

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

シャープ株式会社

清水建設株式会社

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	5
1.4.1	実施体制	5
1.4.2	実施期間	5
2	技術実証内容の詳細	6
2.1	技術実証の方法	6
2.2	実施場所等	10
2.3	実施条件等	13
	【外部環境】	13
	【計測対象】	13
3	技術実証の結果	15
3.1	結果の評価ポイント・方法	15
3.2	結果及び評価・分析	16
3.3	結果及び評価・分析（総括）	32
	用語集	33

1 技術実証の概要

1.1 目的

建築基準法第 7 条から第 7 条の 4 には、建築物の中間検査及び完了検査を実施することが定められており、従来、設計図書の書類通りに実施されているか等を、目視や写真、手作業による測定結果により確認していた。特に、コンクリート造の建築物においては、配筋を手作業で測定する必要があり、長時間の作業となっていた。そこで、本実証では、撮影画像から鉄筋径と鉄筋間隔を自動的に計測することが可能な「配筋検査システム」を使用することで、配筋検査のデジタル化による業務効率の改善と、検査対象の鉄筋にマーカやメジャーを配置せず、非接触な方法で検査することによる安全性向上を図った。配筋検査システムは、同一の鉄筋を 3 つのカメラで撮影し、これらの画像を解析することで配筋状態を把握して、鉄筋径及び鉄筋間隔を算出するシステムである。適合性判定の支援は、算出された鉄筋径及び鉄筋間隔に基づいて、撮影した配筋の 3 次元データを ifc ファイルとして生成し、3 次元データと BIM を比較する方法で評価し、従来の図面や数値の比較、対象の目視確認作業を支援し、判定が容易となることを目指した。

1.2 対象業務（法令）

本実証の対象業務の法令は、建築基準法第 7 条から第 7 条の 4 に基づく中間検査・完了検査である。

1.3 全体像

本実証は、建設現場における施工業者の自主検査や工事監理者による検査、また、上記対象業務（法令）で実施が必要とされる中間検査及び完了検査における配筋検査を対象業務とし、「配筋検査システム」の活用による業務効率化や省人化を目的とする。実証の全体像を図 1 に示す。建設現場では、施工業者や工事監理者により随時検査が実施されており、中間検査や完了検査では、施工業者や工事監理者の検査結果と、実施タイミングでの検査結果に基づいて検査が行われる。中間検査は、基礎、壁、柱、梁、などの構造物が基準に適合していることを工事の中間時期に検査する（図 2 に示すチェックシート例の項目等を、設計図書等に基づいて検査する）ものである。例えば、2 階建て建築物の場合、2 階部分の施工に移行するタイミングなど施工工程の中間時点で実施される。完了検査は、対象建築物の施工完了時点で実施される。そして、鉄筋コンクリートの工事では、壁、柱、などの鉄筋の状態を検査する配筋検査が実施される。配筋検査は、鉄筋の本数や鉄筋径、鉄筋間隔が設計図書に基づいて配置され、問題のない状態であるかを検査する。本実証では、①「配筋検査システム」を使用して建設現場にて鉄筋径と鉄筋間隔を計測し、その計測値が、中間検査や完了検査等で求められる技術基準に適合するかを評価するとともに、配筋検査システムと目視等による従来方法と比較する（配筋検査システムの適合性等の評価）。さらに、②計測した鉄筋径と鉄筋間隔に基づいて 3 次元データ（ifc ファイル）を生成する（計測結果に基づく ifc ファイル生成）。また、③3 次元データと BIM モデルを比較確認する方法により、確認図書等との適合性判定を支援可能か評価する（BIM モデル比較による判定支援評価）。

配筋検査システム：シャープ株式会社及び清水建設株式会社が開発し、株式会社カナモトより製品化（レンタル事業化）されているシステム（配筋検査システムの概要は 2.1 節にて後述）。

(株)カナモト 配筋検査システム「写らく」:

https://www.kanamoto.co.jp/business/b_rental/product/pdf/3gan-camera.pdf

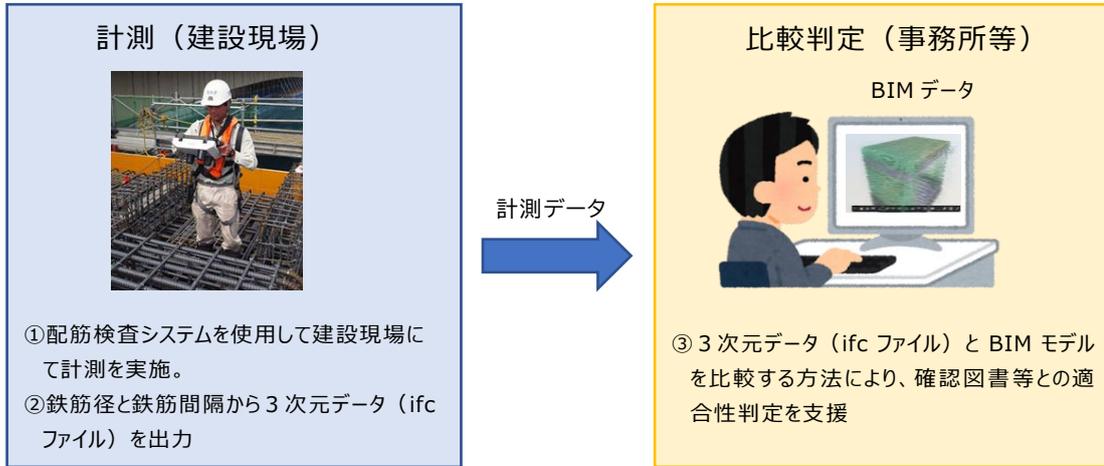


図 1 実証の全体像

検査項目	検査内容及び判定基準 欄中の*は法令や規定等での重要検査項目を示す	施工者	監督者	検査機使用	結果		修正 月日
					検査方法	検査方法	
I 全体							
共通	* 第3章 第9条 a) 柱、はり、壁、スラブの位置の確認	A	A・C	A・C			
	* 第7章 第9条 b) かつりの厚さの確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第3章 第7条 c) 鉄筋の材質（JIS規格）の確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第3章 第7条 d) コンクリートの材質（JIS規格）の確認	C	C	C			
II 地盤・基礎							
支持地盤	* 第3章 第9条 a) 支持地盤の位置、種類、地耐力等の確認	A・B・C	A・B・C	A・C			
基礎・くいの種類、配筋	* 第3章 第7条 b) 基礎の種類、くいの工法、埋込、径、位置、くいの埋設、偏心による補強等の確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第2条 c) ハース寸法、主筋の径、本数、位置、定着等の確認						
地中ばり	* 第3章 第7条 d) 地中ばりの断面寸法、主筋径、本数、位置、定着方法、継手（位置、長さ）および筋の位置、径、間隔、形状、偏心による補強等の確認（参考：配筋指針「基礎」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
III 柱							
一般筋主筋	* 第7章 第1条 a) 柱寸法、主筋の径、本数、配筋（方向）、偏心による補強等の確認（参考：配筋指針「基礎ばり」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第2条 b) 2段筋の位置（間隔）の確認（参考：JASS「鉄筋間隔」の最小寸法等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
縦上層主筋	* 第7章 第3条 c) 柱筋鉄筋止まり高さ、主筋の出隅のフックの確認（参考：配筋指針「柱筋（縦上層）の配筋」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
縦下層主筋	* 第7章 第4条 d) 縦下層の主筋の基礎に対する定着確認（参考：配筋指針「柱筋（縦下層）の配筋」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
定着・継手	* 第7章 第5条 e) 主筋の継手位置及び長さの確認（参考：JASS「柱筋の継手の位置及び長さ」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第6条 f) ふみしりの大きさによる配筋補強確認（参考：配筋指針「柱・梁の打直しコンクリート補強」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
帯筋	* 第7章 第7条 g) 鉄筋径、間隔、本数（割断筋共）及び形状の確認（参考：配筋指針「帯筋、割断筋の一般形状」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第8条 h) 主筋の折り、折り曲げ部の補強確認（参考：配筋指針「柱筋の折り位置と折り方」等）	A	A・C	A・C			
	* 第7章 第9条 i) 柱口部分の帯筋の配筋確認（参考：配筋指針「帯筋の配筋間隔について」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第10条 j) 第一帯筋と柱筋の拘束帯筋の位置確認（参考：配筋指針「帯筋の配筋間隔について」等）	A	A・C	A・C			
補強筋等	* 第7章 第11条 k) 帯筋のフック又は埋筋の形状、径の確認（参考：配筋指針「帯筋の一般形状」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
IV はり							
はり主筋	* 第7章 第12条 a) はり断面寸法、はり主筋の径、本数及び位置の確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第13条 b) 中吊り筋の間隔の確認、長さ確認（参考：JASS「鉄筋の間隔・長さの最小寸法」及び配筋指針「はり断面・中央部の配筋」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
定着・継手	* 第7章 第14条 c) はり筋の定着長さ、位置確認（参考：JASS「はり筋の定着」、RC規準「柱口への定着」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第15条 d) 重ね継手の位置と長さの確認（参考：JASS「梁筋の継手の位置」「鉄筋の重ね継手の長さ」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第16条 e) はり筋出隅部の鉄筋端部のフック確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第17条 f) ふみしりの精度方法が適切か、貫通孔の位置及び補強の確認（評定筋の仕様確認）（参考：配筋指針「柱・梁の打直しコンクリート補強」「はりの貫通孔補強」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
あばら筋	* 第7章 第18条 g) あばら筋の径、本数（割断筋共）とピッチの確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
片持ちばり	* 第7章 第19条 h) あばら筋のフック形状、結束の確認（参考：配筋指針「あばら筋の形状」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第20条 i) 片持ちばり主筋の定着、あばら筋位置の確認（参考：配筋指針「片持ちばりの配筋」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
小ばり	* 第7章 第21条 j) 小ばり配筋の位置と定着確認（参考：配筋指針「小ばりの断面・中央部の配筋」「定着」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
V スラブ							
スラブ筋	* 第7章 第22条 a) スラブ厚さの支持条件、寸法、鉄筋のピッチ寸法等の確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第23条 b) 主筋配置（短辺・長辺とベント配筋）の確認（参考：配筋指針「床スラブ」等）	A	A・C	A・C			
定着・重ね継手	* 第7章 第24条 c) 定着の長さ寸法（はり定着、間隔スラブ、縦差スラブ定着）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第25条 d) 片持ちスラブの定着と上層筋位置確認（先張管有無）（参考：配筋指針「片持ちスラブ」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第26条 e) 継手の位置と長さ（参考：配筋指針「床スラブ継手位置」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第27条 f) スラブの出入隅部の補強（参考：配筋指針「床スラブに関するその他の事項」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
補強筋等	* 第3章 第8条 g) 開口部補強筋確認（参考：RC規準）等） h) 隅部配筋と補強筋確認（参考：配筋指針「隅部」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
VI 壁							
壁筋	* 第7章 第28条 a) 壁厚、鉄筋径、ピッチ、位置（土圧壁主筋、階段受け筋）の確認	A・B	A・B・C	A・B・C			
定着・重ね継手	* 第7章 第29条 b) 定着確認（はり、柱、スラブ、等定着）（参考：JASS「壁筋の位置」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
	* 第7章 第30条 c) 開口部補強筋確認（参考：配筋指針「開口部補強」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			
補強筋等	* 第3章 第8条 d) スリット（完全、部分）の位置、形状及び配筋確認（参考：構造規定「スリットの配筋及び防振」等）	A・B	A・B・C	A・B・C			

図 2 鉄筋コンクリート造の中間検査のチェックシート例

①配筋検査システムの適合性等の評価

中間検査及び完了検査における配筋検査において、従来の手作業による測定の後替として、配筋検査システムを活用することの技術基準等への適合性や利用面での容易性を評価する。技術の適合性として、配筋検査システムを使用して配筋を撮影し、鉄筋径及び鉄筋間隔を計測した結果と、配筋をノギスやメジャーにより従来の方法で測定した測定値を比較した。また、配筋検査システムによる計測と、ノギスやメジャーによる測定にかかる作業時間を比較することで効率性を評価した。さらに、システム利用の観点から、配筋検査システムの使用に慣れていない作業者が、従来の方法と比較したときの、配筋検査システム利用の容易性を評価した。

②計測結果に基づく ifc ファイル生成

配筋検査システムにより算出された鉄筋径及び鉄筋間隔に基づいて 3 次元データ (ifc ファイル) を生成する機能 (プログラム) を本実証において新規に開発した。本機能で生成した ifc ファイルが適切に保存されること、ifc ファイルを表示可能なビューワでファイルを読み込み、適切に表示されることを確認した。

③BIM モデル比較による判定支援評価

配筋検査システムの計測結果に基づいて生成された 3 次元データと BIM モデルをそれぞれビューワに表示し、比較する方法を確認した。この比較方法により、適合性判定を支援可能か、その有効性を評価した。

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

本実証は、下記の体制で実施した。

表 1 実施体制

事業者名	実施業務・役割
シャープ株式会社	実証事業の運営、実証技術の仕様策定、実証技術の開発・評価、実証実験の実施
清水建設株式会社	実証技術の仕様策定、BIMデータの作成、現場適用性の評価、実証実験の実施

1.4.2 実施期間

本実証は、2023 年 10 月 26 日から 2024 年 1 月 31 日の期間で実施された。

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 開発・活用した技術・システムの内容

・配筋検査システム

本実証では、シャープ株式会社及び清水建設が開発し、既に製品化されている配筋検査システムを使用して実施した。

配筋検査システムは、カメラ 3 台(ステレオカメラ 2 組)とタブレットを備えたシステムであり、カメラで撮影した画像から三角測量の原理に基づき被写体の 3 次元位置情報を計測し、鉄筋径と鉄筋間隔を算出する。被写体の 3 次元位置情報は、ステレオカメラで撮影した各画像に写る被写体位置の差(視差)と基線長(カメラ間距離)、焦点距離等のカメラパラメータに基づいて算出される。

鉄筋径は、規格により定められた値を出力する。配筋の撮影は、配筋検査システムを手で保持し、0.9~1.8m 離れた位置から配筋に配筋検査システムのレンズを向けて行う。撮影の処理は、配筋検査システムのタブレットで、配筋検査アプリケーションを起動し、タブレットの画面をタッチすることで行う。計測処理は、配筋検査アプリケーションで計測範囲を指定し計測処理実行ボタンをタッチすることで、タブレット内で実行する。計測結果は、鉄筋規格と鉄筋間隔が画面上に表示されるとともに、画像ファイル(jpg)またはテキストファイル(csv)がタブレットに保存される。



図 3 配筋検査システム



図 4 配筋検査システムの表示画面

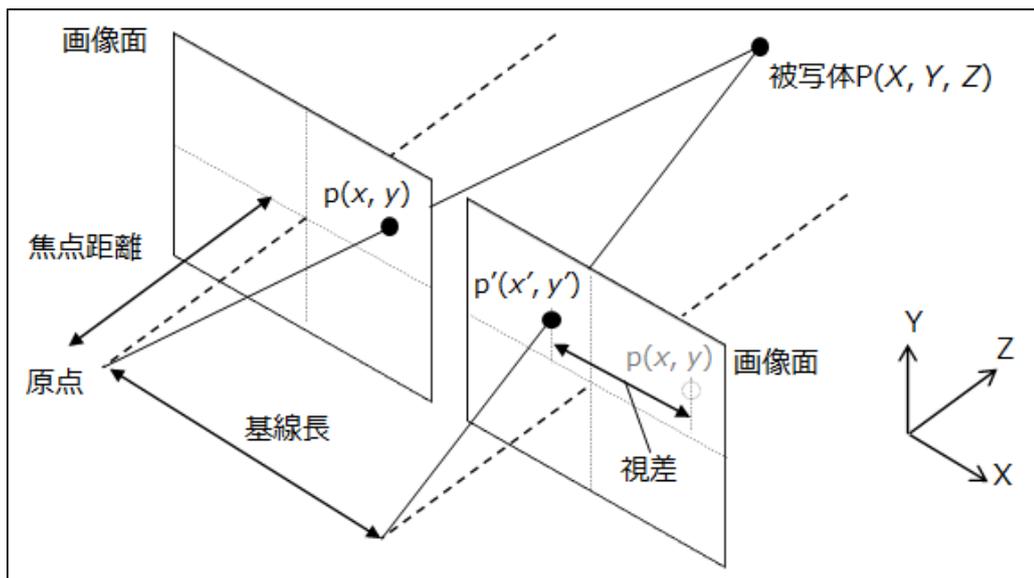


図 5 ステレオカメラによる 3 次元計測の概念図

・ 3次元データ (ifc ファイル) 生成機能

ifc(industry foundation classes)は、建物を構成するオブジェクトのシステム的な表現方法の仕様であり、建築物等の 3次元モデルを表現するために使用されるデータフォーマットである。本実証では、配筋検査システムの計測結果に基づいて、配筋の 3次元モデルを表す 3次元データを ifc フォーマットで生成する機能 (プログラム) を新規に開発した。3次元データの生成は、所定の鉄筋位置を基準に、計測結果の鉄筋間隔に基づいた位置に、計測結果の鉄筋規格に基づいたサイズの鉄筋を配置するように、ifc ファイルの規定にしたがって行った。

また、清水建設株式会社の技術者 (製品要求仕様策定と本実証における現場実証業務を

担当し、3次元データの製作や現場での効果的な使い方に関する知見を有する担当者。以下、「清水建設株式会社評価担当者」に、配筋の BIM データに設定される情報と、3次元データ（ifcファイル）とBIMデータの比較確認時に必要と考えられる情報を確認し、3次元データ（ifcファイル）の属性情報を設定した。属性情報は、オブジェクトの名前や ID、鉄筋情報（規格やサイズ）などである。

・BIM データ

3次元データ（ifcファイル）生成機能により生成する3次元データとの比較用に、本実証で撮影実験を実施した研修施設及び建設現場で対象とした配筋について、Autodesk社のソフトウェア Revitにより BIM データを作成した。

（2）実証方法

①配筋検査システムの適合性等の評価

配筋検査システムの計測値の精度の検証や、配筋検査システムを利用した鉄筋径や鉄筋間隔の計測手法と従来方法との比較にあたって、以下のとおり、実際の建設現場等での実証や現場の作業員へのヒアリング等を行った。

- ・清水建設株式会社の研修施設及び建設現場において、配筋検査システムを用いて、壁、床、柱、梁の配筋を撮影して計測し、鉄筋本数、鉄筋径及び鉄筋間隔を出力した。計測結果は、配筋検査システムが備えるタブレットにて処理し出力した。
- ・清水建設株式会社の研修施設及び建設現場において、従来方法（目視及びノギスやメジャーによる方法）により、配筋検査システムで計測した対象（壁、床、柱、梁の配筋）の、鉄筋本数、鉄筋径及び鉄筋間隔を測定した。
- ・シャープ株式会社のオフィスにおいて、上記配筋検査システムの計測結果と従来方法の測定結果を比較し、配筋検査システムの技術基準への適合性を評価した。評価は、鉄筋検出率、鉄筋規格判定率、鉄筋間隔誤差について実施した。
- ・清水建設株式会社の研修施設及び建設現場において、配筋検査システムを使用する方法の効率性及び容易性を評価した。評価は、作業時間の削減率及びヒアリングにより行った。作業時間は、配筋の計測を配筋検査システムで実施した場合と、従来方法で実施した場合の作業時間を測定、比較した。ヒアリングは、配筋検査システムの使用に慣れていない作業員に配筋検査システムによる計測を実施してもらい、従来方法と比較したときの、配筋検査システムによる作業の容易性等について意見を確認した。

②計測結果に基づく ifc ファイル生成の確認

現状の配筋検査システムは、ifcファイルの作成機能を有していないため、以下のとおり、当該機能に関するソフトウェアを新規に開発し、実際に ifc ファイルが作成できることを確認した。

- ・シャープ株式会社のオフィスにおいて、配筋検査システムとは別に3次元データ（ifcファイル）生成機能のソフトウェアを開発した。
- ・上記①の建設現場等での配筋検査システムによる計測後に、配筋検査システムが備えるタブレット PCにて、3次元データ（ifcファイル）生成機能を実行し、配筋検査システムの計測結果に基づいた ifc ファイルが、指定フォルダに出力されることを確認した。

- ・シャープ株式会社及び清水建設株式会社のオフィスにおいて、3次元データ（ifcファイル）生成機能により生成されたifcファイルの表示状態を確認した。表示状態の確認は、ifcファイルを表示可能なビューワでifcファイルを読み込み、計測結果の鉄筋径、鉄筋間隔に対応した配筋の3次元モデルが表示されるかディスプレイで確認することで行った。

③BIMモデル比較による判定支援評価

以下のとおり、上記②で生成した3次元データ（ifcファイル）と、配筋検査システムで計測した対象のBIMモデルを比較し、検査の際の技術基準等の適合性判定を支援可能か、その有効性を評価した。

- ・清水建設株式会社のオフィスにおいて、清水建設株式会社の研修施設及び建設現場の対象の配筋（壁及び床）について、BIMデータを作成した。
- ・シャープ株式会社及び清水建設株式会社のオフィスにおいて、上記②で生成した3次元データ（ifcファイル）と、上記BIMデータをそれぞれビューワに表示し、ディスプレイ上での比較確認を行った。この比較方法により、中間検査や完了検査等における配筋状態に関する適合性判定を支援可能であるか、また、比較方法に関する課題があるかを、清水建設株式会社評価担当者が評価した。

2.2 実施場所等

①配筋検査システムの適合性等の評価及び②計測結果に基づく ifc ファイル生成の確認で使用する配筋の計測データは、下記の日時、場所にて撮影実験を実施して取得した。また、3次元データ（ifc ファイル）生成機能はシャープ株式会社のオフィスにて開発し、③BIM モデル比較による判定支援評価で使用する BIM データは清水建設株式会社のオフィスにて作成した。各種データの確認や評価はシャープ株式会社及び清水建設株式会社のオフィスにて実施した。

【撮影実験】

日時：2023年11月15日

場所：清水建設（株）研修施設（東京都江東区）

撮影対象：配筋モックアップ

<タイムスケジュール>

13:20～14:00 機材準備、キャリブレーション

14:00～15:40 配筋検査システムによる撮影、計測（壁、床、梁、柱）
従来方法による測定（メジャー、ノギス）



図 6 撮影実験の様子（2023年11月15日）

日時：2023年12月13日

場所：清水建設（株）建設現場（千葉県成田市）

撮影対象：函渠工の配筋

<タイムスケジュール>

13：10～14：00 機材準備、キャリブレーション

14：00～16：00 配筋検査システムによる撮影、計測（床）
従来方法による測定（メジャー、ノギス）



図 7 撮影実験の様子（2023年12月13日）

日時：2023年12月20日

場所：清水建設（株）研修施設（東京都江東区）

撮影対象：配筋モックアップ

<タイムスケジュール>

- 9：30～10：00 機材準備、キャリブレーション
- 10：00～11：00 配筋検査システムによる撮影、計測（作業性検証）
- 15：20～16：00 配筋検査システムによる撮影、計測（壁、床、梁、柱）



図 8 撮影実験の様子（2023年12月20日）

2.3 実施条件等

【外部環境】

本実証では、屋内（清水建設（株）研修施設）及び晴天の条件（清水建設（株）建設現場）で撮影実験を実施した。いずれも十分な光量が得られる条件であった。地下や曇天・雨天の条件では、撮影可能な照度が得られるように照明を点灯する必要がある。

【計測対象】

配筋検査システムが対象とする主な配筋は、鉄筋間隔が一定以上ある配筋（例：図9の壁配筋）である。複数の鉄筋が隣接して並行配置される場合（例：図10の柱配筋）や、鉄筋が密に配置され鉄筋間隔が狭い場合（例：図11の梁配筋）には、複数本の鉄筋を1本の鉄筋として検出してしまう等の誤差が発生する可能性がある。また、配筋検査システムは2層目までの鉄筋を計測可能であるが、1層目の鉄筋に遮蔽された2層目の鉄筋は計測できない場合があるため、本実証では1層目を計測対象として各評価を実施した。したがって、本実証では、2層目の鉄筋については評価の対象外である。

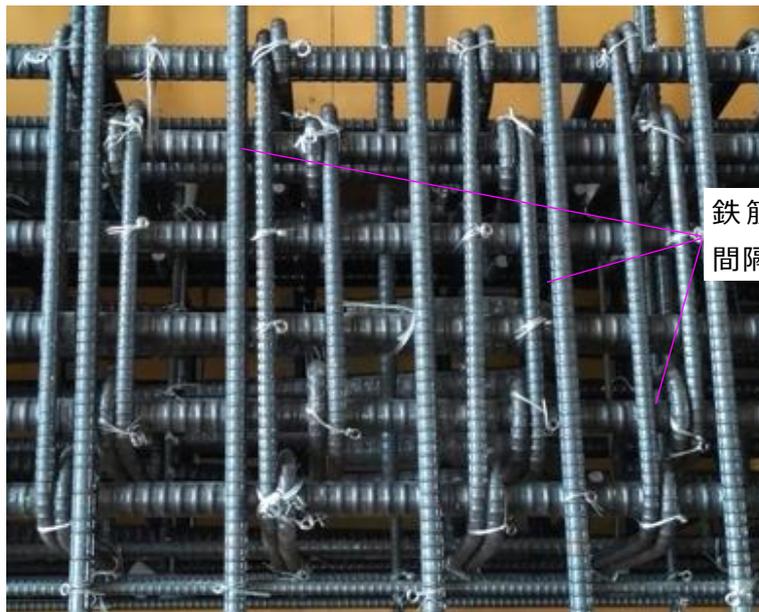


図9 壁配筋



複数鉄筋が隣接して並行配置

図 10 柱配筋



鉄筋が密に配置され
間隔が狭い

図 11 梁配筋

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

前述の本実証の目的が達成できるかを確認するにあたっては、技術実証の項目に応じて、以下のとおり評価のポイント・方法を整理した。評価のポイント・方法については、従来方法の内容や実証項目で実現しようとする機能内容等を踏まえて設定した。

表 2 結果の評価ポイント・方法

対象項目	評価項目	ポイント・方法
① 配筋検査システムの適合性等の評価	(ア) 鉄筋本数の評価	鉄筋本数の確認は鉄筋検出率で行い、鉄筋検出率は（検出本数）／（全鉄筋本数）により算出した。検出本数は、配筋検査システムで検出された鉄筋本数とし、全鉄筋本数は、計測処理時に指定した計測範囲に含まれる鉄筋を目視にて算出した。鉄筋検出率は 90%以上を目標とした（システム推奨撮影条件） ^{※1} 。
	(イ) 鉄筋径の評価	鉄筋径の確認は鉄筋規格判定率で行い、鉄筋規格判定率は（正解鉄筋本数）／（全鉄筋本数）により算出した。正解鉄筋本数は、配筋検査システムで算出された鉄筋規格と、配筋されている鉄筋の鉄筋規格を比較して判定した。鉄筋の鉄筋規格はロールマークまたはノギスにより確認した。鉄筋規格判定率は 75%以上を目標とした（システム推奨撮影条件） ^{※1} 。ここで、鉄筋規格で定められる節の高さは範囲が設けられており、隣接規格で最大直径の範囲が重複する鉄筋規格が存在するため 100%の判定は不可能となっている。
	(ウ) 鉄筋間隔の評価	鉄筋間隔の確認は鉄筋間隔誤差で行い、鉄筋間隔誤差は配筋検査システムで算出された計測値と、メジャーにより測定した実際の鉄筋間隔との差で算出した。鉄筋間隔誤差は±10mmを目標値とし、±10mm未満の鉄筋間隔の割合が 90%以上を目標とした（システム推奨撮影条件）。目標値は、±φ（鉄筋径）が適用されることが多く、現場で頻繁に使用される細い鉄筋である D10 の直径 10mm に基づいて設定した ^{※1} 。
	(エ) 効率性及び容易性の評価	効率性及び容易性の評価は、作業時間の削減率及びヒアリングにより行った。作業時間は、配筋の計測を配筋検査システムで実施した場合と、従来方法で実施した場合の作業時間を測定した。ヒアリングは、配筋検査システムの使用に慣れていない作業者に配筋検査システムによる計測を実施してもらい、従来の方と比較したときの、配筋検査システムによる作業の容易性等について意見を確認した。
② 計測結果に基づく	(オ) ファイル保管機能の妥当性	3次元データ（ifc ファイル）生成機能のファイル保管機能の妥当性を評価した。評価は、3次元データ（ifc ファイル）生成機能の

ifc ファイル生成の確認	評価	実行後に、ifc ファイルが指定フォルダに正確に保存されるかどうかにより、ファイル出力及び保存機能が所望の動作となっているかを確認して行った。
	(カ) 3次元データ生成機能の確実性評価	3次元データ (ifc ファイル) 生成機能のデータ処理の確実性を評価した。評価は、生成した ifc ファイルを ifc ファイルが表示可能なビューワで読み込み可能か、また、所望の状態が表示されるかを確認することで行った。所望の状態での表示は、対象の配筋が3次元モデルとして表示できていることを目視で確認した。
③BIMモデル比較による判定支援評価	(キ) 適合性判定の支援評価	生成した ifc ファイル (計測値) と BIM データ (設計値) をビューワに表示し、鉄筋本数、鉄筋径、鉄筋間隔を直接比較して、適合性を評価した。また、ifc ファイルと BIM データをビューワに表示してディスプレイ上で比較確認する方法が、配筋検査における適合性判定を支援可能か、その有効性や課題について判定者 ^{※2} が主観で評価した。

※1 鉄筋検出率、鉄筋規格判定率及び鉄筋間隔誤差の目標値は、本実証の評価担当者とは異なる清水建設株式会社の技術者及び建設現場担当者からのヒアリングにより、現場で実施するときに計測結果の確認及び計測結果の修正に要する作業が許容可能な範囲を考慮して設定した。

※2 清水建設株式会社評価担当者。

3.2 結果及び評価・分析

①配筋検査システムの適合性等の評価

撮影実験で取得した計測データについて評価した結果を以下に示す。なお、以下の結果には実証前の2023年10月25日に行った事前実験データを含む。

表 3 撮影実験で取得した計測データ

日付	場所	対象配筋	計測回数	鉄筋本数	鉄筋間隔数
2023年10月25日	研修施設	壁(縦 D10,横 D10)	9	131	113
2023年11月15日	研修施設	壁(縦 D10,横 D10)	24	369	321
2023年12月13日	建設現場	床(縦 D22,横 D16)	10	116	75
2023年12月20日	研修施設	壁(縦 D10,横 D10)	9	134	116
合計			52	750	625

(ア) 鉄筋本数の評価

撮影実験で取得したデータにより鉄筋検出率を評価した。評価は、配筋検査システムが出力する図 12 の計測結果で確認しており、計測範囲内の鉄筋に鉄筋位置を示す直線が重畳されていることを目視した。表 4 に示すように、各撮影実験における鉄筋の検出率は 100%となっており、検出漏れや、過検出は発生していない。

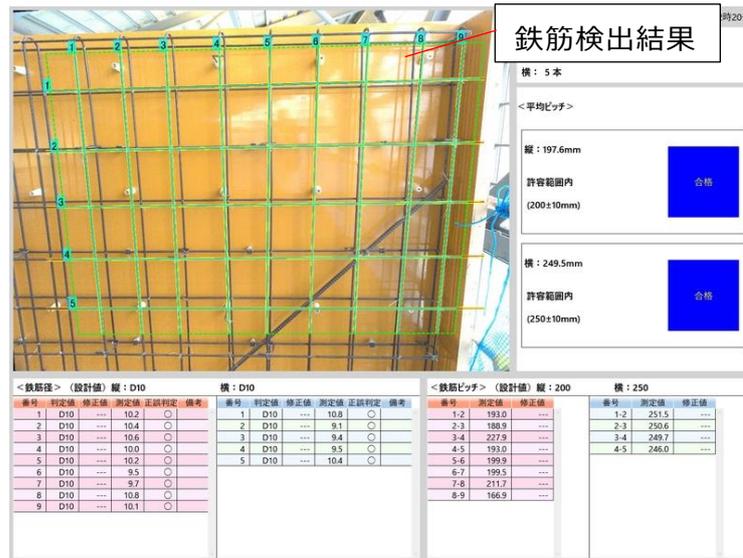


図 12 鉄筋検出結果（配筋検査システムの計測結果画面）

表 4 鉄筋検出率の評価

日付	場所	鉄筋本数	検出本数	検出率[%]
2023年10月25日	研修施設	131	131	100.0
2023年11月15日	研修施設	369	369	100.0
2023年12月13日	建設現場	116	116	100.0
2023年12月20日	研修施設	134	134	100.0
合計		750	750	100.0

(イ) 鉄筋径の評価

撮影実験で取得したデータにより鉄筋規格判定率を評価した。表 5 に示すように、建設現場の鉄筋規格判定率は 100%、研修施設の鉄筋規格判定率は 91.0%から 95.4%となり、全体では 94.5%となった。誤判定された鉄筋はいずれも研修施設の鉄筋規格 D10 の鉄筋であり、D10 未満もしくは D13 として判定されている。誤判定の原因は、継手や、フック等の鉄筋に取り付けられた付属品の影響、視差算出の誤差等が考えられる。なお、配筋検査システムの計測時には、設計値と異なる規格と判定された鉄筋を、目視確認した正しい値に修正することができる。

表 4 鉄筋規格判定率の評価

日付	場所	鉄筋本数	正解数	判定率[%]
2023年10月25日	研修施設	131	125	95.4
2023年11月15日	研修施設	369	346	93.8
2023年12月13日	建設現場	116	116	100.0
2023年12月20日	研修施設	134	122	91.0
合計		750	709	94.5

(ウ) 鉄筋間隔の評価

撮影実験で取得したデータにより鉄筋間隔誤差を評価した。なお、鉄筋間隔誤差は、配筋検査システムの計測値と、メジャーによる手動測定値との差であり、手動測定値にも誤差が含まれている。表 6 に示すように、目標値±10mm 未満の鉄筋間隔の割合は、最大で 100.0%、最低で 96.0%、全体で 99.4%となった。各撮影実験の鉄筋間隔は、誤差絶対値の平均が、最大で 3.01mm、最小で 1.17mm、標準偏差が最大で 2.76mm、最小で 1.72mm となり、全体では、誤差絶対値の平均が 2.31mm、標準偏差が 2.19 mmとなった。図 12 に鉄筋間隔誤差のヒストグラムを示す。また、各撮影実験での計測結果の例を図 14 から図 25 に示す。

表 6 鉄筋間隔の評価

日付	場所	鉄筋間隔数	誤差±10mm 未満の鉄筋間隔数 (割合[%])	誤差絶対値の平均[mm]	標準偏差 [mm]
2023年10月25日	研修施設	113	113 (100.0)	2.59	1.98
2023年11月15日	研修施設	321	320 (99.7)	2.36	2.36
2023年12月13日	建設現場	75	72 (96.0)	3.01	2.76
2023年12月20日	研修施設	116	116 (100.0)	1.17	1.72
合計		625	621 (99.4)	2.31	2.19

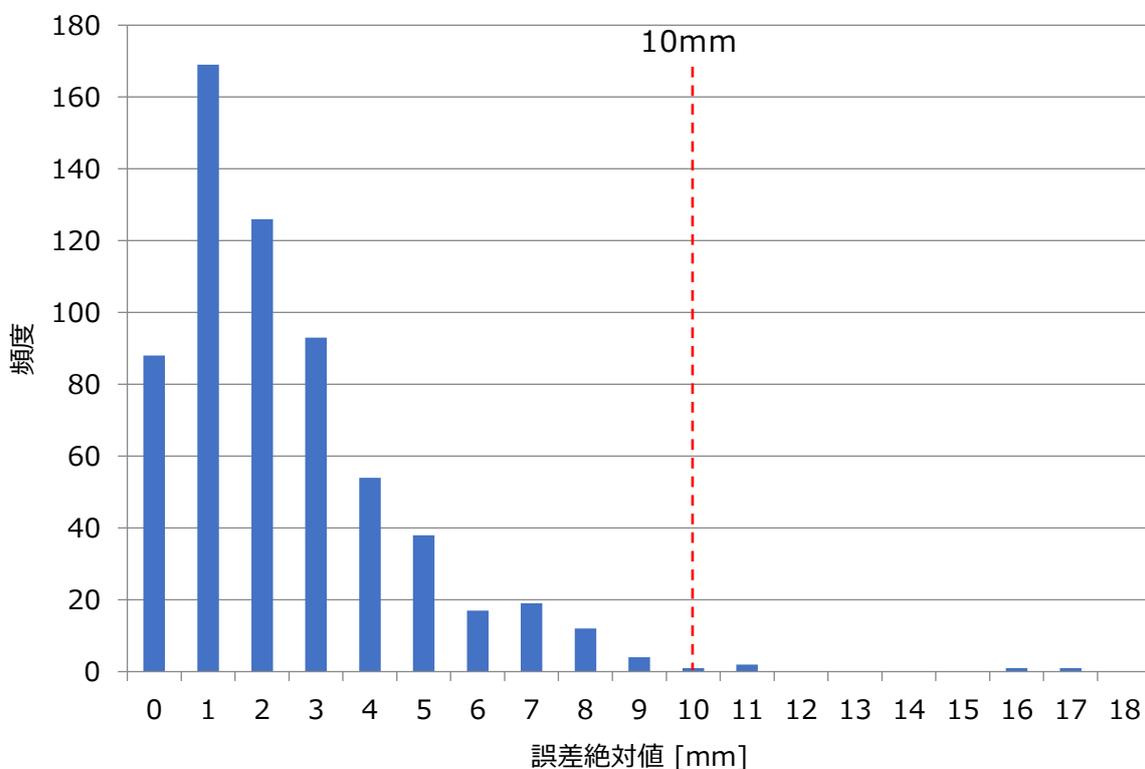


図 13 鉄筋間隔誤差



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	196.0	191.9	-4.1
縦2	D10	一致	縦2-縦3	209.0	206.3	-2.7
縦3	D10	一致	縦3-縦4	192.0	196.0	4.0
縦4	D10	一致	縦4-縦5	188.0	187.7	-0.3
縦5	D10	一致	縦5-縦6	229.0	228.1	-0.9
縦6	D10	一致	縦6-縦7	189.0	190.4	1.4
縦7	D10	一致	縦7-縦8	203.0	200.2	-2.8
縦8	D10	一致	縦8-縦9	198.0	200.8	2.8
縦9	D10	一致	縦9-縦10	211.0	211.6	0.6
縦10	D10	一致	縦10-縦11	168.0	166.9	-1.1
縦11	D10	一致	平均間隔	198.3	198.0	-0.3

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	244.0	249.4	5.4
横2	D10	一致	横2-横3	255.0	250.7	-4.3
横3	D10	一致	横3-横4	247.0	247.6	0.6
横4	D10	一致	横4-横5	249.0	249.0	0.0
横5	D10	一致	横5-横6	252.0	243.1	-8.9
横6	D10	一致	平均間隔	249.4	247.9	-1.5

図 14 鉄筋の計測結果 (2023年10月25日) ①



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	205.0	200.1	-4.9
縦2	D10	一致	縦2-縦3	198.0	200.2	2.2
縦3	D10	一致	縦3-縦4	196.0	196.7	0.7
縦4	D10	一致	縦4-縦5	198.0	197.1	-0.9
縦5	D10	一致	縦5-縦6	213.0	212.1	-0.9
縦6	D10	一致	縦6-縦7	188.0	188.7	0.7
縦7	D10	一致	縦7-縦8	193.0	192.9	-0.1
縦8	D10	一致	縦8-縦9	214.0	214.8	0.8
縦9	D10	一致	縦9-縦10	195.0	197.4	2.4
縦10	D10	一致	縦10-縦11	196.0	191.6	-4.4
縦11	D10	一致	平均間隔	199.6	199.2	-0.4

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	205.0	203.1	-1.9
横2	D10	不一致	横2-横3	244.0	244.6	0.6
横3	D10	一致	横3-横4	255.0	252.0	-3.0
横4	D10	一致	横4-横5	247.0	245.9	-1.1
横5	D10	一致	横5-横6	249.0	247.2	-1.8
横6	D10	一致	平均間隔	240.0	238.6	-1.4

図 15 鉄筋の計測結果 (2023年10月25日) ②



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	196.0	191.9	-4.1
縦2	D10	一致	縦2-縦3	209.0	206.3	-2.7
縦3	D10	一致	縦3-縦4	192.0	196.0	4.0
縦4	D10	一致	縦4-縦5	188.0	187.7	-0.3
縦5	D10	一致	縦5-縦6	229.0	228.1	-0.9
縦6	D10	一致	縦6-縦7	189.0	190.4	1.4
縦7	D10	一致	縦7-縦8	203.0	200.2	-2.8
縦8	D10	一致	縦8-縦9	198.0	200.8	2.8
縦9	D10	一致	縦9-縦10	211.0	211.6	0.6
縦10	D10	一致	縦10-縦11	168.0	166.9	-1.1
縦11	D10	一致	平均間隔	198.3	198.0	-0.3

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	244.0	249.4	5.4
横2	D10	一致	横2-横3	255.0	250.7	-4.3
横3	D10	一致	横3-横4	247.0	247.6	0.6
横4	D10	一致	横4-横5	249.0	249.0	0.0
横5	D10	一致	横5-横6	252.0	243.1	-8.9
横6	D10	一致	平均間隔	249.4	247.9	-1.5

図 16 鉄筋の計測結果 (2023年10月25日) ③



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	194.0	196.0	2.0
縦2	D10	一致	縦2-縦3	205.0	204.8	-0.2
縦3	D10	一致	縦3-縦4	201.0	200.6	-0.4
縦4	D10	一致	縦4-縦5	188.0	193.1	5.1
縦5	D10	一致	縦5-縦6	218.0	218.5	0.5
縦6	D10	一致	縦6-縦7	191.0	190.0	-1.0
縦7	D10	一致	縦7-縦8	197.0	201.3	4.3
縦8	D10	一致	平均間隔	199.1	200.6	1.4

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	244.0	247.7	3.7
横2	D10	一致	横2-横3	255.0	253.7	-1.3
横3	D10	一致	横3-横4	247.0	249.1	2.1
横4	D10	一致	横4-横5	249.0	250.8	1.8
横5	D10	一致	平均間隔	248.8	250.3	1.6

図 17 鉄筋の計測結果 (2023 年 11 月 15 日) ①



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	196.0	196.3	0.3
縦2	D10	一致	縦2-縦3	198.0	197.3	-0.7
縦3	D10	一致	縦3-縦4	213.0	213.5	0.5
縦4	D10	一致	縦4-縦5	188.0	190.1	2.1
縦5	D10	一致	縦5-縦6	193.0	193.7	0.7
縦6	D10	一致	縦6-縦7	214.0	214.3	0.3
縦7	D10	一致	縦7-縦8	195.0	197.2	2.2
縦8	D10	一致	平均間隔	199.6	200.3	0.7

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	不一致	横1-横2	244.0	245.4	1.4
横2	D10	一致	横2-横3	255.0	253.5	-1.5
横3	D10	一致	横3-横4	247.0	248.0	1.0
横4	D10	一致	横4-横5	249.0	247.0	-2.0
横5	D10	一致	平均間隔	248.8	248.5	-0.3

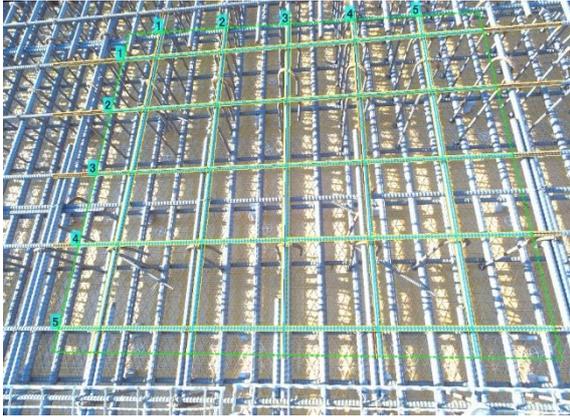
図 18 鉄筋の計測結果 (2023 年 11 月 15 日) ②



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	192.0	193.0	1.0
縦2	D10	一致	縦2-縦3	188.0	188.9	0.9
縦3	D10	一致	縦3-縦4	229.0	227.9	-1.1
縦4	D10	一致	縦4-縦5	189.0	193.0	4.0
縦5	D10	一致	縦5-縦6	203.0	199.9	-3.1
縦6	D10	一致	縦6-縦7	198.0	199.5	1.5
縦7	D10	一致	縦7-縦8	211.0	211.7	0.7
縦8	D10	一致	縦8-縦9	168.0	166.9	-1.1
縦9	D10	一致	平均間隔	197.3	197.6	0.3

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	244.0	251.5	7.5
横2	D10	一致	横2-横3	255.0	250.6	-4.4
横3	D10	一致	横3-横4	247.0	249.7	2.7
横4	D10	一致	横4-横5	249.0	246.0	-3.0
横5	D10	一致	平均間隔	248.8	249.5	0.7

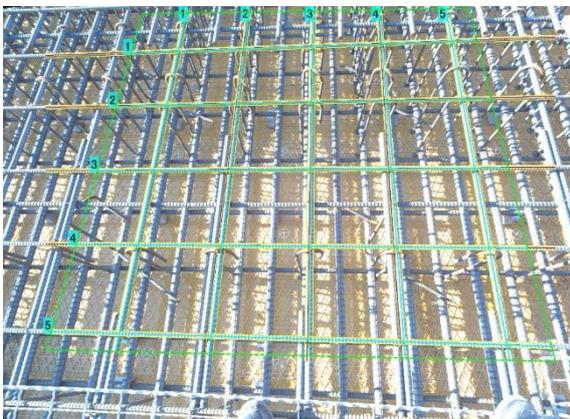
図 19 鉄筋の計測結果 (2023 年 11 月 15 日) ③



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D22	一致	縦1-縦2	294.0	299.0	5.0
縦2	D22	一致	縦2-縦3	311.0	304.2	-6.8
縦3	D22	一致	縦3-縦4	290.0	289.1	-0.9
縦4	D22	一致	縦4-縦5	277.0	276.6	-0.4
縦5	D22	一致	平均間隔	293.0	292.2	-0.8

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D16	一致	横1-横2	292.0	290.6	-1.4
横2	D16	一致	横2-横3	306.0	306.6	0.6
横3	D16	一致	横3-横4	297.0	299.3	2.3
横4	D16	一致	横4-横5	298.0	295.7	-2.3
横5	D16	一致	平均間隔	298.3	298.1	-0.2

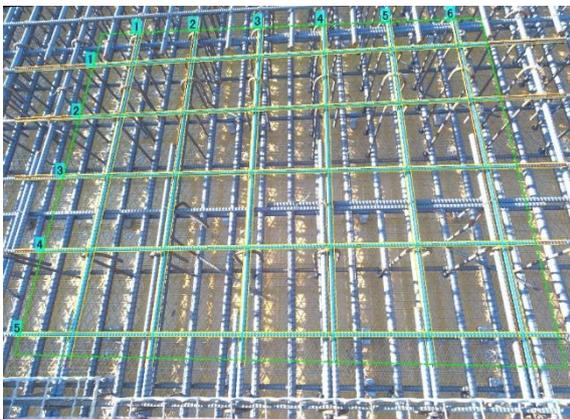
図 20 鉄筋の計測結果 (2023 年 12 月 13 日) ①



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D22	一致	縦1-縦2	323.0	324.8	1.8
縦2	D22	一致	縦2-縦3	308.0	307.4	-0.6
縦3	D22	一致	縦3-縦4	298.0	299.2	1.2
縦4	D22	一致	縦4-縦5	288.0	289.8	1.8
縦5	D22	一致	平均間隔	304.3	305.3	1.1

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D16	一致	横1-横2	294.0	295.4	1.4
横2	D16	一致	横2-横3	309.0	309.3	0.3
横3	D16	一致	横3-横4	295.0	296.0	1.0
横4	D16	一致	横4-横5	296.0	294.8	-1.2
横5	D16	一致	平均間隔	298.5	298.9	0.4

図 21 鉄筋の計測結果 (2023 年 12 月 13 日) ②



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D22	一致	縦1-縦2	304.0	304.5	0.5
縦2	D22	一致	縦2-縦3	309.0	309.1	0.1
縦3	D22	一致	縦3-縦4	295.0	294.3	-0.7
縦4	D22	一致	縦4-縦5	301.0	301.6	0.6
縦5	D22	一致	平均間隔	302.3	302.4	0.1

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D16	一致	横1-横2	298.0	298.6	0.6
横2	D16	一致	横2-横3	308.0	308.2	0.2
横3	D16	一致	横3-横4	295.0	297.2	2.2
横4	D16	一致	横4-横5	297.0	296.5	-0.5
横5	D16	一致	平均間隔	299.5	300.1	0.6

図 22 鉄筋の計測結果 (2023 年 12 月 13 日) ③



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	194.0	192.0	-2.0
縦2	D10	一致	縦2-縦3	205.0	203.9	-1.1
縦3	D10	一致	縦3-縦4	201.0	197.8	-3.2
縦4	D10	一致	縦4-縦5	188.0	191.5	3.5
縦5	D10	一致	縦5-縦6	218.0	220.6	2.6
縦6	D10	一致	縦6-縦7	191.0	185.8	-5.2
縦7	D10	一致	縦7-縦8	197.0	204.1	7.1
縦8	D10	一致	平均間隔	199.1	199.4	0.2

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	255.0	250.4	-4.6
横2	D10	一致	横2-横3	247.0	249.6	2.6
横3	D10	一致	横3-横4	249.0	247.9	-1.1
横4	D10	不一致	横4-横5	252.0	259.0	7.0
横5	D10	一致	横5-横6	249.0	246.5	-2.5
横6	D10	一致	平均間隔	250.4	250.7	0.3

図 23 鉄筋の計測結果 (2023年12月20日) ①



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	188.0	183.2	-4.8
縦2	D10	一致	縦2-縦3	193.0	189.5	-3.5
縦3	D10	一致	縦3-縦4	214.0	216.7	2.7
縦4	D10	一致	縦4-縦5	195.0	193.5	-1.5
縦5	D10	一致	縦5-縦6	196.0	194.9	-1.1
縦6	D10	一致	縦6-縦7	209.0	209.4	0.4
縦7	D10	一致	縦7-縦8	192.0	190.4	-1.6
縦8	D10	一致	縦8-縦9	188.0	185.3	-2.7
縦9	D10	一致	平均間隔	196.9	195.4	-1.5

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	255.0	251.6	-3.4
横2	D10	一致	横2-横3	247.0	247.7	0.7
横3	D10	不一致	横3-横4	249.0	249.8	0.8
横4	D10	一致	横4-横5	252.0	243.1	-8.9
横5	D10	一致	横5-横6	249.0	257.1	8.1
横6	D10	一致	平均間隔	250.4	249.9	-0.5

図 24 鉄筋の計測結果 (2023年12月20日) ②



No.	鉄筋規格 (縦)	規格判定	No.	鉄筋間隔(縦)[mm]		差
				実測値	計測結果	
縦1	D10	一致	縦1-縦2	209.0	210.1	1.1
縦2	D10	一致	縦2-縦3	192.0	184.3	-7.7
縦3	D10	不一致	縦3-縦4	188.0	194.4	6.4
縦4	D10	一致	縦4-縦5	229.0	231.5	2.5
縦5	D10	一致	縦5-縦6	189.0	187.4	-1.6
縦6	D10	一致	縦6-縦7	203.0	204.4	1.4
縦7	D10	一致	縦7-縦8	198.0	197.8	-0.2
縦8	D10	一致	縦8-縦9	211.0	208.4	-2.6
縦9	D10	一致	縦9-縦10	168.0	163.2	-4.8
縦10	D10	一致	平均間隔	198.6	198.0	-0.6

No.	鉄筋規格 (横)	規格判定	No.	鉄筋間隔(横)[mm]		差
				実測値	計測結果	
横1	D10	一致	横1-横2	255.0	261.9	6.9
横2	D10	一致	横2-横3	247.0	244.4	-2.6
横3	D10	不一致	横3-横4	249.0	249.0	0.0
横4	D10	不一致	横4-横5	252.0	246.8	-5.2
横5	D10	一致	横5-横6	249.0	249.0	0.0
横6	D10	一致	平均間隔	250.4	250.2	-0.2

図 25 鉄筋の計測結果 (2023年12月20日) ③

(工) 効率性及び容易性の評価

配筋検査システムで計測したときの時間と、従来方法で測定したときの時間を比較し、効率性について評価した。

評価は2023年12月13日の撮影実験における床配筋と、2023年12月20日の撮影実験における壁配筋を対象とした。

評価にあたって、配筋検査システムによる作業者は、システムを初めて触れる、使用に慣れていない者を9名選定した（計9回の計測作業）。配筋検査システムの作業時間の計測は、作業員への操作方法の説明から、作業員が計測を実施して結果がタブレット画面に表示されるまでの時間とした。

従来方法の測定の作業員は、清水建設株式会社の配筋検査経験のある担当者であり、各測定を2名で行った（計2回の測定作業）。従来方法の作業時間の計測は、配筋へのマーカとメジャーの設置から状態確認、写真撮影、マーカとメジャーの撤収までの時間とした。

表7及び表8に示すように、配筋検査システムで計測したときの作業時間は平均108秒であり、従来方法で測定したときの作業時間は平均290秒であった。したがって、今回の評価では、配筋検査システムの使用により約62.8%の作業時間を削減可能との結果になった。なお、配筋検査システムの作業時間には操作方法の説明時間40秒から50秒程度が含まれているため、計測作業自体は平均で60秒から70秒程度であったと考えられる。配筋検査システムの習熟者の作業時間は60秒程度であるため、慣れていない者と習熟者の差は小さく、配筋検査システムは経験に依存せず容易に計測可能であると言える。

また、配筋検査システムの作業員（使用に慣れていない人）にヒアリングを行ったところ、下記の意見があった。配筋検査システムは1人で作業可能で、従来方法の測定は2人以上での作業が必要であり、作業人数を50%以上削減できることを確認した。マーカやメジャーが不要となり、離れた位置から計測できることで安全性も向上することを確認した。使い勝手が良いという意見により容易性が高いことも確認した。

表7 配筋検査システムによる作業時間計測結果

計測 No.	作業時間 [秒]
1	140
2	145
3	90
4	165
5	80
6	90
7	90
8	80
9	90
平均	108

表 8 従来方法による作業時間計測結果

計測 No.	作業時間 [秒]
1	300
2	280
平均	290

<配筋検査システムに関する意見>

- ・従来 2 人以上の作業だったが、1 人で実施可能で省人化になる
- ・マーカ不要になるので、マーカを落とす問題が無くなる
- ・メジャーを置かずに離れた位置から計測できるのは良い
- ・操作がシンプルで使い勝手が良い。立会い写真としてそのまま使える
- ・写真と計測結果と出力できるので、立会い写真が必要な場合に良い
- ・帳票作成などの編集も考えると、時短になって良い
- ・帳票作成時に対象の写真がわからなくなり、探す手間がなくなる
- ・中間検査や完了検査以外に自主検査や発注者要望の検査で使える
- ・雨でも計測できるのが良い
- ・電子検尺ロッド^{※3}が実際の 3 次元位置に合わせて表示されるのは便利である
- ・ネットワークに繋がらない現場もあるため、タブレットのみで処理が完結するのは良い
- ・より複雑な配筋も計測できると良い
- ・他のタブレット端末と、配筋検査システムを持ち歩くのは負担が増える
- ・配筋検査システムの位置情報がわかって、現場の図面と位置合わせができると良い

※3 配筋検査システムには、計測した 3 次元情報に基づいて、画像上の配筋位置に合わせて電子検尺ロッドを重畳表示する機能が搭載されている（図 26）。



図 26 配筋検査システムの電子検尺ロッド表示画面



図 27 配筋検査システムに慣れていない作業による計測の様子



図 28 従来方法の測定の様子

②計測結果に基づく ifc ファイル生成の確認

(オ) ファイル保管機能の妥当性評価

配筋検査システムで算出された計測結果から、3次元データ（ifc ファイル）を生成する機能を開発し動作を検証した。3次元データ生成処理を実行した結果、想定通りに配筋検査システムの計測結果が出力されるフォルダと同じ場所に ifc ファイルが生成されていることを確認した。

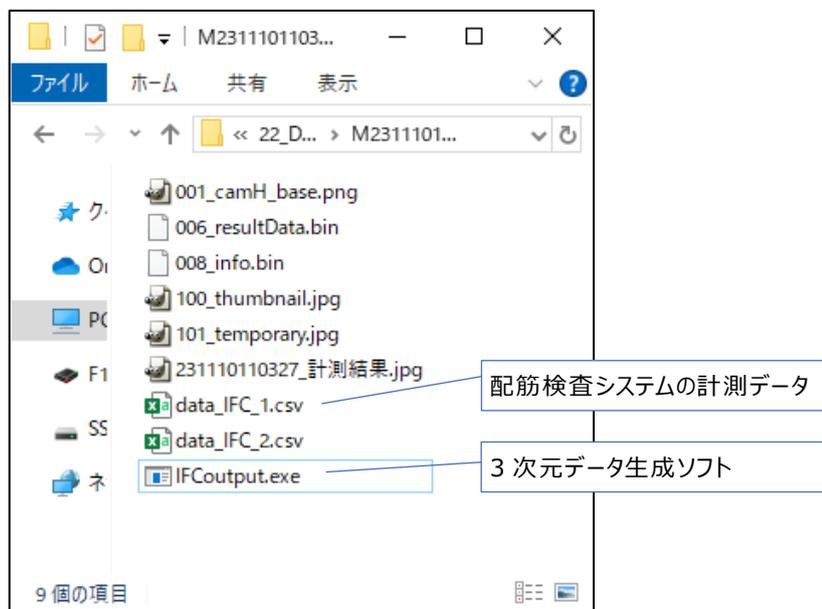


図 29 3次元データ生成処理実行前のフォルダ

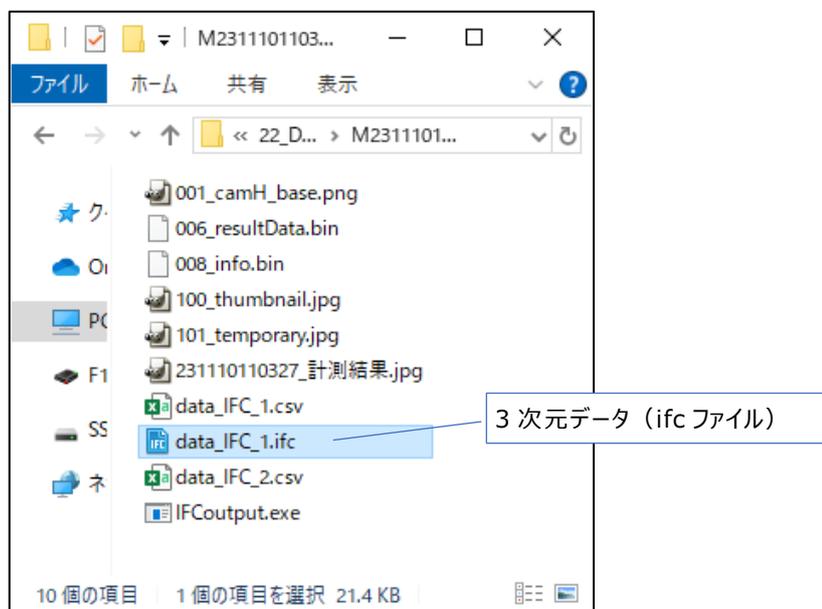


図 30 3次元データ生成処理実行後のフォルダ

(カ) 3次元データ生成機能の確実性評価

生成された3次元データ（ifcファイル）が適切な形式で生成されていることを検証した。ifcファイルを読み込み、表示可能なフリーソフトウェアであるOpen IFC Viewerで、生成したifcファイルを読み込み、対象の配筋が3次元モデルとして表示されることを確認した。

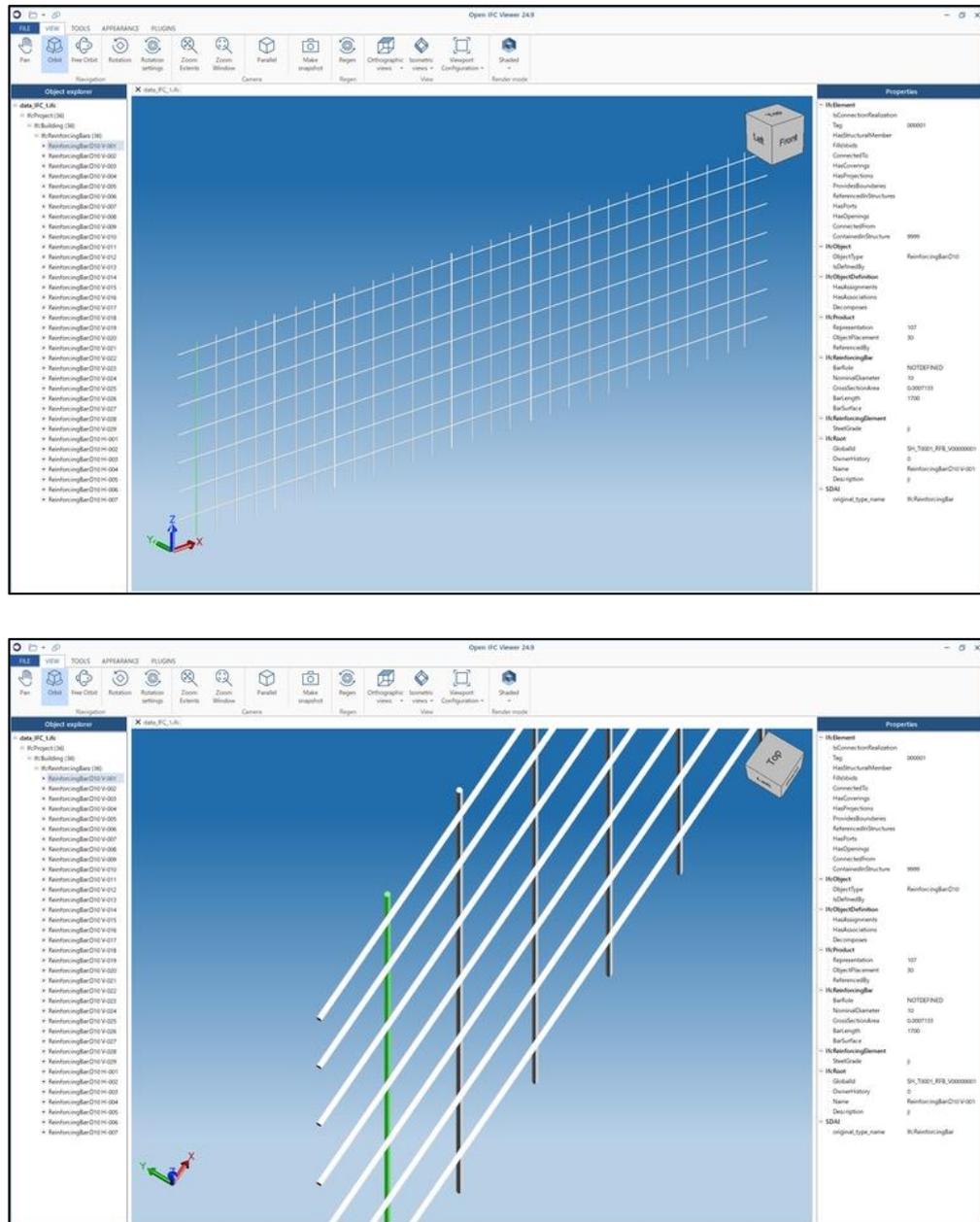


図 31 ifc ファイルの表示

③BIM モデル比較による判定支援評価

(キ) 適合性判定の支援評価

生成された ifc ファイルの 3 次元データ（計測値）と BIM データ（設計値）を直接比較した。比較はそれぞれをビューワに表示して、鉄筋本数、鉄筋径、鉄筋間隔を確認した。図 32 に示す BIM データでは D10 の縦鉄筋 30 本が 200mm 間隔で並び、横鉄筋 8 本が 250mm 間隔で並んでいる。図 33 に示す配筋検査システムで計測した結果に基づいて生成された ifc ファイルの 3 次元データでは、D10 の縦鉄筋 29 本が約 200mm 間隔（右端のみ間隔約 160mm）で並び、横鉄筋 8 本が約 250mm 間隔（上端のみ間隔約 200mm）で並んでいる。この 2 つのデータを比較することにより、BIM と ifc で差があることを確認することができた。なお、図 34 の撮影画像に示すように、実際に目視及び手動測定で確認した結果は ifc ファイルで示されている計測結果に近い結果であり、作成した BIM データと、実際の配筋が異なっている。

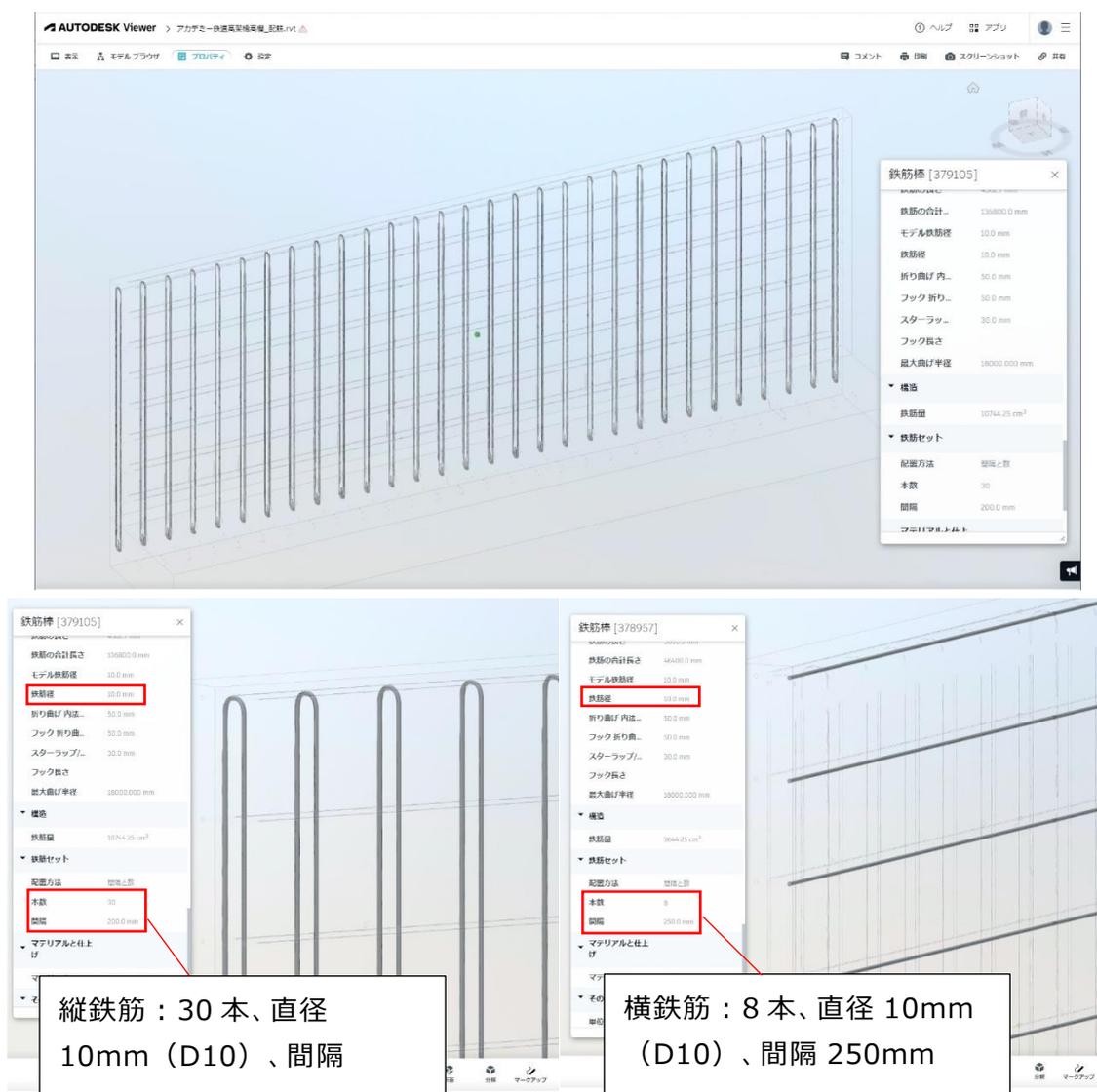


図 32 BIM データの直接確認結果

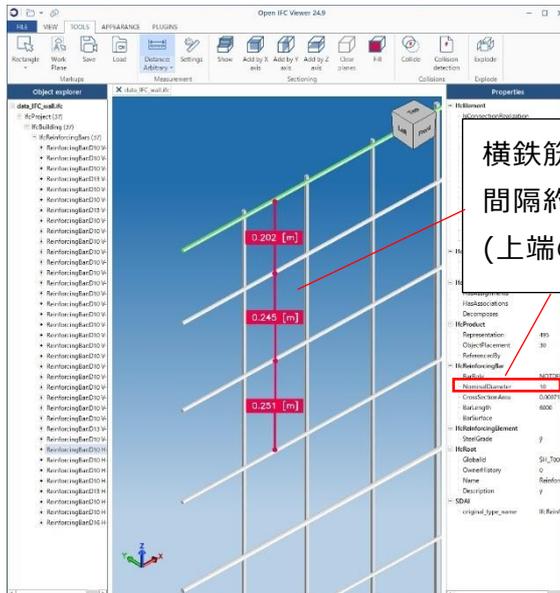
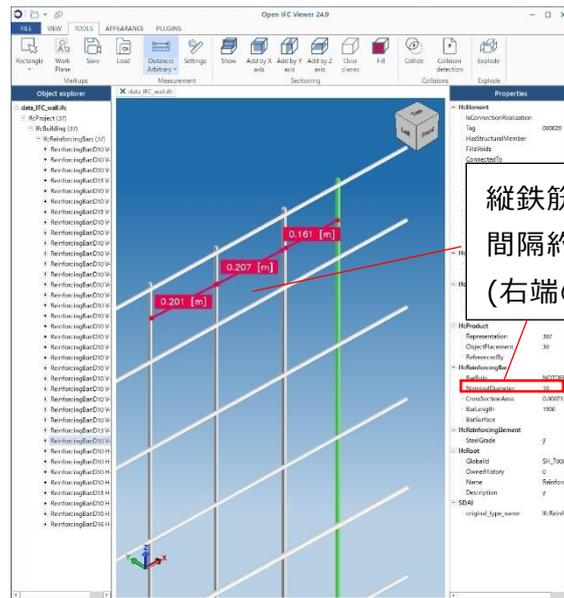
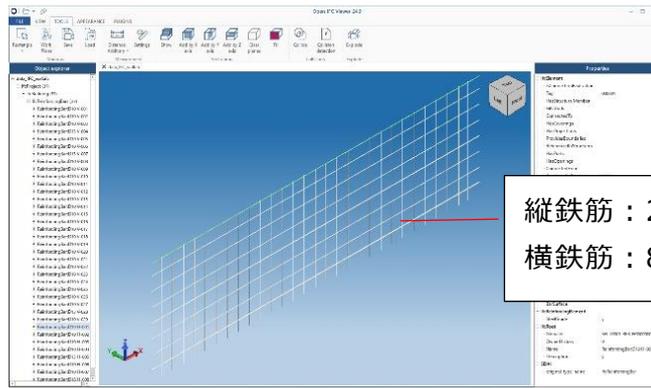


図 33 ifc ファイルの直接確認結果

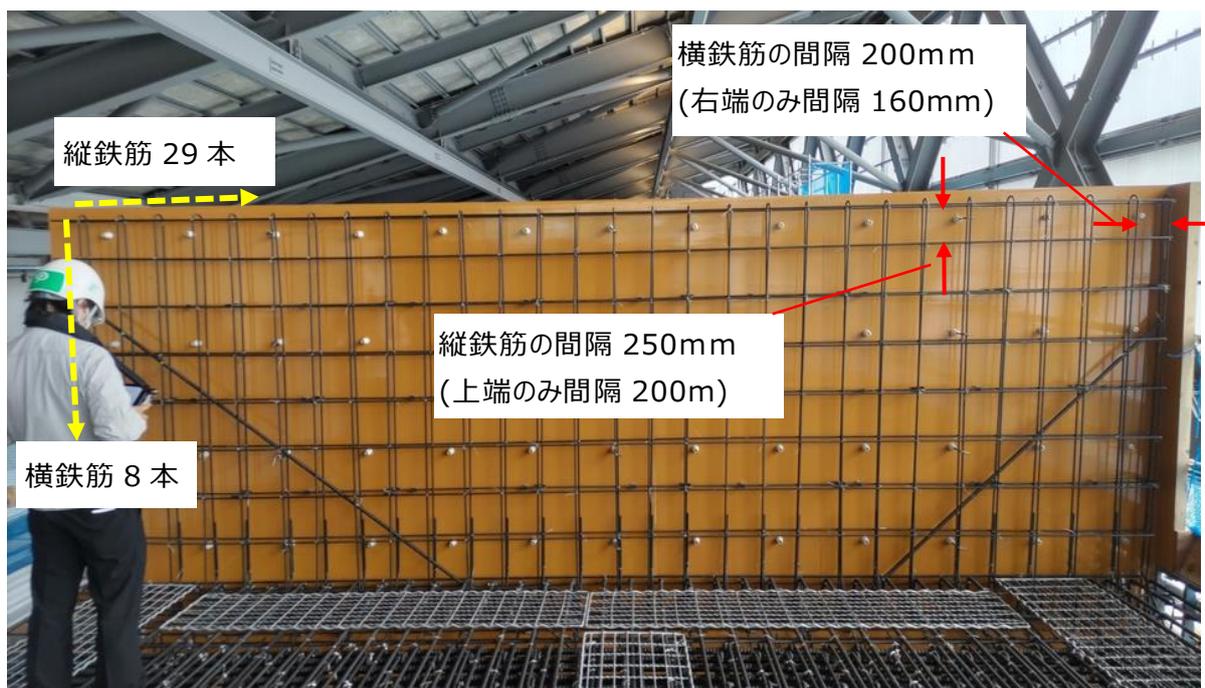


図 34 撮影画像（目視及びメジャーによる実測データ）

また、ifc ファイルの 3 次元データと BIM データをビューワに表示して比較する方法により、配筋検査の適合性判定を支援可能であるか、その効果を評価した。評価は、図 35 に示すように、それぞれのビューワに並べてディスプレイに表示し、清水建設株式会社評価担当者 2 名が確認することで、主観的に評価した。評価あたって、技術者より後述の意見が得られた。

当該評価の結果、配筋検査の適合性判定を支援する効果（可能性）があることを確認した。例えば、「発注者とのコミュニケーションに役立つ」との意見があったため、施工者が工事監理者に配筋状態を説明するときにも、配筋施工時の状態を ifc データと BIM を使用してディスプレイに表示しながら説明することで、説明がしやすくなるとともに、結果の確認がしやすくなる効果があると考えられる。また、「BIM を重ねて差を表示できると、より分かり易くなるかもしれない」との意見があったため、3 次元的に配筋を比較することで、設計との比較評価が容易になると考えられる。さらに、ifc ファイルへの情報追加、表示方法の改善により、比較評価への支援効果が向上すると考えられる。前述の効率性及び容易性の評価結果の通り、配筋検査システムは容易に使用可能で、効率性が向上し、作業人数を低減できることを確認した。中間検査や完了検査は、工事期間に随時実施される施工者や工事監理者の検査結果に基づいて実施される。施工者や工事監理者の検査は、全ての配筋について鉄筋の本数や径、間隔などの検査が行われるため、膨大な作業量となっている。したがって、これらの検査において配筋検査システムを利用することで、中間検査や完了検査のための検査時間や作業人員を大幅に削減し、業務効率化が可能と言える。また、ifc ファイルは発注者への確認や、維持管理目的にも有用であり、中間検査や完了検査以外への活用の可能性もあることを確認した。

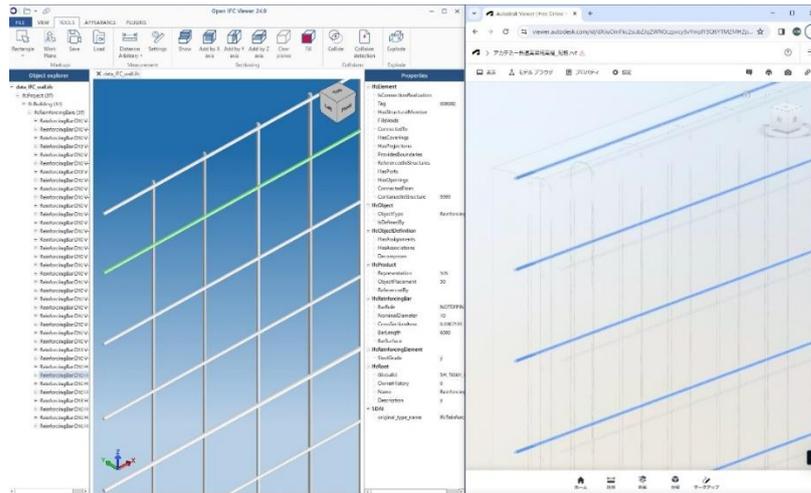


図 35 3次元データとBIMの比較表示（ディスプレイへの表示）

<ifc ファイルの 3次元データと BIM データの比較方法に関する意見>

- ・現状の建設現場で鉄筋の BIM まで作成されることは少ないが、今試行が始まっている段階。今回の配筋の 3次元データによる比較評価方法は、将来的に必要なと考えられる。
- ・建築の建設現場では、施工者の自主検査と、工事監理者の検査が随時実施され、それらの検査結果をもって、中間検査や完了検査が行われる。したがって、普段実施されている施工者や工事監理者の検査で、配筋検査システムと ifc ファイルを活用できる。
- ・ifc ファイルで鉄筋本数、鉄筋径、鉄筋間隔が分かるが、配筋検査システムの結果を確認できれば、ifc ファイルで表示しなくても十分と言える。3次元データを比較する方法の優位性や効果が必要と感じる。
- ・今回生成した ifc ファイルは配筋 1 層のみとなっている。建築の壁や床が 1 層であることは少なく、BIM 同様に 2 層目までの 3次元データで、奥行き方向の関係性も分かることが必要と考える。
- ・重ね継手の情報など、BIM で表現されている情報はできる限り ifc ファイルにも欲しい。
- ・ifc ファイルと BIM を重ねて差を表示できると、より分かり易くなるかもしれない。その際に、原点（位置関係）を合わせる方法が課題になると考えられる。
- ・建築の配筋は現場で調整されることも多いが、BIM に調整結果が必ず反映されているとは限らない。今回評価した壁面配筋でも、上端や右端の間隔が BIM と異なっていたように、現場の施工状況に応じて、全体で問題のない範囲で調整されることが多い。したがって、ifc ファイル（施工後の計測結果）と BIM に差が発生する可能性があり、直接的に差を評価する場合は注意が必要と考える。
- ・ifc ファイルにより施工後の 3次元データが取得できるため、発注者とのコミュニケーションに役に立つ。実際の施工状態を 3次元モデルで確認しながら話ができるのは効果的と考えられる。
- ・スリーブ等の設備の設置位置により配筋が調整されるため、施工後の配筋の 3次元データは役に立つ。また、補修工事など維持管理にも有用な情報と考えられる。
- ・配筋検査システムで撮影された画像を、3次元データに重畳して表示できると、実際の画像も併せて確認できるのでさらに分かり易くなる可能性がある。

○追加検討

上記の適合性判定の支援評価結果から、2層目の配筋まで3次元データ化する必要があることを確認した。そこで、壁面配筋の1層目と2層目を配筋検査システムで計測した結果に基づき、ifcファイルを手作業により試作した。図36に示すように、配筋検査システムの計測結果に基づいて、2層目までの情報をifcファイル(3次元データ)で表現可能であることを確認した。今後、配筋検査システム及び3次元データ生成機能のソフトウェア改良を進める予定である。

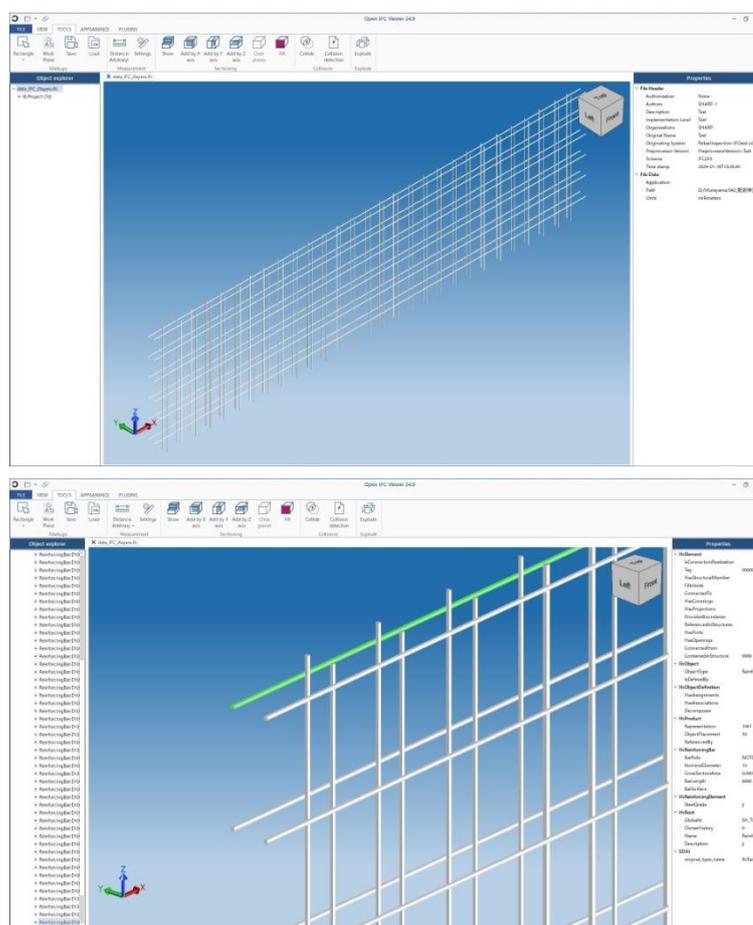


図 36 壁面配筋の1層目と2層目のifcファイル試作結果(表示例)

3.3 結果及び評価・分析(総括)

(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

本実証での評価により、鉄筋本数、鉄筋径、鉄筋間隔のそれぞれの計測精度が目標値を達成しており、配筋検査システムの適合性を確認した。さらに、配筋検査システムを使用したことが無い作業員による作業時間評価やヒアリングにより、配筋検査の効率性が向上し、容易に計測可能であることを確認した。これらの結果から、従来、目視確認や手作業での測定を行っていた配筋検査を、配筋検査システムによる計測で代替し、デジタル化が可能であることを確認した。また、配筋検査システムの撮影画像や計測結果、3次元データ(ifcファイル)を確認する方法により、現地で行っていた検査時の評価を、遠隔から行うなどの可能性も考えられる。したがって、アナログ規制の見直しに資すると考えられる。

(2)実現場での技術等の活用・導入に当たったのポイント

配筋検査システムは、特定の一か所の検査（抜き取り検査）に用いるのではなく、定常的に実施される検査において活用することで、業務効率の改善効果が大きくなると考えられる。

(3)実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

配筋検査システムは、鉄筋間隔が一定以上ある配筋を対し、複数の鉄筋が隣接して並行配置される場合や、鉄筋が密に配置され鉄筋間隔が狭い場合には、複数本の鉄筋を 1 本の鉄筋として検出してしまう等の誤差が発生する可能性がある。したがって、本実証では上記に該当し誤差の発生可能性がある配筋は対象外とした。しかしながら、建築の現場には、複数の鉄筋が隣接して並行配置されたり、鉄筋が密に配置されたりする配筋が存在するため、複雑な配筋の 3 次元データを生成する方法の検討が必要となる。また、配筋検査システムは 2 層目までの鉄筋を計測可能であるが、本実証では 1 層目を計測対象として各評価を実施したため、未評価の 2 層目については対象外とした。清水建設株式会社評価担当者の評価の結果、3 次元データ（ifc ファイル）には、BIM データと同様の情報（配筋の 2 層目等）が必要であることが確認されたため、今後、3 次元データ（ifc ファイル）生成機能を改善する必要がある。

(4)アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

配筋検査システムは鉄筋の本数、径（規格）、間隔の計測が可能であり、さらに帳票の出力や、画像上に計測結果を重畳したデータの出力なども可能である。また、本実証により、3 次元データ（ifc ファイル）の出力も可能となった。しかしながら、従来の配筋検査で実施されていた全ての検査項目を、配筋検査システムの計測により代替できるわけではない点を、留意する必要がある。

用語集

用語	定義・解説
中間検査及び完了検査	施工された建築物の建築基準への適合性を施工段階（中間）及び施工終了（完了）時に検査するもの
鉄筋径規格	鉄筋の直径に基づき定められた JIS 規格
鉄筋間隔	鉄筋と鉄筋の軸間距離
ifc	Industry Foundation Classes：建物を構成するオブジェクトの体系的な表現方法の仕様、データフォーマット
BIM	Building Information Modeling：建物の 3 次元モデルを再現し活用するための仕組み