

原石山における材料品質の定量評価と CIM を活用した品質管理の効率化

大成建設(株)東北支店 成瀬ダム原石山採取工事作業所 正会員 ○池田 千博
 同上 正会員 緒方 恒 , 平出 敬信
 大成建設(株)土木本部土木技術部 正会員 新井 博之
 大成建設(株)技術センター 正会員 山上 順民, 片山 三郎

1. 成瀬ダム原石山の概要

(1) 成瀬ダムの概要

成瀬ダムは、雄物川水系成瀬川に建設する多目的ダムであり、堤高 114.5m、堤体積 4,850 千 m^3 の台形 CSG ダムである (図-1, 図-2)。成瀬ダムの堤体材料のうち、コンクリート用骨材は、耐久性が必要な外部用 (A 材) と耐久性が不要の内部用 (B 材) に区分して使用し、A 材は購入材、B 材は原石山採取材を使用する。また CSG 母材 (C 材) は、貯水池内～ダムサイト下流域に分布する段丘堆積物とダムサイト左岸上流の赤滝原石山の破碎材を所定の品質となるようブレンドして使用することになっている。



図-1 施工位置

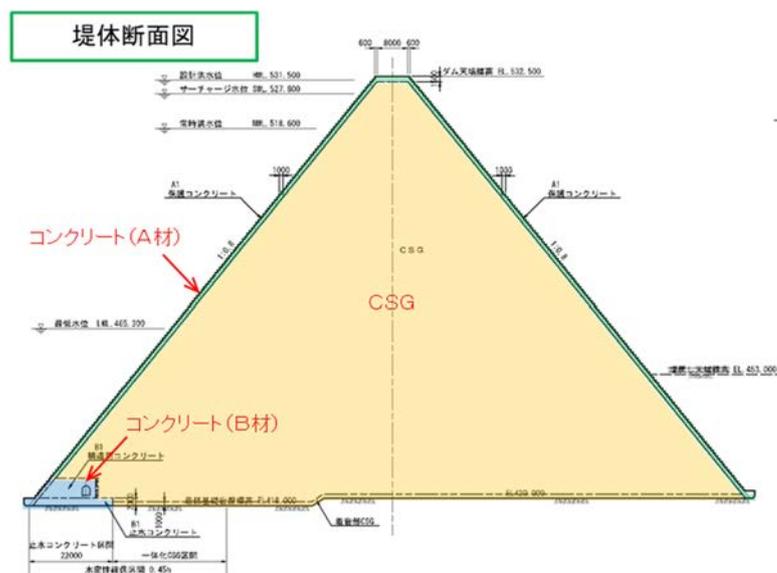


図-2 堤体断面

(2) 原石山の地質と材質区分

赤滝原石山には、新第三紀中新世の変質輝石安山岩 Ad、葎長凝灰岩層 (凝灰岩 Yt・凝灰質砂岩 Ys・凝灰角礫岩 Ytb)、赤川角礫岩層 (角礫岩 Akb・礫岩 Akg) が分布する。このうち変質輝石安山岩 (以下 Ad) は、原石山を構成する主要な岩体であり、CSG 母材 (破碎材) およびコンクリート用原石 (内部用) に使用する。Ad は、全体に硬質で亀裂も少ないが、一部に熱水変質による軟質化が認められるほか、白色鉱物で充填される発泡痕が特徴的に認められる。既往調査結果から白色鉱物含有量 (以降白斑量と称す) と密度・吸水率には相関があるため、白斑量を材質区分の指標としている (図-3)。また図-4 に示す原石判定フローの通り、原石山では地質・岩硬・岩相・白斑量により材質区分して材料採取し、B 材と C 材の区分は密度・吸水率によって最終判断する。当現場では、原石採取時の材料判定を従来の JIS 法試験では時間を要するため、迅速かつ定量化による客観的評価方法による代替試験法を採用している。¹⁾

キーワード：CSG, 原石材料判定, 削孔検層, 急速減圧法, ボクセル

連絡先：〒019-0803 秋田県雄勝郡東成瀬村椿川字立石 72 大成建設(株)成瀬ダム原石山採取工事作業所 TEL0182-23-0931

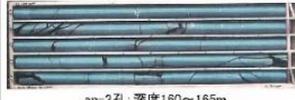
記号	代表写真		白班量
	コア	横坑	
0	 an-2孔: 深度175~180m	 TA-2坑: 深度31m	ほとんどなし 径2~5mm: 10個以下/m 径5mm以上: 1個以下/m 程度を目安とする。
	 an-6孔: 深度65~70m		
1	 an-2孔: 深度160~165m	 TA-3坑: 深度25m	点在 径2~5mm: 11個以上/m 径5mm以上: 2~5個/m 程度を目安とする。
	 an-8孔: 深度75~80m		
2	 an-2孔: 深度145~150m	 TA-1坑: 深度98m	ゴマシオ状 径5mm以上: 6個以上/m 程度を目安とする。
	 an-6孔: 深度85~90m		

図-3 赤滝原石山材料区分

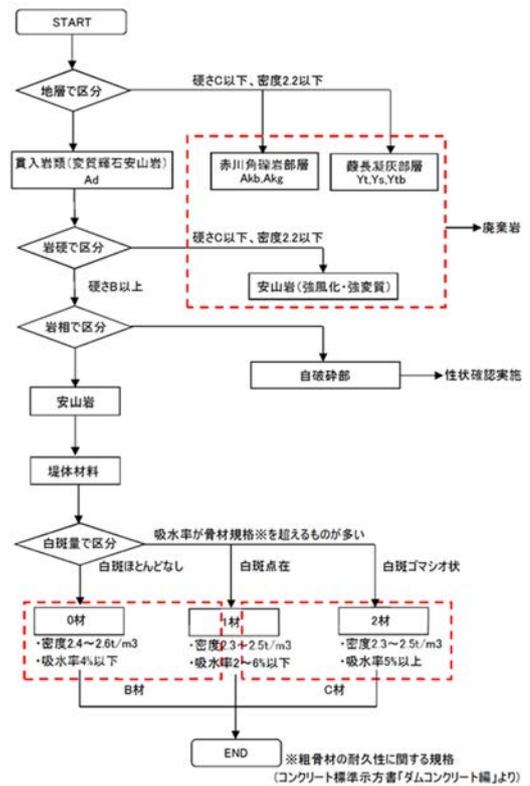


図-4 原石材料判定フロー

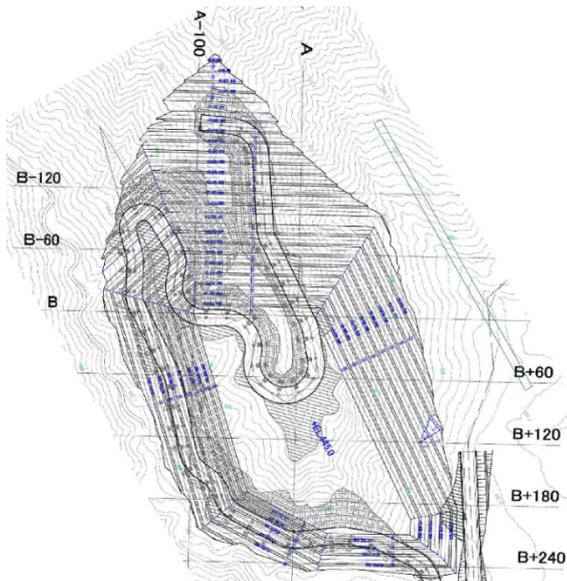


図-5 赤滝原石山平面図

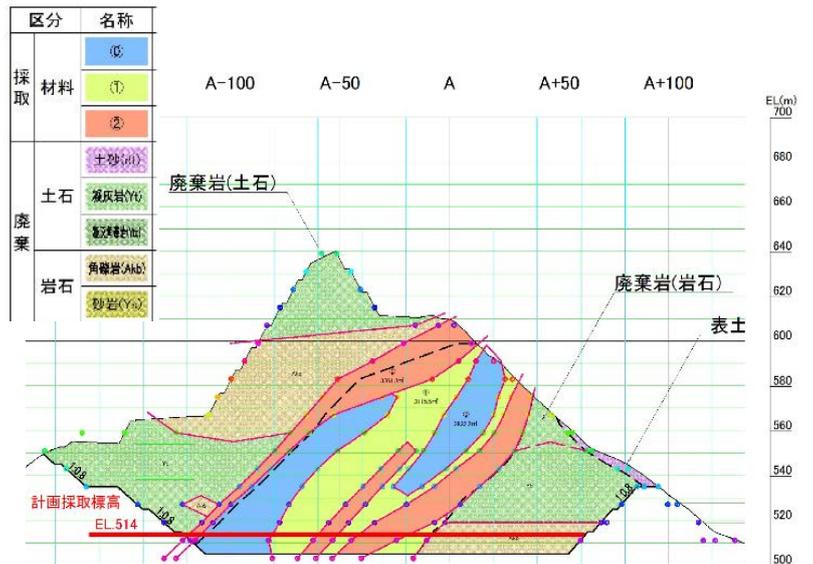


図-6 材料区分断面図 (B-60)

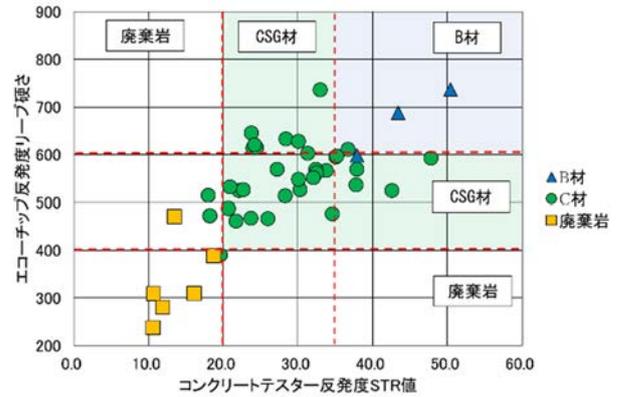
2. 迅速かつ定量的な原石判定手法

(1) オンサイト計測法

オンサイト計測法とは、変質作用に伴う岩石材料の物理・化学特性の変化を現場（オンサイト）で簡易な機器を用いて短時間で計測できる試験法で、各測定値と材料判定基準となる密度・吸水率等の物理量との相関性から材料判定を定量的に行う技術である。当現場では、岩石の変質作用の程度を利用する間接的評価手法より、岩石硬度を直接計測する評価手法の方が密度・吸水率との相関が明瞭であり、適用性が高いと考えた。そこでB材とC材、廃棄岩に3区分したAd（塊状）試料に対するエコーチップとコンクリートテスター試験（表-1）を実施し²⁾、図-7に示す判定閾値により発破後の岩石の材料判定を実施した。

表-1 オンサイト計測手法

名称	エコチップ	コンクリートテスター
装置		
装置重量	1.5kg	0.4kg
測定時間	約5秒	約5秒
測定量	・リーフ硬さ(はね返り硬さ) ・リーフ硬さ =(はね返り速度/衝撃速度) ×1000	・打撃波形から機械インパクト SZを求める Z=F(打撃力)/V(打撃速度) STR値=9.5×Z ⁴



区分	エコチップ反発度	コンクリートテスター
B材	リーフ硬さ 600超	STR値 35超
C材	リーフ硬さ 400~600	STR値 20~35
廃棄岩	リーフ硬さ 400未満	STR値 20未満

図-7 オンサイト計測法判定閾値

(2) T-iBlast Dam (ダム原石採取管理システム)

このシステムは、マシンガイダンスと削孔データ取得機能を有するインテリジェントクローラドリル(図-8)を使用して、発破前削孔作業時の打撃、回転、フィード圧、および削孔速度を計測することで削孔エネルギーを算出し、岩盤硬さの評価指標として使用するものである。また削孔結果は、3次元統合可視化ソフトGeo-Graphia(株式会社地層科学研究所)を本システム向けにカスタマイズした地山評価システムにより、地山内部の岩盤軟硬区分を3次元に可視化することができる。削孔エネルギーデータとボーリング柱状図を比較して、地層・材料区分毎に削孔試験を実施し、図-9に示す削孔エネルギー閾値によりAd材の採取・廃棄材の判定に活用した。



- A) GNSS アンテナ: 位置座標方位の取得
- B) 傾斜計 : マストの傾斜角度を計測
- C) リーチセンサ : 削孔長を計測
- D) 油圧力計 : 削孔エネルギーを計算
- E) タブレット PC : ガイダンスモニタ
- F) タブレット PC : 削孔検層モニタ

図-8 インテリジェントクローラドリル

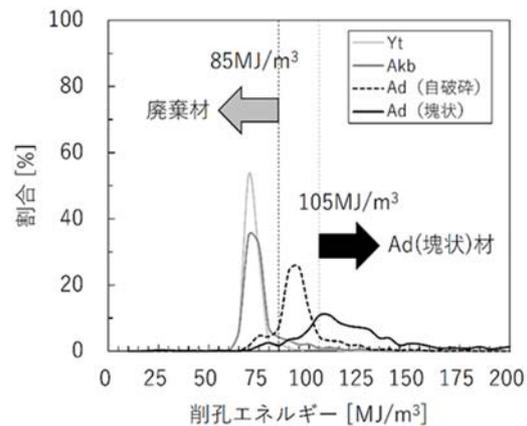


図-9 削孔エネルギー相対度数分布

(3) 急速減圧法

急速減圧法は、土粒子の密度試験における脱気方法及び透水試験での飽和度向上のための水浸脱気法等でも採用されている方法で、同様の原理を岩石に応用したものである。急速減圧法による吸水の原理は、真空ポンプによる減圧により試料の中の気泡を膨張させて外に追い出し、その部分を水に置き換えて飽和させるものである。急速減圧法試験装置の模式図を図-10に示す。

JIS法と急速減圧法の試験所要時間の概念図を図-11に示す。JIS法では試験結果を得るまでに約3日間か

かるが、急速減圧法では吸水時間を 30 分程度に短縮して表乾密度を推定できる。さらに JIS 法との相関式により絶乾密度・吸水率を推定して試料の物性値を迅速に評価できる。

(4) 現場での運用手順

代替試験法を利用した原石山材料採取管理の運用手順を以下にまとめる。これにより早期に定量的な岩質判断を行えるようになった。

①地山掘削前（発破前）

TiBlast Dam を使い、発破前の地山内部の岩硬区分を 3 次元可視化ソフトにより確認して、採取岩と廃棄岩の分布や発生量を事前把握し、発破後の材料積込運搬作業計画に活用する。

②発破後の切羽（運搬前）

切羽において、オンサイト計測法により B 材と C 材、廃棄岩の材料区分を一次判定する。また切羽でサンプル試料を採取して試験室に持ち込み、急速減圧法により二次判定を行う。

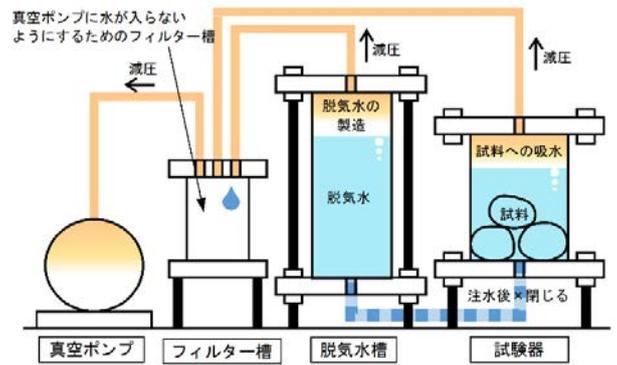


図-10 急速減圧法試験装置の模式図

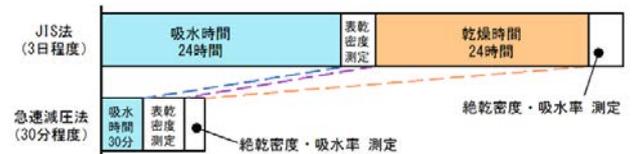


図-11 JIS法と急速減圧法の試験時間概念図

3. 品質管理の効率化による生産性向上への取組

(1) i-Constructionの背景と原石山で利活用する目的

成瀬ダム原石山では、貫入岩である堤体材料（変質輝石安山岩 Ad）と廃棄岩の分布状況が複雑に変化している。堤体材料の賦存は、原石山の縁辺部に B 材、中心部に向かって C 材が分布するが、地層境界は明瞭ではない。このため、堤体材料への廃棄岩の混入、B 材への C 材の混入が懸念される。

これらの現地特性を踏まえ、堤体材料分布状況の正確な把握による打設工程に則した安定した材料採取・供給を目的として、原石山の地質情報を 3 次元地質モデル（BIM/CIM）化して管理することとした。一旦モデル化した後は、日々の進捗に合わせて採取部の地質情報を更新することで、地質モデルの精度が高まり以降の採取計画へ反映させることで効率的な採取を行うことができる。

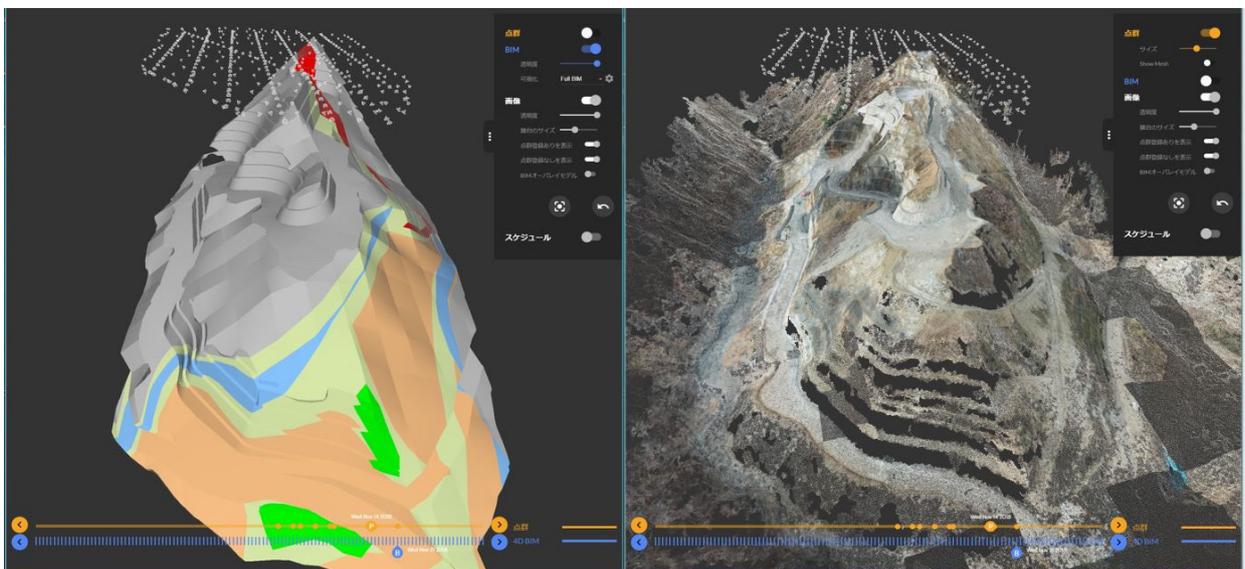


図-12 3次元地質モデルと点群モデル（起工時）

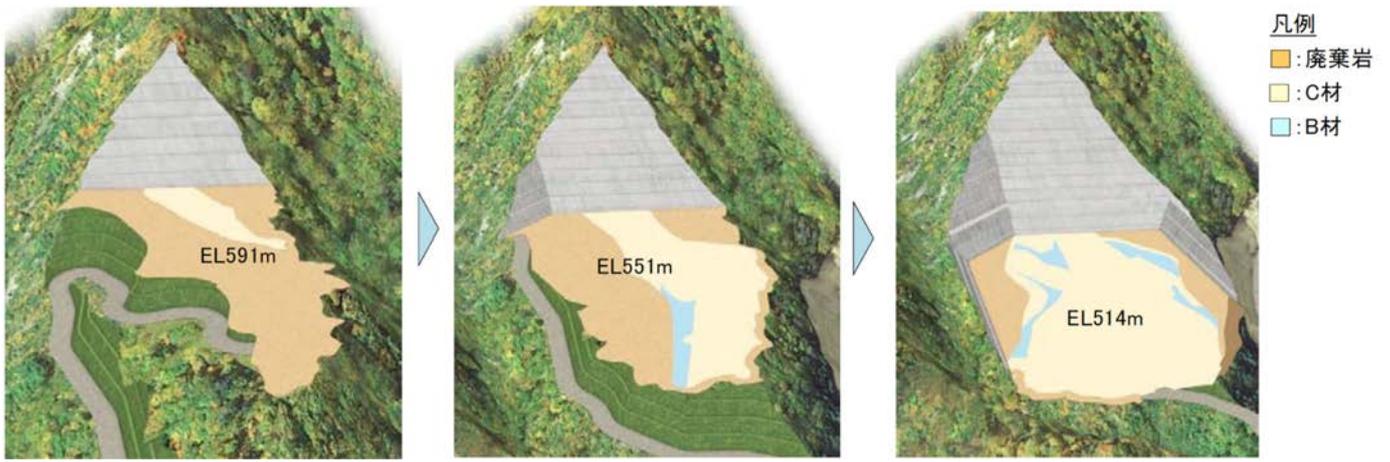


図-13 3次元BIM/CIMモデル（施工段階図）

(2) 従来BIM/CIMモデルとボクセルモデル

実施工での採取位置と品質管理情報の一元化を図るため、図-13に示すような計画段階におけるBIM/CIMモデルを作成し、各材料の賦存分布を視覚化できるようにした。BIM/CIMモデルとは、形状を表現した3次元モデルと物性値などの属性情報を組み合わせたものである。しかし、原石山のような広範囲で複雑な地形形状の3次元CADモデルはデータ量が膨大となるため、高性能PCでも処理に時間がかかることや専門オペレータが必要であることなどの運用上の課題があった。そこで3次元形状を簡易表現でき、データ構造が単純で形状演算処理が速いボクセル（簡易CIM）モデルによる管理とすることを採用した（図-14）。

表-2 従来モデルとボクセルモデルの比較

項目		従来法（3次元CAD）	ボクセルモデル（簡易CIM）
イメージ図			
作業時間 24孔当たり	データ入力	90～120分	24分
	データ出力	5～30分	5分
データ間の補間		任意作成可能	削孔中心均一法（□1m×1m）
共有方法		CADデータ交換	ブラウザ上閲覧
操作性		高度技術	シンプル
備考		品質データ紐付ソフト必要	

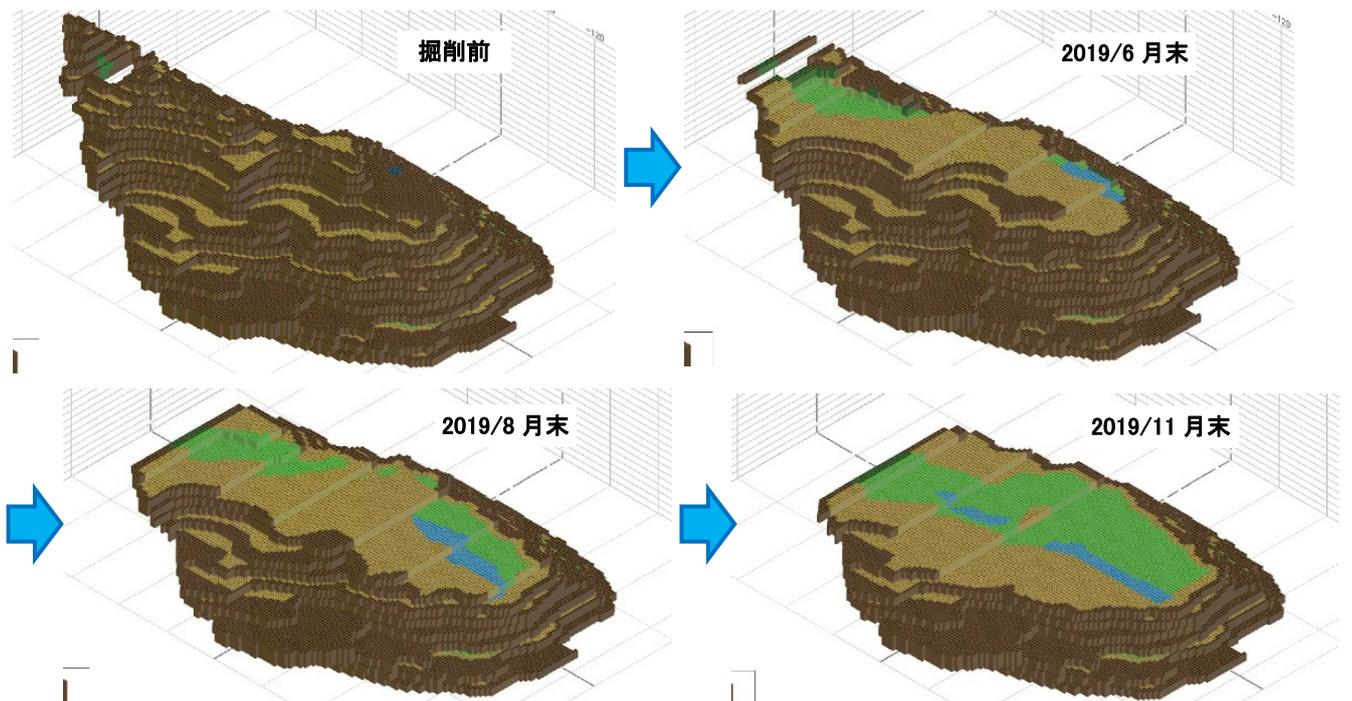


図-14 ボクセルモデル（施工計画段階図）

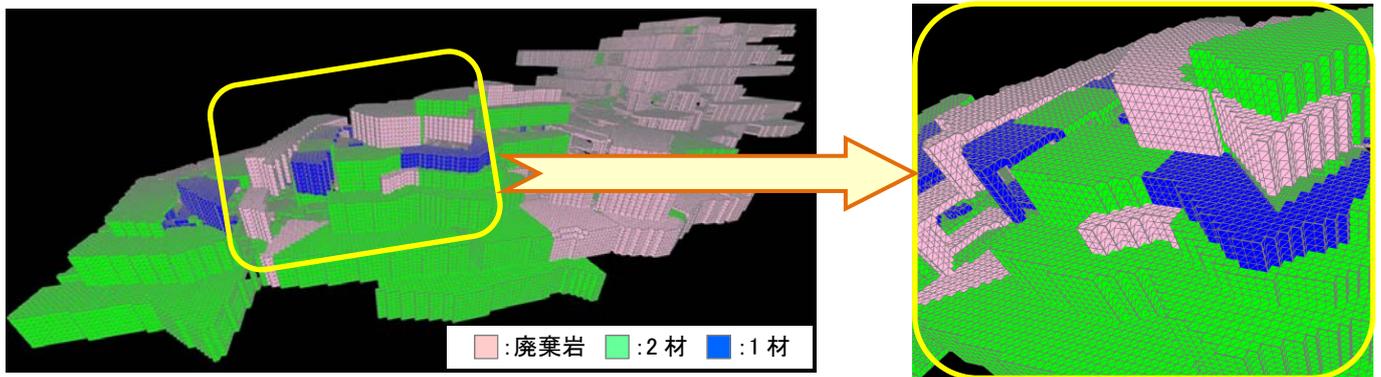


図-15 ボクセル実績モデル（材質区分表示）

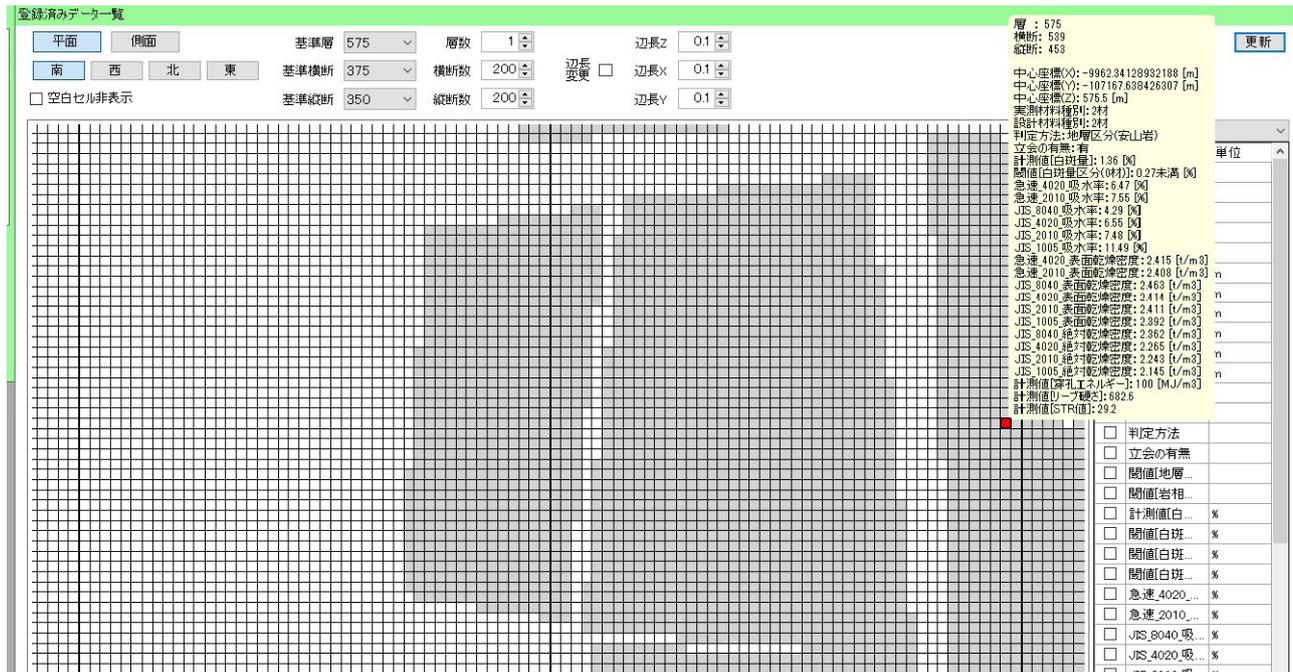


図-16 ボクセル属性の品質管理情報データ例

図-15 は、施工中の材料区分を実績表示させたボクセルモデルを示したものである。ボクセルは、1m×1m×1mのキューブになっている。各ボクセルには属性情報が付与されており、そのエリアにおける材料区分やJIS法による密度・吸水率データ、代替試験方法として実施しているオンサイト法や急速減圧法等の試験データ等の品質管理情報がクラウド上のデータベースで一元管理されている（図-16）。またこれを元に、品質管理図や帳票等を作成し、統計処理や維持管理へのデータ活用も可能である。

4. 今後の取組み

新しい材料判定手法による現場運用と品質管理情報をクラウド活用によるボクセルモデルへの連携、一元管理が可能となり、関係者間のタイムリーな情報共有と効率的で質の高い品質管理を実現できた。

今後期待できるさらなる効果として、現場の品質データをエビデンスとして確保できるとともに、従来の監督員・専門技術者による立会確認に代わる遠隔臨場による管理への活用も可能であり、現場業務の改善・効率化、生産性向上にも寄与できる技術として考えている。

参考文献

- 1) 新井博之, 山上順民, 市來孝志, 畠山俊一, 萩原潤: 成瀬ダム原石山における材料品質の迅速判定技術の試行, ダム日本, No.901,p.p.46-55,2019.
- 2) 山上順民, 水野史隆, 新井博之: 岩石材料評価へのコンクリートテスターの適用, 土木学会第 74 回年次技術講演会, III-321, 2019.