

完了検査における3D画像を利用した事前確認手法の開発と実践

3D画像による目視確認及び実測確認

Practice and Development of a Pre-confirmation Method Using 3D Images

Visual Confirmation and Measurement Confirmation by 3D images

○荒川 暁郎^{*1}, 野口 元^{*2}, 能勢 浩三^{*1}

Akio ARAKAWA^{*1}, Hajime NOGUCHI^{*2} and Kozo NOSE^{*1}

^{*1} 株式会社竹中工務店 大阪本店設計部

Design Department, Osaka Main office, Takenaka Corporation

^{*2} 株式会社竹中工務店 設計本部

Design Management Department, Head Office, Takenaka Corporation

キーワード：点群データ、3D画像、完了検査、目視確認

Keywords：point cloud; 3D images; final inspection; Visual Confirmation

1. はじめに

建築物は着工から竣工までの間に施工管理品質検査、工事監理検査、官庁検査等いくつもの検査を受検する。これらの検査の多くは検査担当者が現地で直接目視確認や実測確認等を行う現場検査の開催を要するが、点群計測等によって建築物の姿をPCモニタ上に再現できれば、現場検査を都度開催することを要せず、各々の検査担当者が一つのデータを利用して机上で検査を実施できると考えられる。

これまで筆者らは openBIM 完了検査や遠隔臨場による完了検査等のデジタル技術を利用した完了検査手法を試行してきた。その結果、従来検査担当者が現で行う検査をデジタル技術で代替するには、一つの手法だけで実施するのではなく、検査における照合方法に応じてデジタル技術を使い分けることが適切であるという仮説に至った。

完了検査とは建築基準法第7条で規定する手続きで「当該工事に係る建築物及びその敷地が建築基準関係規定に適合しているかどうか」を検査することであり、「確認に要した図書」の通り実施されたものかを検査員が写真確認、書類確認、目視確認、実測確認あるいは動作確認等の方法により照合を行うこととされている(表1)。そこで完了検査の照合方法のうち目視確認及び実測確認は、現地を計測した点群データ及び点群計測時に取得する360度の全天球写真(以下「360度写真」)を用いて検査対象物を再現したデジタルデータ(以下これらを合わせて「3D画像」)を対象にして実施できると考えた。また、建築物及びその敷地を検査範囲とする完了検査を題材に検証することにより、建築計画全体について網羅的な課題抽出ができると考えた。本報告は完了検査における3D画像を利用した目視確認及び実測確認の検証結果及び課題の報告である。

2. 目視確認・実測確認

2.1. 点群データの特徴を踏まえた検査対象の整理

点群データを使って、指定確認検査機関の検査員(以下「検査員」)に対して完了検査のデモを行ったところ、外観や内部空間が立体的に再現できていることにより現地にいる感覚で検査を始められるが、隅々まで検査できるものではない、と指摘を受けた。これを受けて点群データの特徴に起因する課題があると考え、点群データの特徴を把握し、実施可能な照合方法の再整理を行った。

(1)点群データの解像度に着目すると、計測デバイスが空間当たりの点密度を自動処理するため、遠景では整って見

表1 完了検査と照合方法

定義	建築物及びその敷地が建築基準関係規定に適合しているかを検査する ^{*1}		
方法	建築物の工事が確認に要した図書の通り実施されたものかを照合する ^{*2}		
照合方法 ^{*2}	検査申請書	「工事監理の状況」の記載内容	
	書類検査 ^{*3}	写真確認	品質管理記録(隠蔽部や高所の施工写真等)
		書類確認	品質管理記録(自主検査記録、施工記録、試験成績書、材料搬入報告書等)
		その他の方法	—
	現場検査 ^{*3}	目視確認	—
		実測確認	簡易な計測機器等による実測結果
		動作確認	—
	その他の方法		触診、聴音

図注 ^{*1} 建築基準法第7条第4項に筆者が加筆 ^{*2} 平成19年国土交通省告示835号 確認審査等に関する指針第3項をもとに筆者が整理 ^{*3} 「建築構造審査・検査要領 確認審査等に関する指針 運用解説編 2022年版」p301及び「工事監理ガイドライン」をもとに筆者が整理

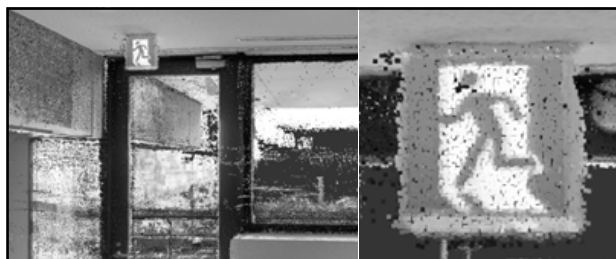


図1 点群データの解像度(近景)

える点群であっても、近接することに解像度が粗くなる（図1）。その結果、点群だけでは細かな部分の目視確認ができない。その対応として点群データだけでなく、点群計測時に同時に撮影した360度写真も目視確認に利用することとした（図2、3）。

(2)点群データが持つ情報に着目すると、各点は計測部表面を構成する各点の空間座標情報（X、Y、Z）及び色情報（C、M、Y、K）である。点の集合によってオブジェクトの形状を再現するが、再現したオブジェクトはキネティック（動的）情報、オブジェクト背面の隠蔽部情報を持ち合わせない。その対応として自火報連動閉鎖の状況や非常用照明装置の起動などの動的情報は動作確認の対象として目視確認の対象外とした。隠蔽部分は書類確認及び写真確認の対象とし目視確認の対象外とした。一方で各点を持つ空間座標情報を利用することによって幅や高さ、面積の計測可能となるため、点群データを実測確認の対象とした。

(3)点群データのデータ量に着目すると、2階建約5000㎡の工場のデータ量が合計約13GBとなった。審査機関が一般的に利用する汎用型PCやタブレット端末でこのデータ量をレンダリング処理するのは困難である。そのためクラウドストリーミング型の点群ビューワを利用することとした。

2.2. 完了検査における事前確認手法

本試行では完了検査における3D画像を利用した検査員単独による目視確認及び実測確認の実施（以下「事前検査」）が可能かの検証を行った。また事前検査で確認が困難だった検査内容の現地確認（以下「実地検査」）を行い、実地検査の必要性要否についても検証の対象とした。今回事前検査を行ったA計画の概要は表2の通りである。

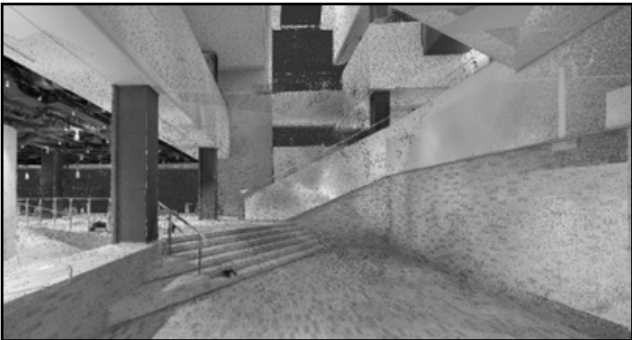


図2 建築物の内部空間の再現（点群データ）



図3 建築物の内部空間の再現（360度写真）

3. 方法

3.1. 計測及び処理の方法

受検者が現地において計測を行う。計測時期は実地検査の2週間前とし事前検査までに1週間のデータ処理期間を確保する。計測デバイスは時間的制約や竣工前の建設現場の特異性を考慮して移動式のNavVis VLX（ドイツ NavVis 社）を使用し、点群データの計測及び約3m 毎の360度写真の撮影を行う。計測対象は建築物の敷地全体、外観及び内部空間とし隠蔽部分は対象外とする。また建築物の敷地全体及び外観については近接建物からの計測又はドローンによる空撮を行う。

3.2. 事前検査及び実地検査の方法

事前検査は、検査員が現地に行かずに本社（東京）執務室で汎用型PCを用いて、受検者が用意した3D画像を対象に行う。事前検査時期は実地検査前の1週間とする。検査用ビューワはクラウドストリーミングによるブラウザの点群ビューワとし、NavVis IVION（ドイツ NavVis 社）とStreamBIM（ノルウェー Rendra 社）の2つを用いて、いずれも検査員のアカウントを作成して招待する。

実測確認は予め実測確認内容リストから今回計画の対象を抽出して実測対象箇所を表示した平面図をもとに行う（表3）。NavVis IVION は点群データ及び360度写真の閲覧が可能で、実測ツールを利用して距離や面積の実測が可能であることから、目視確認及び実測確認は主としてNavVis IVION を利用する。点群を切断して視認性を高めた目視確認をする場合はStream BIM を利用する。

内容の再確認と、事前検査で確認が困難な事項を、通常の実地検査の方法で行う。実地検査を効率的に実施するために、事前検査で確認が困難な事項を予め受検者に通知しておくこととする。以上の検査工程をまとめると図5の通りである。

表2 建築計画概要

完了検査実施日	計画名称	計画地	用途	主たる構造	地上/地下	延べ面積
2023年6月	A計画	摂津市	事務所	S造	4F/0	4741㎡

表3 実測確認内容リスト

部位	検査項目	検査内容
外構	配置寸法	配置寸法が図面通りであること
外構	隣地境界線からの距離	延焼線にかかる外壁開口部の範囲(3m, 5m)
外構	道路境界線からの距離	道路境界線からの距離が図面通りであること
外構	平均勾配からの高さ	建物最高高さが図面通りであること
外構	有効幅	敷地内通路の幅は1.5m以上であること
外構	有効幅	(福祉)移動等円滑化経路上の敷地内通路の幅が1.2m以上であること
駐車場	車マスの幅	(福祉)車椅子使用者用駐車施設の幅は3.5m以上であること
廊下	有効幅	廊下・通路幅が図面通りであること(1200, 1600)
廊下	有効幅	(福祉)移動等円滑化経路上の廊下幅が1.2m以上であること
階段	階段幅の大きさ	特別避難階段の幅の大きさが図面通りであること
階段	階段の長さ・幅	階段幅が図面通りであること
天井高さ	FLからの高さ	平均天井高さが2m以上(倉庫(4階倉庫等)を除く)の天井高さが図面通りであること
天井高さ	天井高さ	(避難安全)天井高さが図面通りであること
垂壁	天井からの下り	防煙垂壁の高さが図面通りであること※
排煙OP	FLからの高さ	排煙オペレーター設置高さは80cm以上・1.5m以下であること
開口部	開口部の高さ・幅	(避難安全)開口部の有効高さ・有効幅が図面通りであること
開口部	外壁開口部の高さ・幅	採光有効高さ・幅が図面通りであること
開口部	外壁開口部の高さ・幅	採煙有効高さ・幅が図面通りであること
開口部	代客出入口の扉壁面高さ	代客出入口の扉壁面高さが1.2m以上であること
開口部	有効幅	(福祉)利用居室の出入口幅、EV乗降口幅が90cm以上であること
防火戸	くぐり戸の長さ・幅	防火設備のくぐり戸の幅が75cm以上、高さが1.8m以上であること
防火戸	扉面積	防火設備の扉面積が3㎡以下であること
手すり	FLからの高さ	吹抜けに面した手すり高さが1.1m以上であること
バルコニー	バルコニーの大きさ	避難上有効なバルコニーの大きさが図面通りであること
傾斜路	有効幅	(福祉)移動等円滑化経路上の傾斜路の幅が1.2m以上であること
EV	EVホールの大きさ	非常用EV乗降口ローの大きさ、傾斜寸法が図面通りであること
EV	有効幅	(福祉)移動等円滑化経路であるEVガコの通行幅が1350以上、幅が1400以上であること

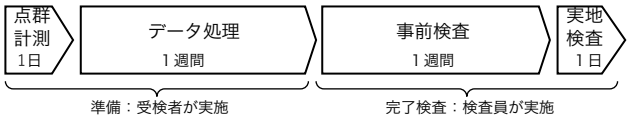


図4 3D画像を利用した検査の工程例

4. 結果

4.1. 計測と処理の結果

受検者が実地検査の2週間前に現地において計測を実施した。ドローンによる空撮及び近接建物からの計測は日程が合わず未実施となったため地上及び屋上を歩行して計測した。この手法を用いる際には、竣工直前の現場状況、計測会社の手配、梅雨の天候状況を考慮した計測日の調整が重要であることが分かった。点群データは6つに分割して1日で計測し、ノイズ除去処理を1週間で行い、各検査用ビューワのクラウドへのアップロードを済ませた(表4)。

4.2. 事前検査及び実地検査の結果

事前検査は、検査員が実地検査前1週間の期間中に検査用ビューワを利用して行った。

目視確認は、主としてビューワ内の移動が容易な360度写真を用いて行い、検査の基本となる有無の確認や位置の整合確認、形状の整合確認を行うことができた。また補助的に点群データを用いることで、360度写真ではできない死角部分の再現や正対面角による再現を行うことができ、3D画像による再現の蓋然性を高めることができた。

一方で、点群データにおいては、開口部付近にはガラス面の反射によるノイズが多く目視確認に支障があった。PSやEPS等の狭所は通常の実地検査では容易に目視確認できる室だが、計測デバイスが進入できないため実地検査の対象とした。照明器具を実装しない暗所は3D画像が不鮮明となり3D画像確認に支障があった。

実測確認は、計測デバイスによる誤差8mmを考慮して、実測確認リストに基づいて全数確認を行うことができたが、実測値が規制値に対して余裕が無い箇所は実地検査の対象とした。

実地検査は、事前検査で確認が困難な事項(表5)を受検者が予め把握できたため、実地検査までに準備することが可能となり、通常の実地検査に比べると短時間で効率的に実施することができた。

表4 計測した点群データおよび360度写真の概要

エリア	階床面積 (㎡)	計測・処理時間				データ（形式：e57）		
		計測	出力処理*	ノイズ処理	合成処理	点の量	データ量	360度写真
1階	1555㎡	50.3分	593分	合計 60分	合計 100分	約1.7億	3.13GB	365ヶ所
2階	1352㎡	54.2分	905分			約2.0億	3.64GB	473ヶ所
3階	1399㎡	48.0分	600分			約1.9億	3.56GB	468ヶ所
4階	433㎡	21.3分	226分			約0.7億	1.44GB	235ヶ所
外周	—	45.0分	667分			約3.3億	5.99GB	388ヶ所
他	—	10.6分	111分			約0.4億	0.87GB	107ヶ所

図注 *出力処理時のパラメータは、点群解像度5mm、レーザーRange 屋内10m、半屋内30m、外周50m。いずれも手持ちデバイスで取得したデータを除く。

表5 事前検査で目視確認又は実測確認が困難だった内容(実地検査用)

照合方法	確認内容
目視確認	立面の図面整合
目視確認	内装制限の確認(不燃材料認定シール)
目視確認	(省エネ)照明器具の位置及び箇所数
実測確認	直階段の中間踊場踏み幅1200以上
実測確認	幅3m超え階段の手すり省略T300以上・R150以下

5. 課題と対応例

5.1. 計測時期の課題

現在の国内における一般的な建築物の工事工程では検査直前まで工事作業中であることが多く、事前検査(実地検査の1週間前)までに点群計測することが困難である。また雨天時には屋外の点群計測ができない。竣工前にすべての計測を行うのではなく、工事中に施工済部分を都度計測する仕組みで対応することが考えられる。

5.2. 点群データを利用した目視確認の課題

線材、透光材、反射材を正確に再現できなかった。

(1)線材 計測デバイスが5mmの空間グリッド毎に点を配置するため線材を再現しづらい。手すりや格子等の細長い物体の再現性が低く、配筋の再現も困難である(図5)。

(2)透光材 各点が透明度の情報を持たないため透光性のある素材として再現できない。透明度の高いガラス面を点群として表現できず、有無の確認に支障がある(図6)

(3)反射材 各点が光沢度の情報を持たないため、反射材する素材として再現できない。金属の艶消し仕上げ面は計測時に計測レーザー光を乱反射して物体表面の再現精度を下げてしまう。更に鏡などの鏡面や反射率の高いガラス面は点群によって再現できないだけでなく、反射した計測レーザー光が虚像空間を計測してしまうため、実在しない空間や物体が大小のノイズとして発生する(図7)。

線材の課題は計測デバイスのスキャン精度向上を期待する。反射材や透光材の課題は、計測時に素材特性を検知して反射率や透明度の情報を持つ点群データ形式の開発による再現性向上や虚像等のノイズ消去を行う点群処理アルゴリズムの精度向上を期待する。

5.3. 360度写真を利用した目視確認の課題

狭所や暗所の360度写真の取得が困難であった。

(1)狭所 計測デバイスの進入限界より狭い室は、室の内部の点群計測及び360度写真取得が困難となり、天井を仕上げた後の天井内部や出入口が狭いPS・EPS内を再現し難く、また進入できても360度写真に歪みが生じる傾向があり、正確な空間形状の再現に支障がある。

(2)暗所 照明器具を実装しない暗室などは照度不足により360写真が不鮮明となり目視確認に支障がある。一方で点群データは室形状を正確に計測することができた。

狭所の課題は、機材に起因するため、小型軽量のスキャナを併用して点群計測を行い合成することで解決できると考えられる。暗所の課題は、非常用照明の点灯によって照度を確保することで多少は改善できると考えられる。

なお3D画像の取得には5.2及び5.3の課題があるが、デジタルデータで再現するならば高度な技術と大変な手間を要するが、実地では容易に確認できる内容は、現時点では実地検査の対象とすることが適当であると考えられる。

5.4. 点群データの活用の可能性

検査用ビューを利用して目視確認を行ったところ、照明器具の位置及び箇所数を確認できなかったが（表5）、完了検査後に天井面全体を切り出して見上げることで、検査しやすい画角を発見することができた（図8）。デジタルデータだからこそ可能な目視確認の見方自体について工夫する余地があると考えられる。

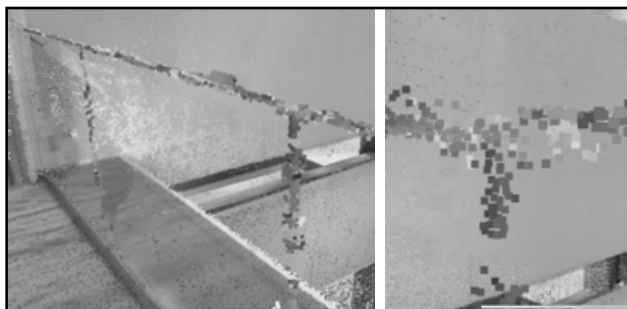


図5 点群による線材の再現（手すり）



図6 点群による透光材の再現（ガラス）

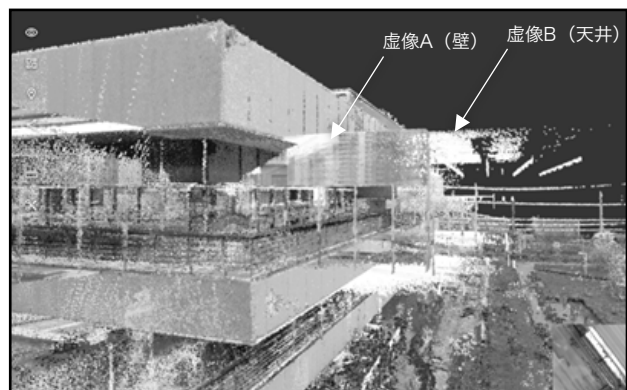


図7 虚像（反射材によるノイズ）

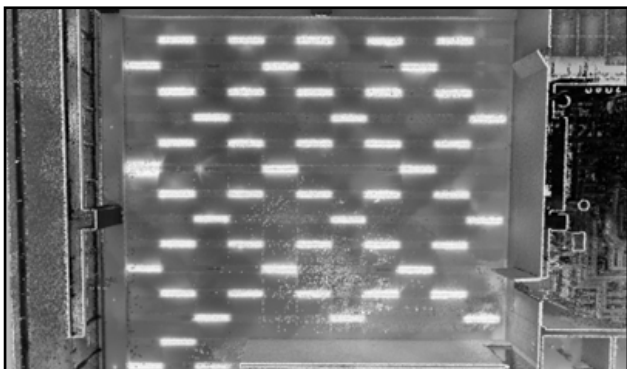


図8 点群の天井面を切り出して見上げたところ

6. まとめと展望

本稿では点群データの特徴を踏まえて検査対象を整理して、360度写真を併用した3D画像を対象にした目視確認及び実測確認について完了検査を題材にして検証を行った。その結果、点群計測範囲にある全ての物体を±8mmの精度で再現する点群データを利用して目視確認を実施することができた。また、点群データの空間座標情報を利用して実測確認を実施することもできた。得られた知見として、点群データには線材の歪み・透光材の再現不足・反射材によるノイズという欠点があり、特に反射材によるノイズ（反射材に写り込んだ虚像が余分な点群となって空間上に現れてしまう現象）が点群データの見た目を悪くするが、360度写真を併用すればこれらの欠点を補完できることがわかった。一方で現時点では3D画像だけでは再現に限界があるため、実地検査を完全に省略することは適当でないことがわかった。

今後の取組みとしては、工事期中に施工済み部分を段階的に点群計測して隠蔽部分を隠蔽前の状態で再現することによって、一部の写真確認や書類確認を不要にするだけでなく、3D画像データの活用を施工管理品質検査や工事監理検査等の中間検査へ拡大して検証したい。これにより検査員は、工事監理者による適法性の確認を経た品質管理記録としてのデジタルデータを利用して完了検査を実施することが可能になる。

点群データの活用の可能性としては、その精度がさらに向上することで、配筋検査や高所確認などの危険を伴う検査を机上で安全に実施でき、高齢化や人材不足への対処が期待できる。また2025年に試行を予定しているBIM確認申請のモデルデータと点群データとを組み合わせれば、差分チェックを利用した整合性確認やIFC属性情報を参照した検査への活用が期待でき、自動/半自動で全数チェックを行うなど、建築物の適法性や品質管理の適正化へ寄与できると考えられる。

謝辞

今回完了検査における3D画像を利用した事前確認手法の開発と実践に、共同研究者として技術的にご支援頂いた株式会社構造計画研究所の皆様、指定確認検査機関としてご協力を頂いた日本 ERI 株式会社の皆様に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 荒川暁郎，能勢浩三，野口元：openBIM をベースとした完了検査手法の開発と実践，第45回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，H05，p323-326，2022.12
- 2) 日本建築行政会議：建築構造審査・検査要領-確認審査等に関する指針 運用解説編-2022年版，2022.3
- 3) 日本建築行政会議：建築構造審査・検査要領-実務編 検査マニュアル-2012年版，2012.3