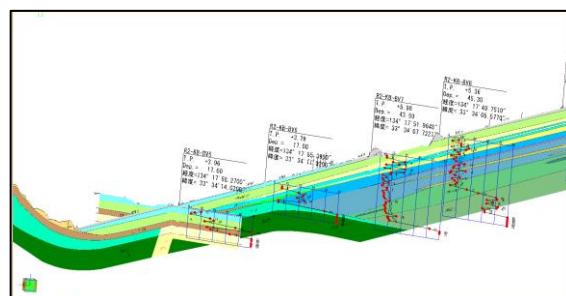


図-3 野江地区 準3次元地質・土質モデル

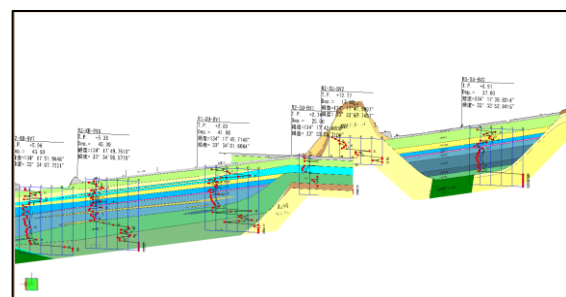


図-4 久保地区 準3次元地質・土質モデル

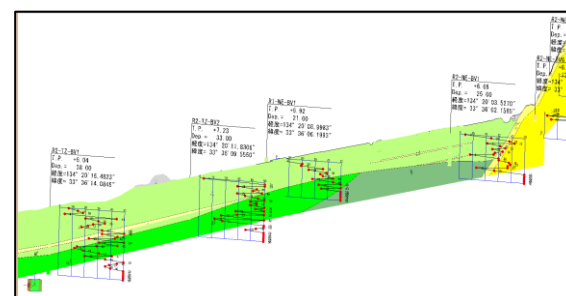


図-5 穴喰浦地区 準3次元地質・土質モデル

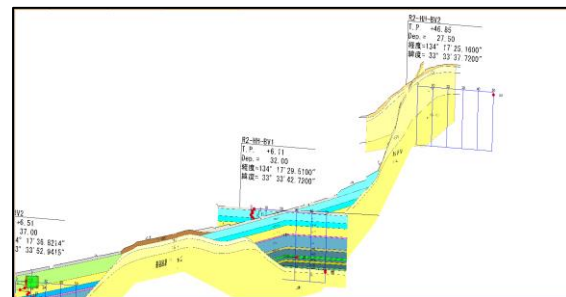


図-6 日比原地区 準3次元地質・土質モデル

b) 基岩が起伏に富み複雑な地盤

多良地区は谷間の沖積低地にあつて、ボーリング調査

によって有機物を多く含む粘土や火山灰層が分布し、支持層となる基盤岩線は起伏に富むことが判明した。この多良地区には本線と接続するインターチェンジが建設される予定である（図-7、図-8参照）。

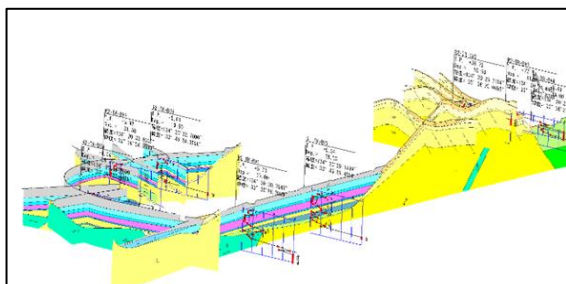


図-7 多良地区 準3次元地質・土質モデル



図-8 多良地区の構造物モデル（令和2年12月末現在）

(2)属性情報の付与

属性情報の付与にあたっては、BIM/CIMガイドラインの記載項目を参考として、ボーリングモデル毎に「工程」「属性種別」「属性名称」「付与時の用途」「申し送り事項」「最終更新日時」等を付与属性項目一覧表としてとりまとめた上でBIM/CIMモデルに付与した（表-2参照）。

地質・土質モデルは各地層の分布状況を示す形状情報（オブジェクト）と前述の属性情報が一対となって構成されるものであり、各事業段階における追加調査等により追加・変更・更新されることを勘案して、形状情報と属性情報を互いに分離し「共通ID」を使用して各々を個別に管理できるように外部参照ファイルとした。

また、『設計—施工間の情報連携を目的とした4次元モデル活用の手引き（案）』（国土交通省）を参考に計画、調査、設計、施工、維持管理の各段階で地形・地質等を要員とする地質リスクを、3次元地質・土質モデル上に3Dアノテーションとして表示できるような属性ファイルを作成した（表-3参照）。当該業務においては、軟弱地盤が浅層部に分布する地区に対して計画盛土のすべり安定計算結果を属性ファイルとした。同様に各調査地点の液状化の判定結果についても各々のボーリングモデルに属性情報ファイルとしてリンクさせた。

表-2 ボーリングモデル（調査結果モデル）の属性情報

	項目	概要
基本情報	ID	孔番号よりハイフンを除き末尾に-1を付加。
	ボーリング名	孔番号を入力。
	ボーリング柱状図の種類	柱状図の種類を入力。
	経度_度	経度を記入する。度(3桁)
	経度_分	経度を記入する。分(2桁)
	経度_秒	経度を記入する。秒(小数点以下4桁)
	緯度_度	緯度を記入する。度(2桁)
	緯度_分	緯度を記入する。分(2桁)
	緯度_秒	緯度を記入する。秒(小数点以下4桁)
	角度	垂直ボーリングの場合は未記入。
	方位	垂直ボーリングの場合は未記入。
	孔口標高	孔口標高を記入(TPm)。
	掘削孔長	掘削孔長をメートル単位で記入。
	削孔孔径	削孔孔径をミリ単位で記入。
	BORING.XMLデータリンク	BORING.XMLファイルデータリンク先を記入。
	COREPIC.XMLデータリンク	COREPIC.XMLファイルデータリンク先を記入。
	GRNDTST.XMLデータリンク	GRNDTST.XMLファイルデータリンク先を記入。
地質情報	OTHRFLS.XMLデータリンク	OTHRFLS.XMLファイルデータリンク先を記入。
	REPORT.XMLデータリンク	REPORT.XMLファイルデータリンク先を記入。
	DRAWING.XMLデータリンク	DRAWING.XMLファイルデータリンク先を記入。
	改訂履歴_実施期日	改訂履歴実施期日をCCYY-MM-DD方式で記入。 対象外は空欄。
	改訂履歴_理由	改訂の理由を記載。 対象外は空欄。
	改訂履歴_実施者氏名	改訂実施者の氏名を記入。 対象外は空欄。
	土質名	基準単位の土質・岩石名を記入。
	土質名_コード	ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説(H27.6)記載のコードを入力。
	土質名_下端深度	土質下端深度をメートル単位で記入。
	孔内水位	孔内水位をメートル単位で記入。
	孔内水位_測定月日	孔内水位測定月日をCCYY-MM-DD方式で記入。
	N値_開始深度	標準貫入試験開始深度をメートル単位で記入。
	0_100打撃回数	0～100mm間の打撃回数を記入(回)。
	0_100貫入量	0～100mm間の貫入量を記入(mm)。
	100_200打撃回数	100～200mm間の打撃回数を記入(回)。
	100_200貫入量	100～200mm間の貫入量を記入(mm)。
	200_300打撃回数	200～300mm間の打撃回数を記入(回)。
	200_300貫入量	200～300mm間の貫入量を記入(mm)。
	合計打撃回数	合計打撃回数を記入(回)。
	合計貫入量	合計貫入量を記入(mm)。

表-3 ボーリングモデル（推定・解釈モデル）の属性情報

	項目	概要
管理情報	ID	孔番号よりハイフンを除き孔番号の末尾に-2を付加。
	調査名	調査名を記入。
	調査者名	調査会社名を記入。
	調査担当者名	管理(主任)技術者氏名を記入。
	調査開始期日	調査開始期日をCCYY-MM-DD方式で記入。
	調査終了期日	調査終了期日をCCYY-MM-DD方式で記入。
	平面直角座標系	平面直角座標系を記入。
	X座標	平面直角座標のX座標を記入する。
	Y座標	平面直角座標のY座標を記入する。
	BORING.XML	BORING.XMLファイルデータリンク先を記入。
	COREPIC.XMLデータリンク	COREPIC.XMLファイルデータリンク先を記入。
	GRNDTST.XMLデータリンク	GRNDTST.XMLファイルデータリンク先を記入。
	OTHRFLS.XMLデータリンク	OTHRFLS.XMLファイルデータリンク先を記入。
	REPORT.XMLデータリンク	REPORT.XMLファイルデータリンク先を記入。
	DRAWING.XMLデータリンク	DRAWING.XMLファイルデータリンク先を記入。
	改訂履歴_実施期日	改訂履歴実施期日をCCYY-MM-DD方式で記入。 対象外は空欄。
	改訂履歴_理由	改訂の理由を記載。 対象外は空欄。
	改訂履歴_実施者氏名	改訂実施者の氏名を記入。 対象外は空欄。
属性情報	地層_IDコード	年代の古いものよりBEDnmm-n形式で記入。
	地層_増積順位	年代の古いものより連番(n)
	地層_名称	地層名称を付加。
	地層_記号	地層記号を付加。
	地層_下端深度	地層下端深度をメートル単位で記入。
	地層_色	webカラーコードおよび着色を記入。
	地層_平均N値	地層の平均N値を記入。 対象外は空欄。
	地層_湿潤密度(g/m³)	地層の湿潤密度を記入。 対象外は空欄。
	地層_湿潤密度_設定根拠	地層の湿潤密度について設定根拠を記載。 対象外は空欄。
	地層_粘着力(kN/m²)	地層の粘着力を記入。 対象外は空欄。
	地層_粘着力_設定根拠	地層の粘着力について設定根拠を記載。 対象外は空欄。
	地層_せん断抵抗角(度)	地層のせん断抵抗角を記入。 対象外は空欄。
	地層_せん断抵抗角_設定根拠	地層のせん断抵抗角について設定根拠を記載。 対象外は空欄。
	地層別地盤定数一覧リンク先	地層別の地盤定数一覧ファイルデータリンク先を記入。
	地質リスク_液状化判定結果リンク先	液状化判定結果ファイルデータリンク先を記入。
	地質リスク_圧密沈下解析データリンク先	圧密沈下解析ファイルデータリンク先を記入。 対象外は空欄。
	地質リスク_すべり安定解析データリンク先	すべり安定解析ファイルデータリンク先を記入。 対象外は空欄。

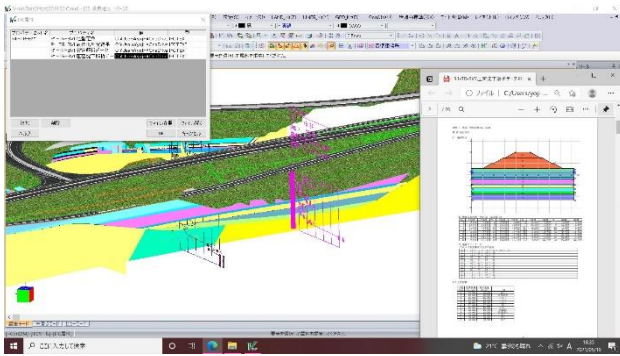


図-8 属性情報の表示

なお、各属性情報は3次元モデルから外部参照属性として付与するものとして、汎用性が高く更新し易いXLSデータとして【GEOLOGICAL】（地質・土質モデルフォルダ）のサブフォルダ【ATTRIBUTE】に格納した。

4. BIM/CIM 活用の今後の取り組みと課題

BIM/CIM の目指すものが、3次元モデルを情報共有・有効活用することによって、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図り生産性の向上を図ることである。

軟弱粘性土が厚く堆積する多良地区では、構造物基礎掘削に伴う応力解放による地盤強度低下や地下水位の変化、盛土による圧密沈下や側方変位など施工時の時間軸を考慮した4D地質・土質モデルを使って、調査・設計の各部門間でフロントローディング（一般的に設計初期段階に十分検討すること）およびコンカレントエンジニアリング（設計から施工にいたるさまざまな業務を同時並列的に処理することで施工完了までのプロセスをできるだけ短期化する手法）を行うことで、適切な基礎工、合理的な仮設や対策工の選定、施工手順のチェックや工期の短縮化に効果を上げることができる。さらに工事中に想定と条件が異なった場合の対処や完成後の維持管理等の継続的なリスク評価を行うためのモデルとして利用が可能である。

とくに課題になり得る地質・地盤リスクが存在する場合は、高品質な3次元地質・土質モデルを関係者間で共有することで、事前にアクシデントを回避する事が可能になり、事業に与えるメリットは大きなものになる。その一方で、予備設計から維持管理まで3次元地質・土質モデルを活用するBIM/CIMは理想であるが、地層分布がフラットで圧密沈下等が危惧される軟弱層が存在しないエリアでは、数本のボーリング調査により地質断面図を作成すれば済むようなケースがある。このような業務でソリッドモデルを作り全ての属性を付与する事は、相当の時間を要することになり多くの機能を取り入れ過ぎるオーバースペックと言えよう。

3次元地質・土質モデルは、その目的や業務規模、作成したデータを業務進捗に対応して、どのように活用するか等を十分考慮して作成方針・仕様を決めていく事が重要であり、モデル作成のための技術と手法の標準化が望まれる。

今後の課題として以下の項目が挙げられる。

- 3次元地質解析技術の標準化 システム化
- 事業段階の要求に応じて付与させる属性情報策定
- 3次元地質・土質モデル作成の積算基準策定

下記項目を考慮した積算

- 1) 解析・作成エリア
- 2) 地質調査情報の種類と量
- 3) 3次元モデル種別
- 4) 詳細度(LOD)

5. おわりに

国土交通省は令和5年度までに小規模を除く全ての公共工事におけるBIM/CIM原則適用に向け、段階的に適用拡大しており、令和3年度は大規模構造物の詳細設計で原則適用となる。

今後、調査・設計段階で作成する3次元地質・土質モデルの需要は飛躍的に増えてくることが予測されるが、地質・土質モデルの作成について、現状では経験的な手法や作成者・利用者の主観に依存しているため、一定の品質を確保するための地質データを取りまとめた技術マニュアルや品質基準書の整備とモデル作成方法・技術を標準化する必要があると考える。

参考文献

- 1) 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会、一般財団法人 日本建設総合情報センター：三次元地質・土質モデル作成の手引き、平成28年11月
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課：はじめてのBIM/CIM、令和元年9月
- 3) 国土交通省：BIM/CIM導入ガイドライン（案）、令和3年3月
- 4) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案）第1編 共通編、令和3年3月
- 5) 国土交通省：設計-施工間の情報連携を目的とした4次元モデル活用の手引き（案）、令和2年3月
- 6) i-Construction 委員会：i-Construction ～建設現場の生産性革命～、平成28年4月