

三次元地質モデルの逐次更新方法の提案

清水建設(株)技術研究所 正会員 ○吉河 秀郎
 清水建設(株)土木技術本部 正会員 福田 毅
 清水建設(株)北海道支店 正会員 松尾 勝司

1. はじめに

山岳トンネル施工において、不安定箇所における施工の安全性確保や、的確で遅延のない対策工事の実施のためには、切羽前方を含む周辺地山の状況を精度よく把握することが重要である。地山状況変化の予測のため、先進ボーリング（以下、Br）や反射法弾性波探査、もしくは削孔検層などの探査が現場の状況により行われている。また、地山状況の三次元的な可視化も多く試みられている。

地山状況をなるべく正確に、かつ客観的に理解しやすくするには、施工前の調査結果に加えて、施工時の探査結果に基づき三次元地質モデルを作成し更新していくことが望ましい。また探査項目は、単体の調査結果の解釈に含まれる曖昧さを取り除く意味でも複数ある方が良い。例えば、弾性波探査による反射面分布の解釈には人為的な誤差が含まれる可能性があるし、削孔検層データにおいても、長尺になるほど機械的・人為的な誤差が大きくなると想定される。しかしながら一般的に、複数の結果を総合的に判断して三次元地質モデルを作成するには専門的な知識、経験、および解析時間が必要になる。

本論では、上記の課題を解決するために、施工中に各種探査結果をすぐに反映させ、三次元地質モデル（以下、地質モデル）を逐次更新できる方法を提案する。

2. 地質モデル逐次更新方法の概要

地質モデルの逐次更新方法の骨子は、ソフト開発および、各種探査結果の入力・選択・使用方法などのルール化である。ルールを作ることにより、地質専門技術者でなくても、比較的容易に地質モデルを逐次更新できるようにすることを目指している。

開発中の地質モデル更新ソフト（以下、モデル更新部）を含めた地質モデル作成・更新フローの概要を図-1に示す。地質モデルの当初モデルは市販のソフトウェアを用いて作成する。その当初モデルから解析対象範囲、すなわち施工時の探査データを入力して逐次更新したい範囲を抽出し、それを初期モデルとして、モデル更新部に入力する。このモデル更新部を新たに開発している理由は次の通りである。地質モデル作成用の市販のソフトウェアは多くあるが、そこでは、施工前の地質調査データ・構造物

データをもとに作成される当初モデルから施工時に追加される探査データまでのすべてがパッケージ化されているため、データを追加してモデルを更新する際に時間と手間が多くかかり、施工に合わせて日常的に逐次更新できるものではない。

本システムにおける地質モデルは、属性値を持たせたボクセルモデルである。目的に応じて、そのモデルを地質区分・硬軟区分の2つのモードで更新可能なシステムとしている。そのため、当初モデル（ボクセルモデル）キーワード 山岳トンネル、地質モデル、可視化、探査データ、逐次更新

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL:03-3820-5504

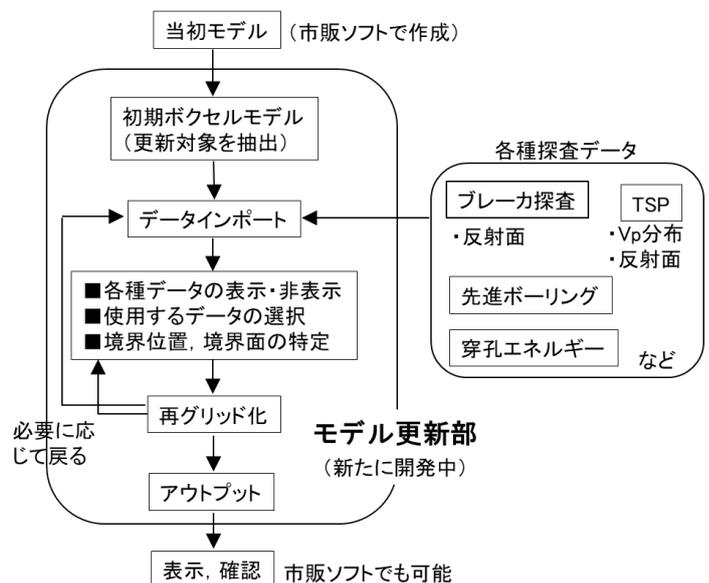


図-1 地質モデル作成・更新フローの概要

ル)は、施工前の調査による弾性波速度分布、当初設計の支保パターンに相当する地山区分、ならびに岩相区分などを各ボクセルの属性値として使用する。

ボクセルの属性値を逐次更新するための材料は、例えば、Br や発破弾性波探査による弾性波速度 (V_p)、Br による岩相区分、Br の試験体を用いた強度試験結果による物性区分、また、ブレイカ探査^{1), 2)}による弾性波の反射面などを想定している。切羽写真は、更新ファイルの容量が大きくなり、逐次性や操作性が損なわれると考えられるため、モデル更新部への入力データには含んでいない。

3. 地質モデルの更新手順

モデル更新部による地質モデルの逐次更新について、その手順を図-2 に例示する。ステップ 1 では、市販のソフトで作成された当初モデルから更新対象範囲のボクセルモデルを抽出し、モデル更新部に入力する。この例示では、ボクセルの属性値の硬軟区分の情報を更新するものとして、A (硬い地層)、B (弱層) に分けている。図中の X 方向は掘進方向を指す。ステップ 2 では、Br の際に実施することがある孔内 V_p 検層の結果を線状に示したものである。この時、例えば $V_p 1000\text{m/s}$ 以上の変化点に着目することを、境界位置の特定のためのルールとしてみる。これは北海道の音中トンネル掘削工事における破砕帯の出現位置で得られた V_p の急激な低下に相当する。ステップ 3 では、ブレイカ探査の反射波解析結果による反射面を、ステップ 2 の V_p 検層結果と合わせて表示する。ここで、境界面特定 (再定義) のルールとして、例えばステップ 2 で特定した境界位置に最も近い反射面を境界面として選択し、その反射面を前記境界位置まで X 軸方向に平行移動することに決める。ステップ 4 では、前記境界面の上下の地層に属性値 A と B のどちらを割り当てるか決定して、再グリッド化する。ここでは、Br で得た硬軟区分の情報があるため、その境界面より上位が属性値 B、下位が A となる。

4. まとめと課題

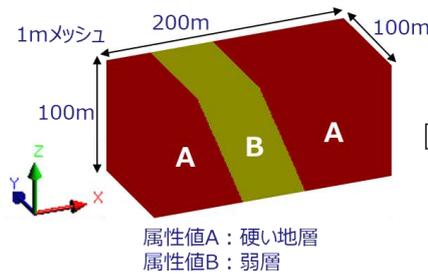
掘削する地山の状況を視覚的に理解しやすく、そして予測できるようにすることは、現場の災害軽減に直結する重要な課題である。地山条件は多様であり、また、施工中に実施される探査項目も現場により様々である。施工に合わせて逐次予測を実施するには、基本となる地質モデルの精度向上と、地質専門技術者が頻繁に対応せずに地質モデルを更新できるルールが必要である。これらの課題を解決するために、境界面の設定や複数の属性値の割り当て方法など、探査データの使用方法について、現場実証を行いつつソフト開発とルール化を今後も進めていく。

参考文献

1)西・若林(2016):応用地質, Vol.56, No.6, pp.343-349. 2)吉河ほか(2021):第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.115-120.

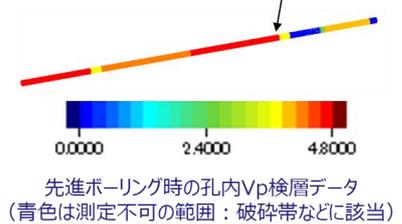
1 初期ボクセルモデルの作成

- ・市販のソフトで作成された当初モデルから更新対象範囲を抽出



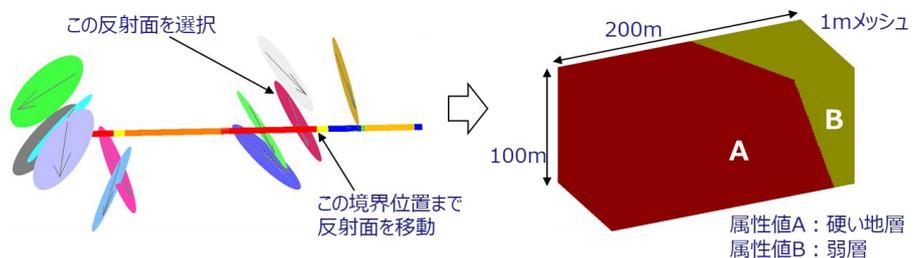
2 探査データ入力, 境界位置の特定

- ・先進ボーリング時の孔内 V_p 検層データを入力する
- ・仮に $V_p 1000\text{m/sec}$ 以上の変化点に着目するルールを設ける



3 境界面の特定

- ・弾性波探査による反射面を表示
- ・使用する反射面を選択
- ・ステップ2で特定した境界位置まで反射面を移動



4 再グリッド化

- ・ステップ2とステップ3の情報を用い地質モデルを更新

図-2 地質モデル更新手順の例示 (ステップ 1 から 4 をへて更新)