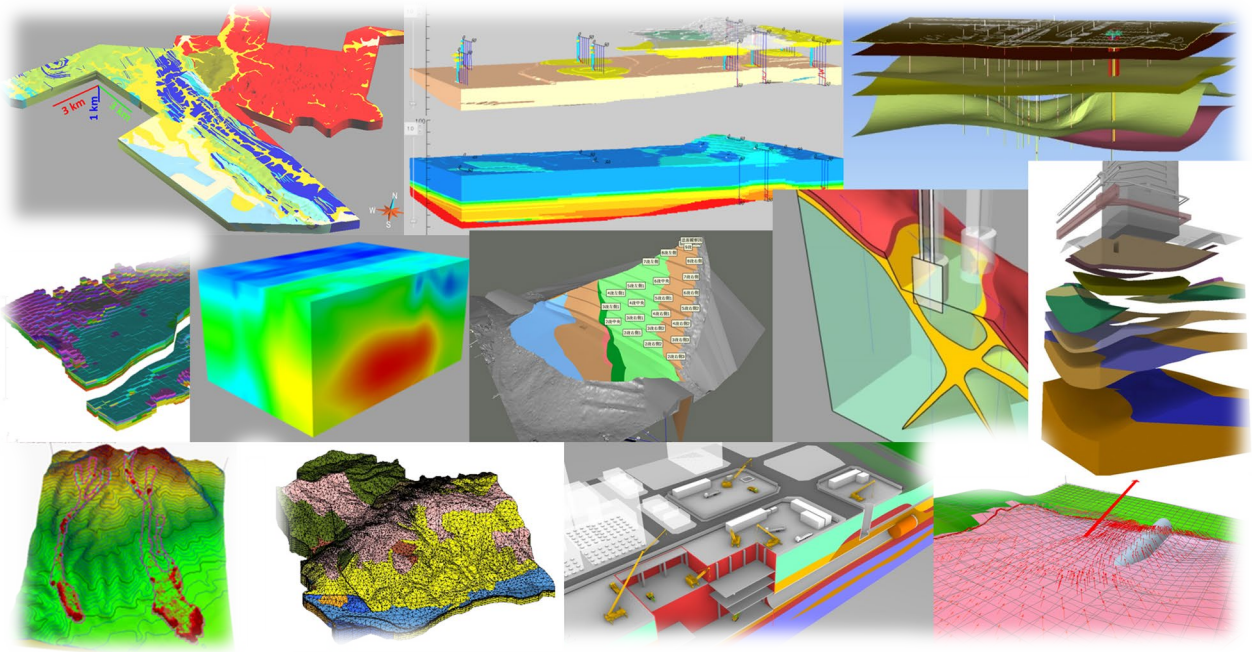
3次元地盤モデリング
ガイドブック

技術マニュアル Ver3.0 対応版



3D Geological
Analysis
Technology
Consortium

1．はじめに

2．本書の構成

＜基本編＞----------

3．3次元地質・地盤モデルとは
3.1 3次元地質・地盤モデルの位置付け
3.2 3次元地質・地盤モデルの種類
3.3 利活用場面
3.4 モデル構築上の留意点
3.5 成果品の構成

4．モデルの利用に際しての留意事項
4.1 地質調査データの品質管理
4.2 モデルの信頼性
4.3 地質・地盤リスク情報

5．照査
5.1 照査の視点
5.2 基本条件の照査
5.3 細部条件の照査

6．モデルの引き継ぎ
6.1 引き継がれるべき情報
6.2 オリジナルファイル
6.3 データ交換標準

7．積算と発注
7.1 発注の視点と課題
7.2 積算の考え方
7.3 作業リソースの考え方

＜実務編＞----------

8．作業計画
8.1 成果品
8.2 作成対象
8.3 ワークフローの組み立て
8.4 作成範囲
8.5 信頼限界
8.6 ソフトウェアの選定
8.7 アルゴリズムの選定

9．データ品質管理
9.1 地形データの品質確認
9.2 ボーリングデータの品質確認
9.3 図面データの品質確認
9.4 品質の記録方法

10．モデリング
10.1 アルゴリズム利用方法
10.2 地質対比
10.3 補填データ
10.4 スケルトンモデル
10.5 モデルの妥当性評価
10.6 モデル化の限界

11．成果品作成
11.1 各種資料作成のポイント
11.2 データフォーマットの種類

12．おわりに

BIM/CIMの適用により建設分野にも3次元モデルを導入する機会が増え、その中で地盤内の地質・土質分布及び物理・化学的特性を可視化した3次元地質・地盤モデルも利用されるようになってきました。3次元地質・地盤モデルは様々な地盤情報を用いて構築されますが、そのモデルの品質や信頼性を明示しないと、ユーザーはどう判断して利用すれば良いのか迷うことになります。このことは、建設プロセスにおいて3次元地質・地盤モデルを利活用するためには、改めてモデルを作成する側の技術的責任が重要であることを示しています。

一方で、地質調査分野ではワークステーションが導入された時代から、3次元地盤モデリング（3次元地質解析技術）が資源探査や各種地盤解析、研究目的で導入されてきました。導入当初はそのシステムを利用するにはハードウェア/ソフトウェアの費用や訓練を含めたトータルコストが高く、PCが一般に普及するまでは建設分野への技術の浸透は進みませんでした。現在では、ハードウェア/ソフトウェアのコストダウンと高性能化が進み、3次元技術の敷居も低くなり、国内外で様々な専用ソフトウェアが利用されています。しかし、3次元地盤モデリングの在り方を見ると、モデリング手法は専用ソフトウェアのルールに強く依存しています。3次元地盤モデルを作成するための技術標準も存在しないのです。

BIM/CIMの観点から、建設ライフサイクルで3次元地盤モデルを利活用するには、信頼性を保持し合理的に利活用するための、3次元地盤モデリングの標準的な流れが必要です。そのような背景から、地質調査に関わる民間事業者は危機感を共有し、「3次元地質解析技術コンソーシアム」を2017年2月に設立しました。「3次元地質解析技術コンソーシアム」は、日々進歩するBIM/CIM関連技術に対応するべく、実務に直面する建設関連業に携わる技術者が集まり、BIM/CIMに繋げるための3次元地質・地盤モデルの作成技術の標準化と普及を目的に活動を進めております。そして、3次元地質モデルの利活用事例から、構築方法、関連技術など、BIM/CIM分野へ適用する際の要点や留意点をまとめた「3次元地質解析マニュアルVer1.0」を作成し2018年3月に公開しました。改定を重ねて現在はVer3.0を公開しています。また、対外発表や技術セミナーの開催など、コンソーシアムの活動紹介や技術普及を進めてきました。

特に、「3次元地質解析マニュアル（以降、技術マニュアル）」は専門的な内容も多く、ボリュームがあることから、もっと読みやすい資料が求められていました。本書は技術マニュアルから重要な内容をピックアップし、BIM/CIMで利用されることを念頭に、基本編は発注者・受注者向け、実務編は受注者向けを想定しています。本書の記述についてより詳しい内容や具体事例について知りたい場合は技術マニュアルを参照下さい。技術マニュアルはコンソーシアムのホームページ（https://www.3dgeoteccon.com/）で公開していますので、ダウンロードしてご覧下さい。

◆基本編の構成

「3章」では、本書で扱う3次元地質・地盤モデルについて定義し、それらを表現・可視化する手段や建設プロセスにおいて利活用できる場面を例示し、3次元地質・地盤モデルを構築するうえで最も気を付けなければならない点を示した。また、BIM/CIMの成果品として3次元地質・地盤モデルはどのような構成になるかを示した。

「4章」では、3次元地質・地盤モデルを利活用するうえで、事実データである地質調査情報の品質を分かり易く記録する方法や、地質技術者にはモデルの信頼性を向上させる役割があること、建設プロセスにおいて地質の不確実性や地質・地盤リスク情報を引き継ぐための視点を示した。

「5章」では、3次元地質・地盤モデルを構築するプロセスにおいて必要な照査のタイミングを示し、照査の基本条件と細部条件における照査項目の考え方と留意点を挙げた。

「6章」では、建設プロセスにおいて3次元地質・地盤モデルを確実に引き継ぐための考え方と、情報交換を行うためのデータ形式についての現状を示した。

「7章」では、3次元地質・地盤モデル構築業務を発注する際の要求性能の考え方と、より正確な積算をおこなうための視点と作業リソースを示した。

◆実務編の構成

「8章」では、3次元地質・地盤モデルを構築する作業の計画に必要な視点をまとめた。モデルの利活用場面に応じた成果品の具体的な構成や表現を例示し、適切な作業を進めるために不可欠なワークフローや、モデルを作成する範囲の考え方、適切なソフトウェアや空間補間アルゴリズムの選定について示した。

「9章」では、3次元地質・地盤モデルの構築に用いる地質調査データの品質管理についてまとめた。モデルを作成する基本となる地形データや、ボーリングデータ、各種地質図面データを扱う際の留意事項を示した。

「10章」では、3次元地質モデルの具体的な作成方法についてまとめた。適切なモデルを作成するための地質対比法や補填データの取り扱い、モデルの作成根拠を示すスケルトンモデル、モデルの妥当性評価の視点、モデル化の限界を示した。

「11章」では、3次元地質・地盤モデルの成果品を作成するための視点と、納品データフォーマットを示した。

3.1　3次元地質・地盤モデルの位置付け

3次元地質モデルと3次元地盤モデルの違いを知る

本ガイドブックでは、3次元地質モデルと3次元地盤モデルは、次のような位置付けで取り扱う。

【3次元地質モデル】

地質学的分類（層序学、堆積学、構造地質学、地史学、古生物学、岩石学、鉱物学、火山学など）により、その種類や分布を3次元空間に可視化したもの

【3次元地盤モデル】

3次元地質モデルをベースに工学用途に応じた地質・土質調査結果により、地盤の物理・化学的特性を3次元空間に可視化したもの

なお、3次元地盤モデルを構築するうえで3次元地質モデルは不可欠であるため、本書では、3次元地盤モデルを構築する過程に3次元地質モデルを作成する作業（3次元地質解析）を含むものとする。

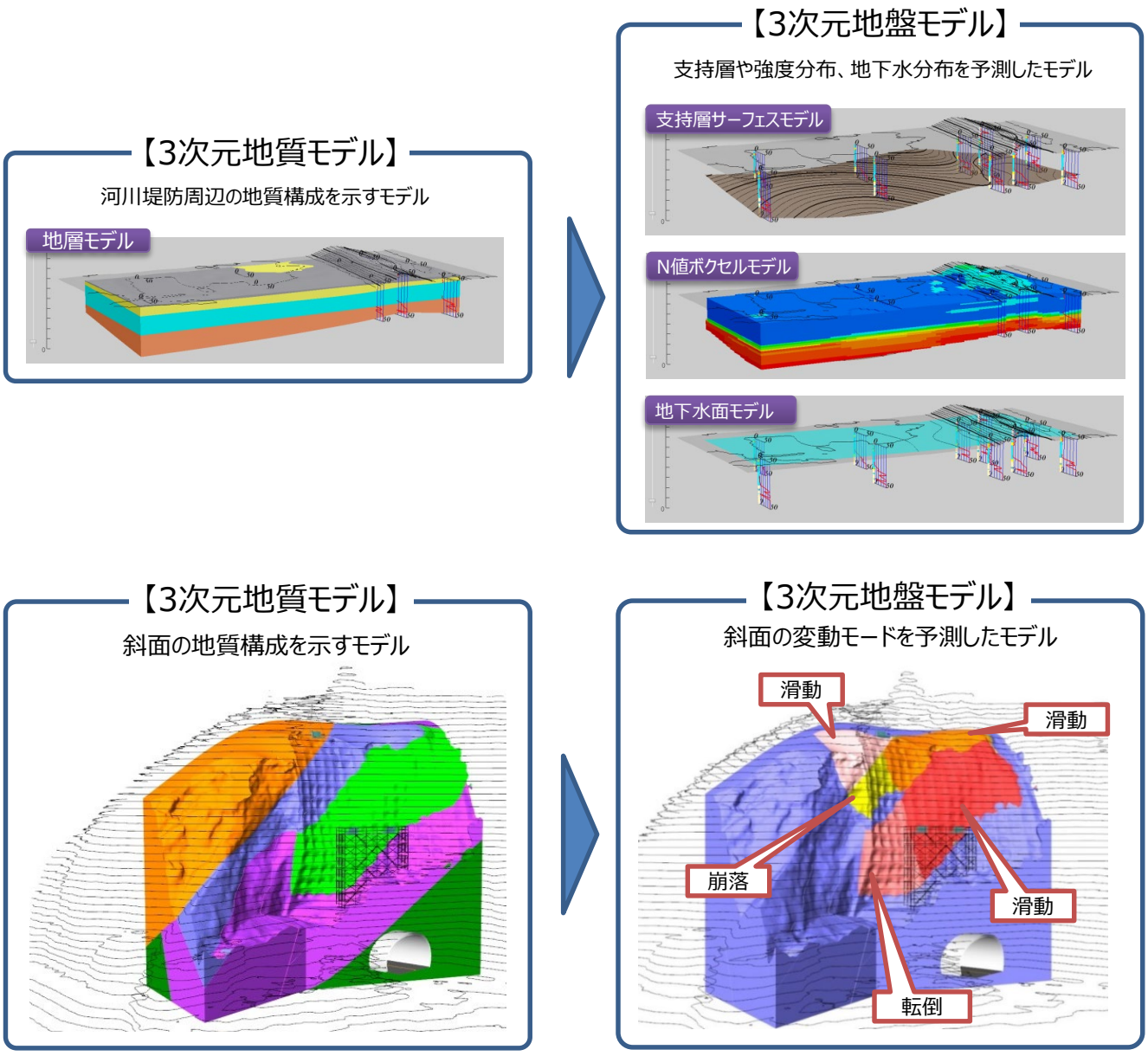
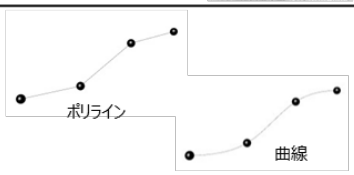
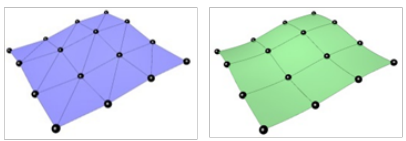
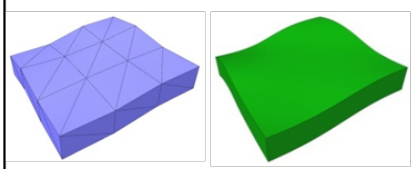


図3.1-1　3次元地質モデルと3次元地盤モデルの違いの例[1)]

利用場面に適した3次元オブジェクトを使用する

3次元地質・地盤モデルは、点・線・サーフェス・ソリッドの図形要素を複合的に利用し、地質調査データと地盤モデルを表現する。地質・地盤リスク情報などを示す注記（アノテーション）は、3次元地質・地盤モデル上に重ねて表示することで、利用者の理解を助けることが可能である。このような図形要素や表現した3次元モデルは、一般的にオブジェクトと総称される。

表3.2-1　3次元地質・地盤モデルに用いる図形要素とデータ構造の例[1)]

図形要素	形状イメージと通称	データ構造
点		【点】 位置座標(x,y,z)のみで定義できるもの 【点群】 大量の点の集合
線		【ライン（線分）】 点（ノード）の位置座標と結線情報からなる単一の線 【ポリライン（折線）】 複数のラインが連続して接合したもの 【曲線（NURBS※曲線など）】 重みベクトル等を持つ制御点で滑らかな曲線形状を表現したもの ※NURBS：non-uniform rational B-spline（非一様有理Bスプライン）
サーフェス（面）		【ポリゴンメッシュサーフェス】 三角形・四角形に並んだ点（頂点）からなる 点の結線情報を持つ場合と持たない場合があり、結線情報を持つ場合は 点・辺・面が定義される 【NURBSサーフェス】 制御点の重みベクトル等により正確で滑らかな曲面形状を表現したもの
ソリッド		地質の表現として使用されるB-Reps※ソリッドには次の2種類がある 【ポリゴンメッシュソリッド】 ポリゴンメッシュサーフェスで塊りの表面を表現したもの 中空であり内容部は暗黙的な表現となる 【NURBSソリッド】 NURBSサーフェスで塊りの表面を表現したもの 中空であり内容部は暗黙的な表現となる ※B-Reps：Boundary Representation（境界表現）

■地質・地盤情報の形状表現

3次元地質・地盤モデルや3次元空間に表現した地質調査データは、電子データである3次元図形要素（表3.2-1）により構成される。3次元空間上で地質調査データおよび地質・地盤モデルを表現するための図形要素を表3.2-2に示す。

地質調査データは単一の図形要素で表現する場合と、複合的に用いる場合がある。例えば、ボーリングは、試験位置を点で、試験結果グラフを線で、ボアホール孔壁調査による不連続面構造をサーフェスで、柱状体をソリッドで表現する。利用目的によりこれらの図形表現を組み合わせて表現する。

地質・地盤モデルについては、準3次元図面やパネルダイアグラムは線とサーフェスモデルの複合で表現する。地形面・境界面はサーフェスモデルで、地層はソリッドモデルで表現する。境界面や地層に割り当てられた物性は、サーフェス・ソリッドモデルにて表現する。

以上の図形表現を用いて地質調査データと地質・地盤モデルを可視化した事例を、図3.2-1と図3.2-2に示す。

■リスク情報可視化手段としてのアノテーション

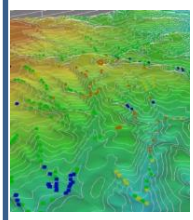
アノテーションとは、寸法、公差、注記、テキスト、または手動/外部操作の無い可視的な記号とされる[2)]。3次元CADにおけるアノテーションは、ISO16792に規定されている。

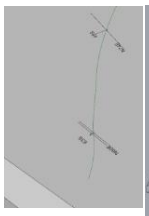
工業製品分野では、3次元単独図（3次元アノテーテッドモデル）の情報提示手段としてアノテーションが活用されている。3次元単独図とは、製品形状と製品特性（注釈、属性）を表した3次元モデルと、製品特性の注記及び管理情報を3次元モデルから独立した情報として表した図面[2)]と定義されている。

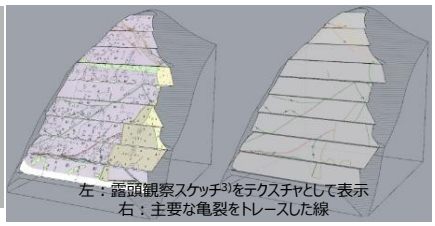
アノテーションの情報可視化機能を用いることて、地質・地盤リスク情報を見落としなく、直感的な認識を可能にすることが期待できる（図3.2-3,3.2-4）。

表3.2-2　地盤情報と図形要素の対応例[1)を修正]

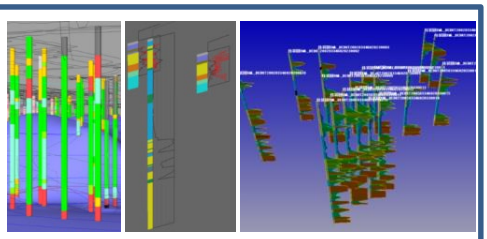
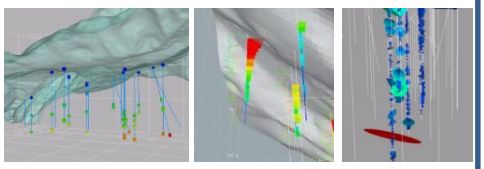
地盤情報			図形要素				備考
			点	線	ｻｰﾌｪｽ	ｿﾘｯﾄﾞ	
地質調査データ	露頭	位置	○	○	△		点：マクロ的にみた露頭や転石の位置 線・サーフェス：露頭の範囲
		不連続面		○	○		線：露頭内の層理・断層・節理など サーフェス：不連続面の走向・傾斜を円盤などで表現
		種類	○	△	○		露頭を構成する地質・岩級等の属性
		画像			○		露岩・試掘坑・切羽・法面等の写真やスケッチ
	ボーリング・サウンディング	孔口位置	○				調査位置を表現。
		ボアホール・試験区間	△	○	○		ボーリングやサウンディングの調査区間を表現 ボアホール孔壁の情報を表現
		境界点	○	△	○		点・線：地質境界や不連続面等の位置を表現 サーフェス：不連続面の走向・傾斜を円盤などで表現
		コア区分	○	○	○	○	地質・風化・岩級区分等の区分の区間情報を表現
		試験・検層	△	○	○	△	点：試験深度と値で表現 線・サーフェス：試験区間と値で表現
	物理探査			△	○	○	図形要素に物性値を割り当てて色や値などで表現
	動態観測		○	○	○		変位量やその方向等を表現 サーフェス：変位量をコンターなどで表現
地質・地盤モデル	準3次元図面			○	○		地質解釈による地質平面図・断面図等のベクタ・ラスタ形式の図面 （ラスタの場合はサーフェスモデル上にテクスチャマッピングで表現）
	地形面			△	○		線：ワイヤーフレームで表現
	境界面			△	○		線：ワイヤーフレームで表現
	地層					○	地層の上限・下限や分布範囲・信頼限界で閉じた領域を表現
	物性				○	○	モデルの構成要素に物性値を付加した表現
	パネルダイアグラム			○	○		3次元の地形・境界面・地層・物性モデルより切り出したもの
○：使用頻度が高い　△：使用頻度が低い							

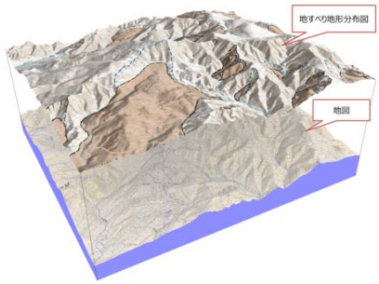



露頭情報の例（露頭の位置と種類を表現）

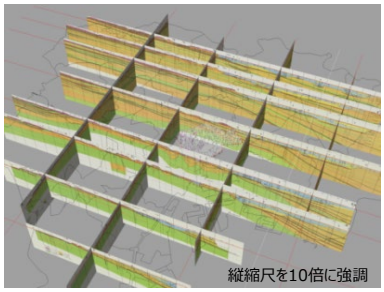


切土のり面の露頭例

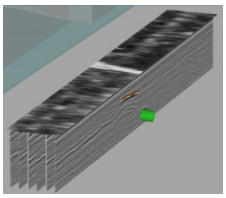


ボーリング・サウンディング情報の例

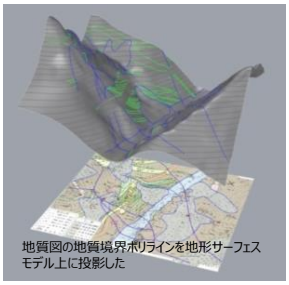


準3次元地質平面図（ラスターデータ）の例

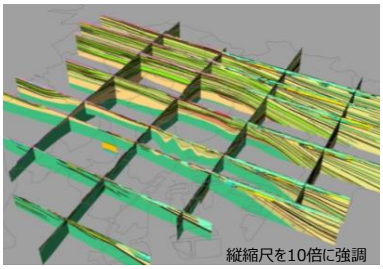


準3次元地質断面図（ラスターデータ）の例

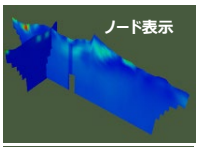

表面波探査データの可視化例（ラスターデータ）

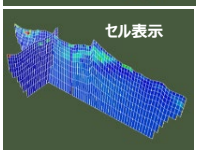


準3次元地質平面図（ベクターデータ）の例

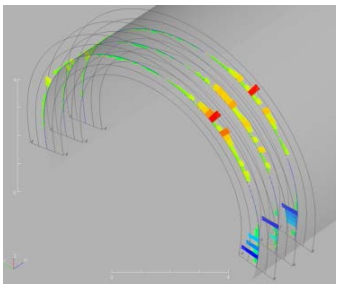


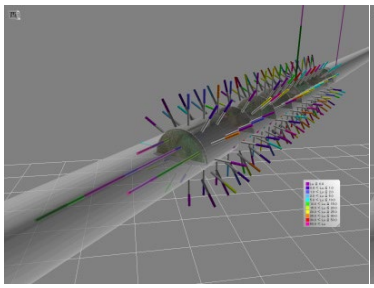
準3次元地質断面図（ベクターデータ）の例





物理探査データの可視化例


トンネル内空変位のイメージ


トンネルグラウチング孔のルジオン値

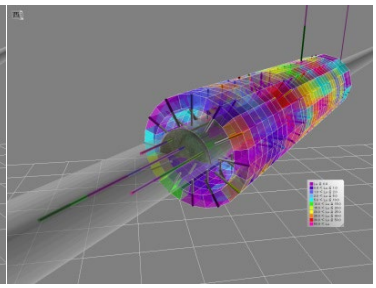

同左のルジオンマップ表示

図3.2-1　地質調査データを表現する3次元オブジェクトの例[1)]

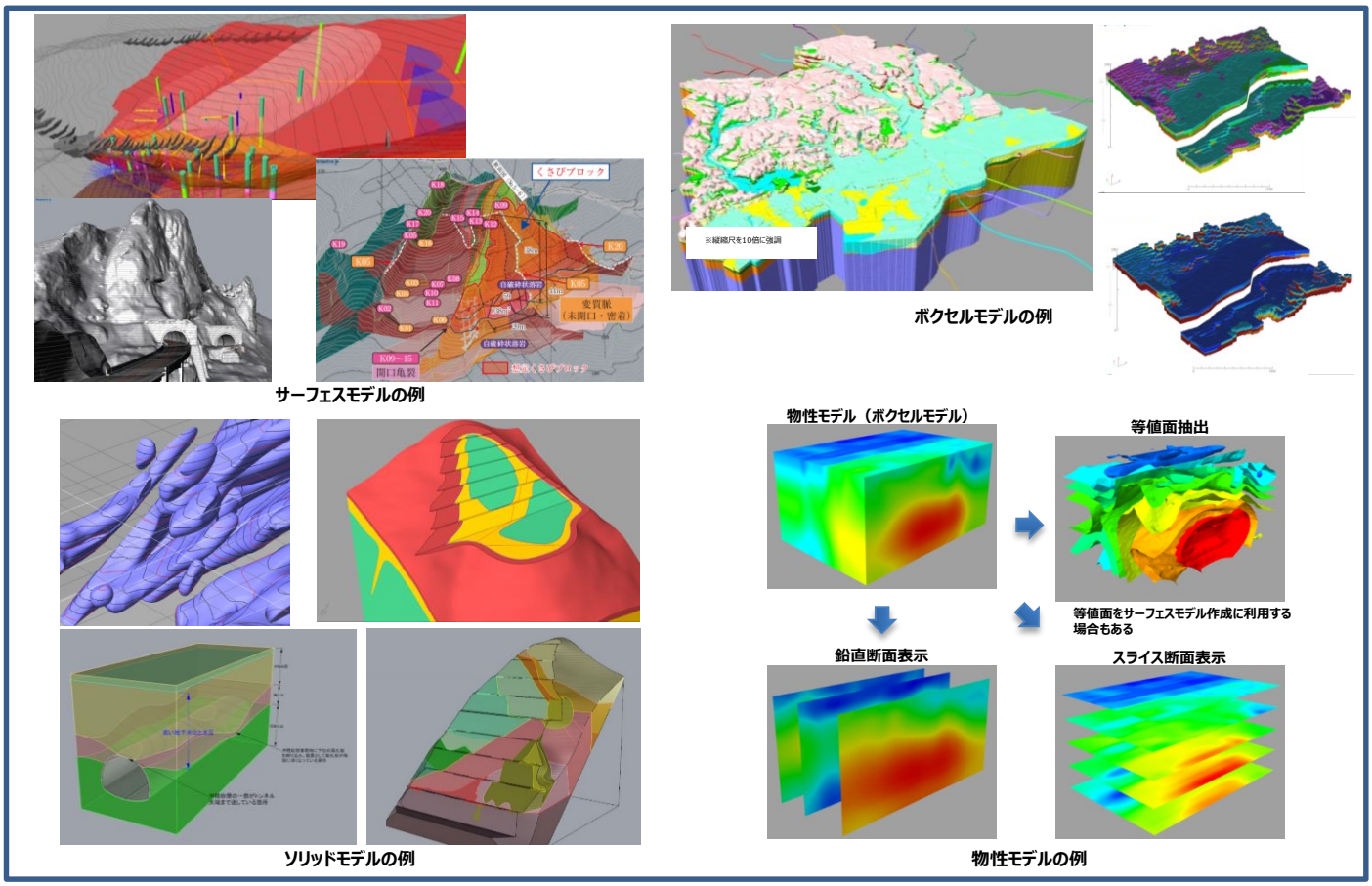


図3.2-2　地質・地盤モデルを表現する3次元オブジェクトの例[1)]

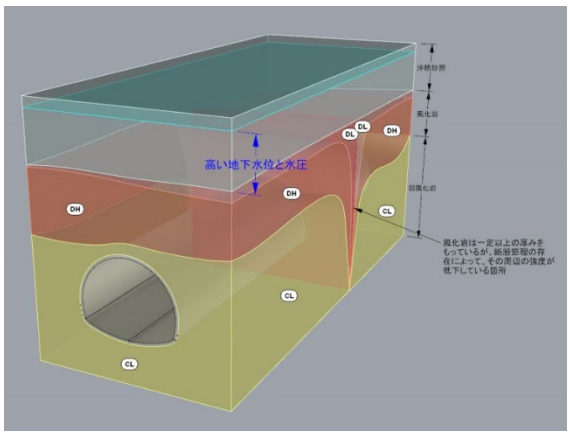


図3.2-3　トンネルにおける地質・地盤リスクのアノテーション表示例[1)]

図3.2-4　斜面点検結果の注記（アノテーション）例

3次元地質・地盤モデルには様々な利活用場面がある

3次元地質・地盤モデルは、二次利用、地質解析、可視化に利活用される。さらに、地質・地盤リスクコミュニケーションツールとしての利活用も期待できる。

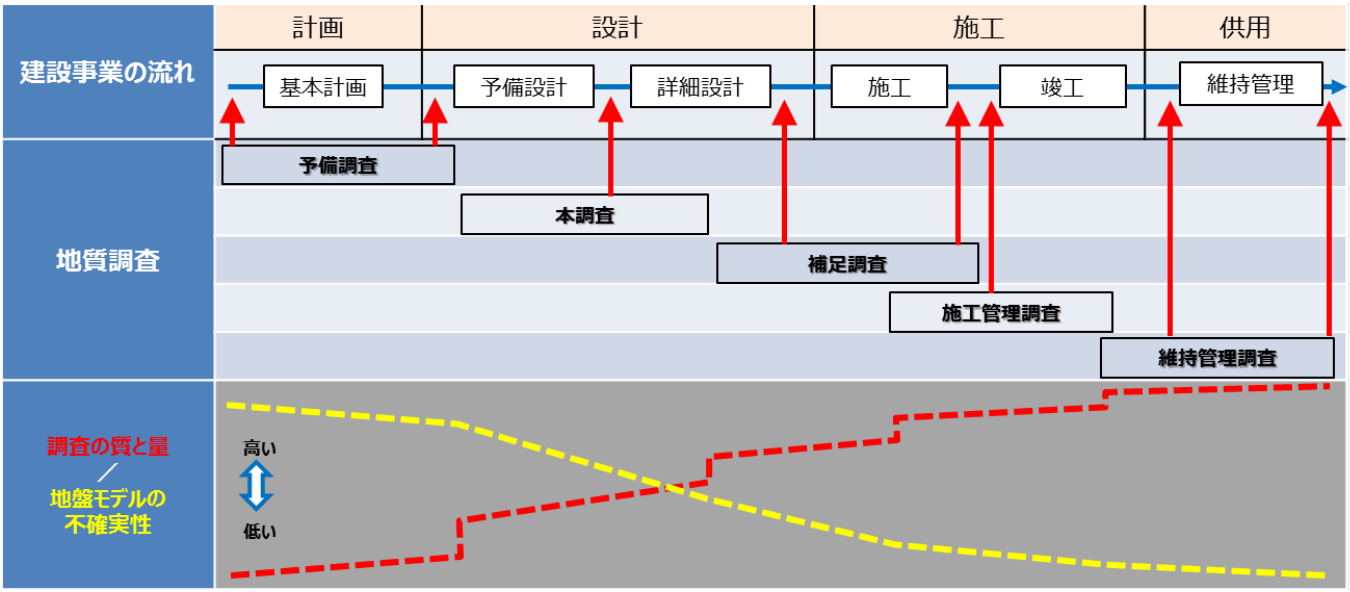


図3.3-1　建設事業の流れに対する地質調査[3)]に追記

■建設プロセスにおける地質・地盤モデルの利用

建設プロセス（図3.3-1）において、3次元地質・地盤モデルを利用する場面は、以下の四段階が考えられる。

【計画段階】

地質・地盤リスクを評価するために、比較的広範囲の3次元地質モデル(サーフェスモデル)を作成する。広範な地質情報にはバラツキや不統一があるため、まず地質情報の整理・統合を図ることが必要となる。

【設計段階】

地質調査結果を基に、対象区域の3次元地質・地盤モデルを作成する。構築された地質・地盤モデルを基に設計を行う。ダムなど長期にわたる事業では、調査の進捗に伴う地盤情報の増加に対し、適切なタイミングでモデルの更新を図り精度を向上させる必要がある。

【施工段階】

施工実績により得られた情報により、設計段階で構築した3次元地質・地盤モデルを適宜修正する。

【供用段階】

定期点検結果などを基に、施工段階で構築・修正された3次元地質・地盤モデルを更新する。

■3次元地質・地盤モデルの具体的な利活用場面

BIM/CIM試行以前より、3次元地質・地盤モデルは様々な場面で利用されており（表3.3-1）、BIM/CIMにおける利活用場面のヒントになると考えられる。

表3.3-1　3次元地質・地盤モデルの具体的な利用場面[1)]

用途	3次元地質モデルの利用場面	利用者
二次利用	データシート出力	発注者 施工者 コンサル
	地質図面（平面図、断面図）出力	
	地質図面（地質境界面標高・深度・地層層厚等のコンター）出力	
	点検台帳やカルテに用いる基礎図面（正面図、パース図等）出力	
	土軟硬区分や地質境界面標高・深度の差分計算	
	工事範囲における対象地質（土軟硬区分等）土量算定	
	3次元地質モデルデータそのものの利用	
	数値解析用3次元地質モデルデータへの加工	
地質解析作業	地質情報の3次元的な整合性確認	コンサル
	地質調査データを用いて初期地質モデル構築	
	施工による実績地質データ取得とモデル更新	
可視化	地質調査位置や種類情報	発注者 施工者 コンサル
	地質モデルの根拠となる地質調査データ	
	予測地質分布・構造	
	施工範囲に係る詳細地質モデル	
	亀裂等不連続面の詳細地質モデル	
	土軟硬区分や岩盤分類の予測モデル	
	地質解析結果と安全率や影響範囲	
	対象地質モデルと構造物や対策工との干渉チェック	
	予測地質モデルと実績地質モデルの比較	
	モニタリング結果	
	地質パラメータ	
	地質モデル利用上の留意点	
	地質リスク情報（点検着目点、災害位置、素因、誘因、被害規模等）	
	設計・施工上の地質リスク留意点	
	維持管理上の地質リスク留意点	
	地質モデル属性や地質データ・モデル間のリンク	

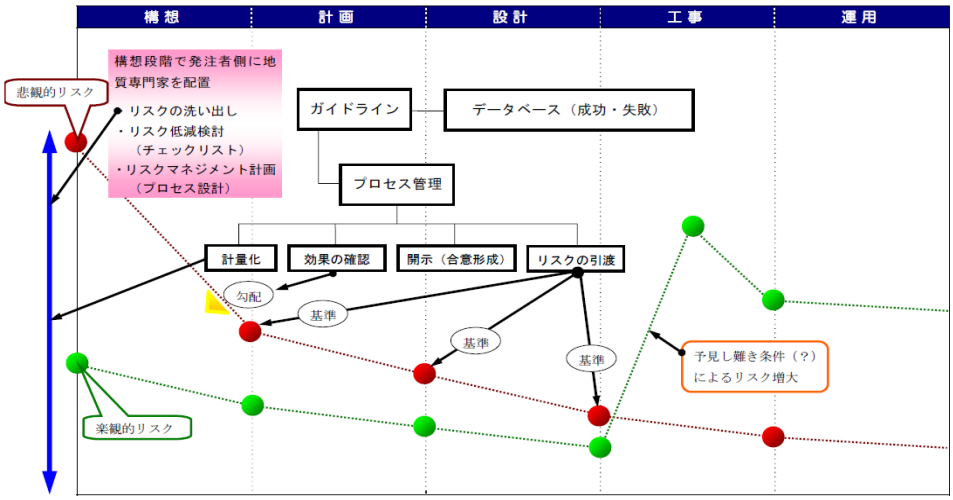


図3.3-2 事業の各段階における地質・地盤リスクマネジメントのイメージ[4)]

■地質・地盤リスクのコミュニケーションツール

地質・地盤の不確実性や地質・地盤リスクをあらかじめ知ることで、建設コストの増大や大きな事故を防ぐための対応を図り、工事の生産性向上、品質向上、トータルコストの削減に寄与することが可能と考えられる（図3.3-2）。

複雑な地質構造を3次元表示することにより、地質技術者以外でも具体的なイメージを把握しやすくなる。また、地盤情報となる露頭やボーリングと3次元地質・地盤モデルの位置関係を把握し易くすることにより、直感的にモデルの信頼性・妥当性や地質・地盤リスクを知ることが可能である。さらに、3次元地質・地盤モデルの品質保証情報をモデルに付与するなどして、モデルの精度や限界、尤もらしさ等をわかり易く理解できる仕組みも可能である。

これらの特性を利用して、全ての建設プロセスにおいて地質・地盤リスクを共通認識することで事業コストの予期せぬ増大を未然に防止することが望まれる。その結果、建設プロセスにおけるトータルコストの削減も期待できる。

■業務改善への利用

追加調査による再検討が必要な場合、3次元地質・地盤モデルを修正すれば即時に各種図面（断面図、コンター図等）に反映されるメリットは非常に大きい。従来法で生じやすい地質断面図の交点が合わないなどの単純なミスを防止することも期待される。

また、多数の地質断面を作成する場合も大幅な作業の効率化が期待できる。早い段階で3次元地質・地盤モデルを構築しておくと、従来の手作業に比べて作業を効率化し、作業時間全体の短縮が可能と考えられる（図3.3-3）。

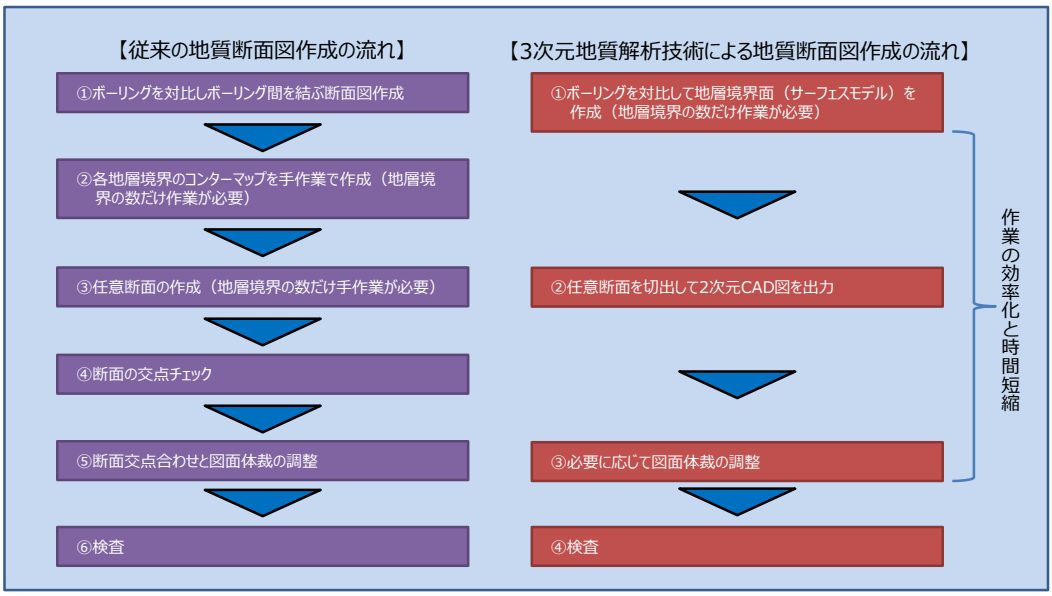


図3.3-3　地質断面図作成における3次元地質解析技術を用いた作業プロセス改善の例

3次元地質・地盤モデルは不確実性に留意し合理的に構築する

3次元地質・地盤モデルは従来の地質図同様に合理的に構築されていなければならない。さらに、地質は不確実性を持つため、3次元地質・地盤モデルの品質確保に留意しなければならない。

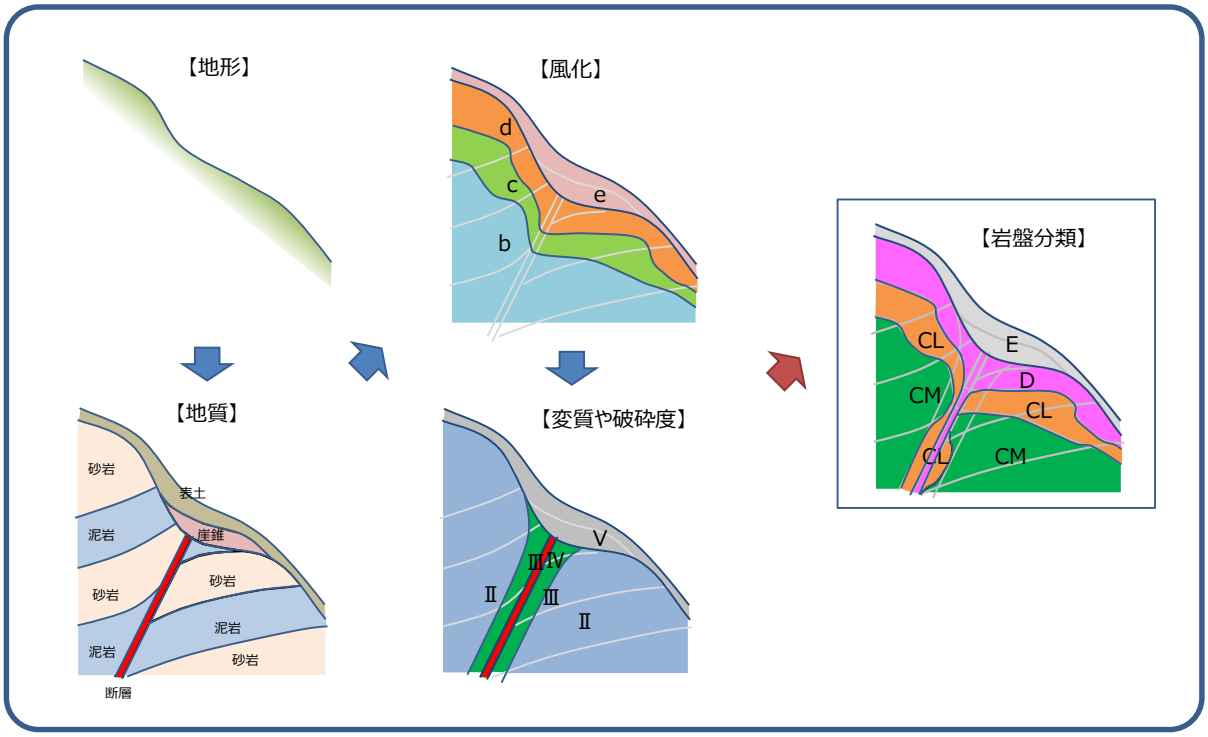


図3.4-1　岩盤分類判定のイメージ[1)]

■3次元地盤モデルは合理的に構築する

本来、不均質で不確定要素を持つ地盤情報のモデルは、利用目的や必要とする精度を十分考慮した上で情報を吟味し、適切な手法で構築する必要がある。例えば、建築物基礎の地盤モデルである岩盤分類モデルを構築するためには、地形地質要素の序列や組み合わせで岩盤分類が合理的に説明されている必要がある（図3.4-1）。3次元地盤モデルの作成手順においても、科学的かつ合理的にモデルが構築できていることが望ましい。

■地質調査データの品質を確保する

地質・地盤モデルの信頼性を確保・向上するためには、モデルの入力データとなる地質調査データの品質について担保する必要がある。そのためには、以下についてチェックする必要がある。

①ボーリング等の地質調査データが、統一された区分基準等により客観的に整理されているか
②個人差（知識・経験等による差）が生じていない地質調査データとして揃っているか、また、バラツキが認められた場合はどの程度か
③地質調査の工法等に起因する地質調査データの質（例えば、通常工法ボーリングと高品質ボーリングの違い）を加味しているか
④地質調査データはモデルの使用目的や要求性能に対応した信頼性を有することができるか（許容できる範囲内のバラツキに収まるか等）
⑤地質調査データに信頼性を有することができない場合は、地質調査データ自体の見直し、または追加の地質調査を検討する必要がある。

3次元地質・地盤モデルデータの標準的な構成を知る
BIM/CIMに利活用される3次元地質・地盤モデルデータの構成は、形状情報、管理情報、属性情報が互いに参照できるような状態が標準とされる。

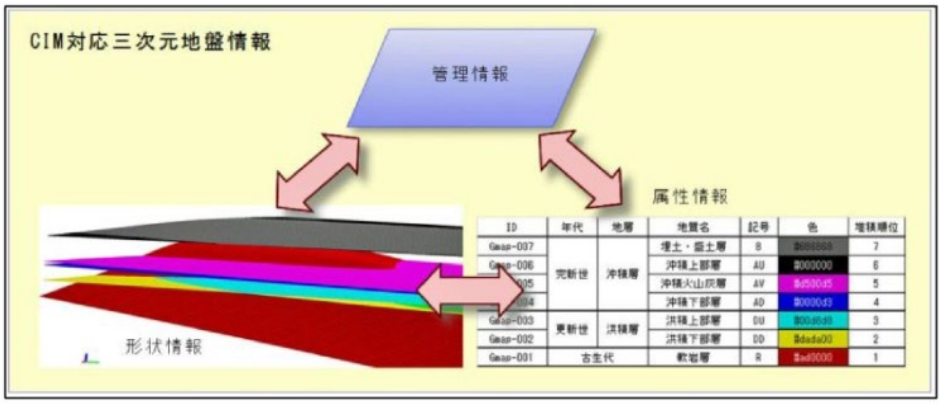


図3.5-1　3次元地質・地盤モデルデータの基本構成イメージ[5)]

表3.5-1　3次元地質・地盤モデルのデータ構成[6)]

名称	概要
形状情報	・ 地質・土質モデルの 3 次元座標値を記載したデータである（オブジェクトデータ）。 ・ 共通 ID を付与することによって、属性情報と形状情報を関連づけて、個別管理やモデルの統合などに活用する。
管理情報	・ 地盤情報データベースを構築する場合の検索に利用する。 ・ 使用した地質情報やモデル作成方法（地質・土質モデル作成ソフトウェアの種類や地層補間方法のアルゴリズムなど）等を記録する。 ・ 後続の事業段階に発生が懸念される地質・土質上の課題等を記録する。
属性情報	・ 地質情報などを付加したデータであり、個別に管理する。 ・ 共通 ID を付与することによって、属性情報と形状情報を関連づけて、個別管理やモデルの統合などに活用する。

■地質・地盤モデルのデータ構成

3次元地質・地盤モデルのデータは、形状情報、管理情報、属性情報の３つより構成される（図3.5-1,表3.5-1）。形状情報は、3次元空間における地盤情報の形状を再現できる3次元座標値を持つ。管理情報は、形状情報と属性情報の双方を管理するために使用する。

属性情報には、個々の形状情報の属性を保存する。例えば、「地層・岩体区分」、「岩級区分」、「土質区分」、「岩盤強度」や「弾性波速度」などの物性値が該当する。

以上の属性情報は形状データに直接付与させるか外部属性として、CSV、EXCEL、XML等のファイル形式でまとめ、対応する3次元モデルのフォルダに格納する。

■BIM/CIM業務における属性情報の役割

建設プロセスの各段階において3次元地質・地盤モデルを継承するためには、属性情報は不可欠である。3次元地質・地盤モデルの信頼性は、入力データの品質や情報量に依存するため、属性情報を利用して、作成された3次元地質・地盤モデルの根拠や判断基準を示していく必要がある。

属性情報は、次のような点に注意して十分な記録を残す必要がある。

◆継承するデータには、入力データやデータ分類等の思想、空間補間手法の種類・補間パラメータなど、モデルの再構築に必要な情報を保持する

◆モデルの限界や適用範囲等を示す

◆モデル作成者あるいは監督者を明記し、責任の所在を明らかにする

◆モデル＋属性表現で伝えられない情報提示優先度の低いものは、文書や報告書に記す

■外部参照する属性情報の取り扱い

設計や施工段階において、受注者が電子成果品等である図面、報告書、工事書類などを、外部参照属性情報（リンク）として付与する場合は、各々の成果品格納フォルダとは別にBIM/CIMモデルの属性情報として、参照できるデータフォルダに格納する。

■成果品のフォルダ構成

BIM/CIMの成果品を電子納品として納品する場合、成果品のフォルダはi-Constructionデータフォルダ内に納めることが定められている（図3.5-2）。3次元地質・地盤モデルとしては、このうち「地質・土質モデル」が対象になるが、モデル構築時に地形モデルを編集した場合は、「地形モデル」、「広域地形モデル」も対象となる。

GEOLOGICALフォルダ直下には3次元地質・地盤モデルのオリジナルファイルを格納する。さらに、同じ階層にサブフォルダを作成し、モデルに関連する情報を格納し、モデルの属性情報からリンクできるようにする。

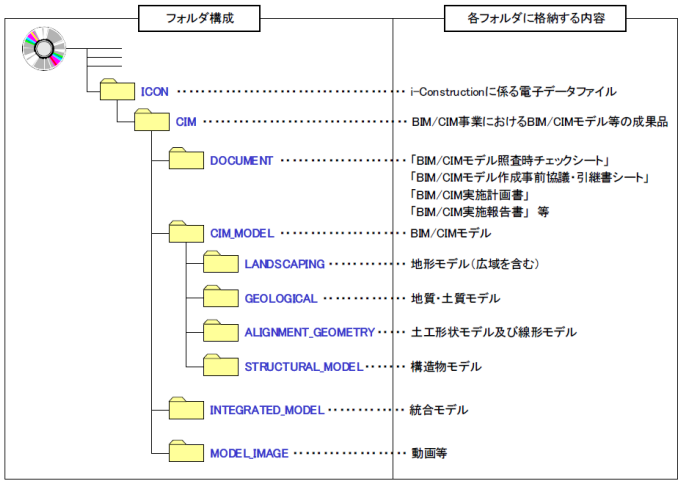


図3.5-2　土木設計業務等の電子成果品のフォルダ構成におけるBIM/CIMフォルダの位置関係[6)]

地質調査成果の品質を記録する

要求事項に合った3次元地質・地盤モデルを構築するためには、相応の品質が確保された地質調査データを使用する必要がある。3次元地質・地盤モデルの品質を明示するためには、使用した地質調査データについて品質を把握する必要がある。

表4.1-1　地質調査品質の評価記録例[1)]
湾岸埋立地における施設設計を想定した地質調査の品質評価記録

ランク	沖積層				人工地質体							
	岩相と分布		分布		同定		分布		物理特性調査		汚染調査	
A	□	沖積層堆積過程のモデル化	□	１００年間隔での年代認定に基づく過去２万年間の形成史の確立	□	構築過程の解明	□	層厚ｃｍオーダー、広がり0.1mオーダーでの3次元分布の認定	□	沈下・液状化・斜面崩壊予測モデルの作成	□	汚染機構解明と浄化対策の策定
B	□	地表および地下試料に基づく3次元岩相分布の解明	□	５００年間隔での年代認定に基づく形成史の解明	■	構成物質の同定と詳細断面の作成	□	構成物質と地下水の流れの方向の認定	□	3次元的な物理・力学特性の認定	□	3次元的な汚染範囲と汚染速度の認定
C	□	地表および海上からの沖積層の地下分布の探査	□	堆積相認定と複数層準の年代認定	■	地下試料などによる人工地質体の同定と断面の作成	■	人工地質体と自然地質体の境界認定	■	各種試験などによる物理・力学特性の確認と断面図の作成	□	表層における汚染の有無と汚染源（地下浸透箇所）の認定
D	■	現地における地質層序の認定及び地形資料・既存地質資料に基づく岩相分布の認定	■	層序の認定と既存の形成史への対比	■	地表試料による人工地質体の同定	■	履歴調査、文献調査などによる埋立時期の確認、既存資料からの分布範囲の予測	■	原位置における物理・力学特性の確認	■	資料等調査による有害物質存在の有無の確認
評価	D		D		B		C		C		D	
総評	○○○構造物設計の地質・地盤リスク評価に必要な地質調査品質を満たしている（ランク外無し）											

ランク	品質の目安
A	最新の調査手法を駆使し、国際学会の招待講演とされるような最先端の調査博士論文に相当
B	博士論文～修士論文に相当
C	修士論文～卒業論文に相当
D	卒業論文に相当。地質工学の調査としては、この基準を達成しなければ調査したとは言えない必要最低限の調査。

※上位ランクの基準は、下位ランクを基準を満足していることが前提である

■地質調査の品質基準

地質調査業務に適用される品質基準は、共通仕様書や技術要領、および、業務特記仕様書の規定が用いられる。3次元地質・地盤モデルを構築するには、科学的、かつ、合理的に組み立てられた地質・地盤モデルが必要である。また、複数の業務で得られたデータを使用することもあり、その場合は品質を統一的に評価する必要もある。

地質調査成果の品質基準としては、日本地質学会が定めた「地質基準」[7)]がある。この基準は対象とする地質体に応じて、地質調査の到達レベルでランク分けした性能基準を示したものである（表4.1-1）。

ただし、個別業務のボーリング等の調査結果や調査報告書に性能基準が記述されていることはない。そのため、性能基準を適用する場合には、当該データを取得した調査の報告書の業務目的や地質解析結果等の記述から、性能基準のランクを読み取ることが必要になる。

3次元地質・地盤モデルの信頼性を向上させるのは地質技術者の役割である

3次元地質解析技術と土木地質図作成法は、基本とする地質学・地質工学の規則/構造/思想に本質的な違いはない。そのため、地質技術者自身が地質調査データの品質を確保したうえで、科学的、かつ、合理的な解釈で3次元地質・地盤モデルを構築することが、3次元地質・地盤モデルの信頼性を向上させるといえる。

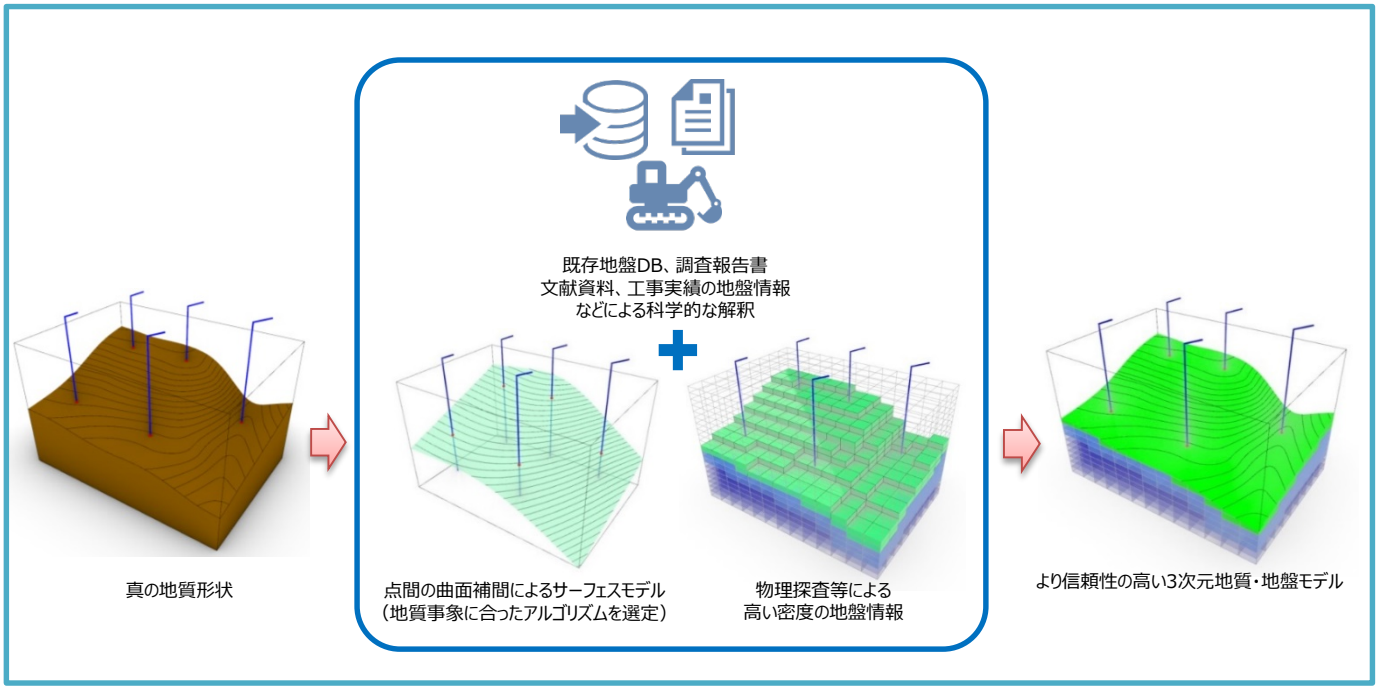


図4.2-1　3次元地質・地盤モデルの信頼性を向上させるイメージ[1)]

■3次元地質・地盤モデルの妥当性は専門技術者が判断する

地質は、地層そのものの成り立ちや後生的な断層・風化・変質、地下水等の作用により、分布・状態が複雑化するため、限られた地点の地質調査データだけで正確な地質・地盤のモデル化を行うことは困難である。3次元地質・地盤モデルは、3次元図化技術がいかに進歩しようとも、地質調査手法の精度や限界、情報の粗密等に起因する不確実性を多分に含んでいる。

そのため、地質技術者が下記の点に留意して3次元地盤モデルの妥当性を評価し、モデルの信頼性を向上させる必要がある（図4.2-1）。

①使用目的や要求性能に応じた地質調査データの「質」と「量」が確保されているか
②既存調査成果を用いる場合は、地質構造発達等の解釈が科学的に妥当であるか
③空間補間に際して、地質事象に合った適切なアルゴリズムを使用しているか
④作成したモデルに地質学的な矛盾がないか
⑤合理的な手順で地質・地盤モデルが構築されているか

以上の地質・地盤モデルの妥当性評価の詳細は「10.5」に示す。

地質の不確実性と地質・地盤リスクを引き継ぐ
詳細な地質調査を実施して初めて、地盤の不確実性の程度と地質・地盤リスクが明らかになる。事業の進展に合わせて地盤情報の質と量が増えると、地盤の不確実性は低減されていく。3次元地質・地盤モデルは、不確実性や地質・地盤リスクについて属性情報として正確に記録し、以降の建設プロセスにおける3次元地質・地盤モデルの利活用に配慮し、確実に継承しなければならない。

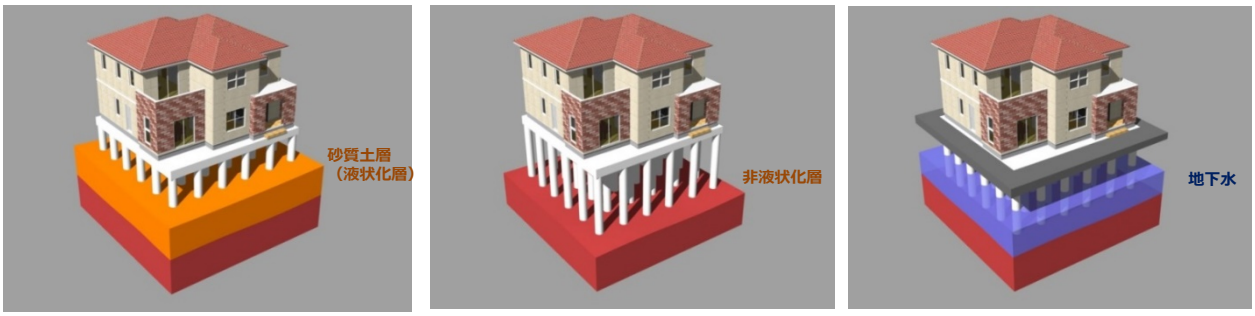


図4.3-1　宅地における地質・地盤リスク可視化例[1)]

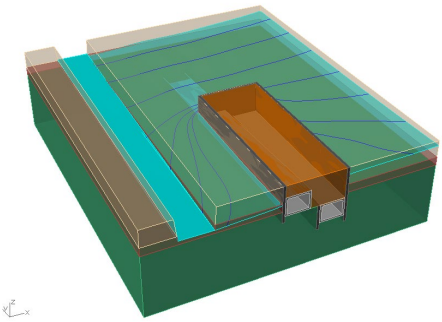


図4.3-2　開削施工部における地下水流動予測の可視化例[1)]

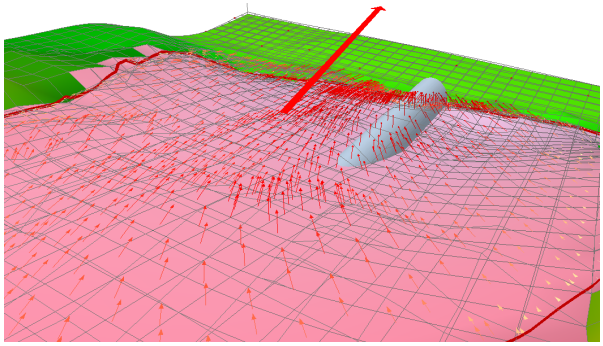


図4.3-3　トンネル坑口斜面のすべり変状予測の可視化例[1)]

■地質・地盤リスク可視化における留意点
地質・地盤リスクを3次元で可視化するに際しての留意点を以下に示す。

◆地質・地盤リスクの根拠となる情報を示す
・3次元地質・地盤モデルの根拠となる地質情報、地質構造、地質物性値を示す
・情報判読の補助手段（アノテーション（注釈）、着目点の強調　など）を適切に用いる
・モニタリング結果（移動ベクトル、変位量、閾値アラート等）を重ねる　等
◆事実/推定/概念の違いがわかるようにする
◆誤解を与えるような過剰な装飾や表現を避ける

■構造物と3次元地質・地盤モデルの相互作用
3次元地質・地盤モデルと構造物との相互作用は、3次元であればわかり易く可視化することが可能である（図4.3-4）。

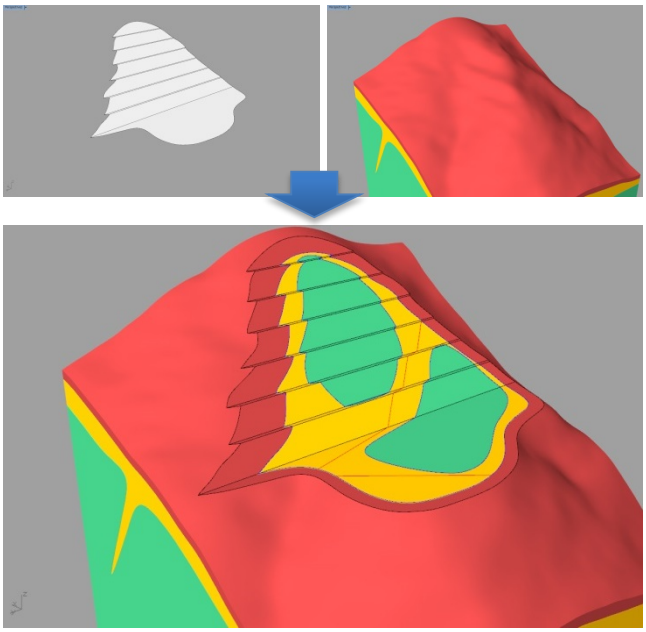


図4.3-4　計画法面における岩盤分類の出現予測例[1)]

合理的な照査をおこなう

3次元地質・地盤モデルを構築する際は、最適なワークフローに則り、合理的に品質を評価する照査をおこなう。

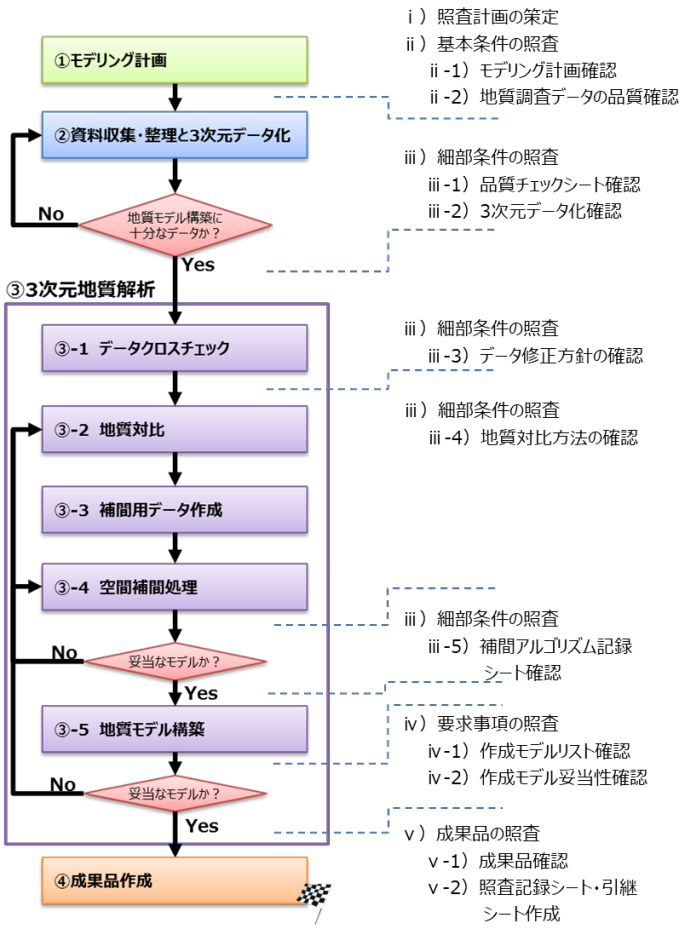


図5.1-1　3次元地質モデル構築のワークフローに対応する照査の例[1)]

■3次元地質モデルの照査

合理的に品質を評価するには、ワークフローの要所で照査が必要となる。3次元地質モデル構築のワークフローに対応する照査の例を図5.1-1に示す。

■照査に必要な視点

3次元地質モデル構築において、受注者が実施する照査の要点を以下に挙げる。要点に沿った照査記録シートの作成・記入例を表5.1-1に示す。

ⅰ）　照査計画の策定

作業実施前に、下記の基本条件・細部条件・要求事項・成果品の各段階における照査内容・対象を確認し、照査計画を策定したか

ⅱ）　基本条件の照査

ⅱ-1）　モデリング計画確認

3次元地質モデルを構築するための基本条件を決定し、以降の作業計画を合理的に組み立てているか

ⅱ-2）　地質調査データの品質確認

使用する地質調査データの信頼性について、既存報告書等で把握しているか

ⅲ）　細部条件の照査

ⅲ-1）　品質チェックシート確認

収集した資料は、目的や必要範囲に合致した3次元地質モデルを構築できる品質を有しているか

ⅲ-2）3次元データ化確認

3次元地質モデル構築に必要なデータを3次元化しているか、もしくは3次元地質解析システムで扱える状態にデータベース化しているか

ⅲ-3）　データ修正方針の確認

不適合が認められたデータについて、どのように修正あるいは棄却するかの基準や方針を立てているか

ⅲ-4）　地質対比方法の確認

地質対比をおこなうための手法や対比の根拠となる基準は適切か

ⅲ-5）　補間アルゴリズム記録シート確認

補間アルゴリズムについて、地質事象に応じた手法を使用し、補間パラメータを正確に記録しているか

ⅳ）　要求事項の照査

ⅳ-1）作成モデルリスト確認

成果品を作成するために必要なモデルが揃っているか

ⅳ-2）作成モデル妥当性確認

成果品を作成するために妥当なモデルとなっているか

ⅴ）　成果品の照査

ⅴ-1）　成果品確認

要求事項を満たした成果品が揃っているか

ⅴ-2）　照査記録シート・引き継シート作成

照査結果やCIM モデル作成事前協議・引き継書シートを記録として残し、確実に次工程に継承できるようにしているか

表5.1-1　3次元地質モデル構築作業にける照査記録シートの作成・記入例[1)]

照査項目		照査内容	照査			備考 例）関連基準類等を記入する
			確認元資料・データ参照先 例）該当ファイル名、該当ファイルの保存先を記入する	照査実施 （チェックを入れる）	確認日 （確認した日付を記入する）	
ⅰ）照査計画の策定		作業の実施前に、以降のⅱ)基本条件、ⅲ)細部条件、ⅳ)要求事項、ⅴ)成果品の各段階における照査内容・対象を確認し、照査計画を策定しているか	令和元年度　○○○業務計画書.doc 「○章　3次元地盤モデル構築照査計画」	■	2019/9/1	・3次元地質解析マニュアルVer2.0
ⅱ）基本条件の照査						
	ⅱ-1）モデリング計画確認	3次元地質モデルを構築するための基本条件を決定し、以降の作業計画を合理的に組み立てているか	令和元年度　○○○業務計画書.doc 「○章　3次元地盤モデル構築計画」	■	2019/9/1	・3次元地質解析マニュアルVer2.0
	ⅱ-2）地質調査データの品質確認	使用する地質調査データの信頼性について、既存報告書等で把握しているか	○○○業務_地質調査性能基準評価シート.csv	■	2019/10/3	・日本地質学会　地質調査性能基準 ・3次元地質解析マニュアルVer2.0 ・地盤データ品質標準化小委員会_成果報告書
ⅲ）細部条件の照査						
	ⅲ-1）品質チェックシート確認	収集した資料は、目的や必要範囲に合致した3次元地質モデルを構築できる品質を有しているか	○○○業務_地質調査図面データ等チェックシート.csv	■	2019/10/30	・3次元地質解析マニュアルVer2.0 ・地盤データ品質標準化小委員会_成果報告書
	ⅲ-2）3次元データ化確認	3次元地質モデル構築に必要なデータを3次元化しているか、もしくは3次元地質解析システムで扱える状態にデータベース化しているか	○○○業務_地盤スケルトンモデル.3dm ○○○業務_地盤情報.mdb	■	2019/11/15	・3次元地質解析マニュアルVer2.0 ・3次元地質解析システム「○○」操作マニュアル
	ⅲ-3）データ修正方針の確認	不適合が認められたデータについて、どのように修正あるいは棄却するかの基準や方針を立てているか	令和元年度　○○○業務報告書 「○章　3次元地盤モデル構築方法」	■	2019/11/16	・3次元地質解析マニュアルVer2.0
	ⅲ-4）地質対比方法の確認	地質対比をおこなうための手法や対比の根拠となる基準は適切か	令和元年度　○○○業務報告書 「○章　3次元地盤モデル構築方法」	■	2019/11/16	・3次元地質解析マニュアルVer2.0
	ⅲ-5）補間アルゴリズム記録シート確認	補間アルゴリズムについて、地質事象に応じた手法を使用し、補間パラメータを正確に記録しているか	○○○業務_管理データシート.csv ○○○業務_モデリング記録シート.csv	■	2020/2/1	・CIM導入ガイドライン（案）第1編 共通編　令和元年 5月 ・3次元地質解析マニュアルVer2.0
ⅳ）要求事項の照査						
	ⅳ-1）作成モデルリスト確認	成果品を作成するために必要なモデルが揃っているか	○○○業務_地盤モデル.dwg	■	2020/2/15	全てのモデルが作成されていることを確認した
	ⅳ-2）作成モデル妥当性確認	成果品を作成するために妥当なモデルとなっているか	○○○業務_モデリング記録シート.xlsx	■	2020/2/15	・3次元地質解析マニュアルVer2.0
ⅴ）成果品の照査						
	ⅴ-1）成果品確認	要求事項を満たした成果品が揃っているか	令和元年度　○○○業務報告書 「表-○　3次元地盤モデルリスト」	■	2020/3/1	・○○○業務_特記仕様書
	ⅴ-2）照査記録・引継シート作成	照査結果やCIM モデル作成事前協議・引継書シートを記録として残し、確実に次工程に継承できるようにしているか	○○○業務_照査記録シート.csv ○○○業務_CIMモデル作成事前協議・引継書シート.csv	■	2020/3/1	・3次元地質解析マニュアルVer2.0 ・CIM 導入ガイドライン（案）第 1 編 共通編　令和元年 5 月

照査担当印		2020/3/1

3次元地質・地盤モデルの信頼性向上には一次データの品質に留意する

3次元地質・地盤モデルの品質は入力データの品質に依存する。入力データの品質を確保するために地質踏査データの妥当性や整合性を確認する必要がある。また、3次元地質・地盤モデル作成においても、客観的なデータを優先的に使用する。

表5.2-1 地質調査データの品質チェックの着目点（案）[1)]（分類はJSGI[8)]を参考）

分類		品質チェックの着目点	備考
完全性		モデル構築に必要なデータは揃っているか	
		入力値は正しいか	物性値・座標等の実数、地質・岩級等の判定値など
論理一貫性	フォーマット一貫性	データフォーマットは正しいか	フォーマットのバージョン、モデル化の環境で利用可能な形式
		画質は十分か	画像が判読できるか、トレース作業の障害にならないか
		座標系は統一されているか	
		デジタイズの属性に間違いは無いか	
	概念一貫性	地質構造が示されているか	
		地質構成が示されているか	地質層序表や地質判定基準表などが示されているか
		地質境界に理屈に合わない食い違いはないか	螺旋分布など3次元にしてみないと判断が難しいものもある
	定義域一貫性	図面の整合性	図面の名称や分類等の整合性
		断面図の交点は合っているか	3次元で交差させてみないと判断が難しい
	位相一貫性	境界線の種類が図面毎に変わっていないか	
		デジタイズは十分な精度か	
位置正確度		投影データを使った地質断面図ではないか	
		投影距離が示されているか	
		座標基準自体にズレが無いか	
時間正確度		最新の解釈によって作成された図面か	地質図など最新の知見に基づくものか
		最新の地形データか	最新の測量結果に基づくものか
主題正確度		地質学的分類が正しいか	
		工学的分類が正しいか	

■地質調査データの品質管理の着目点

3次元地質・地盤モデルを作成するための入力データとなる地質調査データには、紙図面をスキャニングした画像（ラスタ）やCAD図面、数値データ、ボーリングデータ等がある。入力データの品質チェックを行うには、データそれぞれが持つ限界や問題点を知っておく必要がある。

例えば、ラスタ図面はスキャナでデータ化されたものであれば、紙図面の質的な問題をそのまま継承し、さらにスキャナが持つ機械的な誤差が加わることになる。ラスタ図面は、紙図面であったときの繊維方向による伸び、作図時の線の太さ、スキャニング時の読み取り方向、スキャナの機械的な誤差等、様々な要因が累積した結果となる。

CAD図面についても、縮尺（尺度）は幾つか、精度（デジタイズ誤差）は十分か、余計なデータは含まれていないか、線分の種類（ライン・ポリライン・スプライン）は適正か等、チェック項目は多岐にわたる。平面図においては、地理座標の基準となるもの（グリッド線、座標値）が図面上に示されていないと、正確な位置合わせが困難になる。

3次元地質・地盤モデル作成に用いる地質図面の品質基準は定められていないため、品質チェックの着目点について、GISデータの品質基準に用いられるJSGI[8)]を参考に表5.2-1にまとめた。この様な視点により地質調査データの品質をチェックすることを推奨することが望ましい。

■地質調査データの優先順位

3次元地質・地盤モデル作成には、客観的なデータを優先的に用いる。3次元地質・地盤モデル作成に用いる地質調査データには、例えば①ボーリングデータ、②ルートマップ、③地質平面図、④地質等高線図、⑤地質断面図、がある。客観性の観点からこれらの情報に優先順位を付けるとすれば、「①＞②＞③≧④＞⑤」のような序列が考えられる。すなわち、ボーリングデータやルートマップの情報を、境界面補間計算に優先的に用いることを基本としている。

地質平面図、地質等高線図は、既に地質技術者の3次元的考察による図面であるため、客観的・主観的な要素を分離することが困難である。地質断面図も地質技術者の解釈に基づく図面であるがゆえに優先順位は低くなる。

3次元地質・地盤モデルを検査するには地盤情報の質と量、および、不確実性に留意する

3次元地質・地盤モデルは、その基となるボーリングデータ等の地盤情報の粗密、土質地質区分の統一性、原位置試験・観測データ等の基礎的なデータがどれだけ得られていて、どの程度精査を行い統一的な評価を行われているかに、モデルの精度や信頼性が左右される。

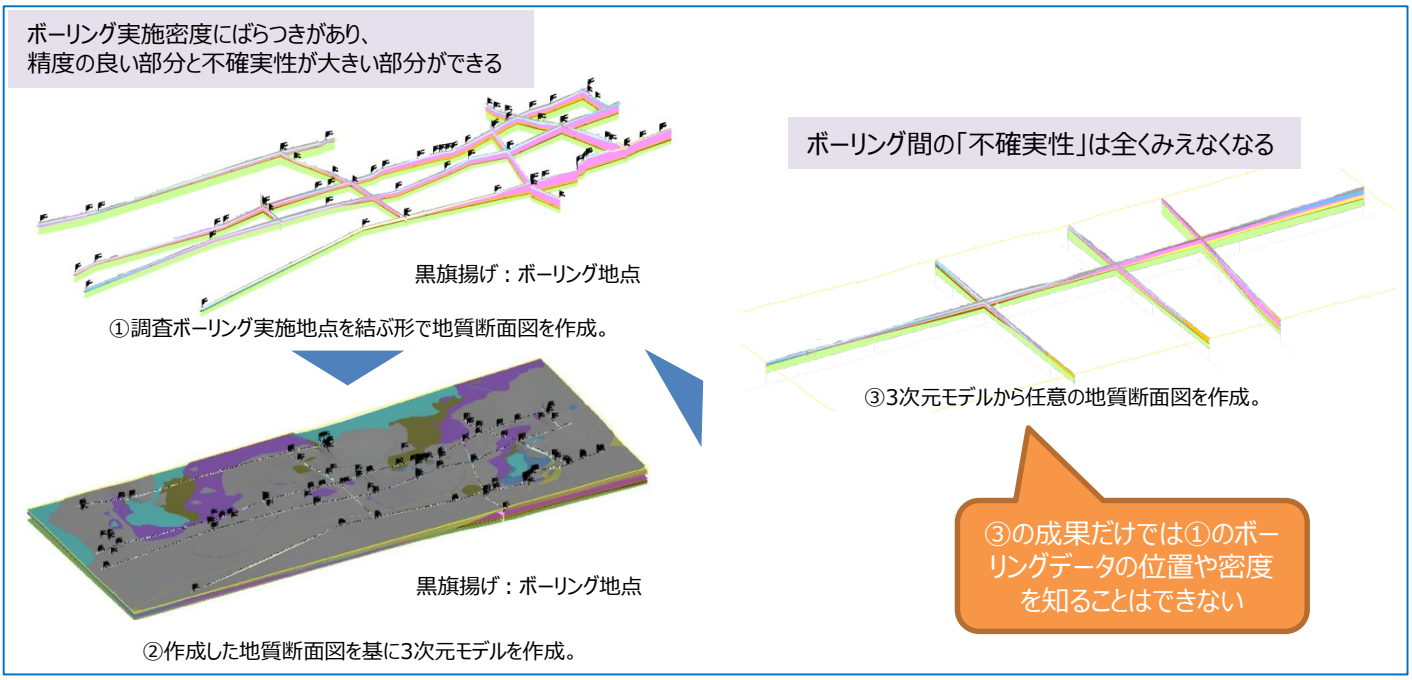


図5.3-1　3次元地質・地盤モデルの不確実性を示す例[1)]に加筆

■地盤情報の質と量の不均質性への留意

3次元地質・地盤モデルが何を目的に作成されていて、地盤情報の何の項目を、どの範囲で、どのくらいの精度で把握されているのかを理解しておかないと、要求に見合わない「活用」をしてしまう恐れがある。

岩盤中における断層破砕帯などの位置や性状の評価を行う調査と、均質に地層が堆積・分布しているようなところでは、必要とされる調査の密度・精度・調査内容は異なる。また、地盤は不均質性を持つため、単位面積あたり同じ密度で調査すれば単純に精度が担保されるようなものではない。

従って、モデルの信頼性をチェックするには、地盤情報（地質調査データ）の質と量を把握し、そのモデルがどのような目的で作成されたかに留意する必要がある。

■不確実性に留意した表現

3次元地質・地盤モデルを構築するために必要な最低限の地盤情報、あるいは利用目的に応じた調査の密度等は規定されていない。従来であれば地質技術者が「推定」していた部分も3次元だとそれらしく可視化されるため、「不確実性」が伝わりにくくなる。

そのため、2次元の図面であれば、「不確実性」が大きい部分は色を変える(塗りの濃淡)、線種を変える(実線と破線、太線と細線等)など工夫されている。3次元の場合も「不確実性」を表現するための工夫が必要である。

3次元化する際に用いたボーリング地点が離れている場合などはその精度の担保は非常に困難である。「ボーリングデータがない」ことを示すためにも、専用ソフトウェアは、モデル作成に用いた地盤情報を3次元地質・地盤モデルにリンクする情報として扱い、いつでも確認できる状態にしておくことが必要と考えられる。

3次元地質・地盤モデルの利活用や更新に必要な情報を引き継ぐ

3次元地質・地盤モデルは、モデル作成時点までの各事業段階の地質調査成果を基に作成されるため、次の事業段階におけるモデルの更新に備えた確実な情報の継承が重要である。そのためには、モデルの根拠となる地盤情報に加えて、モデル化の補間手法、使用ソフトウェア、地盤の物性値、モデルの不確実性、想定される地質・地盤リスク等のモデル更新に必要十分な記録を残す必要がある。

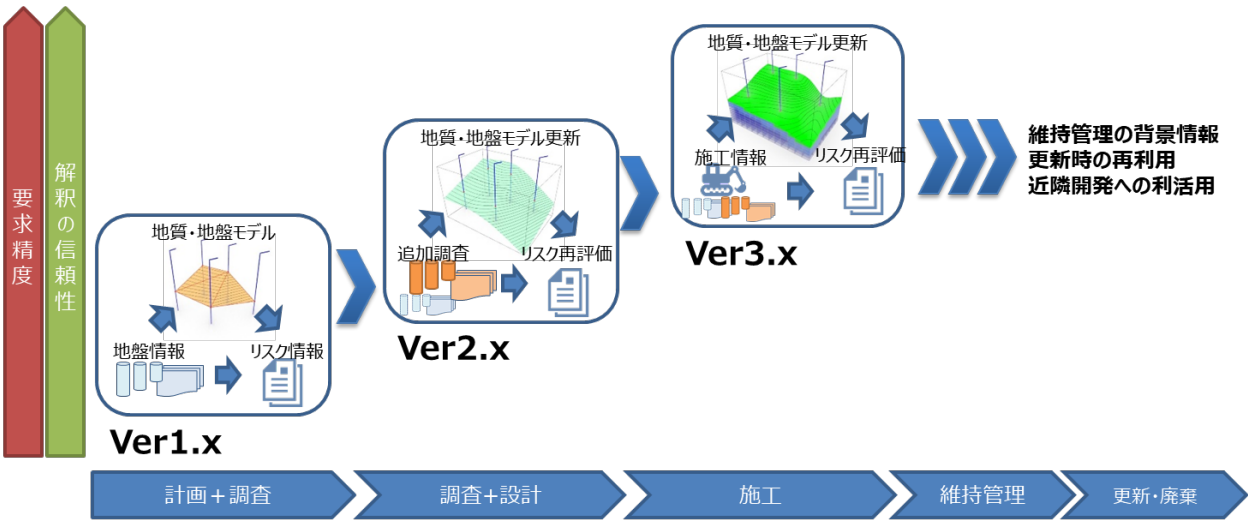


図6.1-1　事業の進展に伴い更新される3次元地質・地盤モデルのイメージ[1)]

■3次元地質・地盤モデルの利活用に重要な情報を継承する

3次元地質・地盤モデルは、モデル作成時点までの各事業段階の成果を基に作成されて、次の事業段階へ継承される。そのため、モデルの更新に備えた情報の継承が重要と考えられる。

建設プロセスにおける事業段階のレベルがあがると、地質・地盤モデルの精度や信頼性への要求は高くなる。3次元地質・地盤モデルは、調査の進展に伴い既往調査データも踏まえて更新・継承されるバージョン管理が必要なデータと言える（図6.1-1）。

3次元地質・地盤モデルを継承させるためには、地質の形状・分布モデル以外にも、モデルの不確実性、想定される地質・地盤リスク、モデルの根拠となる地質調査データやモデル化時の補間パラメータ、モデル作成時の位置情報の座標系や使用ソフトウェア等の、モデルの更新に必要な情報について十分な記録を残す必要がある。

■空間補間手法の情報

3次元地質・地盤モデル作成に用いる補間アルゴリズムとパラメータの違いは、モデルの形状に影響を与える。アルゴリズム毎にモデルの形状は異なり（図6.1-2）、調整が必要なパラメータの値によってもモデルの形状は変化する。

モデルの更新を想定し、アルゴリズムとパラメータ設定の情報は記録シート等で正確に記録して引き継ぐ必要がある。

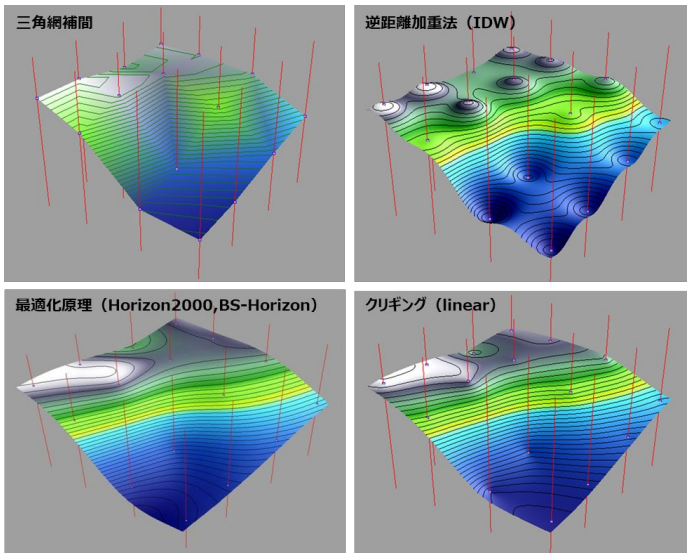


図6.1-2　補間アルゴリズムによるサーフェスモデルの形状比較[1)]

■地質・地盤リスクの情報

地質・地盤リスクは「BIM/CIMモデル作成　事前協議・引き継書シート」[6]や、成果報告書内の「設計施工上の留意点」等で引き継がれる。

また、3次元地質・地盤モデル上での可視化やモデルから報告書情報へのリンク等により、直感的に理解しやすいリスク情報提示手段を活用すべきである（図6.1-3,-4）。

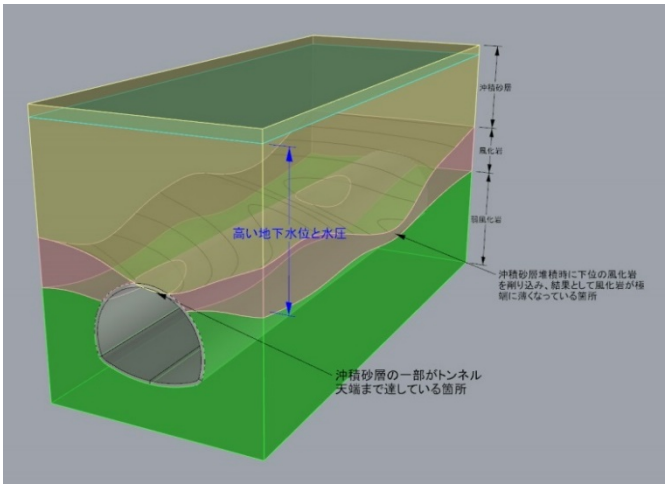


図6.1-3　トンネルにおける地質・地盤リスクの可視化イメージ[1)]

図6.1-4　斜面点検における地質・地盤リスクの可視化イメージ[1)]

オリジナルファイルの役割やデータ交換できるファイル形式を知る

オリジナルファイルは、モデルを作成したソフトウェア独自のファイルを指し、ソフト毎に独自の形式（フォーマット）で出力されるものである。オリジナルファイルは作成したソフトウェアへの依存度が高く、データの編集には作成したソフトウェアが必要となる。モデルを構築するために使用した情報のトレーサビリティをオリジナルファイル内で確保するのか、入力データを可読性のあるものとするかを、事前に発注者と協議する必要がある。

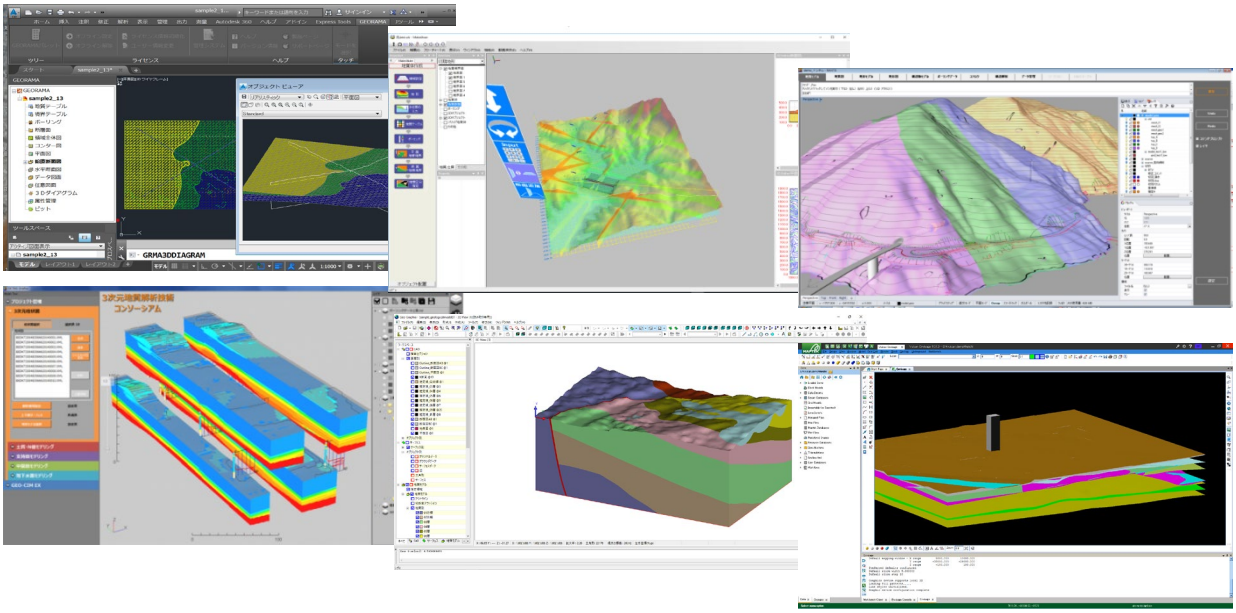


図6.2-1　3次元地質解析システムの事例[1)]

■オリジナルファイルの役割

「BIM/CIMモデル等電子納品要領（案）及び同解説」[9)] でいうオリジナルファイルは、BIM/CIMモデルの種類を問わず、作成したソフトウェア独自形式のファイルを指す。3次元地質解析システム（図6.2-1）で作成されたオリジナルデータは、ソフト毎に独自の形式で出力されるものである。したがって、使用したモデリングソフトとオリジナルデータは1対1の関係となり、他のソフトとの互換や、データ交換は期待できない。

3次元地質・地盤モデルは、専用ソフトに依存して構築されるため、使用した情報（地質図面、ボーリングデータ等）のトレーサビリティをオリジナルファイル内で担保するのか、別途、入力データをまとめるのかは十分協議する必要がある。

■可読性のあるファイル形式

3次元地質解析システムの多くは、データ交換のため可読性のあるファイル形式（表6.2-1）の入出力に対応している。データの交換・継承にどのような形式を使用するか、事前に発注者と確認しておく必要がある。

表6.2-1　可読性のある3次元モデルのファイル形式※の例[1)]

フォーマット	概要	拡張子
OBJ	Wavefront用のフォーマット形式	obj
VRML	Virtual Reality Modeling Language	wrl
DXF	CADの標準形式のフォーマット	dxf
STL	Standard Triangulated Language	stl
PLY	Stanford University	ply

※ASCIIファイル

BIM/CIMモデルのデータ交換標準について知る

3次元地質・地盤モデルのデータ交換標準は現時点では定められていないため、その納品形式はオリジナルファイルとされている。構造物の成果品は、納品ファイル形式としてデータ交換標準のJ-LandXMLやIFCの使用が推奨されている。将来的に3次元地盤モデルの交換標準も構造物と同様な形式にするべく国際的な検討が進められている。

表6.3-1　各BIM/CIMモデルの納品ファイル形式[9)]

BIM/CIM モデル	納品ファイル形式
地形モデル	J-LandXML※2及びオリジナルファイル
地質・土質モデル	オリジナルファイル
線形モデル	J-LandXML※2及びオリジナルファイル
土工形状モデル	J-LandXML※2及びオリジナルファイル
構造物モデル	IFC 2x3※1及びオリジナルファイル
統合モデル	オリジナルファイル

※1 buildingSMART JAPAN「土木モデルビュー定義」
※2 国土交通省国土技術政策総合研究所「LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準（案）Ver.1.3（略称：J-LandXML）」

■J-LandXML

LandXMLは土地造成、土木工事、測量のデータ交換のためのオープンなフォーマットである。米国にて官民から成るコンソーシアムLandXML.orgにより、2000年に開発運営が開始された。

国内事業に適用するため、国土交通省国土技術政策総合研究所が、「LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)」[10)]（以下、J-LandXMLという）を策定している。

J-LandXMLでは、以下のような利活用の実現を目指している。

①設計、工事の電子納品成果としての利活用
②情報化施工や3次元CADへの利活用
③国際標準への反映のための基礎資料

■IFC

IFC（Industry Foundation Classes）はbuildingSMART International(以下bSI)が策定した3次元モデルデータ交換標準である。2013年にはISO 16739:2013として、建築物の国際交換標準として承認されている。現在は、土木建設分野を対象にした検討も進められている。

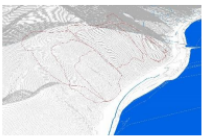
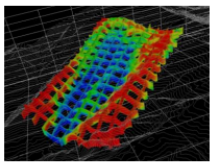
平成29年度からのCIM活用業務及びCIM活用工事では、構造物モデルのデータ交換形式として、オリジナルファイルに加えてIFCを採用している。当面、土木構造物としてのクラス定義や3次元モデルに直接付与する属性情報を含むデータ交換は行えないため、属性情報は外部参照の扱いとしている。現在、「BIM/CIM活用ガイドライン（案）」[6)]に準じてIFCを運用するための仕様である「土木モデルビュー定義」の策定、ソフトウェアメーカ各社の対応が進められている。

今後、BIM/CIMでは、データの長期再現性や政府調達（WTO・TBT協定）を踏まえ、現時点でデータ交換可能な範囲で国際標準を採用していくとされる。

発注時に3次元地質・地盤モデルの要求性能を決定する

3次元地質・地盤モデルが完成した段階で要求性能を変更する必要が生じた場合、手戻りが大きくなることや無駄な作業を強いる可能性がある。このため、発注仕様書の段階で、目的や対象物、地質・地盤モデル、対象フェーズ等を明確にし、想定される利活用場面を可能な限り考慮して、3次元地質・地盤モデルの要求性能を決定しておく必要がある。

表7.1-1　モデルの詳細度の例[11)]

詳細度	地すべり機構解析の CIM モデルの定義	
	地すべり機構解析のモデル化	イメージ図
100	地すべり機構解析に利用する調査で得られた結果（点・線・面情報）が、記号や一般的な表現で表現される。 運動ブロックの範囲を判断するのに用いる程度のモデル。	＜地形判読＞ 
200	地すべり機構解析に利用する調査で得られた主測線における結果（点・線・面情報）を基に表現される。 地すべり機構解析に利用する主測線での調査結果より運動ブロックの範囲や深さ、運動ブロックに作用する地下水位が概略確認でき、主測線での地すべり機構解析や対策計画（地すべり防止施設配置）検討に資する程度のモデル。	＜主測線＞
300	地すべり機構解析に利用する調査で得られた複数測線の結果（点・線・面情報）に 3 次元的な地すべり機構の解釈等を加え表現される。 複数測線での調査結果に対して、解釈等を加えることで、実態に即した運動ブロックの範囲や深さ、運動ブロックに作用する地下水位が把握できるとともに、地下の水みちや帯水層、地質の破砕部の分布等が把握でき、主測線での地すべり機構解析や対策計画（地すべり防止施設配置）検討、設計等の精度向上や照査に資する程度のモデル。	＜複数測線＞ ＜パネルダイヤグラムでの表示＞ 

■3次元地質・地盤モデルの要求性能を設定する

3次元地質・地盤モデルが完成した段階で要求性能を変更する必要が生じた場合、手戻りが大きくなることや無駄な作業を強いる可能性がある。このため、発注仕様書の段階で、次に示す目的、属性情報、成果品様式を決定しておく必要がある。

①目的を明確にする

3次元地質・地盤モデルの仕様を決定するために、活用目的（地質構造の解明、トンネル設計、地すべり対策、橋梁基礎安定性検討など）を明確にする。また、調査、測量、設計、施工、維持管理などの各フェーズ間で、モデルを引き継ぎ、更新しながら事業を進めていく場合は、モデル作成条件がどのフェーズにあたるのか記録しておく。

②作成する地質・地盤モデルと必要な属性情報を決定する

活用目的を満足するモデルを選定（「3.2」参照）するとともに、モデルの引き継に必要な属性情報をリストアップする。

③既存資料を参考にモデルの詳細度を決定する（表7.1-1）

活用目的を明確にしたうえでモデルの詳細度を決定する。目的に応じて、どの程度まで3次元モデルで表現するか明記する。なお、地盤モデルの詳細度については、現段階で定義されたものは無いので、発注者・受注者で協議のうえレベルを決定する。地すべり機構解析の例を表7.1-1に示す。

④成果品の様式を決定する

成果品の様式や範囲は、具体的な利用場面（「8.1参照」）を考慮し、発注者・受注者で協議のうえ決定する。

3次元地質・地盤モデル作成の難易度を知る

事業の種類や規模、目的などにより、多様な3次元地質・地盤モデルを扱うことが想定される。一般に、地質・地盤モデルの定義の数だけ作業時間を必要とするため、モデルの数と作業負荷は比例すると言える。また、その作業負荷は、対象範囲や地層の数、ボーリングの数だけで単純に割り切れるものではなく、情報の質と量に応じて3次元地質・地盤モデル構築の難易度が変わることに留意する必要がある。

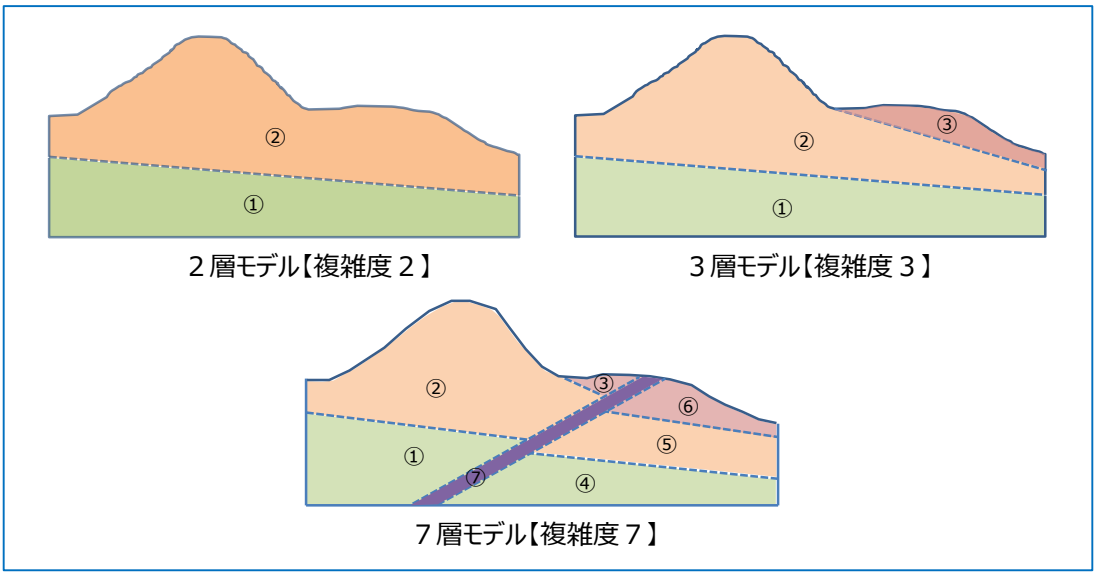


図7.2-1 地質モデルの複雑度の例[1)]

■3次元地質モデル作成の作業負荷

3次元地質モデルは、事業の種類や規模、目的などにより、単純な2層モデルから、褶曲・断層などを含む非常に複雑なものまで、多様なモデルを扱うことが想定される。一般に、地質モデルの定義の数だけ手間がかかるため、地層の枚数と作業負荷が比例すると言える。例えば、単純な2層モデル（仮に複雑度2とする）に対し、3層モデルでは“複雑度3”、これに厚みを持つ断層が1つ加わると“複雑度7”となる（図7.2-1）。

また、3次元地質モデルを構築する際は、従来の2次元断面に比較し、多くの地盤情報（ボーリングデータ、ルートマップ、物理探査結果など）を統合的に取り扱う。扱う地盤情報の数量や、既存地盤情報の見直しの有無も作業量に直接影響する。

■3次元地質・地盤モデル構築の難易度

3次元地質・地盤モデルは様々な条件で構築の難易度が変わる（表7.2-1）。例えば、火山岩・深成岩・変成岩、非整然層など、検討対象地域が複雑な地質で構成されている場合、3次元地質・地盤モデル作成の難易度が高くなる。難易度が高くなると作業により多くの手間と時間を要することになる。

また、地質調査データの質や量、作成するモデルの数、解析領域の広さやモデルの解像度・分解能も、モデル構築の難易度を左右する要因となるので、積算時に注意が必要である。

表7.2-1　3次元地質・地盤モデル構築の難易度の目安[1)]

分類			3次元地質・地盤モデル構築の難易度		備考
			低	高	
地質	自然地盤	地質時代	新しい時代	古い時代	新：第四紀、新第三紀 古：中生代以前
		種類	堆積岩	火山岩 深成岩 変成岩	
		層相	整然層	非整然層	整然層：堆積性砕屑物 非整然層：混合・変形するメランジェ、タービダイト等
		層相変化	少い	多い	
		地質構造	単純	複雑	
	人工地盤	成り立ち	明確	不明確	
地質調査データ		質	良	不良※	※モデル化が不可能な場合もある
		量	多い	少い	
対象モデル数			少い	多い	
解析領域			狭い	広い	
解像度・分解能			低い	高い	

3次元地質・地盤モデル作成の作業負荷を把握する

3次元地質・地盤モデル作成作業の予想される人員（責任）の割り当てや、具体的な情報量（1次データの数量）、モデルの複雑性を前提とした作業量（人工等）を加えることにより、作業負荷を把握することができる。

表7.3-1　ワークフローに対する作業人員の例[1)]

段階		項目・作業	モデル				考えられるデータ・制約条件	人員					作業量に与える影響から考えられる項目・数量・単位
			ボーリングモデル	パネルダイヤグラム	サーフェスモデル	ソリットモデル他		その他	技術員	技師B～C	技師A	主任技師	
①	モデリング計画	要求事項からのモデルの品質定義	○	○	○	○	地質構造の再現性レベルの設定			○			1業務あたり
		解析領域の設定	○	○	○	○	互層、レンズ層など複雑な層境界の扱い		○	○			1業務あたり
		地質テーブル設定案作成	○	○	○	○	ソフト依存の作成モデル数・サイズの限界			○	○		サーフェス枚数
		データの引き継ぎ条件の設定	○	○	○	○	属性情報の項目設定			○	○		1業務あたり
		基本条件の照査	○	○	○	○				○	○	○	1業務あたり
②	資料収集・整理とデータ	データの棄却判断、品質チェック	○	○	○	○	柱状図、断面図、平面図			○	○		柱状図数・図面数
		XML化などの互換データの作成	○	○	○	○	紙・PDF・画像の柱状図からXML作成		○	○			柱状図数
		CAD化などの互換データの作成	○	○	○	○	紙・PDF・画像をもとに、CAD図面作成		○	○			図面数
		その他の互換データの作成	○	○	○	○			○				
		地表面データの作成	○	○	○	○			○				UAVなどからの作成は、別途
		属性データの作成	○	○	○	○			○	○			1業務あたり
		細部条件の照査	○	○	○	○				○	○	○	1業務あたり
③－1	データロスチェック	地質優先度の決定・地質テーブルの作成		○	○	○	3次元ドラフトモデルサーフェス			○	○		サーフェス枚数・既存データや、設計段階に影響される。1業務あたり
		基準となる2次元断面の配置		○	○	○	断面図測線が必要		○				断面数
		基準となる2次元断面の整合、および交点チェック		○	○	○			○	○	○		交点数
		データ修正方針の確認		○	○	○			○	○	○	○	1業務あたり、既存との整合により影響
③－2	モデリング	対比方法や基準の確認・不適合の解消、補完線、点の配置		○	○	○	パネルダイアグラム表示でのチェック			○	○		交点数・断面数
		補完断面検討～作成		○	○	○	パネルダイアグラム表示でのチェック			○	○		交点数・断面数
		確認メッシュ断面の確認		○	○	○	パネルダイアグラム表示でのチェック		○	○	○		交点数・断面数
		サーフェス形状の妥当性確認			○	○	コンター作成などのチェック		○	○	○		確認断面・サーフェス枚数
		不適合の解消			○	○				○	○		
③－3	地質モデル構築	サーフェスモデル完成、総合解析、境界面の照査				○	サーフェースモデルの完成			○	○	○	確認断面・サーフェス枚数
		モデル変換				○	他モデルへの変換		○	○			確認断面・サーフェス枚数・ソリット個数
		属性リンク作成				○	各種モデル		○	○			確認断面・サーフェス枚数・ソリット個数
		モデル照査				○	各種モデル			○	○	○	確認断面・サーフェス枚数・ソリット個数
④	成果品作成	【成果品】 モデルの利活用のための汎用データへの変換	○	○	○	○	成果品仕様			○			汎用ソフトへの変換（3Dpdfなど） 各設計ガイドラインとの整合や 協議資料作成業務との切り分け方が影響
		品質管理の記録作成	○	○	○	○	成果品仕様		○	○	○	○	1業務あたり
備考									技術補助/CADオペ	担当者	主任技術者	照査技術者	【課題】 補正係数の考え方をどうするか？ ・地質による？ ・対象構造物？ ・各ガイドラインとの整合

凡例　照査のタイミング　○該当

■作業に要求される能力および作業量の留意点

作業に要求される能力および作業量の留意点を示す。

①モデリング計画

品質の定義、作業量を左右する全体計画のため、個別業務上の管理技術者レベルのスキルが必要である

②資料収集・整理と3次元化

情報収集とそのデータの利用可能かの判断が必要である。再検証すべき既存のデータが多い場合、モデル作成全体の時間から見た相対的な作業時間は多くなる

③3次元地質解析

複雑なモデルや、品質の高いモデルを作成する場合、作業者のスキル（熟練度）や、作業環境（ソフト、ハード）の性能が問題になる場合がある

④成果品

品質の定義が作成されること、リスク等の情報が引き継がれていることなど、利活用されるものなっているか確認する

■3次元地質・地盤モデル構築のスキル

3次元地質・地盤モデルを構築するために必要なスキルは、土木地質図を作成する地質技術と、ICTを用いる情報処理能力である（表7.3-2）。実際には、地質関連の技術資格を持つ技術者自らが、3次元地質・地盤モデル構築作業を実施する場合が多い（図7.3-1）。情報専門職員やCADオペレータが作業を担当する場合は、地質技術者の監督・監修が必要である。

表7.3-2　3次元地質・地盤モデル構築に必要なスキル[1)]

種類	内容	
地質技術スキル	地質判定技術	・地質学的思考/知識 ・地形地質判読技術
	土木地質技術	・地質工学的思考/知識 ・地質・地盤リスクを判断・評価できる能力
	地質図化技術	・基本地質図学 ・土木地質図作図技術
情報処理スキル	基本情報処理知識	
	地質情報の理解	
	CADや関連ツールの機能/性能への理解	
	3次元空間把握能力	
	3次元の情報処理技術の理解/習得	

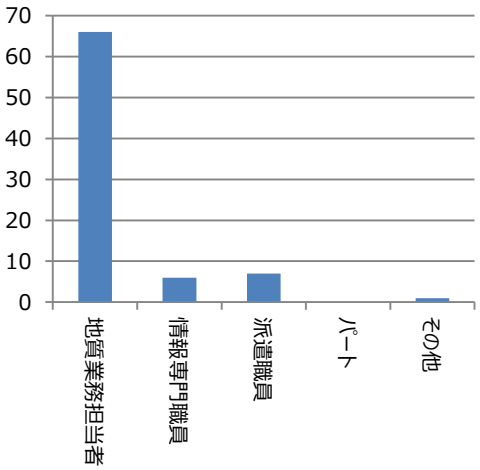


図7.3-1　3次元地質・地盤モデル構築担当者の役割[1)]
（全80件）

■3次元地質・地盤モデル構築の実行手段

3次元地質・地盤モデルを構築する作業を実行するためには、専用ソフトウェアと高性能なコンピューターの配備が不可欠である。また、作業環境のパフォーマンスを向上させるには、専用ソフトウェアとハードウェア両面の機能・性能の向上が必要である。

必要な成果品を明確にする

目的に対応した成果品を提出するには、受発注者協議においてBIM/CIMモデル等の到達イメージを双方で確認し、モデルの精度や限界、利用範囲を合意しておく必要がある。

表8.1-1　建設事業対象における地質調査に対する要求事項と成果品の例[1)]

項目		地質調査に対する要求事項の例	対応する成果品の例
土工	切土	・切土範囲における地質分布・地質構造把握 ・地質分布状況に応じた切土のり面勾配の設定 ・地山の土軟硬区分に基づく掘削工法選定 ・土軟硬区分の掘削土量算定 ・旧造成地の切り盛り箇所の把握	・地質平面図 ・地質断面図（土軟硬区分） ・土軟硬区分コンター図 ・地下水位面コンター図
	盛土	・盛土範囲における軟弱層分布の把握 ・盛土材料の調達や材質・賦存量の把握 ・旧造成地の切り盛り箇所の把握	
トンネル	①坑口周辺部（坑口構造物 坑門工等）	・孔口斜面の安定性評価 ・基礎地盤の支持力評価 ・偏圧区間の把握と安定解析に用いる地質情報の把握 ・低土被り状況の把握と安定解析に用いる地質情報の把握	・地質平面図、地質スライス平面図 ・地質縦横断図（岩級区分、弾性波探査速度層分布、比抵抗分布図、地山等級分布図等） ・斜面評価図（地すべり地形分布図、不安定土砂コンター図等）
	②トンネル区間（施工前）	・施工管理、安全管理への留意事項 ・自然由来重金属の有無と分布の把握 ・低土被り区間のゆるみ範囲の把握 ・応力解析に用いる地質情報の把握 ・水文解析に用いる地質情報の把握	
	③トンネル区間（施工時）	・切羽前方予測による地質情報の把握 ・内空変位計測結果を用いた地山応力解析 ・変状時の原因特定と対策検討 ・水文解析に用いる地質情報の把握 ・対策効果の判定	・地質平面図、地質スライス平面図 ・地質縦横断図（岩級区分、弾性波探査速度層分布、比抵抗分布図、地山等級分布図等） ・切羽観察台帳
	④維持管理	・変状や災害発生時の原因把握 ・対策検討に用いる地質情報の把握	・地質断面図、地質平面図 ・点検台帳
ダム	①事業計画	・ダム軸の優劣判断に用いる地質情報の把握 ・ダム形式、規模、掘削量の検討に用いる地質情報の把握 ・止水処理範囲、地質上の課題等に必要な情報の把握	・地質平面図、地質断面図、コンター図
	②設計	・ダムの座取り検討に用いる地質情報の把握 ・岩盤掘削線の検討に用いる地質情報の把握 ・止水処理工等の設計に用いる地質情報の把握	・地質平面図、地質断面図、岩級区分図、ルジオンマップ ・コンター図（地質区分、岩級区分、地下水位） ・掘削平面図（地質区分、岩級区分）
	③施工	・設計条件の妥当性確認に必要な地質情報の把握 ・施工時や完成後の維持管理に必要な地質情報の把握	
	④維持管理	・ダムや貯水池地滑り等の安全性確認に用いる地質情報の把握 ・施設の維持管理や再開発に用いる地質情報の把握	・地質平面図、地質断面図、岩級区分図、ルジオンマップ ・コンター図（岩級区分、地下水位） ・管理台帳（カルテ）
河川堤防/河川構造物		・旧河道等の要注意地形の分布 ・河川改修履歴や既設対策工 ・基礎地盤における透水層の分布範囲・層厚 ・基礎地盤における沈下特性 ・液状化層の分布範囲・層厚 ・砂質土のN値・粒度特性 ・堤体の土質構成 ・透水層および被覆土層の分布状況 ・樋門等構造物周辺や護岸背面空洞における緩みや空洞の有無・大きさ ・遺物（木片、瓦礫等）の有無 ・河川周辺の斜面変動 ・被災履歴、被災原因 ・地下水分布	・地質平面図 ・推定土質縦横断図 ・開削調査スケッチ ・物理探査結果図（表面波探査、電気探査、クロスプロット図） ・管理台帳（カルテ）
橋梁	①概略・予備設計	・路線選定に係る地質リスクの把握	・空中写真判読図 ・地質平面図、地すべり分布図
	②予備調査	・地盤性状の把握 ・周辺地質リスクの把握 ・動的解析用地盤モデル作成 ・基礎形式の選定に用いる地質情報の把握	・空中写真判読図 ・物理探査結果図 ・地質平面図、地質断面図（縦断・横断図）、コンター図 ・動的解析用モデル図
	③施工	・基礎構造と支持層の関係把握 ・動的解析用地盤モデル作成 ・施工時の安全確保に用いる地質情報の把握 ・施工に伴い明らかになった地質情報によるモデル更新	

■地質調査に対する要求事項と成果品

地質調査に対する要求事項と必要な成果品の例を表8.1-1,2に示す。事業やその段階によって要求事項や地質調査成果は様々である。

3次元地質・地盤モデルは多種多様な建設事業等で利用することが可能である反面，それらの目的や用途に対応したモデルを構築しなければならない。そのためには初期段階での受発注者協議が最も重要であり，ほとんどの仕様や精度がこの段階で決定する必要がある。

成果品の品質やトレーサビリティの確保，地質・地盤リスクの可視化についても客観的根拠が必要となり，その信頼性も適切な照査フローのなかで担保される必要がある。

同じデータを用いれば異なる技術者でも同じモデルが構築できることが、モデルの信頼性を保証する観点から重要である。

表8.1-2 建設事業等の目的における地質調査に対する要求事項と成果品の例[1)]

項目		地質調査に対する要求事項の例	対応する成果品の例
斜面防災	①調査/設計	・斜面災害リスクの評価 ・安定解析 ・リスク監視基準の策定	・地質断面（主断面、解析断面） ・すべり面コンター図：3次元安定解析や対策工設計に使用 ・平面図：斜面変動の規模や影響範囲 ・管理台帳（カルテ）
	②施工	・安全確保するためのモニタリングや目視によるリスク監視 ・施工掘削面等で得られた地質情報によるリスク評価のチェック ・リスク評価基準や監視基準の見直し	
	③維持管理	・竣工後の日常安全管理（観測機器によるモニタリング、カルテ等による点検） ・地質情報の見直しや追加地質調査の実施による安全性評価 ・リスク評価基準や監視基準の見直し	
	④緊急時	・変調時の原因究明と危険予測 ・発災時の災害対応 ・応急工事における出来高/出来型管理	
支持層		・支持層の分布形状 ・支持層の物理性状 ・支持層深度 ・中間層の分布と土質乗数	・支持層線断面図 ・支持杭位置におけるクロス断面 ・支持層分布コンター図（地質境界面コンター図）
岩盤分類（地山分類）		・地盤安定性評価（地震応答評価、切羽予測、斜面不安定化予測、等） ・設計/施工管理（支持力検討、基礎処理や根入れ範囲・深度計画、リッパビリティ、トラフィカビリティ、出来高管理、掘削土量計算 等）	・岩盤分類断面図 ・岩盤分類境界面コンター図 ・岩盤分類層厚コンター図 ・工事進捗差分コンター図
地中熱利用		・地中熱利用適地の抽出、地中熱回収量の評価 ・地下水シミュレーションに用いる地盤モデル構築	・地質境界面モデル ・地層ソリッドモデル ・地層ボクセルモデル ・地下水分布図、地下水面コンター図
土壌汚染		・有害物質の性質や土壌・地下水の性質 ・地質構成・構造、帯水層、難透水層の分布、地下水流動 ・汚染範囲、濃度分布、地層や地下水と汚染の関係 ・汚染メカニズムの解明や、必要な調査・対策検討の有用な地質情報 ・地下水汚染シミュレーションによる遮断壁や浄化対策工等の効果予測	・地下水流動予測図 ・汚染予測時系列変化図（コンター図） ・対策効果予測図 ・シミュレーションに用いる3次元メッシュモデル ・解析結果の3次元可視化/アニメーション（予測結果、汚染範囲、濃度分布、地層と汚染の関係、地下水と汚染の関係）
地震基盤		・浅部地盤構造 ・深部地盤構造 ・地震基盤以深の地殻構造	・地震基盤面コンター図 ・工学的基盤コンター図 ・地質断面図
データベース		【DBに求める機能】 ・既存地盤調査等資料の統合管理 ・利用者の立場に立った情報蓄積・提供・可視化	・電子化された各種地盤情報（図面、報告書、各種資料等） ・サーフェスモデル、ボクセルモデル
アカウンタビリティ		・技術的判断・評価に資する ・復旧作業等の手順の理解に資する ・実態や影響の速やかな理解や復旧工事等の影響に関する合意に資する	・基本資料をベースにステークホルダに合わせた資料とする

利用場面に合った3次元オブジェクトを選ぶ
3次元地質・地盤モデルは、利用場面に対応可能な3次元オブジェクトを単体や複合的に使用して表現する。

表8.2-1　利用場面に対応可能な3次元オブジェクトの例[1)を修正]

用途	3次元地質・地盤モデルの利用場面	地質調査データ				地質・地盤モデル				備考
		露頭	ボーリング/サウンディング	物理探査	動態観測	準3次元図面	サーフェス	ソリッド	ボクセル	
二次利用	データシート出力		●	●	●		●	●	●	
	地質図面（平面図、断面図）出力						●	●		
	地質図面（地質境界面標高・深度・地層層厚等のコンター）出力						●	●	●	
	点検台帳やカルテに用いる基礎図面（正面図、パース図等）出力	●	●	●	●		●	●		
	土軟硬区分や地質境界面標高・深度の差分計算						●	●	●	
	工事範囲における対象地質（土軟硬区分等）土量算定						●	●	●	
	3次元地質モデルデータそのものの利用	●	●	●	●	●	●	●	●	
	数値解析用3次元地質モデルデータへの加工						●	●	●	
地質解析作業	地質情報の3次元的な整合性確認	●	●	●	●	●	▲※	▲※	▲※	
	地質調査データを用いて初期地質モデル構築	●	●	●	●	●	●	●	●	
	施工による実績地質データ取得とモデル更新	●	●	●	●	●	●	●	●	
可視化	地質調査位置や種類情報	●	●	●	●					
	地質モデルの根拠となる地質調査データ	●	●	●	●	●				
	予測地質分布・構造					●	●	●		
	施工範囲に係る詳細地質モデル	●	●				●	●		
	亀裂等不連続面の詳細地質モデル	●	●				●			
	土軟硬区分や岩盤分類の予測モデル	●	●	●		●	●	●	●	
	地質解析結果と安全率や影響範囲	●	●	●	●	●	●	●	●	
	対象地質モデルと構造物や対策工との干渉チェック						●	●		
	予測地質モデルと実績地質モデルの比較					●	●	●	●	
	モニタリング結果	●	●	●	●	●	●	●	●	
	地質パラメータ	●	●	●	●	●	●	●	●	
	地質モデル利用上の留意点	●	●	●	●	●	●	●	●	アノテーション必要
	地質リスク情報（点検着目点、災害位置、素因、誘因、被害規模等）	●	●	●	●	●	●	●	●	
	設計・施工上の地質リスク留意点	●	●	●	●	●	●	●	●	
	維持管理上の地質リスク留意点	●	●	●	●	●	●	●	●	
	地質モデル属性や地質データ・モデル間のリンク	●	●	●	●	●	●	●	●	

※ドラフトモデルで不陸や不連続性をチェックする

■3次元オブジェクトを利用して3次元地質・地盤モデルを表現する
3次元地質・地盤モデルの利用場面（表3.3-1）に対応可能な3次元オブジェクトを表8.2-1に示す。3次元地質・地盤モデルは、これらのオブジェクトを単体や複合的に使用して表現する。

目的に合ったワークフローを組み立てる
3次元地質・地盤モデルを構築するには、着手前に目的に合ったワークフローを組み立てる必要がある。

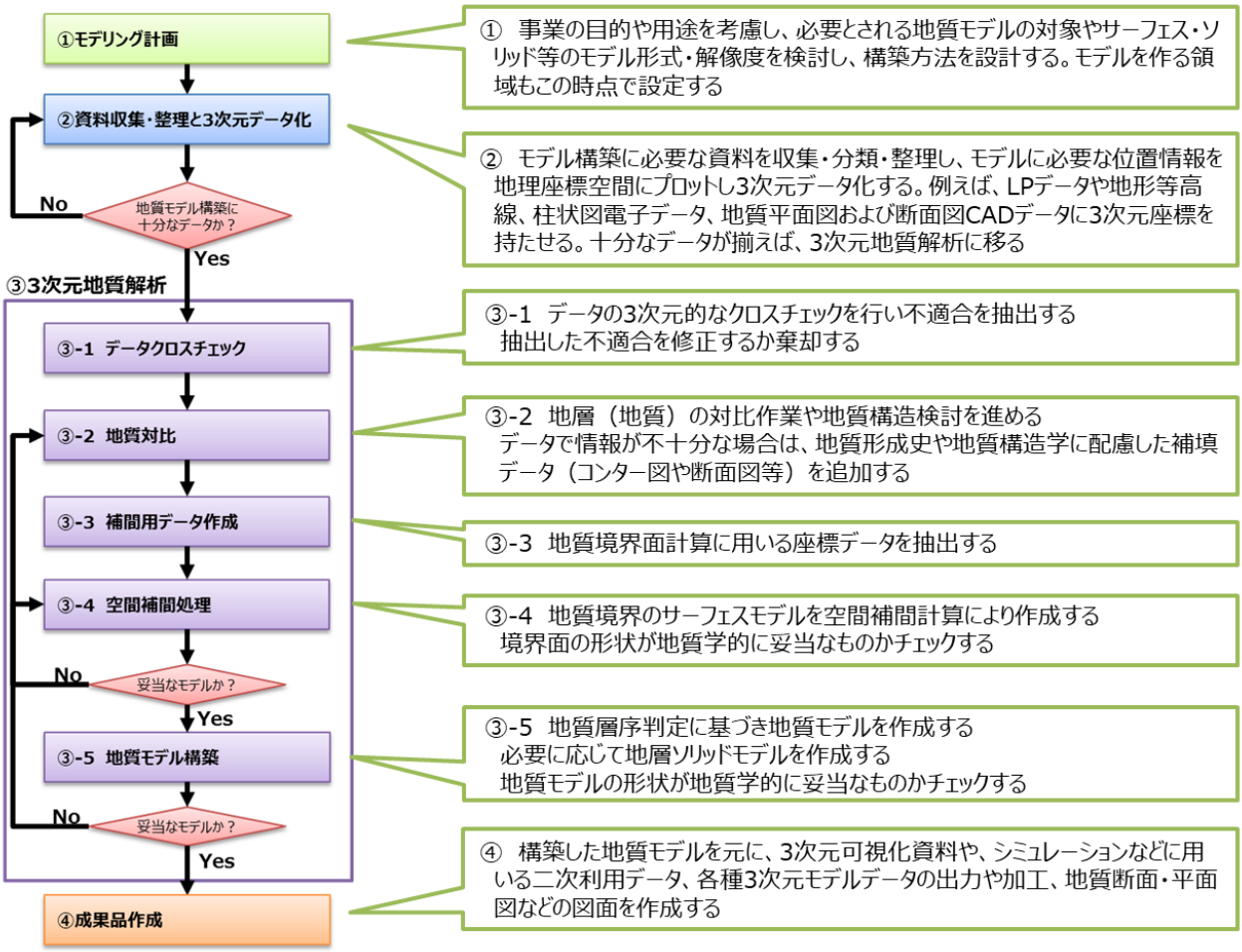


図8.3-1　3次元地質解析の標準的なワークフロー[1)]

■ワークフローの意義
3次元地質解析もプロセスを規定した標準的なワークフローがあれば、要所で品質チェックのマイルストーンを設けることができる。さらに、モデル化の目的や作業の効率性・生産性向上、成果品出力等を考慮し、適宜フローの組み替えも可能となる。
　作業計画（モデリング計画）に大切な視点をまとめると次のようになる。

◆業務内容とモデル構築の目的を理解する
◆対象地域の地質構成・構造の背景を理解する
◆モデルを作る範囲（解析領域）を決める
◆適切な補間アルゴリズムを選定する
◆データの流れを把握しワークフローは適切に拡張する
◆作業期間や費用を見積る
◆クライアントと協議し合意を得て作業に着手する

適切な解析領域を設定する
3次元地質・地盤モデルは補間計算を用いて作成する。補間計算によるモデルの発散を抑えるために、モデル作成範囲よりも広い領域で計算することが望ましい。

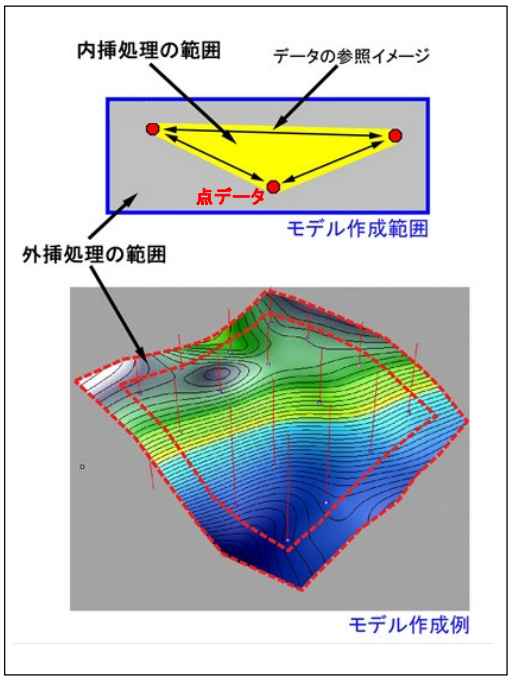


図8.4-1　面モデル形状の発散例[1)]

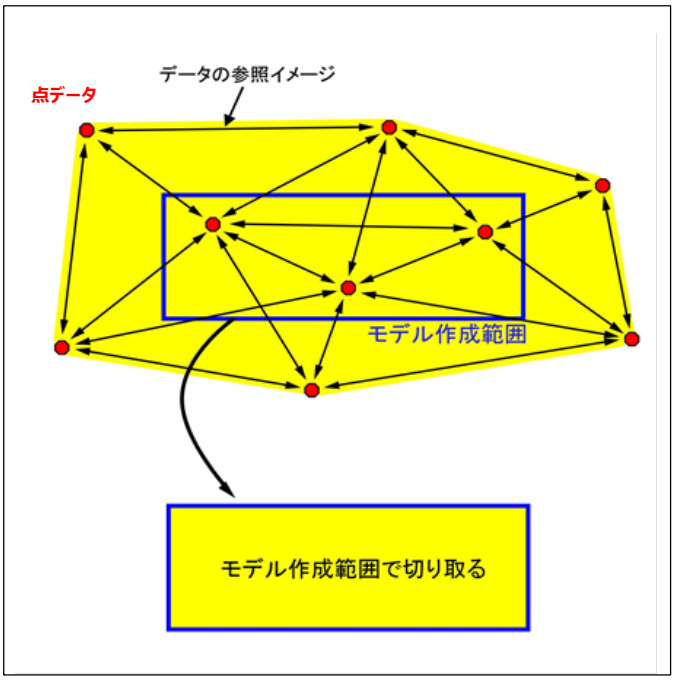


図8.4-2　面モデルの発散を抑える方法[1)]

■解析領域の考え方

3次元地質・地盤モデルの補間計算に際しては、ボーリング位置における地質境界点や断面図に示される地質境界線より抽出した"点データ"の座標値を用いることが一般的である。

モデル作成範囲（空間補間計算する範囲。解析領域ともいう）内のみに"点データ"が分布すると、外挿処理範囲は発散する（図8.4-1）。この発散を抑えるためには、モデル作成範囲外のデータも用い、モデル作成範囲よりも広い領域で境界面モデルを計算することが望ましい（図8.4-2）。

一方で、モデル作成範囲を決めた後にデータを集めることもある。この場合は、不足範囲のモデルを作成するための補助地質断面図や補填データが必要になる。

広域の地質モデルを作成する場合は、地域的特徴（地形・地質や行政単位等）による小領域で分割して作成し、後にそれらを合成して一つのモデルに統合することもある（図8.4-3）。

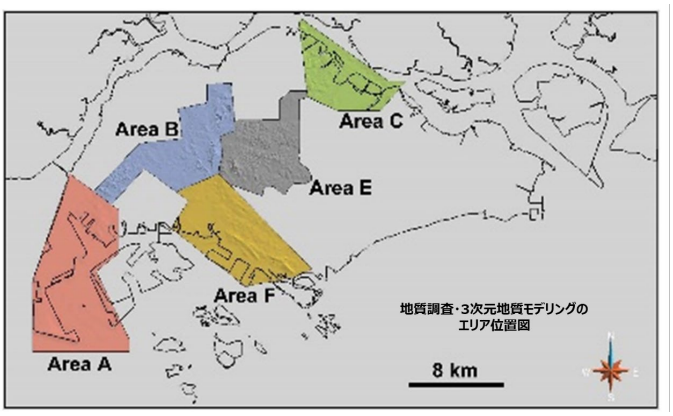


図8.4-3　モデル構築エリア分割の例[12)]

3次元地質・地盤モデルの信頼限界を示す

利用者に誤解を生じさせないためにも、3次元地質・地盤モデルの信頼限界を設定する必要がある。ボーリングの調査深度は地質モデル推定深度の下限として考え易いが、ボーリングの配置により必ずしもそうはならないので、地質の種類や構造を考えて適切に信頼限界を設定することが望ましい。

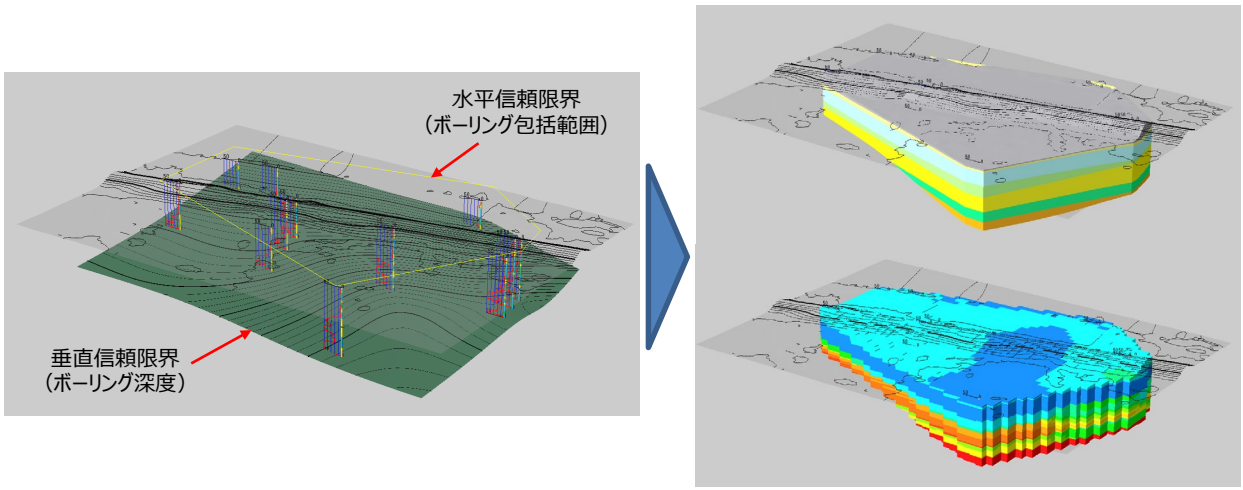


図8.5-1　3次元地質・地盤モデルの信頼限界の例
左：ボーリングデータによる垂直・水平信頼限界
右：信頼限界範囲で切り取った地盤モデル

■信頼限界の設定方法

3次元地質・地盤モデルには信頼限界を設定する必要がある。ここでは、信頼限界を深度方向と平面方向に分けて設定する。これは従来の土木地質図における着色範囲と似た扱いである

（1）深度方向の信頼限界の考え方

深度方向の信頼限界はボーリング調査結果の下端深度とする。ただし、ボーリングの配置により必ずしもそうはならない場合もあり、地質の種類や構造を考えて適切に信頼限界を設定する必要がある（図8.5-2）。

（2）平面方向の信頼限界の考え方

平面でみた信頼限界については、地質調査範囲を基本に設定する（図8.5-3）。

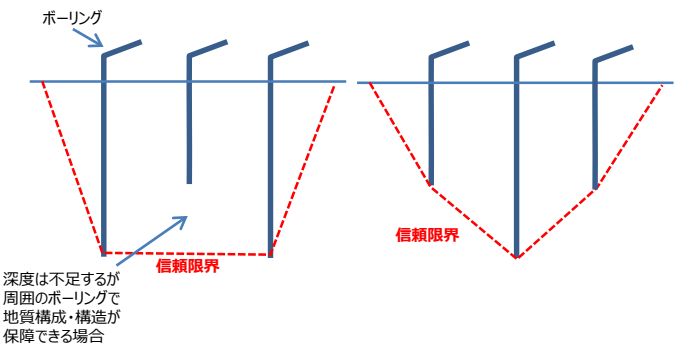


図8.5-2　ボーリングの配置による信頼限界の違い[1)]

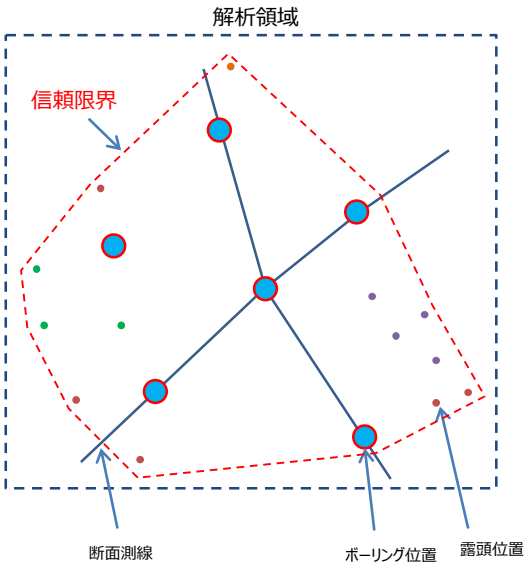


図8.5-3　平面における“信頼限界”の設定例[1)]

8.6 ソフトウェアの選定

目次へ　次へ

目的に合ったソフトウェアを選定する

近年、3次元グラフィックスをストレスなく扱える高性能PCも安価に入手できるようになり、ユーザーにとってハードウェアの利用環境は整ってきている。3次元地質解析の専用ソフトウェアは国内外で様々な性能のものが販売されており、フリーソフトも存在する。専用ソフトウェアの選定に際しては、作成するモデルの対象、トレーサビリティ、使い易さ、経済性等を考慮する必要がある。単体のソフトで全機能を網羅しなくても、複数のソフトを連携させて処理を行うこともある。

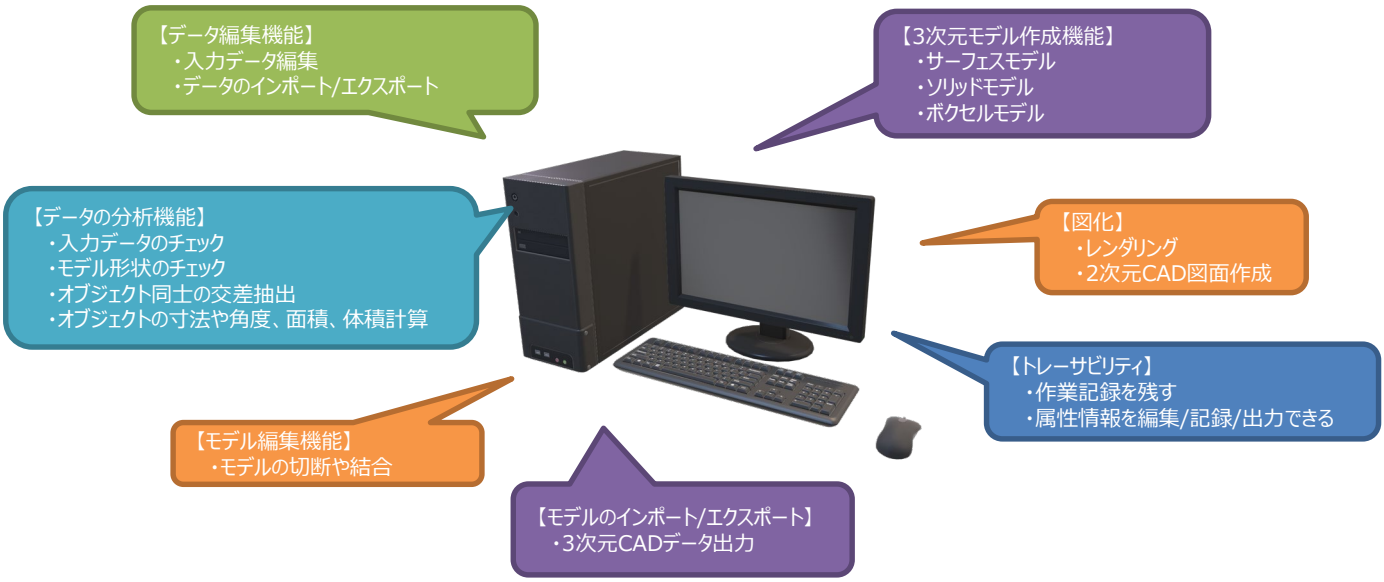


図8.6-1　3次元地質解析システムに求められる機能のイメージ

■3次元地質解析技術の実行手段

近年、ソフトウェアの進化やPCの性能向上に応じてモデル化規模の拡大や、表現できる地質事象が増えてきている。専用ソフトウェアも安価なものやフリーソフトが増え、技術者にとって利用環境が整い選択の幅も広がっている。

ただし、フリーソフトは作成するモデルに制限があったり、バージョンアップやユーザーサポートが期待できないなど、実務には不向きなものもある。また、市販のソフトでも、作成できる地質・地盤モデルの種類や、作成するモデルのサイズや数が制限されるものなど、カタログでは見えないスペックもあることに留意する必要がある。

■教育や訓練の必要性

新しい技術を導入する場合、操作スキルを取得するための教育・訓練は不可欠である。専用ソフトは高機能であるため、習熟に時間が必要なものが多く、ソフトの操作スキルを習得するための、教育・訓練の場が必要である。

地質事象に適したアルゴリズムを選定する

全ての地質事象を一つの空間補間法で再現することは困難である。様々な空間補間法の特性を考慮し、地質事象毎に適した手法を選定する必要がある。

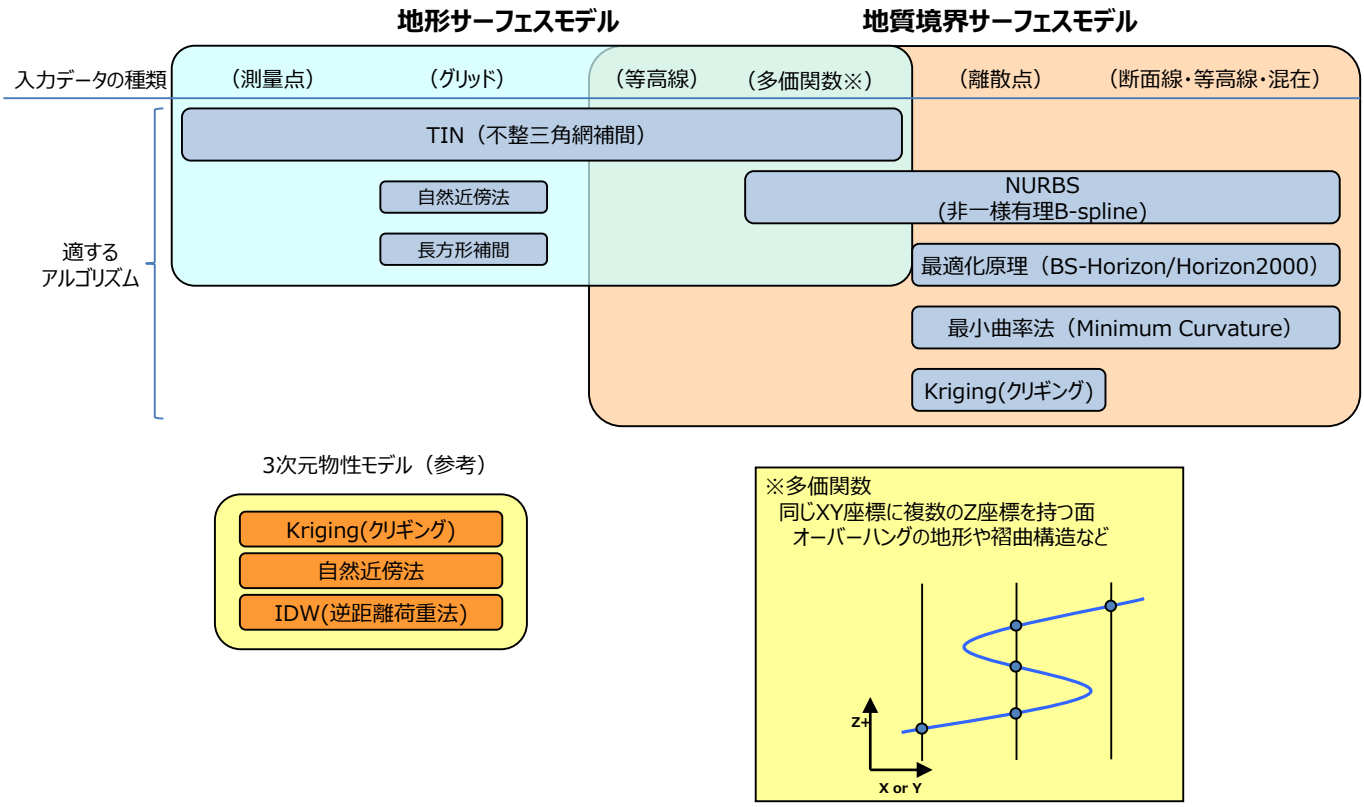


図8.7-1　空間補間アルゴリズムの適用例[1)]

■アルゴリズム選定の観点

地形面は数値標高データや測量点など比較的データ密度の高い点データが得られる場合が多いため、自然近傍法やTIN（不整三角網補間）といった実測データから逸脱しない線形補間による内挿が用いられる。不整三角網の出力データは三角メッシュである。

一方、ボーリング孔データから得られる地質境界面は、データ密度の低い点データや不均一なデータから滑らかな曲線を作ることが求められるため、最小曲率法やクリギング法、スプライン曲線を適用した補間が適している。補間計算の出力データは、グリッドモデル（等間隔格子のXYZデータ）が用いられることが多い。

自然近傍法やTIN、逆距離加重法は、データ密度の低い地質情報の空間補間には適さない。クリギング法を適用する場合は、バリオグラムの設定の際に地層の空間相関性やデータの異方性に関する地質学的な理解が必要となる。

スプライン法は、正確に制御点を通過するものとしないものがある。一般的なスプライン法では、制御点を移動した場合、曲面全体が影響を受けるので曲面の設定が難しくなる傾向がある。一方、B-スプライン法では、特定の制御点を移動した場合でも、影響を受ける範囲は制御点の近傍に限定され、曲面の調整は容易になる。

オーバーハングした形状のサーフェスの場合は、グリッドモデルとして計算すること自体が困難であり、複数のグリッドモデルを接合して表現する必要がある。そのため、接合部が不自然な形状になりやすい。一連の滑らかな曲面として作成するには、NURBS法による曲線補間を適用することができる。

「10.1 アルゴリズムの利用方法」も参考に、地質事象に適したアルゴリズムを選定されたい。

地形データの品質を確認する

地形データは、3次元地質・地盤モデルの目的や要求性能を満たす解像度のものを使用しなければならない。作成する地形モデルの精度や利用限界を把握するために、地形データの品質を確認する必要がある。

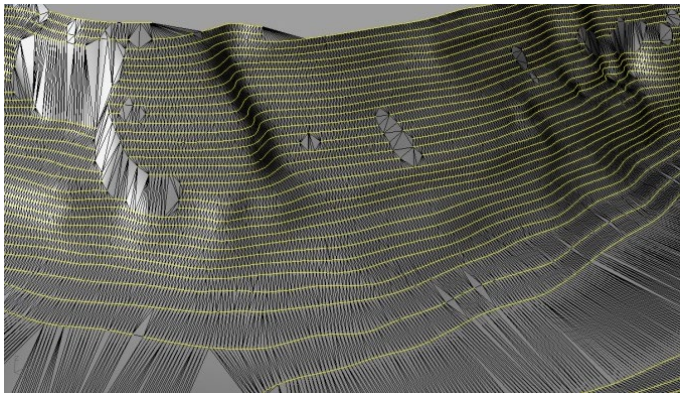
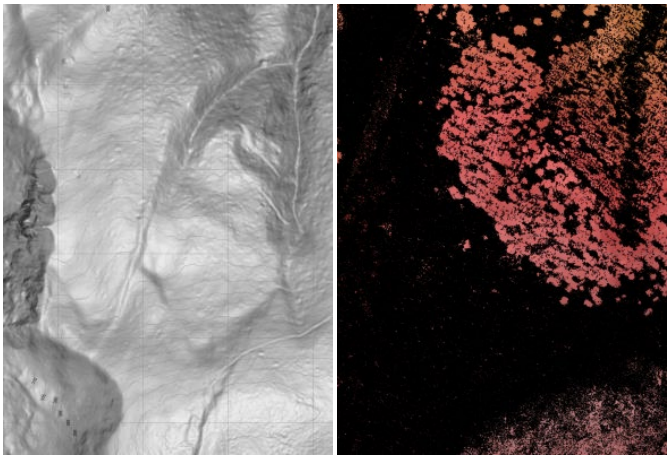


図9.1-1　等高線で作成した地形モデルの例[1)]



右図の明るい部分は植生の影響でグラウンドデータが取得できていない部分である

図9.1-2　DEM地形モデルの精度の問題[1)]

■地形データ利用時の留意点

地形モデルを作成するためのデータには、等高線、DEM（digital elevation model)、レーザー測量データ等がある。以下にデータの概要を示す。

【等高線】

地形を表現する一般的な図法であり、データの形式としては、CADやGISのベクトルデータ、DMデータがある。品質確認項目としては次のものが挙げられる。

①等高線の属性（標高値）の有無
②等高線の間隔
③等高線の単位
④等高線の作成方法

等高線から地形モデルを作成するには、ベクトルデータの等高線に標高値の属性が割り当てられている必要がある（図9.1-1）。また、等高線の利用に際しては、それがどのように作成されたものか、どの程度の精度を持つものなのかを把握しておくことが重要である。特に、等高線の間は何の高さ情報も無いので、等高線以上の精度をそれ自身から得ることができないことに注意する必要がある。むしろ、レーザー測量データから作成された等高線の場合は、等高線を使用するよりも、元のレーザー測量データを入手する方法を選ぶべきである。

【DEM】

決められた間隔で格子状に配列した標高データである。よく用いられるのは国土地理院発行数値標高モデル（5m,10m,）で、WEB[13)]で無償提供されている。DEMを利用する場合の品質項目としては次のものが挙げられる。

①DEMの解像度（格子間隔）
②元データ（グラウンドデータ）の密度

なお、DEMデータの精度は地表（グラウンド）データの取得精度以上のものは得られないことに注意が必要である（図9.1-2）。

【レーザー測量データ】

航空機や地上レーザースキャナで取得された標高データである。レーザー測量データを利用する場合の品質確認項目は、DEMと同様に、解像度と元データ（グラウンドデータ）の密度と精度である。

ボーリングデータの品質を確認する

ボーリングデータは地下の情報を知るための信頼性の高い一次データである。3次元地質・地盤モデルを構築する際に既往ボーリングデータを用いる場合は、その品質を確認しなければならない。特に、ボーリング調査は同一目的・同一条件下で実施されているとは限らないことに留意する必要がある。

表9.2-1 ボーリングデータの品質確認項目の例

項目	確認する事項
①位置座標	測地系、単位
②調査実施時期	調査基準や地質評価基準が変わる時期との関係
③調査実施機関	事業目的か研究目的か
④土質試験有無	土質分類の評価が定量的か
⑤コアリングの状態	無水・送水堀、サンプリングの質
⑥観察記事の有無と内容	土質・地質判定の品質
⑦複数のコア判定情報同士の矛盾点	判定境界変化深度や区分の整合性
⑧土質分類の妥当性	用語
⑨孔内水位	水位観測日や観測方法の記載
⑩水位測定時期	多雨期や乾季
⑪調査担当	調査責任者の明記
⑫オペレーター	調査責任者の明記

■ボーリングデータの品質確認内容

ボーリングデータの品質確認項目の例を表9.2-1に示す。

ボーリングデータは、調査目的や調査年代によっては同一地質でも地質区分が異なることがあるので、必要に応じて統一を図る。また、ボーリングデータをDB化している機関毎に座標の入力精度、管理精度が異なる場合がある（図9.2-1）。

地質情報に質的な差異が認められた場合は、例えば、下記のような優先順位を設けてデータを選別する。なお、選別した場合は、その記録を残す必要がある。

【実施機関】
同じプロジェクト（貸与資料）のもの ＞ 公開データ

【実施時期】
新しいデータ ＞ 古いデータ

【記事の有無、地質・土質分類の妥当性】
地質・土質区分や記事が詳細 ＞ 大雑把

【位置精度】
座標の取得精度を考慮する。緯度・経度座標の秒単位で小数点以下が丸められているものは使用しない等

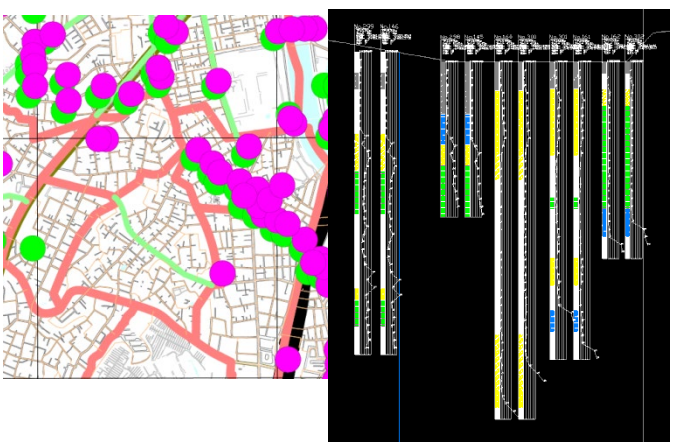


図9.2-1 座標やデータ定義の違い[14)]

図面データの品質を確認する

図面データはある時点までの地質調査により作成された、地質平面図・断面図等の解釈図を指す。3次元地質・地盤モデルを作成する際に、既存調査や文献資料等で作成されているものを用いて、ボーリングデータ等の追加調査結果を評価する際に活用する。また、図面データを直接用いて3次元地質・地盤モデルを作成することもある。

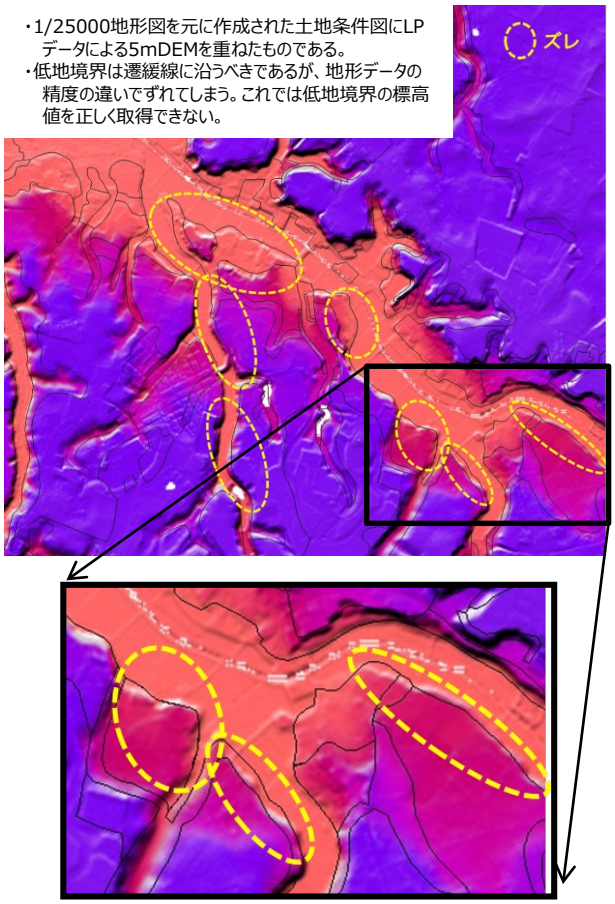


図9.3-1　位置正確度に問題のある地質図面の例[1)]

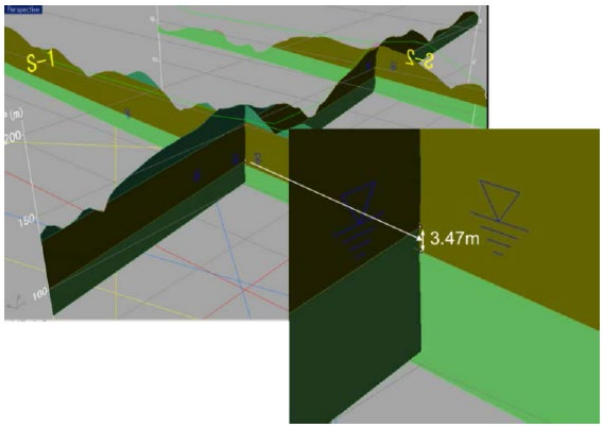
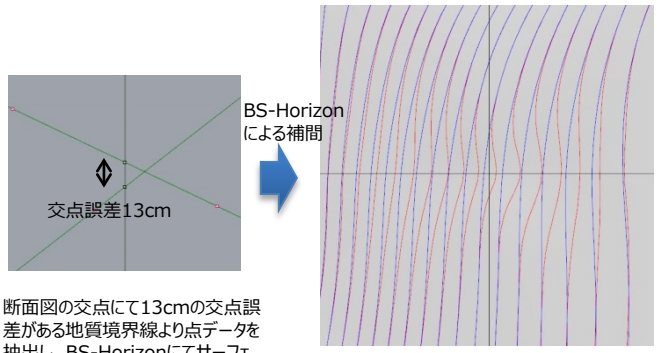


図9.3-2 交差する地質断面の地質境界のズレの例[1)]



断面図の交点にて13cmの交点誤差がある地質境界線より点データを抽出し、BS-Horizonにてサーフェスモデルを作成して交点誤差0のモデルと形状を比較した

青：交点誤差０のコンター
赤：交点誤差13cmのコンター
コンターの間隔は10cm

図9.3-3　交点誤差によるサーフェスモデルの歪みの例[1)]

■地質平面図の品質確認

地質平面図は、地形の等高線を用いて地質図学と地質技術者の科学的解釈により作図されるため、その精度は地形図の精度に依存する。地質平面図は、一般に地表地質調査などの地質調査を実施する際に入手した地図が基図となる。そのため、地質平面図の精度は、調査時の地形図以上にはならない。

近年、LP測量等を用いたDEMデータの地形図が利用されるようになり、これを用いた地質平面図の精度は向上していると言える。その反面、DEMデータの地形図を基図として、これに古い地形図を用いた既存地質図を重ねても、地形・地質学的に矛盾が生じる（図9.3-1）ため、既存地質平面図をそのまま利用することは困難である。このような場合に既存地質図を生かすには、一次情報となるルートマップまで遡りチェックするか、あるいは地表地質踏査をやり直す場合もある。

■地質断面図の品質確認

地質断面図はボーリングデータなどを基に、地質技術者の科学的解釈により作成された図面である。図面としての基本的な品質確認項目としては次のものが挙げられる。

①CAD地質断面図の単位系
②位置基準の記載の有無
③断面測線を記載した平面図の有無
④地質等凡例の有無
⑤縦横比
⑥目盛や標尺の長さ

また、後述する様々な原因（表9.3-1）により、複数の地質断面図間では、交差する地質境界のズレ（図9.3-2）や不一致が生じる場合がある。地質境界のズレについては、地質境界線を用いて3次元サーフェスモデルを作成する際に、わずかな誤差でもモデルの歪として現れる（図9.3-3）ため、交点誤差が最小になるように調整する必要がある。

■地質断面図の品質確認

地質断面図間に生じる不適合とその原因について表9.3-1に示す。他にも、下記のように不適合以前に技術的未熟ともいえるような問題もあるので、既往資料の地質断面図を利用する場合は注意が必要である。

【地質断面図の不適切な例】

- ◆追加調査が追加されたのに地質図面を更新しない
- ◆ボーリングを投影したのに投影距離が示されていない
- ◆ボーリングの投影距離を無視し、投影ボーリングを直線・曲線で結ぶ地質境界を描く
- ◆道路曲線線形で湾曲しているはずの地質境界が直線で描かれている（つまり２点間を直線で結んでいるだけ）

以上の不適合は、3次元地質モデルを構築するプロセスで発見次第、是正することになる。実際にコンソーシアム会員が経験した事例の一部を図9.3-4～7の模式図で示す。

表9.3-1　地質断面図における不適合と原因の例[1)]

不適合の状態	不適合の原因
交差する地質断面で地質境界の位置が合わない	ペンの誤差、トレース時の誤差、作図上の誤差、単純ミス
交差する地質断面で一方の断面にある地質境界線が、もう一方の断面に存在しない	断面作成時の確認ミス、トレースミス、作業中に誤って削除
交差する地質断面で地質解釈が異なる	断面の作成者が違う、断面の作成時代が違う
井桁に交差する地質断面で順番に地質境界を追いかけていくと“螺旋”になる	緩傾斜地層、断面作成者のミス

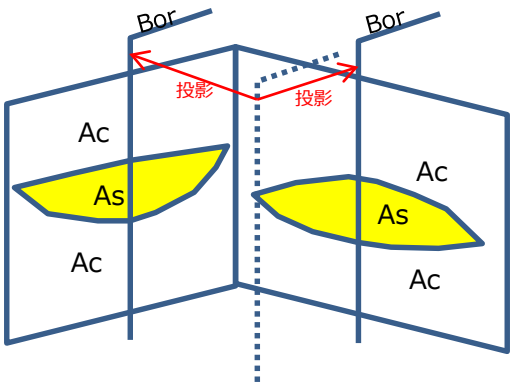


図9.3-4　交差断面で地層形状の解釈が異なる例[1)]
同じボーリングデータを使用しているのに、思想に統一性が無い

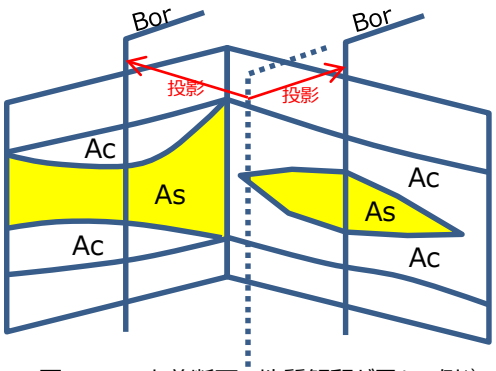


図9.3-5　交差断面で地質解釈が異なる例[1)]
同じボーリングデータを使用しているのに地質解釈が違う
結果、断面の交点が合わなくなっている

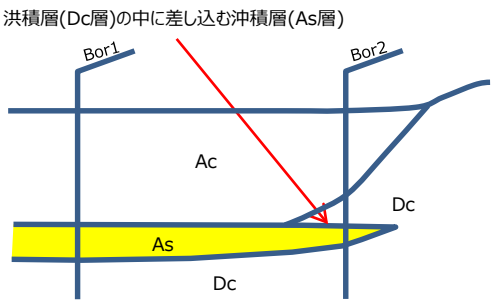


図9.3-6　地層累重の法則に反する例[1)]

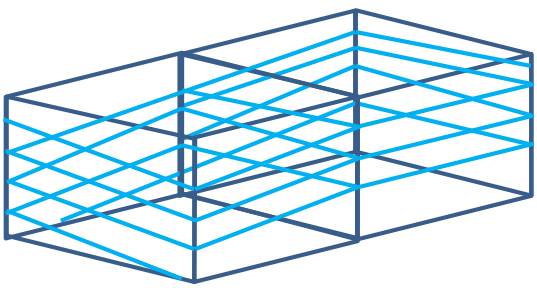


図9.3-7　螺旋状の地質解釈例[1)]
複数の格子断面で緩傾斜の堆積岩互層を描いているが、
一つの断面における傾斜判定ミスが他の断面に波及した

データの品質を確認した記録を残す

3次元地質・地盤モデルの属性情報として、各データの品質を確認した記録を残すことが重要である。品質確認の記録は、報告書や属性記録シートに残し、3次元地質・地盤モデルと供に一元管理し確実に継承させることで、後工程にて3次元地質・地盤モデルの更新や利活用に役立つと考えられる。

表9.4-1　地質調査図面データ等のチェックシートの例[1)]

データの種類		チェック対象	チェック	備考
CAD図面	平面・断面共通	単位はメートル系になっているか	□	目安になるオブジェクトの長さや距離を調べる
		十分な精度でデジタイズされているか	□	曲線のノード配置を確認する
		最新の図面であるか	□	更新日時や図面内の注釈を確認する
		平面図・縦断図に位置基準が示されているか	□	平面図であれば測量座標の基準点。断面図であれば距離票や縦横比
		余分なレイヤが含まれていないか	□	非表示のレイヤは使用できない可能性があるので分類しておく レイヤの削除や保護をおこなう
		不足の情報はないか	□	
		ブロック定義がないか	□	ブロック定義が作業の障害になる場合はブロック定義を解除する
		境界線はポリラインになっているか	□	線集合の場合は結合処理をおこないポリラインに変換する
		ポリラインの幅は0になっているか	□	ソフトによっては幅をサーフェスに変換しデータが扱いにくくなる。レイヤにも幅が設定されていないか、グローバル幅が設定されていないかを確認する
		線種を実線にしているか	□	装飾線はモデラーのレンダリングに負荷がかかる場合がある
		地質凡例はあるか	□	
		地質解釈の限界は示されているか	□	着色範囲が推定限界を示しているかの確認が必要
	平面図	座標基準が記載されているか	□	方位や測地系のXY座標の扱いに注意
		コンターに高さがあるか	□	
		座標の精度を確認したか	□	基準グリッドが示されている場合はグリッドの寸法が正確かをチェックする
		オブジェクトのZ値に異常がないか	□	無意味にZ値の値を持っている場合は、作業の障害になる場合があるのでZ値を修正する
	断面図	断面測線が平面図に示されているか	□	
		断面の起点・終点と平面図測線の起点・終点は合っているか	□	測線の長さや交差位置が正しいかチェックする 合っていないことを前提として確認したほうが良い
		縦横比を確認	□	モデル化の対象や目的に応じて修正する
		目盛や標尺の長さは正確か	□	デジタイズ図面やデータ変換した図面の場合、目盛や標尺に誤差が生じる場合がある。目盛や標尺の長さを計測して調べる
		境界線の末端処理はなされているか	□	末端に離れや交差がある場合は延長やトリムが必要
		高さを持ったデータが含まれていないか	□	断面図を3次元化する際に障害になる場合があるのでZ値を修正する
画像図面	平面・断面共通	歪みがないか	□	歪みがある場合は再スキャニングする。局部的な歪みはデジタイズ時に対応する
		斜めにスキャニングしていないか	□	斜めの場合は再スキャニングか、画像処理ソフトで幾何補正する（モデラーにて補正できる場合もある）
		座標基準が記載されているか	□	
		解像度は十分か	□	十分でない場合は再スキャニングする
数値データ		単位はメートル系になっているか	□	
		座標系は何か	□	
		測量座標か数学座標か	□	座標の逆転に注意する
		データの範囲（Min,Max）	□	
		座標の配列	□	
		精度	□	単精度、倍精度、小数点桁数、小数点以下丸め　など

■地質調査図面等の品質確認

3次元地質・地盤モデルの属性情報として、地質調査、入力データ、各データの品質を確認した記録を残すことが必要である。地質調査図面や数値データ等のチェックシートの例を表9.4-1に示す。

空間補間アルゴリズムの特性を知る

市販の3次元地質解析ソフトウェアに採用されている3次元サーフェスモデルの補間法は、”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”・”曲線法”の二つのタイプに分けられる。”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”は地質境界面等の補間計算に用いられることが多い。岩盤分類や不連続面等の複雑な曲面を作成する場合は、”曲線法”を用いたり、”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”・”曲線法”を合成することもある。

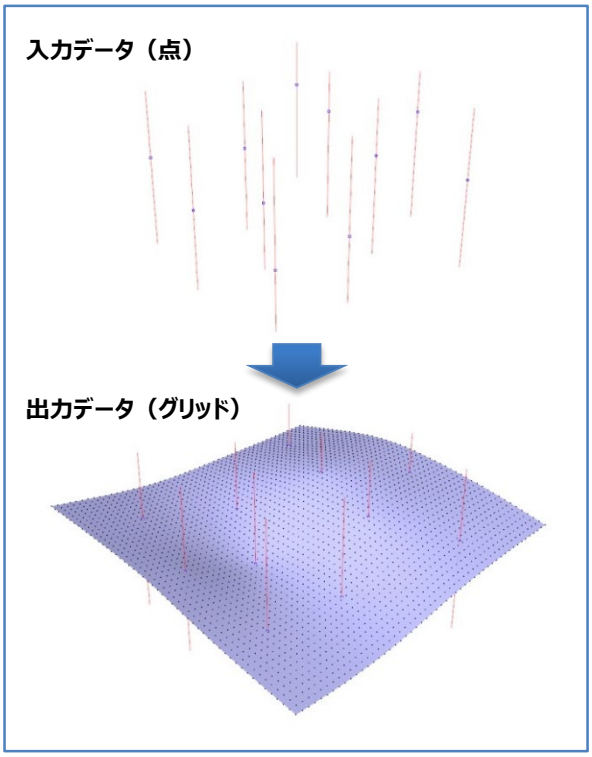


図10.1-1 ”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”の例[1)]

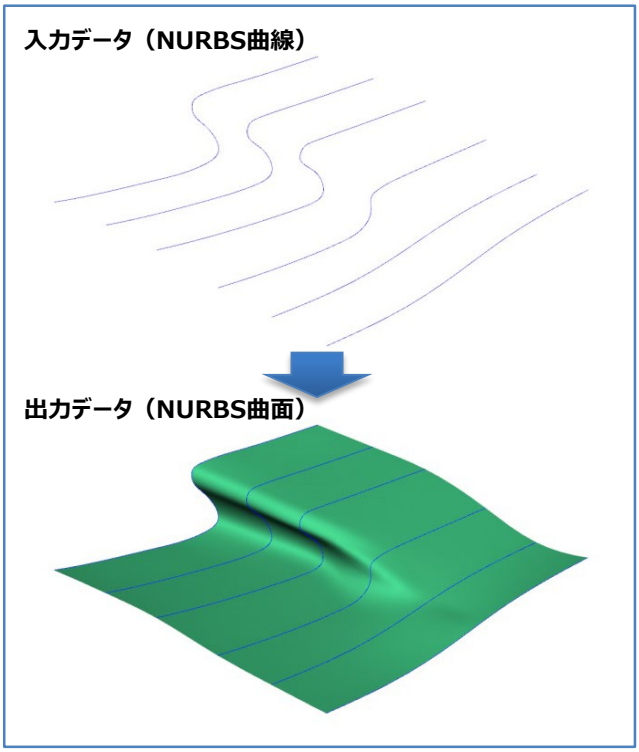


図10.1-2 ”曲線法”の例[1)]

■補間計算に用いるデータの種類

”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”の 入力データには点データを用いる（図10.1-1,表10.1-1）。制御情報として、制約条件（「10.2 地質対比」参照）や走向傾斜を用いる場合がある。

”曲線法”では、曲線の制御点における重みベクトル情報を用いて、曲線の接線・法線を継承した曲面を作成する（図10.1-2）。”曲線法”では、既存のサーフェスのエッジより曲線を抽出したり、サーフェス自体の制御点情報を継承して新たなサーフェスを作成することも可能である。

表10.1-1 補間タイプとデータの種類の例[1)]

補間タイプ	用いるデータの種類	対応補間アルゴリズム
”ｸﾞﾘｯﾄﾞ法”	・点 ・制御情報（不等号条件付の点データ、走向傾斜データ）	・Horizon2000[15)]、BS-Horizon[16)]：制御情報利用可能 ・Minimum Curveture ・クリギング ・IDW 他
”曲線法”	・NURBS曲線 ・NURBSサーフェスエッジ ・NURBSサーフェスの制御点	NURBS

■補間計算用データのまとめ方

補間計算用のデータは、出力データであるサーフェスモデル・ボクセルモデルと対応させるように、データセットとしてまとめておくことが望ましい。これは、3次元地質・地盤モデルのトレーサビリティを確保する手段でもある。モデル毎にアルゴリズムやパラメータ（表10.1-2）を変える場合もあり、データセットには、適用アルゴリズムとパラメータの記録が必要である。

■パラメータ記録シート

パラメータ記録シートの例を図10.1-3　に示す。記録シートの記載項目と内容は下記のようになる。

①モデル化の対象
　例：地質境界面、N値分布物性モデル

②モデルを作成する目的
　例：地下水解析、プレゼンテーション

③モデルの名称
　例：地質名や地質記号

④モデルを作成した期間

⑤モデルを作成した個人名や所属・企業・法人名

⑥モデルの解像度と要求される精度
　要求精度よりも解像度は上回る必要がある

⑦補間に用いたデータファイル名

⑧モデルデータファイル名（あるいはレイヤ名）

⑨モデルを計算したアルゴリズム

⑩座標系

⑪補間領域

⑫加工の有無
　モデルを仕上げるために、地層の切り合いなどの処理を加えているか記述する

⑬モデル作成に使用したツール

⑭モデルタイプ
　モデルの形状情報

⑮入力データとモデルの関係
　入力データと出力モデルの関係が分かるもの
　加工前後の状況が比較できると良い

⑯精度記録
　計算結果

⑰補間パラメータ
　パラメータの設定値を記す

表10.1-2 補間アルゴリズムとパラメータの例[1)]

補間 アルゴリズム	主なパラメータ	備考
Horizon2000[15)] BS-Horizon[16)]	α値：min,max 繰り返し計算回数 走向傾斜データの重み 滑らかさ：m1,m2	繰り返し計算回数は不等号データや走向傾斜データを用いる場合に使用する
Kriging	Variogram Model Kriging Type Drift Type Search Elipse　他	パラメータは「Sufer」[17)]の事例 Variogram Model毎にパラメータは異なる
最小曲率法 (Minimum Curvature)	最大半径 繰り返し計算回数 Relaxion Factor Internal Tension Boundary Tension 他	パラメータは「Sufer」[17)]の事例
IDW	水平参照距離 鉛直参照距離 距離重み付け	鉛直参照距離は3次元補間の場合に使用

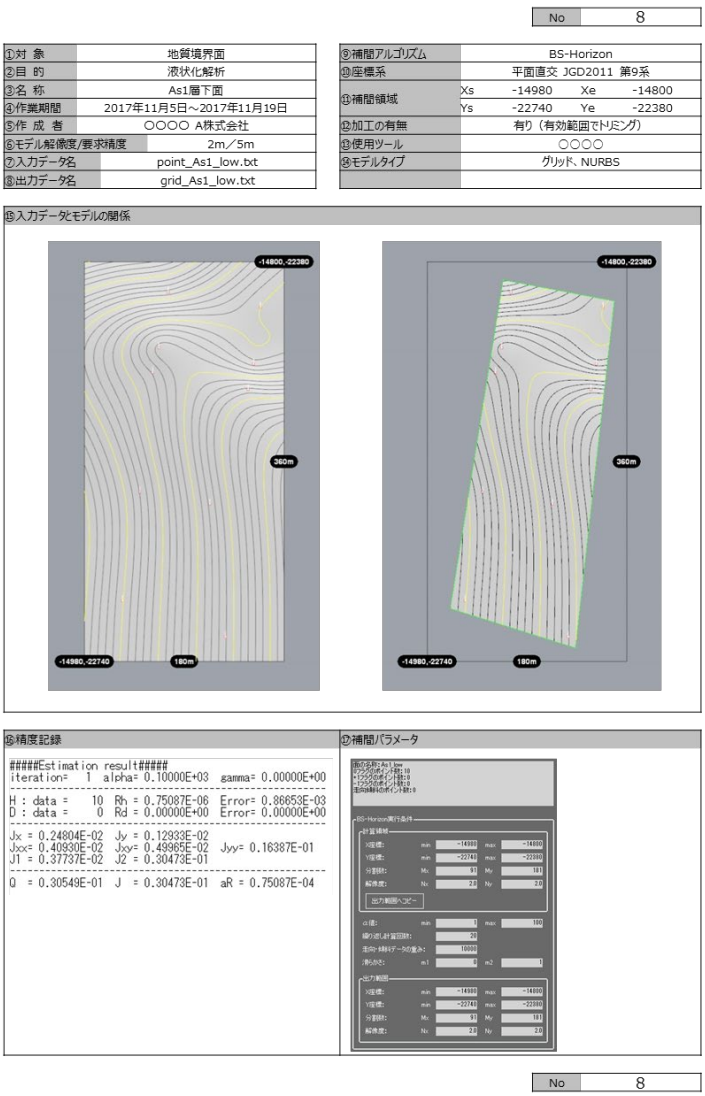


図10.1-3　モデリング記録シートの例[1)]

地質対比の基本と留意点について知る

地質対比とは、3次元地質・地盤モデルを作成するために、地質調査データの同じ条件（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、境界データとしてグルーピングする作業である。

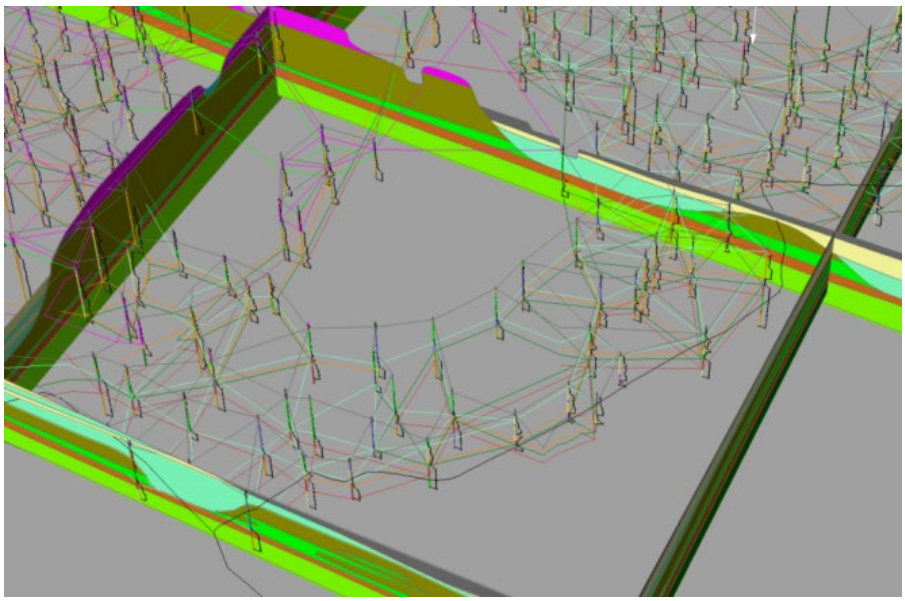


図10.2-1　地質対比が完了した状態[1)]

■地質対比の基準

地質対比の基準となる地質情報には次のようなものがある。

◆微地形情報
- ・微地形分類図
- ・DEMデータの地形解析図による地形変換線

◆地質模式地および地質図
- ・既往地質文献資料
- ・地質図幅、各種地盤図
- ・既存調査における地質平面図・断面図

◆基準ボーリング
- ・示準ボーリング柱状図
- ・オールコアボーリング柱状図

地質層序やグルーピングの考え方が地質調査の進展で変わる場合は、地質対比もそれに合わせて修正する。また、同じカテゴリ・グループの地質境界面でも、形成プロセスが局部的に変われば、異なる地質境界面の集合体となる。その場合、地質対比もそのような形成プロセスに応じたものにしなければならない。

■地質対比の視点

地質対比に際しては次のような視点を持つ必要がある。

【視点１】

地質境界面は自然現象であることを念頭に、下記①～③の視点で物理的・地質学的にどのように形成されたのかを考えて対比する（図10.2-2）。

①層序学・地質構造学的に同じ地質カテゴリ（部層・累層など）やグループの境界を判別する
②境界の新旧関係を判定する
③境界面の形成プロセスを考慮する

【視点２】

どのような形状にサーフェスモデルを作り、どのような順番でサーフェスモデル同士が切り合えば、地層モデルができるのかを組み立てる。あらかじめ地質層序の模式図を作り、地質境界面の位相的関係を明らかにしておくことが大切である（図10.2-3）。

【視点３】

サーフェスモデル同士が交差し互いに切り合うと、その結果としてどのような形状が生みだされるかを組み立てる（図10.2-4）。境界面モデルの形状を様々な手段で観察・チェックし、不自然さをつぶしていく。

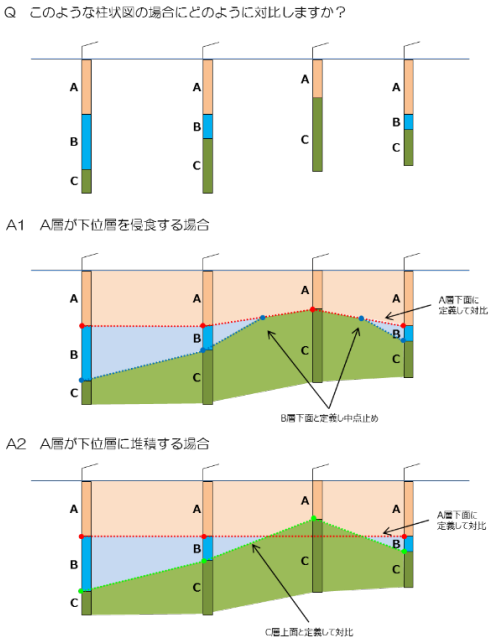


図10.2-2　侵食・堆積の解釈の違いにより異なる対比の例[1)]

■地質対比の方法

地質対比作業では地質調査データを同一空間に重ね合わせることで総合的に判定する必要がある。従って、地質調査データは、地質図、地質断面図、示準ボーリング、ボーリングの試験情報（原位置試験、検層、室内試験結果）、物理探査結果等を、3次元配置（あるいは2次元配置）して地質対比の判断材料とする。

地質対比の作業中に地質情報に疑義が生じ判断に迷う場合は、原本に遡り地質情報を再評価する必要がある。原本とは、柱状図であればボーリングコア、地質図であればルートマップであり、疑わしければ対比に用いたデータの修正や棄却をおこなう。その際は、修正や棄却の理由を記録する必要がある。

なお、地質対比方法のルールは、後の更新作業に配慮し、記録する必要がある。

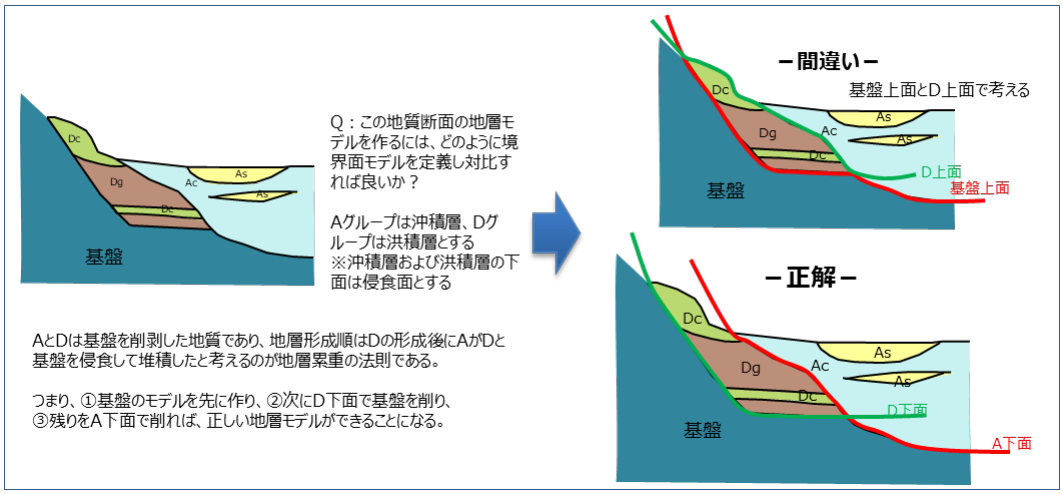


図10.2-3　イベント・グループを考慮した対比の例[1)]
自然な地質境界面を再現するために、地層の形成プロセスや地質形成時代を考慮する

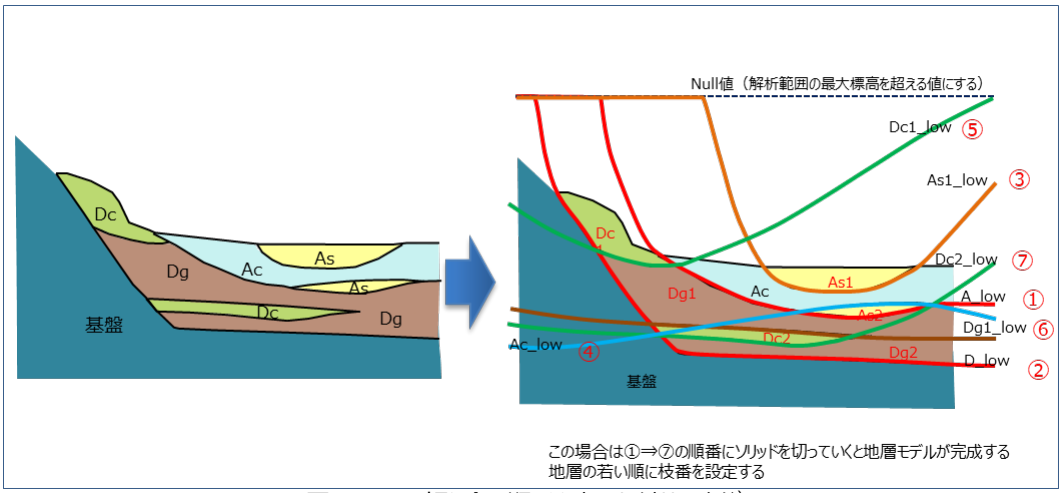


図10.2-4　切り合い順番を考えた対比の例[1)]
堆積性の地質が主体の場合、ボーリングの上位（浅い部分）から地層を対比する

補填データの役割を知る

地質境界面等のサーフェスモデル作成に際し、本来のデータだけで補間した形状が不自然であれば、補填データを追加してサーフェスモデルの形状が自然になるようにコントロールする必要がある。補填データの利用には、地形・地質学的な考え方が必要になる。

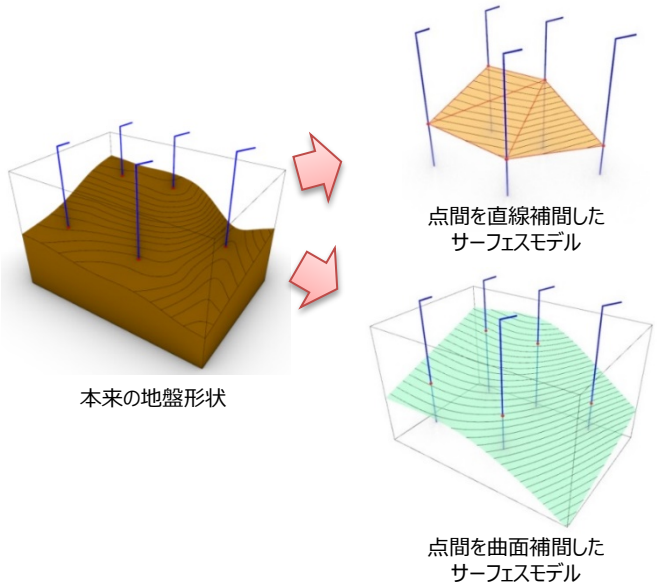


図10.3-1　限られたデータによる空間補間モデルの違い[1)]

■補填データが必要になる場面

空間補間はデータの無い空間の地盤形状（あるいは地盤物性）を、限られたデータから推定する手段であるため、地質学的に不自然な結果を生じやすい（図10.3-1）。地質調査の情報量（入力データ）が不足する場合に発生する現象であるが、その程度は空間補間法の特性にも影響されるので注意が必要である。

■補填データの適用方法

補填データが必要になるかの判断は、補間計算を行い出力されたサーフェスモデルを3次元可視化やコンター表示して明らかとなる。

例えば、埋没谷のように地形学的な法則が適用できると判断できれば、仮定の河川勾配線（谷底線）を補填データに用いる（図10.3-2,-3）。補間手法の限界で意図した形状にならない場合にも補填データを使用する（図10.3-4,-5）。

補填データには、地形線（谷底線、遷急線、遷緩線等）や地形面、直線性・定傾斜を保つための直線・平滑面等より生成したポイントデータを用いることが少なくない。

なお、補填データを使用した場合は、後のモデル更新に配慮し、使用した方法と根拠を記録する必要がある。

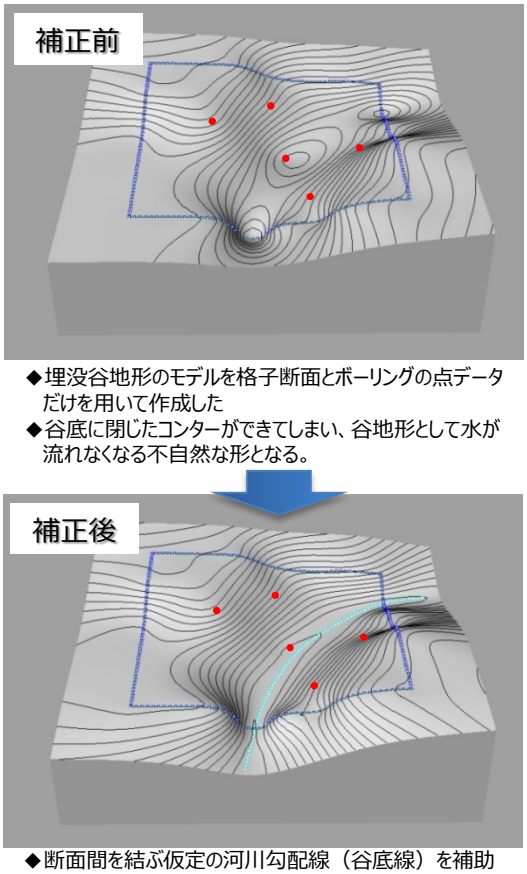
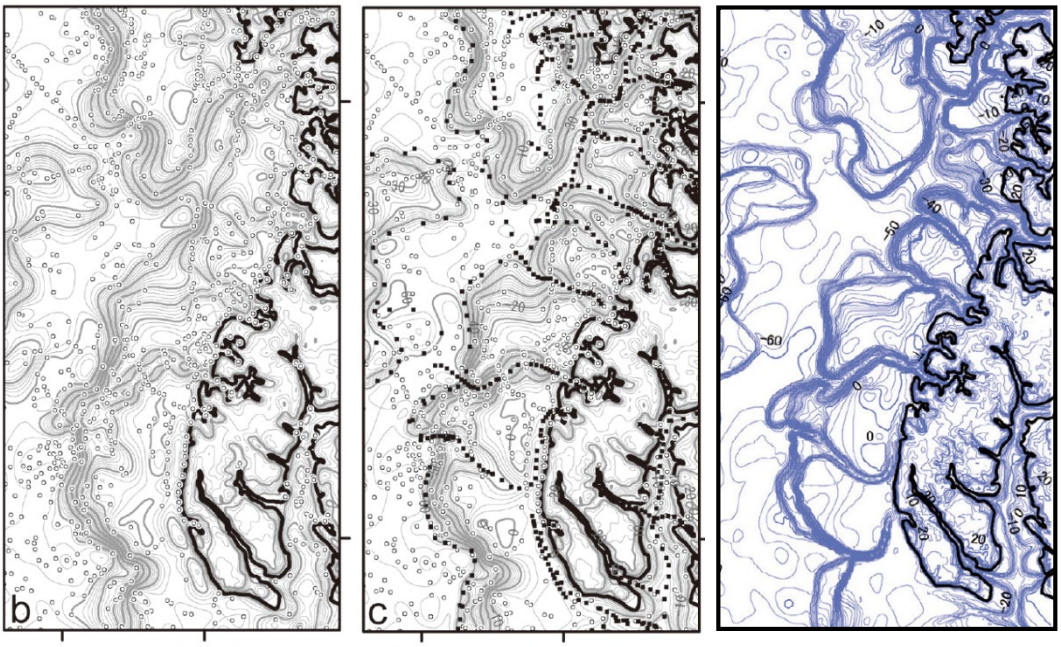


図10.3-2　地質モデルの補填データによる修正例[1)]



本図は東京中川低地帯におけるボーリングデータを用いて、低地下の埋没地形面モデルを作成した事例である。左図は不等号条件付きの境界点で計算したモデルであり、埋没谷底や段丘崖は不自然な凹凸や傾斜を示す。中央図は現地形の支谷やボーリングデータの配置を参考に埋没谷底の補填データを追加し計算したものであり、左図より谷の形状に自然さが現れる。右図は最終的に埋没地形面を細区分し、中央図のデータも合わせて計算したものであり、段丘の平坦性まで再現したモデルになる。

図10.3-3　補填データによる地質境界面の事例[18)]

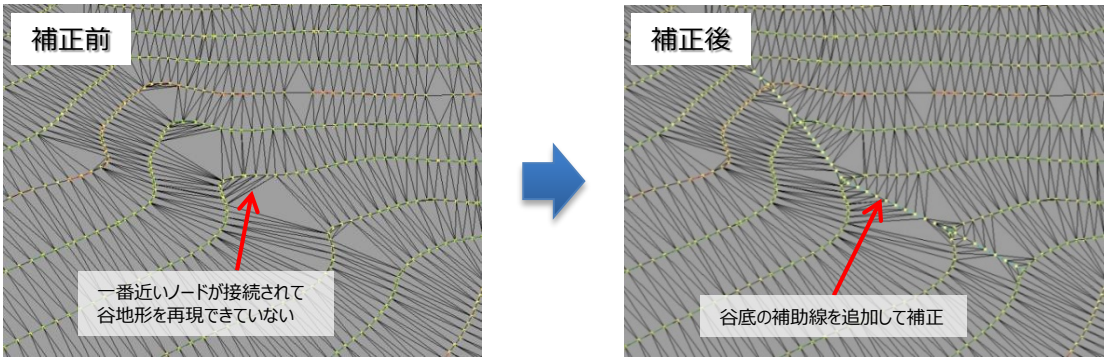


図10.3-4　谷形状を修正するための補填データ例（地形面モデル）

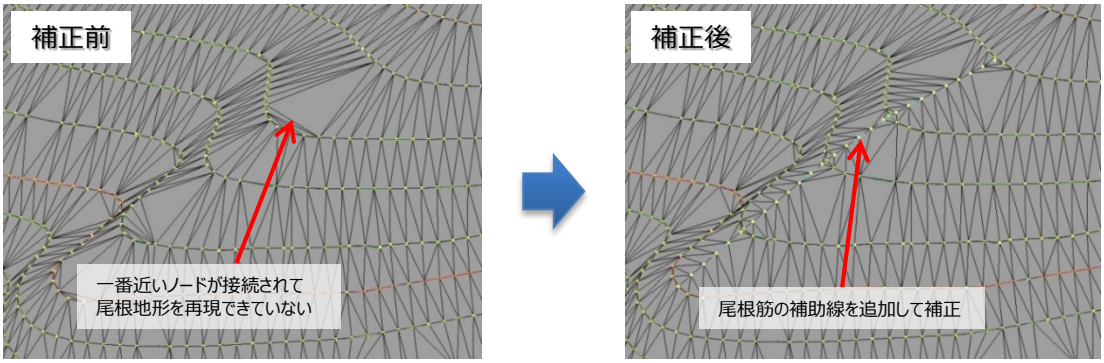


図10.3-5　尾根形状を修正するための補填データ例（地形面モデルの例）[1)]

スケルトンモデルの役割を知る

スケルトン（skeleton）とは骨格や物事の概略・骨子を意味する。3次元地質モデルにおけるスケルトンモデルは、サーフェス・ソリッド等モデルを作るための全ての情報を3次元空間に重ねた状態、あるいはその情報をいつでも参照できる状態である。スケルトンモデルがあれば、そのデータセットが他者に引き継がれても、同様の結果（モデル）を導き出すことが可能である。

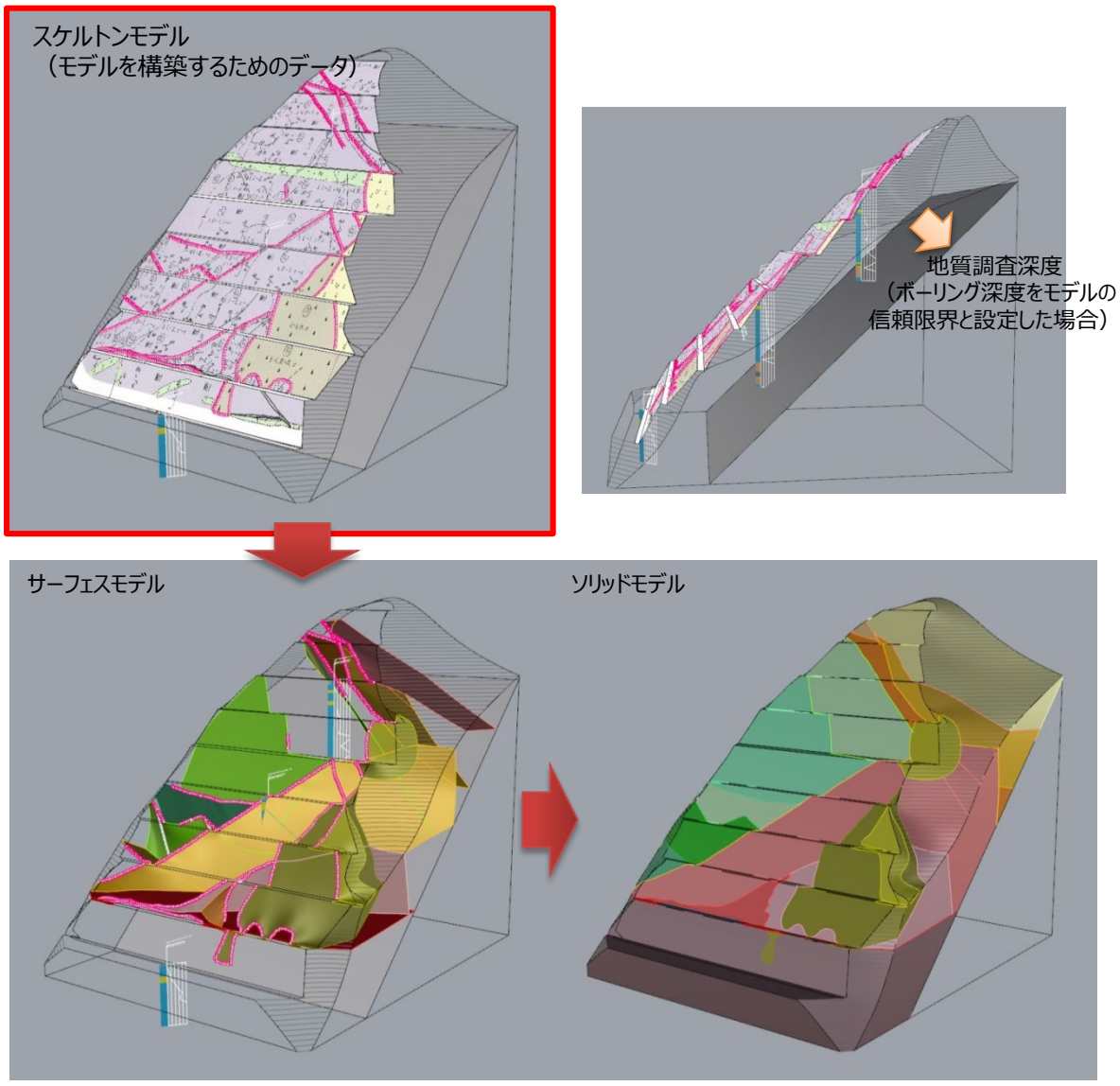


図10.4-1　スケルトンモデルの事例[1)]

■スケルトンモデルの構成

スケルトンモデルは地質・地盤の3次元サーフェス・ソリッド・ボクセルモデルを作成する直前の状態（クロスチェック・地質対比・補填データ作成が済んだ状態）を指す。

スケルトンモデルは、ボーリングデータ/モデル、地形データ/モデル、準3次元図面、地質対比情報（グループ、層序テーブル等）、補填データで構成される。さらに、クロスチェックの結果や、地質・地盤モデルを推定する際の注意書きがテキストで記述・表示されることもある。スケルトンモデルは、モデリングの判断材料や情報伝達、作業の省力化には不可欠な情報と考えられる。

3次元地質・地盤モデルの妥当性を評価する
3次元地質・地盤モデルの妥当性評価を行うには、地質専門技術者の判定が必要不可欠である。この判定は、自然現象の観察や類型化、既存文献の理論などに基づき、地質現象を科学的に再現していて適切な地質・地盤モデルになっているという評価が基本になる。

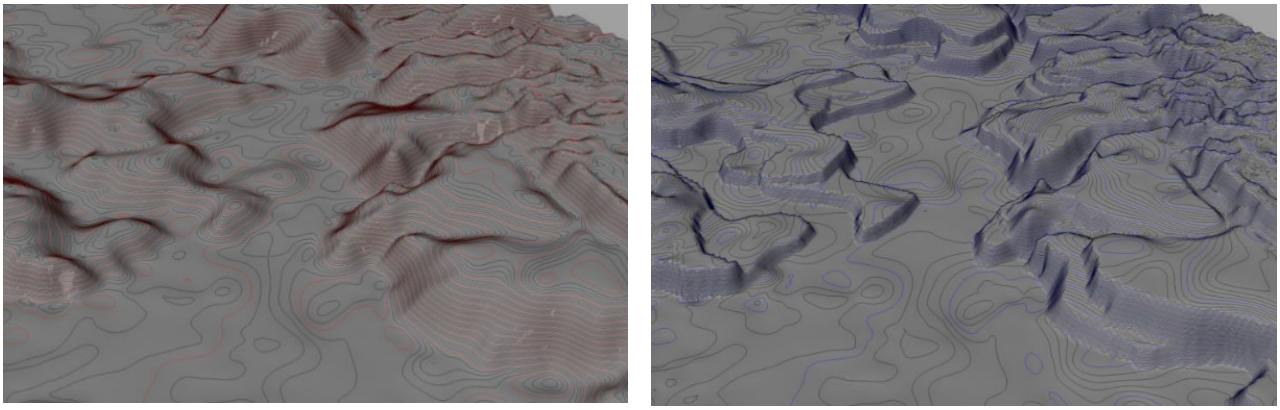


図10.5-1　埋没地形面のサーフェスモデルを作成した事例[1)]
左図はボーリングのポイントデータをそのまま用いて計算した境界面であり、地形面の形成履歴を反映したものではない。
右図はボーリングデータによる地形面の認定を踏まえ、さらに河川営力を考慮した補填データ等を加えた、地形形成過程を考慮した境界面である

■3次元地質・地盤モデルの妥当性とは

3次元地質・地盤モデルの妥当性評価は、モデルに不適切な部分がないかを判断するプロセスである。ここで言う不適切とは、地形・地質学的にあり得ない不自然な形を指すことである。

例えば、単純な空間補間だけでは、作成したサーフェスモデルが地形形成過程や地質学的法則等の自然法則に反する、不適切な地質・地盤モデルになる場合がある（図10.5-1）。

■地質学的な妥当性を評価する視点

3次元地質・地盤モデルの妥当性評価に際して、どのような現象/事象を原因として、その形を成しているかを論拠付けることが重要である。3次元地質・地盤モデルの妥当性を評価するための重要な視点をまとめると下記のようになる。

◆基本物理法則
◆地形発達過程
◆地層累重の法則
◆地層同定の法則
◆断層や不連続面の切り合い順
◆対象地域の地形地質特性
◆地形地質の改変や地盤改良履歴

■妥当性の確認方法

作成したモデルの妥当性を確認するためには、ソフトウェアでモデルの形状を正確に可視化しなければならない。例えば、地質境界面に異常な凹凸が生じていないかを確認するために、モデルの断面図表示（図10.5-2）やコンターマップ（図10.5-3）を作成する機能が必要である。また、モデルの解像度が形状の評価に影響を及ぼす場合があることにも留意が必要である（図10.5-4）。

妥当性評価の結果は、提供者・利用者間で共通理解を得られる評価基準として属性情報や報告書等に記録すべきである。

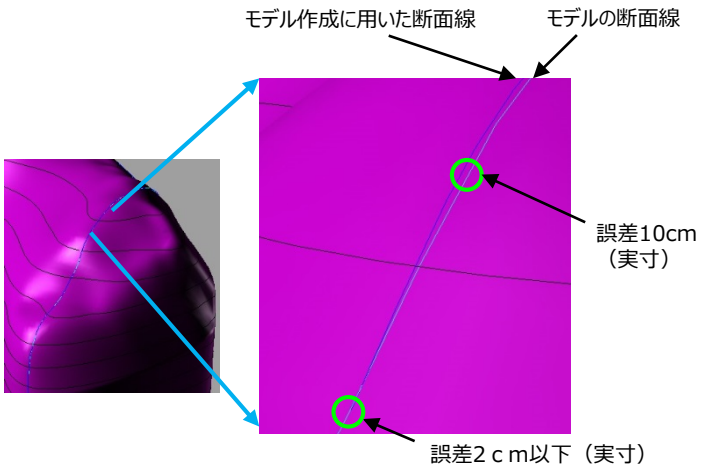


図10.5-2　地質境界線とサーフェスモデルの比較例[1)]
地質境界線を入力データとした個所でサーフェスモデルの断面図を作成し、境界線とサーフェスモデルの誤差を確認する

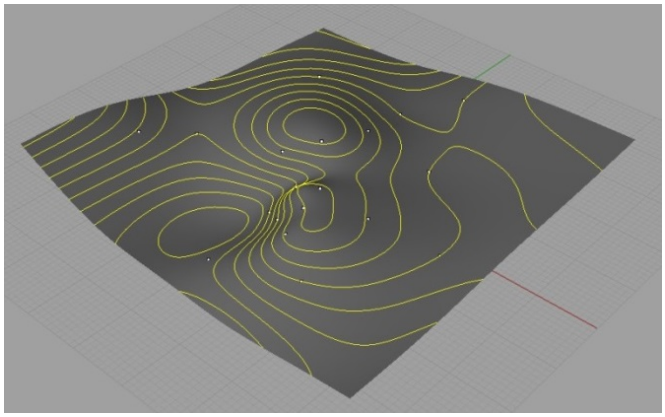
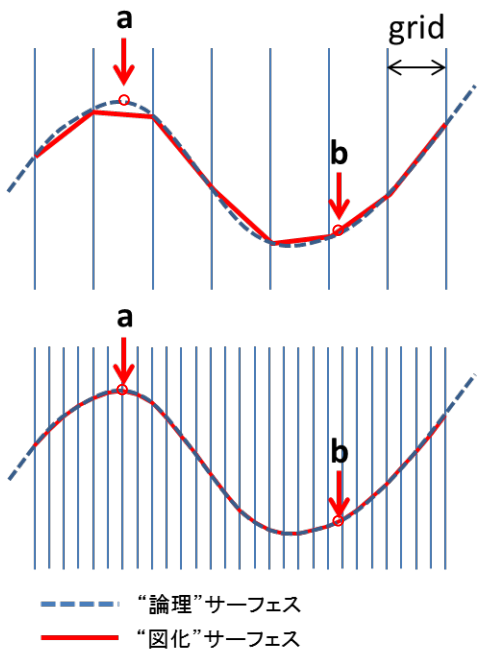


図10.5-3　コンターマップによるサーフェス形状の確認例[1)]



図化されたサーフェスは計算で求められる“論理”サーフェスを完全に反映していないことに注意

入力データ（誤差計測）位置（左図：ａｂ）によっては計算結果の正確さが比較できない

図10.5-4　グリッドモデルの誤差確認の限界[1)]

3次元モデル化の限界を知る
3次元地質・地盤モデルはソフトウェアの表現性能やモデル自体が持つ限界を理解したうえで利用しなければならない。

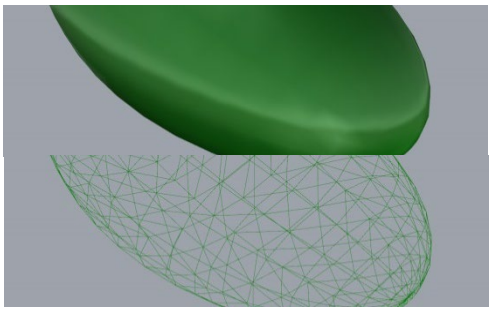
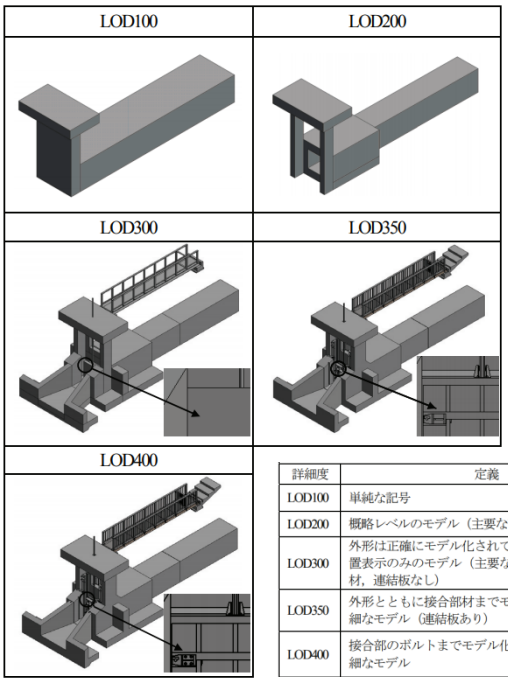


図10.6-1　見せかけのポリゴンメッシュの表現[1)]
（上段：シェーディング（レンダリング）、下段：真のデータ）



詳細度	定義
LOD100	単純な記号
LOD200	概略レベルのモデル（主要な部材のみ）
LOD300	外形は正確にモデル化されているが，接合部は位置表示のみのモデル（主要な部材と接合される部材，連結板なし）
LOD350	外形とともに接合部材までモデル化されている詳細なモデル（連結板あり）
LOD400	接合部のボルトまでモデル化されている非常に詳細なモデル

図10.6-2　土木構造物モデルのLOD設定例[19)]

■表現性能の限界
サーフェスモデルの表現性能はデータ構造（表3.2-1）に依存する。細部の曲面表現は、NURBSサーフェスのように正確な曲面として扱えるものや、レンダリング処理によりスムージングした見せかけだけの表現がある（図10.6-1）。
　また、ソフトウェアの機能・性能、ハードウェアのスペックで3次元地質・地盤モデルの表現や分解能が制限される。これはシステムに依存する限界であるので、ソフト・ハードの性能が向上すれば、改善される可能性はある。

■限界への対処法としてのLOD
地質・地盤モデルの利用限界を簡便に示す手段として、構造物モデルの詳細度を示すLOD（Level of Development /Detail）が参考になる。
　LODは、実用面を考慮して必要以上の作業負荷を与えないように、目的に合致する最適なモデルのレベルを規定する仕組みである（図10.6-2）。しかし、構造物は規格を規定できるのでLODを設定し易いが、地質・地盤の場合は、見えない地下空間における存在を予測・推定するものである。構造物とはモデル化へのアプローチが本質的に異なるので、LODの適用には注意が必要である。

モデルの用途に応じた成果品を作成する
成果品の性能としては、必要な情報を見落としなく直感的に認識できるようにすることが望ましい。必要に応じて、レンダリングやテクスチャマッピングを利用してモデルの外観を整えたり、地質・構造物モデル同士の相互作用や、アノテーションによるリスク情報の表示、動画や動的コンテンツ等を利用して地盤情報を可視化する。

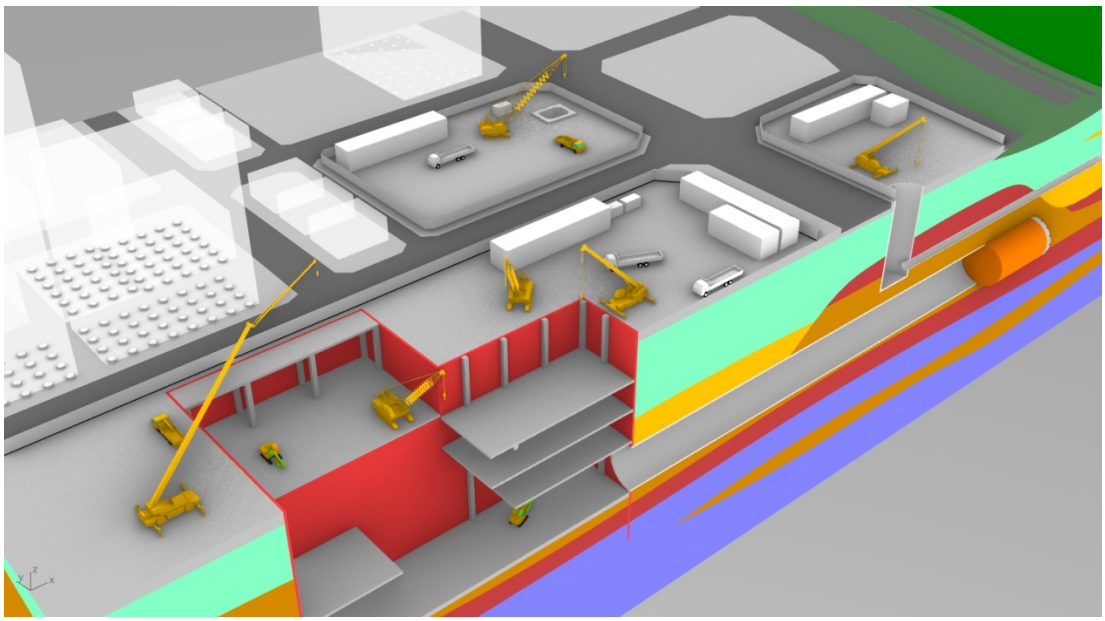


図11.1-1　高品質レンダリングの例[1)]

■説明性を向上させるための可視化手法

地質の分布特性やリスク情報等を説明するために3次元地質・地盤モデルを利用する場合には、モデルの特徴や地質・地盤リスク情報を正確に、かつ、分かりやすく表現することが重要である。

説明性を向上させるためには、レンダリング機能（図11.1-1）やテクスチャマッピングを利用してモデルの外観を整えるとともに、3次元地質・地盤モデルと構造物とのインタラクション(オブジェクト同士の相互作用：図11.1-2)やアノテーション(寸法、公差、注記、等：図11.1-3)の情報可視化機能を用いて、必要な情報を見落としなく直感的に認識できるようにする。

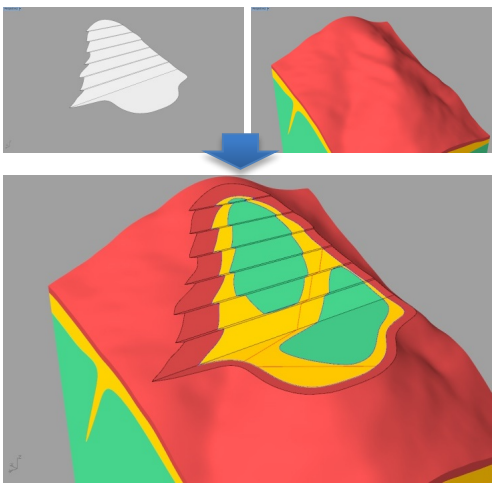


図11.1-2　計画法面と岩盤分類モデルとのインタラクション例[1)]

3次元モデルの確認や閲覧方法としては、必要な方向や位置で表示した画面を画像ファイルとして保存したものを用いることが簡便であるが、3DPDF(3次元情報を含んだPDFファイル)や3次元モデルを閲覧できるビューアを活用することで、より視覚的にモデルを確認することが可能となる。

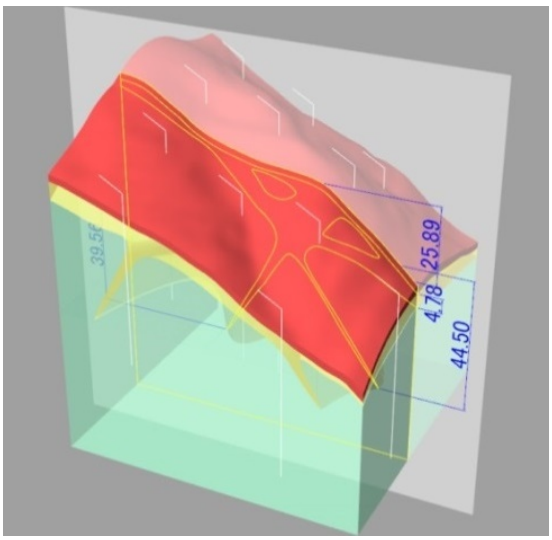


図11.1-3　3次元地盤モデルへのアノテーション表示例[1)]

3次元地質・地盤モデルのデータフォーマットについて知る

BIM/CIMの適用を念頭にした3Dモデルの作成は「計画→設計→施工→供用」の全工程に関わる。各工程の技術者は前工程のデータを引き継ぎ、それぞれの工程のモデルに適用する。そのため、各工程から引き継ぐデータのフォーマットは再利用可能なものにする必要がある。

表11.2-1　BIM/CIM成果品の構成例[9)]

BIM/CIMモデル（CIM_MODEL）		調査		設計		工事	格納ファイル形式	成果品の内容
		測量	地質	予備	詳細			
地形モデル（LANDSCAPING）	地形モデル	◎：必須	○：条件付必須*1	△：任意*2	◎：必須	◎：必須	J-LandXMLおよびオリジナルファイル	・測量成果の3次元地形モデル（実測1/200～1/2,500）
	広域の地形モデル			△：任意*3	△：任意*3	△：任意*3	J-LandXMLおよびオリジナルファイル	・数値地図（国土基盤情報）（1/25,000～1/50,000）
地質・土質モデル（GEOLOGICAL）	ボーリングモデル	○：条件付必須	◎：必須	○：条件付必須*4	○：条件付必須*4	○：条件付必須*4	オリジナルファイル	・ボーリングモデル
	その他のモデル		△：任意*5	△：任意*5	△：任意*5	△：任意*5	オリジナルファイル	・準3次元断面図やサーフェスモデル等の3次元地盤モデル
土工形状モデル（ALIGNMENT_GEOMETRY）	土工形状モデル			○：条件付必須*7	○：条件付必須*7	○：条件付必須*7	J-LandXMLおよびオリジナルファイル	・土工部の設計土工横断形状（盛土・切土）を繋いだ3次元モデル
	線形モデル	○：条件付必須*6	△：任意	○：条件付必須*6	○：条件付必須*6	○：条件付必須*6	J-LandXMLおよびオリジナルファイル	・道路線形、河川線形、構造物線形
構造物モデル（STRUCTURAL_MODEL）		○：条件付必須*8	○：条件付必須*8	◎：必須	◎：必須	◎：必須	IFC2X3およびオリジナルファイル	・設計・施工の対象構造物やの3次元モデル
統合モデル（INTEGRATED_MODEL）		○：条件付必須*9	○：条件付必須*9	◎：必須	◎：必須	◎：必須	オリジナルファイル	各種ツールで作成したBIM/CIMモデルに含まれる3次元モデルを統合し軽快に動作することができる3次元モデル。

◎：「必須」とは成果物として対象のモデルを必ず納品すべきもの。
○：「条件付必須」とは工種によっては必須ではないが、データを作成した場合は納品すべきもの。
△：「任意」とは必ずしも対象の 3 次元モデルを作成するとは限らないが、納品した方が良いもの。

表11.2-2　BIM/CIMフォルダ構成（例：地質）[9)]

フォルダ	サブフォルダ	格納される成果品
GEOLOGICAL		・地質・土質モデル（オリジナルファイル）
	VIEW	・確認用ファイル又はビューア
	SOURCE	・ボーリング柱状図やボーリング交換用データの XML ファイル等
	TEXTURE	・テクスチャファイル（TIF、JPG 等）
	ATTRIBUTE	・3 次元モデルから外部参照される属性情報ファイルや参照資料ファイル（PDF、CSV 等）
	DOCUMENT	・管理情報等、地質・土質モデルに関する各種ファイル

■BIM/CIMモデルの納品ファイル

BIM/CIM活用業務および活用工事におけるBIM/CIMモデル等の成果品の作成範囲[9)]を次に示す。

①BIM/CIMモデル照査時チェックシート、BIM/CIMモデル作成 事前協議・引き継書シート、BIM/CIM実施計画書、BIM/CIM実施（変更）計画書、BIM/CIM実施報告書等
②BIM/CIMモデル：構造物や地形等の各BIM/CIMモデル
③統合モデル：各BIM/CIMモデルを統合したモデル
④動画等：イメージ画像や動画等のファイル

各BIM/CIMモデルの納品ファイル形式を表11.2-1に示す。

属性情報の内容については、登録内容が定義されているが、実際のデータ運用については、CADソフトのオリジナルファイル形式に依存しており、現時点では標準化されていない。また、BIMデータ交換標準のJ-LandXML、IFCも現時点では、上記で定義されている属性情報の登録内容を反映できていない。従って、成果品納品においてはオリジナルファイルと、可読性のあるファイルの納品となる。

BIM/CIMで重要な点は、建設ライフサイクルにおける情報の持続性を重視していることです。そのため、統一的なプラットフォームを用いて情報を共有する事を推進しています。単に3次元モデルを作るだけではなく、事業ライフサイクルの効率化・高度化を牽引する役割としてBIM/CIMは期待されています。

一方で、地質は不確実性を内在し、地質調査の質と量で地盤モデルの信頼性が変わります。さらに、地質は時間軸も含めた4次元の事象なので、構造物のライフサイクルの間で決して同じ状態と限りません。外力を受けると変形・破壊しますし、応力解放による緩み、化学変化による変質など、決して調査時と同じ状態は続きません。BIM/CIMで3次元地盤モデルを利活用する際にも、地質の不確実性や時間変化の問題を避けることはできません。このように、3次元地盤モデルの品質や信頼性を一律に定義することは困難であるという、地質調査の根源的な課題が、BIM/CIMを進めるなかで改めて浮き彫りになっています。

現時点では、BIM/CIMで要求される3次元地質・地盤モデルの属性情報や品質保障には課題が多く、データ継承の観点でもまだまだ未成熟です。ガイドブックでは、マニュアルに掲載している様々な先行事例や地質地盤事象におけるモデル作成上の留意点を示しました。BIM/CIMにおける3次元地質・地盤モデル利活用の一助となれば幸いです。

【引用】

1）3次元地質解析技術コンソーシアム. 3次元地質解析マニュアルVer3.0. 2020.

2）(社)日本自動車工業会. JAMA/JAPIA 3D図面ガイドライン－3D単独図活用ガイドライン－. 2009-10.

3）一般社団法人 全国地質調査業連合会. “改訂地質調査要領”. 2013.

4）渡邊法美. 地質・地盤リスク分析のためのデータ収集様式の研究　報告書.2008.

5）全国地質調査業協会連合会. CIMに対応するための地盤情報共有基盤ならびに3次元地盤データモデル標準の検討. 2016, pp.32.

6）国土交通省. BIM/CIM活用ガイドライン(案)共通編. 令和2年3月

7）日本地質学会地質基準員会編著. 地質基準. 共立出版. 2001、pp.2-20.

8）http://www.gsi.go.jp/GIS/stdind/jsgi_kaisetsu06.html#6_3_1. （2019年3月時点）.

9）国土交通省. BIM/CIMモデル等電子納品要領（案）及び同解説. 令和2年3月.

10）国土交通省国土技術政策総合研究所. LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）Ver.1.2. 平成31年3月.

11）国土交通省CIM導入推進委員会. CIM導入ガイドライン(案)「第9編 地すべり編」. 令和元年5月.

12）Tomohiro Yasuda, Khun Tun Lu, Lau Chui Leh, Kiefer Chiam and Lau Sze Ghiong (2019). “Development of 3D Geological Model of Singapore”. Japanese Geotechnical Society Special Publication Volume 6 Issue 2, 67-72

13）http://www.gsi.go.jp/GIS/stdind/jsgi_kaisetsu06.html#6_3_1. （2019年3月時点）

14）工藤 里絵, 西山 昭一, 和田 弘, 水野 敏実.”地盤情報DBの活用事例～3次元地盤モデリングへの適用～”. 情報地質 19（2）,日本情報地質学会, 2008, pp.98-99.

15）塩野 清治 , 能美 洋介 , 升本 眞二 , 坂本 正徳.” Horizon2000：等式・不等式制約条件や傾斜データを活用した地層面推定プログラムの改良”. 情報地質. 2001, 第12巻, 第4号, pp.229-249.

16）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.

17）https://www.hulinks.co.jp/support/surfer/s10_05.html （2020年7月時点）.

18）木村克己・花島祐樹・石原与四郎・西山昭一”埋没地形面の形成過程を考慮したボーリングデータ補間による沖積層基底面モデルの3次元解析: 東京低地北部から中川低地南部の沖積層の例”, 地質学雑誌, vol.119, 2013, pp.537-553

19）全国地質調査業協会連合会. CIMに対応するための地盤情報共有基盤ならびに3次元地盤データモデル標準の検討. 2016, pp.37-39.

2020年12月 1日　初版発行
2021年1月 18日 改訂

発行元

3次元地質解析技術コンソーシアム

幹事会社　応用地質株式会社　技術本部

〒 331-0812
埼玉県さいたま市北区宮原町1-66-2
電話 048-663-8614 • FAX 048-660-1570
https://www.3dgeoteccon.com/
E-mail: 3dgeotec-con@oyonet.oyo.co.jp