

BIM と MR 技術を活用した 中間検査と完了検査の実施について

一般財団法人日本建築センター 確認検査部 設備審査課 主査 すぎやす 杉安 ゆかり 由香里
株式会社竹中工務店 東京本店 設計部 設計第2部門 はなおか 花岡 いくや 郁哉
設計4 (アドバンスデザイン) グループ長

1. はじめに

プロジェクトにおける BIM 活用が進む中で、BIM をどのように活用するかを工夫することは、生産性の向上や品質確保にとって重要なことです。近年は、建築確認における BIM 活用も進んでいます。日本建築センター（以下、「BCJ」という）と竹中工務店も、2017年に日本で初めて省エネ適合性判定の対象となる規模の建築物の建築確認と省エネ適合性判定において BIM を活用した事前審査を実施し、その有効性や課題を整理するなど、建築確認への BIM 活用に積極的に取り組んできました。

2018年は次のステップとして、建築確認で活用した BIM モデル情報を中間検査や完了検査にも有効活用し、かつ、施工時の監理等にも応用の可能性がある MR (Mixed Reality: 複合現実) 技術を取り入れた検査手法で検査を実施し、その有効性や課題を整理、検討しました。それまで、中間検査や完了検査での BIM 活用の実施事例は、他では公表されていませんでした。建築確認の事前審査で活用した BIM モデルを検査にも活用するのは、初めての試みです。

2. 検査の概要

(1) 検査対象建築物

今回の検査対象建築物の「EQ House」は、竹中工務店とメルセデス・ベンツ日本株式会社の共同プロジェクトであり、設計・施工において、デジタル情報を効率よく連携させるデジタル デザイン ビルドを採用しています。

約 1,200 枚の外装パネルのデザインでは、プログラムによって形態を生成するコンピュータショナルデザインを採用し、最適な形状と配置を決定しました。また、デジタルデータは施工においても活用しました。各パネルは個別の ID で管理し、工場加工の効率化はもとより、現地での組み立てにおいても、スマートグラスなどのウェアラブルデバイスを通して、設置場所などの必要な情報をタイムリーに提供して作業を支援するなど、生産性の向上を実現しました。

このような取り組みの一環として、「EQ House」の建築確認や検査でも、積極的に BIM やその他の ICT を活用することにしました。

「EQ House」の概要

- ・建設地：東京都港区六本木
- ・規模：延べ面積 88.08 m², 地上 1 階

- ⑥ 検査中の質疑は、BCJが検査時に携帯している端末タブレットを利用して共有クラウドの検査用BIMモデルに入力。
- ⑦ 検査後、竹中工務店がBCJの質疑に対する回答を共有クラウドに入力し、BCJが回答を確認。

3. BIM・MR検査の方法

(1) 中間検査

① 検査項目

中間検査におけるBIM・MR検査の検査項目は次のとおりです。これらは、鉄骨の建て方工事の検査において、現場で行う主要な検査項目です。

- 1) 構造耐力上主要な部分の部材の位置の確認
- 2) 構造耐力上主要な部分の仕口の構造方法の確認
- 3) 構造耐力上主要な部分の部材の寸法の確認
(検査箇所を選定)
- 4) 構造耐力上主要な部分の部材の種別の確認
(検査箇所を選定)

② 中間検査用BIMモデルの特徴

中間検査では、検査対象の構造部材が設計図書(確認図書)どおりに施工されていることを確認する必要があります。そのため、①に掲げたいずれの検査項目でも、まずは検査対象の構造部材の設計条件(断面寸法や使用材料等)を確認する必要があります。

そこで、中間検査の検査用BIMモデルとしては、検査項目や検査内容に合わせて、次の「部材断面BIMモデル」と「使用材料BIMモデル」の二つのモデルを作成しました。

1) 部材断面BIMモデル

EQ House(検査対象建築物)の構造部材は、断面寸法が複数種類あり、かつ、それらが複雑に架構を構成しています。通常のBIMモデルは各構造部材の断面寸法を常時表示しているわけではないため、各構造部材の設計上の断面寸法を確認するためには部材のプロパティ情報を確認する必要があります。そこで、検査の効率

化のために、構造部材の断面寸法ごとに色分けした「部材断面BIMモデル」を作成しました。

2) 使用材料BIMモデル

検査では、各構造部材の材料が設計どおりであることを確認する必要がありますが、1)同様、通常のBIMモデルは各構造部材の材料を常時表示しているわけではありません。そこで、構造部材の材料種別(SS400材、SM490材)の確認の効率化のために、材料種別ごとに色分けした「使用材料BIMモデル」を作成しました。

③ 検査の実施

中間検査では、検査項目ごとに検査用BIMモデルを切り替えながらBIM・MR検査を実施しました。

①の1)構造耐力上主要な部分の部材の位置と2)構造耐力上主要な部分の仕口の構造方法の確認は、部材断面BIMモデルを利用し、投影されるBIMモデルとHMD越しの鉄骨架構を目視することにより実施しました。

3)構造耐力上主要な部分の部材の寸法の確認も、部材断面BIMモデルを利用し、HMD越しに各部材の設計上の断面寸法を確認した上で、部材断面ごとに数箇所選定して、部材断面寸法をスケールにて測定することにより実施しました。

4)構造耐力上主要な部分の部材の種別の確認は、使用材料BIMモデルを利用し、HMD越しに各部材の設計上の材料種別を確認した上で、材料種別ごとに数箇所選定して、材料種別をサムスチールチェッカーにて確認することにより実施しました(図-1)。

また、検査中の質疑は、現場の写真データも添えて共有クラウドのBIMモデルの該当部分に記録することで、質疑内容がより明確になるように工夫しました。質疑に対する回答(是正報告)も、回答文書に是正後の現場の写真データも添えて共有クラウドのBIMモデルの該当部分に記録することで、検査の経過が明確になるようにしました(図-2)。



図-1 中間検査の流れ（構造耐力上主要な部分の部材の種別の確認）



図-2 BIMモデルに記録した検査の質疑回答

(2) 完了検査の方法

① 検査項目

完了検査（建築設備の検査）における BIM・MR 検査の検査項目は次のとおりです。

- 1) 空調・換気機器の設置状況の確認
- 2) 配管・ダクトの各系統の接続状況の確認
- 3) 延焼の恐れのある部分の位置の確認（延焼の恐れのある部分と設備開口の離隔の確認）
- 4) 自動火災報知設備の感知器の感知区域や法定離隔距離の監視状況の確認

② 完了検査用 BIM モデルの特徴

完了検査の検査用 BIM モデルとしては、検査の効率化と的確性の向上のために、検査項目及び検査目的に合わせて以下の表示等をしたモデルを作成しました。

1) 建築設備の種別や系統による色分け

建築設備は、外見が同じ又は似ている機器・器具や配管・ダクト等が多いため、外見のみで種別や系統を判別するのは困難です。そこで、

空調・換気機器の設置状況の確認（① 1）や配管・ダクトの各系統の接続状況の確認（① 2）の効率化と視認性の向上を目的として、BIM モデルの建築設備を種別や系統ごとに色分けしました。

2) 設計図書における補助線の表示

設計図書では、法適合の確認の効率化のために、延焼の恐れのある部分などの補助線を明示しています。しかし、実際の建築物や敷地には補助線は明示されていないため、通常の検査では、現場と設計図書を見比べたり、距離を測定しながら、各設備の設置位置の確認や妥当性の確認を行います。BIM モデルも、通常は補助線が明示されていませんが、今回は、BIM モデルにも補助線を明示し、実際の建築物に補助線を投影して確認できるようにすることで、検査ポイントの見える化と法適合性の判断の効率化を図りました。

3) 監視値や監視記録の表示

完了検査は、工事監視者による工事監視の状況を確認することが検査方法の一つです。そのため、検査では、工事監視者の監視記録を確認したり、現場検査における測定や作動状況の確認等の結果と監視記録を比較することで、監視状況の妥当性を確認します。通常は監視記録と設計図書は別の図書ですが、今回は、自動火災報知設備の感知器の感知区域や離隔距離を監視記録として BIM モデルに記録・表示することで、監視状況の確認の効率化を図りました（図-3）。



図-3 モデル化した感知器の感知区域と離隔距離

③ 検査の実施

完了検査では、BCJ（検査者）と竹中工務店（受検者）の双方が検査用 BIM モデルを投影させた HMD を装着し、受検者が BIM モデルをもとに設計（確認図書）内容や監理状況を説明しながら BIM・MR 検査を実施しました。

検査者や受検者が見ている MR 情報は、現場内の大型ディスプレイや持ち運び可能なノート PC にも表示しました。これにより、HMD を装着していない人や現場にいない人も、リアルタイムで検査箇所や検査内容を共有できるようにしました（写真-1）。



写真-1 感知器の感知区域や離隔距離を確認する様子（検査者が見ている MR 情報を現場内の大型ディスプレイにも表示）

4. BIM・MR 検査のメリット

BIM・MR 検査の実施による、検査者と受検者それぞれにとってのメリットは次のとおりです。

(1) 検査者にとってのメリット

検査者にとってのメリットは次の3点です。

一つ目は、空間把握の確度の向上による、検査の的確性の向上と効率化です。従来の検査では、検査対象の工事と確認図書の整合性や、建築基準関係規定への適合性の確認のために、検査者は複数の設計図書等をもとに、建築物の概略的な特徴の把握や確認を行いながら検査を実施しています。今回、検査用 BIM モデルを MR 用の HMD に投影して目視することにより、空間把握の確度が高まりました。それにより、検査の的確性の向上と効率化に繋がることが確認できました。

二つ目は、BIM モデルに監理記録の一部を表示したことによる、監理状況の見える化です。中間検査も完了検査も、工事監理者による工事監理の状況を確認することが、検査方法の一つとして位置付けられています。監理者が適切に監理していることが見える化されたことは、検査の的確性と効率性の向上に大きく寄与すると感じました。

三つ目は、共有クラウドの利用による情報の一元化と情報共有です。検査時に生じた質疑等を、共有クラウドを活用して記録データとして履歴を残すことにより、検査の経過等も含めた情報の一元化と迅速な情報共有を実現できました。また、BIM モデルと一緒に現場の写真データ等も記録できたことは、検査内容の分かりやすさに繋がっており、検査者・施工者・監理者等の関係者間の正確な情報共有にも繋がることが確認できました。

なお、中間検査と完了検査におけるメリットの具体例は次のとおりです。

① 中間検査におけるメリット

従来の検査は、複数の構造図（伏図や軸組図）をもとに、検査対象範囲の構造部材の位置を確認

しています。今回は、検査用 BIM モデルを MR 用の HMD に投影することにより、構造部材の位置の整合確認が容易にできました。

また、従来の検査では、複数の構造図（伏図、軸組図や部材リスト図）をもとに、架構の特徴を把握し、部材断面寸法が異なる部材を数箇所選定する等し、確認する部材の断面寸法等の整合確認をしています。今回は、検査用 BIM モデルと BIM モデルに組み込まれている BIM 情報を活用することで、架構の特徴の把握が容易になり、確認する部材の効率的な選定が可能となりました。

② 完了検査におけるメリット

建築設備の設計図書は設備の種類ごとに作成されているため、従来の検査では、ある 1 箇所の検査において複数枚の設計図書と現場を照らし合わせて確認することがあります。今回は、それら設計図書の内容が一つの BIM モデルに集約され、かつ、建築設備の種類や系統による色分けで種別や系統の把握が容易になったことで、設計内容と現場を照らし合わせる作業が容易になりました。

さらに、MR 技術を活用し、検査用 BIM モデルと現場を重ね合わせて確認することができたことにより、各設備の位置の確認が明確かつ容易になり、検査の的確性の向上と効率化に繋がりました。また、天井裏や床下のダンパーや機器等の設計上の位置を把握できたことは、天井裏や床下の検査（点検口からの目視検査）の実施箇所の選定の効率化にも繋がることを確認できました。

感知器に関する監理記録の一部を BIM モデルに表示したことで、工事監理者の監理状況の確認や監理記録の妥当性の確認も効率的に行えたことは、検査全体の効率化にも繋がりました。

(2) 受検者にとってのメリット

① 中間検査におけるメリット

従来の検査では、二次元の図面と検査対象物を照らし合わせて部材の位置を確認してから、部材の断面寸法や部材種別等の実測を行っています。建物の形状、部材の構成が複雑になるほど、この部材の位置確認に要する時間が増加します。

これに対して MR 技術を活用することで、部材の位置確認の時間が短縮され、全体として効率が良い検査になりました。さらに、検査者、受検者双方が HMD を着用することで、設計データと検査対象物、指摘内容の関係をタイムリーに共有することができるため、スピーディーに検査が行われました。

② 完了検査におけるメリット

従来の検査では、二次元の図面と検査対象物を照らし合わせて配管・ダクト等の位置を確認してから、その仕様を目視確認しています。しかし、配管やダクトは複雑に交錯していることが多く、その位置確認には時間を要します。これに対して MR 技術を用いて配管等の位置確認を行うことでその時間は短縮されるため、全体として効率が良い検査になりました。さらに、検査者、受検者双方が HMD を着用したことで、設計データと検査対象物、指摘内容の関係をタイムリーに共有でき、スピーディーに検査が行われました。

また、自動火災報知設備の感知器の感知区域や法定離隔距離も、従来の検査では二次元の図面と照らし合わせて条件を確認する必要がありましたが、MR 技術を活用することでその条件確認が容易になりました。床下等の隠蔽部の検査は、従来は二次元の図面から検査箇所を特定していましたが、MR 技術を用いることでその位置が実空間に投影されるため、特定に要する時間が短縮されました。さらに検査者、受検者双方が見ている MR 情報を大型ディスプレイに投影することで、検査者の見ている視界をリアルタイムに他の関係者に共有することができ、多数の関係者がいる場合の検査にも適用可能な取り組みであることが確認できました。

5. BIM・MR 検査の課題

今回実施した BIM・MR 検査の課題は次のとおりです。

① 検査用 BIM モデルと確認図書の整合性確認

中間検査や完了検査は、確認図書のとおりにより工事が実施されたかどうかを確認するものです。建築確認の事前審査でBIMを活用していても、現在の確認図書は二次元図面のため、検査用BIMモデルをもとに検査を実施する場合は、検査者が検査前に、検査用BIMモデルと確認図書の整合性を確認する必要があります。将来的に環境が整い、建築確認で活用したBIMモデルからBIMのプロパティ等で容易に検査用BIMモデルを作成又は表示できるようになれば、検査用BIMモデルの活用がより効果的になると考えられます。

② データ作成や変換等の作業効率

現在は、BIMソフトで作成したデータをPCからHMDに取り込むプロセスを経る必要があります。検査の効率化のためには、このプロセスの作業効率の改善が望まれます。さらに、中間検査の鉄骨モデルの色分け、完了検査での配管、ダクト等の色分けは手動で行っているため、その作業時間も課題です。今回の検査項目以外にも適用する場合は、検査用BIMモデルの準備にさらに時間がかかる可能性があります。また、これらの色分けされたモデルは別途作成する凡例と照らし合わせて確認する必要があります。その凡例資料をタブレット端末や紙媒体で手元に控えておく必要があるため、検査中の作業手順が効率化されているとは言いがたく、今後の改善が望まれます。今後、クラウドのデータをHMDでそのまま可視化できるようになれば、PCからデータを取り込む作業が不要になり、作業工程がコンパクトになります。モデルの色分けは、プロパティに応じてIFC (Industry Foundation Classes : BIMデータ国際標準) データが自動的に色分けされ、HMDに取り込めるようになれば、作業が軽減され今回の検査項目以外にも展開しやすくなると考えられます。色分けに応じた凡例は、HMD上に断面符号や断面サイズ、材質を文字情報等で表示できるようになれば、HMD上で情報が完結するため、検査中の作業がより効率化すると考えられます。

③ MR用HMDの位置情報の精度

今回利用したMR用HMDは、検査中の移動

等により、BIMモデルと実空間の重ね合わせ位置に若干の誤差が生じてしまうことがありました。そのため、活用にあたっては、おおよその位置を確認する程度に制限されます。モデル空間と実空間との重ね合わせ精度は、重ね合わせの参照点を各所に設置することで一定以上確保できるため、将来的には施工誤差が確保されていない可能性が高い場所をハイライトさせる等の検査支援機能が期待できます。位置の情報精度がより高まれば、より一層の検査の効率化に繋がると考えられます。

6. まとめと今後の展望

今回の取り組みにより、BIM・MR検査は、視認性を高めることで空間把握の確度が高まり、現地確認に時間を要する箇所の検査の効率化と的確な検査に繋がることが確認できました。また、共有クラウドを活用することで情報の一元化が図られ、検査者・工事施工者・工事監理者等の迅速な情報共有に繋がりました。この検査手法は、法定検査の省力化を図るだけでなく、自主検査、建物維持管理への省人・省力化へとさらなる効率化が期待できます。

また、工事監理者による監理状況をBIMモデルに記録し、見える化することは、法定検査の効率化に繋がるだけでなく、品質管理の観点でも重要なことだと考えられます。そのため、BIMモデルを工事監理者による監理ツールに利用することについても検討が必要だと考えます。

建築確認で活用したBIMモデル情報が検査にも活用され、その検査の経過等も記録データとして情報管理されることは、BIM活用の望ましいあり方だと考えます。今後は、検査におけるBIM活用の実績を重ね、ルール化を検討していくことが必要になると考えます。さらに、建築物のライフサイクル全体にもBIM活用を広げ、検査の経過等も記録データとして情報管理することで、建築物の品質向上にも繋がるようにしたいと考えます。