

地質 3 次元可視化による掘削支援システムの開発と生産性向上

Geo-MG[®] (ジオマシンガイダンス[®])

中 島 亮・片 山 政 弘・石 濱 茂 崇

建設工事で発生する土砂を掘削時に地質・土質区分毎に分別・採取することは、発生土の品質を確保し有効利用を促進する上で重要である。今回、掘削機械のマシンガイダンスに地質・土質データを組み込むことで、地質・土質境界を 3 次元可視化して分別・採取を可能にしたシステム Geo-MG[®] (ジオマシンガイダンス[®]) を開発した。これをフィルダム建設現場の掘削と材料採取に適用し、材料の品質確保と施工の効率化を達成した。また本システムの適用過程で地質・土質モデルを活用した BIM/CIM を実施し、事業全体の効率化、高度化に大きく貢献できた。

キーワード：マシンガイダンス、BIM/CIM、地質・土質モデル、フィルダム、建設発生土の有効利用

1. はじめに

建設工事に伴い副次的に発生する土砂(建設発生土)は、資源有効利用促進法および同法施行令において指定副産物に定められ、再生資源としての利用促進に取り組むことが求められている。有効利用促進のためには、工事間利用時の需要と供給の合致のほか、建設発生土の品質確保、すなわち土質区分毎に確実に分別することが重要である。地質調査や土質試験を行って地質・土質境界の位置を詳細に把握することは可能であるが、技術的に地質・土質区分毎の掘削・分別をサポートする機械やシステムはない。そのため施工時は掘削機械のオペレータの感覚や経験に頼る部分が大きく、掘削中に幾度も作業を中断して地質・土質を確認する必要があり、品質確保に加えて施工の効率化も課題である。そこで今回、掘削機械のマシンガイダンスに地質・土質情報を組み込み、地中内部の地質境界位置を 3 次元可視化することで地質・土質区分毎に掘削・分別・採取を行うことを可能にしたシステム Geo-MG[®] (ジオマシンガイダンス[®]) (以下、本システム)を開発した。

2. システムの概要

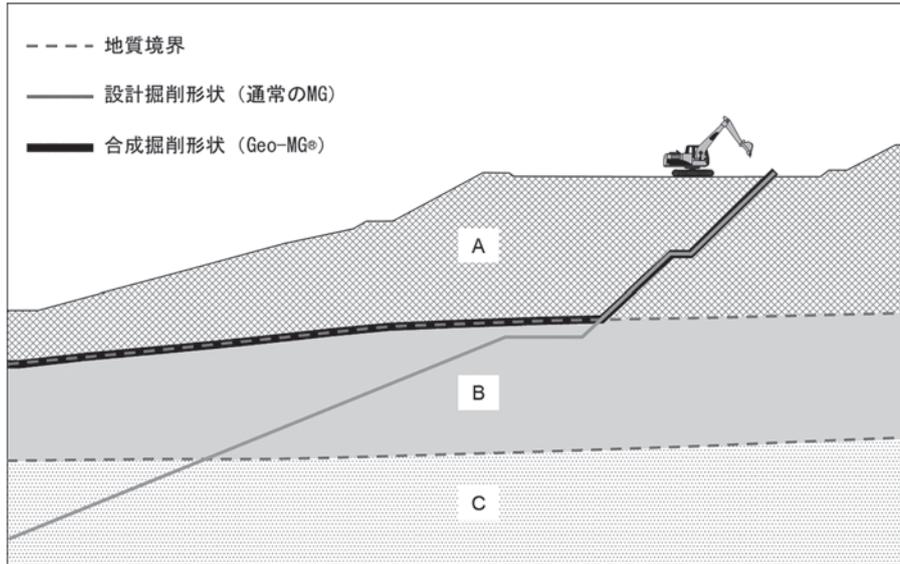
(1) マシンガイダンス

3次元マシンガイダンス技術(以下、MG)は、国土交通省が推進する i-Construction における ICT 施工技術のひとつであり、既に広く利用が進んでいる技

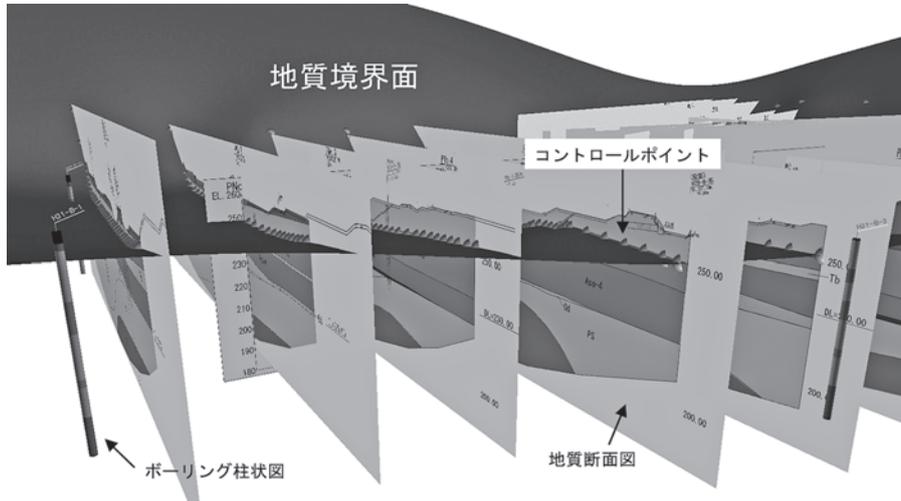
術であるため概要のみを以下に記す。MG は自動追尾式 TS や GNSS などの位置計測装置を用いて建設機械の位置情報を計測し、施工箇所の設計データと現地盤データとの差分をオペレータへ提供するシステムである。MG 導入のメリットとして、丁張設置や検測作業に要する人員・材料・時間を縮小できることで作業の効率化とコストの削減に繋がることやオペレータの技能に関わらず一定の施工品質を得やすいことなどがある¹⁾。

(2) 本システムとは

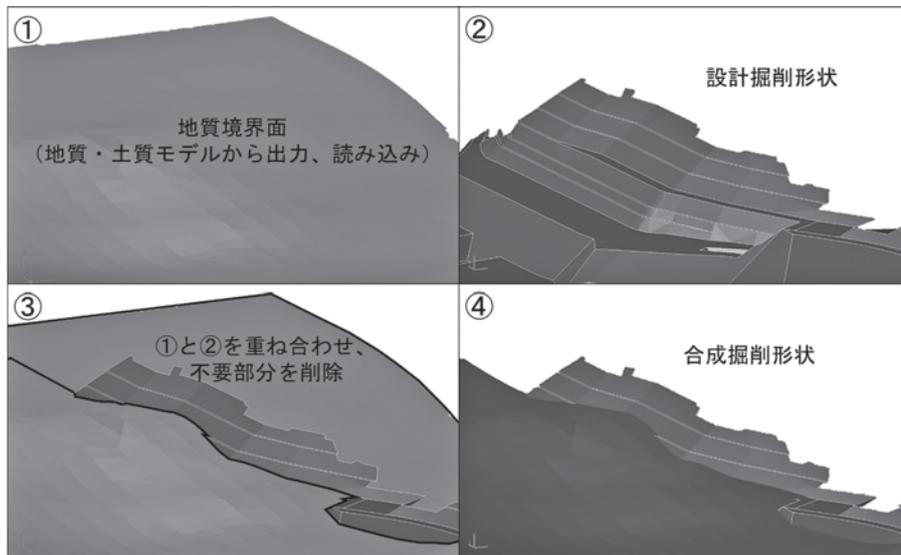
本システムは、従来の MG 技術に 3 次元地質データを組み込んだ新たなシステムである。地質境界面と設計掘削形状の合成掘削形状を作成することで、設計形状通りに掘削を進めながら地質境界に沿った掘削土の分別・採取を可能にした(図—1)。組み込む地質データの作成には、地質・土質モデルを利用する。地質・土質モデルとは、地質・土質調査の成果又は地質・土質調査の成果を基に作成した地層境界面のデータなどを 3 次元空間に配置したモデルである²⁾。地質・土質モデルの作成方法は、まず 3 次元地盤モデル作成システム上の空間にボーリング柱状図や断面図などの地質情報を配置する。そしてボーリングおよび断面図上の地質境界にコントロールポイントを配置し、それらのポイントを結ぶような滑らかなサーフェス(面)データを作成する(図—2)。次に 3 次元 CAD ソフトを使用して、地質境界面と設計掘削形状の合成を行う(図—3)。地質・土質モデルから地質境界面データを出力し(図—3①)、あらかじめ 3 次元 CAD ソフトで作



図一 本システムの概要断面図 (A層掘削時)



図二 ボーリング柱状図および地質断面図の3次元配置と地質境界面の作成



図三 合成掘削形状の作成方法

成した設計掘削形状（図-3②）と同一空間に読み込む。そして、設計掘削形状と地質境界面の交線より下側もしくは外側の不要部分を削除し（図-3③）、残った面データをひとつの面として結合すると合成掘削形状の完成である（図-3④）。その後は通常のMGと同様に、合成掘削形状をデータ出力して掘削機械の車載PCに読み込んで施工を行う。

今回、本システムの現場検証としてフィルダム建設現場の盛立材料採取に適用し、その効果を確認した。

3. 現場検証

(1) 工事概要

熊本県阿蘇郡西原村に位置する大切畑ダムは堤高23.0mのフィルダムで、周辺の田畑約700haを灌漑する農業用ため池として利用されていた。しかし平成28年4月に発生した熊本地震により被災し、現在復旧工事として、上流側へ約240m移動した箇所に新堤体の築堤が進められている。工事概要と新堤体の諸

表-1 大切畑ダムの工事概要とダム諸元

工事概要	工事名	大切畑地区県営農地等災害復旧事業第1号工事
	発注者	熊本県農林水産部大切畑ダム復興事務所
	工期	令和元年12月14日～令和7年11月28日
ダム諸元	型式	前面遮水ゾーン型フィルダム
	堤高	28.5m
	堤頂長	237.7m
	堤体積	460,000 m ³
	総貯水量	600,000 m ³
	有効貯水量	549,000 m ³

元を表-1に示す。新堤体の型式は前面遮水ゾーン型フィルダムであり、遮水ゾーンや半透水ゾーンなどのゾーン別にそれぞれ適した物性の材料を盛立して築堤する（図-4）。それら盛立材料は堤体と貯水池の掘削発生土を各地質の物性に依じて流用する計画であったため、全地質を分別し材料採取を行いながら掘削を進める必要があった。しかしダム周辺には、第四紀の大峯火山岩類や阿蘇凝灰角礫岩類、その上位の土石流堆積物やローム、湖成堆積物などの10種類以上の地質が複雑に分布することが予想された（図-5）。掘削時に異なる地質が混合すると盛立材料の品質を損ない、それを防ぐために分別・採取に時間をかけると工程が遅延する恐れがあった。そこで地質毎に確実に分別・採取して材料の品質を確保し、かつ効率的に施工を進めるため本システムを適用した。

(2) 実証内容

本システムの適用に先立ち、まず大切畑ダムの地質・土質モデルを作成した。その際、施工開始前までに実施されたボーリング調査の結果と設計地質断面図をモデル内に配置し3次元地質境界面を作成したため、ボーリング間や断面間、また調査数の少ない箇所の地質境界面データは推定を多分に含むことに留意する必要があった。

本システムにより施工中の掘削機械車載PCのモニター画面を図-6に示す。合成掘削形状が確実に上部の設計形状と下部の地質境界面が結合され作成されていることが確認できる。画面下部に表示されている数値は、バケットの爪先（左、中央、右）から合成掘削

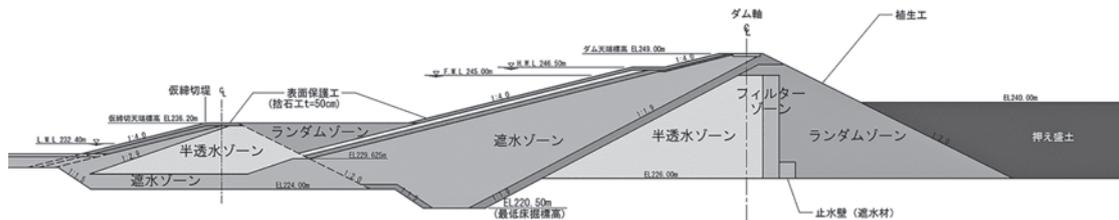


図-4 大切畑ダムの堤体標準断面図

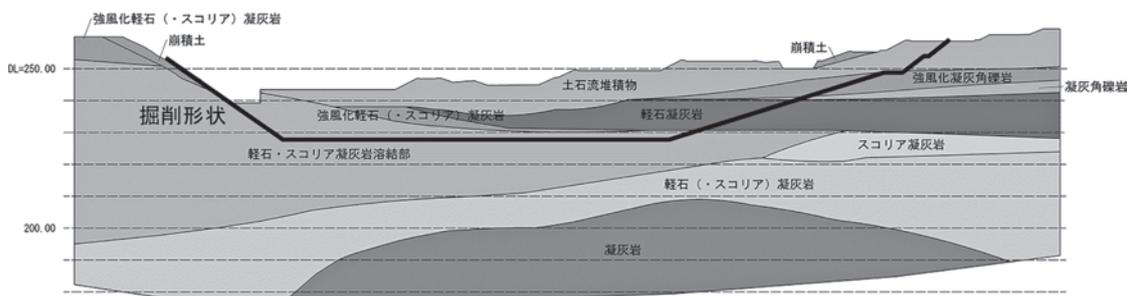
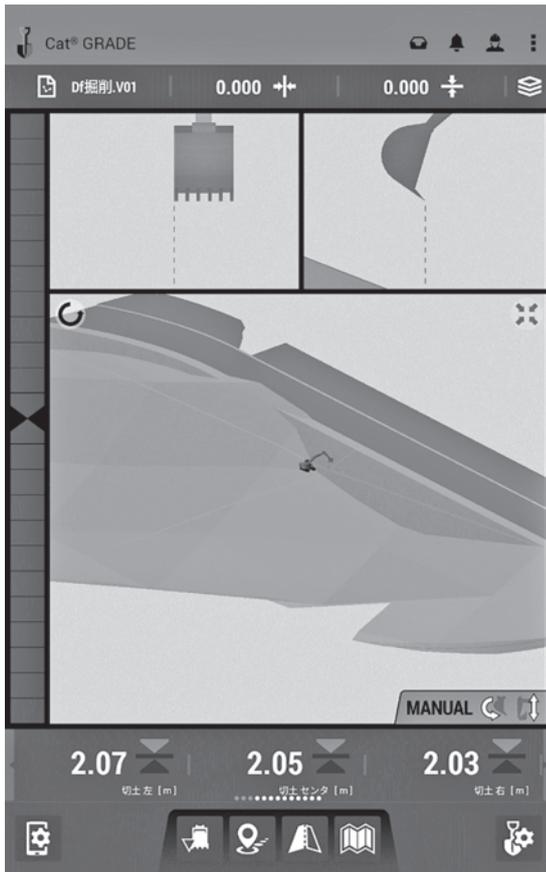
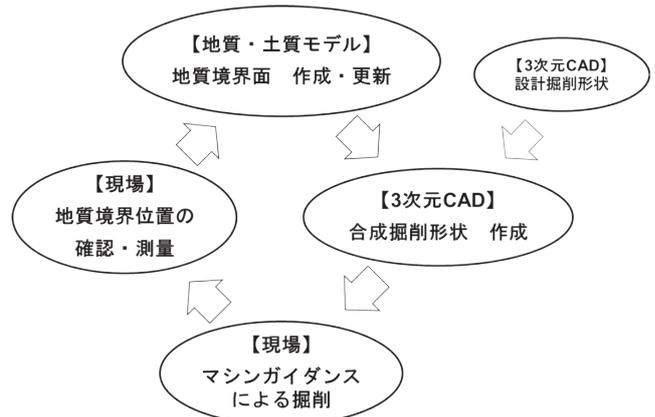


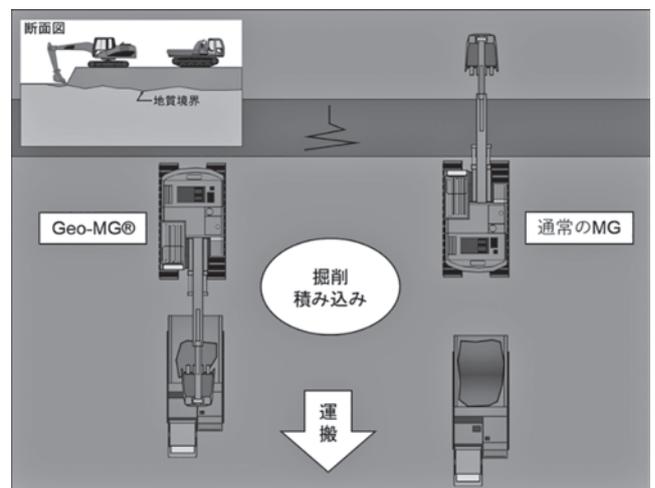
図-5 大切畑ダムの設計地質断面図の一例



図一六 本システムにより掘削中の車載 PC モニタ



図一七 本システム運用サイクル



図一八 本システムによる効率化の検証方法

形状までの垂直距離を示している。オペレータはこのように合成掘削形状の分布を感覚的に理解し、かつ機械との位置関係を定量的に把握することができる。この合成掘削形状に沿って掘削を進めるが、上述したように地質境界面データは推定を含むため、掘削の結果、実際の地質境界位置との間に差異が確認されることがあった。その場合には実際の地質境界位置を測量して、地質・土質モデルを更新し、再度合成掘削形状を作成して掘削を進めることとし、これを本システムの運用サイクルとした（図一七）。

(3) 本システム導入の効果

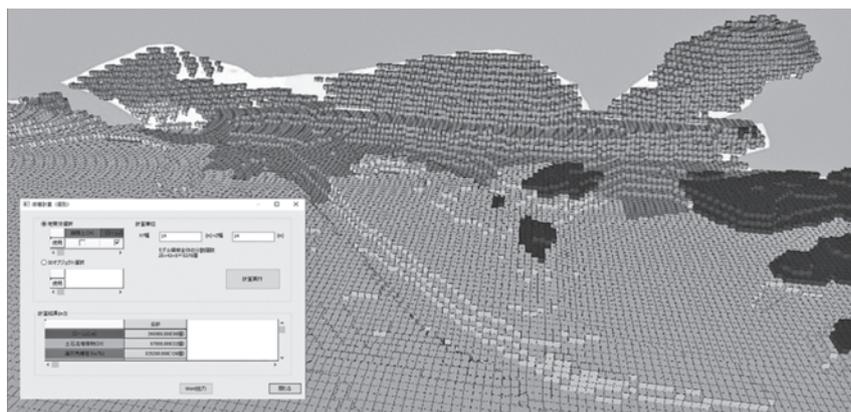
本システムによる掘削を行い得られた効果として、
 ①採取した材料の品質確保、②施工の効率化、③地質・土質モデルを活用したBIM/CIMの実施が挙げられる。

まず①採取した材料の品質確保については、採取時および採取後に仮置きされた材料の目視確認や土質試験の結果から異なる地質の混入を概ね防げたことを確認した。本システムに利用した地質境界面データには場所による精度の違いや誤差を含むものの、掘削機械のオペレータは地質境界のおよその位置や3次元的な連続性を把握できるため、地質境界が近づくと普段よ

り慎重に掘削を進めることで盛立材料の品質確保に繋がったと考えられる。

②施工の効率化の程度を定量的に検証するため以下のような実験を行った（図一八）。同規格の掘削機械と土砂運搬車両をそれぞれ2台ずつ準備し、各1台ずつを1セットとして掘削・積み込み・運搬作業を2セットで実施する。1台の掘削機械には本システムを、もう1台には通常のMG用データ（設計掘削形状のみ）を搭載し、同様な現場条件（オペレータの技能も同程度）のもとで施工を行い、1日当たりの施工数量（土砂運搬台数）を比較した。5日間の検証の結果、本システムによる1日当たりの施工数量は、通常のMGによる掘削と比較して平均15%程度増加し、作業効率が向上することがわかった。これは、異なる地質の混入を防いだことで手戻り作業がなくなったことや地質変化による材料採取の段取り替えの準備を円滑に行えたためであると考えられる。

さらに掘削作業の効率化は、施工機械の稼働時間の短縮によりCO₂排出量を削減することでカーボン



図一 9 ボクセルモデルの作成と掘削数量の算出

ニュートラルにも寄与できる。

③地質・土質モデルを活用した BIM/CIM の実施は、本システムを適用する一連の過程において達成できる。本システムの適用にあたっては施工開始前に地質・土質モデル（初期モデル）を作成する。この初期モデルから掘削範囲内のボクセルモデルを作成して地質別の掘削数量を算出することが可能である（図一 9）。ボクセルとは、volume（体積）と pixel（画素）を組み合わせた言葉であり、立体表現の最小単位である。ボクセルモデルの作成により、どこで、どの材料を、どのくらい採取できるか把握できるため、施工計画に利用できる。施工中は本システム運用サイクルをほぼリアルタイムに繰り返し運用することで、掘削が完了した箇所のでられた地質情報を更新して精度が向上した地質境界面データを基に隣接箇所の掘削を行えるという効果があった。また施工と並行して実績をモデルに更新していくため、すべての掘削作業が完了すると同時に施工実績を更新した地質・土質モデル（実績モデル）を完成させることができた。この実績モデルはダムサイト周辺の地質調査や施工実績などの情報を取りまとめたものであるため、維持管理段階においても有用なモデルとなっており、例えば災害発生時や法面補修時などの場面で掘削面地質分布の確認や調査計画、対策工検討資料などとして利用価値がある³⁾。

4. おわりに

Geo-MG[®] は、地質・土質モデルを設計から維持管理段階まで事業全体にわたり連携・活用し業務の効率化・高度化を実現できるシステムである。これは BIM/CIM の目指す姿とも合致し、本システムが BIM/CIM 実施の重要な役割を果たしていると言える。今後も土工事の現場やダム原石山における材料採

取などの場面で積極的に本システムをはじめ地質・土質モデルの活用による BIM/CIM を実施して、建設発生土の有効利用と生産性の向上を目指す。また地質境界位置の確認、モデルの更新等を含めた本システム運用サイクル全体を自動化することでより効率的なシステムの構築を図るつもりであり、施工のオートメーション化を目指す i-Construction 2.0 に寄与する重要な技術となることが期待される。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省近畿地方整備局、マシンコントロール/マシンガイダンス技術（バックホウ編）の手引書【施工者用】、2018年2月
- 2) 国土交通省、BIM/CIM 活用ガイドライン（案）第1編 共通編、2022年3月
- 3) 中島亮、中須賀大樹、石濱茂崇、天下井哲生、フィルダムにおける3次元地質・土質モデルを活用したBIM/CIMの実施、日本応用地質学会研究発表会講演論文集、pp.99-100、2022年10月

【筆者紹介】



中島 亮（なかじま りょう）
 ㈱熊谷組
 土木事業本部 土木技術統括部 地質技術部
 係長



片山 政弘（かたやま まさひろ）
 ㈱熊谷組
 土木事業本部 土木技術統括部 地質技術部
 部長



石濱 茂崇（いしはま しげたか）
 ㈱熊谷組
 土木事業本部 土木技術統括部 地質技術部
 副部長