

# 砂防堰堤工事におけるICT活用について

四国山地砂防事務所 工務課 半田 佳奈  
 四国山地砂防事務所 工務課 工務係長 井上 博義  
 四国山地砂防事務所 重信川砂防出張所 出張所長 郷田 正博

四国山地砂防事務所の直轄砂防事業区域内にある愛媛県東温市の重信川左支川表川の左支川丁字ヶ谷川(図-1)において、平成29-30年度に土石流対策堰堤(丁字ヶ谷第2号堰堤)の土工(掘削)工事を実施した。本工事では、国土交通省が推進している『建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組i-Construction』を活用し、工事の効率化・安全性向上を図った。堤防盛土や道路盛土の分野では、既にICTを活用した工事の事例が数多くあるが、砂防分野での実施例は全国的にも少なく、四国で初となる取り組みであることから、ICTを活用して得られたメリット(図-3)と、課題及び今後期待する展望についてとりまとめた。

キーワード 砂防堰堤, i-Construction, ICT, マシンガイダンスバックホウ, 3DLS(陸上型3Dレーザースキャナ)

## 1. 堰堤諸元と工事の概要

丁字ヶ谷第2号堰堤の堰堤規模、土工規模は以下のとおりである。

- ・堤高：14.5m、堤長：67.5m、部分透過型堰堤
- ・掘削土量【土砂：800m<sup>3</sup>、岩：1050m<sup>3</sup>】

堰堤工事は、図-2に示す施工フローで実施し、現時点(令和元年5月末時点)では、砂防土工(掘削工)が平成30年9月に完了し、現在、鋼製堰堤工の施工中である。(写真-1)



## 2. 活用したICTの概要

起工測量、砂防土工(掘削工)、出来形管理においてICTを活用した。現場周辺の高圧送電線への影響を考え、起工測量・出来形管理は3DLS(陸上型3Dレーザースキャナ)、ICT建設機械の配備状況・レンタル費用を考慮し、掘削工ではマシンガイダンスバックホウを選定した。(表-1)

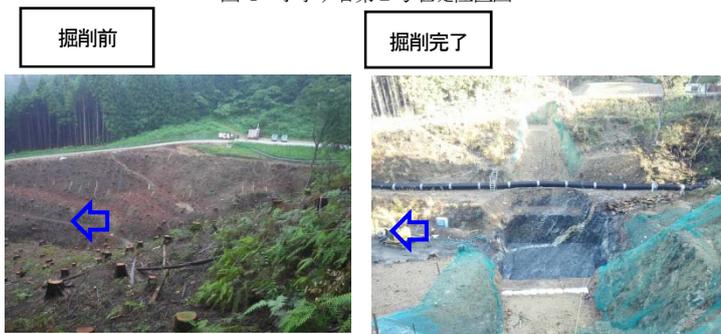
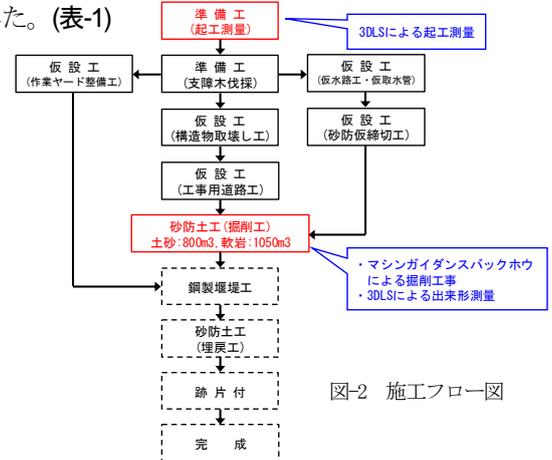


写真-1 現地状況写真

図-3 ICT砂防のメリット(丁字ヶ谷第2号堰堤)

ICT砂防の実施手順は次のとおりである。

(1) 起工測量 (3DLSによる測量)

LEICA社製のP30を使用し、施工箇所周辺の3次元データを取得し、点群処理ソフトウェアを用いて点群データを生成した(図-4)。また、中心線線形・横断形状等が描かれた発注図面をもとに、3次元設計データ(図-5)を作成した。

(2) 砂防土工 (掘削工)

掘削工は、マシンガイダンスに対応したKOBELCO社製SKシリーズ(SK200、225)のバックホウを使用した。

本工事における日当たり掘削土量とICT建設機械を使用しない従来の掘削工事の日当たり掘削土量を比較した(表-2)。現場条件が異なるため、一概には言えないが、日当たり掘削土量に大きな変化は見られない結果となった。

(3) 出来形管理

掘削工事完了後には、起工測量と同様に3DLSを用いて出来形を計測し、設計データと比較して出来形管理を行った。出来形管理に要した日数は、3次元出来形管理の方が、延べ人数・日数ともに従来に比べて増加した(表-3)。これは、不慣れな面も関係していると考えられるが、管理を掘削箇所全面(面管理)に対して行ったことも要因と考えられる(図-6)。

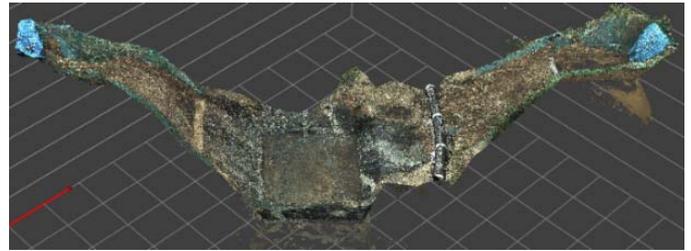


図-4 3DLSによる3次元データ取得状況

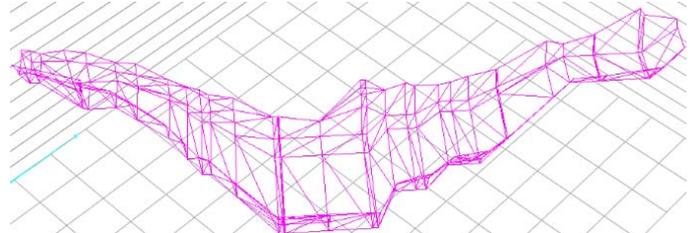


図-5 3次元設計データ

	出来形計測		データ解析		合計	
	人数/日	日数	人数/日	日数	延べ人数	延べ日数
従来手法での出来形管理	2	1	1	1	3	2
3次元出来形管理	2	1	1	5	7	6

※データ解析の内容について、従来手法では「出来形管理資料」の作成、3次元出来形管理では「点群データの処理→出来形管理図(ヒートマップ)」の作成のことを示す  
 ※従来手法出来形管理は「管理断面」のみで行う、3次元出来形管理は「掘削箇所全面」で行う

表-3 出来形管理に要した人数と日数の比較

作業内容	ICT建設機械の選択肢	採用	備考
起工測量	ドローン(UAV)による3次元写真測量 3DLSによる3次元測量	- ○	現場周辺に高圧送電線が存在するため不採用
掘削工事	マシンコントロールバックホウによる掘削 マシンガイダンスバックホウによる掘削	- ○	①マシンコントロールに対応したバックホウが不足 ②レンタル費用が高価なため不採用
出来形管理	ドローン(UAV)による3次元管理 3DLSによる3次元管理 RTK-GNSSを用いた管理 TSを用いた管理	- ○ - -	現場周辺に高圧送電線が存在するため不採用 起工測量に3DLSを用いたため管理も3DLSによる方法を採用

表-1 活用したICT建設機械の選定表



写真-2 3DLSによる3次元データ取得状況

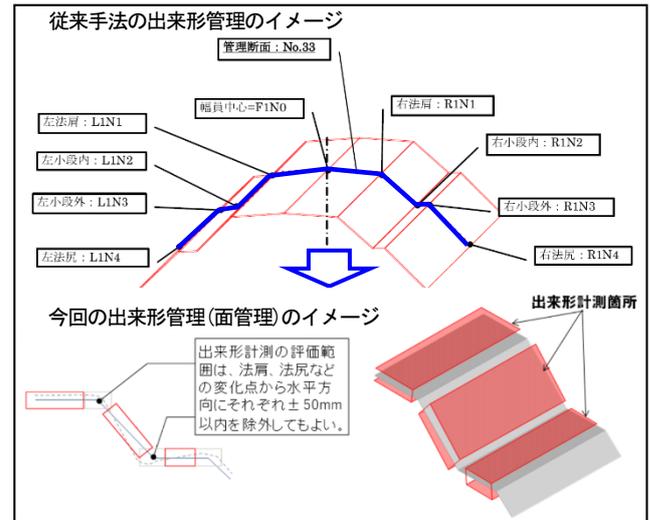


図-6 従来手法と今回の出来形管理の比較

3. ICT活用によるメリット

(1) 安全性向上

砂防工事は、一般的に急斜面での作業となることが多く、丁張設置など急斜面上での作業では転落等の危険を伴う。ICTを活用した今回の工事では、あらかじめ機械に入力した3次元データをもとに、モニターに掘削面までの距離などの情報が映し出され、操縦者は画面上で確認しながら掘削作業を行えるため、丁張設置が不要となり、急斜面での危険な作業が削減され、大幅に安全性が向上した。また、出来形測量においても、高所での測量作業が削減でき、安全性が向上した。

高所や急傾斜地での作業が多い砂防堰堤工事では、その恩恵は大きい。

	土砂			軟岩			土砂+軟岩		
	施工量(m3)	施工日数	日当り施工量(m3)	施工量(m3)	施工日数	日当り施工量(m3)	施工量(m3)	施工日数	日当り施工量(m3)
従来工法での掘削工事	920	25	37	980	30	33	1900	55	35
丁字ヶ谷第2号堰堤工事	800	22	36	1050	30	35	1850	52	36

※岩掘削工事は従来と同じ丁張を用いて施工を行ったことから、ICTを活用した土砂掘削について比較した。

表-2 日当り施工量の比較

## (2) 専門技能者不足への対応

オペレータはモニターに表示される設計とバケット位置との差(写真-4)を、リアルタイムで確認しながら作業できるため、経験の浅いオペレータでも正確な作業が行える。実際に、本工事においてバックホウ操縦経験の浅い若手技術者による施工を試行したところ、3次元設計データに沿った正確な施工ができた。

## (3) 生産性向上

本工事では、ICT施工前に従来の起工測量を行っていたため、起工測量に対して実際に要した延べ人数が比較できた。表-4に示す比較結果によると、延べ人数比で概ね1/2程度の工数を削減できた。日数でも約40%削減でき、ICT活用により大幅な生産性向上が図れたことがわかる。なお、データ解析に関しては、3次元起工測量の方が多く日数を要しているが、使用者の慣れや使用するパソコン、点群処理ソフトウェアの性能が向上することにより、日数を短縮が可能と考えられる。

## 4. 今回の工事で見えた課題

安全性向上、専門技術者不足への対応、生産性の向上の効果が得られた反面、砂防土工への本格的な活用に向けて、いくつかの課題が確認できた。



写真-3 高所での丁張設置状況 (従来工事)



写真-4 掘削状況とモニター画面の例

	基準・水準測量		起工測量 (横断測量)		データ解析		合計	
	人数/日	日数	人数/日	日数	人数/日	日数	延べ人数	延べ日数
従来手法での起工測量	2	3	2	12	1	2	32	17
3次元起工測量	2	3	3	2	1	5	17	10

※本工事ではICT施工前に従来の起工測量を行っていたので、本工事での比較をした  
 ※起工測量に必要な基準点水準点は従来通りの手法で設置した  
 ※データ解析の内容について、従来手法では「平面図・縦断面・横断面」の作成、3次元起工測量では「点群データの処理→起工測量データ(TINデータ)」の作成のことを示す

表-4 起工測量に要した人数と日数の比較

## (1) 岩掘削への対応

ICTバックホウは、掘削機本体の位置だけでなく、バケットの刃先の位置を正確に把握するため、ブーム・アーム・バケット等の各所に傾斜角を計測するチルトセンサーなどの精密機械を搭載(図-7)している。これらの精密機器が、岩盤掘削の際に使用する油圧ブレーカーの振動に対応できずに、本工事においては、岩掘削への適用ができなかった。このため、岩盤部は丁張を設置し、掘削を行った。(写真-5)

## (2) 費用

現状では、3次元の出来形計測の費用は施工完了時の1回のみが工事費用に計上されており、それ以外の中間段階は、施工者の負担となっている。降雨等の気象条件により工事を一時中断する場合や施工が長期間にわたる場合において、施工完了から出来形計測までに小段の法肩などが降雨により侵食されるケースが考えられる。このような場合には、侵食を生じた箇所などにおいて、部分的に出来形管理基準を満足しない箇所が生じる恐れがある。このような事態を避けるため、施工段階毎での出来形管理が行えるよう出来形管理に要する費用についての対応が望まれる。

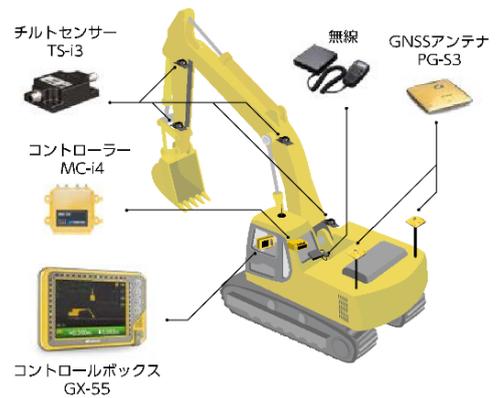


図-7 ICT建設機械のシステム構成の例



写真-5 岩盤部での丁張の設置

### (3) 出来形管理基準

今回実施した3DLSによる出来形管理では、掘削箇所全面において面管理を行うよう規定されているため、出来形管理に苦労した。特に岩掘削の法面においては、土砂に比べて起伏が大きくなりやすく(写真-6)、出来形管理基準を満足することが難しくなる。従来は作業員が重機と共に法面の上部から丁張をにらみ、オペレータに合図を送りながら少しずつ削っていたが、これに近い作業が必要となり、非常に多くの労力を要した。

岩掘削において面管理を適用する場合でも、従来の測点管理と同様の管理値を適用する現行のICT出来形基準では、実際の施工にあたっては、非常に厳しい結果となった。

今後、砂防土工でのデータを収集し、現場に即した形での出来形管理基準の適正化(砂防土工独自の管理基準の作成など)へ向けての検討が望まれる。

### (4) 現場における設計変更への対応

砂防堰堤の基礎は岩盤を基礎とすることが一般的であり、ほとんどの場合、掘削は岩盤へ及ぶ。土砂と岩盤では掘削勾配が異なり(土砂1:0.6, 岩盤1:0.3)、設計段階では数本のボーリング調査から推定した岩盤線に対して勾配を変化させる。現場では実際に掘削を進めて確認した岩盤線に対して設計変更を行う必要が生じる。

本工事においても、岩盤線の変更に伴う3次元設計データの修正を余儀なくされ、工事が一時中断する事態を招いた。現場で作業を中断せず連続的に工事を進める方策として、3次元データの自動修正ソフトの開発、あるいは岩盤や土砂等の地質条件に関係なく、床掘勾配を1:0.6に統一するなど対応が望まれる。



写真-6 土砂(左)と岩(右)の法面の掘削面の状況

## 5. 今後の展望

### (1) 岩掘削への対応

岩盤掘削の際に使用する油圧ブレイカーの振動に対応した強度を有する測定機器の開発が望まれる。例えば、油圧ブレイカー作業時に発生する打撃振動に弱いチルト

センサーの代わりに、油圧ストロークセンサーを採用したバックホウの適用により、岩掘削が可能となる可能性がある。

ICT建設機械メーカーに対し、岩掘削対応についての要望が全国から多く寄せられている状況であるとのことであり、今後の技術開発が期待される。

### (2) さらなる安全性の向上(無人化施工の導入)

近年の激甚化する災害の現場等を含め、砂防の現場には人の立ち入りが難しい危険な箇所が多く、そのような現場で安全な施工を行うため、ICT建設機械の更なる活用が期待される。

UAVを用いた航空測量やICT建設機械の遠隔操作化などの技術開発が進み、現地への適用例が増加している。



西尾レントオール株式会社「ICT施工機械及びその遠隔操作技術」より抜粋

図-8 無人化(遠隔操作システム)システムの例

## 6. おわりに

今回、四国初の取り組みとして実施した砂防へのICTの活用により、「高所等危険箇所での作業削減による安全性の向上」、「専門技術者不足への対応として若手技術者による施工精度の確保」、「起工測量における作業軽減による生産性向上」の効果があることが確認できた。一方で、岩掘削への対応や出来形管理基準等の課題についても明らかとなった。

今後は、岩掘削への対応や、さらなる安全性の向上として無人化施工に代表される技術開発等が進展することを期待しつつ、積極的にICTの活用に取り組み、建設現場の安全性・生産性の向上と魅力ある建設現場の創出に努めていきたい。