**特集**≫>> 建築

# BIM とデジタル測定機器を連携させた 設備検査手法の構築

設備測定記録書の自動作成による省人化・省力化を実現

## 園田真吾

建設工事における設備検査は、近年デジタル化が進み、測定データを Bluetooth で送信できるデジタル 測定器による測定が主流になってきた。また、建設業界では、BIM (Building Information Modeling)を 施工管理で活用する事例が増えてきており、デジタル化による生産性向上が期待されている。本報文では、 施工管理活用が進む BIM とデジタル測定器を連携させ、設備検査のさらなる効率化を目指した取り組み を紹介する。

**キーワード**: BIM, デジタル測定器, BIM/CIMArk, 設備検査, 照度測定, 水圧・満水試験, 風量測定, 現場管理, 測定記録書自動作成

1. はじめに

建築物を施工する際の設備検査は、さまざまな設備 の機能が正しく確保されているかを確認するため、躯 体工事から仕上工事に至る各工程の中で行われ、品質 上確実に行わなければならない設備検査が数多くあ り、膨大な時間と労務がかかっている。

設備検査では、運転確認や各種測定,写真撮影など を行い,その測定記録を検査報告書としてまとめ、竣 工時に建築主に引き渡すため、確実な記録を残す必要 があるが、測定記録書の書式は会社ごとに異なり、各 社ごとに合わせた測定記録書を作成する必要がある。 測定記録書には表計算ソフトを用いたものが多く、現 地で測定した結果を紙の野帳に記入し、その後表計算 ソフトの測定記録書に転記して作成する。その際転記 ミスといったヒューマンエラーが発生する可能性があ る。

昨今は各測定はデジタル測定器での測定が普及して きている。デジタル測定器には、測定結果を Bluetooth 経由でタブレット側のアプリケーションに送信するこ とができる機能を持った測定機器も増えてきている。 そのデジタル測定器の導入により、設備検査の測定か ら測定記録書作成までの効率が向上した。

また、建設業界では、BIM(Building Information Modeling)を施工管理で活用する取り組みが行われ てきている。BIM による施工管理では、検査に必要 な帳票を BIM から自動で出力し、合否判定や日時、 担当者といった施工管理情報を BIM に連動させるこ とで一元的に管理することができる。BIM を用いる ことで、未測定箇所を BIM 上でハイライト表示させ ることができ、施工管理状況の見える化も可能となる。

本稿では,施工管理活用が進む BIM とデジタル測 定器を連携させた仕組みの概要と検証結果を紹介す る。

## 2. BIM とデジタル測定器を連携する仕組み

従来のデジタル測定器を用いた測定では、下記3点 が課題としてあった(図-1)。

 デジタル測定器からメーカー独自書式の測定記録 書に出力することはできるが、任意書式への出力 ができない。そのため、検査帳票として求められ る測定記録書の書式に転記し直すといった作業が 必要であり、転記ミス等の可能性があった。



- ②測定範囲などは紙の施工図などに着色して、検査 野帳を作成するなど、手作業での管理が必要で あった。
- ③未測定箇所を自動で検出することはできず,目視 チェックで未測定箇所が無いかを確認していた。

一方, BIM から任意書式の測定記録書を出力する 仕組みはすでに確立されており,統合ソフト(BIM/ CIMArk:コンピュータシステム研究所)を用いるこ とで可能となる(統合ソフト:複数のBIM データを 重ね合わせて一つのBIM モデルとすることができる ソフト)。そのため,デジタル測定器の測定結果を BIM 側に直接取り込むことができれば,任意書式の 測定記録書の出力まで自動化することができる。ま た,BIM は3D モデルを扱うため,上記の課題にある 測定範囲や未測定箇所の見える化に対してもモデルを 活用した解決案が提示できると考え,BIM とデジタ ル測定器を直接連携できる仕組みを構築することとし た(図-2)。

デジタル測定器から送信された測定データを BIM 側で受信するため、測定データを受信する取込画面を 作成した。施工管理者は工事現場内で BIM モデルを 立ち上げて、取込画面の受信ボタンをタップすること により測定データを BIM モデルに直接取り込むこと ができるようにした。

BIM に測定データを取りこむと,測定データの入っ ていないモデルだけをハイライト表示して未測定箇所 を見える化することができる。

また,BIM 側では,モデルの部材一つ一つに GUID という普遍的な番号を持っており,その番号はモデル を削除しない限り変わらない性質を持つ。その番号を 測定記録書と紐づけることで,部材の持つ属性データ を確実に測定記録書へ出力することができる。

3. 水圧・満水試験での取り組み

給水管や排水管などは、配管をつなげて施工するた

め,継手部から漏水する可能性がある。そのため,給 水管などの圧力のかかる配管は,施工後に管内に水圧 をかけ,漏水が無いか圧力変化を確認する水圧試験を 行う。また,排水管のように管内に圧力がかからない 配管は,管内を充水させ,漏水が無いか水位変化を確 認する満水試験を行う。

#### (1) 従来の測定方法と課題

水圧・満水試験では、測定を行った範囲を記録する 必要があるため、従来は、測定記録書のほかに、系統 図や施工図に測定した範囲を着色した図面を添付して いた。また、測定の記録として写真を残す必要がある ため、水圧試験では測定前後の圧力ゲージの写真を、 満水試験では満水状態から水位変動の有無がわかる写 真を撮影し、測定終了後、作業所事務所に戻り、Excel 等に写真を貼り付けて写真帳票を作成していた。

#### (2) BIM 連携での測定方法

水圧・満水試験では、工事の進捗により、すべての 配管を一度に測定することができないため、測定範囲 ごとに測定を進めていく。その際どこまでの配管を測 定したかを明確にする必要がある。そこで、測定範囲 に対応した BIM の配管モデルをグループ化する機能 を追加した。グループ化した配管を選択し、デジタル 測定器をペアリングさせることで測定データを BIM に取り込む。

施工管理では,測定の進捗を把握し,未測定箇所が 無く,工事が完了しているかを確実に管理する必要が ある。

BIM に入っている測定データの有無を検出すれ ば、測定の進捗状況が分かり、未測定の配管だけをハ イライト表示することで、未測定箇所の見える化が可 能となり、BIM 連携により、確実な測定を行うこと ができる。

水圧・満水試験は、測定完了までに数か月かかるこ とが多く、測定記録書の量も膨大になるため、書類整





図-3 BIM を活用した水圧・満水試験の仕組み

備も重要となる。そこで,BIM 側から,測定記録書, 測定結果のグラフ,測定範囲,測定写真を一括でまと めて出力する仕組みとし,従来煩雑になりがちであっ た測定記録書の管理を容易にした(図-3)。

## (3) BIM モデルをグループ化する方法

水圧・満水試験では,現地の測定範囲を確実に BIM 上の配管にも反映し,グループ化する必要があ る。施工管理者が現場内で直感的に操作できるよう に,BIM 上の配管をなぞるだけでグループ化できる 仕組みを構築した。

また,グループ化の際に他の配管等を選択しないように,レイヤで選択できるモデルの種別を制限し,誤 選択を防止する仕組みも取り入れた(図-4)。

#### (4) 測定記録書の出力

BIM で一元管理した測定データを,任意書式の測 定記録書に自動出力する仕組みを構築した。測定記録 書には,測定データ,測定範囲,測定写真の3点が必 要な要素として求められるため,今回次の項目につい て仕組みを構築した(図-5)。

- ①測定データは、BIM モデル内にある、すべての 水圧・満水試験の測定データを一覧で出力する仕 組みとした。
- ②1つの測定データに対して、測定結果のグラフ、 測定範囲、測定写真を、1枚の帳票としてまとめ



図―4 グループ化の仕組み



図―5 測定記録書の仕組み

て出力する仕組みとした。

デジタル測定器からは、時系列の数値データしか送 信されないため、BIM 側で測定データを受信した際 に、自動でグラフ化するプログラムを組んだ。また、 グラフや測定結果は、Excel での出力となるため、改 ざん防止対策として、JPEG 化して出力し、書き換え ができない仕組みとした。

また,デジタル測定器の測定結果を正確に抽出する ために,BIM 側に検算プログラムを組み込んだ。こ れにより,測定器から異常なデータを受信した場合 は,再度測定器にリクエストの信号を送り,正しいデー タが受信できるまで繰り返す仕様とした。

グラフの上限・下限の範囲は,取り込んだ測定デー タをもとに,自動設定することにより,測定結果がグ ラフのレンジ内に納まるようにした。

③測定範囲は, BIM モデルの形状情報を帳票に自動で貼り付ける仕組みとした。

BIM 上でグループ化した配管モデルをパース状に キャプチャを撮り,帳票に貼り付けることで,測定し た配管の上下方向の立体的なつながりも確認すること ができる。また,モデルを平面的に見た状態で,モデ ルから最も近傍にある通り芯を表示させてキャプチャ を撮ることにより,平面図上でどこに位置しているか を表現した。これにより,従来作成していた測定範囲 の着色作業を省略することができた。 ④測定写真は2枚まで撮影して帳票に貼り付ける仕 様とした。

#### (5) 実現場での状況

当社の作業所において、測定準備から測定記録書作 成までの検査時間を検証したところ、20%程度の検査 効率の向上を確認した。

5系統分の満水試験を行い、各工程の平均の数値か ら検査時間を算出した。

測定範囲のグループ化を現場で作業することができる ため、従来よりも事務所作業を削減することができた。 また、従来は測定データを PC に送信してから出力する 必要があったが. BIM から印刷ボタンをタップするだけ で測定記録書を一度に出力できるため、測定記録書の 作成時間が大幅に削減することができた(図-6)。

## 4. 照度測定での取り組み

照度測定では、部屋ごとに決められた設計照度を確 保できているかを照度計を用いて測定し、室用途によっ ては空間全体の平均照度(5点法)を算出して確認する。

#### (1) 従来の測定方法と課題

従来の照度測定では、測定者と記録者が2人1組と なり、測定点をあらかじめ記入しておいた図面を現場 に持っていき、測定者が照度計の数値を読み上げ、記 録者が図面上に手書きで記入していく。手書きのた め、聞き間違いや記入ミスがあっても気づきにくく、 作業所事務所に戻ってから Excel の測定記録書にさら に転記するため、転記ミスなどのヒューマンエラーの 発生が考えられる。

#### (2)BIM 連携での測定方法

照度測定では、測定点ごとに照度を記録する必要が

あるため, BIM にもともと存在しない「測定点」の オブジェクトを付加し、その測定点にデジタル測定器 のデータを紐づける方法とした。

2D の施工図データを, BIM/CIM Ark に取り込み, BIM 上で測定点のオブジェクトを入力する。その測 定点には、番号や設計照度など、様々な属性情報を入 力することができる。

デジタル測定器の測定データを測定点に紐づけるた め、照度計のデータを表示させる取込画面を作成し た。これにより、照度計で測定しているリアルタイム の数値を BIM 上で確認することができる。そして取 込ボタンをタップすることで、測定値が確定し、測定 点に測定値を入力する。

照度の測定と記録が BIM 側の操作で完結するた め、従来測定者と記録者の2名必要であった作業を1 名で行うことが可能となり、50%の省人化となった。

また、非常照明の照度測定時は床面照度が1~2lx と暗く、照度計の測定数値が読みづらいことがあった が、BIM 側に測定値が表示されることによって、非 常照明下でも測定値をはっきりと確認することができ るようになった。

さらに、測定点にあらかじめ設計照度の数値を入力 しておくことで、測定した照度の数値と比較し、現場 内で照度が基準値以上かどうかを自動で判定すること ができる。

照度測定では、測定した数値と測定箇所が分かる資 料を測定記録書として提出する必要がある。そのた め,BIM 上の印刷ボタンをタップするだけで測定値 の一覧表と測定箇所が分かる図面を出力することがで きる仕様とした。転記作業等は必要なく,自動で測定 記録書まで出力することができ、従来時間がかかって いた測定記録書の作成時間を大幅に短縮することがで きた (図-7)。



図-6 満水試験検証結果



図-7 BIM を活用した照度測定の仕組み

## (3) 事前準備の工夫と未測定の防止対策

照度測定では、測定点を入力する事前準備が必要と なる。測定作業全体を効率化させるためには、事前準 備も効率的に行う必要がある。そこで、2Dの施工図 上に測定点を配置する際、測定点に入力される測定番 号を自動で連続した番号になる仕組みとした。これに より、施工管理者は、測定点を配置していくだけで事 前準備が完了する。

また、未測定箇所をリアルタイムに確認し、迅速な 測定を可能とするために、測定が完了した測定点に は、測定した照度の数値を表記する仕組みとした。こ れにより、測定値を容易に確認でき、どこまで測定し たかが分かりやすく、未測定の防止となる(図-8)。

#### (4) 照度測定の自動計算

室内の視環境を照度で評価する場合,照明器具の直下とそれ以外の箇所では,照度の値が異なり,正しく評価することができない。そのため,平均照度(5点法)を算出して室空間全体の照度を確認する(図-9)。

平均照度は室空間の中心の測定値に重みを付ける計 算式のため、どの測定点が中心かを判断する必要があ り、Excel 等を使用しても自動計算することが難し く、従来は図面に記入した測定値を Excel に転記し て算出していた。

そこで, BIM を用いて平均照度を自動計算する仕

〈5点法による平均照度の算出法〉



図-9 平均照度の昇出」

組みを構築した。

測定点は BIM 上に 3D オブジェクトとして存在す るため、XYZ 軸の座標を持っている。平均照度を算 出する5点の測定点を BIM 上で囲み、グループ化す ることで、BIM 側でどの点を平均照度の計算式に当 てはめるかを定義する。BIM 側では、測定記録書に 出力する際にグループ化した測定点の座標を計算し、 平均座標を算出することにより、平均座標の最も近傍 にある測定点が中心に位置する測定点であると推測す ることができる。それにより、中心の測定点を割り出 し、重みづけのある平均照度の計算式に当てはめるこ とで、自動で平均照度の計算が可能となる。

また,算出した自動計算の式は検算ができるように帳 票欄外に数式を表記する。これにより,万が一プログ ラムの故障で間違った計算が行われたとしても,施工 管理者側で間違いを確認することができる(図-10)。



図-8 事前準備の工夫と未測定の防止対策の仕組み



図-10 平均照度の自動計算の方法

### (5) 実現場での状況

当社の作業所において,測定準備から測定記録書作 成までの検査時間を検証したところ,20%程度の検査 効率の向上を確認した。

観測点 30 か所の照度測定を行い,各工程の平均の 数値から検査時間を算出した。

測定時間は,従来の2名作業に比べると時間がかかっ てしまうが,事務所での平均照度計算や,測定記録書 作成の時間を大幅に削減することができた(図-11)。

## 5. 風量測定での取り組み

建物の換気システムが正常に稼働し,設計した風量 を確保できているかを確かめるために,制気口ごとに 風量測定を行う。

#### (1) 従来の測定方法と課題

風量測定では、測定によって得られた風速に開口面 積と開口率を掛けて風量を算出する。風量が設計値と 差がある場合は、ダンパーを操作して適正風量になる まで調整する。測定と調整を繰り返すため、測定自体 に時間がかかる。 風量測定には風速計を用いる。風速計はある点の風 速を測定するため、制気口の風速を測定するには、5 点以上測定し、平均の風速を求める。

測定自体は、測定者と記録者の2名体制で行い、上述した風速を用いて風量をその都度手計算で算出し、 判定を行なっている。また、現地では紙の図面に測定 箇所と測定記録を記入し、作業所事務所に戻ってから Excelの測定記録書に書き直している。

#### (2) BIM 連携での測定方法

BIM 連携では,照度測定と同じ方法を採用した。 照度測定同様,2Dの施工図データをBIM に取り込み,測定点オブジェクトを入力し,その測定点にデジ タル測定器の測定データを紐づける。

風量測定では、測定時の風量にばらつきが生じるた め、風速が安定したときのデータを収集する必要があ る。そのため、データ取得時に平均値を算出できる仕 組みを構築した。

また,測定記録書への出力も照度測定同様,印刷ボ タン一つで可能となる(図-12)。

#### (3) 実現場での状況

風量測定に関しては, 今後実現場での実証を行って いく。

#### 6. おわりに

今回構築した BIM とデジタル測定器の連携では, 管理点数の多い,水圧・満水試験,照度測定,風量測 定の3種類を対象とした。今後は連携できる測定機器 の種類を増やすとともに,実証実験を重ね,より使い やすい仕組みへと改善していく。

すでに空圧試験器の連動ができており,より活用の 幅が広がっている。



図-11 照度測定の検証結果



図―12 風量測定の仕組み

## 謝 辞

最後に,本開発を行うにあたりご尽力いただいた関 係各位に感謝の意を表すと共に,本報文が今後の設備 検査効率化の参考となれば幸甚です。 [筆者紹介]
園田 真吾(そのだ しんご)
(株竹中工務店
東京本店 設備部 設備施工 BIM グループ
設備担当

JCMA

