



$$ax + bx + cx + d = 0 \quad (2)$$

平面上でかつ2点のマーカで構成される直線上にない点をランダムサンプリングすることによりそれぞれ3点目を取得し、各点群データのマーカおよび抽出点と対応する点  $A_i$ ,  $B_i$  の誤差関数(3)式

$$E(R, t) = \frac{1}{n} \sum_i^n \|A_i - R * B_i - t\| \quad (3)$$

が最小となる任意の定数  $R$  および  $t$  を求める。

つぎに、処理例を示す。図-2, 3に2点のマーカ(赤点)を含ませたUAVの点群データと2点のマーカを含ませたTLSの点群データを示す。これまで、UAVによる測量では、補正誤差により高さ方向の精度に難があったが、TSによるマーカの測量結果を結合することにより、精度向上が期待できる。今回使用した点群データ数は、TLSで約5500万点、UAVで約70万点であり、点群結合処理には5分程度を要している。なお、マーカ(赤点)は計測前に、足場や高所作業車を必要としない位置を選定したうえで対象に貼付けた。図-4には、先の手法により点群結合処理を行った結果を示している。

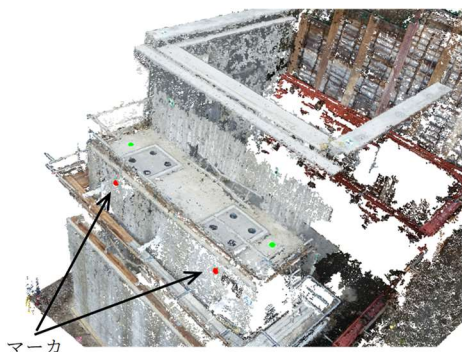


図-2 UAVによる点群データ

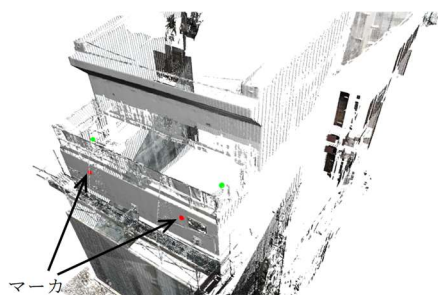


図-3 TLSによる点群データ

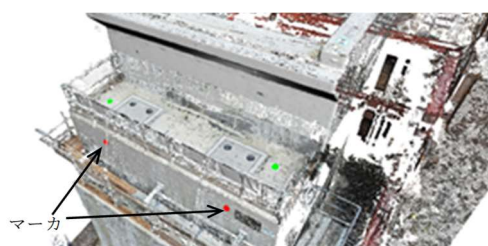


図-4 UAVおよびTLSの点群結合結果

### 3. 現場試行による検証

#### 3.1 対象工事概要

試行工事の対象とした橋梁の一般図を図-5に示す。対象橋梁は、橋長が56m、支間長が54.5mの鋼単純非合成箱桁橋である。試行計測は2回に分けて実施しており、下部工の計測を上部工架設前に、上部工の出来形計測を鋼桁架設後に行った。なお、従来技術であるTS測量も同時期に実施している。

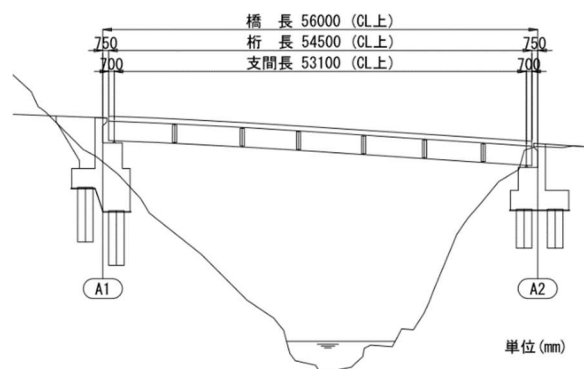


図-5 構造一般図(側面図)

#### 3.2 使用機材

計測には、以下の機材を使用した。

- ・TS : Leica Visa TS16A R1000(1級TS), Leica製
- ・TLS : Leica Scan Station P40, Leica製
- ・UAV : DJI Matrice210 RTK D-RTKV2, DJI製
- ・カメラ : ZENMUSE X7 (レンズ : DJI DL24mm F2.8 LS ASPH), DJI製

#### 3.3 計測方法

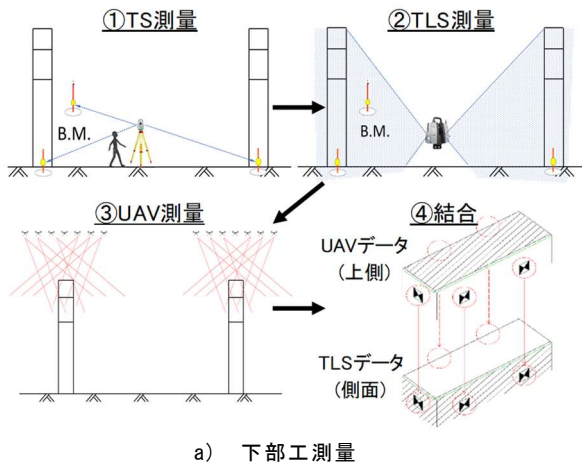
下部工測量と鋼桁出来形計測の方法を図-6に示す。

##### (1)下部工測量(図-6 a))

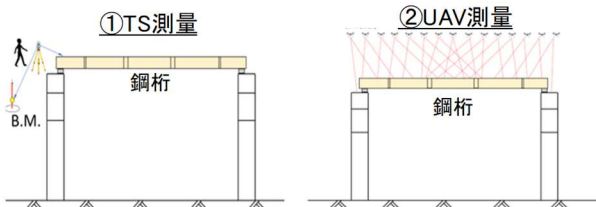
- ①TSによる基準測量で、橋脚の側面に貼り付けたマーカの  $x$ ,  $y$ ,  $z$  座標を取得。
- ②TLSにて橋台側面の点群データを取得。
- ③UAVにて橋台上部の写真撮影を行い点群データに変換。撮影時、オーバーラップは80%以上確保する。
- ④②で得られた橋台側面点群データと③で得られた橋台上面点群データを①にて得られたマーカの座標を基準に結合を行う。結合後のデータから支間長等の測量データが得られる。また、支承部の高さについては支承中心線で断面を切断し、台座天端高と下部工天端高さを抽出し測量データとする。

##### (2)上部工 鋼桁出来形計測(図-6 b))

- ①TSによる基準測量で、マーカの  $x$ ,  $y$ ,  $z$  座標を取得。
- ②出来形管理用の各格点の座標を算出するために貼付した鋼桁フランジ上のターゲットをUAVにて写真撮影を行い、点群データに変換。



a) 下部工測量



b) 鋼桁出来形計測

図-6 下部工測量および鋼桁出来形計測方法

③②のデータを①で取得した座標を基準とし、計測箇所座標を算出し測量データとする。鋼桁の計測は、高さ計測の他、通りなどの出来形計測も実施した。

### 3.4 従来技術との比較

下部工測量および鋼桁出来形計測において、技術活用と従来技術の比較結果を以下に示す。各項目において、従来技術と技術活用の測量値の差が、国交省要領(案)<sup>2),3)</sup>に示される要求精度の範囲内となり、測量精度は従来技術と同程度であることが確認された。

#### 3.4.1 計測精度

##### (1) 支承上構造高

図-7 に支承上構造高の従来技術と技術活用の比較結果を示す。台座天端高では従来技術との差は+7mm となり、要求精度 $\pm 10\text{mm}$ の範囲内であることを確認した。

##### (2) 支間長

図-8 に支間長の従来技術と技術活用の比較結果を示す。従来技術との差は G1 桁において+1mm, G2 桁において+4mm であり、それぞれ要求精度 $\pm 10\text{mm}$ の範囲内であることを確認した。

##### (3) そり (支点支持時)

図-9 にそりの従来技術と技術活用の比較結果を示す。従来技術との差は-1~+4mm であり、要求精度 $\pm 10\text{mm}$ の範囲内であることを確認した。

##### (4) 桁の通り

図-10 に桁の通りの従来技術と技術活用の比較結果を示す。従来技術との差は G1 桁において-4mm, G2 桁において-6mm であり、それぞれ要求精度 $\pm 10\text{mm}$ の範囲内であることを確認した。



図-7 支承上構造高の従来技術と技術活用の比較

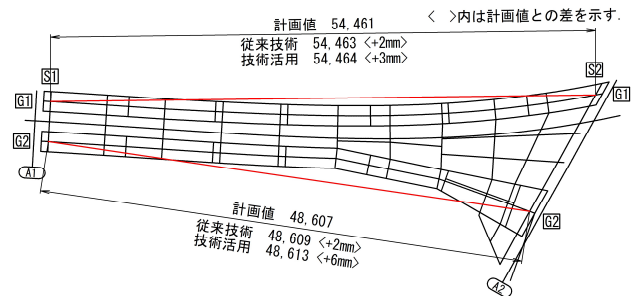


図-8 支間長の従来技術と技術活用の比較

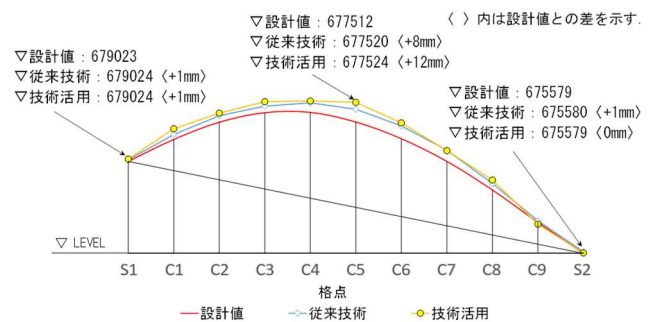


図-9 そりの従来技術と技術活用の比較

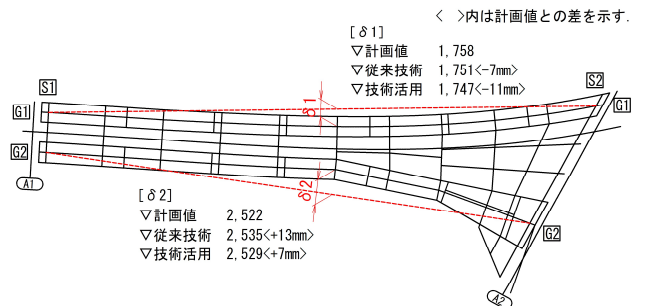


図-10 桁のとりの従来技術と技術活用の比較

### 3.4.2 省力化

技術活用による下部工測量および鋼桁出来形計測にかかる日数および人工を算出し、従来技術との比較を行った。図-11に作業日数と作業人工の比較結果を示す。

地上で作業ができ、昇降作業や高所作業時の安全対策などの事前準備が従来技術に比べ削減され、作業時間は全体で2日短縮（26%削減）となった。作業人工においても、全体で6.5人工削減（42%削減）となった。

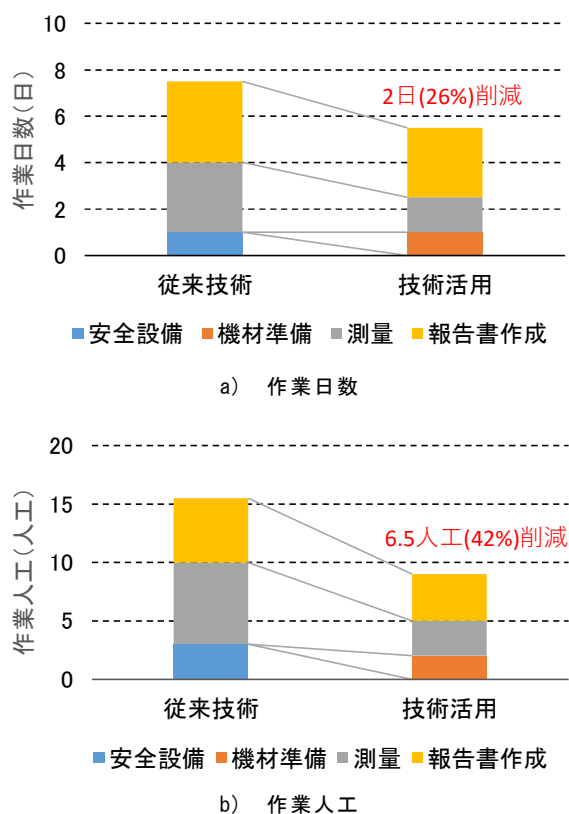


図-11 作業日数および人工の従来技術と技術活用の比較

### 3.4.3 安全性

本橋においても、従来測量方法では下部工、上部工とも高所での作業が必要であった。しかし、技術活用を用いることで、地上での作業が中心となり、下部工の天端面のデータを高精度で取得できたほか、鋼桁出来形計測においても、安全設備不要で測量を地上からの作業のみで行うことが出来るため、従来技術に比べて安全性は飛躍的に向上した。

## 4. おわりに

本稿では、開発した3次元計測技術の概要と実工事にて試行した結果を示した。試行結果では、開発技術は従来技術と同程度の測量精度を有し、省力化や安全性向上に効果があることが確認できた。今後、本技術の活用と改良の継続により、さらなる生産性と品質向上に寄与できると考えている。

## 謝辞

本試行は国土交通省の2021年度の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」に採択され、助成を受けた試行業務である。本試行にあたり、ご指導、ご協力を頂いた近畿地方整備局の関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省HP：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト、<[https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_000807.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000807.html)>、(2022年5月時点)
- 2) 国土交通省HP：3次元計測技術を用いた出来形計測要領(案)、<[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/osei\\_constplan\\_tk\\_000051.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/osei_constplan_tk_000051.html)>、(2022年5月時点)
- 3) 国土交通省HP：3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（構造物工（橋梁上部工）編）（試行案）、<<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001475953.pdf>>、(2022年5月時点)
- 4) 橋肇，中本啓介，山中晶裕，山崎文敬，小林光：UAVなどを用いた上部工着手前のハイブリッド測量，土木学会第76回年次学術講演会，I-47，2021.9
- 5) 中本啓介，山口祐希奈，田村有治，橋肇，山崎文敬，岩崎一紀：橋梁上部工施工時に着目したUAVなどを用いた測量技術の開発，第4回i-Constructionの推進に関するシンポジウム，pp.123-126，2022.7
- 6) 橋肇，山口祐希奈，中本啓介，田村有治，山中晶裕，覃黄毅：ハイブリッド測量における鋼桁架設完了時の出来形管理，土木学会第77回年次学術講演会，I-132，2022.9