

株式会社名村造船所

三次元自動計測による出来形管理の生産性向上

古賀 誠也*

Koga Seiya

田中 滉士*

Tanaka Koshi

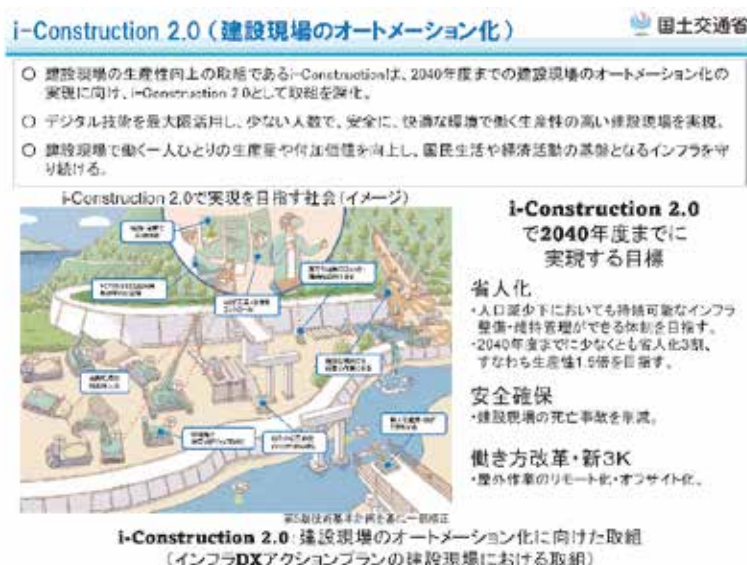


近年、人口減少や高齢化が進み、今後の建設業における慢性的な人手不足解消のため、国土交通省はこれまで進めてきた建設現場に自動化技術、ICT の活用を推進する「i-Construction」の取組を深化し、「i-Construction2.0」として、建設現場のオートメーション化を目指している。橋梁架設現場における作業の中でも出来形計測に着目し、その生産性の向上を図るため、上部工ワンマン測量システム「オートレポ」を当社施工の橋梁架設現場に試験的に導入、検証を行った。本稿ではその機能と生産性向上効果について紹介する。

1. 緒言

2023 年 4 月に国立社会保障・人口問題研究所が公表した「日本の将来推計人口(令和 5 年推計)」によると、総人口は 50 年後には現在の 7 割に減少し、65 歳以上の人口はおよそ 4 割を占め、生産年齢人口は 2040 年には 2 割減少することが予測されており、建設業において、将来の担い手不足が懸念されている。国土交通省では、この将来的な建設業の担い手不足に備え、2016 年度から建設現場の生産性

向上を目指し、あらゆる建設生産プロセスで ICT を活用する等、「i-Construction」を推進し、建設現場の生産性を 20%向上することを目指してきた。2024 年 4 月より、これまで進めてきた「i-Construction」の取組を深化し、更なる抜本的な建設現場の省人化対策を「i-Construction2.0」として、デジタル技術を最大限活用し、建設現場のオートメーション化の実現を目指し、2040 年度までに、建設現場の省人化を少なくとも 3 割、すなわち生産性を 1.5 倍以上

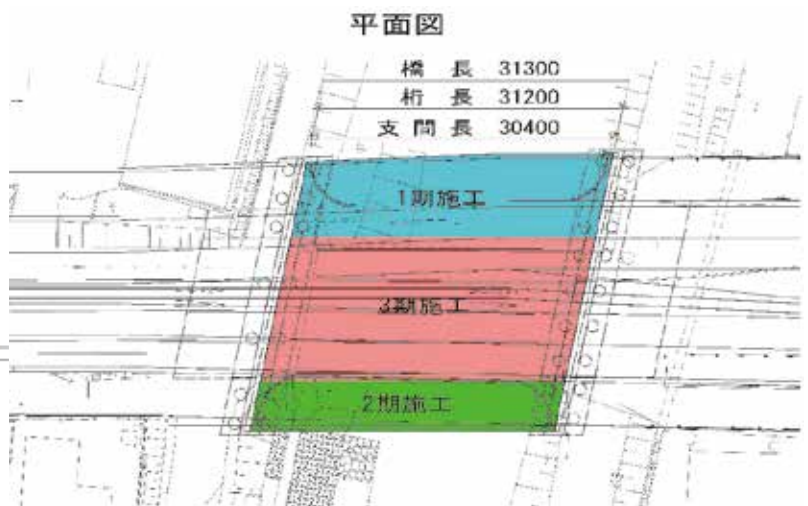
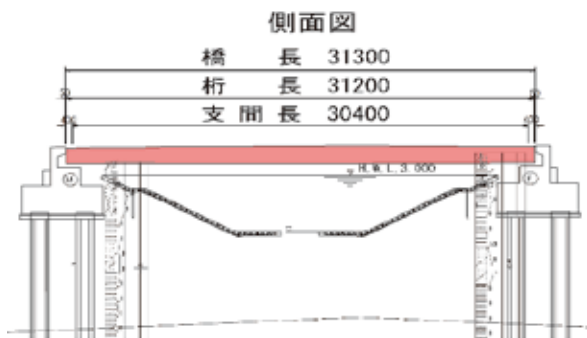


原稿受理日：July 31, 2024

*株式会社名村造船所 鉄構事業部 営業部 テクニカルグループ



写真1 佐賀江大橋第3期(完成写真)



第2図 橋梁一般図

に向上することを目標としている¹⁾(第1図)。

実際、鋼橋の現場における施工、施工管理には人手や工数がかかる作業が多く、特に出来形の計測(支間長、通り、そり)においては最低2人必要で、計測から数値の算出、出来形調書の作成まで、多大な時間を要する。規模の大きい現場や橋梁形状が複雑な現場では測点数も多くなり、工事全体に対して大きなウェイトを占めることとなるため、出来形計測の生産性向上(効率化・省人化)が重要な課題の1つとなる。

そこで、生産性を向上させる工夫として、当社施工の鋼橋架設現場である道整交金第0130333-005号 佐賀環状東線(牛島工区)道路整備交付金工事(橋梁上部工)(以下、佐賀

江大橋第3期工事とする)の現場にて上部工ワンマン測量システム「オートレポ」の実証実験を行った。本稿ではオートレポの実施内容及び生産性の向上効果の検証、今後の課題について記述する。

2. 佐賀江大橋第3期工事 工事概要

佐賀江大橋の写真を写真1、橋梁一般図を第2図に示す。本橋梁は、主要幹線道路の佐賀環状東線にかかる橋梁であり、現在供用中で交通量も多い。よって、本橋施工時の通行止めは現実的に不可能であるため、第2図のように、本橋梁を3分割施工とし、暫定的に供用させながら施工を行った。

本工事の工事概要を以下に記す。

工 事 名：道整交金第 0130333-005 号 佐賀環状東線(牛島工区)道路整備交付金工事(橋梁上部工)

工事場所：佐賀県佐賀市巨勢町牛島

工 期：2022 年 9 月 22 日～2024 年 7 月 10 日

発 注 者：佐賀県 佐賀土木事務所 殿

形 式：鋼単純合成床版橋(パネルブリッジ)

橋 長：31.300m

支 間 長：30.400m

総 幅 員：27.725m(GE1)～28.500(GE2) (1 期, 2 期工事含む)

工事数量：鋼橋架設工：123t

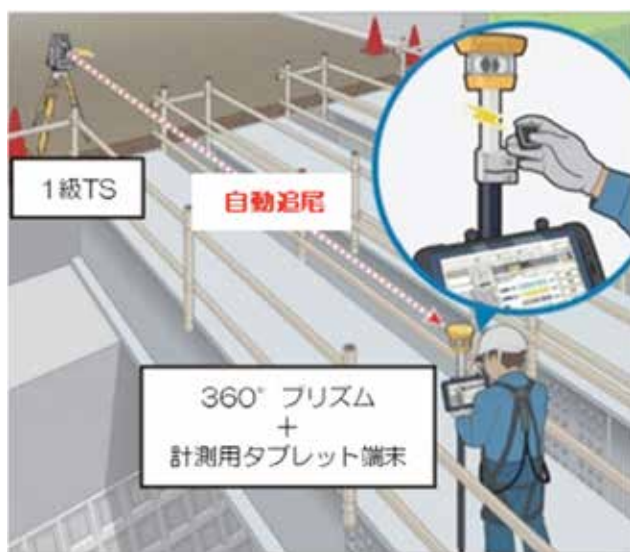
床版コンクリート：100m³

調整コンクリート：45m³

3. 上部工ワンマン測量システム「オートレポ」概要

上部工ワンマン測量システム「オートレポ」(以下、オートレポとする)は、1 級トータルステーション(以下、TS とする)を用いて、橋梁上部工現場での出来形計測のワンマン測量及び、出来形帳票の自動作成を行うシステムである(第3 図)。計測したその場で設計値と実測値の差分が確認でき、桁全体の計測結果(支間長・通り・そり)も確認が可能となる。測量時は、計測用プリズムの水平を保持しつつ、TS の測距をタブレット端末で遠隔操作することができるため、1 人で出来形計測を行うことができる。²⁾

従来の出来形計測では、TS の操作役、計測用プリズムを立てる役と最低でも 2 人必要であるためオートレポは橋梁の出来形計測における省人化に大きく貢献する。



第3 図 オートレポ

4. 計測方法

4. 1 従来方法における計測方法

従来方法における主桁の支間長、通り、そりの出来形計測方法について記す。

写真2 に示すように、支間長の計測は手動視準の TS を用いて TS 操作側、プリズムを測点に設置する側の 2 人で行う。TS を支点部(S1 または S2)へ水平に設置し、もう一方の支点部にプリズムを取り付けたピンポールをプリズムが傾かないように水平に立てる。その後 TS の視準をプリズムへと合わせ、計測開始ボタンを押すと TS からレーザーが照射され、プリズムに反射して戻ってきたレーザーを検知し距離を計測する。この一連の作業を全ての主桁に対して行う。

本現場では G9～G22 の 14 本の主桁に対して支間長の計測を行う。

通りの計測は TS を用いて TS 操作側、計器(差し金、定規



写真2 従来方法における支間長の計測

等)を持つ側の 2 人で行う。片方の支点部へ TS を水平に設置し、もう片方の支点部へ視準を合わせる。その後、支間中央の格点(設計図面にて決められた点、本現場では C5)に置いた計器を覗いて、支間中央点が支間を結ぶラインからどれだけずれが生じているかを計測する。この一連の作業を全ての主桁に対して行う。

写真3 に示すように、そりの計測はオートレベルを用いてオートレベル操作側、スタッフ(長尺の定規)を計測点に立てる側の 2 人で行う。オートレベルを任意の場所へ水平に設置し、既知点を基準に機械高さを計測する。その後、格点に立てられたスタッフの目盛りをオートレベルで読み、高さを計測する。この数値と機械高さをもとに格点の高さを算出する。この一連の作業を全ての格点(154 点)に対して行う。



写真3 従来方法におけるそのの計測

計測したデータは全て手計算し、出来形帳票も手動でデータ入力を行う。

4. 2 オートレポを用いた計測方法

今回は2種類ある計測方法のうち後方交会法と呼ばれる方法で計測を行ったためその方法を記す。

自動視準 TS を任意の場所へ水平に設置し、2つの既知点(今回は G10-C9 と G12-C9 を使用)に三脚を用いてピンポールに取り付けたプリズムを立て、基準点測量を行う。その後、遠隔操作用タブレット端末を取り付けた 360° プリズムを格点へ水平に立て、タブレット画面右側の「追尾」を押すと、TS が自動で 360° プリズムが立てられている方向を向き、続いて「計測」を押すことで座標計測を行う。(写真4, 写真5) この追尾と計測を繰り返し、全ての格点に対して計測を行う。計測したデータを基に出来形帳票が自動で作成され、専用のフォルダに Excel データで保存される。



写真4 オートレポ計測状況



写真5 オートレポ計測状況(画面)

4. 3 検証方法

これらの計測を本橋梁主桁G9～G22の格点S1, C1～C9, S2に対して実施し従来方法との計測時間、精度の比較を行い、オートレポの生産性向上効果について検証する。

5. 計測結果、考察

計測結果を以下の第1表、第4図に、作成した出来形帳票のうち、代表的なものを第5、第6図に示す。そのの出来形に関しては計測点(G10-C9, G12-C9)を基準点としているため、設計値との誤差分を補正している。

第1表から、帳票作成を含む計測時間に関しては約5時間短縮された。これは従来方法では支間長、通り計測において各主桁を計測する度に TS を設置し直さなければならないこと、レベル計測においてスタッフの目盛りを自分の目で読まなければならないため、スタッフの位置が遠くなるほど目盛りが読みづらくなってしまうこと、TS 計測とレベル計測で計測機器が別であることが計測に時間がかかる大きな要因となっているからである。更に、帳票作成においては、第5図のような管理表を計測項目毎に1から作成しなければならない上に、他の工種においても基準高の計測は必要になるため、実際はそれ以上に時間を要することとなる。

第1表 計測時間比較

	計測(支間長, 通り)	計測(その)	帳票作成	計
従来方法	210 分	40 分	120 分	370 分
オートレポ	80 分			

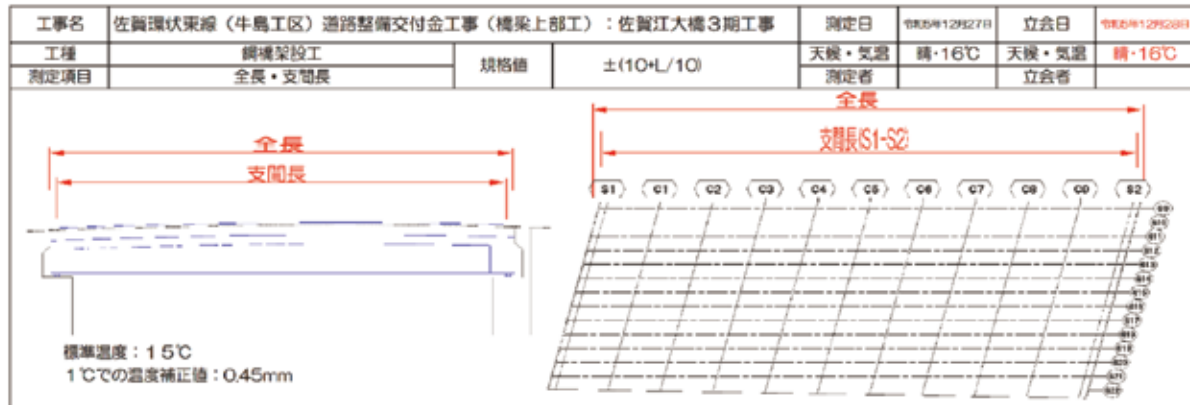
一方オートレボは全ての出来形項目に対して計測機器が自動視準 TS1 つで済み、設置し直す必要もなく、目盛りを読む必要もないため、計測時間が大きく短縮でき、第6

図のように出来形帳票を1から作成する必要もないため、トータルで大きな時間短縮ができていると言える。



第4図 計測結果(図表)

出来形管理図表



特性	全長				特性	全長				特性	支間長				特性	支間長			
単位	mm				単位	mm				単位	mm				単位	mm			
規格値	±26				規格値	±26				規格値	±26				規格値	±26			
計測精度	±21				計測精度	±21				計測精度	±21				計測精度	±21			
測点	設計値	実測値	差	立会者	測点	設計値	実測値	差	立会者	測点	設計値	実測値	差	立会者	測点	設計値	実測値	差	立会者
G9	30900	30900	+8		G20	30900	30975	+13		G9	30400	30409	+9		G20	30400	30418	+13	
G10	30960	30970	+10		G21	30960	30971	+11		G10	30400	30410	+10		G21	30400	30411	+11	
G11	30960	30970	+10		G22	30960	30970	+10		G11	30400	30410	+10		G22	30400	30410	+10	
G12	30960	30970	+10							G12	30400	30410	+10						
G13	30960	30973	+13							G13	30400	30418	+13						
G14	30960	30966	+6							G14	30400	30406	+6	30410	-10				
G15	30960	30972	+12							G15	30400	30412	+12						
G16	30960	30975	+15							G16	30400	30415	+15						
G17	30960	30974	+14							G17	30400	30414	+14						
G18	30960	30974	+14							G18	30400	30414	+14						
G19	30960	30975	+15							G19	30400	30415	+15						
平均値		+12			平均値		+11			平均値		+12			平均値		+11		
最大値		+15			最大値		+13			最大値		+15			最大値		+13		
最小値		+8			最小値		+10			最小値		+8			最小値		+10		

佐賀江大橋3期キャンパー表

G9	S1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	S2
計画高さ	4,788	4,824	4,853	4,876	4,892	4,902	4,905	4,901	4,891	4,874	4,851
死荷重合計 δ D (多点支持)	0	52	97	131	153	160	152	130	96	51	0
鋼重たわみ δ 1	0	13	24	33	39	40	38	33	24	13	0
架設完了時	4,473	4,555	4,616	4,662	4,691	4,705	4,700	4,676	4,641	4,590	4,520
計画値	4,476	4,557	4,616	4,691	4,723	4,735	4,732	4,704	4,659	4,599	4,521
差	-3	-12	-20	-29	-32	-30	-32	-28	-18	-29	-1
床版・調整コンたわみ δ 2	0	26	50	68	79	83	79	67	49	26	0
床版コン打完了時	4,642	4,689	4,726	4,754	4,772	4,782	4,781	4,769	4,752	4,724	4,689
床版+調整コン打完了時	4,708	4,757	4,796	4,827	4,847	4,859	4,860	4,851	4,834	4,806	4,771
計画値	4,711	4,759	4,811	4,839	4,866	4,876	4,876	4,868	4,847	4,812	4,772
差	-3	-2	-15	-12	-19	-17	-16	-17	-13	-6	-1
地盤・中央分離帯たわみ δ 4	0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	0
地盤・中央分離帯完成時	4,708	4,756	4,795	4,825	4,845	4,857	4,858	4,849	4,833	4,805	4,771
乾燥収縮 δ 6	0	3	5	7	8	8	8	7	5	3	0
クリープ δ 7	0	5	9	12	13	14	13	12	9	5	0
乾燥収縮・クリープ変形後	4,708	4,748	4,781	4,806	4,824	4,835	4,837	4,831	4,819	4,798	4,771

第5図 従来方法 出来形帳票(支間長, そり)

工 事 名		名村造船_佐賀県佐賀市				支間長 全長		出来形調査 1号橋 (G10・G11)				測定年月日 令和6年7月4日 天候・気温・湿度 曇り 27℃・28℃				測定年月日 天候・気温・湿度 高気圧 fronts					
規格値 (±20+L/5) L=支間長: m 社内管理値は規格値の80%																					
橋脚		S1~S2間		全長 S1~S2間																	
G10	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400				
		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)					
G11	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400	規格値 (±20+L/5)	L= 30,400				
		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)		社内管理値 (±16)					
G10																					
G11																					
																					
(単位: mm)																					
位置		S1~S2間					全長 S1~S2間														
配号	測定項目	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差
G10	社内計測	30400	-2	30397	30,396	-5	30400					30400									
	品質証明員	30400					30400					30400									
	立会	30400					30400					30400									
G11	社内計測	30400	-2	30394	30,392	-8	30400					30400									
	品質証明員	30400					30400					30400									
	立会	30400					30400					30400									
位置																					
配号	測定項目	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差	管理値	補正値 mm	実測値	補正後 実測値	差
G10	社内計測																				
	品質証明員																				
	立会																				
G11	社内計測																				
	品質証明員																				
	立会																				

第4図から、精度に関しては、各項目について従来計測と比較して誤差が生じる結果となった。先述したがオートレボの計測では2種類の計測方法がある。1つは今回採用した後方交会法、もう1つは1点バック法と呼ばれる方法である。1点バック法とは計測点とは別に既知の2点を設置し、1つにTSを設置し、もう1つを基準点として計測する方法である。TS設置位置が既知であるため後方交会法と比べて計測精度が高い。本橋梁は他工事現場が隣接しており、作業ヤードの制約上計測に使用できる範囲が狭く、橋梁外に既知点を設置することが難しかったため、後方交会法で計測を行わざるを得なかった。本検証結果からは、従来方法と比較して誤差こそあるものの、この方法においても発注者が定めた橋梁出来形の規格値(支間長: $\pm 26\text{mm}$, 通り: ± 22 , そり: $\pm 40\text{mm}$)の範囲に収まる程度の誤差となっている。つまり、1点バック法で計測ができれば、従来方法との誤差が小さくなり、更なる有用性を示す事が期待できる。

6. 今後の展望

私は、現在営業部に所属しているが、昨年までは現地工事担当として実際に橋梁架設現場にて約4年間、業務を行っていた。この4年間で感じたこととして、世界的にはAI, 5G, クラウド等に至る革新的な技術が開発、実装されている中で建設業は未だ取り残されているように思う。実際、現場に持ち込む図面や資料、また報告書等の竣工書類は紙媒体を使用している現場がほとんどであり、現場作業においても機械化があまり進んでおらず、手作業であるため、危険の伴う作業、気温や天候等厳しい環境の中で行う作業も多い。そのため、現場管理者、現場作業者の苦労は絶えず、労働時間も他産業と比較しても長いと感じる。

また、建設業の死亡災害は2021年までの過去50年間で大幅に減少しているものの、未だに年間300人弱程度の死亡事故が発生している¹⁾。建設現場に人がいる限り、人的被害を伴う事故を完全に排除することは難しい。建設機械の自動化や遠隔化により、現場に人がいなくなることで人的被害が生じるリスクを限りなく低減することができるため、安全面でも考えても生産性の向上は重要な課題であると言える。

今後、高度経済成長期以降に集中的に整備されたインフラの老朽化が深刻になっていき、更に我が国は地震や台風等の自然災害が頻発しており、インフラ整備の需要は増加してきている。そのため、高齢化に起因した慢性的な人手

不足を解消するためには建設業の生産性を早急に向上させるべきであると強く思う。

その皮切りとして、橋梁出来形を自動でワンマン計測できるオートレボを試験的に使用した。今回は、現場の制約条件上、後方交会法にて計測を行わざるを得なかったため、精度に関する有用な効果を示す事ができなかった。今後は、更なるデータ収集を行い、狭隘な施工ヤードであることや、隣接工区との兼ね合いが生じたとしても1点バック法で出来形計測ができるような手段を模索し、多くの当社現場で導入できるようにしたいと思う。また、今回は出来形計測に着目したが、他の現場作業においても生産性の向上を望めるようなアイデアを構築し、今後の建設業の未来に貢献していきたいと思う。

7. 結言

建設業において問題視されていた人手不足を解消することを目的とし、建設現場の生産性向上のため当社施工の佐賀江大橋第3期工事にて上部工ワンマン測量システム「オートレボ」を導入し、その生産性向上効果を検証した。

従来のTS計測やレベル計測と比較して、計測にかかる時間は大きく短縮された。従来方法に対する計測誤差に関しては発注者が定めた出来形規格値範囲に対して微小であったものの、従来計測との間に誤差が生じてしまった。この誤差は現場制約条件から後方交会法にて計測を行ったことに起因していると考えられる。しかし、1点バック法で計測を行う事ができればより良い精度の計測ができることが期待できる。以上のことから本システムは建設現場の生産性向上効果があると言える。

謝辞

今回の上部工ワンマン測量システム「オートレボ」による生産性向上効果の検証を行うにあたり、ご協力いただきました関係各位の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ 報道・広報 報道発表資料「i-Construction 2.0」を策定しました ～建設現場のオートメーション化による生産性向上(省人化)～
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>
- 2) 株式会社ソーキ 製品カタログ 上部工ワンマン測量システム「オートレボ」