

“NURBS曲線法”による 3次元地質モデリングの提案

1. 概要

“NURBS曲線法”とは、NURBS曲線を組み合わせた骨格（スケルトンモデル）を用いて、複雑な地質・地盤工学境界のサーフェスを作成する手法の造語である。

地質・地盤工学の解釈図面を補間し、地質技術者の思索による複雑な構造イメージをCAD形状情報にすることが可能な手法である。 習得には相応の訓練を必要とするが、使いこなすことができれば、モデル構築の効率化や成果品質の向上のみならず、地質解析の3次元思考を具現化する有用な手法になり得ると考えられる。

2. NURBSとは

(1) 起源

NURBSとは、非一様有理Bスプライン（Non-Uniform Rational B-Spline）の略称である。1950年代に航空機や自動車の外表面形状を作る自由曲面を数学的に表現するために開発された。NURBSは、CADやCAM、CAEで一般的に用いられている図化技術であり、IGES、STEP、ACISなど数々の世界標準に採用されている。

(2) 特徴

- ①CP（コントロールポイント）をどのように配置しても、煩雑な形状処理無しに自動的に曲率が連続する形状を保持できる
- ②サーフェス形状をコントロールする情報（図-1）を保持できるので、加工・編集が容易である（トライ&エラーが短時間で済む）
- ③曲線の制御情報を継承したサーフェスを作成可能であり、逆に、作成したサーフェスから曲線を抽出してモデリングに再利用することも可能である
- ④複数サーフェス間の幾何学的連続性を保つことが可能である（図-4）

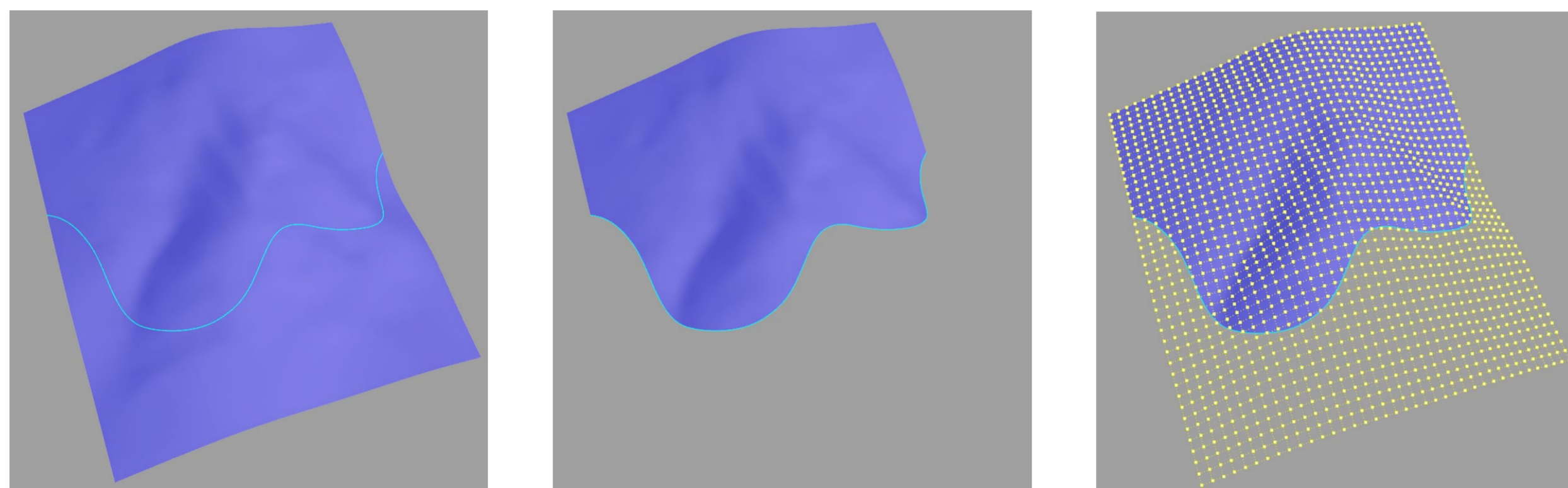


図-1 NURBSサーフェスに保持される形状情報の例
左：サーフェス上の曲線 中：曲線で切断されたサーフェス
右：切断されていても保持されるサーフェスのCP情報

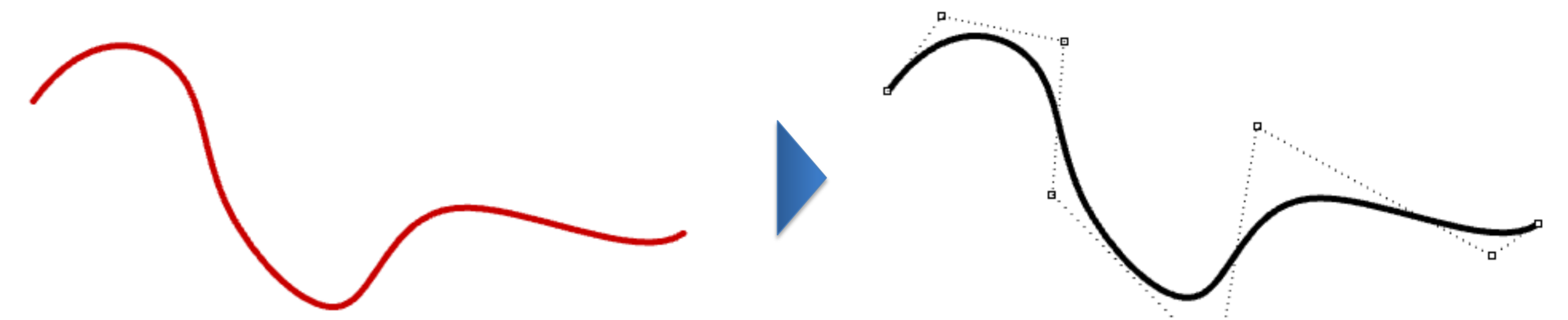


図-2 NURBS曲線の制御構造¹⁾

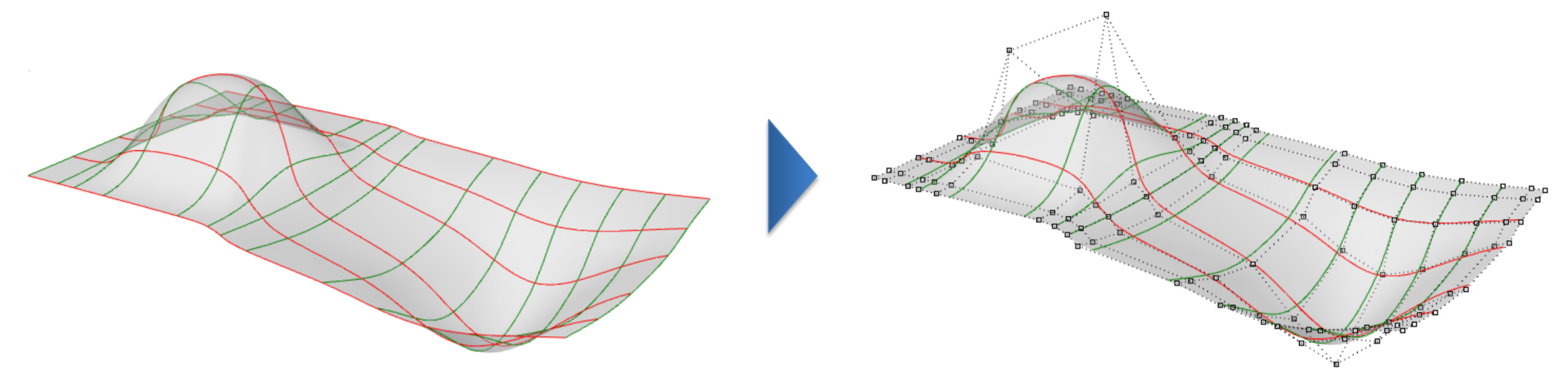
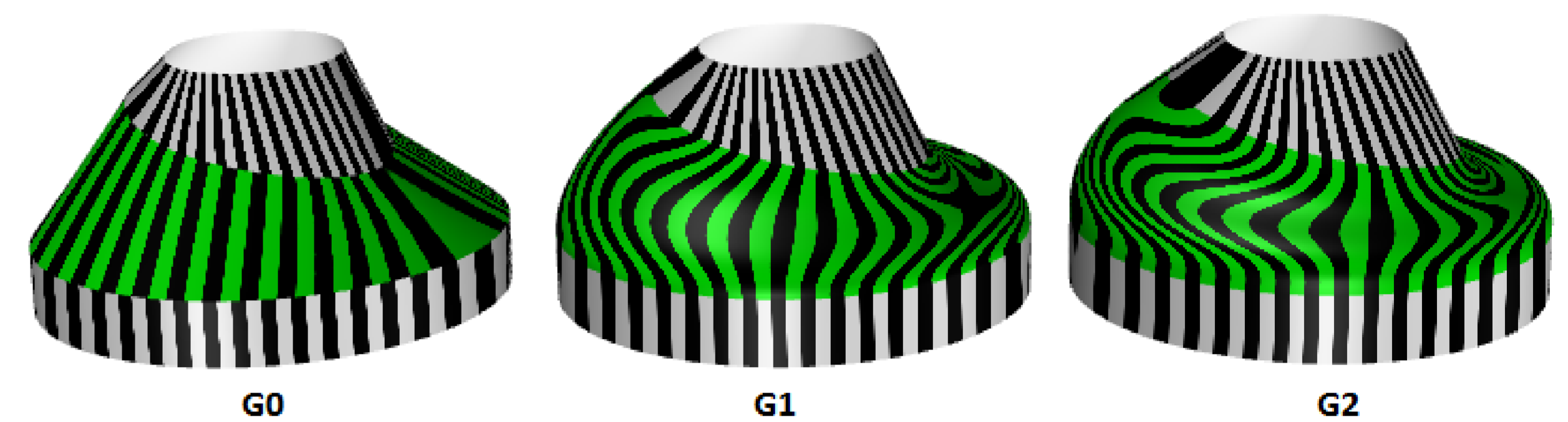


図-3 NURBSサーフェスの制御構造¹⁾



G0（連続した位置）
2つの面が結合した状態
G1（接線連続）
ジョイントエッジに沿った2つの面の対応する接線が、u方向とv方向の両方で平行な状態
G2（曲率連続）
曲率と接線が共通のエッジで両面で一致した状態

図-4 NURBSサーフェスの幾何学的連続性¹⁾

【NURBSサーフェスに保持される形状情報】

次元、u方向とv方向の次数、コントロールポイント、制御点の重み、結び目
サーフェスを切断した曲線の情報

3. モデリング手順

(1) 利用できる地盤情報

既往地質・地質工学図面（平面図・断面図等）のCADデータ

(2) 作業上の主なルールと注意点

- ・CAD図面の線/ポリラインはNURBS曲線に変換する必要がある
- ・CAD図面同士の曲線交点は、必ず誤差0にしなければならない
- ・作成したサーフェスモデルのノードを直接移動して形状を変更してはならない
- ・サーフェス形状の地質学的妥当性について常にチェックが必要である
- ・モデルの形状が地質・地質工学モデルの確かさを保証するものではない（本手法は作図手法であり、地盤情報の信頼性は提供者の責任である）

(3) ワークフローの例

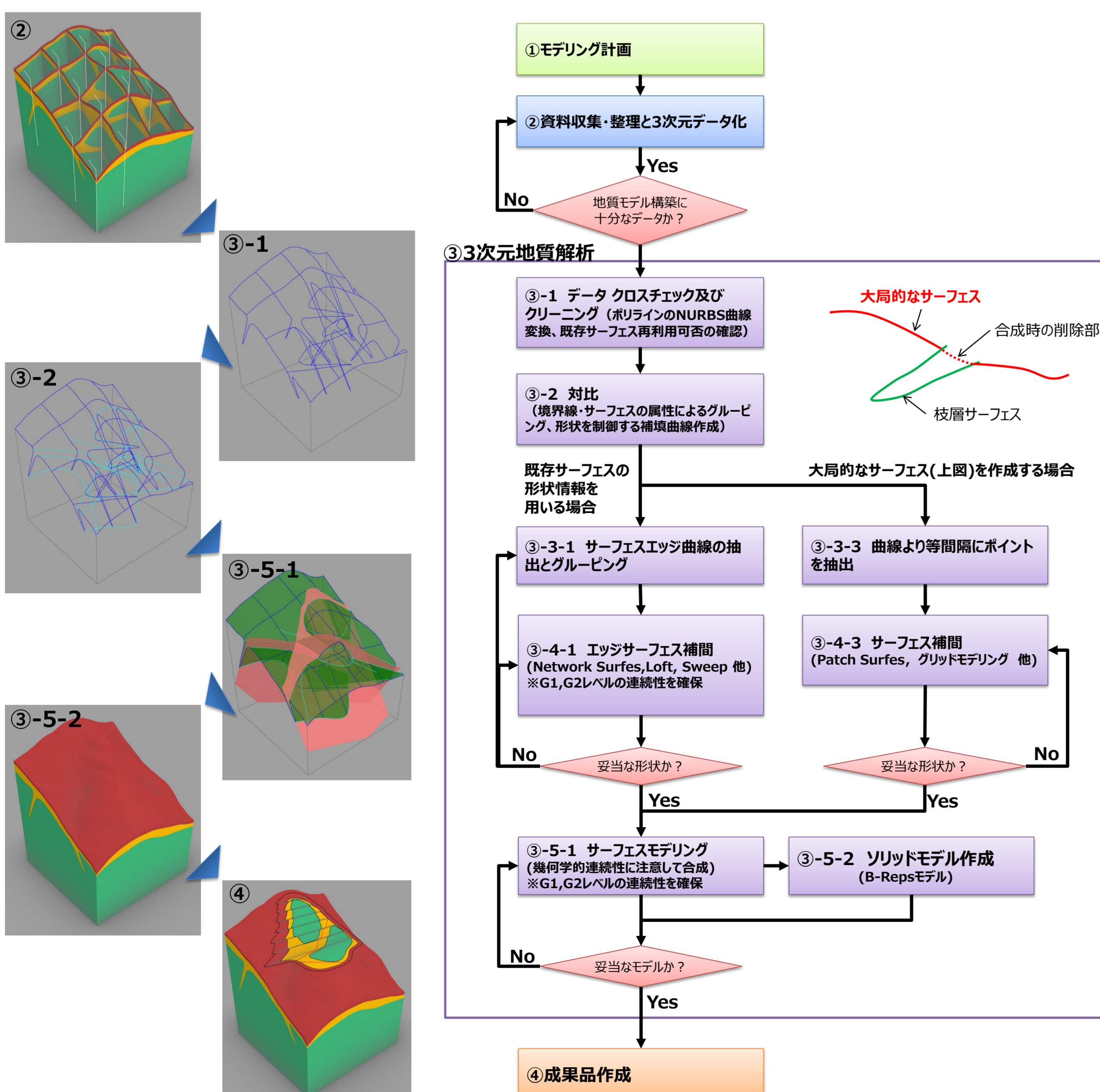


図-5 “NURBS曲線法”による3次元モデル構築フローの例

4. 本手法の適用に際して

(1) “NURBS曲線法”による3次元地質モデル作成の利点

- ①オーバーハングするような複雑な地質体を作成することが可能
- ②ルールと手順を守れば作成するモデルの個人差が解消できる
- ③モデルに可逆性を持たせることが可能
- ④データの追加・修正等の局部的な変更に対応可能
- ⑤形状パラメータをオブジェクト自体に保持できるので正確なデータ継承が可能
- ⑥NURBSサーフェスの断面はNURBS曲線であるため、メッシュモデルの断面（ポリライン）と違い作図上のスムージングの必要性が無い

(2) 適用場面

- ・地質技術者の解釈図面通りの正確なサーフェスモデルを作成する場合
- ・3次元空間で地質構造を思索し正確に形状化する場合
- ・施工対応など、速やかなモデル更新の対応を求められる場合
- ・モデルから曲線（ポリラインではない）による断面図・コンター図を作成する場合

(3) 課題

- ・適用場面を着手前に見極める必要がある
- ・3次元空間で地質構造を正確に思考する必要がある
- ・データ・モデルの管理を適切におこなう必要がある
- ・適切な期間の訓練が必要である

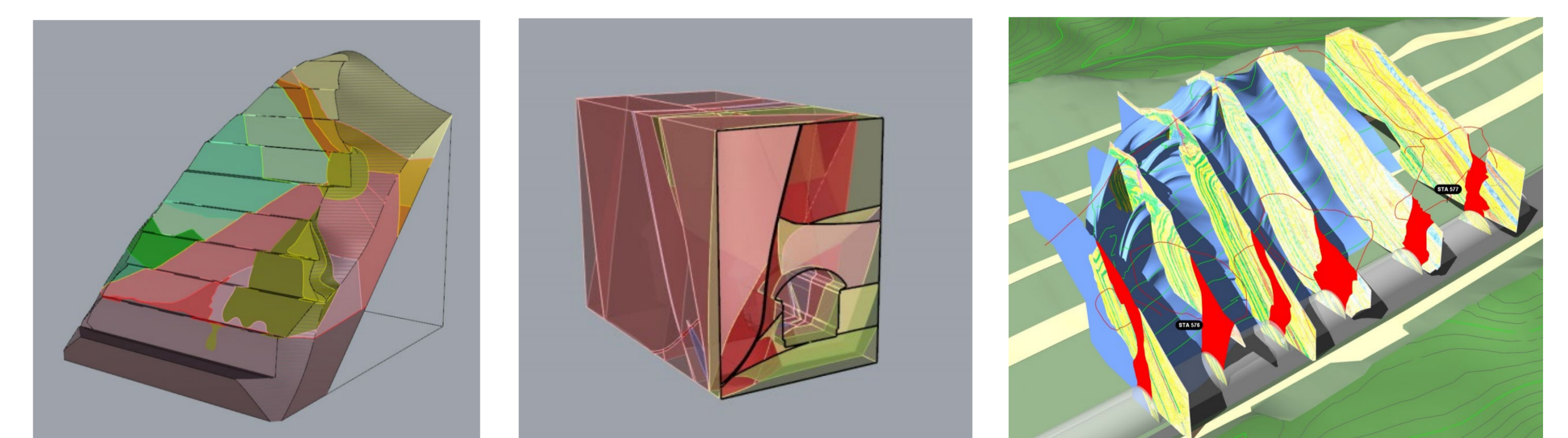


図-6 NURBSサーフェスによる3次元地質モデルの例
左：切土斜面の地質ソリッドモデル 中：地下空洞の地質ソリッドモデル
右：過褶曲境界面のサーフェスモデル²⁾

5. まとめ

- ・複雑な3次元地質・地盤モデル構築に適用可能な“NURBS曲線法”を提案した
- ・当該手法の適用場面について示した
- ・本手法の習得には適当な訓練期間が必要である

【参考資料】

- 1) <https://developer.rhino3d.com/guides/general/essential-mathematics/parametric-curves-surfaces/>
- 2) Hirok,H.Shoichi,N.Kazuo,K.Toshiro,O.Visualization of geologic model for a cut slope using 3D geological analysis system.2015,第15回国際地盤工学会アジア地域会議.