

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

技術実証報告書

実証類型番号 9 :

図面等の OCR、画像分析等を活用した安全検査・点検の実証

DataLabs 株式会社

2024 年 1 月 31 日

目次

1	技術実証の概要.....	3
1.1	目的.....	3
1.2	対象業務（法令）.....	3
1.3	全体像.....	3
1.4	実施体制・期間.....	4
1.4.1	実施体制.....	4
1.4.2	実施期間.....	5
2	技術実証内容の詳細.....	5
2.1	技術実証の方法.....	5
2.1.1	「①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得」.....	5
2.1.2	「②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断」.....	15
2.2	実施場所等.....	19
3	技術実証の結果.....	20
3.1	結果の評価を行う観点・評価ポイント・評価方法.....	20
3.1.1	技術基準への適合性等の評価.....	20
3.1.2	品質の評価.....	21
3.1.3	安全性の評価.....	22
3.1.4	施工性の評価.....	22
3.1.5	業務合理化の評価.....	22
3.1.6	技術監修者（三菱地所設計）による評価.....	22
3.1.7	社会実装のコストの評価.....	22
3.2	結果及び評価・分析.....	23
3.2.1	技術基準への適合性等の評価.....	23
3.2.2	品質の評価.....	50
3.2.3	安全性の評価.....	52
3.2.4	施工性の評価.....	52
3.2.5	業務合理化の評価.....	54
3.2.6	技術監修者（三菱地所設計）による評価.....	55
3.2.7	社会実装のコストの評価.....	57
3.2.8	総論.....	57
	用語集.....	60

1 技術実証の概要

1.1 目的

建築基準法第 7 条で規定されている中間検査・完了検査は、建築主事又は指定確認検査機関の確認検査員が特定工程の工事を終えた時、または工事が完了したときに実施する検査である。これらの検査は「確認審査等に関する指針（平成十九年国土交通省告示第八百三十五号）」で規定されている、写真や書面等による検査や、目視や簡易な計測機器等による検査等により実施することとしている。

これらは個々の建築物が法令の定める基準に適合していることを担保するための検査であり、適切・適法に実施されることが求められる一方で、令和 3 年度で完了検査の件数は 50 万件弱、中間検査の件数は 18 万件弱にのぼり（出典：令和 3 年度 国土交通省 建築基準法施行関係統計報告集計結果表）、デジタル原則に照らした規制の見直しにより、生産性の向上に資する検査だと考えている。

今回は、中間検査の特定工程にあたる配筋検査及び完了検査時の配筋写真の確認において、3次元データを活用することで現地に確認検査員が赴かなくとも当該確認作業ができることや、帳票の作成にかかる工数を削減できることによる省力化の検証を目的として技術実証を行った。

1.2 対象業務（法令）

建築基準法第 7 条から第 7 条の 4 に基づく中間検査・完了検査を対象業務とした。

1.3 全体像

鉄筋コンクリート構造物の建築における中間検査においては、鉄筋が設計図書通りに組まれていることを確認するために、メジャー等による鉄筋間隔の計測と目視による本数確認、及びそれらを計測した証左として写真を対象部位毎に撮影し、帳票を作成している（配筋検査）。また完了検査においては、それらの工事写真の書類確認を行っている。

本実証では、LiDAR スキャナー搭載の iPad Pro や地上型レーザースキャナーで鉄筋の点群データを取得し、DataLabs 独自の 3D 配筋検査ツール「Modely」により鉄筋の 3D モデルを構築することで、現地に確認検査員が赴かなくとも高精度で鉄筋本数・鉄筋間隔の確認ができることやその結果を写真に残さずとも確認できることを検証する。

Modely 自体は点群を取得・生成するアプリケーションではないが、3D モデルの自動生成には Modely にアップロードする点群データの品質も関わってくることから、本実証は以下の 2 段階に分け、Modely を利用する前工程である点群データ取得から検証を行った。

①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得

作成した柱と梁の鉄筋を模した鉄筋モックアップについて、点群測定機器（地上型レーザースキャナー、iPad Pro を用いた 3D スキャンアプリ）を用いて点群データの取得を行った。取得した点群データを 3D 配筋検査ツール「Modely」にアップロードし、点群データの質を定性的に確認した。また、必要に応じて、点群をアップロードする前に点群の前処理（ダウンサンプリング）を行った。

②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断

点群及び 3D モデル（Modely において点群から生成）に関して、点群（鉄筋間隔）と 3D モデル（鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚）の精度検証を行い、技術基準への適用性を確認した。精度

は、従来方法（メジャーによる測定）による実測値と Modely を用いて測定した値を比較し、誤差を算出することで検証した。その他にも、3.1 に記載の観点から評価を行い、実務的な観点での評価として技術監修者（三菱地所設計）による評価も受けた。

【Modely について】

3D 配筋検査ツールであり、iPad Pro や地上型レーザースキャナーなどを用いて取得した点群データを 3D モデルに変換することで、配筋検査における検査項目（鉄筋本数や鉄筋間隔等の値）の実測値を自動で帳票化することが可能な Web アプリケーションである。

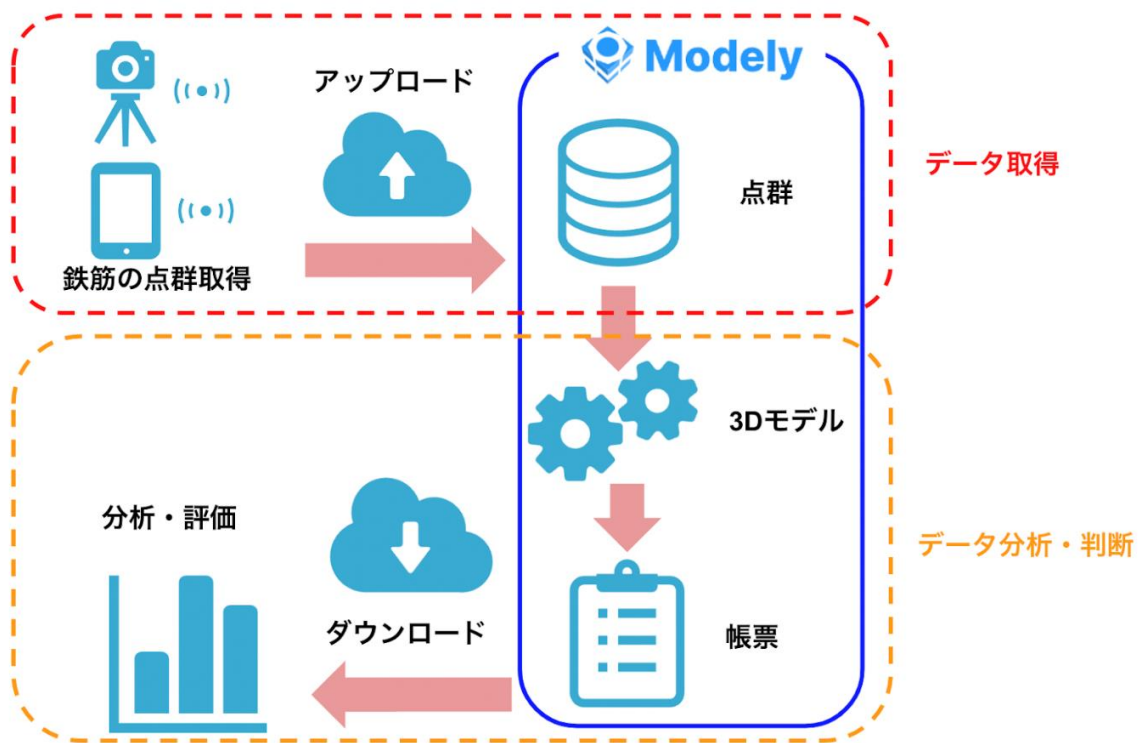


図 1 全体像

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

事業者等	実施業務・役割
DataLabs 株式会社	実証事業の運営、データ取得・分析・判断の実施
A 社（DataLabs 株式会社からの再委託先）	鉄筋のモックアップ撤去・廃棄
B 社（DataLabs 株式会社からの再委託先）	型枠のモックアップ撤去・廃棄
株式会社三菱地所設計（DataLabs 株式会社からの再委託先）	技術の適用性の評価や課題の抽出等（「技術実証の結果」に詳細を記載）

1.4.2 実施期間

令和 5 年 11 月 7 日から令和 6 年 1 月 31 日

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

2.1.1 「①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得」

(1) 実証内容の詳細

実証は以下の流れで実施した。

1. 建築現場を想定した鉄筋モックアップの作成(図 2 鉄筋モックアップ)

実際の工事現場では、現場作業のスケジュール等の制約を受けるため、実現場の配筋を模した鉄筋モックアップ（柱、梁）を本実証用に作成した。



図 2 鉄筋モックアップ

2. 点群データの取得

作成した鉄筋のモックアップに対して、点群測定機器（1 種類の地上型レーザー扫描仪と 2 種類の iPad Pro を用いた 3D スキャンアプリ）を用いて、点群データを取得した。

3. 点群のアップロード

取得した点群データを 3D 配筋検査ツール「Modely」（図 3 Modely の概要）にアップロードし、点群データの質を定性的に確認（図 4 取得した点群データの画像）した。Modely の現在の仕様ではデータ容量の上限を設けているため、当該点群データの容量が 200MB を超える場合は、前処理として点群データ処理ソフトウェア「CloudCompare」を用いてデータのダウンサンプリングを実施した。

なお、本実証中は、点群データの容量制限が 200MB であったが、2024 年 1 月時点において、Modely の機能改良を行い、点群データの容量が 1GB までアップロード可能になった。本実証にて使用した点群測定機器のうち、BLK360 G2 のみ取得するデータの容量が大きいため、ダウンサンプリングの作業が必要だが、それ以外の点群測定機器では不要である。

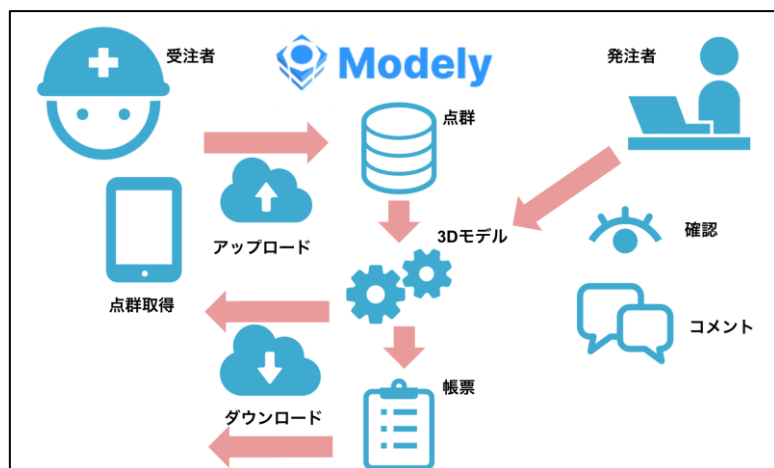


図 3 Modely の概要

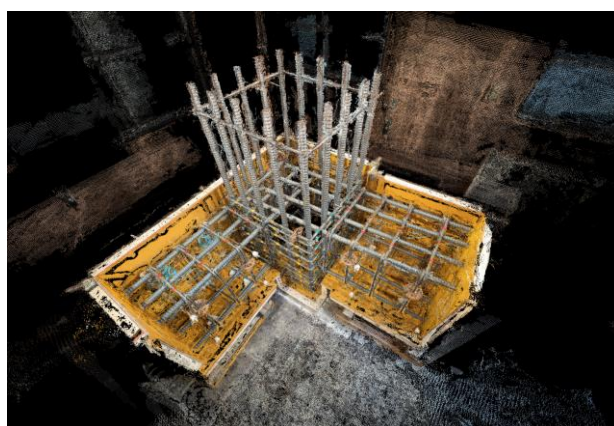


図 4 取得した点群データの画像

【その他の詳細な実証条件（撮影条件、鉄筋モックアップの詳細）】

ア.撮影条件

- 点群測定機器

本実証では複数の点群測定機器で撮影を実施した。点群測定機器を用いて取得した点群をアップロードし、その点群から 3D モデル生成・帳票作成を行うため、点群測定機器による点群の質・3D モデル生成・帳票項目の精度について検証した。

点群測定機器としては、地上型レーザースキャナーとして「BLK360 G2」、iPad Pro を用いた 3D スキャンアプリとして「Pix4D」と「Scaniverse」の 3 つを検証した。それぞれの点群測定機器の詳細については、「開発・活用した技術・システムの内容」に記載する。

- 照明条件

各点群測定機器の使用に際し、複数の照度において撮影を実施した。理由としては、実運用では一定の照度が必要なためである。

- 型枠条件

型枠がある場合とない場合を設定し、撮影を実施した。実際の検査現場では型枠がある状態で検査をすることもあれば、ない状態で検査を行うこともあるためである。

イ.撮影条件のパターン

それぞれの点群測定機器を用いて、照明条件や型枠条件を変更して検証を行った。各照明条件や各型枠条件については、後述する。撮影条件のパターンを表 1 撮影条件のパターンに示す。

BLK360 G2 については、4 パターンの検証を行った。「照明 100% / 前方の型枠なし」、「照明 100% / 後方の型枠なし」、「照明 50% / 前方の型枠なし」、「照明 50% / 後方の型枠なし」である。BLK360 G2 の場合は、計測機器を固定して撮影するため、「型枠あり」の条件では計測できない。そのため、「前方の型枠なし」または「後方の型枠なし」の条件のみ撮影を行っている。

Pix4D / Scaniverse については、6 パターンの検証を行った。6 パターンはそれぞれ「照明 100%/型枠あり」、「照明 100% / 前方の型枠なし」、「照明 100% / 後方の型枠なし」、「照明 50% / 型枠あり」、「照明 50% / 前方の型枠なし」、「照明 50% / 後方の型枠なし」である。

表 1 撮影条件のパターン

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
照明 100% / 型枠あり	- (※1)	○	○
照明 100% / 前方の型枠なし	○	○	○
照明 100% / 後方の型枠なし	○	○	○
照明 50% / 型枠あり	- (※1)	○	○
照明 50% / 前方の型枠なし	○	○	○
照明 50% / 後方の型枠なし	○	○	○

※1 : BLK360 G2 は、「型枠あり」の条件における撮影は行わず、「前方の型枠なし」、「後方の型枠なし」の条件のみ撮影を実施している。

ウ.照明条件の詳細

照明機器は、「VILTROX LED ビデオライトキット 写真撮影照明ライト VL-D640T ビデオライト」を利用した。照明配置として、照明を鉄筋モックアップの周囲 3 箇所に配置し、鉄筋に一定の照度が保たれるようにした (図 5 照明の配置)。



図 5 照明の配置

照明の明るさは、2パターン（照明 100%、照明 50%）を検証した。それぞれの照明の照度については、**表 2 照明の照度**に記載している。測定にあたっては、照度計（FT3424）を使用して、照度を測定した。

照明 100%の条件では、鉄筋の上部付近では、約 700~900 ルクス、鉄筋の底面付近では、約 200~500 ルクスであった。照明 50%の条件では、鉄筋の上部付近では、約 300~400 ルクス、鉄筋の底面付近では、約 50~200 ルクスであった。底面部分は、ほとんどの場所が、上部の約半分程度またはそれ以下の明るさであった。底面部分は、型枠の影響により明るさが減少するためである。

また、前方の型枠なしの梁左側・右側の底面は、型枠あり・後方の型枠なしよりは明るかった。後方の型枠なしの柱底面は、型枠あり・前方の型枠なしよりは明るかった。型枠がない部分は、型枠がない分明るさが上昇するためである。

表 2 照明の照度

型枠条件・測定箇所	照明 100%	照明 50%
型枠あり（柱上部）	697	289
型枠あり（梁左側上部）	816	305
型枠あり（梁右側上部）	879	383
型枠あり（柱底面）	367	149.5
型枠あり（梁左側底面）	471	120.7
型枠あり（梁右側底面）	343	68.4
前方の型枠なし（柱上部）	754	279
前方の型枠なし（梁左側上部）	805	289
前方の型枠なし（梁右側上部）	907	403
前方の型枠なし（柱底面）	367	143.5
前方の型枠なし（梁左側底面）	613	251
前方の型枠なし（梁右側底面）	501	177.7
後方の型枠なし（柱上部）	947	362
後方の型枠なし（梁左側上部）	791	275
後方の型枠なし（梁右側上部）	873	334
後方の型枠なし（柱底面）	595	216
後方の型枠なし（梁左側底面）	462	130.7
後方の型枠なし（梁右側底面）	256	112.0

工.型枠条件の詳細

「型枠あり」は、鉄筋の周囲に型枠を設置した状態である。「前方の型枠なし」は、柱・梁部分の前方の型枠のみを外した状態である。「後方の型枠なし」は柱部分の後方の型枠のみを外した状態である（**図 6 型枠条件**）。



図 6 型枠条件

オ.鉄筋モックアップの詳細

設計図（BIM、2D 図面）を**図 7 鉄筋モックアップの設計図（BIM）**、**図 8 鉄筋モックアップの設計図（2D 図面）**に示す。また、各部位の情報を拡大した詳細な図を、**図 9 鉄筋モックアップの設計図（2D 図面、拡大その 1）**、**図 10 鉄筋モックアップの設計図（2D 図面、拡大その 2）**、**図 11 鉄筋モックアップの設計図（2D 図面、拡大その 3）**に示す。ただし、設計図と実際に作成した鉄筋モックアップにおける寸法や配置は厳密には異なる部分があるため、鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚における精度検証においては、設計値ではなく実測値（従来方法におけるメジャーを用いた測定値）を用いる。柱（主鉄筋）と梁（主鉄筋、右側）は D29¹、梁（主鉄筋、左側）は D25、柱（帯筋）・梁（あばら筋、右側・左側）は D13 である。型枠については、周囲に型枠を配置しており、検証のため、取り外し可能になっている。また、鉄筋と型枠の間には、スペーサーを配置している（**図 12 型枠とスペーサーの配置**）。

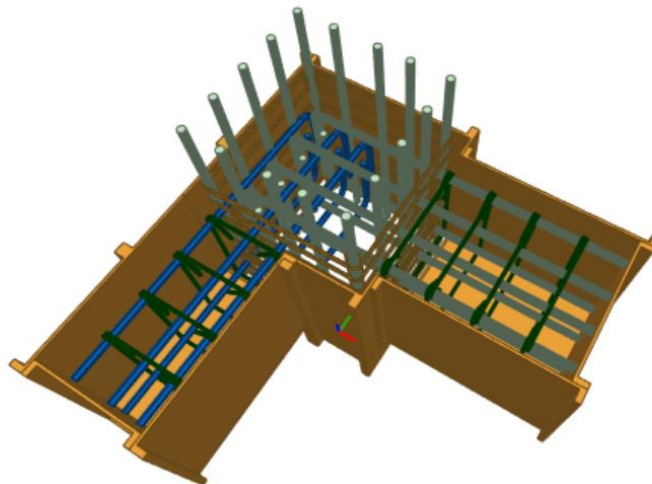


図 7 鉄筋モックアップの設計図（BIM）

¹ 異形鉄筋の型番を指す。

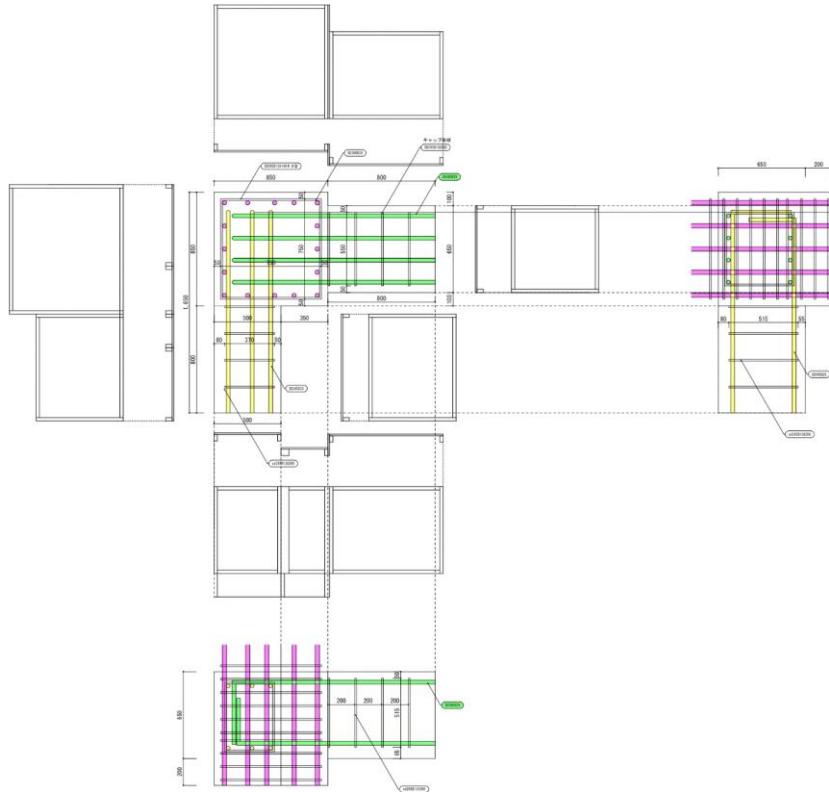


図 8 鉄筋モックアップの設計図 (2D 図面)

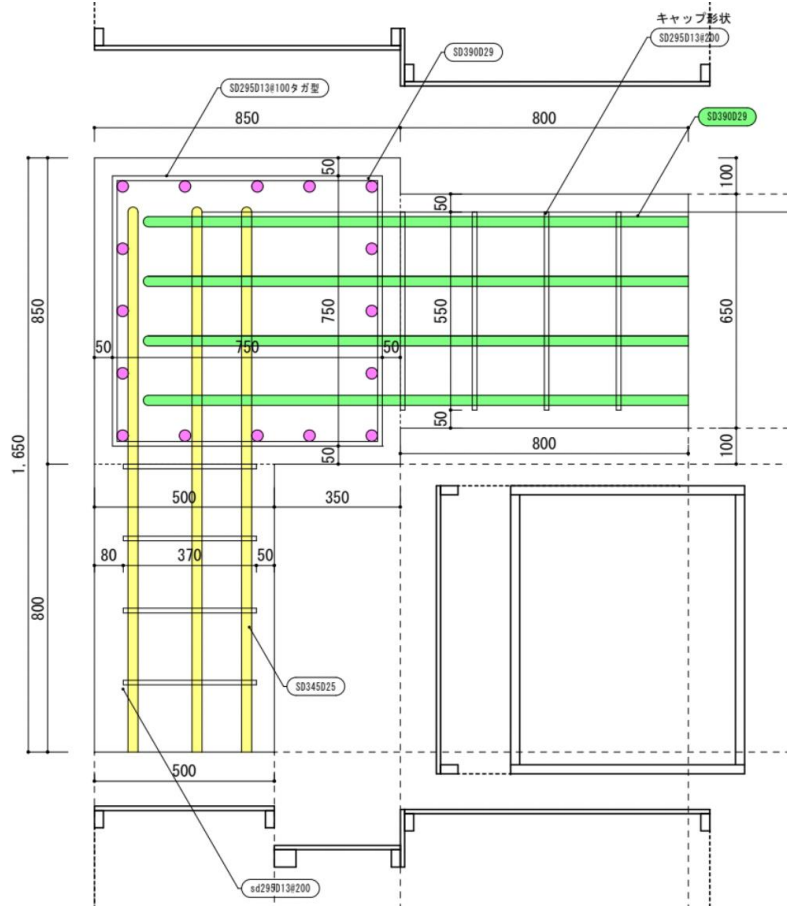


図 9 鉄筋モックアップの設計図 (2D 図面、拡大その 1)

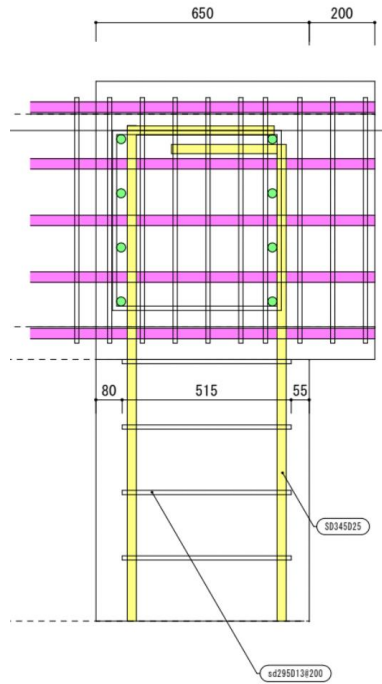


図 10 鉄筋モックアップの設計図 (2D 図面、拡大その 2)

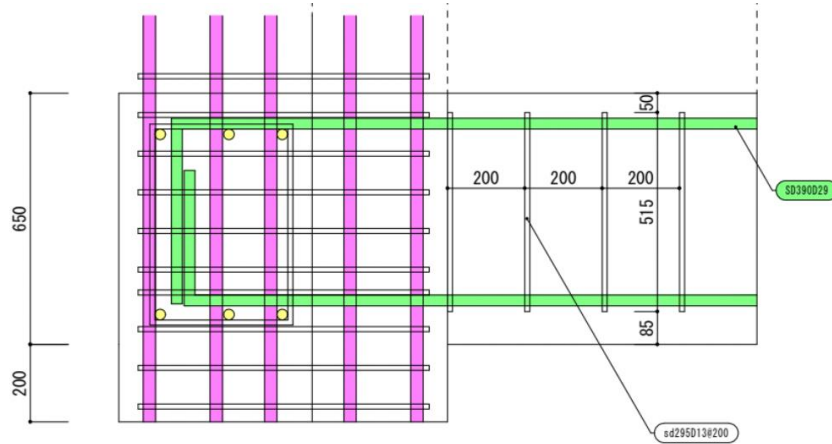
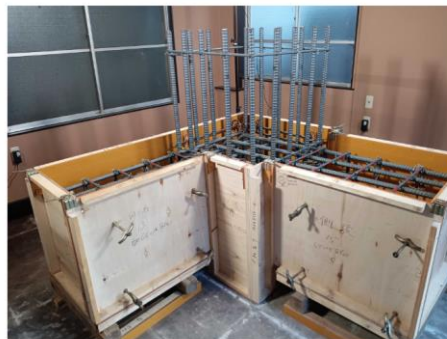


図 11 鉄筋モックアップの設計図 (2D 図面、拡大その 3)



型枠



スペーサー

図 12 型枠とスペーサーの配置

(2) 開発・活用した技術・システムの内容

開発・活用した技術・システムの一覧を表 3 開発・活用した技術・システム一覧に示す。

表 3 開発・活用した技術・システム一覧

活用した技術名称	開発元	技術の種類	概要
Modely	DataLabs 株式会社	Web アプリケーション	3D 配筋検査ツールであり、点群データを 3D モデルに変換することで、配筋検査における検査項目の実測値を自動で帳票化することが可能なツールである。
iPad Pro11 インチ (第 3 世代)	Apple Inc.	タブレット	タブレット端末である。(点群データ撮影用デバイスとして活用した。)
Leica BLK360 G2 イメージングレーザー スキャナー	Leica Geosystems AG	地上型レーザー スキャナー	地上の複数地点において測定することで点群データを取得するレーザー スキャナーである。 (点群データ撮影用デバイスとして活用した。)
Scaniverse	Niantic Inc.	モバイルアプリケーション	iPhone/iPad で点群データを取得できるアプリである。
PIX4Dcatch	Pix4D S.A.	モバイルアプリケーション	撮影した画像を 3D データに変換できる iOS/Android 端末向けのモバイルアプリケーションである。 (本実証では、PIX4Dcatch で取得した情報をもとに PIX4Dcloud で点群を生成する処理を行った。)
PIX4Dcloud	Pix4D S.A.	Web アプリケーション	フォトグラメトリを用いて、画像から自動的に点群データなどを生成する処理をクラウド上で行うアプリケーションである。
CloudCompare	cloudcompare.org	デスクトップアプリケーション	点群データ処理ソフトウェアである。(点群データの切り取り、ダウンサンプリングにおいて利用した。)

【点群データを計測するためのデバイスや処理用に用いるソフトウェア・デバイスの組み合わせ】

各デバイス・ソフトウェアを用いた点群取得（表 4 計測・処理デバイス・ソフトウェア）について、以下に説明する。本実証では、3つの点群測定機器で点群計測を行っている。

- ① 「BLK360 G2 を用いた点群取得」においては、点群データ撮影用デバイスとして、Leica BLK360 G2 イメージングレーザースキャナーを用いる。このレーザースキャナーを三脚に載せて、点群データを取得する。複数地点で取得した点群データをマージするため、デスクトップ上で処理用ソフトウェアとして Leica Cyclone REGISTER 360 を用いて、最終的な点群を生成する。BLK360 G2 は、LiDAR を用いて点群を取得している（ただし、データ取得時には、写真データも同時に取得しており、点群の色情報などは写真データを利用している。）。BLK360 G2 は、地上型レーザースキャナーとして、高精度な点群を生成できるため、本実証の点群測定機器として選定した。
- ② 「Pix4D を用いた点群取得」においては、iPad Pro にインストールした PIX4Dcatch を用いて、点群・写真データを取得する。点群は、LiDAR を用いて計測する。その後、PIX4Dcloud を用いて、クラウド上に取得した点群・写真データのアップロードを行い、最終的な点群を生成する。Pix4D においては、LiDAR を用いた点群とフォトグラメトリを用いた点群（複数の写真データから生成された点群の情報）を用いて、最終的な点群が生成される。Pix4D (PIX4Dcatch+PIX4Dcloud)は、iPad Pro を用いた 3D スキャンアプリとして、高精度な点群を生成できるため、本実証の点群測定機器として選定した。
- ③ 「Scaniverse を用いた点群取得」においては、iPad Pro にインストールした Scaniverse を用いて、点群・写真データを取得する。点群は、LiDAR を用いて計測する。その後、iPad Pro 上で Scaniverse を用いて、最終的な点群を生成する。Scaniverse においては、LiDAR を用いた点群とフォトグラメトリを用いた点群を用いて、最終的な点群が生成される。Scaniverse は、iPad Pro を用いた 3D スキャンアプリとして土木向けの運用で利用されており、本実証の点群測定機器として選定した。

表 4 計測・処理デバイス・ソフトウェア

	BLK360 G2 を用いた点群取得	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)を用いた点群取得	Scaniverse を用いた点群取得
点群データ撮影用デバイス	Leica BLK360 G2 イメージングレーザースキャナー	iPad Pro	iPad Pro
点群データ取得用ソフトウェア	-	PIX4Dcatch	Scaniverse
処理用ソフトウェア	Leica Cyclone REGISTER 360	PIX4Dcloud	Scaniverse
処理用デバイス	デスクトップ	クラウド	iPad Pro
手法	LiDAR	LiDAR+フォトグラメトリ	LiDAR+フォトグラメトリ

2.1.2「②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断」

(1) 実証内容の詳細

技術基準への適用性を確認することを目的に、取得した点群・3D モデル (Modely において点群から生成) について、主鉄筋の鉄筋本数、帯筋・あばら筋の鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚の精度を検証した。これらの計測項目は、中間検査における配筋検査で確認する主たる項目かつ基本的に帳票に記載する項目のため、本実証で検証することとした。また点群・3D モデル及び帳票による配筋の確認は完了検査時にも行うことができ、現行の完了検査における工事写真の確認に該当する。精度は、従来方法 (メジャーによる測定) による実測値と Modely を用いて測定した値を比較し、誤差を算出することで検証した。その他にも品質、安全性、施工性、業務合理化、社会実装のコストの観点から Modely の建築現場への適用に関する評価を行い、監理に精通する監修者 (三菱地所設計) による評価も受けた。

精度検証として、従来手法における実測値と Modely 上での計測による実測値を比較することとする。なお配筋検査の実業務では設計図書との比較による合否判定を実施するが、本実証では実施しない。実運用では Modely 上の帳票に設計値を入力し、自動出力された実測値と比較することで合否判定を行うことが可能であり、土木の実現場で利用されている。

【実測方法】

実測方法については、メジャーを用いた従来方法の計測と同様に行う。実測値の位置にテー

ブをはり、実測値の位置を決める。(図 13 従来手法 (メジャーによる測定))



図 13 従来手法 (メジャーによる測定)

【測定箇所】

鉄筋間隔においては、帯筋は各面あたり 4 点、あばら筋 (右側) は各面あたり 3 点、あばら筋 (左側の上面・下面) は各面あたり 2 点、あばら筋 (左側の側面) は各面あたり 3 点を測定する。かぶり厚においては、各鉄筋と型枠に対して、1 箇所または 2 箇所を測定する。測定箇所の例を図 14 鉄筋間隔・かぶり厚の測定に示す。



鉄筋間隔



かぶり厚

図 14 鉄筋間隔・かぶり厚の測定

(2) 開発・活用した技術・システムの内容

本実証で用いた Modely における 3D モデル生成から帳票出力までのフローは、以下のとおりである。(図 15 Modely における 3D モデル生成から帳票出力までのフロー)

1. Modely において、アップロードした点群から 3D モデルを生成する。その際、鉄筋径は事前に指定する。
2. 生成した 3D モデルについて、帳票出力を行う鉄筋を選択し、帳票作成を行う。

帳票に主に鉄筋径・鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚が出力される。鉄筋径は、3D モデル生成時に指定した鉄筋径が出力され、鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚は、選択した 3D モデルから自動的に算出され、帳票に出力される。3D モデルの精度検証における鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚は、この帳票出力された値をもとに行う。また、点群の精度検証は、Modely 上の距離計測機能により点群の 2 点間の距離を計測することで行う。本実証で用いた Modely の主な機能は、表 5 本実証で用いた Modely の主な機能にまとめて示してある。

表 5 本実証で用いた Modely の主な機能

機能	機能の詳細
3D モデル生成機能	点群データから鉄筋の 3D モデルを生成することができる。(図 16 Modely における 3D モデル生成)
距離計測機能	点群データなどの 2 点間距離を計測することができる。本実証では、点群データの 2 点をクリックすることで、2 点間距離を算出することに用いた(図 17 点群の 2 点間距離を計測するために用いた Modely における距離計測機能)。なお 3D モデルの自動モデル化または帳票作成時に 3D モデルの鉄筋間隔・かぶり厚は、自動的に算出される。
帳票出力機能	鉄筋の 3D モデルから帳票を作成することができる。帳票の主な項目は、鉄筋径・鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚である。(図 18 Modely における帳票の出力機能) 鉄筋間隔は、鉄筋の 3D モデル同士の距離を、かぶり厚は、鉄筋と型枠との距離を自動的に算出することによって求めることができる。

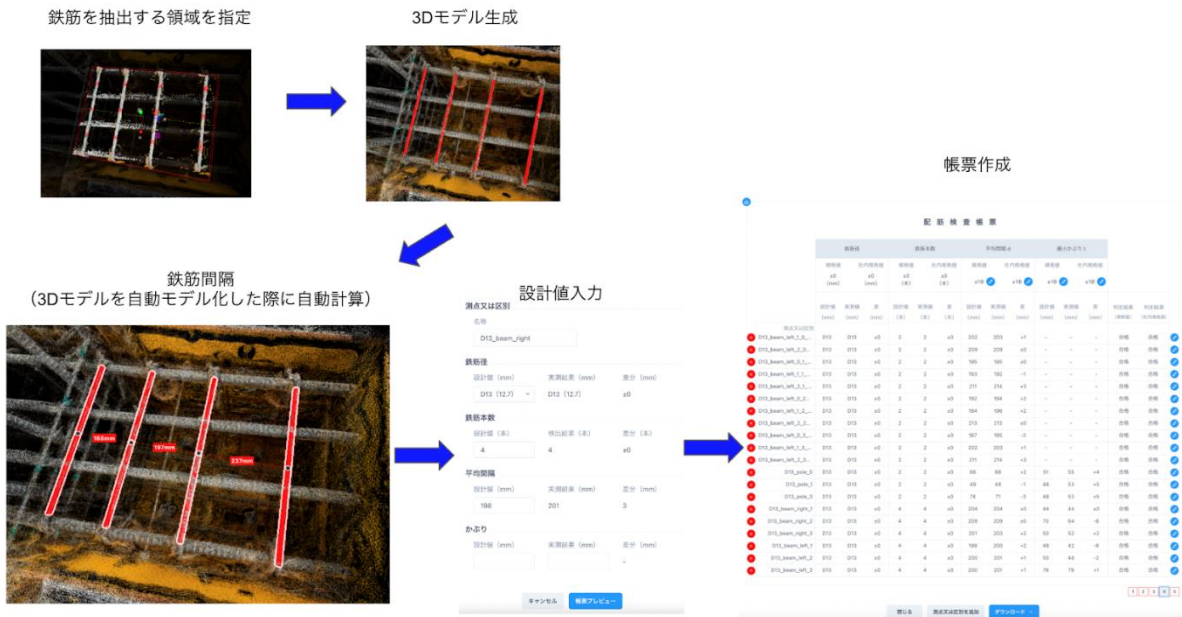


図 15 Modely における 3D モデル生成から帳票出力までのフロー



図 16 Modely における 3D モデル生成

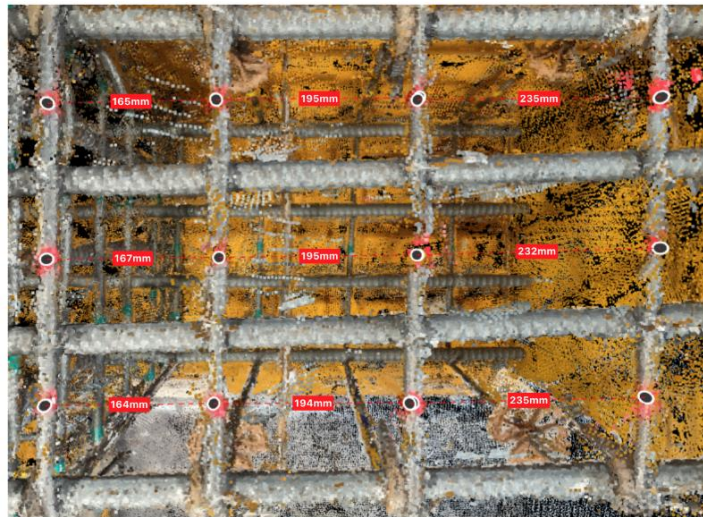


図 17 点群の 2 点間距離を計測するために用いた Modely における距離計測機能

配筋検査帳票

工事名	工事名_0	<input checked="" type="checkbox"/>	作成者	山田太郎	<input checked="" type="checkbox"/>
工種名	工種名_0	<input checked="" type="checkbox"/>	作成日	2023/03/10	<input checked="" type="checkbox"/>
種別	種別_0	<input checked="" type="checkbox"/>			

	鉄筋径		鉄筋本数			平均間隔 d			最小かぶり t			判定結果 (規格値)	判定結果 (社内規格値)	
	規格値 ±0 (mm)	社内規格値 ±0 (mm)	規格値 ±0 (本)	社内規格値 ±0 (本)	差	規格値 ±0.5Φ	社内規格値 ±0.5Φ	差	規格値 ±0.5Φ	社内規格値 ±0.5Φ	差			
設計値 (mm)														
実測値 (mm)														
差 (mm)														
設計値 (本)														
実測値 (本)														
差 (本)														
設計値 (mm)														
実測値 (mm)														
差 (mm)														
判定結果 (規格値)														
判定結果 (社内規格値)														

測点又は区別	設計値 (mm)	実測値 (mm)	差 (mm)	設計値 (本)	実測値 (本)	差 (本)	設計値 (mm)	実測値 (mm)	差 (mm)	設計値 (mm)	実測値 (mm)	差 (mm)	判定結果 (規格値)	判定結果 (社内規格値)
1	D22	D22	±0	5	5	±0	125	120.57	-4.43	77	79.43	+2.43	合格	合格
2	D13	D13	±0	3	3	±0	150	150.76	+0.76	-	-	-	合格	合格

1

図 18 Modely における帳票の出力機能

2.2 実施場所等

実施場所①：東京都台東区の貸倉庫

実証項目：①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得

日付：令和5年11月15日～12月1日

詳細な日程は、表6 実証項目：①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得の日程に記載している。また技術実証の様子を図19 技術実証の様子に示す。

表6 実証項目：①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得の日程

日程	作業内容
11/13-15	Scaniverse による試し撮影
11/14-15	Pix4D による試し撮影
11/16	BLK360 G2 による試し撮影
11/17	撮影データ確認
11/20-22	Scaniverse, Pix4D, BLK360 G2 による撮影
11/28-29	Pix4D, BLK360 G2 による撮影
11/27-12/1	撮影データ確認



図19 技術実証の様子

実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断

日付：令和5年12月4日～12月29日

詳細な日程は、表7 実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断の日程に記載している。

表7 実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断の日程

日程	作業内容
12/4-29	従来方法（メジャー測定・目視）での計測

実施場所②：弊社オフィス

実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断

日付：令和 5 年 12 月 4 日～1 月 19 日

詳細な日程は、表 8 実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断の日程に記載している。

表 8 実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断の日程

日程	作業内容
12/4-29	点群データの 3D モデル化と検査項目の値の算出
12/25-1/19	技術基準への適合性等、設定した評価観点（3.1 に記載）からの結果の評価

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価を行う観点・評価ポイント・評価方法

本実証における実証項目について、以下の観点から評価を行う。各評価の詳細については 3.1.1 以下で説明する。

- 技術基準への適合性等
配筋検査の帳票項目の精度の観点から、定量的に問題ないかを評価する。
- 品質
配筋検査における環境の観点から、配筋検査における品質に問題ないかどうかを評価する。
- 安全性
配筋検査を行う上で新たな危険が生じないかどうかの観点から、配筋検査において安全性に問題がないかを評価する。
- 施工性
配筋検査の作業・操作の観点から、配筋検査において施工性に問題がないかを評価する。
- 業務合理化
配筋検査における時間の観点から、配筋検査の業務が合理化されているかを評価する。
- 技術監修者（三菱地所設計）による評価
第三者の観点から、技術監修者による評価を行う。
- 社会実装のコスト
実運用する上でのコスト（金額）の観点から評価する。

3.1.1 技術基準への適合性等の評価

技術基準への適合性等の評価として、以下の評価をそれぞれ行う。

- (1) 点群の精度評価
- (2) 3D モデルの精度評価

点群及び 3D モデルの精度検証の評価ポイントとしては、Modely を用いた点群及び 3D モデルにおける計測値と従来方法による実測値の誤差が目標値以内かどうかを評価する。目標

値は、鉄筋本数：±0 本、鉄筋間隔：±0.3φ、かぶり厚：±φ（ただし、φ は鉄筋の直径。）と定めた。鉄筋間隔の目標値は、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領（案）令和 5 年 7 月 国土交通省 大臣官房技術調査課」²p.5 を参考として定めた。主鉄筋に対しては鉄筋本数を、帯筋・あばら筋に対しては鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚を算出した。（表 9 主鉄筋・帯筋・あばら筋に対する項目）

点群の精度評価は鉄筋間隔について、3D モデルの精度評価は鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚について、行っている。点群の精度評価は、点群の精度を確認する目的であるため、鉄筋間隔のみを用いている。かぶり厚は、点群から確認することは難しいため（点群では平面の位置を指定するのが難しい）、3D モデルを用いて評価を行った。（表 10 点群・3D モデルの精度評価で行う項目）

点群及び 3D モデルの精度検証の評価方法について、比較対象とする従来方法としては、鉄筋本数は目視による確認、鉄筋間隔・かぶり厚はメジャーによる測定を実施した。Modely による計測は、点群については 2 点間距離を計測、3D モデルについては、鉄筋同士の距離を自動的に計測した。

表 9 主鉄筋・帯筋・あばら筋に対する項目

項目	主鉄筋	帯筋・あばら筋
鉄筋本数	○	○
鉄筋間隔	-	○
かぶり厚	-	○

表 10 点群・3D モデルの精度評価で行う項目

項目	点群	3D モデル
鉄筋本数	-	○
鉄筋間隔	○	○
かぶり厚	-	○

3.1.2 品質の評価

「複数の照明環境下でも確認ができること」と「検査項目を帳票に自動出力できること（ミス防止、省力化）等」を確認する。また「現地に赴かなくとも、Modely 上で確認作業ができること」を確認した。

「複数の照明環境下でも確認ができること」については、複数の照明条件における点群（鉄筋間隔）または 3D モデル（鉄筋間隔、かぶり厚）の結果を比較することによって行った。「検査項目を帳票に自動出力できること（ミス防止、省力化）等」については、点群から作成した 3D モデルを用いて、帳票項目（鉄筋径、鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚）を帳票に出力が可能であることを示す。「現地に赴かなくとも、Modely 上で確認作業ができること」については、Modely 上の点群・3D モデル・帳票を遠隔で確認できることを確認した。

² <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001619475.pdf>

3.1.3 安全性の評価

従来現場での手作業と比べて同等以上の安全性を有していること（足場での作業を想定した安全性等）を確認した。

具体的には、測定機器の設置や測定機器を用いた撮影が従来と同様以上の安全性であるかを確認した。

3.1.4 施工性の評価

「少人数で計測できること」と「操作が容易であること」を確認する。「少人数で計測できること」については、測定機器の設置や測定機器を用いた撮影が少人数で計測できるか確認した。

「操作が容易であること」については、測定機器の設置や測定機器を用いた撮影が容易であることと、Modely の操作が初心者でも操作可能であることを確認した。

3.1.5 業務合理化の評価

従来方法と Modely による検査方法（以下、「新方法」という）での所要時間の差を業務の合理化の程度を測る定量的指標として計測した。その目標値は、新方法の所要時間/従来方法の所要時間 = 60%（40%削減）とした。

3.1.6 技術監修者（三菱地所設計）による評価

従来現場で確認していたポイントを、Modely でどの程度確認できるかを確認した。具体的には、モックアップのある倉庫において、点群取得・Modely における点群のアップロード・3D モデル・帳票作成、従来方法での実測値との比較のデモを行い、技術監修者の観点から、新方法を用いることの容易さ、所用時間、操作性を確認した。

また、今後の課題についても確認・評価を行った。

3.1.7 社会実装のコストの評価

点群測定機器、利用ソフトウェア等のコストを従来方法と新方法で比較した。

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 技術基準への適合性等の評価

(1) 点群の精度評価

点群の精度評価におけるデータ数を、**表 11 点群：鉄筋間隔（データ数）**に示す。点群上の鉄筋間隔は、測定箇所の 2 点同士の距離を測定したものである。鉄筋間隔は、帯筋・あばら筋に対して距離の測定を行う。

表 11 点群：鉄筋間隔（データ数）

条件	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
照明 100% / 型 枠あり	-	42	27
照明 100% / 前 方の型枠なし	60	60	25
照明 100% / 後 方の型枠なし	64	64	40
照明 50% / 型 枠あり	-	42	15
照明 50% / 前 方の型枠なし	51	60	25
照明 50% / 後 方の型枠なし	64	60	32
合計	239	328	164

点群の精度評価における定性的評価を、点群測定機器別に**表 12 点群 の定性的評価 (点群測定機器別)**にまとめた。以下、詳細について補足説明を行う。

表 12 点群 の定性的評価(点群測定機器別)

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
柱 (主鉄筋)	○ (※1)	◎	○
梁 (主鉄筋)	○ (※1)	◎	○
柱 (帯筋)	○ (※1)	○	○ (※2)
梁 (あばら筋)	○ (※1)	◎	○
型枠	◎ (※1)	○	○
スペーサー	○ (※1)	○	○
スケール	◎ (※1)	◎	○

◎は3つの点群測定機器の中でより精度が良いこと、○は十分な精度があることを示している。

※1:BLK360 G2 は、前方または後方の型枠なしのように、型枠が一部外れている時のみ点群の取得が可能。

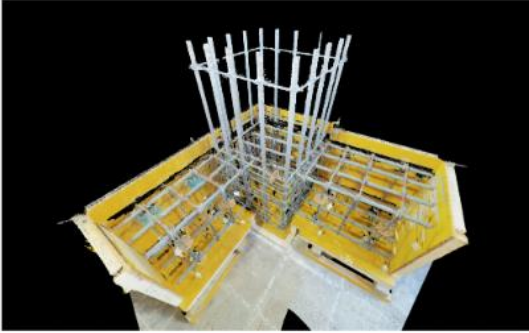
※2:Scaniverse については、柱 (帯筋) の最低面付近の帯筋に関して、型枠ありの場合、点群取得が難しい時がある。

【BLK360 G2】

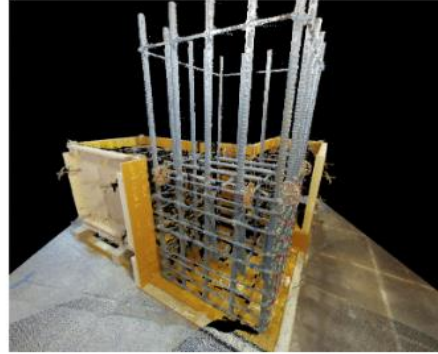
BLK360 G2 で取得した点群について、**図 20 BLK360 G2 で取得した点群**、**図 21 BLK360 G2 で取得した点群 (詳細な部位)** に示す。鉄筋については、一部型枠がない場合 (前方の型枠なし、後方の型枠なし) は、点群は綺麗に取得可能である。ただし、画角が Pix4D や Scaniverse を用いた場合に比べて限定されるため、鉄筋の軸方向で見ると、点群が欠ける傾向にある。測定機器の画角の向きの鉄筋の点群形状 (今回の場合は、柱の帯鉄筋など) は、はっきり写っているが、測定機器の画角の向きではない方向の鉄筋の点群形状 (今回の場合は、梁のあばら筋の上面など) は、精度が落ちる傾向がある。型枠が全部ある場合は、三脚が高いものをアタッチメントすることで、一部は取得が可能な可能性はあるが、画角の設定が難しく、底面部分の鉄筋は写らない可能性がある。柱 (主鉄筋)、梁 (主鉄筋)、柱 (帯鉄筋)、梁 (あばら筋) は、型枠を外した状態であれば取得可能である。型枠については、今回行った点群測定機器の中では、一番ノイズが少ない状態での型枠の点群が取得できている。スペーサーについても点群から確認可能であった。点群のスケールについては、点群と実測の誤差は小さく、安定していた。

BLK360 G2で取得した点群

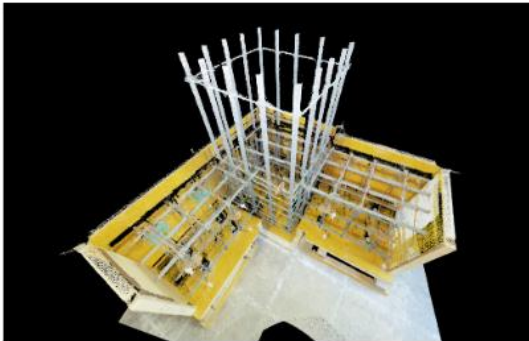
照明100% / 前方の型枠なし



照明100% / 後方の型枠なし



照明50% / 前方の型枠なし



照明50% / 後方の型枠なし

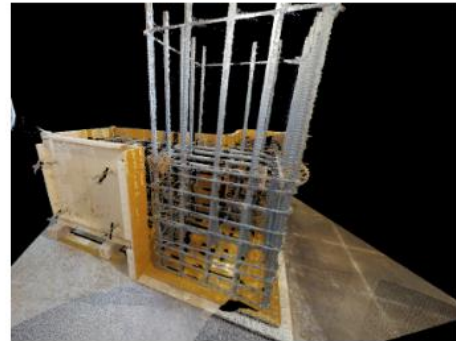


図 20 BLK360 G2 で取得した点群

BLK360 G2で取得した点群 (柱)
(照明50%、前方の型枠なし)



BLK360 G2で取得した点群 (梁、上
面) (照明50%、前方の型枠なし)



BLK360 G2で取得した点群 (梁、側面)
(照明50%、前方の型枠なし)

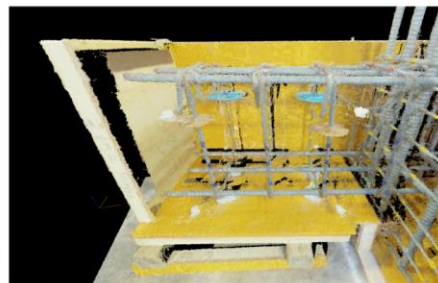


図 21 BLK360 G2 で取得した点群 (詳細な部位)

【Pix4D】

Pix4D で取得した点群について、**図 22 Pix4D で取得した点群**、**図 23 Pix4D で取得した点群（詳細な部位）** に示す。鉄筋の点群の境界のコントラストがはっきりしている。また型枠ありでも、奥の方なども点群は取得が可能である。柱（主鉄筋）、梁（主鉄筋）、梁（あばら筋）は問題なく取得可能である。柱（帯鉄筋）については、柱の一番下の帯鉄筋は、全部型枠がある場合は、柱の上部分よりは取得が難しくなり（画角的に撮影しづらいため）、部分的に欠ける時があるが、点群自体は取得できている。また、型枠なしであれば問題なく取得可能である。型枠に関しては、ノイズはあるが、全体的に型枠の点群は取得できている。型枠の上の方はノイズが少ないが、奥の方（底面や側面の下付近）はノイズが多くなる。スパーサーについても点群から確認可能であった。点群のスケールについては、点群と実測の誤差は小さく、安定していた。

Pix4Dで取得した点群

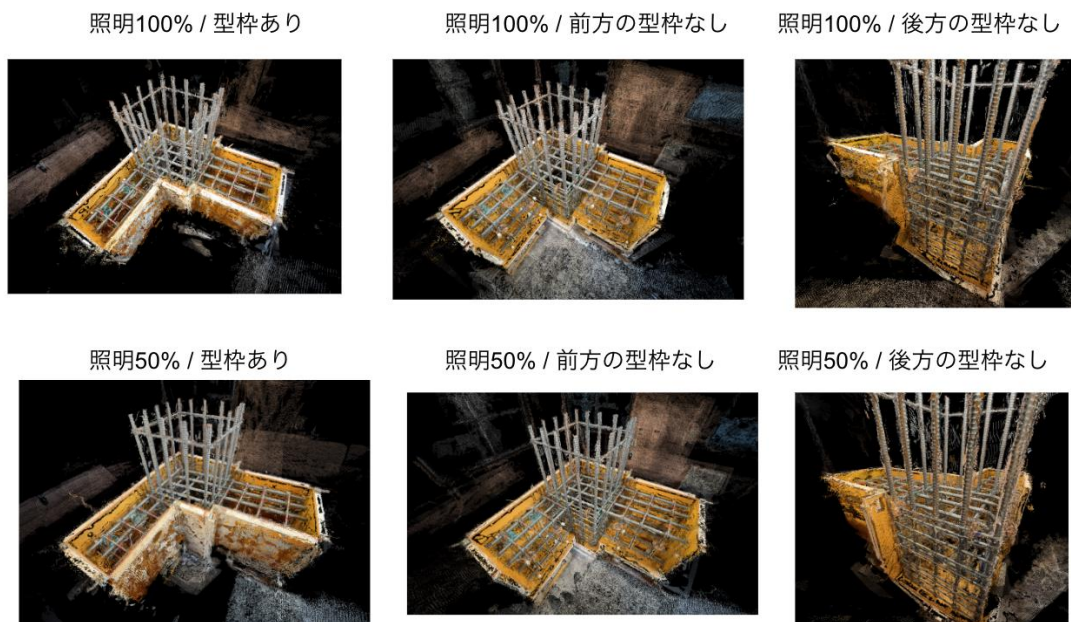
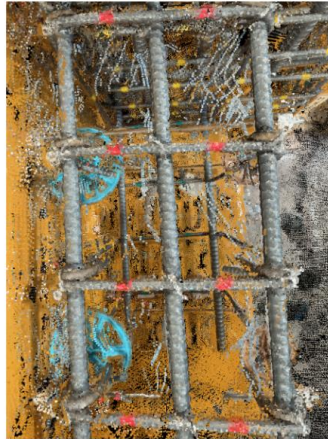


図 22 Pix4D で取得した点群

Pix4Dで取得した点群（柱）
（照明50%、前方の型枠なし）



Pix4Dで取得した点群（梁、上面）
（照明50%、前方の型枠なし）



Pix4Dで取得した点群（梁、側面）
（照明50%、前方の型枠なし）

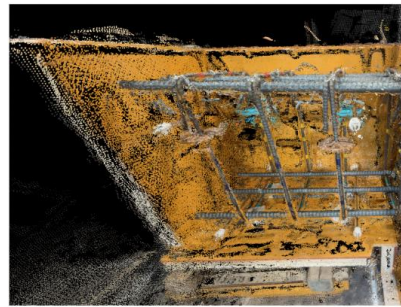


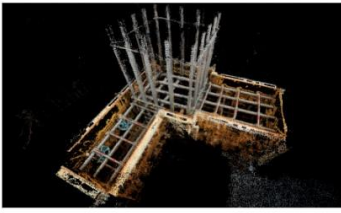
図 23 Pix4D で取得した点群（詳細な部位）

【Scaniverse】

Scaniverse で取得した点群について、**図 24 Scaniverse で取得した点群**、**図 25 Scaniverse で取得した点群（詳細な部位）**に示す。Scaniverse においても、Pix4D と同様に型枠ありや奥の方の点群も取得可能だが、鉄筋の点群の境界が Pix4D に比べると、粗くなる。特に D13 のような細い鉄筋は、Pix4D に比べると粗くなる時がある。柱（主鉄筋）、梁（主鉄筋）、梁（あばら筋）は問題なく取得可能である。柱（帯鉄筋）については、柱の一番下の帯鉄筋は、全部型枠がある場合は、取得が難しい場合があるが（画角的に撮影しづらいため）、型枠なしであれば問題なく取得可能である。部分的に型枠の点群は取得できているが、点群の欠け自体は、Pix4D や BLK360 G2 に比べると、多い。スペーサーについても点群から確認可能であった。点群のスケールについては、点群と実測の誤差が大きい場合もあるため、点群取得後に、誤差が小さいかどうかを確認した後、3D モデルを作成するように注意する必要があると考えられる。点群と実測の誤差が大きい場合は、再度撮影を行う必要がある。

Scaniverseで取得した点群

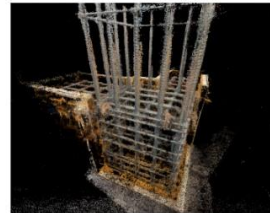
照明100% / 型枠あり



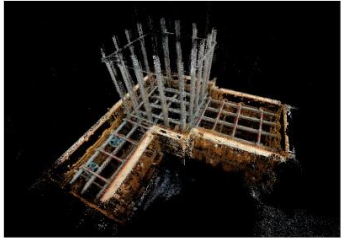
照明100% / 前方の型枠なし



照明100% / 後方の型枠なし



照明50% / 型枠あり



照明50% / 前方の型枠なし



照明50% / 後方の型枠なし

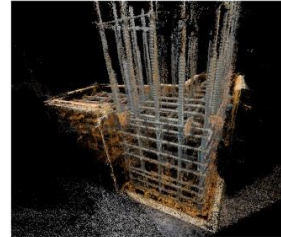
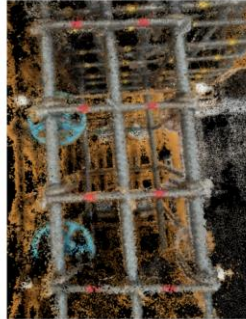


図 24 Scaniverseで取得した点群

Scaniverseで取得した点群 (柱)
(照明50%、前方の型枠なし)



Scaniverseで取得した点群 (梁、上面)
(照明50%、前方の型枠なし)



Scaniverseで取得した点群 (梁、側面)
(照明50%、前方の型枠なし)

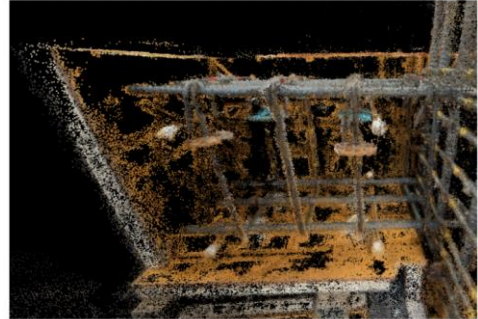


図 25 Scaniverseで取得した点群 (詳細な部位)

点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布について、**図 26 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布**に示す。BLK360 G2、Pix4D、Scaniverse いずれも、相対誤差が 0.3ϕ 以内に収まっている。

点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布

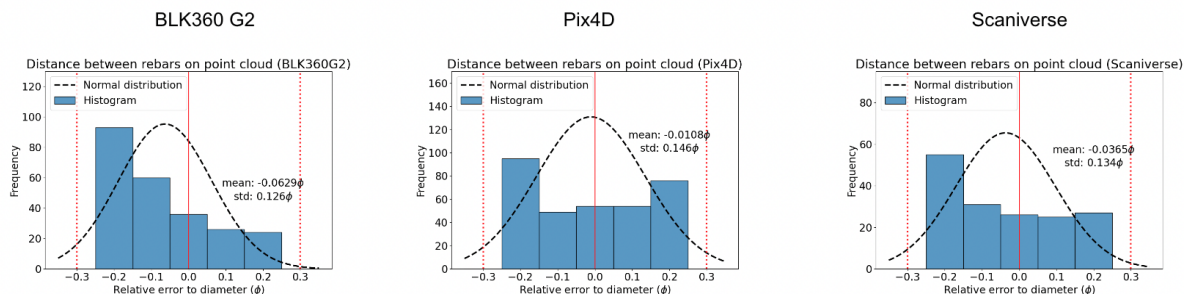


図 26 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布

点群の精度評価における計測条件による違い（点群測定機器・型枠条件による比較）について、**図 27 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（点群測定機器別）**、**図 28 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（型枠条件）**に示す。点群測定機器・型枠条件による差異はあまりない。

点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（点群計測機器別）

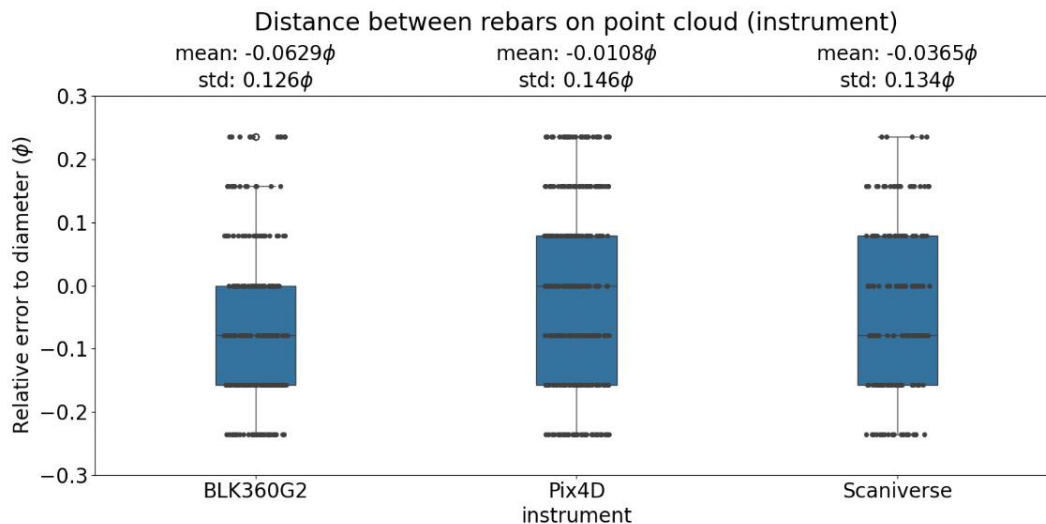


図 27 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（点群測定機器別）

点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（型枠条件）

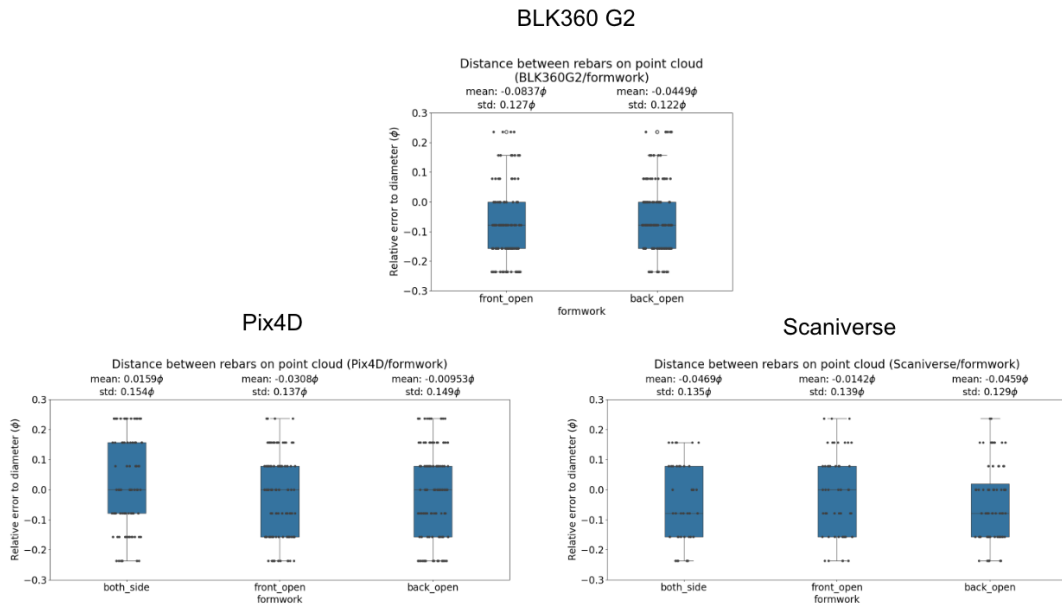


図 28 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（型枠条件）³

³ both_side, front_open, back_open はそれぞれ「型枠あり」、「前方の型枠なし」、「後方の型枠なし」の条件に対応する。

(2) 3Dモデルの精度評価

3Dモデルの精度評価における鉄筋間隔のデータ数を表 13 3Dモデル：鉄筋間隔（データ数）に記載する。後方の型枠なしの場合は、柱の帯筋（後方側の2面）のみを利用し、型枠ありの場合、柱の帯筋（後方側の2面）は含まない（ただし、Scaniverse においては、柱の帯筋(前方の型枠側の2面)の一部の最下層付近は含まない。)。前方の型枠なしの場合、柱の帯筋(後方側の2面)は含まない。

表 13 3Dモデル：鉄筋間隔（データ数）

条件	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
照明 100% / 型 枠あり	-	40	36
照明 100% / 前 方の型枠なし	40	40	40
照明 100% / 後 方の型枠なし	16	16	16
照明 50% / 型 枠あり	-	40	35
照明 50% / 前 方の型枠なし	40	40	40
照明 50% / 後 方の型枠なし	16	16	16
合計	112	192	183

3Dモデルの精度評価におけるかぶり厚のデータ数を表 14 3Dモデル：かぶり厚（データ数）記載する。かぶり厚は、型枠ごとに算出する。

表 14 3Dモデル：かぶり厚（データ数）

条件	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
照明 100% / 型 枠あり	-	9	9
照明 100% / 前 方の型枠なし	6	6	6
照明 100% / 後 方の型枠なし	-	-	-
照明 50% / 型 枠あり	-	9	9
照明 50% / 前 方の型枠なし	6	6	6
照明 50% / 後 方の型枠なし	-	-	-
合計	12	30	30

3Dモデルの精度検証における定性的評価について、点群測定機器別に**表 15 3Dモデルの定性的な評価**にまとめた。以下、詳細について補足説明を行う。

表 15 3Dモデルの定性的な評価

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
柱（主鉄筋）	○（※1）	○	○
梁（主鉄筋）	○（※1）	○	○
柱（帯筋）	○（※1）	○	○（※2）
梁（あばら筋）	○（※1）	○	○
型枠	◎（※1）	○	○
鉄筋間隔	○（※1）	○	○
かぶり厚	◎（※1）	○	○

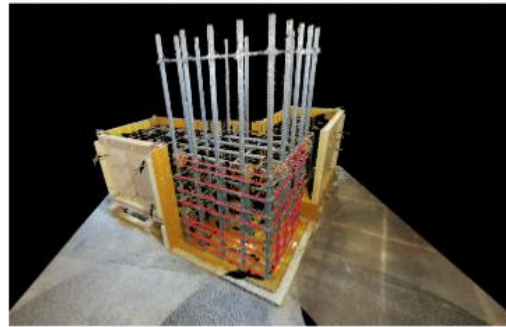
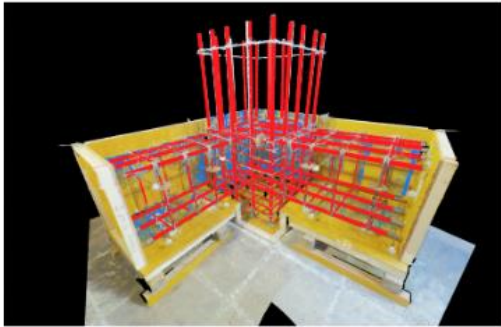
- ◎は3つの点群測定機器の中でより精度が良いこと、○は十分な精度があることを示している。
- ※1：BLK360 G2は、前方または後方の型枠なしのように、型枠が一部外れている時のみ点群取得可能なため、それらの点群に対して、3Dモデル化が可能である。
- ※2：Scaniverseについては、柱（帯筋）の最低面付近の帯筋については、型枠ありの場合、点群取得が難しい時があるため、3Dモデル化が困難な時がある。

BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデルについて、**図 29 BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル**、**図 30 BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル（詳細な部位）**に示す。BLK360 G2においては、一部型枠がない場合（前方の型枠なし、後方の型枠なし）のみ点群取得が可能のため、そのような場合のみ3Dモデル化可能である。鉄筋・型枠ともに3Dモデル化が可能であり、点群に沿って、3Dモデルが正しく生成されている（定量的な評価については後述する。）。型枠については、Pix4D・Scaniverseに比べると、BLK360 G2の点群は、一番綺麗なため、型枠の3Dモデル化が一番容易である（かぶり厚による定量的な評価は後述する。）。

BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル

照明100% / 前方の型枠なし

照明100% / 後方の型枠なし



照明50% / 前方の型枠なし

照明50% / 後方の型枠なし

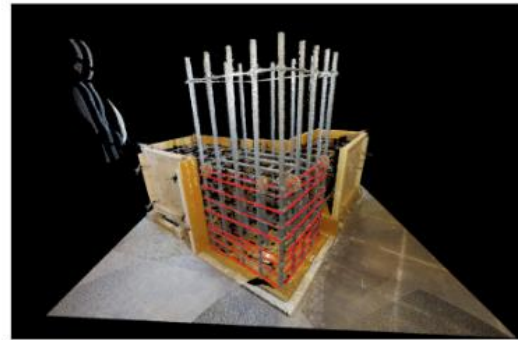
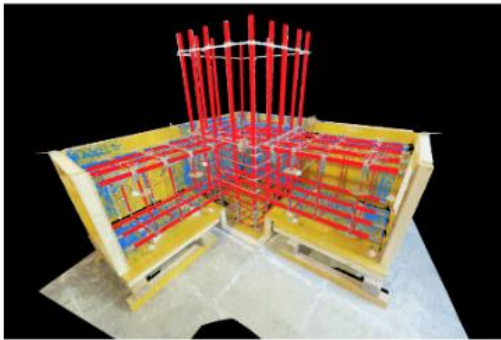


図 29 BLK360 G2 で取得した点群から生成した 3D モデル

BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル（柱）
（照明50%、前方の型枠なし）

BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル（梁、上面）
（照明50%、前方の型枠なし）

BLK360 G2で取得した点群から生成した3Dモデル（梁、側面）
（照明50%、前方の型枠なし）

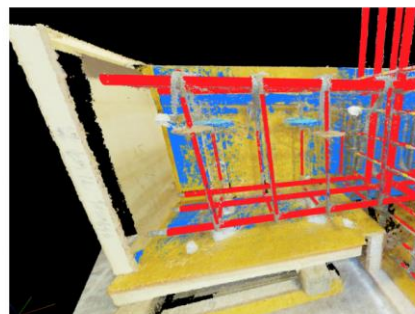


図 30 BLK360 G2 で取得した点群から生成した 3D モデル（詳細な部位）

Pix4D で取得した点群から生成した 3D モデルについて、**図 31 Pix4D で取得した点群から生成した 3D モデル**、**図 32 Pix4D で取得した点群から生成した 3D モデル（詳細な部位）** に示す。鉄筋・型枠ともに 3D モデル化が可能であり、点群に沿って、3D モデルが

正しく生成されている（定量的な評価については後述する。）。型枠については、点群は、型枠部分にノイズが多い部分もあるが、平面の 3D モデル化は十分な精度で検出可能である（かぶり厚による定量的な評価は後述する。）。

Pix4Dで取得した点群から生成した3Dモデル

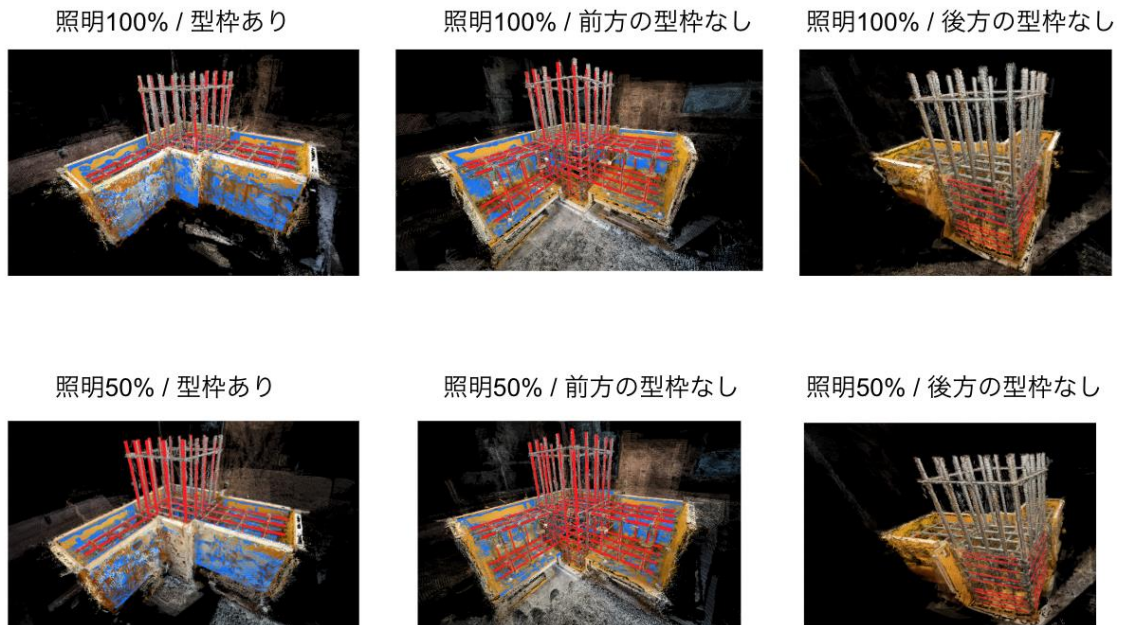


図 31 Pix4D で取得した点群から生成した 3D モデル

Pix4Dで取得した点群から生成した3Dモデル（柱）
（照明50%、前方の型枠なし）

Pix4Dで取得した点群から生成した3Dモデル（梁、上面）
（照明50%、前方の型枠なし）

Pix4Dで取得した点群から生成した3Dモデル（梁、側面）
（照明50%、前方の型枠なし）

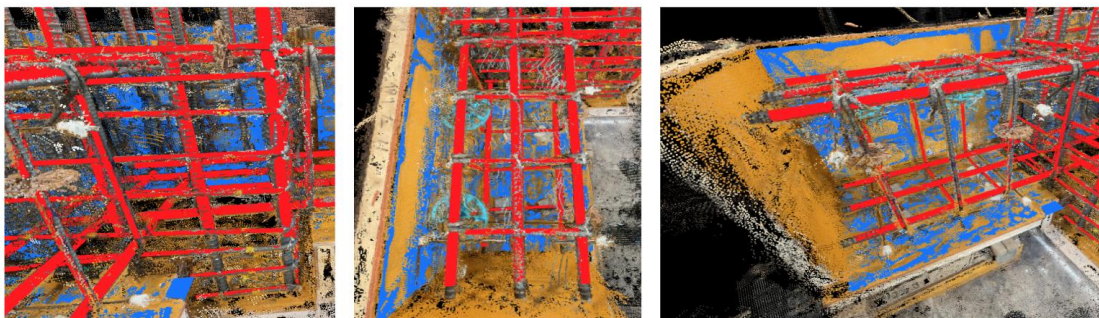


図 32 Pix4D で取得した点群から生成した 3D モデル（詳細な部位）

Scaniverse で取得した点群から生成した 3D モデルについて、**図 33 Scaniverse で取得した点群から生成した 3D モデル**、**図 34 Scaniverse で取得した点群から生成した 3D モデル（詳細な部位）** に示す。鉄筋・型枠ともに 3D モデル化が可能であり、点群に沿って、3D モデルが正しく生成されている（定量的な評価については後述する。）。型枠の点群は、Pix4D や BLK360 G2 と比較すると欠けやすいが、平面の 3D モデル化は十分な

精度で検出可能である（かぶり厚による定量的な評価は後述。） 。ただし、柱（帯筋）の最低面付近の帯筋については、型枠ありの場合は、点群取得が難しい時があるため、3Dモデル化が困難な時がある。

Scaniverseで取得した点群から生成した3Dモデル

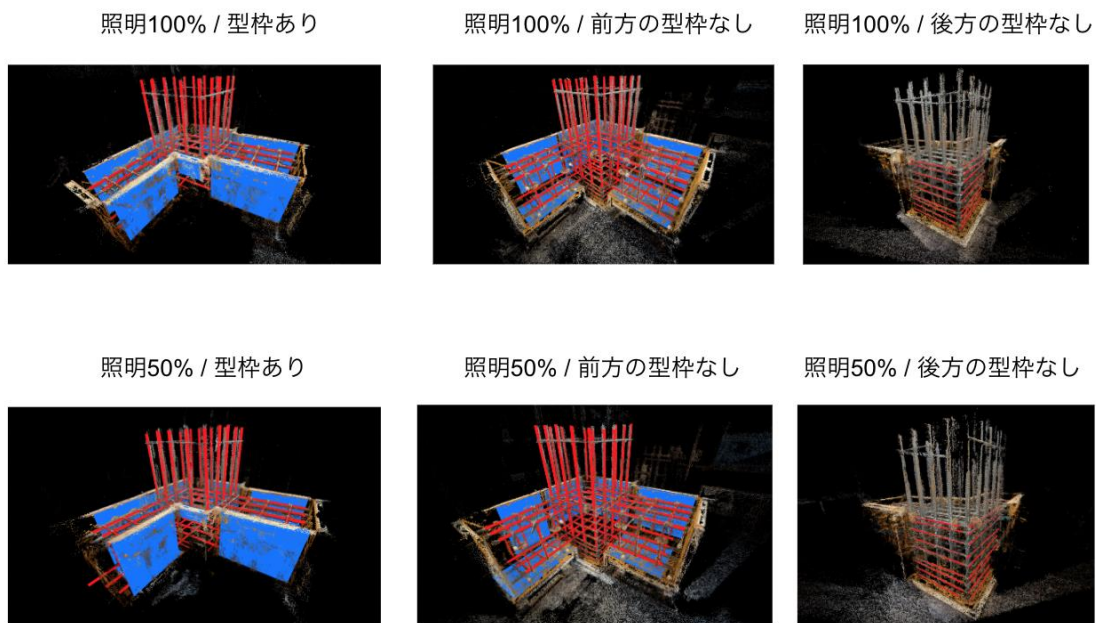


図 33 Scaniverse で取得した点群から生成した 3D モデル

Scaniverseで取得した点群から生成した3Dモデル（柱）
（照明50%、前方の型枠なし）

Scaniverseで取得した点群から生成した3Dモデル（梁、上面）
（照明50%、前方の型枠なし）

Scaniverseで取得した点群から生成した3Dモデル（梁、側面）
（照明50%、前方の型枠なし）

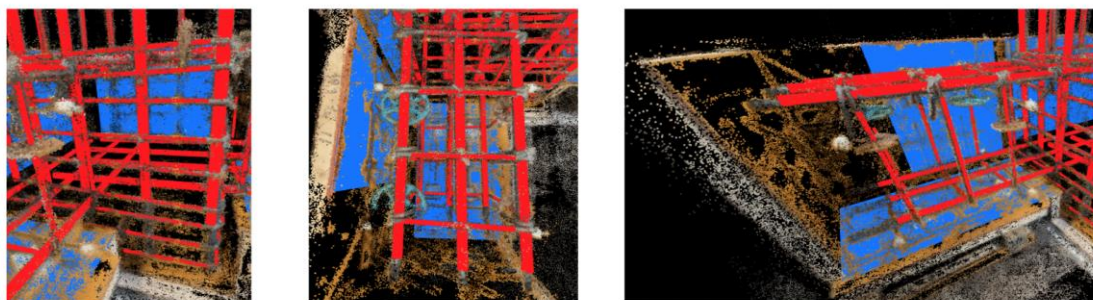


図 34 Scaniverse で取得した点群から生成した 3D モデル（詳細な部位）

3Dモデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布について、**図 35 3Dモデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布**に示す。BLK360 G2、Pix4D、Scaniverse いずれも、相対誤差が 0.3 φ 以内に収まっている。

3Dモデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布

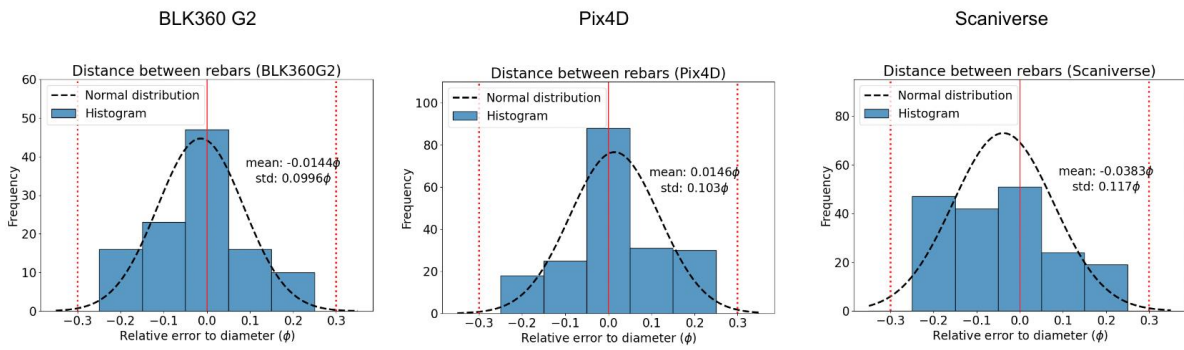


図 35 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布

3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（点群測定機器・型枠条件による比較）について、図 36 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布（点群測定機器別）、図 37 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布（型枠条件）に示す。点群測定機器、型枠条件による差異はあまりない。

3Dモデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（点群計測機器別）

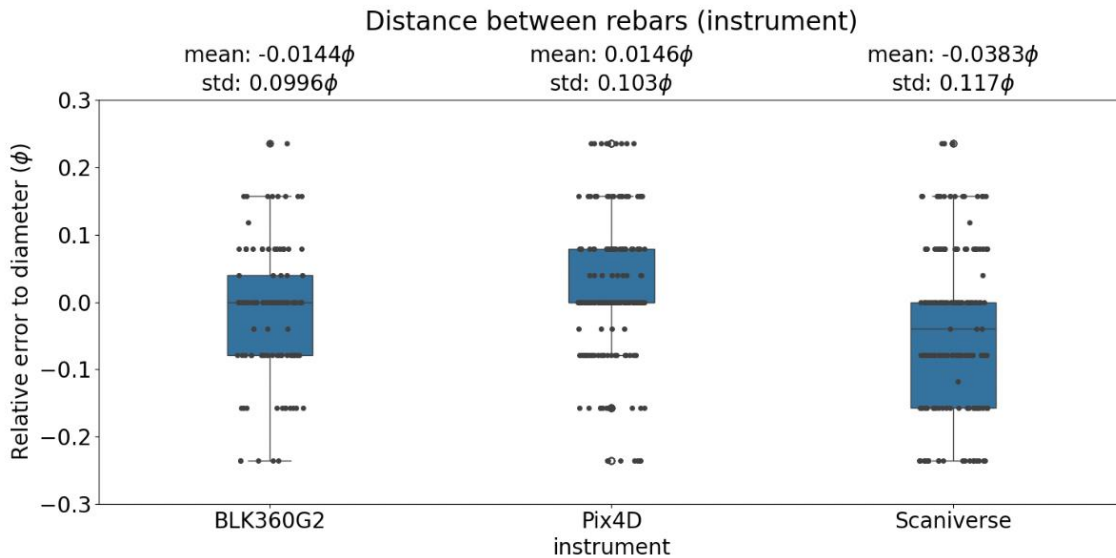


図 36 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布（点群測定機器別）

3Dモデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（型枠条件）

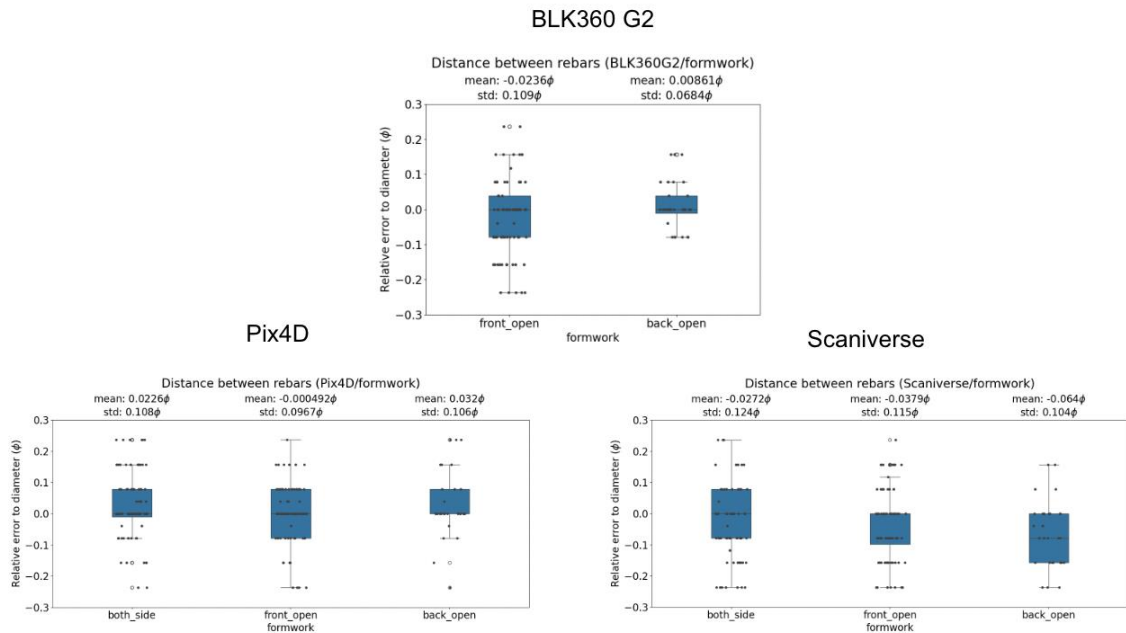


図 37 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測データの分布（型枠条件）⁴

3D モデルの精度評価（かぶり厚）における計測データ分布について、BLK360 G2、Pix4D、Scaniverse 全て、相対誤差が 0.6 φ 以内に収まっている（図 38 3D モデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布）。BLK360 G2 が一番精度が良く、Pix4D、Scaniverse はほぼ同じ精度である。型枠の点群が Pix4D や Scaniverse と比較して、ノイズが少なく綺麗な点群であるからと考えられる。Pix4D や Scaniverse は、BLK360 G2 と比較すると、型枠の点群はノイズがあるが、平面の 3D モデル生成において、ノイズの影響を抑制して平面の 3D モデルを生成するため、上記のような精度が実現できていると考えられる。ただし、鉄筋間隔よりは精度が悪くなる。理由としては、かぶり厚の場合、鉄筋や型枠の 3D モデルの傾きの細かいずれが鉄筋間隔の算出に比べて、影響しやすくなるためである。

3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布

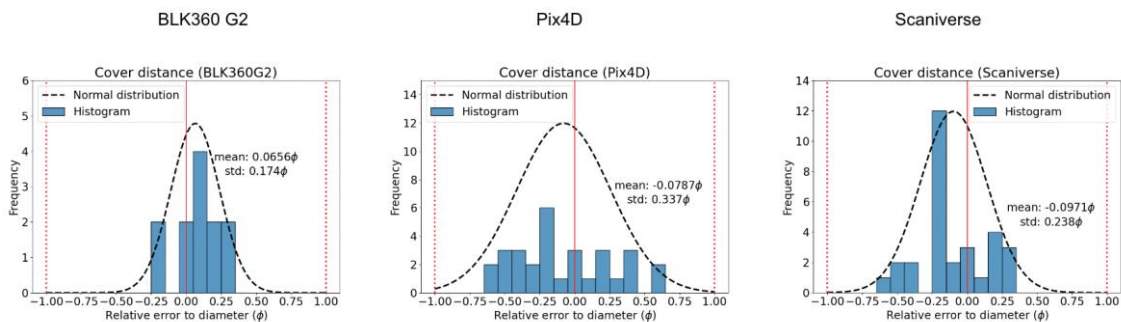


図 38 3D モデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布

⁴ both_side, front_open, back_open はそれぞれ「型枠あり」、「前方の型枠なし」、「後方の型枠なし」の条件に対応する。

3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測条件による違い（点群測定機器・型枠条件による比較）について、**図 39 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布（点群測定機器別）**、**図 40 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布（型枠条件）**に示す。点群測定機器、型枠条件による差異は大きくない。

3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測条件による違い（点群計測機器別）

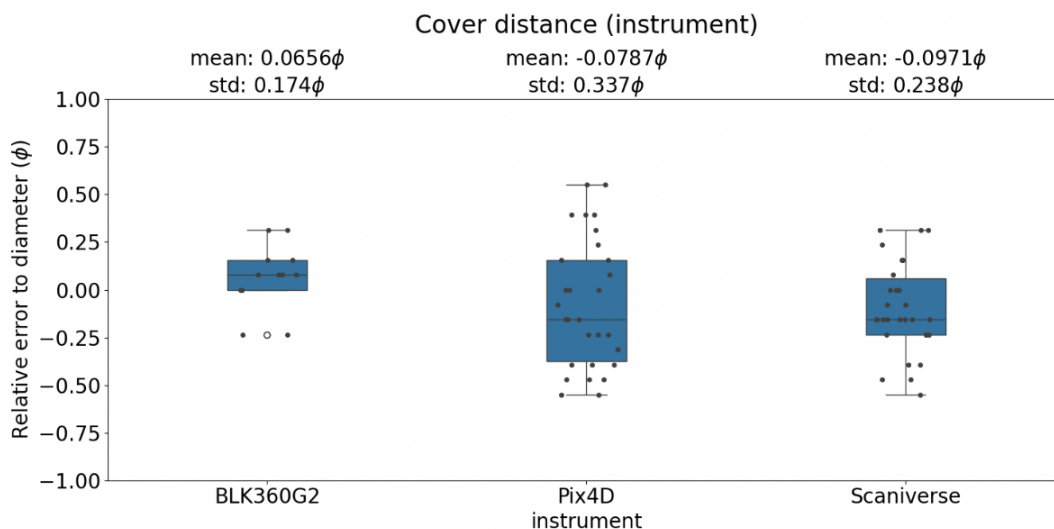


図 39 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布（点群測定機器別）

3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測条件による違い（型枠条件）

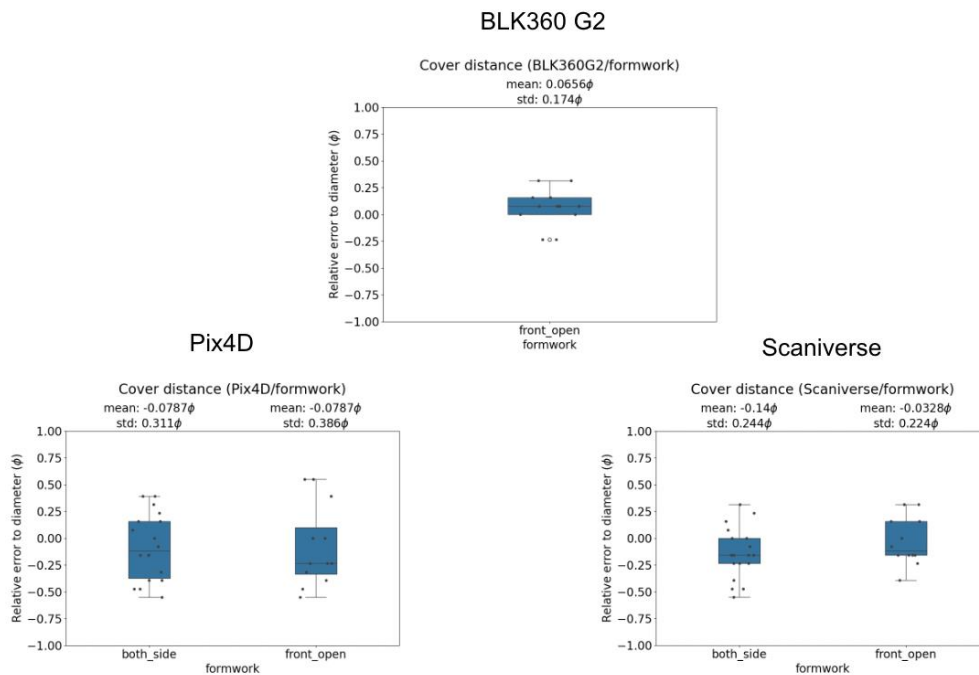


図 40 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測データの分布（型枠条件）⁵

⁵ both_side, front_open はそれぞれ「型枠あり」、「前方の型枠なし」の条件に対応する。

(3) 鉄筋本数

対象本数に対して100%算出を行った。以下、表 16 BLK360 G2（主鉄筋）～表 24 Scaniverse（あばら筋）にて各対象本数と計測本数を示す。

表 16 BLK360 G2（主鉄筋）

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 前方の型 枠なし	30	30
照明 50% / 前方の型 枠なし	30	30

表 17 BLK360 G2（帯筋）

条件	対象本数	計測本数	対象鉄筋
照明 100% / 前方の型 枠なし	18	18	後方の帯筋は除く
照明 100% / 後方の型 枠なし	18	18	後方の帯筋のみ
照明 50% / 前方の型 枠なし	18	18	後方の帯筋は除く
照明 50% / 後方の型 枠なし	18	18	後方の帯筋のみ

表 18 BLK360 G2（あばら筋）

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 前方の型 枠なし	32	32
照明 50% / 前方の型 枠なし	32	32

表 19 Pix4D(Pix4Dcatch+Pix4Dcloud) (主鉄筋)

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 型枠あり	30	30
照明 100% / 前方の型枠なし	30	30
照明 50% / 型枠あり	30	30
照明 50% / 前方の型枠なし	30	30

表 20 Pix4D(Pix4Dcatch+Pix4Dcloud) (帯筋)

条件	対象本数	計測本数	対象鉄筋
照明 100% / 型枠あり	18	18	後方の帯筋は除く
照明 100% / 前方の型枠なし	18	18	後方の帯筋は除く
照明 100% / 後方の型枠なし	18	18	後方の帯筋のみ
照明 50% / 型枠あり	18	18	後方の帯筋は除く
照明 50% / 前方の型枠なし	18	18	後方の帯筋は除く
照明 50% / 後方の型枠なし	18	18	後方の帯筋のみ

表 21 Pix4D(PIX4Dcatch+PIX4Dcloud) (あばら筋)

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 型枠あり	32	32
照明 100% / 前方の型 枠なし	32	32
照明 50% / 型枠あり	32	32
照明 50% / 前方の型 枠なし	32	32

表 22 Scaniverse (主鉄筋)

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 型枠あり	30	30
照明 100% / 前方の型 枠なし	30	30
照明 50% / 型枠あり	30	30
照明 50% / 前方の型 枠なし	30	30

表 23 Scaniverse (帯筋)

条件	対象本数	計測本数	対象鉄筋
照明 100% / 型 枠あり	14	14	後方の帯筋は除 く 前方の帯筋の底 面部分の鉄筋は 一部のぞく
照明 100% / 前 方の型枠なし	18	18	後方の帯筋は除 く
照明 100% / 後 方の型枠なし	18	18	後方の帯筋のみ
照明 50% / 型 枠あり	13	13	後方の帯筋は除 く 前方の帯筋の底 面部分の鉄筋は 一部のぞく
照明 50% / 前 方の型枠なし	18	18	後方の帯筋は除 く
照明 50% / 後 方の型枠なし	18	18	後方の帯筋のみ

表 24 Scaniverse (あばら筋)

条件	対象本数	計測本数
照明 100% / 型枠あり	32	32
照明 100% / 前方の型 枠なし	32	32
照明 50% / 型枠あり	32	32
照明 50% / 前方の型 枠なし	32	32

(4) Modely を用いる上での点群測定機器の比較まとめ

各点群測定機器について、表 25 Modely を用いる上での点群測定機器の比較まとめにまとめた。以下、各点群測定機器における留意点について、本実証の結果も踏まえて記載する。

表 25 Modely を用いる上での点群測定機器の比較まとめ

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
手法	LiDAR	LiDAR+フォトグラ メトリ	LiDAR+フォトグラメトリ
撮影フロー	複数地点から 固定撮影	ゆっくり動画を撮る ように周囲を撮影	ゆっくり動画を撮るように 周囲を撮影
撮影上の注意	撮影される画 角が限られるの で、撮影地点 をどこに設定す るか考える必要 あり	特になし	スケールが良い時もある が、スケールの誤差が大 きい時もあるため、要求 精度に応じて、必要に 応じて再撮影などが必 要になることもある。
夏場の使用	夏場の使用 時、発熱に注 意する必要あ り。	データ処理は、クラ ウド上だが、iPad 自体の発熱には夏 場の使用時、注 意必要する必要あ り。	データ取得・処理時に 発熱するため、夏場の 使用時、注意する必要 あり。
雨天時の使用	データの質への 影響は未検 証。	データの質への影 響はほぼない。	データの質への影響はほ ぼない。
撮影設定	細かい設定 (解像度な ど)も可能。	細かい設定(解 像度など)も可 能。	設定できない
点群化処理	デスクトップ	クラウド	iPad Pro
撮影時間(※1)	数分~数 10	数分	数分

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch +PIX4Dcloud)	Scaniverse
	分		
点群化処理時間 (※1)	約 10 分	約 10 分	約数秒~1 分程度
データ容量 (※1)	約 1GB	数 100MB	約 10MB
撮影範囲 (※2)	広範囲も可能	広範囲も可能	5m 程度
画像データの出力	○	○	x
点群の座標系	相対座標系	公共座標系	公共座標系 / 相対座標系
スケール	◎	◎	○
金額	有料	有料 撮影自体 (PIX4Dcatch) は無料だが、点 群化処理 (PIX4Dcloud)は 有料。	無料
点群の精度 (鉄筋)	○ (※3)	◎	○ (※4)
点群の精度 (型枠)	◎ (※3)	○	○
3D モデルの精度 (鉄筋)	○ (※3)	○	○ (※4)
3D モデルの精度 (型枠)	◎ (※3)	○	○
鉄筋間隔	○ (※3)	○	○ (※4)
かぶり厚	◎ (※3)	○	○

◎は 3 つの点群測定機器の中でより精度が良いこと、○は十分な精度があることを示している。ただし、「画像データの出力」のみ単に出力の可否を示している。

※1：本実証での値

※2：1 回の撮影で点群化が可能な範囲

※3：BLK360 G2 は、前方または後方の型枠なしのように、型枠が一部外れている時のみ点群取得可能である。それらの点群に対して、3D モデル化が可能である。

※4：Scaniverse については、柱（帯筋）の最低面付近の帯筋については、型枠ありの場合は、点群取得が難しい時がある。そのような場合は、3D モデル化が困難な時がある。

以下の観点について補足説明を記載する。

- 撮影フロー
- 撮影上の注意
- 夏場の使用
- 雨天時の使用
- 撮影設定
- 点群化処理
- 撮影時間・点群化処理時間
- データ容量
- 撮影範囲
- 画像データの出力
- 点群の座標系
- 金額
- 点群の精度（鉄筋・型枠）、3D モデルの精度（鉄筋・型枠）、鉄筋間隔・かぶり厚の精度

【撮影フロー】

どの点群測定機器でも複数箇所から撮影する必要がある。BLK360 G2 は、数 m~5m くらい離れた複数地点から固定して撮影する必要がある。今回は、6 地点（3 地点で高い場所・低い場所）または 3 地点から固定して撮影した。Pix4D や Scaniverse は、ゆっくり動画を撮るように周囲を撮影する必要があり、撮影距離の目安は、50cm~1m くらいである。

【撮影上の注意】

BLK360 G2 については、撮影する画角が限られる。そのため、今回の場合では、全部型枠があるような場合、撮影は困難になる。BLK360 G2 では、撮影地点を固定し、各々の測定点では、自動で撮影（測定機器が 360 度回転）が行われる。他の地上型レーザーキャナーでも、同様に撮影地点を固定する必要があると考えられるため、地上型レーザーキャナーでは同様の制約を受ける可能性がある。Pix4D や Scaniverse は、動画を撮影するようにゆっくり歩きながら、撮影を行う方法で撮影を行う。動きが速すぎる場合は、点群の質が落ちる場合があるが、PIX4Dcatch では、素早く撮影を行った場合には警告が出るので、アプリケーションの指示に従えば問題なく操作できる。Scaniverse においては、点群のスケールの誤差

が実際より大きくずれる時もあるため、要求精度によっては、再撮影が必要になることもある。そのため、撮影後に点群のスケールが問題ないことを確認した後に、Modely 上で 3D モデル作成・帳票作成を行うように注意する必要がある。Pix4D では、Scaniverse よりスケールは安定しやすいため、撮影の手戻りは少ない。

【夏場の使用】

BLK360 G2 は、屋外における夏場の使用は測定機器の発熱に注意が必要である。Pix4D や Scaniverse も iPad Pro の発熱に注意する必要がある。Scaniverse は、データ取得や処理時に発熱が生じるため、撮影間隔を空けるなど、注意が必要である。Pix4D ではデータ処理はクラウド上（PIX4Dcloud）で行うため、発熱の心配はないが、屋外での使用時の iPad Pro の発熱には注意する必要がある。

【雨天時の使用】

BLK360 G2 について、本実証においては雨天時の使用の検証は行っていない。Pix4D と Scaniverse について、本実証においては、雨天時の使用の検証は行っていないが、過去の実現場の経験において、雨天時においても点群の質への影響はほとんどなかった。ただし、使用時に iPad Pro 自体が濡れないように、必要に応じて防水ケースを装着する等注意する必要がある。

【撮影設定】

BLK360 G2 や Pix4D は、細かい設定（解像度など）も可能だが、Scaniverse は、そのような設定項目はない。解像度などは、細かくすれば、点群の精度は上がるが、点群作成までの処理時間が長くなるまたは点群の容量が大きくなる可能性がある。そのため、用途に応じて適切な設定を行う必要がある。表 26 撮影設定に本実証における撮影設定をまとめた。Pix4D については、解像度とオーバーラップの設定が、主に点群の質に影響があるため、オートフォーカスの設定による差は軽微と考えられる。Scaniverse は、解像度に関する設定はなく、点群を出力する際のモードが選択でき、LiDAR だけでなくフォトグラメトリで処理するモードを選択した。D13 などの細い鉄筋を取得するためには、フォトグラメトリの処理が必要なためである。

表 26 撮影設定

	BLK360 G2	Pix4D (PIX4Dcatch+PIX4 Dcloud)	Scaniverse
撮影設定	Scan Resolution (密度設定) : Dense Image Option (画像設定) : HDR	解像度 : 標準 オーバーラップ : 90% オートフォーカス : off	Detail Mode

【点群化処理】

BLK360 G2 は、測定機器で撮影後に、別途 PC 上にデータを移して点群化処理を行う必要がある。その処理において、各撮影地点での撮影データの alignment を行う。Pix4D は、クラウド上（PIX4Dcloud）にてフォトグラメトリ処理を行い、点群作成を行う。Scaniverse は、iPad Pro 上で点群化処理を行うことができる。

【撮影時間・点群化処理時間】

撮影時間や処理時間は、本実証の撮影対象の規模における結果であるため、撮影対象規模によっては変わる可能性がある。BLK360 G2 における撮影時間は、数分～数 10 分程度である。Pix4D や Scaniverse は数分程度である。BLK360 G2 は複数地点において撮影を行う必要があるため、Pix4D や Scaniverse よりは撮影時間がかかりやすい。今回の撮影データにおける点群化処理時間は、BLK360 G2 や Pix4D は約 10 分、Scaniverse は数秒～1 分程度である。Scaniverse は、BLK360 G2 や Pix4D より点群化処理時間は短い、撮影可能な対象範囲が BLK360 G2 や Pix4D より狭いため、注意が必要である。（詳細は、後述「撮影範囲」にて記載。）

【データ容量】

データ容量は、本実証の撮影対象規模における結果であるため、撮影対象規模によっては変わる可能性がある。BLK360 G2 は、今回のデータでは約 1GB、Pix4D は数 100MB、Scaniverse は、数 10MB である。BLK360 G2 は、他のアプリケーションに比べて容量が一番大きい、各測定点を 360 度回転して撮影するため、対象の鉄筋以外の広範囲が撮影されてしまうため、余計な場所も撮影してしまい、容量が大きくなりやすい。Pix4D は、Scaniverse に比べて容量が一番大きい、Scaniverse に比べると、点群の質は Pix4D の方が良い。

【撮影範囲】

BLK360 G2 や Pix4D はある程度広範囲（例えば、5m 以上）も可能である（ただし、広範囲になると、点群化処理時間は長くなる。）。Scaniverse は、広範囲（目安として 5m 以上）は、処理不可になる。厳密には、LiDAR のみなら処理は可能だが、鉄筋（特に 1cm 程度）の直径程度の大きさを点群化する上ではフォトグラメトリ処理が必要であり、フォトグラメトリのモードでは広範囲の処理が不可である。

【画像データの出力】

BLK360 G2 は、各画角での点群を見ることができ、画像データの出力も可能である。Pix4D は、画像データの出力も可能である。また、撮影した画角の軌跡も可視化される。Scaniverse は、撮影時・撮影直後は、LiDAR で取得したデータが可視化されるが、画像データは出力できない。

【点群の座標系】

BLK360 G2 は、相対座標 (las 形式)、Pix4D は公共座標 (las 形式)、Scaniverse は、公共座標 (las 形式) または相対座標 (ply 形式) が出力可能である。Scaniverse では、今回 ply 形式で出力した点群データを利用した。

【金額(2024年1月時点)】

BLK360 G2 や Pix4D については有料である。Pix4D については、撮影自体 (PIX4Dcatch) は無料だが、点群化処理(PIX4Dcloud)は有料 (約 7,000 円~/月⁶) である。Scaniverse は無料である。

【点群の精度 (鉄筋・型枠)、3D モデルの精度 (鉄筋・型枠)、鉄筋間隔・かぶり厚の精度】

BLK360 G2・Pix4D・Scaniverse 全てにおいて、精度の面では目標値に達成しているが、実運用上は、Pix4D が推奨される。理由を以下に述べる。

BLK360 G2 については、点群の精度 (型枠)、3D モデルの精度 (型枠)、かぶり厚が、Pix4D や Scaniverse に比べてよい。ただし、BLK360 G2 は、地上に固定して撮影を行うため、型枠ありの場合は撮影が不可になる。Pix4D は、柱の帯筋など奥の方の点群も取得が可能であり、鉄筋・型枠全てを含めた観点からは、BLK360 G2 や Scaniverse に比べて、一番精度良く点群が取得できる。Scaniverse については、柱 (帯筋) の最低面付近の帯筋については、型枠ありの場合は、点群取得が難しい時があるため、そのような場合は、3D モデル化が困難な時がある。点群測定機器は、必ずしも Pix4D (PIX4Dcatch+PIX4Dcloud) である必要はないが、鉄筋や型枠を十分な点群の質・精度で取得できる点群測定機器である必要はある。

(5) 技術基準への適合性等の評価のまとめ

柱・梁の鉄筋を含んだ鉄筋モックアップに対する点群・3D モデルの精度検証を行った。点群の精度は、帯筋・あばら筋の鉄筋間隔について検証を行った。3D モデルの精度は、主鉄筋の鉄筋本数、帯筋・あばら筋の鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚について検証を行った。

帯筋・あばら筋の点群の精度 (鉄筋間隔) は、相対誤差 0.3 φ 以内である。帯筋・あばら筋の 3D モデルの精度については、鉄筋間隔が相対誤差 0.3 φ 以内、かぶり厚が相対誤差 0.6 φ 以内である。主鉄筋・帯筋・あばら筋の鉄筋本数は、対象部位に対して 100%検出した。それぞれの数値については、目標値を達成した。

3 種類の点群測定機器による比較も行った。点群を取得する上では、今回検証した点群測定機器ではどの測定機器を用いても、Modely 上での 3D モデルの生成と鉄筋間隔・かぶり厚の精度は問題ない結果が得られた。点群を取得する点群測定機器としては、BLK360 G2 や Scaniverse も利用は可能であるが、Pix4D (PIX4Dcatch+PIX4Dcloud) が総合的な観点からは実運用上は最も適していると考えられる。

⁶ <https://www.pix4d.com/jp/pricing/pix4dcloud/>

3.2.2 品質の評価

(1) 複数の照明環境下でも確認ができること

本実証において、複数の照明環境下において検証を行い、ほとんど差がないことを示した。以下、点群（鉄筋間隔）、3D モデル（鉄筋間隔、かぶり厚）において照明条件による結果を示す。

点群における計測条件による違い（照明条件による比較）について、**図 41 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（照明条件）**に示す。点群における計測条件による違い（照明条件による比較）について、照明による差異はあまりない。

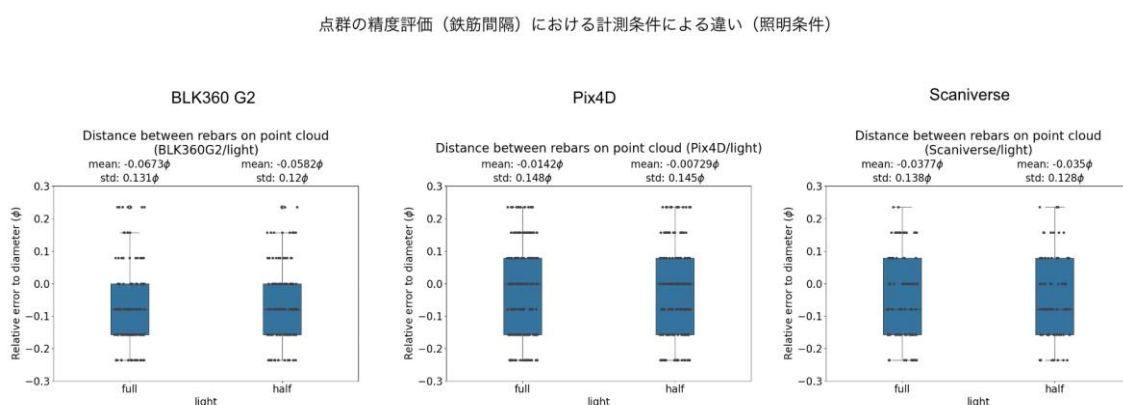


図 41 点群の精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（照明条件）⁷

3D モデルの精度評価における計測条件による違い（照明条件による比較）について、**図 42 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（照明条件）**に示す。3D モデルの精度評価における計測条件による違い（照明条件による比較）について、照明による差異はあまりない。

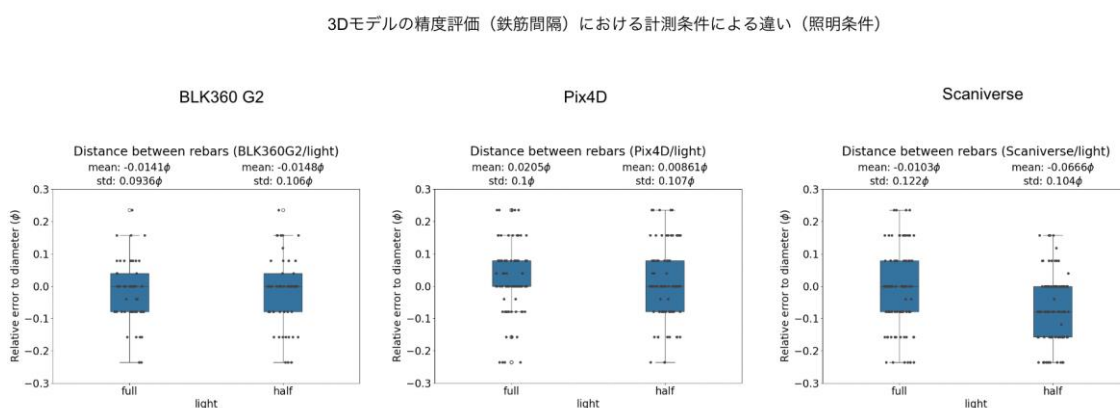


図 42 3D モデルの精度評価（鉄筋間隔）における計測条件による違い（照明条件）⁸

⁷ full, half はそれぞれ「照明 100%」、「照明 50%」の条件に対応する。

⁸ full, half はそれぞれ「照明 100%」、「照明 50%」の条件に対応する。

3Dモデルの精度評価における計測条件による違い（かぶり厚）（照明条件による比較）について、**図 43 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測条件による違い（照明条件）**に示す。3Dモデルの精度評価における計測条件による違い（かぶり厚）（照明条件による比較）について、照明による差異はあまりない。

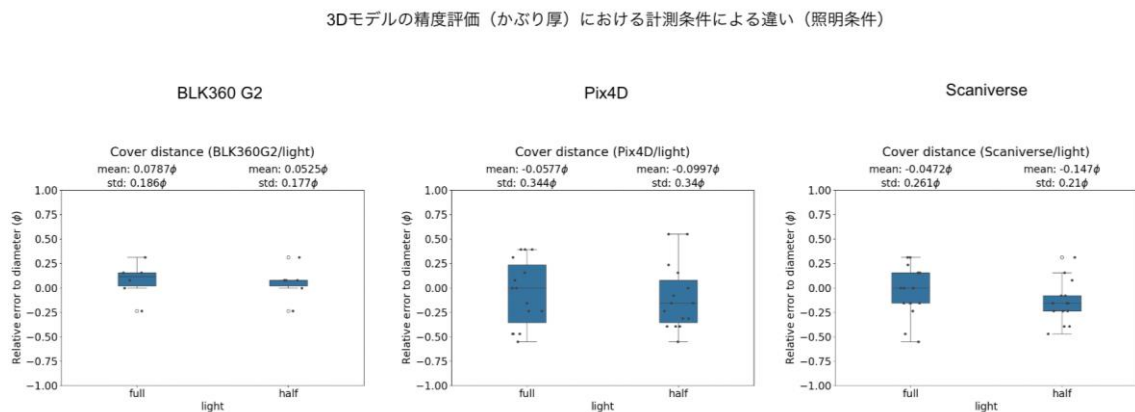


図 43 3Dモデルの精度評価（かぶり厚）における計測条件による違い（照明条件）⁹

本実証での照明条件での照度は、約 100~1000 ルクスであり、労働安全衛生規則（照度）第六百四条に記載してある「普通の作業に必要な照度（150 ルクス以上）」を十分満たしている¹⁰。

(2) 検査項目を帳票に自動出力できること（ミス防止、省力化）等

Modely を利用して点群から作成した 3D モデルを用いて、鉄筋径・鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚を帳票に出力が可能である。鉄筋径は、3D モデル作成時に指定した鉄筋径が帳票に出力される。鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚は作成した 3D モデルに対して、自動的に帳票出力される(図 44 Modely における 3D モデル生成から帳票作成までのフロー)。

⁹ full, half はそれぞれ「照明 100%」、「照明 50%」の条件に対応する。

¹⁰ https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=347M50002000032_20240101_505M60000100066

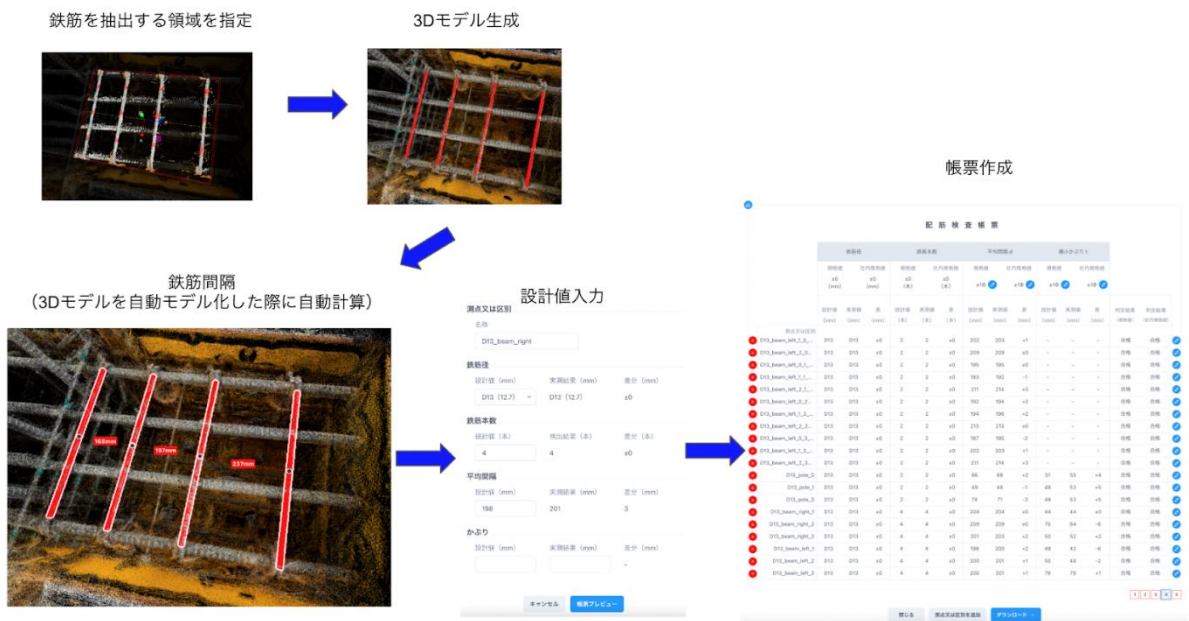


図 44 Modely における 3D モデル生成から帳票作成までのフロー

(3) 現地に赴かなくとも、Modely 上で確認作業ができること

Modely 上の点群・3D モデル・帳票を遠隔で確認できることを確認した。具体的には、鉄筋モックアップについて、Modely 上に点群をアップロードし、Modely 上で 3D モデル・帳票作成したあと、鉄筋モックアップのある現場に行っていない人に対して、Modely を用いて、画面を共有して、遠隔で確認できることを確認した。また、実際に土木の現場の例では、遠隔臨場で利用している具体的な活用事例もある¹¹。

3.2.3 安全性の評価

従来の現場での手作業と比べて同等以上の安全性を有していること（足場での作業を想定した安全性等）について、従来の方法と同等の安全対策で問題ない。理由としては、点群を取得する上で、検査箇所周辺に測定機器を設置または検査箇所周辺を歩いて測定するためである。本実証では、安全性は直接的に検証していないが、土木工事の実現場では既に安全性に問題なく利用されており、具体的な活用事例もある¹²。

3.2.4 施工性の評価

(1) 少人数で計測できること

地上型レーザースキャナーまたは iPad Pro による撮影、Modely を用いた 3D モデル化・帳票出力まで 1 人で行うことが可能である。実際の撮影風景を図 45 地上型レーザースキャナーでの撮影スキャナー、図 46 iPad Pro による撮影の様子に示す。一方、従来の配筋検査の方法では、メジャーによる計測や写真の撮影において、少なくとも 2 人で行う必要がある。

¹¹ <https://www.datalabs.jp/modely>

¹² <https://www.datalabs.jp/modely>

(2) 操作が容易であること

撮影については、以下のような操作を行うのみである。

- 地上型レーザーสキャナーは、複数地点で測定機器を設置することで自動撮影を行うことができる。(図 45 地上型レーザーสキャナーでの撮影スキャナー)
- iPad Pro による撮影は、動画を撮影するように撮影する。(図 46 iPad Pro による撮影の様子)



図 45 地上型レーザーสキャナーでの撮影スキャナー



図 46 iPad Pro による撮影の様子

配筋検査を行うにあたって必要となる Modely の画面操作は、点群アップロード、3D モデル化、帳票作成があり、社内検証において初心者（技術的な知識がなくても）においても操作が可能であることを確認している。Modely を使ったことがない人を対象に、Modely における配筋検査の流れを一通り教えた後、実際に同様の操作が可能であることを確認している。

図 47 Modely における操作フローに Modely における主な操作フローを示す。

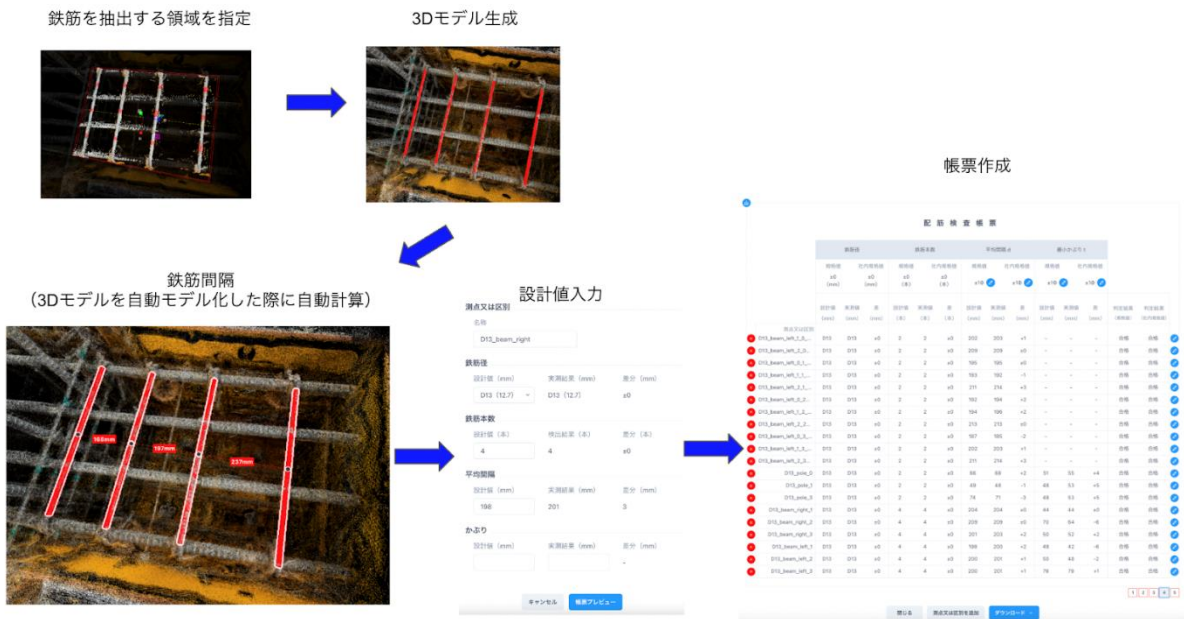


図 47 Modely における操作フロー

3.2.5 業務合理化の評価

従来方法と新方法での所要時間の合計を比較することで、業務合理化の評価を行う。従来手法に比べて、新方法は 40%程度の所要時間（60%削減）で済んでおり、新方法の所要時間/従来方法の所要時間の目標値である 60%（40%削減）を達成した(表 27 従来方法にかかる時間、表 28 新方法にかかる時間)。時間の算定は、本実証の結果から算定している。また、移動時間は本実証の現場に弊社オフィスから移動した場合の時間である。従来手法では、メジャー計測や写真撮影を行うため、少なくとも 2 名は作業員が必要であるが、新方法では、点群計測から帳票作成まで 1 人で完結することが可能であり、大幅な省力化が可能になる。また 1 人あたりの作業の所要時間自体も削減される。

表 27 従来方法にかかる時間

工程	所要時間（時間×人）
1. 現場でのメジャーによる計測及び写真撮影	2h (=1h×2 人)
2. 帳票作成（数値の転記、写真との紐づけ等）	1h30min (=1h30min×1 人)
3. その他（関係者の移動時間の計）	2h (=1h×2 人)
合計	5h30min

表 28 新方法にかかる時間

工程	所要時間 (時間×人)
1. 現場での点群取得 (※1)	10 min (=10min×1 人)
2. 点群処理、Modely でのモデル化・帳票作成	40min (=40min×1 人)
3. その他 (関係者の移動時間の計)	1h (=1h×1 人)
合計	1h50min

※1：点群測定機器により若干の差異はあるが、最大の時間で記載している。

3.2.6 技術監修者（三菱地所設計）による評価

三菱地所設計による評価を以下に示す。評価は、モックアップのある倉庫において、点群取得、Modely における点群のアップロード・3D モデル・帳票作成、従来方法での実測値との比較のデモを行うことにより行った。また、DataLabs による補足情報は「DataLabs による補足情報」として明記してある。

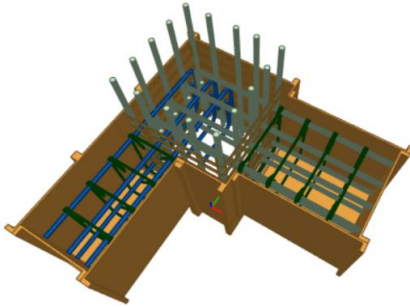
【三菱地所設計による評価概要】

配筋、型枠現物の点群データを、地上型レーザースキャナー及び iPad Pro などを使用して取得し、Modely により 3D 配筋、型枠モデルを生成している。そのデータ取得手法の容易さ、データの 3D モデルへの自動変換時間の短さ、3D モデルの寸法実測等の操作性は、現状のシステムでも、建設現場で検査や記録等に補助的に使用することが出来るレベルの技術となっている。今回の検証での測定精度をふまえ、土木と同様に 3D モデル内での鉄筋出来形計測の実施要領が整備され公的に認められたツールとなり、3D モデル内で設計図書との照合が可能となれば従来の現場計測作業が不要となるため、施工者（受注者）、設計監理者の生産性の向上に寄与すると考える。

現状では生成された 3D モデルを現場臨場検査と同様に本数確認、実測するものであり設計図書との自動照合まではできない。今後下記の応用例に示すような更なるシステムの構築があればより省力化となり、更なる生産性向上が可能である。

- 設計図書（構造設計図）から生成した配筋 3D モデルと、上記現場取得データから生成した 3D モデルとの重ね合わせを実施し、構造設計図との正誤を判定するシステムの構築（配筋検査の省力化が可能）（DataLabs による補足情報：Modely 上で生成した 3D モデルの ifc 形式での出力自体は図 48 BIM と Modely で出力した 3DCAD モデルのように可能であるが、BIM と 3D モデルとの重ね合わせは将来的に行う予定である。）

BIM



Modelyで出力した3DCADモデル

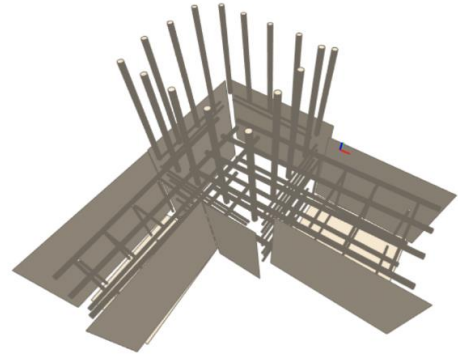


図 48 BIM と Modely で出力した 3DCAD モデル

- 構造設計図の配筋の状態（鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚等）を示す数値データと、現場取得データから生成した 3D モデルから自動抽出した帳票の数値データとの比較により構造設計図との正誤を判断するシステムの構築（配筋検査の省力化が可能）（DataLabs による補足情報：現状では、指定した各領域に対して 3D モデル化することは可能であるが、全領域に対して一括で自動的に 3D モデル化をすることはできないため、全領域に対して自動モデル化を行うことを目指す。）
- 配筋記録として 3D モデルの建物 1 棟分全数連続データとして保存可能なシステムの構築（工事中の配筋写真撮影の省力化、改修工事時のレントゲン配筋撮影の省力化が可能）

3.2.7 社会実装のコストの評価

点群測定機器、利用ソフトウェアのコストを従来方法と新方法で比較し、社会実装が実現可能な水準か否か評価した(表 29 社会実装のコストの評価)。

表 29 社会実装のコストの評価

	従来手法	新方法
点群測定機器 (デバイス・ソフトウェア)	-	約 10 万円~/台 (Scaniverse/Pix4D) 約 400 万円~/台 (BLK360 G2)

新方法について、iPad Pro を点群データ撮影用デバイスとして用いる場合 (Scaniverse/Pix4D) は約 10 万円~¹³のコストがかかり、地上型レーザーสキャナーを点群データ撮影用デバイスとして用いる場合 (BLK360 G2) は、数百万のコストがかかる (利用機器にもよるが、本実証の場合約 400 万円~¹⁴)。またいずれの場合も 3D 配筋検査ツールの利用コストがかかるが、サブスクリプション型のサービスのため、利用時のみ費用が生じる。

3.2.5 に記載した通り、業務合理化の効果 (従来方法に比べて 40%の所要時間 (60%を削減)) があることに鑑みると、iPad Pro を点群データ撮影用デバイスとして用いる場合のコスト水準は、十分に投資効果を生むものと考えられる。地上型レーザーสキャナーについては、技術基準への適合性等の評価でも記載した通り、型枠がある場合は撮影が難しいことを考慮すると、iPad Pro の方が実用性・コストの双方の観点から良いと考えられる。

3.2.8 総論

(1)対象業務 (法令) に係るアナログ規制の見直しに資するか否か

本実証により「写真や書面等による検査や、目視や簡易な計測機器等による検査」について、今回検査対象とした柱の主鉄筋・帯筋、梁のあばら筋の全ての検査項目に対して、3D データによる測定・確認 (本実証では Modely を用いた) で代替可能な部分があることが確認でき、アナログ規制の見直しに資する結果を得られたと考えている。

まず十分な点群の質が保たれる点群測定機器において、Modely 上での 3D モデルによる鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚の計測精度は、今回検査対象とした全ての柱の主鉄筋・帯筋、梁のあばら筋の検査項目に対して、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領 (案)」を参考にした目標値を達成し、技術基準への適合性等が問題ないことを確認した。

また、品質 (照明条件、帳票の自動出力、現地に赴かなくとも Modely 上で確認作業ができること)、安全性、施工性 (少人数に作業、簡易な操作性)、業務合理化 (従来方

¹³ <https://www.apple.com/jp/ipad-pro/>、

<https://www.pix4d.com/jp/pricing/pix4dcloud/>

¹⁴ <https://shop.leica-geosystems.com/jp/ja-JP/leica-blk/blk360/buy>

法に比べて 40%の所要時間)、技術監修者(三菱地所設計)、社会実装のコストの観点においても問題ないことを確認した。

(2)実現場での技術等の活用・導入に当たってのポイント

Modely における配筋検査において、十分な点群の質が保たれる点群測定機器を使用する必要がある。型枠がある場合の検査を考慮すると、撮影の画角の柔軟性から地上型レーザー scanner より iPad Pro の方が点群測定機器として望ましい。また、iPad Pro を用いた場合は、柱の主鉄筋・帯筋、梁のあばら筋、型枠の点群が十分な精度で撮影できる点群測定機器が望ましい。

測定環境については、猛暑日などの夏場は点群測定機器の発熱について注意する必要がある。また、照明条件は、労働安全衛生規則(照度)第 604 条に記載してある「普通の作業に必要な照度(150ルクス以上)」であれば、十分な精度で撮影可能である。

1 回の撮影で点群化が可能な範囲は、点群測定機器によって異なるため、広範囲が撮影できる点群測定機器を用いるのが望ましい。

(3)実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

①現状、Modely 上で生成した 3D モデルの 3DCAD 出力自体は可能であるが、設計図書(構造設計図)から生成した配筋 3D モデルと、現場取得データから生成した 3D モデルとの重ね合わせを行うことはできない。設計図書(構造設計図)から生成した配筋 3D モデルと、上記現場取得データから生成した 3D モデルとの重ね合わせを実施し、構造設計図との正誤を判定するシステムの構築を将来的に目指す。

②現状では、指定した各領域に対して 3D モデル化することは可能であるが、全領域に対して一括で自動的に 3D モデル化をすることはできない。構造設計図の配筋の状態(鉄筋本数、鉄筋間隔、かぶり厚等)を示す数値データと、現場取得データから生成した 3D モデルから自動抽出した帳票の数値データとの比較により、構造設計図との正誤を判断するシステムの構築を行うために、検査領域の全領域に対して自動モデル化を行うことを目指す。

③現状では、配筋記録として 3D モデルの建物 1 棟分の全数連続データとして保存することはできず、最大でも各工事工程で撮影可能な検査箇所の範囲に限られる。理由としては、全工事工程の全ての配筋の点群データを同時に取得することはできないからである。全ての検査箇所の点群データ・3D モデル生成を行うには、各工事工程で取得した点群データの相対的な位置関係を正確に保ったまま、点群・3D モデルをマージする処理が必要になる。

(4)アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

現行のアナログ規制下では、書類・写真による検査並びに目視、簡易な測定機器等による測定により配筋確認を行う必要があるが、国土交通省の土木直轄工事現場で活用が進む「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領(案)」のように、3D データによる検査も適用できるような要領を整備する必要がある。整備にあたって留意が必要な点は以下の通りである。

一つ目としては、建築において要領を整備するにあたり、土木と建築の検査項目や規格値の違いに留意する必要がある。例えば土木では、鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚等についてそ

の規格値が定められている。一方建築では、柱や梁について、主鉄筋は鉄筋本数等、帯筋・あばら筋は鉄筋本数・鉄筋間隔・かぶり厚等についてその規格値が定められており、その値も土木と異なる。本実証では精度の目標値を土木の基準に準じて設定したが、精度の基準は、建築の検査項目・規格値に基づいて策定する必要がある。

二つ目としては、労働安全衛生規則（照度）第 604 条に記載してある「普通の作業に必要な照度（150ルクス以上）」を満たした撮影条件を規制に盛り込んだうえで、3D データによる検査を認める必要がある。本実証では、労働安全衛生規則（照度）第 604 条に記載してある「普通の作業に必要な照度（150ルクス以上）」を満たした撮影条件で検証を行った。それらの撮影条件において、点群・3D モデルの精度は、土木工事に適用できる「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領（案）」で定められている精度基準を満たすことがわかった。

三つ目としては、活用する技術により計測できない検査項目（たとえば Modely では鉄筋径が該当する。Modely における鉄筋径の自動推定については、100%の精度で推定することは困難なため、推定ミスによる実運用での修正作業を考慮して、現状ではアナログでの計測が優位と考え、未実装である。ただし、将来的に推定精度がアナログの計測より優位となれば、Modely において代替できる可能性はある。）があることや、計測できるとされている検査項目であっても、工種・部位・配筋量・撮影環境等によっては計測精度が低下する可能性もあるため、デジタルとアナログを併用した運用も想定しておく必要がある。土木直轄工事現場で活用が進む「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領（案）」においても、そのような運用が想定されている。

(5)その他

3D データを利用するメリットとしては、施工後不可視となる部分がモデル化されることで、維持管理・修繕への BIM 活用が期待されるほか、煩雑な写真管理が不要になる可能性がある。

用語集

用語	定義・解説
中間検査	施工された建築物の建築基準への適合性を施工段階に検査するもの
完了検査	施工された建築物の建築基準への適合性を施工終了時に検査するもの
鉄筋間隔 / distance between rebars	鉄筋と鉄筋の軸間距離
かぶり厚 / cover distance	鉄筋の最外縁からコンクリートの表面までの距離
フォトグラメトリ	複数の 2D 画像から 3D データを作成する技術
LiDAR	Light Detection and Ranging の略称。対象物にレーザーで光を射し、その反射により距離を測定する技術
mean (relative), std (relative)	相対誤差の平均、標準偏差
φ	鉄筋の直径 [mm]