

堤体盛土工事における ICT 建設機械の活用とその課題

藤木 栄治・鶴飼 泰希

現在の建設現場において調査・測量から施工・品質管理まで幅広い範囲で ICT を用いた設計・施工が急速に普及しつつある。そうした中で特に建設機械に ICT を用いることは重機メーカー、建設会社、リース会社など多くの業者が参入してシステムの開発を行い実用化されている。本稿ではそうしたシステムの一つを用いて東日本大震災で被災した堤体復旧のための盛土工事を約 1 年間にわたり施工した実績から使用者の視点に立った効果や今後への課題について紹介する。

キーワード：災害復旧, 復興, ICT 建設機械, GNSS, マシンコントロール

1. はじめに

州崎地先海岸は宮城県東松島市にあり一級河川鳴瀬川水系鳴瀬川の河口部右岸側に位置した延長約 3 km の海岸である。付近は住宅地が広がり JR 仙石線が敷設された市街地を形成しており、海岸は海水浴場等で使用され近くには大型宿泊施設や運動公園や体育館もあり多くの観光客でにぎわっていた。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災によってこの海岸は甚大な被害を受けた。海岸線沿いにあった防潮堤（堤体高さ T.P+3.9 m）を超える津波（津波浸水高 10.35 m）が襲い、後背地である野蒜地区を含む東松島市では人的被害 1,109 人、家屋被害 15,080 棟の被害を被った。防潮堤については、ほぼ全延長にわたり法面崩壊・洗掘・全壊等が発生し復旧工事を行う必要があった。

今回の工事は震災で被災した防潮堤の撤去を行い、新たに L1 津波のせり上がりを考慮した堤防高（T.P+7.2 m）の防潮堤にかさ上げして復旧するものであり、堤防全体を 5 つの工区に分けた内の 1 工区で延長約 1.25 km の施工を行った。工事全体のフローとしてまず旧堤体の撤去を行い地表面の整形を行ったのちに軟弱地盤対策のサンドコンパクションによる地盤改良を行った。その後堤体盛土を行いさらに圧密促進のためのプレロード盛土を行った。沈下収束後にプレロード盛土の撤去を行い、捨石・砕石・割栗石の基礎工を行った後に被覆ブロックを設置する流れとなる（図-1）。工事数量としては堤体盛土工（プレロード盛土含む）が約 30 万 m³、護岸工が 2.1 万 m² に及ぶ。

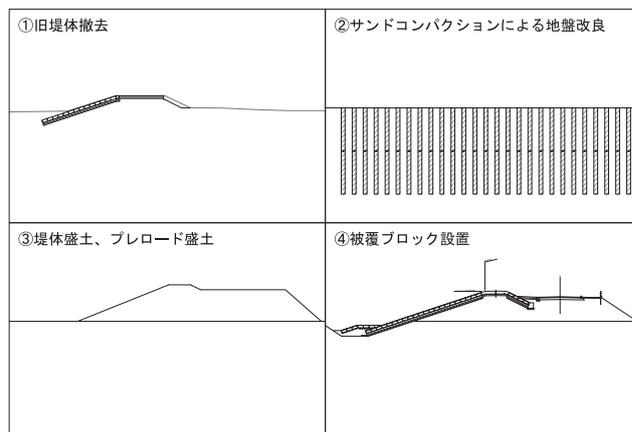


図-1 施工フロー図

この堤体盛土を行うにあたり ICT 建設機械を用いた施工を行ったことによる効果や今後への課題について紹介する。

2. 使用機械

この工事に ICT 建設機械を用いた目的は主に 2 点ある。1 点目は大量の重機が現場内を縦横無尽に走行するため重機に乗車しない作業員（手元作業員、測量作業員、誘導作業員など）を極力減らすことにより事故を防止すること、2 点目は今回の防潮堤工事では線形が曲線を描いていることもあり大量の丁張が必要となり人為的エラーによる測量ミスを削減することを目的として導入を行った。

ICT 建設機械を使用するにあたり、建機から得られたデータを処理するシステムを導入する必要があ

表-1 使用重機一覧表

機械の種類	作業内容	使用数量	使用延べ期間
ICT0.8 m ³ 級バックホウ	法面整形	1 台	12 か月
ICT21 t 級ブルドーザー	敷均し	2 台	20 か月
標準 0.8 m ³ 級バックホウ	法面整形	1 台	12 か月
標準 0.8 m ³ 級スーパーロングバックホウ	法面整形	2 台	15 か月
11 t 級振動ローラー	転圧	2 台	23 か月

盛土施工期間：2017年11月～2018年11月（12か月）

る。盛土工では主に敷均し・転圧・法面整形の3つの作業が発生するが、その中で敷均しと法面整形を1つのシステム、転圧は別の違うシステムを用いて施工を行った。

盛土工の敷均し・法面整形作業にはICT建設機械として0.8 m³ 級バックホウと21 t級ブルドーザーを用いて施工を行い、これに加えて標準タイプの0.8 m³ 級バックホウとスーパーロングブームバックホウを用いた（表-1）。これは、高額となるICT建設機械の使用を最小限にする事でコストを低減するとともに、機械的特性から誤差が大きくなるスーパーロングブームタイプのICT建設機械が実用化されていないからである。このICT建設機械とシステムの組み合わせは盛土工完了後の護岸工施工時において法面整形、捨石整形、碎石敷均し、割栗石敷均しにおいても活用を行っている。

盛土工の転圧作業には、ICT建設機械として11 t級振動ローラーを用いて施工を行った。こちらについては、ICT建設機械のみを使用している。

3. ICTシステム

(1) 敷均し・法面整形

最初に設計図面の2次元の断面図、平面図を用いて完成形の3次元図面を作成する（図-2）。この図面データをクラウド上に置きICT建設機械がインターネットを通して読み取ることで、座標管理している排土板・バケットの先端部を自動でマシンコントロールしていく。

敷均し作業を行うブルドーザーは、完成形の図面を敷均しの各層ごとに輪切りにした図面を読み取り、どの層を施工しているかを選択して作業を行う。運転手はキャビン内の液晶画面を確認することで、敷均し設計高さに対しての高低差を色と数値で視認しつつ作業を行う（写真-1）。

法面整形作業を行うバックホウは、完成形の法面形状に対してバケットがどのように接しているかをキャビン内の液晶で確認しつつ、またどの程度すきとる必

要があるかを数値で明確に把握することができる（写真-2）。

施工した出来形については、排土板・バケットの軌

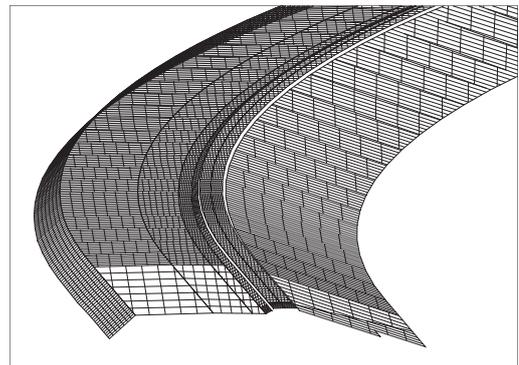


図-2 完成形の3次元図面



写真-1 ブルドーザー内 液晶画面



写真-2 バックホウ内 液晶画面

跡データをクラウドに送りクラウド内でデータ処理し、事前に登録してあるパソコンを用いて確認・出力を行うことができる。同時に出来形だけでなく、日々の進捗数量や重機稼働時間、消費燃料などのデータについてもリアルタイムで確認することができる。

(2) 転圧

敷均しのブルドーザーと同様に各層ごとの図面を読み取り、施工している層を選択して作業する。施工中は、キャビン内の液晶画面を用いて34 cmのメッシュに区切られた施工面が転圧回数により着色されることで、事前に定められた既定の転圧回数を満足しているかを確認することができる(写真—3)。得られた転圧データはクラウドを通して集計され、指定した範囲について転圧回数の分布状況を確認することができる(図—3)。

4. ICT 建設機械を用いた施工による従来工法との比較

(1) 敷均し・法面整形

ブルドーザーによる従来施工では、層厚を明示した盛土定規を目安に敷均しを行っており盛土定規が設置

してある付近については層厚の確認が容易だが、離れた箇所についてはレーザーレベル等を準備しなければ確認する方法がなかった。ICT 建設機械を用いることで排土板の高さをマシンコントロールにより自動で制御し、定められた層厚を確実に施工でき面的に均一な仕上がりを容易に確保することができるようになった。また盛土工を行うにあたり試験施工で転圧による沈下を加味した敷均し厚を定めるが、盛土定規では転圧後の完成厚は明示されているが、敷均し厚は明示されていないためオペレーターの間感によるものが大きかった。しかし、ICT 建設機械を用いることで全ての施工面において、確実に敷均し厚を確保することができることにより、敷均しのムラによる品質低下を防ぐことができるようになった。

バックホウによる従来施工では、法面丁張を使用して整形を行っていたが、バケットの刃先の位置をマシンコントロールにより自動制御することで丁張を全く使用することなく整形作業を行うことができるようになった(写真—4)。表法は法長が20 m以上に及ぶため通常の法面を断面方向に3分割して施工を行う必要があったが、その際に上段と下段についてICT 建設機械を用いて施工を行い、中段部分についてはICT 建設機械ではないスーパーロングバックホウを用いた。これはロングブームのICT 建設機械が存在しないためであり、上段・下段を先行して掘削することにより法面を丁張の代替として利用して掘削を行った。また、上段・下段の掘削についてICT 建設機械での法面整形を5 m間隔で行いその間の部分については標準タイプのバックホウを用いて施工を行った。これもICT 建設機械による法面整形された面を丁張の代替として掘削を行うことで、作業の高速化と費用の低減を図った。法面整形作業は特にオペレーターそれぞれの癖や経験年数などにより特徴が出やすく、オペレーターが変更になった場合や違うオペレーターとの



写真—3 転圧回数表示状況



図—3 転圧回数表示状況



写真—4 法面整形状況

施工範囲の境界部分に段差が出やすくなるといったことがあったが、ICT 建設機械ではこのような問題が解決された。

(2) 転圧

振動ローラーによる従来施工では、試験施工によって定められた転圧回数を全ての敷均し箇所で満足するようにどこを何回転圧したかをオペレーターが記憶しながら作業を行っていた。そのため、オペレーターのミスにより転圧回数が不足している箇所が発生する場合や逆に転圧回数が規定回数を上回っている箇所が発生することがあった。ICT 建設機械を導入することで、34 cm のメッシュで区切られた施工範囲を運転席内の液晶画面で常時確認し、どの場所を何回転圧したかが分かるようになっており、人為的なミスの発生を防ぎ過不足の少ない効率的な転圧作業を行うことができるようになった。また、この転圧した回数について、事務所内のパソコン画面でモニタリングすることができるため、ダブルチェックによる管理を行うことが容易となった。さらに、その転圧した回数のデータがクラウド上に蓄積されるため、いつ・どの場所を・何回転圧したかを過去にさかのぼって瞬時に調べることができるため、トレーサビリティに優れたシステムであった。

特に頻発しており時間の経過とともに減少していく傾向があった。具体的なトラブル内容として多かったのが現場で測定した実績や転圧回数などがクラウド上のシステムに反映されないトラブルであった。このトラブルの影響で一時的に作業を中止せざるを得ない場合があり、1年間の施工期間中で中止期間はのべ4、5日程度あった。トラブルの原因についてヒアリングを行った結果、施工内容や現場条件によっては施工当初にトラブルが発生しやすく、経験やノウハウを蓄積することで減少させつつあるとのことであった。対処方法として早期にトラブルを解決することができるようにバックアップ体制を充実させることが非常に重要で

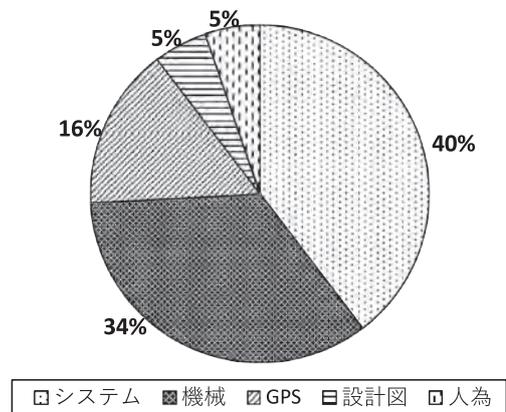


図-5 ICTトラブル集計図

5. ICT 使用時のトラブル

図-4, 5, 表-2 は ICT 施工時に発生したトラブルをまとめたものである。主にシステムと機械に起因するトラブルが全体の約 75% であることがわかる。最も発生したトラブルはシステムに起因するものであり、このトラブルは ICT 導入開始から 3 か月の間に

表-2 ICTトラブル一覧表

要因	内容
システム	ICT のシステムに起因するトラブル
機械	ICT 機器に起因するトラブル
GPS	GPS やインターネット通信に起因するトラブル
設計図	作成した 3D 設計図に起因するトラブル
人為	人為的ミスに起因するトラブル

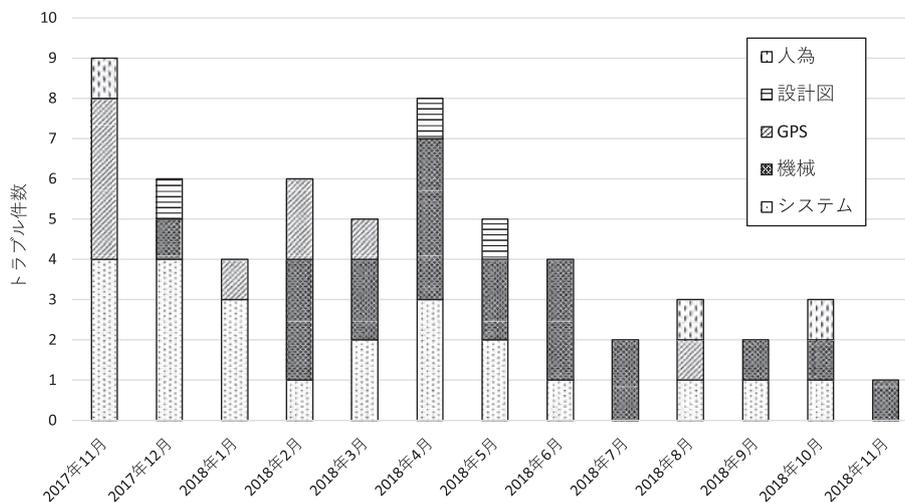


図-4 ICTトラブル経時変化

ある。

次に多かったトラブルは ICT 機器等の機械に起因するものであり、キャビン内のモニターが作動しないなどのトラブルがあった。このトラブルは施工開始時にはあまり発生していないが、3か月を経過した付近から増加している。施工に伴い機器に累積された疲労がトラブルの原因ではないかと考えられる。特に大きなトラブルとして振動ローラーの GPS アンテナが脱落するといった致命的なトラブルが数回発生した。これは、振動ローラーについては ICT 関連機器を建機完成後に後から追加で設置したため、強度が弱かったことや機械自体に日常的に振動が加えられるため故障を起こしやすい素地があったことが考えられる。対応方法として通常のグリスアップなどのメンテナンスに加えて ICT 建設機械の場合、ICT 関連の故障を起こしやすい場所を日常的に点検する必要がある。さらに、ICT 関連機器を後から設置するタイプではなくメーカー出荷の時点で ICT 機器が装備されている建機を選択することで、故障の原因を減らすことができると考えられる。

6. 施工費用の比較

一般重機を用いた場合と ICT 建設機械を用いた場合について、施工費用の比較を行った。費用の比較を行うにあたり施工期間が重要になってくるが、今回の工事では一般重機を用いた施工を行っていないため、どの程度の歩掛になるかについて明確に判明していない。そこで、一般重機と ICT 建設機械を用いた時に必要となる施工期間・使用重機台数が同等であった場合として比較を行った。各機械の延べ使用期間についてまとめた表が表-3となる。これらを踏まえて金額を比較した表が表-4となる。

機械費に含まれている費用は、使用機械全てのリース費、燃料費、さらに ICT 関連費用として3次元図面作成費用やクラウドシステム使用料等を加えたものの合計となる。比較した結果、ICT 建設機械のリース費用が高価であること（約2倍）、ICT 関連費用が追加で必要となることが要因で ICT 建設機械を用いたほうが高額になることが分かった。

労務費については、各機械のオペレーター費、手元作業員費、測量費、管理職員費の合計とした。比較した結果、一般重機を用いた場合の方が高い結果となっ

表-3 使用重機 比較表

工事内容	施工数量	一般重機での施工		ICT 建設機械での施工	
		使用機械数	施工期間	使用機械数	施工期間
提体盛土および整正	約 138,700 m ³	0.8 m ³ 級 BH 2台	約 24.0 ケ月	ICT BH 1台	約 12.0 ケ月
道路盛土および整正	約 154,900 m ³	21 t 級ブル 2台	約 20.0 ケ月	ICT ブル 2台	約 20.0 ケ月
		11 t 振動ローラー 2台	約 23.0 ケ月	ICT ローラー 2台	約 23.0 ケ月
		0.8 m ³ 級 SLBH 2台	約 15.0 ケ月	0.8 m ³ 級 SLBH 2台	約 15.0 ケ月
				0.8 m ³ 級 BH 1台	約 12.0 ケ月
合計	約 293,600 m ³	計 8台	計 82.0 ケ月	計 8台	計 82.0 ケ月

表-4 金額比較表

名称		一般重機での施工	ICT 建設機械での施工	概要
		金額 (千円)	金額 (千円)	
【機械費】				
機械費	リース費	26,000	53,000	使用重機全て
	燃料費	35,000	35,000	
ICT 費	ICT 関連費用	0	7,000	初期費用含む
小計		61,000	95,000	
【労務費】				
労務費	重機オペレーター	55,100	55,100	
	手元作業員	7,000	0	
	測量工	25,900	1,100	
管理費	元請職員	48,000	36,000	
小計		136,000	92,200	
合計		197,000	187,200	

表—5 重機使用台数別 金額比較表

重機使用台数	一般重機での施工	ICT 建設機械での施工
	金額 (千円)	金額 (千円)
1 セット	135,500	115,600
2 セット	197,000	187,200
3 セット	258,500	258,800

た。これはブルドーザーによる敷均し作業時に高さを確認する手元作業員が必要となることや丁張の設置といった測量業務による費用が発生すること、また出来形・出来高数量確認のための管理職員の人数を増やす必要があることが要因であった。

機械費・労務費を合計した結果、ICT 建設機械を用いた方が今回の施工条件においては約 1,000 万円安価になることが分かった。これは、ICT 建設機械費用の方が一般重機を用いた時の測量工等による費用よりも安いことが理由であり、今回の工事の様にバックホウ、ブルドーザー、振動ローラーを各 2 台 (2 セット) 使用した場合には ICT 建設機械を使用した方が費用面でメリットがあることが分かった。また同一施工規模 (測量工、元請職員は同一) で施工期間を 1 年と仮定して重機の使用台数ごとに一般重機での施工と ICT 建設機械での施工について比較した (表—5)。その結果 3 セットまでは費用はほぼ同じとなることが分かった。重機の台数が増えるごとに差額が少なくなることから、測量の手間が多大な小規模工事について ICT 建設機械を導入するメリットが大きいことが分かる。

7. おわりに

施工者として ICT 建設機械を用いて施工を行ったときに求めるものは、安全に安価で正確な施工を早く可能であるかどうかにある。その中で今回の工事での 2 つの目的、作業員削減による安全確保、測量削減による正確な施工についてはどちらも十分な成果を上げることができた。特に安全について、従来の方法ではエリア全体に丁張を設置して重機オペレーターがこれを確認しながら作業を進めることとなるが ICT 活用工事の場合、丁張は一切不要となるため手元作業員、測量作業員、誘導作業員による作業が発生しない。これは重機近傍での生身の人間の作業が存在しないこと

であり、重機と人の接触災害が発生する要因がないことを示している。今後建設業に携わる人口が減少することが予想されているが、この労働人口の減少を ICT 建設機械の使用によって補えるだけでなく現場での作業員削減が事故発生確率の低減に寄与している。

今後について大きく 3 つの要望があり、1 つは ICT 建設機械の導入費用 (リース費) の低減である。一般重機のリース費の約 2 倍であり、工事費全体として比較するとメリットがあることは上述の通りだが導入時の障害になっていることは否めないため、より安価になることを要望する。また、2 つ目は、ICT のシステム・機械の改良である。ICT 部分が精密機器であるためか一般重機と比較して故障が多い。現場条件にかかわらず安定して使用できるように修正する必要がある。3 つ目は、ICT 建設機械の汎用性の向上である。使用する ICT システムによって使用する重機のメーカーが固定されることが多い。重機については施工業者所有のものを使う場合、ICT 建設機械を所有していても使えない場合がありどのシステムであっても ICT 建設機械であれば使用可能となるようにすると ICT の間口が広がることが考えられる。

謝 辞

最後に、本資料のとりまとめにあたり情報提供をしていただいた宮城県仙台土木事務所の監督職員の方々に御礼申し上げます。

JICMA

《参考文献》

東松島市 HP：東松島市の被害状況
宮城県東松島市：あの日を忘れずともに未来へ～東松島一心～ 東日本大震災の対応と復旧・復興について

〔筆者紹介〕

藤木 栄治 (ふじき えいじ)
大成建設㈱
東北支店土木部
工事課長



鶴飼 泰希 (うかい ひろき)
大成建設㈱
東北支店土木部
作業所長

