

ICT土工現場における管理業務の高度化を 目的とした地質情報CIM管理システムの適用

宇津木 慎司^{1*}・中谷 匡志²・木付 拓磨³

^{1*}正会員 安藤ハザマ土木事業本部土木設計部 (〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20)
E-mail: utsuki.shinji@ad-hzm.co.jp

²正会員 安藤ハザマ土木事業本部土木設計部 (〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20)
E-mail: nakaya.masashi@ad-hzm.co.jp

³正会員 安藤ハザマ東北支店 (〒980-8640 宮城県仙台市青葉区片平1-2-32)
E-mail: kizuki.takuma@ad-hzm.co.jp

近年、建設現場の生産性向上を目的としi-Constructionへの取り組みが強化されており、ICT技術の積極的な活用などを主題として種々の検討がなされている。その中で土工現場においては、他工種に先行して、①UAVなどによる3次元測量、②3次元設計・施工計画策定、③ICT建設機械による施工、④検査の省力化など、実施工における具体的な実施項目が策定されている。これに対し、土工現場において、独自に開発したCIMやICT技術を活用した「地質情報CIM管理システム(NETIS:KK-110010-A)」を上記実施事項に適用し、①土量管理、②地質観察記録作成・保存、③斜面計測の高度化・省力化を図る取り組みについて詳述する。

Key Words : CIM, 3D-model, i-Construction, construction management

1. まえがき

ダムや道路土工など掘削のり面を伴う建設工事においては、計画地点における地質状況を詳細に把握し、その状況に応じて最適な設計および施工を実施することが重要となる。これに対して、調査・設計段階において、地質調査や物理探査などを実施することにより、計画地点を構成する地質の分布状況や工学的特性などを評価し、その結果をもとに掘削勾配やのり面保護工などの設計が行われる。ただし、この段階において、種々の検討にかかる費用に限度があると同時に、上述した地質調査や物理探査の精度自体に限界があるため、この段階で広範にわたり詳細な地質状況を把握することは困難となる。

また、施工段階においては、実際の掘削のり面において、地質状況を直接、詳細に確認し、事前に想定されていた状況と実際の状況との差異を評価する。そして、その状況によっては、逐次、追加対策工の検討や工程進捗管理の妥当性検証などを実施するなど、施工計画や設計を見直すことが重要となる。

近年、建設現場の生産性向上を目的としi-Constructionへの取り組みが強化されており、ICT技術の積極的な活用

などを主題として種々の検討がなされている。その中で土工現場においては、他工種に先行して、①UAVなどによる3次元測量、②3次元設計・施工計画策定、③ICT建設機械による施工、④検査の省力化など、実施工における具体的な実施項目が策定されている¹⁾。

このような状況の中、近年、図-1、2に示すようなCIM(Construction Information Modeling/Management)と呼ばれる手法を用いた種々の検討が実施されており^{2), 3)}、筆者らは施工現場における地質に関わる地質情報や計測結果をCIM上で一元管理する、「地質情報CIM管理システム」を独自に開発した⁴⁾。このシステムにおいては、調査・設計段階において、事前調査で想定された地質状況を3次元モデル上に表現し、地山不良部などの分布状況を詳細に確認した上で施工計画に反映する。また、施工段階においては、掘削のり面における地質観察結果などを3次元モデル内に取り込むことにより、施工実績整理の高度化や効率化を図ると同時に、事前調査と実際の状況との差異の確認、その状況に応じた施工計画や設計の変更などの検討に用いられている⁴⁾。

上述した建設業の現状や施工現場における実情を踏まえ、土工現場において、上述した地質情報CIM管理シス

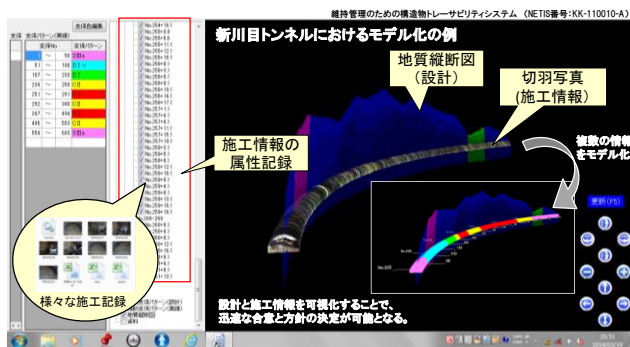


図-1 トンネル現場における CIM 管理システムの例

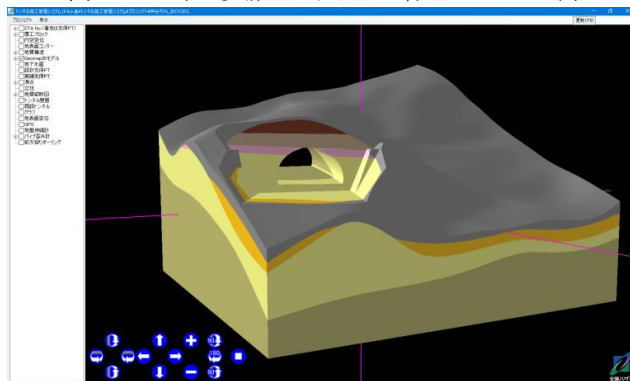


図-2 明かり掘削のり面における CIM の例

テムを上記実施事項に適用し、①土量管理、②地質観察記録作成・保存、③斜面計測監視に関する高度化・省力化を図る取り組みを開始した。本論文においては、本システムを土工現場において実際に適用した具体的な事例について詳述する。

2. 土工現場における地質評価に関する課題

(1) 2次元図を用いた地質状況評価

ダム建設や明かり掘削工事に際しては、トンネルや地下空洞など他の岩盤構造物と同様に、事前段階において、地質に関わる文献調査に始まり、地表面踏査やボーリング調査などの地質調査、弾性波速度測定などの物理探査および岩盤・岩石試験などの力学的試験が実施され、掘削法面の安定性評価、法面保護工の選定などが実施される^{5) 9)}。特に、ダムなどで長大法面を建設する場合などにおいては、調査は広範かつ詳細に実施されるため、データ量は膨大となるが、その結果は図-3に示すように、地質に関わる図面類は数十m間隔で作成される大量の2次元の地質平面図および縦断面図、横断面図として整理される。このため、調査段階で膨大な作業量が発生するとともに、法面の安定性やダム基礎評価で問題となる断層や高透水帯などの3次元的な分布が、作業を実施した地質技術者には理解されるものの、種々の設計を実施する土木技術者には分かりにくいなど、課題が多くあった。

また、実際の施工時においては、法面掘削の進捗に伴い、図-3に示すような実績の地質平面図が現地確認によ

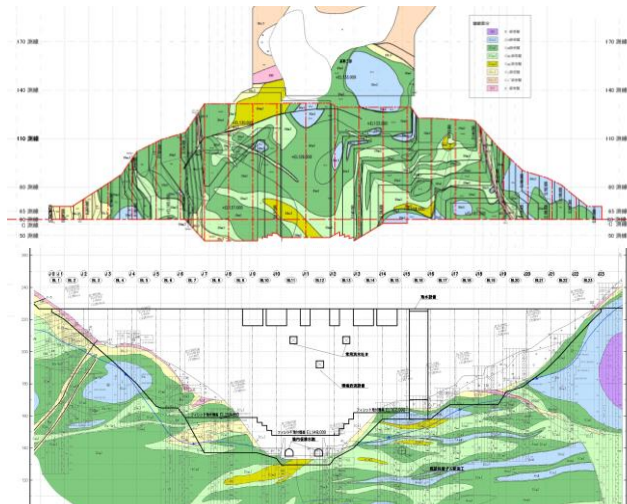


図-3 ダム基礎における地質平面図、縦断面図の例

り作成され、ダム基礎としての適正や法面の安定性など、事前に検討された種々の検討に関する妥当性が検証される。上述した検討については、現状、調査・設計段階と同様に多数の2次元図を用いて行われているが、上述した調査段階における課題と同様に、作業量が膨大となることや、地山不良部などの3次元的な分布状況の把握が困難となることが指摘されていた。

(2) 掘削体積数量算出精度

上述した、掘削工事における調査・設計段階における施工数量の算出および施工段階における実績の整理については、1章で示したように、事前調査の量と精度に関する限界から、従来より、その精度向上や新たな管理体制の構築が課題とされていた。実際の検討に際しては、調査・設計段階において、計画された掘削形状と調査により推定された地質状況をもとに、岩種ごとの掘削体積が推定される。そして、掘削時には、法面における地質状況を確認し、土岩判定など原位置における立ち合いを受け、施工数量が認定される。

この際、数量算定方法については、図-3に示すような数十m間隔で作成される複数の2次元図をもとに算出する平均断面法や、図-4に示すような3次元GISを用いた検討などが実施されてきた⁷⁾。ただし、これらの手法については、図-3に示すような複雑な地質状況を数量算定に反映することが困難であるため、ある程度の誤差が生じることが確認されていることともに、作業自体が煩雑であることが指摘されていた。

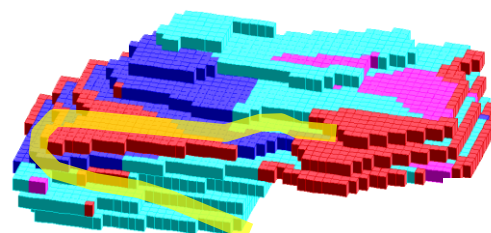


図-4 3次元 GIS を用いた賦存量管理モデルの例

これに対して、近年示されたICT土工の指針においては、UAVなどによる3次元測量結果より掘削前の原地形および掘削後の形状とともに精度よく測定し、その両者の差分を算出することにより、既往の平均断面法よりも正確な施工数量を算出する手法が提案されている。この検討方法については、両者の差分により既往の手法よりも正確に掘削体積を算出できるものの、ダム原石山における堤体材料適用岩盤部と廃棄土砂部ごとの施工数量、通常の土工現場における土岩判別区分ごとの体積など、詳細な地質区分ごとの数量算出が困難であると考える。

(3) 法面の安定性評価および斜面計測結果評価

軟弱な地盤地帯や地すべり地帯、あるいは都市部の近接施工のような難しい条件における建設工事では、斜面の変状や崩落に対して細心の注意を払う必要がある。これに対しては、地盤の安定評価や施工中の安全確保のため、多数の計測機器を設置し、施工の進捗に伴う地盤の状況を確認しながら工事を進めることが多い。

しかし、このような計測を行うにあたって、地表に設置もしくは地中に埋設する計測機器は、多種多様のメーカーや機器があることから、計測データを一元管理することが困難であった。さらに、降雨や地震などにより斜面の変状や崩落が発生した場合、状況判断をする上で計測データの包括的かつ迅速な処理が必要不可欠であるが、既往のシステムでは、各種計測器のデータがそれぞれ独立した形で整理されているため、総合的な安定評価や判定に時間がかかるという問題があった。

そこで、これらの問題を解決するため、多種多様の計測機器に対応でき、得られた計測データを統合して、インターネットを利用してリアルタイムに関係者へ配信する斜面計測監視ICTシステムを開発した⁸⁾(図-5参照)。このシステムについては、掘削のり面の安定性やトンネル掘削による低土被り部の変位が懸念されている施工現場で採用され、品質や安全性確保に寄与した(図-6)。

ただし、種々の具体的な検討を実施していく中で、より詳細かつ確実な評価を実施するためには、2次元図で実際の施工現場の広範囲における変位状況を詳細かつ俯瞰的に把握できない課題があることが判明した。具体的には、図-6に示すような小土被り部で空洞および地表面沈下が懸念されたトンネル坑口部における地表面計測において、多数の測定点において変位を自動計測していたものの、実際に変位をリアルタイム表示したのは、検討地点の最も土被りの小さな断面のみに限られていた。そもそも測定の目的は、多数の変位点のデータを参照して面的な地表面の挙動を把握することであったが、この図-6の表示方法では、当該断面におけるトンネル軸方向の変位状況や隣接する大量の測定点における変位状況との比較、そしてこれらを用いた全体的な総合評価を実施

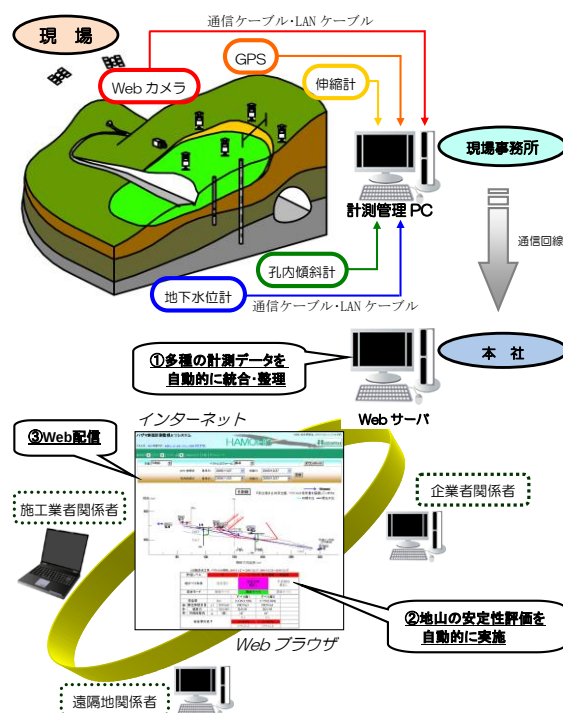


図-5 斜面計測監視 ICT システムの概念図

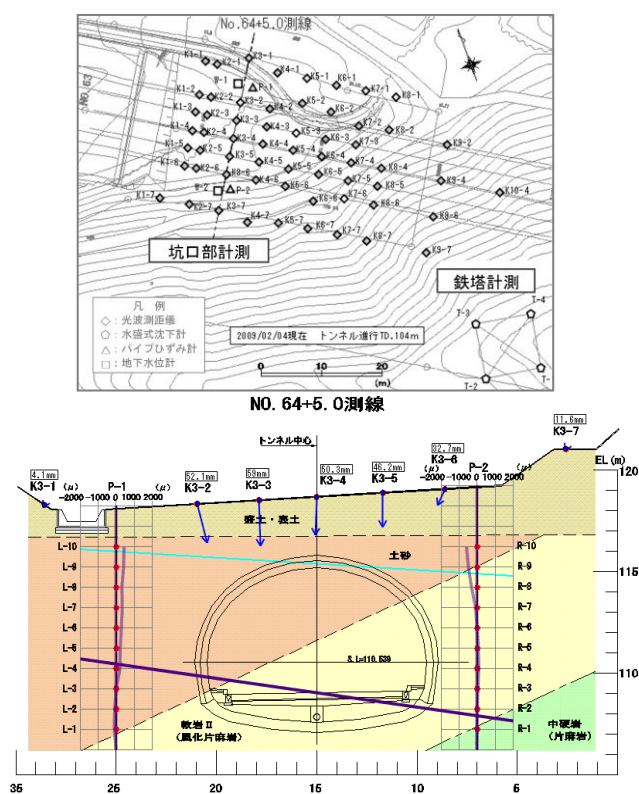


図-6 既往のトンネル地表面計測結果表示例

することは困難である。

このように、3次元的地質状況や地下水位の分布を素因、そしてトンネル掘削や明かり掘削など3次元的人工改変を誘因として発生する地山の挙動を総合的かつより高精度に評価するためには、2次元図で構成していた斜面計測監視システムを3次元的に再構築する必要があると考えられる。

3. 地質情報CIM管理システムの土工現場への適用

本章においては、2章で述べた既往の土工現場における課題を踏まえ、ICT土工における管理業務の高度化を目的として、筆者らが独自開発した地質情報CIM管理システムを活用した、(1)CIMを活用した土量管理、(2)CIMと写真モデルによる地質観察記録作成・保存、(3)斜面計測監視3D-ICTシステムの適用、に関して検討した内容について詳述する。

(1) CIMを活用した土量管理

「地質情報CIM管理システム」は、設計段階の情報より掘削のり面における地質状況の3次元的な分布を表示するCIMを構築するとともに、施工時に現場で確認する実際の分布状況をもとに逐次、モデルの更新を行うものである(図-7, 8)。その際、掘削箇所の体積算出については、既往の2次元図を用いた平均断面法ではなく、CIM上で3次元的な精度のよい算出ができるとともに、全体掘削量だけではなく地質区分ごとに分けて算出することが可能である。このため、当社施工のダム現場において、堤体材料掘削箇所の賦存量管理に適用され、採取岩盤と廃棄土砂ごとの数量管理を数%程度精度良く実施した⁷⁾ (図-8)。

ICT土工においては、2章で示したように、UAVなどによる3次元測量により時期の異なるモデルの差分により土量を精度よく算出するよう、指針に定められている。これに対し、3次元測量データを本システムに取り込むことも可能なため、既提案手法による実測の地形と掘削形状との差分により正確な掘削全体数量を算出することだけでなく、掘削単価の異なる地質区分ごとの数量算定が詳細に精度よく実施できる。これにより、指針の趣旨である、各種作業の省力化・高度化のみならず、経済性管理の最適化を図ることも可能となった。

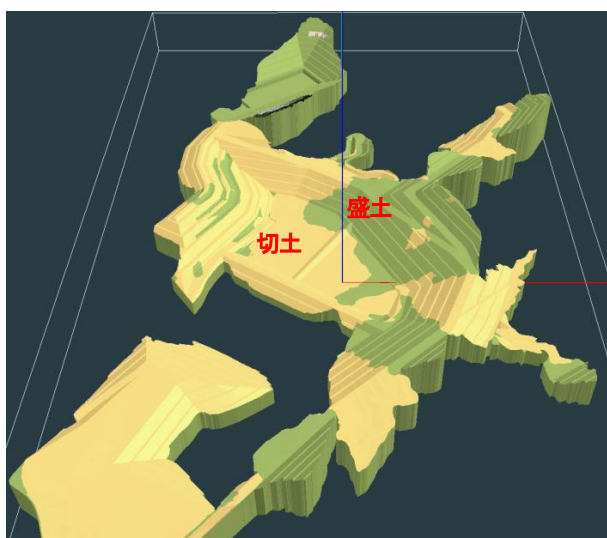


図-7 土工現場における CIM 表示例

(2) CIMと写真モデルによる地質観察記録作成・保存

土工現場においては、特に地質状況が不良な箇所において、図-3に示すような掘削のり面における地質スケッチを実施し、法面对策工などの設計変更箇所の設定根拠資料、維持更新段階における参考資料などとして利活用される。ただし、このような記録は、通常、現場に常駐していない専門技術者による作業が必要となることから、全ての土工現場で実施できない課題があった。これに対して、「地質情報CIM管理システム」の要素技術として、タブレットによる写真撮影および種々の簡易な操作により、CIM上にゆがみのない法面の地質状況を示した写真を貼り付ける機能を追加開発した(図-9, 10)。これにより、地質技術者が現場に赴かなくても、現場の土木技術者により法面の地質状況に関する記録を残すことが可能となった。なお、ICT土工現場で適用するUAVによる撮影画像についても、CIM上にゆがみのない法面地質状況写真を添付できる。

ICT土工においては、検査の省力化および維持管理段階における施工情報の有効活用の重要性が示されている。これに対し、当該技術を土工現場において広く適用することにより、現場技術者が容易に精度の良い地質記録を残せることから、現地立会いによる土岩判定結果や追加対策工検討結果の妥当性検証、維持管理段階における重点管理箇所の摘出など、品質管理、経済性管理、安全管理の高度化・省力化を図ることが可能となった。

(3) 斜面計測監視3D-ICTシステムの適用

「斜面計測監視3D-ICTシステム」は、「地質情報CIM管理システム」を活用し、多種の計測データをCIM上で3次元的にリアルタイムにクラウド上で表示するもので、本支店管理部門など遠隔地からも現場の状況を確認できる技術である(図-11)。これにより、3次元的な斜面の変位状況を瞬時に評価し、状況に応じた対策を速やかに実施することが可能となった。

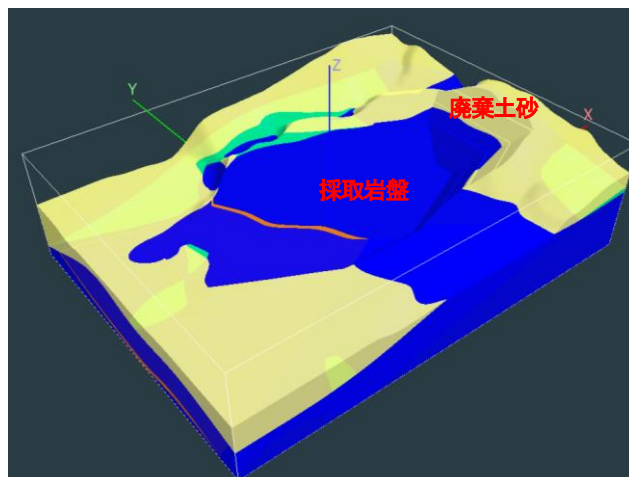


図-8 ダム堤体材料採取箇所における CIM 表示例

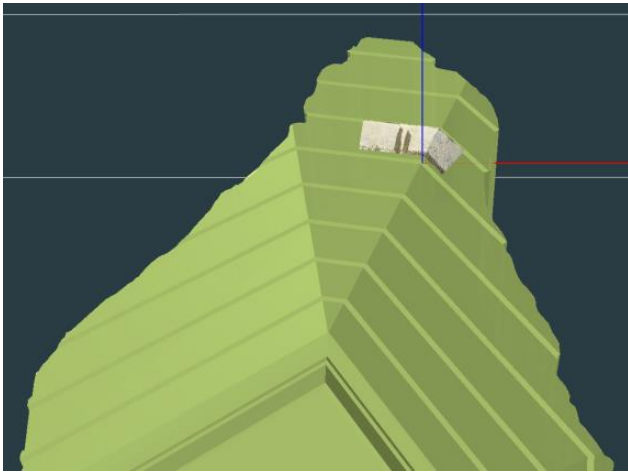


図-9 法面地質状況写真 CIM 表示例



図-10 タブレットによる法面写真撮影状況



また、上述した地形測量や土量管理に適用が検討されている UAV を活用した 3 次元斜面計測技術も本システムに組み込むことができる(図-12)。この技術は、UAV による通常の多数の写真撮影で高精度 3 次元モデルを構築し、時期の異なる 2 つのモデルの差分から鉛直変位量分布を表示するもので、計器設置困難な箇所や広範囲の経時的な変位状況を面的に把握するものである。

地山が不良な箇所や長大法面、あるいは急峻な法面など、施工条件の厳しい土工現場においては、上述したような斜面計測を実施し、施工の進捗や豪雨・地震などに伴う法面の変状の有無を確認しながら、施工を進捗させる。これに対して、上述したシステムの導入により、リアルタイムに斜面の変位状況を詳細かつ分かりやすく確認できることから、品質管理、安全管理の高度化・省力化を図ることが可能となった。

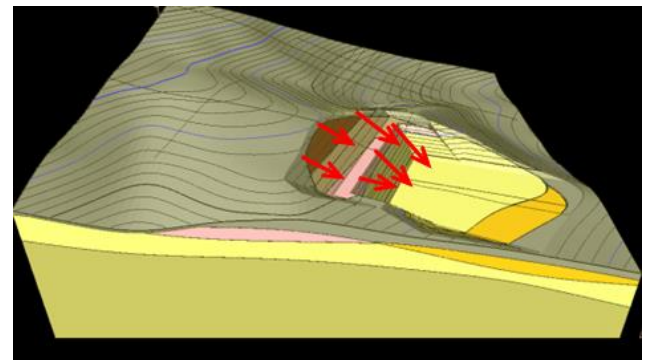
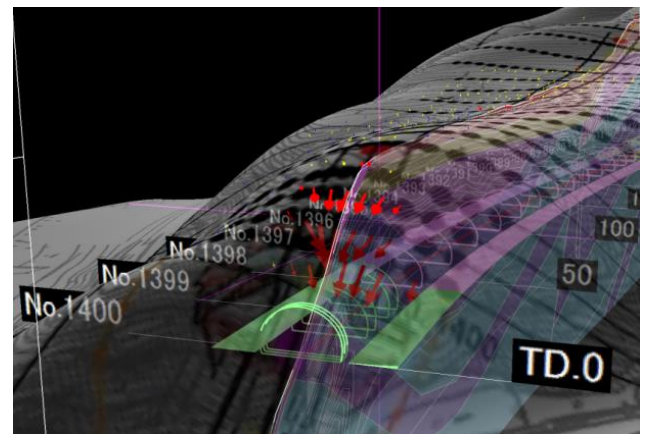


図-11 斜面計測監視 3D-ICT システム表示例

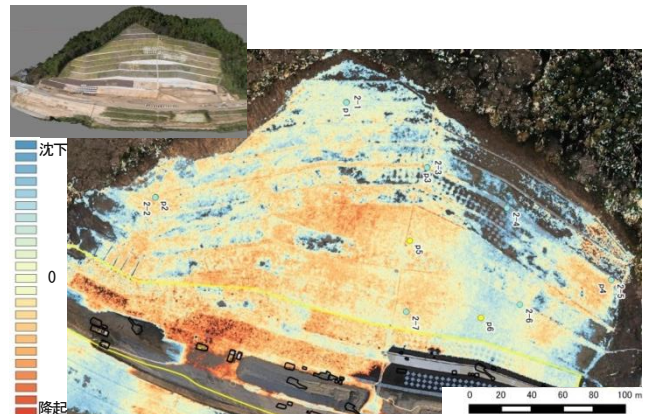


図-12 UAV を活用した 3 次元斜面計測結果表示例

4. あとがき

本論文においては、施工現場の地質に関わる施工情報や計測データなどをCIM上にて管理する、筆者らが独自に開発した「地質情報CIM管理システム」について、ICT施工現場における管理業務の高度化を目的として実施した種々の検討内容について詳述した。今後、本システムの運用事例を増やしていくとともに、新たな現場の要望に即した開発や改良を進めていく所存である。

これにより、調査時に得られる情報の量や精度に限界がある施工箇所の地質状況について、施工計画策定時における地質状況評価、施工時における実際の地質状況整理などの高度化を図ることができると考える。また、竣工から維持更新時における地質情報のデータベースとしても適用できる有用なシステムとして、広く施工現場に展開していく予定である。

さらに、上述した切土に関わる要素技術とともに盛土に関する新たな開発を進めていき、切盛土工における土配管理、盛土材料のトレーサビリティ管理、のり面保護工の進捗、品質、出来形管理などの施工情報などを、CIM上で一元管理できるシステムを構築する予定である。そして、このような現場のニーズに即した独自開発技術を施工現場へ積極的に導入・展開し、I-Construction

の考えに即した現場管理の高度化・省力化・自動化に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 鈴木篤：建設生産・管理システムのイノベーションとi-Construction, 土木技術資料 58-4, pp.6-7, 2016
- 2) 土木学会：CIM講演会 2015 講演集, 2015
- 3) 家入龍太：CIMが2時間でわかる本, 日経BP社, 2014
- 4) 宇津木慎司, 中谷匡志, 佐々木照夫：地質情報CIM管理システムの構築および施工現場への適用, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.72 No.1, pp.24-31, 2016
- 5) 土木学会：トンネルの地質調査と岩盤計測, pp.1, 1983
- 6) 土木学会：ダム地の地質調査, pp.2, 1986
- 7) 宇津木慎司, 中谷匡志, 藤井環希：ダム堤体材料の原石採取における賦存量CIM管理システムの構築, 土木情報学年次講演会, 2014
- 8) 山本浩之, 宇津木慎司, 大沼和弘：斜面計測監視ICTシステム「ハモニス」の開発と適用例, 電力土木 No.346, pp.74-78, 2010

(2017.9.21 受付)

CONSTRUCTION OF A GEOLOGICAL INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM AND APPLICATION TO ICT CONSTRUCTION SITES

Shinji UTSUKI, Masashi NAKAYA and Takuma KIZUKI

In bedrock construction projects such as dams and tunnels, it is important to have a detailed grasp of the geological situation at the project site and to perform planning and construction appropriate to the situation. To that end, in recent years there have been investigations of various construction information modeling (CIM) management methods that realize 3D modeling of the presumed geological situation and the results of actual geographic observations. This paper describes the creation of a construction site support system for geological risk, in particular issues related to geological information CIM management system development, system content, and application to actual projects.