

耐震補強工事における写真測量による出来形管理の省力化

— 一面耐震補強工、あと施工せん断補強工への適用 —

Reducing Labor Requirements for Finished Shape Management

of Seismic Reinforcement Work via Photogrammetry

- Applications to Seismic Reinforcement

and Post-Construction Shear Reinforcement -

浜松慎一* 郭 勝華* 田中英一** 田邊裕之*

要 旨

あと施工アンカーにおいて削孔する際に、既設鉄筋を避けて削孔するため、計画通りに鉄筋挿入孔を削孔できることは極めて稀である。施工本数が大量になれば、その出来形管理に多大な労力が必要となり、また記録ミスも発生する。今回 2 つの耐震補強工事において、写真測量技術を活用した出来形管理システムの開発に取り組み、出来形管理の省力化を図った。その結果を報告する。

キーワード：一面耐震補強工、あと施工せん断補強工、ベストグラウトバー、写真測量、UAV、自動抽出システム

1. まえがき

耐震補強工事において、RC 構造物にあと施工アンカーを施工する場合、既設鉄筋の位置を避けて施工する必要がある。削孔に先立って電磁波レーダーを用いた鉄筋探査を行うが、深部の鉄筋を検知することは困難なため、計画通りに削孔できることは極めて稀である。結果としてランダムな位置に出来上がった削孔位置を測定し、耐震性能上の評価ができなければ、次工程に進むことができない。

削孔位置の計測は、メジャー等による手作業によるものが通常の方法であるが、膨大なデータを扱う作業となり、多大な労力が必要であることや、記録ミスが発生することが問題となる。

今回、一面耐震補強工におけるアンカーボルト位置を写真測量により CAD データ化することで、写真測量技術が鋼板の孔あけ位置の確認に適用できることを確認した。次に、下水道処理施設の耐震補強におけるあと施工せん断補強鉄筋の削孔作業において、大量の削孔位置を写真測量後、自動抽出し、出来形図と表にまとめるシステムを開発した。

2. 一面耐震補強工におけるアンカーボルト位置の写真計測



写真-1 一面耐震補強工
上段：削孔完了、下段：鋼板設置完了

*西日本支社リニューアル技術部 **西日本支社関西土木第2部

2.1 一面耐震補強工における課題

一面耐震補強工は、既存橋脚に削孔した孔に補強鉄筋を挿入後、頭部のボルト部で補強鋼板と接合し、補強鉄筋と補強鋼板の両方で橋脚の耐震補強をする工法である（写真－1）。

まず、補強鉄筋を挿入するため削孔するが、既存橋脚内部にある鉄筋を避けるためランダムな位置に孔をあけることとなり、そのランダムな位置に合わせて鋼板を孔あけ加工する必要がある。メジャー等による計測作業において、孔あけ位置を誤ると、鋼板の加工が無駄になるばかりか、再加工のため手待ちになる。そのため、計測作業のミスを防ぐ手法の開発が課題であった。

2.2 写真測量手法の概要

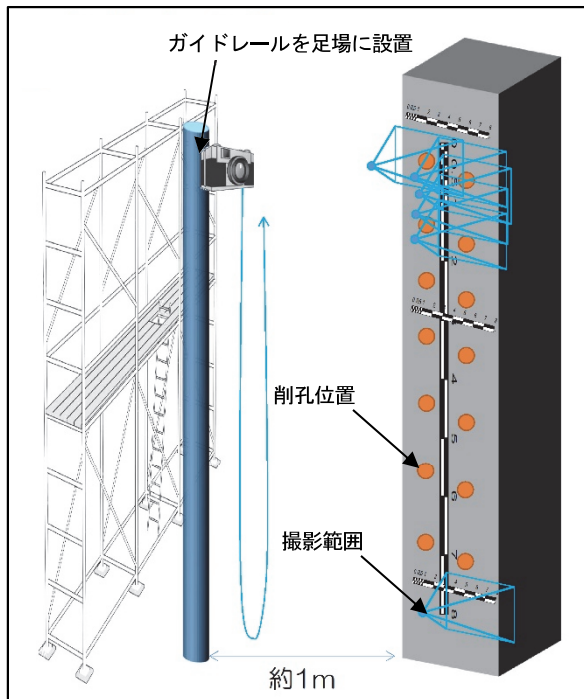
一面耐震補強工における鉄板の孔あけ位置を確定するため、デジタルカメラによる写真データを用いてボルト位置の測定を行った。目標とする精度を $\pm 5\text{mm}$ と設定した。

写真撮影方法の概念図を図－1に示す。足場側面に設置したガイドレール上をデジタルカメラが一定速度で移動できるようにし、上方向あるいは下方向へ順に撮影を行った。その際に隣り合う撮影範囲が80%以上オーバーラップするよう撮影速度を調整した。

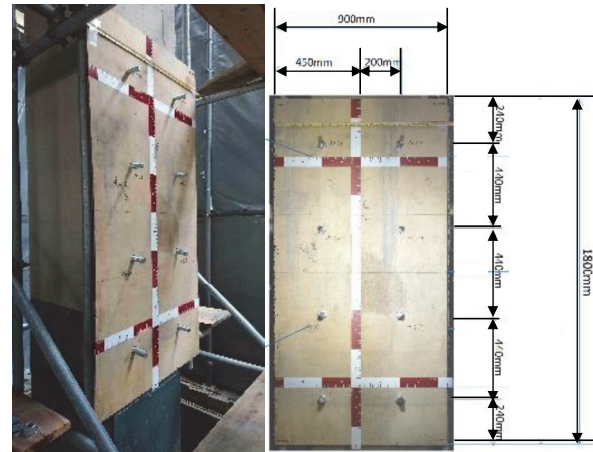
撮影データは、解析ソフトにより1枚のオルソ画像データ（正射投影画像）に変換し、計測用データとして使用した。

2.3 測定結果

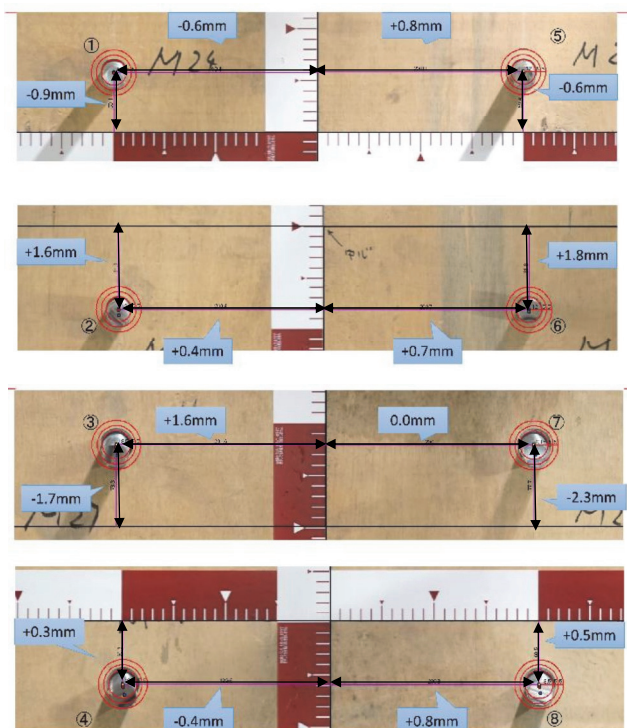
測定は、写真－2に示すような柱部材を用いて測定手法の検証を行った。写真データから解析したアンカーボルトの施工位置と、あらかじめ人力で測定した施工位置



図－1 写真撮影方法の概念図



写真－2 計測対象部材



写真－3 測定結果の比較

の結果を比較した。比較結果を写真－3に示す。実測と写真測量の誤差が写真－3の青枠の数値となり、最大誤差が2.3mmと目標の $\pm 5\text{mm}$ に収めることができた。今回の柱一面（ $0.9\text{m} \times 1.8\text{m}$ ）の施工では、撮影に約30分、データ解析に約半日程度の時間を要した。この結果により、一面耐震補強工におけるアンカーボルト削孔位置の計測に、写真測量技術を十分適応できることがわかった。

3. あと施工せん断補強工における削孔出来形自動抽出システムの開発

あと施工せん断補強筋工は、躯体を削孔した後にせん断補強鉄筋を挿入し、グラウト材で空隙を充填して定着

させる工法である。尼崎市東部浄化センターの耐震補強工事では、当社が開発したベストグラウトバー²⁾を使用して、底版部 41,156 本、壁部 11,615 本のあと施工せん断補強鉄筋の施工を行った。底版部削孔状況を写真-4 に示す。

この工事は、施工本数が 52,771 本と膨大な本数で、約 1 年と実施期間が短いことが特徴である。そのため、いかに品質を確保しながら効率よく施工するかが、最大の課題であった。

当工事では、削孔完了後に行う削孔出来形（削孔位置）の計測を効率よく行うため、

- i. 写真測量により精度の高い画像データを作成する
- ii. 画像データから削孔位置を自動抽出し出来形管理表を自動作成する

の 2 点について検討した。

3.1 開発における検討事項

a. 写真測量方法

水槽の底版部、壁部に設置される補強鉄筋の本数や削孔位置の計測に必要な精度が得られる写真測量方法を検討した。撮影作業は、補強鉄筋が挿入される前の躯体削

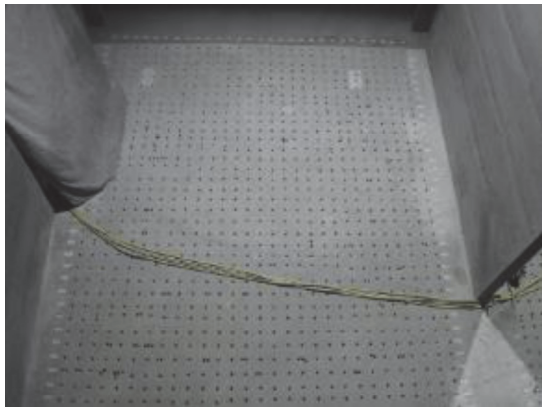


写真-4 底版部削孔状況



写真-5 UAVによる写真撮影

孔後に行うものとし、UAV（ドローン）を使用して撮影することとした。撮影状況を写真-5 に示す。

検討課題は、

- i. ターゲット（位置算出の指標となる標定点）の配置箇所や設置数
- ii. 撮影解像度（機材や高度で変化する）
- iii. 最適写真ラップ率（必要な精度の合成画像を得るため）

の 3 点である。

試行撮影の結果から検証を行い、必要な精度を得るための最適な撮影方法について検討した。

b. 削孔位置の自動抽出方法

写真測量処理により合成した三次元データとオルソ画像データを用いて、削孔位置を高精度で、かつ自動的に抽出する方法の開発を試みた。

3.2 検討結果

a. 写真測量方法と目標精度

出来形管理は、削孔位置をミリ単位で記録するため、写真撮影にはミリ単位の精度が必要である。作業効率と精度の最適バランスを求めめるため、平面・高さ両方向の誤差の二乗平均平方根（以下 RMS）の目標精度を、それぞれ 2mm、5mm に設定した。

(a) 標定点の配置箇所や設置数の検討結果

UAV Phantom4Pro（高度 1.8m の撮影で解像度 0.5mm）

表-1 ターゲット配置と検討結果

ターゲット		解析精度mm	
		平面	高さ
4隅のみ 計4点	RMS	2.1	36.5
	MAX	4.0	73.1
4隅+中央 計5点	RMS	1.6	4.3
	MAX	3.3	9.6
4隅+左右側 計6点	RMS	1.7	3.7
	MAX	3.2	7.7
4隅+左右側+中央 計7点	RMS	1.6	3.8
	MAX	3.1	9.9
4隅上下左右側+中央 計9点	RMS	1.6	2.6
	MAX	2.6	7.6

※撮影解像度 0.5mm で比較

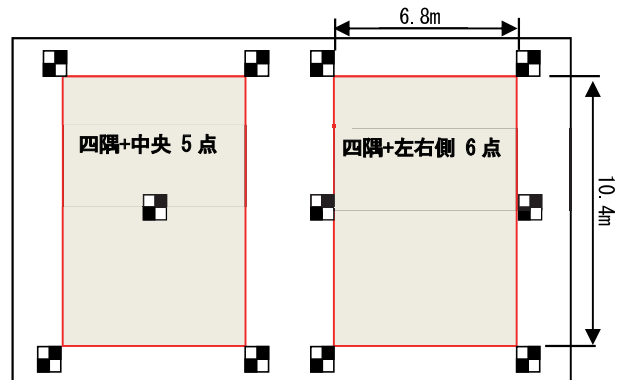


図-2 ターゲットの配置例

を用いて、ターゲットの配置と数を表-1に示す複数のパターンで検討した。解析精度が相対的に高かった二つのパターンを図-2に例示する。配置エリアの大きさ6.8m×10.4mは、施工エリアの形状によるものである。

目標精度とターゲット設置作業のバランスから、4隅と中央の5点、または4隅と左右側の6点が適切であると確認できた。また、壁についても同様に5点もしくは6点が適切であることを確認した。

(b) 撮影解像度の検討結果

UAV 搭載カメラの撮影解像度を 0.5mm、1mm、1.5mm の 3 種類に変化させて撮影を行い、RMS の精度を解析した。その結果、前項で示した適切なターゲットの配置を行うと、いずれの撮影解像度の場合でも精度は、平面は約 2mm、高さは約 4mm となり、解像度の違いによる精度差はほとんど見られず、要求条件を満足できた。

(c) 最適写真ラップ率の検討結果

UAV で撮影した複数の画像を合成する際の、画像間のラップ率の違いによる RMS の精度を解析した。その結果、表-2に示すように、縦方向のラップ率（オーバーラップ、以下 OL）を 80%、横方向のラップ率（サイドラップ、以下 SL）を 80%とした場合に、精度の要求条件を満たすことがわかった。また、SL のみを 60%に減らした場合、高さ精度が大きく劣化するが、OL のみを 60%に減らした場合は、平面精度は劣化せず、高さ精度も若干の精度低下に留まった。OL、SL ともに 60%とした場合は、写真測量処理が不可能となった。

表-2 ラップ率の検討結果

ラップ率		解析精度mm	
		平面	高さ
OL80%	RMS	1.7	3.7
SL80%	MAX	3.2	7.7
OL80%	RMS	2.6	16.3
SL60%	MAX	7.5	48.0
OL80%	RMS	3.5	26.7
SL40%	MAX	8.5	47.9
OL60%	RMS	1.7	4.8
SL80%	MAX	3.2	9.5
OL60%		解析不可	
SL60%			

※撮影解像度 0.5mm で比較

これらの結果から、ラップ率はOLが60%以上、SLが80%以上のラップ率が必要であると確認できた。

b. 削孔位置の自動抽出と出来形帳票自動作成

(a) 削孔位置の自動抽出プログラム

撮影した画像から写真測量処理により、写真-6に示すオルソ画像データと三次元データを作成し、削孔位置の自動抽出を行った。オルソ画像データの濃淡から削孔孔の径（円データ）と位置（円中心点）を自動抽出し、三次元データの削孔孔の三次元形状から、抽出結果を確定させるプログラムとした。図-3に削孔孔と位置の自動抽出結果の例を示す。

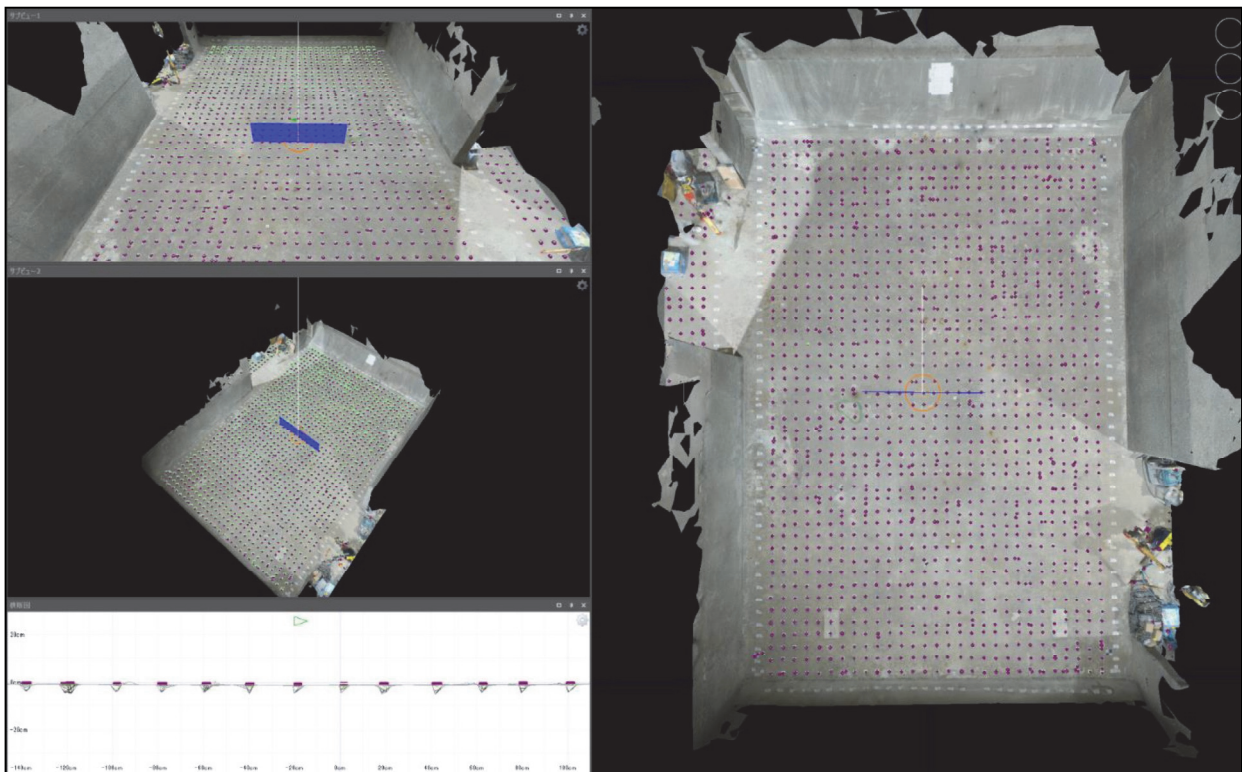


写真-6 作成したオルソ画像

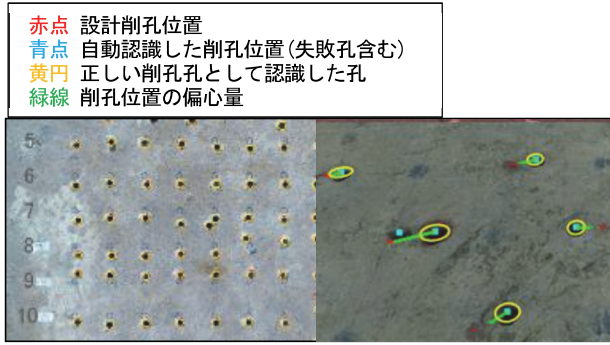


図-3 削孔孔と位置の自動抽出

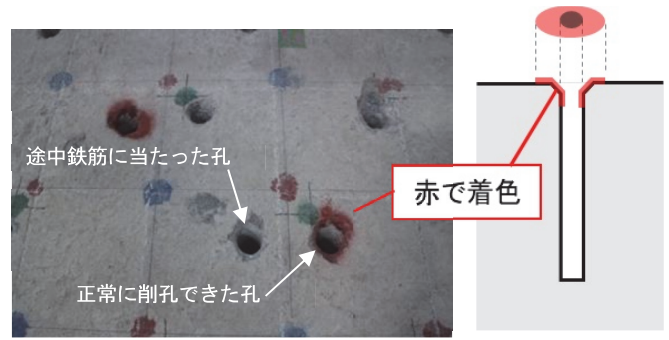


図-4 自動認識の正解率向上のための工夫

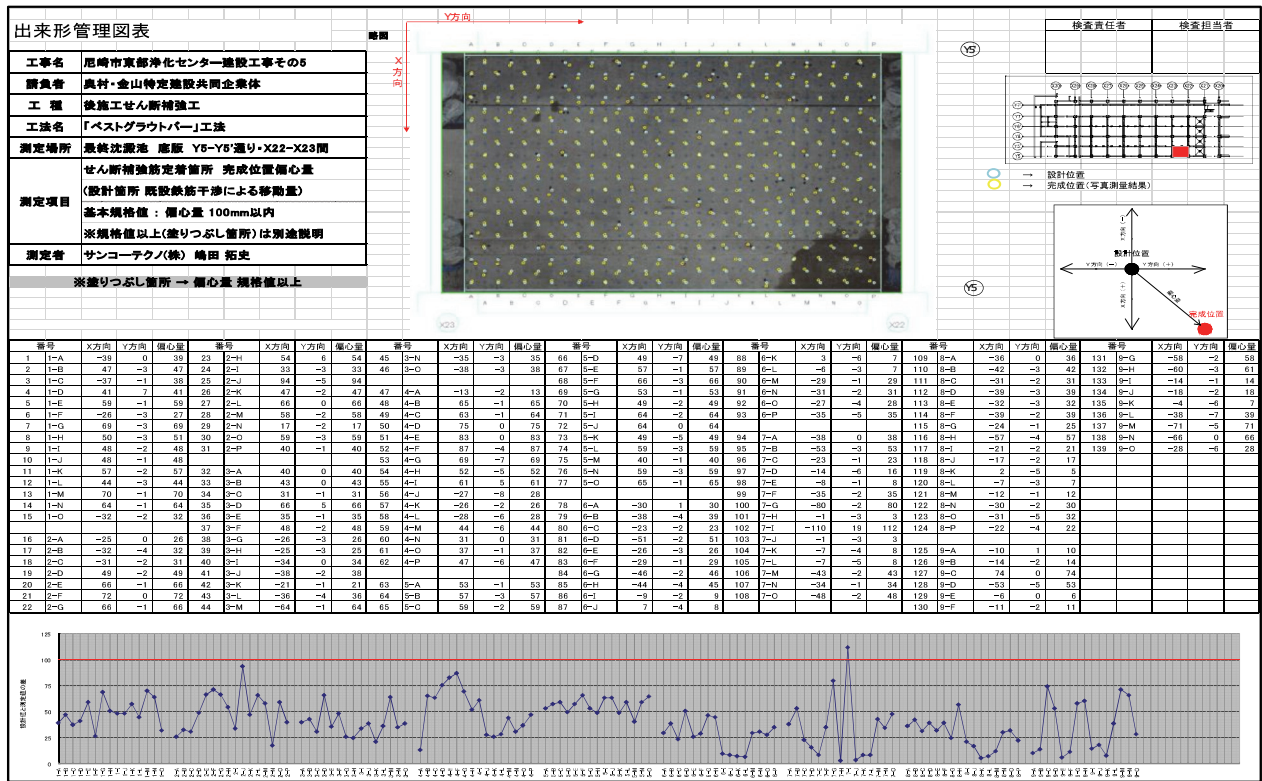
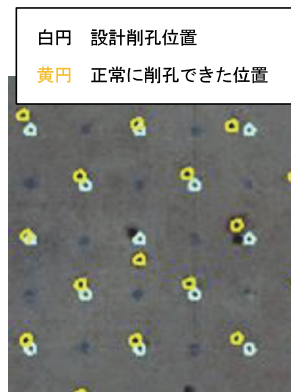


図-5 出来形管理帳票

自動認識した孔(図-3の青点)の中には鉄筋に当たって使用できない孔も含まれており精度が悪い。今回、自動認識の正解率向上のため、図-4に示すように、鉄筋に当たり再削孔した箇所については、正削孔位置を赤く着色し自動抽出プログラムにて識別できるよう工夫した。その結果、底版部では、自動認識において90%以上の正解率を得ることができた。しかし、壁部においては、周囲の施工足場の存在などが写真データの中で影を作り、自動認識の正解率が70~80%にとどまった。今後の課題として、自動認識の正解率を高めるための識別条件の調整と、良好な写真データが得られるよう現場条件に合わせた撮影方法の工夫が挙げられる。

(b) 削孔位置の出来形帳票自動作成プログラム
この三次元データを活用し、出来形管理に必要な偏心量や本数管理などを出来形管理帳票として自動作成する



番号	X方向	Y方向	偏心率	
109	8-A	-36	0	36
110	8-B	-42	-3	42
111	8-C	-31	-2	31
112	8-D	-39	-3	39
113	8-E	-32	-3	32
114	8-F	-39	-2	39
115	8-G	-24	-1	25
116	8-H	-57	-4	57
117	8-I	-21	-2	21
118	8-J	-17	-2	17
119	8-K	2	-5	5
120	8-L	-7	-3	7
121	8-M	-12	-1	12

図-6 帳票拡大図

プログラムを開発した。図-5, 6に出力例を示す。さらに、削孔位置図の背景にオルソ画像を表示させて、抽出結果を確認できるように工夫した。

4. まとめ

写真測量技術を、一面耐震補強工では鉄板の孔あけ位置の確定に、ベストグラウトバーによるあと施工せん断補強工では撮影した写真データから位置精度の高いオルソ画像データと三次元データを作成して、削孔位置を自動抽出することに活用できることが実証できた。

6.8m×10.4m の底版の削孔約 1,300 箇所の出来形管理に当たり、人力では測定に 3 人工×2 日=6 人工、データの集計・管理表作成に 1 人工かかっていた。今回開発した出来形管理システムを活用すると、写真撮影で 2 人工×0.5 日=1 人工、データの解析・帳票作成で 1 人工×0.5 日=0.5 人工で済んだ。今後、大きな労力を費やす現場の出来形・品質管理の省力化、効率化をもたらすことが期待できる。

【参考文献】

- 1) 鉄道 ACT 研究会、「耐震補強工法」、技術資料・標準積算資料（第 2 回改訂版）
- 2) 一般財団法人土木研究センター、建設技術審査証明報告書「ベストグラウトバー」、平成 27 年 11 月