

地質評価 AI を実装したデジタルツイン・アプリの開発と現場適用による実証

木村 誠・MEHDI BEDJA・藤田 哲

デジタルや通信技術を活用したデジタル・トランスフォーメーション（DX）による建設現場の少子・高齢化対策や生産性向上への期待が年々高まりを見せている。筆者らは、前例がない国内最長クラスのグラウンドアンカーの削孔精度管理手法の1つとして、DX技術を活用して出来形精度を確保することに着眼した。DX技術の開発にあたっては、近年注目が目覚ましいAIに着目し、機械学習による地質評価プログラムを実装したデジタルツイン・アプリケーションの開発を進めてきた。本稿では、開発したアプリケーションの概要と現場への適用を通じて得られた効果を紹介する。

キーワード：地質、機械学習、ニューラルネットワーク、デジタルツイン、IoT

1. はじめに

建設業の担い手不足や熟練技能者の技やノウハウの継承といった課題を背景に、建設現場の生産性向上に向けた様々な取り組みが推進されている。例えば、国土交通省では、設計・施工段階でデジタル技術を積極的に活用するCIM（Construction Information Modeling, Management）を導入したi-Constructionを、i-Construction 2.0では建設現場のオートメーション化による省人化・生産性向上を目指してその取り組みを加速させている¹⁾。その中でも近年は、AIやIoT等、発展が目覚ましいデジタル・通信技術を活用したデジタル・トランスフォーメーション（DX）に大きな期待が寄せられている。

本稿は、①機械学習によるAIを活用して不可視地盤中の地質分類評価を施工進捗に伴って自動的に判別し、②施工範囲全体を包含したCIMの三次元空間に、AI評価した地質分類の視覚化を瞬時に行うことでデジタルツイン化を図り、③iPadやスマートフォンなどのIoT端末を通じてオペレータを含む施工関係者全員がリアルタイムに確認できるよう配慮した、デジタルツイン・アプリ「GeOrchestra[®]（ジオケストラ）」（以下、本アプリ）の開発と、国内最長クラスのグラウンドアンカーの削孔精度管理に適用した効果について報告するものである。

2. 国内最長クラスの長尺アンカー

本アプリは、地すべり抑止工としてグラウンドアンカー（以下、アンカー）工を主要工種とする現場に適用して実証した。当該現場の地すべりの想定すべり面は非常に深く、最長83mのアンカーを含む計798本（水平3m間隔、鉛直2m間隔）を高密度に配置するものであり（図-1、写真-1）、80mを超えるアンカー工は過去に公開情報を含めて前例がない国内最長クラスのアンカー工であった。

一般にアンカー体の間隔が1.5m以内に近接した場合には、抑止効果が減少するグループ効果が生じる。アンカーの設計にグループ効果を考慮した場合、当初設計以上の抑止力（設計アンカー力・配置数）の増強が必要となる。しかし、当該斜面は多種の地質が複雑

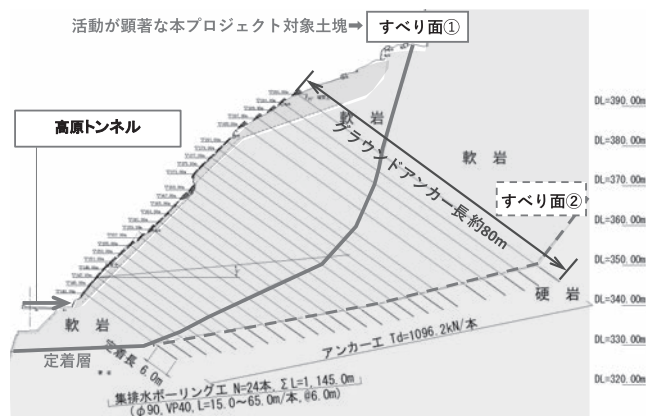


図-1 アンカー工概略断面図

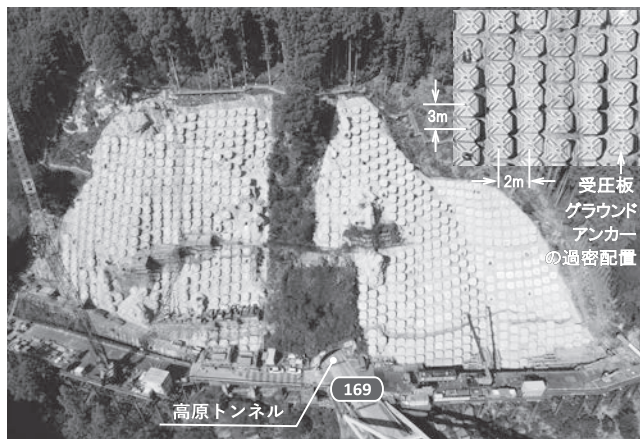


写真-1 アンカー工施工状況

に入り組んだ地山であることに加え、凹凸の激しいすべり土塊内に追加配置可能な箇所も限られていたことから、硬軟・地質構成の予見が難しい中、グループ効果が生じない削孔精度（孔曲がり ≤ 75 cm）で施工することが求められた。アンカー工の実施工に先立って、2本の試験施工（削孔長 $L=87$ m, 83 m）を行い、削孔後のジャイロ式の孔曲がり測定を通じて削孔長80 m超の施工がグループ効果の生じない精度内（孔曲がり ≤ 75 cm）で可能であること、孔曲がりが地質区分の遷移領域で卓越する傾向が強いことを特定した（図-2）²⁾。

試験施工で得た「孔曲がりが地質区分の遷移領域で卓越する」という分析結果を実施工においてどのように活かして長尺削孔管理に繋げるかが重要となり、この課題解決が本アプリ開発の発端となった。本開発では、複雑な地質が入り組んだ地すべり土塊内の地質の遷移領域を施工中に予見が可能なシステムを整備し、

オペレータに慎重な施工の気付きを与えて孔曲がりを抑制することを目的とした。複数班が日々アンカー工を施工する中で、迅速かつ容易に運用可能なものとするにも十分配慮した。

3. 地質の機械学習

施工進捗に伴う地質評価には、削孔時にエアブローで削孔ロッド管内から排出されるスライムを1 m毎に回収して分析することとした。分析には、iPadで撮影した①RGB画像と、ハイパースペクトルカメラで撮影した②ハイパースペクトル画像の2種類を使用した（表-1）。RGB画像は0~255(16進数カラーコード)の値を用いて色の強さが表現され、400 nm~700 nmの可視波長領域の範囲に該当する。一方、ハイパースペクトル画像は可視領域以上の波長も取得可能である。それぞれの画像に対して、RGB画像には画像認識で良く使われる畳み込みニューラルネットワーク（以下、CNN）の機械学習アルゴリズムを採

表-1 機械学習の概要

画像分類	RGB画像	ハイパースペクトル画像
サイズ (ピクセル)	2,448 × 3,264 (72ピクセル/インチ)	512 × 512 (100ピクセル/インチ)
スペクトル波長領域	400 nm ~ 700 nm	400 nm ~ 1,000 nm
スペクトルバンド数	3	204
機械学習	CNN (Convolutional neural net)	DNN (Deep neural net)
損失関数	交差エントロピー	
最適化アルゴリズム	Adam	
学習率スケジューラ	Reduce LR on plateau	
正解率	94.4%	98.4%

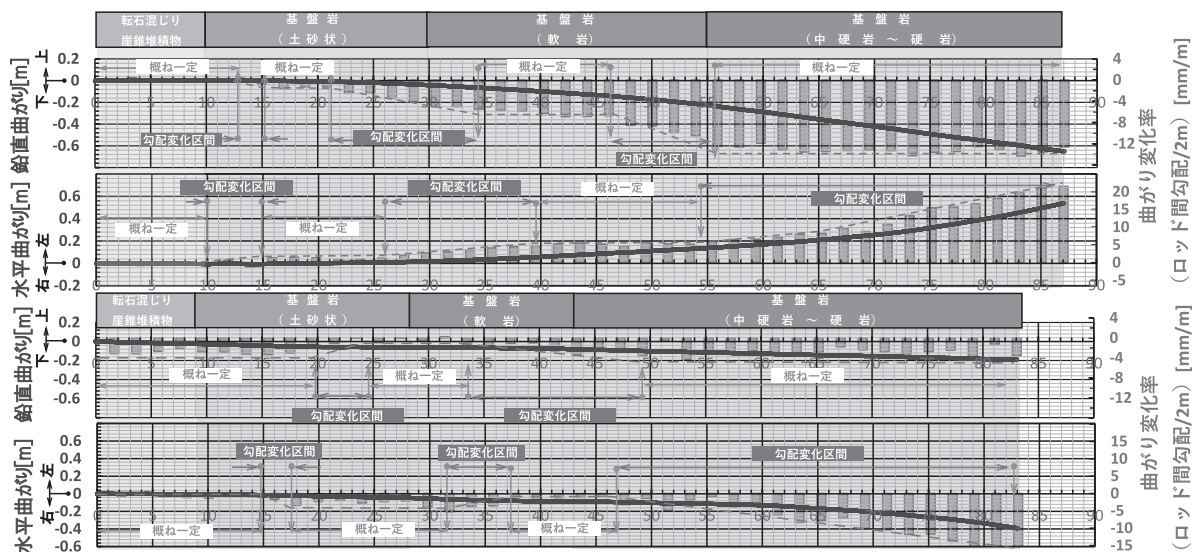
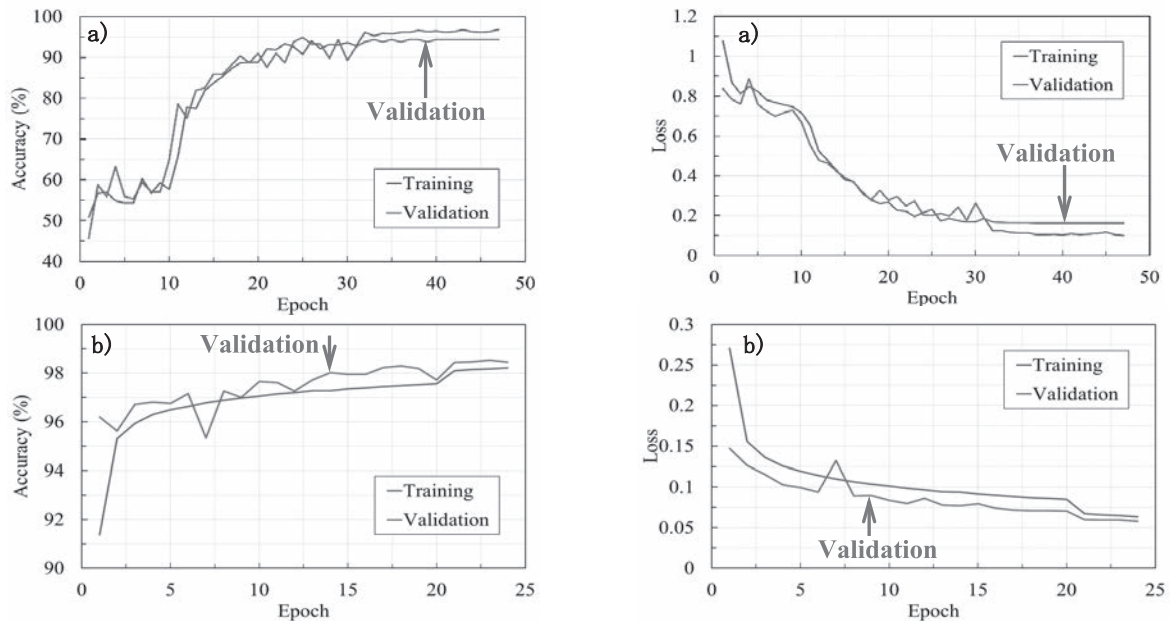


図-2 試験施工の結果（上：削孔長87m・下：削孔長80m）



図一 3 正解率と損失曲線 (a : CNN, b : DNN)

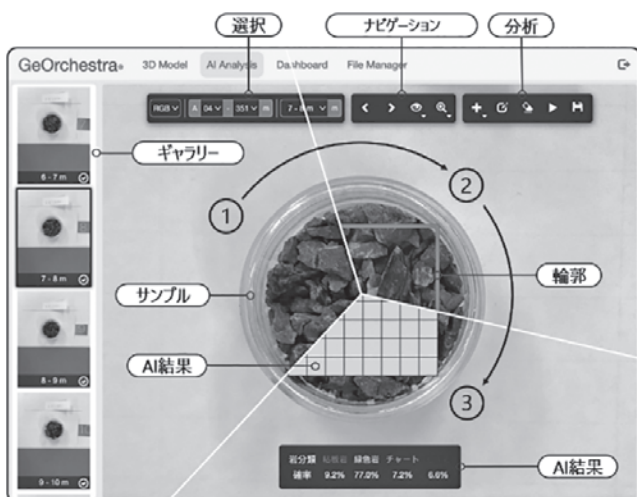
用し、大容量データとなるハイパースペクトル画像にはディープニューラルネットワーク（以下、DNN）を使用した^{3), 4)}。地質の評価分類は適用現場の主な4種類の地質（粘板岩・緑色岩・チャート・石灰岩）を対象とした。CNN, DNNの訓練データと validation データの正解率と損失曲線を図一3に示すが、CNNの正解率は94.4%, DNNは98.4%と十分に高い精度が得られた⁴⁾。

本アプリでは、削孔スライムの新規画像（RGB・ハイパースペクトル）が所定のクラウドへアップロードされると、施工箇所毎のギャラリーへ格納され、①新規データを自動的に認識、②地質評価分析を行う領域を自動設定、③機械学習（AI分析）による推論結果を表示して主要な地質を判定し、データのアップロー

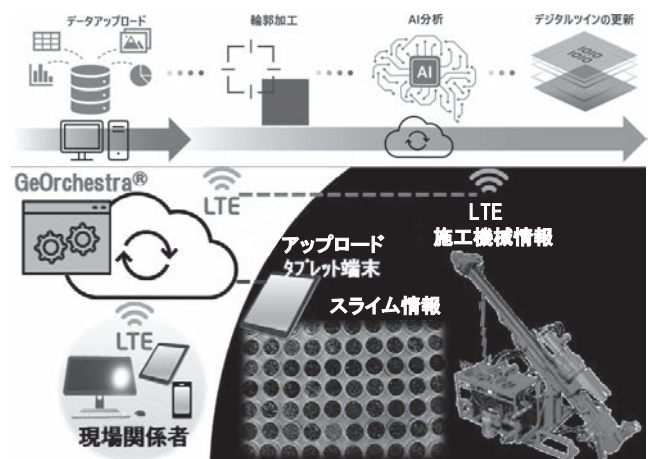
ドから分析結果の表示までは数秒で行われる（図一4）。

4. 現場適用とデジタルツイン

本開発の目的は、施工中に迅速かつ容易に地質の遷移領域を予見可能なシステムを整備することである。「容易な遷移領域の予見」は機械学習によってAI分析した地質判定結果を施工領域で評価集合体として視覚化することで実現することとし、AI評価のデジタルツイン化を図った。本アプリで構築した地質評価AIを実装したデジタルツインの概要を図一5に示す。デジタルツインモデルは、CIMを流用して360°の自由な視点操作や任意の施工箇所の抽出、同一施工標高での全断面抽出などを可能とし、設計CIMに対



図一 4 本アプリの地質評価画面



図一 5 本アプリのデジタルツイン概要

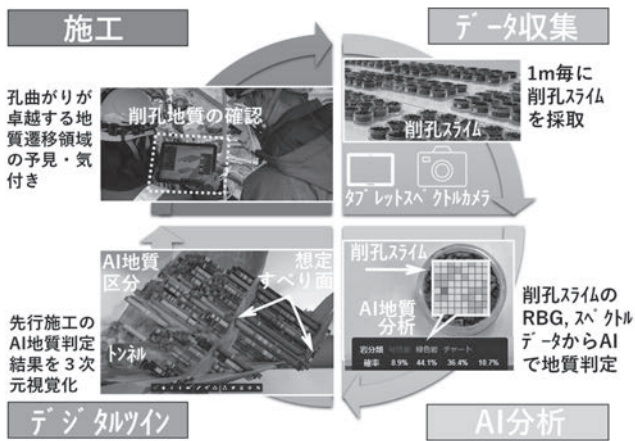


図-6 本アプリの現場での運用フロー

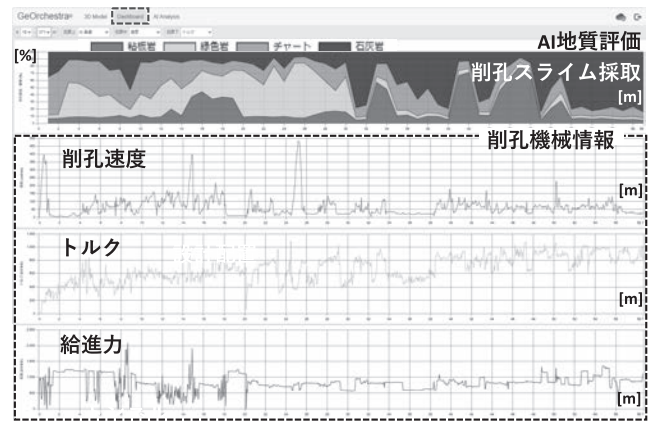


図-7 AI分析と施工機械データのダッシュボード

して、AIによる1m毎の地質評価を逐次反映・更新することで実現した。施工箇所での画像（RBG・スペクトル）のデータアップロードやデジタルツイン端末はiPadやスマートフォン等のIoTを活用し、本アプリをWEBアプリケーション化し、複数人が同時にアクセスして個別の視点操作を同時に行ったとしても、お互いの操作が干渉することのないよう配慮した。今回、本アプリを適用した現場での一連のフローを図-6に示すが、データアップロードからデジタルツインモデルの更新までの一連の処理は5秒程度以内に行われ、LTE通信環境を整備してIoT端末で簡易かつ迅速に確認できるものとした。これまで、主に開発の着眼となった地質評価について概要を紹介して

きたが、施工機械（ロータリーパーカッションドリル）の削孔時にはDrill Sounding Systemによって、削孔速度や回転トルク、給進力、送水圧等の施工機械データも取得していたことから、図-7のようにデータダッシュボードとして、削孔延長に対して逐次データを表示することもできる。

開発した本アプリを現場のアンカー工全数（798本）に適用した結果、主に下記の効果が得られた。

- ① 先行施工の地質評価結果をCIMにより3次元で視覚化（図-8）することにより、孔曲がりが発生する遷移領域が確実に予見でき、事前の施工方法の見直しや丁寧な削孔等を促すことで、孔曲がりのリス

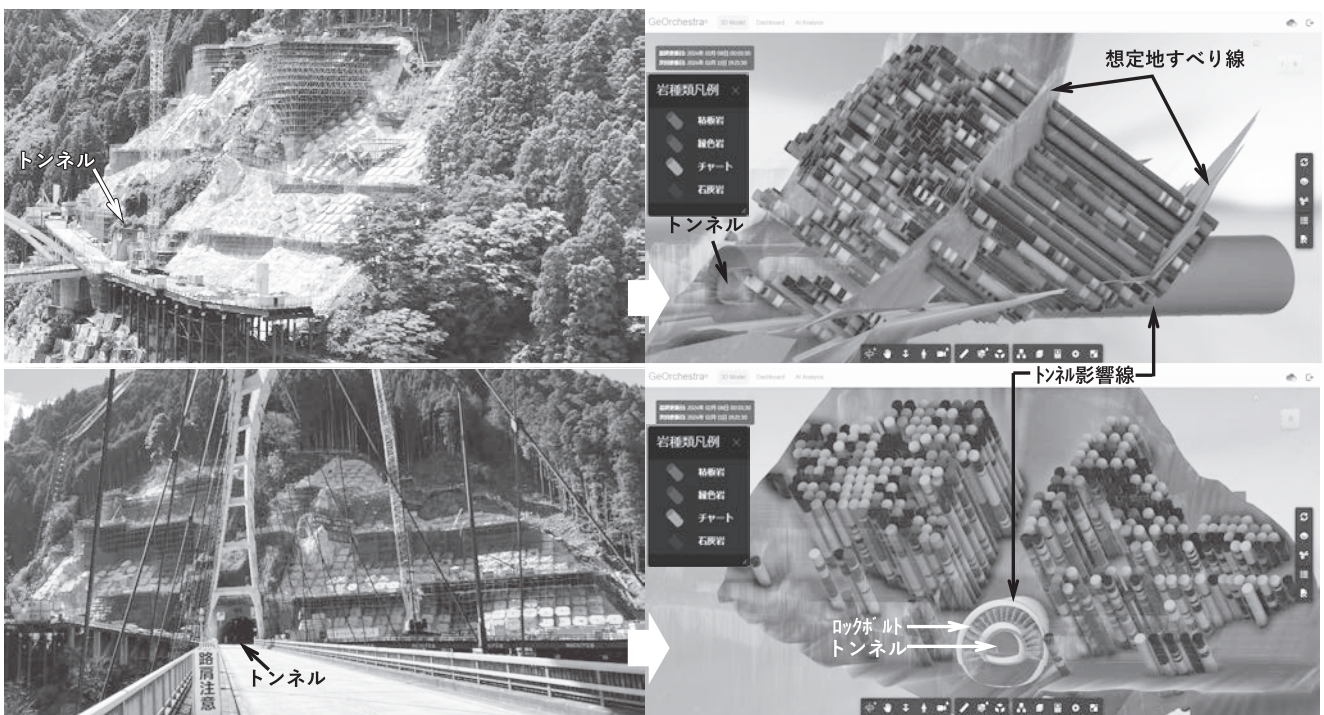


図-8 AI地質評価のデジタルツイン

ク回避に繋がった。(施工本数全数で孔曲がり許容値以下を実現)

- ②不可視の施工地盤内の地質を専門技術者と同程度の精度で評価が可能となり、現場判断の効率化に繋がった。(専門技術者による地質判定回数を95%削減)
- ③PC・タブレット・スマートフォンなど、様々なIoT端末から簡単かつ同時にアクセスすることができ、関係者間の精度の高いコミュニケーション(最新情報に基づく進捗管理・施工計画等)の醸成に貢献した。

5. おわりに

今回の開発・現場適用を通じて、先進のデジタル・通信技術を実施に反映した。これにより、様々な気付きや予見を促すことで、施工自体はもとより事前の計画、発注者との意思疎通・決定等にも影響を与え、建設現場全体の生産性を向上することができた。

GeOrchestra[®]が保有するAI・デジタルツイン・IoT連携・自動化機能は、今回現場適用したグラウンドアンカーの工種だけでなく、杭工事や地盤改良工事、トンネルの先行ボーリングなど、削孔・掘削を伴う不可視地盤に対する施工管理への活用・展開が期待できる。今後も、現場施工へのDXの活用・展開により、省力化・生産性・施工品質の確実性等の向上に繋がるよう、アプリケーションへの機能付与などを通じてマルチタスク化を図っていく。

JCMA

《参考文献》

- 1) i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～, 国土交通省, 2024年4月
- 2) 国内最長クラスのグラウンドアンカーの削孔精度と施工時の工夫, 土木学会 土木建設技術発表会 2024, 2024年11月
- 3) Development of an Automated System for the Evaluation and 3D Modelling of Site Geological Strata Using Artificial Intelligence, Intelligence, Informatics and Infrastructure, Volume 4, Issue 1, 2023年5月
- 4) Development and Trial Implementation of a Geological Mapping System using Artificial Intelligence and Digital Twin Modelling, Proceedings of the JGS 2024 International Joint Symposium: "Multi-mitigation of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering to Natural Disaster on Problematic Soils", 49-55, 2024年12月

【筆者紹介】



木村 誠 (きむら まこと)
 (株)安藤・間
 建設本部
 土木技術第二部 地盤グループ
 グループ長



MEHDI BEDJA (メディ ベジャ)
 (株)安藤・間
 建設本部
 土木技術第二部 地盤グループ



藤田 哲 (ふじた さとし)
 日特建設(株)
 技術開発本部 知財・戦略部
 次長