

東京メトロの地下鉄駅改修計画・設計における 点群データによるBIMモデルの構築と活用

CONSTRUCTION AND INFLECTION OF BIM-MODEL USING POINT GROUP DATA FOR A PLAN AND DESIGN OF THE SUBWAY STATION REPAIR

久保田 誠^{1*}・柴中 雄仁²・金井 和哉³・大森 高樹⁴

Makoto KUBOTA¹, Katsuhito SHIBANAKA², Kazuya KANAI³, Takaki OMORI^{4*}

Fixing eyes on Tokyo Olympics Paralympics holding of 2020 in Tokyo Metro, we are carrying out a building design of the subway station remodeling. We carried out point group laser surveying in basic design duties of 2015. And built the three-dimensional model of "the visible parts" such as a wall, a pillar, a floor, the ceiling. This article built engineering works skeleton from point group data and an existing figure in BIM model by a building design of the station remodeling for the first time as Tokyo Metro. We report a merit and a demerit of the utilization in the situation carrying out a trial to utilize the design design of the station yard, a remodeling design from the data.

Key Words : *Subway station, Infrastructure repair, Remodeling architecture design, Point group laser surveying, BIM*

1. はじめに

高度成長期以降に整備された社会インフラ施設等の老朽化は著しく、国土交通省では平成25年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけて「インフラ長寿命化計画（行動計画）」が鋭意進められています。また、多くの社会インフラ施設改修時の調査、計画、設計等を実施する際に最新技術を活用しながら既存構築物空間を3次元で計測し確認する手法が最近多くなってきました。今まさに国土交通省で進めているI-Constructionは¹⁾、この3次元モデルを積極的に活用したCIM（Construction Information Modeling）・BIM（Building Information Modeling）の取組みを積極的に実施するものです。この流れを踏まえて、地下鉄駅改修プロジェクトの調査・設計段階で3次元モデルを利用して多くの情報を共有することで、改修計画・設計内容の可視化や施設内容等の情報統合・一元化（写真画像のアーカイブを含む）を試行しています。本論文は、東京メトロとして駅改修の建築設計で点群レーザー測量の実施と土木躯体の3次元BIMモデル構築活用する際のメリット、デメリットを報告するものです。

今まさに東京メトロでは2020年までに地下鉄駅の多くを改修を順次進めているところであり、例えば東京メトロ銀座線（上野駅～渋谷駅間）の全19駅を2022年度までに順次リニューアルしていくことをホームページ等で公表しています。

2. 3次元レーザー測量の実施

(1) 3次元レーザー測量の目的

既設構造物や周辺建物は一般的に竣工図等の設計図書がありますが、過去の部分改修や改修を実施している現場では、実測した図が竣工図と一致しないケースが多くあり、その対応に時間を費やすことが多い状況となっています。だからこそ、駅等構造物の改修・改装の計画や設計においては、これまでの一般的な公共測量に加えて、3次元レーザースキャナーを用いた既存構造物の壁・柱・床・天井等の「目に見える部分」を全体的に現場測量して、現状を正確に捉えた現実的な計画や設計を行うことがますます重要となっています。

キーワード：地下鉄駅、インフラ改修、改修建築設計、点群レーザー測量、BIM

¹ 非会員 課長補佐 東京都地下鉄建設鉄道本部工務部建築課 Tokyometro

² 非会員 副主任 東京都地下鉄建設鉄道本部工務部建築課 Tokyometro

³ 非会員 主管 株式会社日建設計プロジェクトマネジメントグループ ファシリティソリューション部 Nikkensettsukei

⁴ 正会員 部長 株式会社日建設計シビル CM 防災部 (E-mail: oomorita@nikken.jp) Nikkensettsukei Civil

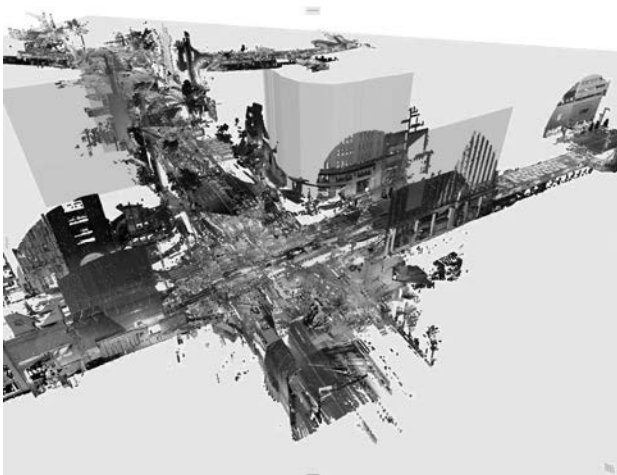


写真-1 駅全体の点群データ合成

(2) 点群データとは

点群データとは、物体の表面を点の集合として表現し、点一つひとつに3次元の位置情報（XYZで表す直交座標）を与えたデータです。実際に建っている建物全体や既設構造物では壁・柱・床・天井・配管・サインなど、鉄道の場合はレール・サイン・照明など、実際に存在するものの位置を無数の「点」として測定し、データ上に落とし込んだり、高精度デジタルカメラの撮影画像を変換した点群データを汎用処理ソフトを用いて図面化したり解析することができます。（写真-1参照）

(3) 点群データの結線による3次元空間の表現

点群データとして測量したものを3次元空間として成立させるためには、ポイントとなる対象空間を無数の点の群として一気に測定し、測定した色情報もデータ内の3次元空間に書き出して「見える化」を実施することが重要となります。また、これらの点群データとデジタル写真を張り付けてそのまま扱うことも可能ですし、その後の取扱いをスムーズにするため、点群が構成する面を2Dメッシュの面情報に自動変換しBIMモデルのデータ形式にすることも可能です。（図-1、2、3、4参照）

(4) 3次元レーザー測量から計画・設計へ

目に見える構造部の改修・改装業務におけるBIM化は、まず土木図面として躯体配筋図、一般図、埋設図、排水経路図などが必要であり、意匠図としては建築図、仕上げ詳細図、その他改修履歴などが揃っていると作業はかどります。一方、地下にあり目に見えない構造物のBIM化は、地上建築物のように外部や内部から躯体確認を行うことが困難なため、今まで作成された図面のうちどれを基準とするのか、理由も含めて決定してから計画・設計をBIMモデルで進めることが肝要です。今回の地下鉄駅改装建築設計では、躯体配筋図、土木一般図、建築図という3つの図面を元にしてBIMモデル化を実施しました。この一連の作業において担当者は、土木と建築の設計図の理解力と知識が求められ、かつ、膨大な既存

図面等を読み解くスキルが求められました。



図-1 駅ホーム階の点群データ画像



図-2 駅コンコース階の点群データ画像

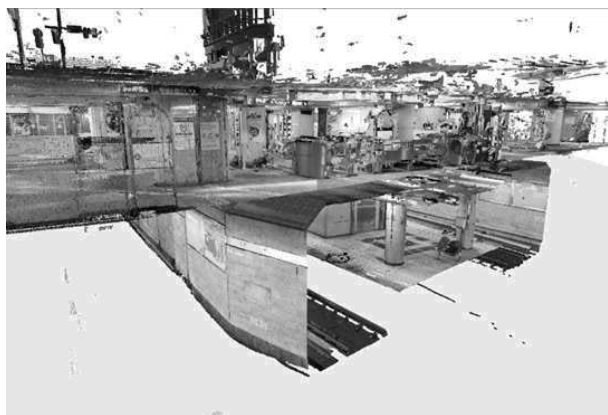


図-3 駅ホーム階とコンコース階の交差部の点群データ画像

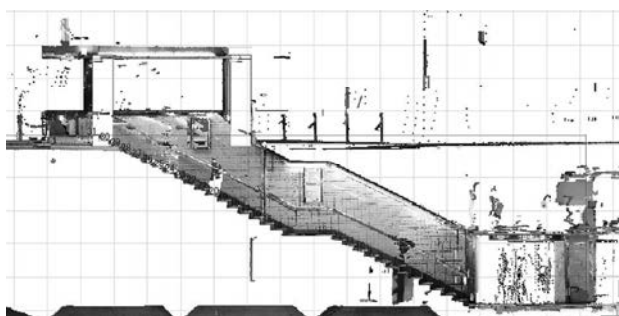


図-4 駅階段部の群データ画像

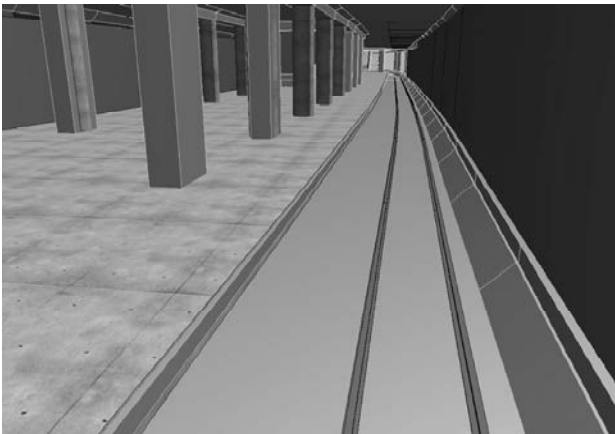


図-5 点群データの結線による駅ホーム階の図化

(5) 点群データの活用可能性と課題

点群データの活用は、今後ますます広がるであろうが、一般的に測量等の確認のために点群データをとる際の理由を下記に示します。²⁾³⁾

- ①保存されている図面と現場の状況が異なるため最初から図面を作らなければならない場合
- ②古い建物や設備の図面が残されていないため施工検討や計画に手間がかかる場合
- ③2次元の施工図を作成するために現場に数多く回数を重ねて足を運び採寸しなければならない場合
- ④高い場所を計測するのに足場を組んだり工事のたびにコストをかけて大掛かりな準備をしなければならない場合
- ⑤高温・冷温の設備など危険な箇所近づけないため計測もできず施工図などが作れない場合
- ⑥現場での手書きメモや写真を元に計画や設計をしているが、実施工の現場で設備や配管のサイズが合わない、建具の収まりが合わないなど手戻りが多いと想定される場合
- ⑦構造物や建物のリニューアル施工は施工図作成に手間がかかるため新築工事に比べてBIM導入が進んでいない場合

地下鉄駅改装の計画や設計段階での点群データ活用のメリットは、作業効率化と意識の共通化を図るためにも立体的な空間全体を把握できることです。

逆に、デメリットは3次元レーザー計測機器の性能や測量する距離、計測対象の表面形状、計測環境、計測時の入射角などにより誤差が生じ、特に対象物の色が黒色である場合は反射しづらく誤差が生じやすいことです。また、一般的に計測誤差よりも合成による誤差の方が重要であり、計測距離が大きくなると部分的な合成はうまくいっても（必要な誤差範囲に収まっている状態）誤差が蓄積して、末端で誤差が大きくなる可能性が高いことです。このような測量では避けて通れない「累積する誤差」という課題に対して、今回の計測ではこれらの誤差を極力なくすため、点群データ計測機器を設置する際に精度誤差1mm程度となる後方交会の技術を導入し、測定誤差を最小限にする工夫を行いました。

4. BIMモデルの構築と活用

(1) BIMモデル構築の目的

地下鉄駅改装の建築設計においてまず最初に骨格となる土木構造物のBIMモデル構築を実施した目的は、約4千枚の既存図を元にした3次元モデルから任意に土木躯体図面の切り出しを行い、建築や設備の計画や設計図面作成を支援することにあります。今までは竣工図（2次元の平面、断面）を見ながら時間を掛けて詳細な計画を行う必要がある箇所の検討図や設計図をその都度作図していました。今回は、天井部すべてを解体したうえで天井内部にある設備をすべて入れ替えることも設計に含まれていたため、梁の大きさや位置などの土木躯体を再現したBIMモデルを構築して、任意の箇所で平面図や縦横断面図を作図できるようにしました。（図-5参照）

(2) CADとBIMの違い²⁾³⁾

BIMモデルで作成した図面の場合は、意匠設計、構造設計や設備設計から施工へ、最終的には維持管理という構造物のライフサイクルで作成されたものが使い回しされることが、CAD図面とは決定的に違うものです。すなわち、CADは図面が中心であり、BIMはモデルが中心であることが大きな違いです。

今回の地下鉄駅建築設計業務にBIMモデル構築を活用した作業でのデメリットは、予めレイヤー決め等のルール作りが必要であり、作図担当者はBIMモデルを活用して簡易な調整作業で平面や断面の図面作成は可能でありましたが、建築や設備担当者が求める詳細な要求を満足させるために詳細部を確認しながらの作図時間を想定以上に要したことです。逆にメリットは、明らかに地下鉄躯体をBIMモデルで作成してあることで、今までの2次元レベルから3次元レベルでの可視化が行われて、全体を把握しながらの建築設計を実施することができるとのことです。とくに地下鉄駅の改装設計では、建築だけでなく設備も含んだ大規模なものであれば、なおさら全体像を3次元で把握しながら計画や設計を進めていくことはメリットがあると考えます。（図-7, 8, 9参照）

(3) BIMの活用手法²⁾³⁾ と活用の課題

今回の建築設計におけるARCHICADデータの作成は、既存の土木図を確認しながら初期のモデルを作成し、詳細内容は点群データを利用しました。(図-6参照) BIMモデルを採用することで今後、可能となることを以下に示します。

- ①BIMは、1つの建物(構造物)モデルから図面を作成するので、その建物モデルから作成されるすべての図面に矛盾が生じることは極めて少なく、3次元で表現された図面は設計意図を豊かに表現できるものである。
- ②1対1のモデルであるため制約条件のある現地で行えない様々なシミュレーション(避難検討や浸水検討など)の実験モデルとして利用できる。
- ③今回の案件のように構造物の改修履歴をデータとして蓄積して、構造物の補強・補修工事や維持管理、店舗等の内装やレイアウト変更・改装などにも利用でき、大量の図面を作成することができる。
- ④設計者が設計作業を進めながら常にコストを見て図面を元にした積算作業ができる。
- ⑤複雑な構造物についての打合せが2次元よりも3次元で表現できるため、よりわかり易い可視化された図面をもとに打合せができる。とくに施工前に設計内容の理解度が上がり、設計・施工のコスト削減を導くための共通認識が生まれる。

今後、点群データの活用における課題としては、非常に量の多いデータを圧縮して3次元モデルの躯体と共存させて計画や設計に反映する技術活用が必要です。また、駅改装計画・設計で土木構造物を含めて改修する場合のモデル構成は、駅構造設計を経験した者であればある程度は理解できるかと思いますが、その経験値の差がBIMモデル構築化の速度や構成モデル内容に出てしまうことは避けられません。したがって、今まで2次元を主として業務を実施してきた技術者をいかに効率よく3次元対応を行う技術者として育成し切り替えていくかも今後の課題であると思います。

5. まとめ

これから東京メトロでは、駅改装工事や維持管理工事が多くなりますが、その際の空間利用計画を前提とするならば、構造および設備等の法的条件への適合性の検討、新たな空間創出の納まり具合の確認、改装の工事量やコストの把握など様々な判断状況を整理する必要があります。⁴⁾ そのために3次元モデルでの空間把握は、関係者理解度の向上や合意形成ツールとしてますます必要性が高まるものと考えます。

参考文献

- 1) <http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- 2) ArchiCADではじめるBIM設計入門 企画設計編, 株式会社エクスナレッジ, 2015.

3) ArchiCADではじめるBIM設計入門 基本・実施設計編, 株式会社エクスナレッジ, 2015.

4) 武藤義彦, 小宮朗, 村里誠: 既存地下鉄駅における空間利用ー東京メトロ池袋駅の事例ー, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第16巻, pp119-122, 2011



図-6 駅部の ARCHICAD モデル

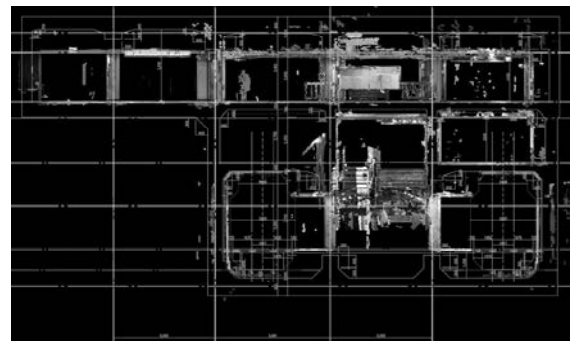


図-7 点群データによる駅構内の図化状況①

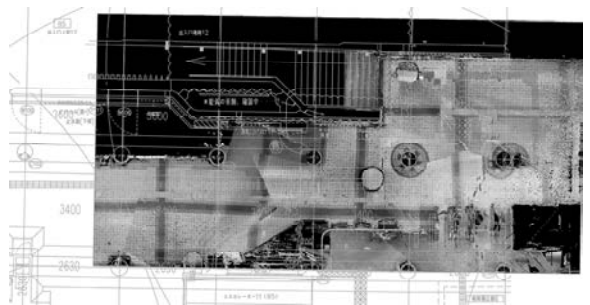


図-8 点群データによる駅構内の図化状況②

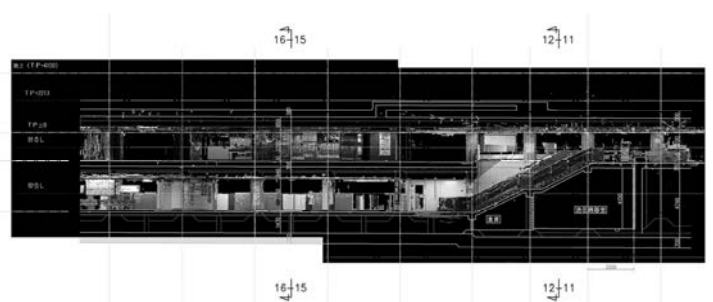


図-9 点群データによる駅構内の図化状況③