

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の概要】

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
実証の全体像	<p>建築基準法では中間検査※1・完了検査※2の実施が定められている。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※3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）（図1）。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。</p> <p>本実証では配筋検査について、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（図2）、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（図3）。</p> <div data-bbox="614 725 1105 1079"></div> <p data-bbox="631 1108 1085 1175">図1 従来手法（メジャーによる鉄筋間隔の計測）</p> <div data-bbox="1192 725 1663 1079"></div> <p data-bbox="1289 1100 1569 1129">図2 点群の撮影の様子</p> <div data-bbox="1747 725 2339 1079"></div> <p data-bbox="1888 1096 2201 1163">図3 撮影した点群と点群から生成した3Dモデル</p> <p data-bbox="631 1232 1536 1332">※1 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 ※2 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 ※3 鉄筋と鉄筋の軸間距離</p>

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の概要】

実施体制	事業者名等	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
実施期間	令和5年11月7日から令和6年1月31日	

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

技術実証の方法	技術実証項目	実証内容
	建築物の中間検査・完了検査にかかるとデータ取得	<ol style="list-style-type: none">1. 建築現場を想定した鉄筋モックアップの作成 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。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スキャナーと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。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。※4 <p>※4 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。</p>

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の詳細】

技術実証の方法	技術実証項目	実証内容
	建築物の中間検査・完了検査にかかるとデータ分析・判断	<p>技術基準への適合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※5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。</p> <p>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。</p> <p>その他にも品質、安全性、施工性、業務合理化、技術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、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。</p> <p>※5 鉄筋の最外縁からコンクリートの表面までの距離</p>

【技術実証の詳細】

実証場所① 東京都台東区の貸倉庫

- 実施した技術実証項目：①建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得
②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断

■ 実施スケジュール

技術実証項目	日程	作業内容
建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ取得	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
建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断	12/4-29	従来方法（メジャー測定・目視）での計測



図4 点群の撮影の様子



図5 従来手法（メジャーによる鉄筋間隔の計測）

【技術実証の詳細】

実証場所② 弊社オフィス

■ 実施した技術実証項目：②建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断

■ 実施スケジュール

技術実証項目	日程	作業内容
建築物の中間検査・完了検査にかかるデータ分析・判断	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、設定した評価観点からの結果の評価

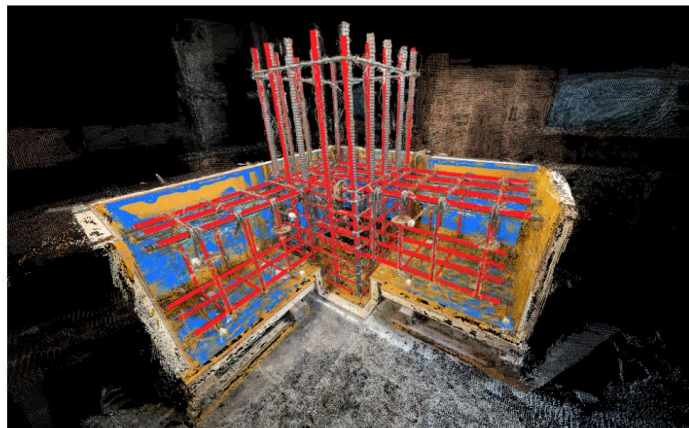


図6 撮影した点群と点群から生成した3Dモデル

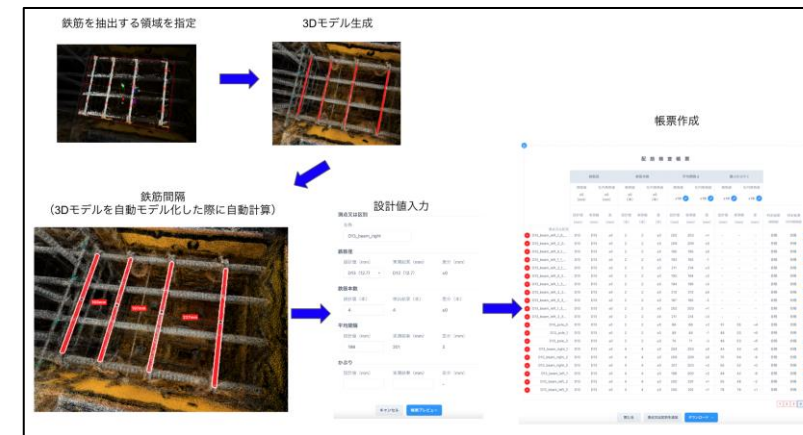


図7 Modelyにおける3Dモデル生成から帳票作成までのフロー

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

結果の評価の観点	技術基準への適合性等、品質、安全性、施工性、業務合理化、技術監修者（三菱地所設計）、社会実装のコストの観点から評価を行った。
結果の評価のポイント・方法	<p>■ 評価ポイント</p> <p>【技術基準への適合性等の評価】 点群の精度評価、3Dモデルの精度評価を行った。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した。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、国土交通省が定める「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）※6」p.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。</p> <p>【品質の評価】 「複数の照明環境下でも確認ができること」、「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」、「現地に赴かなくとも、Modely上で確認作業ができること」を確認する。</p> <p>【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）を確認する。</p> <p>【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。</p> <p>【業務合理化の評価】 従来方法と新方法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する。</p> <p>【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する。</p> <p>【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する。</p> <p>※6 https://www.mlit.go.jp/tec/content/001619475.pdf</p>

【技術実証の結果】

結果の評価の ポイント・方法

■ 評価方法

【技術基準への適合性等の評価（点群及び3Dモデルの精度検証の評価方法）】

従来方法においては、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。

【品質の評価】

「複数の照明環境下でも確認ができること」については、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比較することによって行う。「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。

【安全性の評価】

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。

【技術実証の結果】

結果の評価の ポイント・方法

■ 評価方法

【施工性の評価】

「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する。「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。

【業務合理化の評価】

従来方法と新方法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、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。

【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、技術監修者の観点から、新方法を用いることによるの容易さ、所用時間、操作性を確認する。本実証で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った。

【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。

【技術実証の結果】

実証の実施結果	技術実証項目	実証結果
	技術基準への適合性等の評価	<p>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。</p> <p>帯筋・あばら筋の点群の精度（鉄筋間隔）は、相対誤差 0.3ϕ ※7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 0.3ϕ 以内、かぶり厚が相対誤差 0.6ϕ 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%である。それぞれの数値については、目標値を達成した。</p> <div data-bbox="1490 785 1992 1139" data-label="Figure"> </div> <p>図8 3Dモデルの精度評価における計測データの分布（鉄筋間隔） (Pix4D (PIX4Dcatch + PIX4Dcloud)で点群を取得した結果)</p> <p>※7 ϕ は鉄筋の直径</p>

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	技術実証項目	評価結果
	品質の評価	<p>「複数の照明環境下でも確認ができること」に関して、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点群（鉄筋間隔）、3Dモデル（鉄筋間隔、かぶり厚）について示した。</p> <p>「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」に関して、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することが可能である。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。</p> <p>「現地に赴かなくとも、Modely上で確認作業ができること」に関して、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・帳票を作成したあと、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、土木工事の実現場では、遠隔臨場で利用している具体的な活用事例もある※8。</p> <p>※8 https://www.datalabs.jp/modely</p>
	安全性の評価	<p>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※9。</p> <p>※9 https://www.datalabs.jp/modely</p>

【類型9 DataLabs株式会社】技術実証 最終報告サマリー

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	技術実証項目	評価結果
	施工性の評価	<p>少人数で計測できることについては、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。</p> <p>操作が容易であることについては、撮影について、以下のような操作を行うのみであることを確認した。地上型レーザースキャナーは、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。iPad Proによる撮影は、動画を撮影するように撮影する。</p>
	業務合理化の評価	<p>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%程度の所要時間で済み、目標値の60%（40%削減）を達成した。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。</p>

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	技術実証項目	評価結果
	技術監修者（三菱地所設計）による 評価	<p>配筋、型枠現物の点群データを、地上型レーザー scanner 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。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>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）</u>（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。） ● <u>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）</u>（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。） ● <u>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）</u>

【技術実証の結果】

実証の 評価結果	技術実証項目	評価結果
	社会実装のコストによる評価	<p>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～※10のコストがかかり、地上型レーザース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～※11）。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。</p> <p>業務合理化の効果（従来方法に比べて40%の所要時間）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。地上型レーザース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。</p> <p>※10 https://www.apple.com/jp/ipad-pro/、https://www.pix4d.com/jp/pricing/pix4dcloud/ ※11 https://shop.leica-geosystems.com/jp/ja-JP/leica-blk/blk360/buy</p>

【技術実証の結果】

実証の 結果分析

■ 実証結果の評価・分析

(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スキャナーより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。

【技術実証の結果】

実証の 結果分析

■ 実証結果の評価・分析

(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。

【技術実証の結果】

実証の 結果分析

■ 実証結果の評価・分析

(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。