

ハッ場ダム仮設備計画における ICT 技術の活用

骨材輸送設備計画における 3D レーザースキャナ活用事例

藤 吉 卓 也

ハッ場ダムは、群馬県の吾妻川中流、長野原町に位置する多目的ダムで、洪水調節、流水の正常機能維持、水道、工業用水供給および発電を目的とする。原石山より採取された原石は骨材製造設備で破碎・篩分けされてダム堤体コンクリート用骨材となり、全長 9.36 km にわたって敷設されたベルトコンベアで、第 1 調整ビンを経由しコンクリートの練り混ぜを行う堤体左岸天端の第 2 調整ビンまで移送される。

ベルトコンベアの計画においては、現地の地形を測量調査し、それをもとに詳細な配置計画や設備仕様の検討を行うことが必要であった。本稿ではそのうちベルトコンベア計画段階において、3D レーザースキャナを活用した事例を述べる。

キーワード：ダム用仮設備、ベルトコンベア、ICT 技術、3D レーザースキャナ

1. はじめに

ハッ場ダムは、首都圏の上流域を流れる吾妻川に建設中の堤高 116 m、堤頂長 290.8 m、堤体積約 100 万 m³ の重力式コンクリートダムである。吾妻川は流路延長約 76 km におよぶ一級河川であり、利根川の支川の一つである。当ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道及び工業用水の供給並びに発電を目的とする多目的ダムである。

ダムおよび貯水池の諸元を表-1、ダム本体地域概要図を図-1、堤体上流面図を図-2、堤体断面図を



図-1 ダム本体地域概要図

表-1 ダムおよび貯水池の諸元

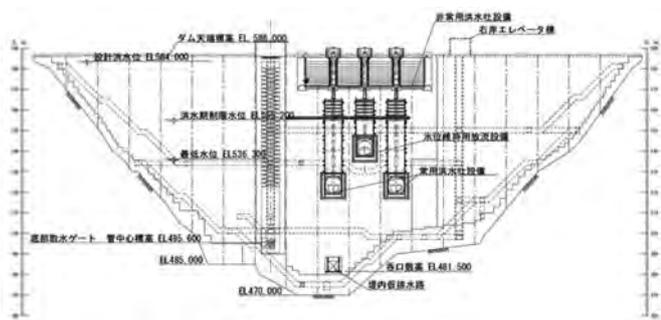
ダム		貯水池		
位置	群馬県吾妻郡長野原町(川原)黒まか	河川	利根川水系吾妻川	
形式	重力式コンクリートダム	集水面積	711.4km ²	
堤高	116.0m	湛水面積	約 3.0km ²	
堤頂長	290.8m	総貯水容量	107,500,000m ³	
堤体積	約 1,000,000m ³	有効貯水容量	90,000,000m ³	
ダム天端標高	EL586.000m	治水容量	65,000,000m ³	
基礎岩盤標高	EL470.000m	利水容量 (洪水想)	流水の正常な機能の維持	
洪水吐	常用洪水吐 高圧ラジアルゲート 4.85m×4.85m×1 門		水道用水	22,814,000m ³
			工業用水	973,000m ³
	非常用洪水吐 ラジアルゲート 11.0m×15.1m×4 門	計画推砂容量	17,500,000m ³	
水位維持放流設備	高圧ラジアルゲート	設計洪水位	EL584.000m	
取水設備	連続サイフォン式	サーチャージ水位	EL583.000m	
利水放流設備	φ2200×1 条	常時満水位	EL583.000m	
地質	安山岩	洪水期制限水位	EL565.200m	
		最低水位	EL536.300m	

図一3に示す。また工事概要を以下に示す。

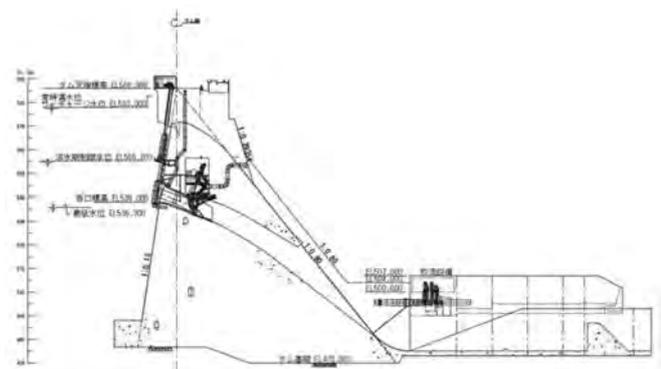
【工事概要】

工事名称 ハッ場ダム本体建設工事、ハッ場ダム本体建設二期工事

工事場所 群馬県吾妻郡長野原町
 工期 2014年8月21日～2020年3月31日
 発注者 国土交通省 関東地方整備局
 施工者 清水・鉄建・IHI 異工種建設工事共同企業体
 主要工種 堤体基礎掘削、骨材製造、堤体工、基礎処理工、閉塞工、仮設工



図一2 堤体上流面図

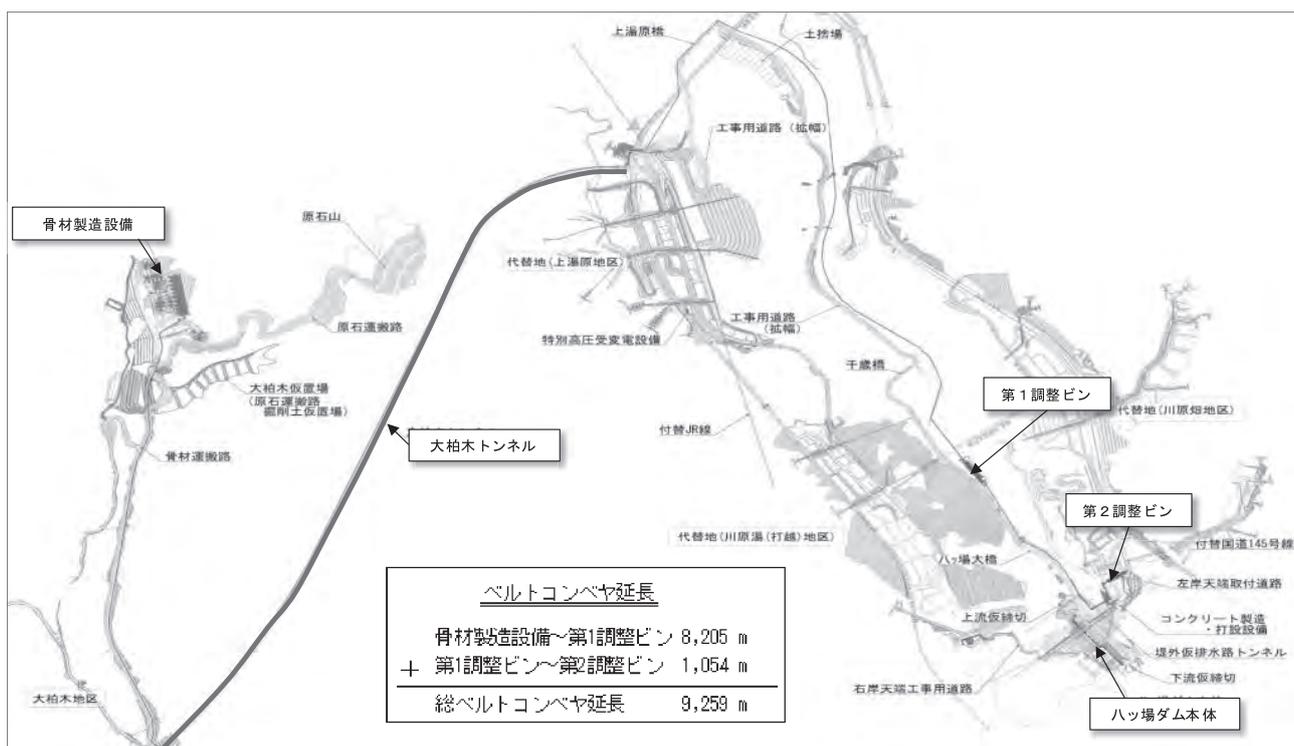


図一3 堤体断面図

2. 骨材輸送設備計画の概要

ハッ場ダム本体工事の特徴の一つに、工期短縮に向けた高速施工が挙げられる。堤体の打設方法においては巡行RCD工法を主体とし、月最大打設量は64,000 m³を計画していた。これらを実現するために、標準案に対してダム用仮設備の大幅な仕様変更が必要であり、堤体打設設備をはじめとして、骨材製造設備、骨材輸送設備、給排水設備等大幅な能力強化を行った。

そのうち骨材輸送設備については、標準案のダンプトラック（25t級ピーク時320台/日）による運搬から、全長9.36kmの骨材輸送用のベルトコンベア（図一4）に変更した。要因としては輸送能力の強化、近隣住民に対する騒音・振動・粉塵等の影響低減、大雨や雪などの自然気象による運搬の休止回避、東日本大震災復興工事や東京オリンピック対応による市場でのダンプトラックならびに熟練運転手の不足など多岐に



図一4 骨材輸送設備全体平面図

わたる。

骨材輸送用のベルトコンベアにおいては、その役割から大きく二つに分類される。一つ目は原石山付近に設けられた骨材製造設備のストックヤードから旧河原湯温泉駅跡地に設置された第1調整ビンまでのベルトコンベアを、TBC(Transport Belt Conveyor)と呼び、原石山から堤体付近まで、骨材を高速運搬することを目的とする。二つ目は第1調整ビンから堤体左岸天端に設けられた第2調整ビンまでのベルトコンベアをSBC(Stock Belt Conveyor)と呼び、堤体打設に伴い消費していく第2調整ビンの骨材ストックをリアルタイムに補充することを目的とする。3種類の粗骨材と砂を短時間で切り替えながら運搬するために、ベルト速度は同種類の骨材の高速運搬を目的とするTBCに比べ、やや低速での制御運転を行う。第1調整ビンと第2調整ビンを合わせて打設量2日以上以上の骨材ストックを可能とし、ベルトコンベアの故障対応等により、打設工程が遅れるリスクを大幅に低減した。

ベルトコンベアの計画においては施工や設備にかかるコストを抑えつつ、工事工程を短縮することが重要な課題であった。そのため原地形の造成にかかる工事を極力少なくしつつ、基礎やベルトコンベア等製作部材を最小限とすることが必要であった。計画に先立ち敷設ルート用地全域の踏査と現況測量を実施し、最適な敷設ルートを設定した。

ベルトコンベアの施工計画(基礎の設計や施工方法、ベルトコンベア組立時の重機配置等)においては、現況地形や季節構造物を考慮し、3次元的な計画を行う必要がある。手戻りが少なく、スピード感のある合意形成を行うためには、通常の測量データに加えて3次元点群データを活用することが有効であると考え、重要課題を抱える箇所については3Dレーザースキャナを用いて3次元モデルを作成し、各種検討を行った。

本稿では3Dレーザースキャナを実施工計画で活用した事例をいくつか述べる。

3. 既設構造物との干渉チェック (TBC7～13)

全長約3,000mの大柏木トンネルは、工事期間中、骨材輸送用ダンプトラック向けの工事用トンネルとして施工されたものである。TBCのうちベルコンNO.7～13は先に述べた大柏木トンネル坑口から県道下のボックスカルバートを抜け、不動沢の谷を超え、共用中の上湯原橋上を通り、主幹工事用道路をオーバーパスし旧JR吾妻線に乗り上げる線形が複雑な部分であ

る。高低差のある現地の地形、供用中の工事用道路、既設構造物が絡み合い、かつ他工事との作業間調整も多い区間であった。

2次元的な図面だけでは、ベルトコンベア設置後のイメージを得ることが難しいと判断し、既設構造物との干渉チェックおよび工事関係者間でのスムーズな合意形成の取得を主目的に、3Dレーザースキャナによって地形の点群データを取得し(写真-1)、それに計画したベルコン線形を重ねて3次元モデル(図-5,6)を作成した。



写真-1 3Dレーザースキャナ使用状況

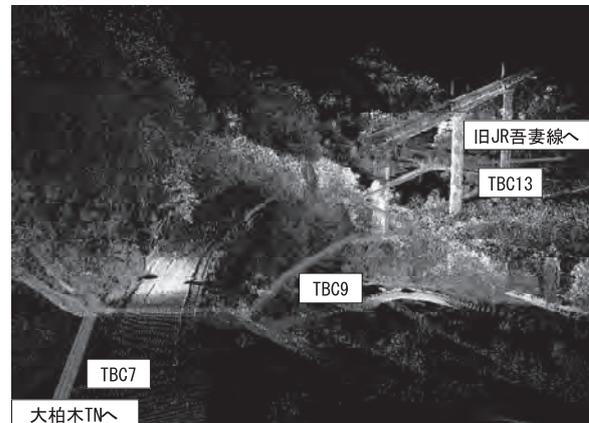


図-5 TBC7周辺の点群データとベルコン線形

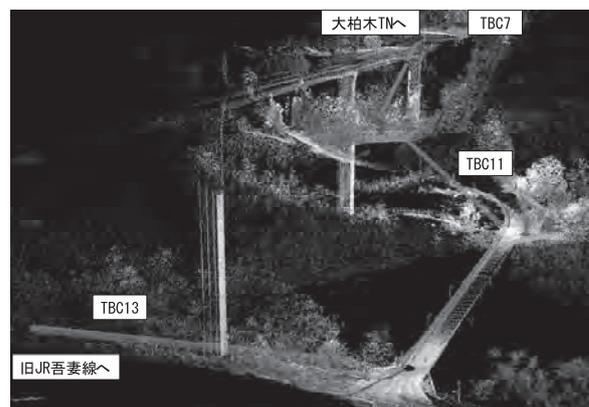


図-6 TBC13周辺の点群データとベルコン線形

ベルトコンベアの線形計画において、コントロールポイントとなる既設構造物は、県道アンダーパス部のボックスカルバート、不動大橋 P4 橋脚、上湯原橋、JR 吾妻線法面部フリーフレームおよび東京電力電柱であった。3 次的にこれらとの干渉を避け、長大なベルトコンベア組立工事を行うためには、3 次元モデルを用いて様々な視点から確認を行うことが非常に有効であった。

計画時における課題を以下に述べる。

- ①付替え道路の高さから旧国道 145 号線に降りてくる高低差を解消するために、ベルコンを所定の縦断勾配以内で計画すること。
- ②組立作業時の揚重機械の配置も含めて既設構造物との干渉を避けること。
- ③供用中の工事用道路の運用に極力影響を与えないこと。

写真一 2 不動沢の谷越え部、写真一 3 に不動大橋橋脚基礎付近から上湯原橋歩道部、写真一 4、5 に上湯原橋から旧 JR 吾妻線への乗り上げ部のベルトコンベア設置状況を示す。



写真一 2 ベルコン設置状況 (TBC10)



写真一 3 ベルコン設置状況 (TBC11 ~ 12)



写真一 4 ベルコン設置状況 (TBC12 ~ 13)



写真一 5 工事用道路部組立状況 (TBC13)

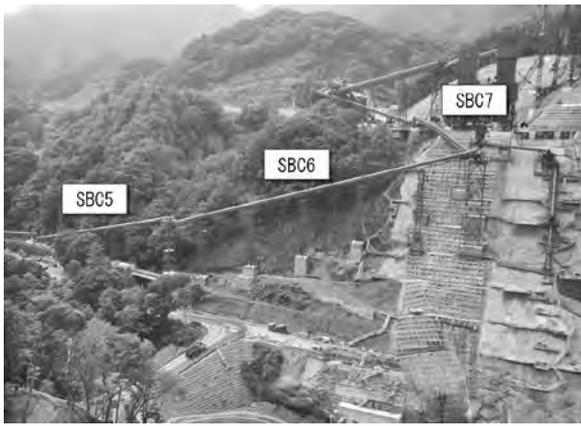
通常の平面図と縦断図を用いた計画に加え、3 次元データを干渉チェックに活用したことにより、手戻りもなく、スピーディーに線形計画や組立計画を行うことができた。また複雑かつ立体的なベルトコンベアの形状を工事関係者間で事前に共有できたことにより、各社の工事用動線の確保をはじめ作業間調整を円滑に進めることが出来た。

4. 近接する岩壁との干渉チェック (SBC5)

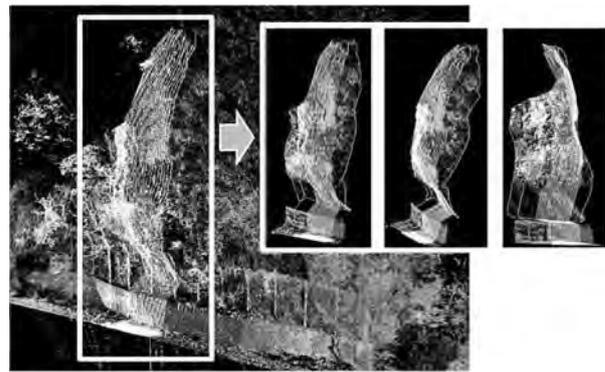
SBC5 ~ SBC7(写真一 6)は堤体左岸法面に沿って、旧 JR 吾妻線軌道敷 (EL515) から左岸天端仮設備ヤード (EL586) まで、標高差で約 70 m 上方へ骨材を運搬する直線コンベアであり、本工事における全仮設備計画のうち最も難易度が高い計画であった。

そのうち SBC5 は軌道上直線部分の中心線に沿って敷設される水平機長 121.3 m、揚程 29.6 m の直線コンベアである。

軌道敷直近の岩壁が軌道側に張り出しており (写真一 7)、その岩壁がベルトコンベアの設置に影響しな



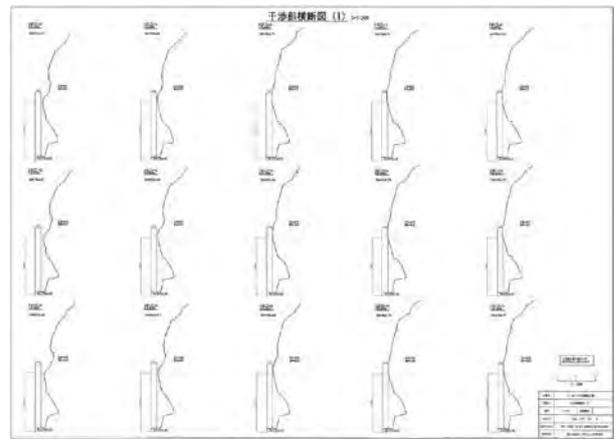
写真一六 SBC5～SBC7 全景



図一七 岩壁張り出し部の点群データ



写真一七 岩壁張り出し部の状況



図一八 干渉懸念部付近の各断面図

いか事前に判定し実施に反映することが課題であった。すなわちベルトコンベアの計画・設計段階で、張り出した岩壁とベルトコンベアのフレームとの干渉チェックを行い、必要に応じベルコン線形の見直しや岩壁の掘削などの具体的な対策を検討しなくてはならなかった。

張り出した岩壁部への通路はなく、測量を行うために軌道敷上に足場を組まなくてはならない状況であった。また岩壁は複雑な形状であり、ベルトコンベアとの干渉部分を立体的に把握するためには、岩壁表面の緻密な測量が必要であった。

よって3Dレーザースキャナを用いて岩壁部全体の形状を点群データとして取得し、計画しているベルコン図面と合わせて3次元的な干渉チェックを行った。(図一七、八)

干渉チェックの結果、岩壁張り出し部分とベルトコンベアフレームとは、最も近接する部分でもわずかな離隔距離があることが確認できた。しかしながら測量誤差や組立時の施工誤差、岩壁の小さな突起部など実施で干渉する要因は複数想定できる状況であった。

対応として、基本形状ではベルトコンベアの両側に

点検歩廊を設けているが、干渉の可能性のある10m程度のスパン(写真一八)については、岩壁側の点検歩廊を予め除いたうえで開口部は手すりや転落防止措置したのち組立作業を行った。

結果、運用上全く問題なく岩壁とベルトコンベアの間には十分な離隔を設けることができた。またフレーム揚重前に、地上でベルトコンベアの歩廊部分の改造を行ったことにより、現地での採寸や加工作業を無くすことに繋がり、組立作業の安全性も向上した。



写真一八 岩壁張り出し部

5. 急斜面部の大規模ベルトコンベアの計画 (SBC6)

SBC6は堤体左岸法面急斜面部に敷設される水平機長130.2m、揚程37.3mの直線コンベアである。

「SBC5からの乗継いだ架台高さを長尺の支持脚で保ちながら、急峻な左岸法面に沿って急勾配で上げていくベルトコンベア」

この概念をSBC6のコンベアフレームの基本的な設計概念とし、その後過去の実績を踏まえ、以下の条件を設定した。

- ①骨材が下方に逆走しないように、バルコンの傾斜角度を16度以内とする。
- ②バルコンフレームの支持脚の高さは30m以下とする。

また前述の基準を満足した線形計画であっても、基礎の位置の地盤が悪い、基礎の施工が困難な急峻な岩壁である、など実施工においての問題も考えられる。次の段階として、現地の地形データをもとに設計条件を満たしつつ、現地地盤の情報や基礎の形状を考慮した後、バルコン線形計画を行う必要がある。

しかし堤体左岸法面については、工事着工時に入手できた等高線図は古く、現地の岩壁の形状など細かな情報は反映されていないものであった。

本計画向けに大規模な測量が必要であったが、左岸法面の大部分が急峻な岩壁であること、ロープ等の介助なしでは人が登れないほどの急傾斜ということ(写真一9, 10)、保安林に指定されており伐採について制約が大きいこと、これら作業員が容易に近寄れない条件が多かったことにより現況の地形測量は困難な状況であった。

これら問題点の解決策として、3Dレーザースキャナを用いて、堤体左岸法面全体の3次元点群データを取得し、ベルトコンベア線形計画のための3次元モデルを作成した。測量は地表面の点群を精度よく取得するために、樹の葉が概ね落ちてきた初冬に行った(写真一11)。

3次元モデルでの机上検討(図一9)については、A案から始まり現地の地盤確認等設計条件の確認、基礎構築の施工方法やベルトコンベアフレームの組立にかかる問題点などから見直しを繰り返し、最終的に7案目であるG案(図一10)で決定した。

実施工段階では、伐採、基礎工事、コンベアフレーム組立、試運転調整を順次行った。これらの施工計画を行うにあたり、詳細な現況の地形情報は非常に有効であった。仮設備計画に使用した左岸法面全域の等高



写真一9 堤体左岸法面全景 (工事着手時)



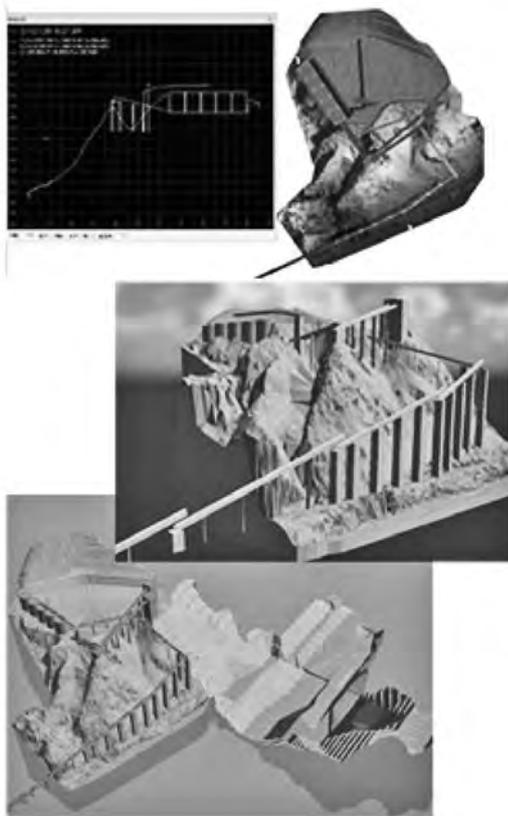
写真一10 堤体左岸法面状況



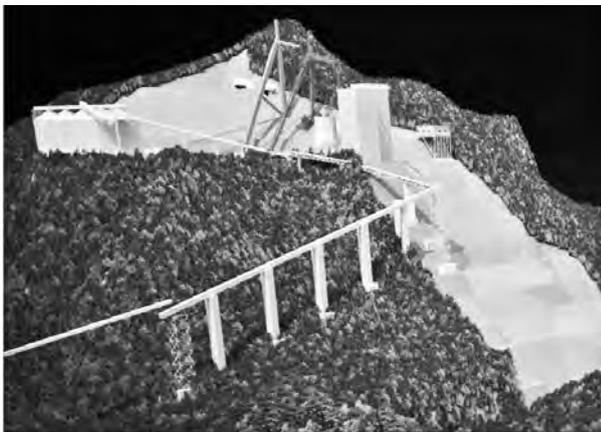
写真一11 3Dレーザースキャナ計測状況

線図は、3Dレーザースキャナにより取得した点群データをもとに作成し、計画全般に活用した。

ベルトコンベアの計画線形上は国有保安林であったため、保安林解除申請を行った後、伐採を開始した(写真一12)。谷側に向かって樹木の張り出しが大きく、枝葉のベルトコンベアへの干渉が危惧されたので、伐採ラインはバルコンセンターから平面図上で15mの離隔を設定した。



図一 9 3次元モデル検討例



図一 10 3次元モデル最終案 (G案)



写真一 12 SBC6 向け伐採状況

コンベアフレームの基礎は重力式とし、コンクリートを岩着させるものとした。基礎の施工においては、足場が悪い箇所での施工、安定度を確保するための大規模な基礎、堤体基礎掘削土砂運搬向け重ダンプとの競合等、工程短縮を求められるなか解決すべき問題点が多くあった。

コンベアフレームの設計において重要である基礎形状ならびに天端高さの設定においては、所要コンクリートボリュームをもとに3Dレーザースキャナで取得した現況地形データと照らし合わせて行った。また基礎の規模が大きくなるSBC6とSBC7の乗継ぎ部の構台基礎については、EL540とEL550の法面小段を利用して基礎を2分割して最小化を図った(写真一13)。



写真一 13 SBC6 基礎

SBC6コンベアフレームの組立は、主に2台の大型クレーンを用いて行った。組立前半は左岸天端より最大吊上荷重350tのクローラクレーン、組立後半は旧国道上より最大吊上荷重200tのクローラクレーンを用いて行った。クレーン作業計画においては、3Dレーザースキャナを用いて作成した左岸天端平面図や等高線図が有効活用された。

左岸天端(EL586)からのベルトコンベア組立作業においては、バッチャープラント2号機が3次的にクローラクレーンのジブと干渉するので組立開始時期をSBC6組立の後工程に調整した。左岸天端の法肩付近にクローラクレーンを配置し、バッチャープラント計画位置上空をまたいで、法面側に向けてジブを倒し部材の組付けを行った(写真一14)。

3Dレーザースキャナを用いて作成した平面図は、通常の平面図では反映されていない構造物等の現地地形が反映されることが特徴である。旧国道(EL510)からのベルトコンベア組立作業においては、重ダンプ走路との近接等、制約条件が多い施工ヤードにおい



写真—14 左岸天端からのSBC6組立状況



写真—15 旧国道からのSBC6組立状況

て、クローラクレーンの長尺ジブ（90 m）を活かした配置位置を事前に検討することが出来た（写真—15）。

6. 活用事例まとめ

大規模ベルトコンベアの計画における3Dレーザースキャナの活用事例をいくつか紹介した。機器の特徴として、広範囲の現地の地形データを短時間で取得することができること、人が近づけない高所や急峻な法面もしくは危険箇所の測量が可能であること、などが挙げられる。

これらの特徴を活用すれば、大規模もしくは測量が困難な現場の現況3次元モデルを短時間に作成することが可能である。3次元モデルの活用効果としては、既設の障害物との計画段階の3次元的な干渉チェック、精度の高い仮設備の最適モデルの検討、発注者から作業員までの幅広い合意形成手段などが考えられる。当時はまだ汎用性が低かった3Dレーザースキャナであったが、ハツ場ダムの仮設備計画において大きな効果を発揮した。

7. おわりに

建設就業者の減少、技術者不足といったこの国が抱える大きな問題に関連して3次元モデルの活用が急速に進んでいる。現在はドローン空撮等と合わせて、その活用場面が格段に広がってきている。これらは建設現場において非常に有用な技術であると考えられる。

今後共積極的にこれらの技術を取り入れ現場の生産性向上に向け取り組みたいと考える。

JICMA

【筆者紹介】

藤吉 卓也（ふじよし たくや）
清水建設㈱ 関西支店
土木第一部

