

設計図等を活用した屋内空間の三次元 GIS データの作成とその課題について Three Dimensional Indoor GIS Dataset Made from Design Drawings, and Its Problems

地理地殻活動研究センター 乙井康成・神谷 泉・小荒井 衛・中埜貴元
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Kosei OTOI, Izumi KAMIYA, Mamoru KOARAI and Takayuki NAKANO

要 旨

都市域における避難計画を検討する上で、地下街を含む公共的屋内空間は屋外同様に重要であり、浸水シミュレーションにおいても、少なくとも屋外と同程度の精度を有する GIS データが必要となる。設計図等の既存資料の活用により、効率的に屋内空間の三次元 GIS データを作成できることを実証するため、避難計画策定や浸水シミュレーションに適用可能な屋内空間の三次元 GIS データの基本的な仕様案を検討し、国土地理院庁舎とつくばエクスプレス南流山駅舎を対象に、その仕様案に基づいた屋内空間の三次元 GIS データの試作と、GNSS 及びトータルステーション測量による精度検証を行った。その結果、設計図等の既存資料から、1:2,500 都市計画基本図と同程度である「最大誤差が概ね 1m 以内」の精度で屋内空間の三次元 GIS データを作成できることを確認した。また、現地調査により設計図と現況が適合しない部分を修正するとともに、トータルステーション測量により設計図に座標値及び標高値を付与することで、浸水シミュレーションに必要な床面、壁面、天井面等で構成される屋内空間の三次元 GIS データを、水平位置 30cm 程度、標高 20cm 程度の精度で作成することができた。さらに、今回の試作においては、設計図の活用により、トータルステーション測量の半分程度の作業量でデータを作成することが分かった。データ試作で得られた知見を元に、設計図等を使用した効率的な屋内空間の三次元 GIS データ作成方法に関するマニュアル案を作成し、ウェブページで公開する。

1. はじめに

地下街を含む公共的屋内空間は、屋外と同等以上に利用されており、都市部の災害対策において屋内空間を無視することはできない。特に洪水災害において、地下空間の浸水対策は重要とされている（国土交通省，2002）。地下空間の浸水シミュレーションや避難対策において、屋内外一体となった三次元 GIS データは不可欠であるが、屋内における測量は、屋外と比べると作業効率が低いことなどから、このようなデータの整備はあまり進んでいない。屋内空間の三次元 GIS データの整備を促進するため、設計図等を用いて屋内空間の三次元 GIS データを作成す

るためのツールの開発なども進められている（経済産業省，2010）が、これまでの実証実験等においては、作成した三次元 GIS データの精度検証は行われておらず、また、データ作成における精度管理についても検討されていない。そこで、設計図等から精度の明らかな三次元 GIS データを効率的に作成するための基本的仕様案と作成方法を示すことにより、屋内空間の三次元 GIS データの整備と作成された三次元 GIS データの利用を促進することが必要である。そのため、避難計画検討や浸水シミュレーションに利用できる屋内空間の三次元 GIS データの基本的仕様案を検討し、その仕様案に基づいて国土地理院庁舎とつくばエクスプレス（以下、「TX」という。）南流山駅舎を対象に、設計図等から三次元 GIS データを試作するとともに、試作した三次元 GIS データの精度検証を行い、屋内空間の三次元 GIS データ作成方法に関するマニュアル案を作成した。本稿では、屋内空間の三次元 GIS データの基本的仕様に関する検討結果と設計図等の既存資料の活用による効率的なデータ作成方法及び、三次元 GIS データ作成における課題について報告する。

2. 研究概要

本研究では、まず屋内の災害対策における GIS データの利用状況に関する文献調査を行い、公共的屋内空間の浸水シミュレーションや避難計画検討に必要な屋内空間の三次元 GIS データの内容と要求精度について検討し、基本的な仕様案をまとめた。

続いて、基本的仕様案に基づく屋内空間の三次元 GIS データの試作と現地測量を実施し、データ作成に要する作業量を把握するとともに、作成した三次元 GIS データの精度検証を行った。また、設計図等を用いた屋内空間の三次元 GIS データ作成における課題を整理した。

屋内空間の三次元 GIS データの整備と作成された三次元 GIS データの利用を促進するため、本研究で得られた知見を、設計図等を用いた屋内空間における三次元 GIS データ作成マニュアル案としてまとめた。

次章以降で、各研究項目の詳細な内容を述べる。

3. 基本的仕様案の提案

3.1 屋内災害対策における地理空間情報の利用状況

内閣府（2009）による屋内空間の浸水シミュレーションでは、(1) 屋外の地形から氾濫解析を行い、出入口における水位や、出入口の幅等から氾濫水の流入量を算定、(2) 屋内床面の高さや床面積、氾濫水の流入量から、屋内空間の水深を計算、(3) 屋内空間毎に計算した接続部における水位の差と床面の高さや接続部の通路の幅から、屋内空間間の氾濫水の流入量を計算していた。また、地下空間における浸水時の避難計画では、主に各階平面図を用いて、避難経路について検討が行われており、歩行経路を示すネットワークデータを必要とする一方、絶対位置座標は必要とされていなかった（国土交通省、2002）。

3.2 屋内空間の三次元 GIS データの基本的仕様

前節に記載した状況に基づき、屋内空間の三次元 GIS データは、(1) 屋内外を一連のデータとして扱うことを前提に、データの位置精度は絶対位置精度とする、(2) 絶対位置精度は、屋外の三次元 GIS データのベースとなる 1:2,500 都市計画基本図と同等レベル以上とする、(3) 浸水シミュレーションに必要な断面積等が求められるように、屋内空間を床面、壁面、天井面で囲んで表現するボックスモデルとする、(4) 避難誘導に利用できるネットワークデータを表現できるモデルとする、(5) データの符号化形式は、The Open Geospatial Consortium (OGC) が都市域における屋内外シームレスの三次元 GIS データの標準化を目指している CityGML 形式と、三次元 CAD で広く使われているデータフォーマットである DWG, DXF 形式を使用することとし、CityGML 形式で定義可能なデータ構造とする、(6) 簡便に更

新できるように、主に設計図の記載内容だけで作成・更新できるようにする、という仕様を目指した。以下、(1) ～ (4) についての概要を述べる。

まず、上記 (1)、(2) について、都市計画基本図等の地図情報レベル 2500 の数値地形図データの絶対位置精度は、水平位置の標準偏差で 1.75m 以内、標高点の標準偏差で 0.66m 以内である（国土交通省、2013）。

次に、上記 (3) のボックスモデルの考え方に基づき CityGML 形式で建物を表す場合のデータ構造とその概念図を図-1 に、その UML (Unified modeling Language) クラス図を図-2 に示す。building (建物) は 1 つ以上の boundary (境界面) と任意の数の inner room (部屋) で構成される。このうち boundary (境界面) は、Roof Surface (屋上面)、Wall Surface (外壁面)、Closure Surface (外壁のドアの無い出入口) に分けられる。Wall Surface (外壁面) のうち opening (開口部) となっている出入りが可能な部分は、Window (窓) と Door (ドア) に分けられる。また、Closure Surface (構造物の無い境界面) の代表的なものとしては、地下への出入口などが該当する（図-3）。

Room (部屋) は、Ceiling Surface (天井面)、Interior Wall Surface (内壁面)、Floor Surface (床面)、Closure Surface (構造物の無い境界面) から構成される。Interior Wall Surface (内壁面) のうち opening (開口部) は、Window (窓) と Door (ドア) に分けられる。Room (部屋) における Closure Surface には、吹き抜けなど壁は無くても通り抜けられない境界面やドアのない出入口などが含まれる。なお、各階平面図との連携を考慮し、ボックスは床面の上に床面が重ならない単位で区切ることとした。階段では、1 階から 2 階までの間で 1 つのボックスとなるよう区切っている（図-4）。

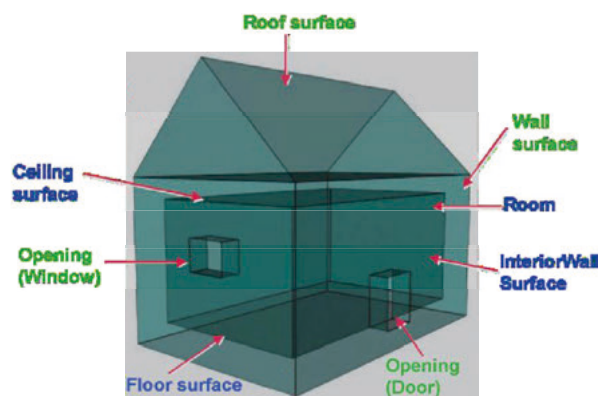
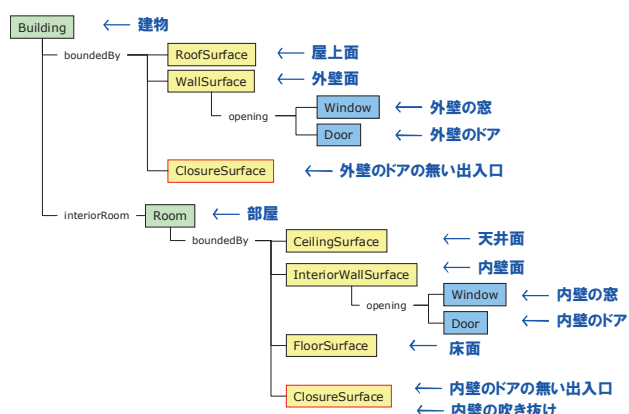


図-1 屋内空間を表す三次元モデルのデータ構造（左図）とその概念図（右図、(OGC,2013) を一部修正）

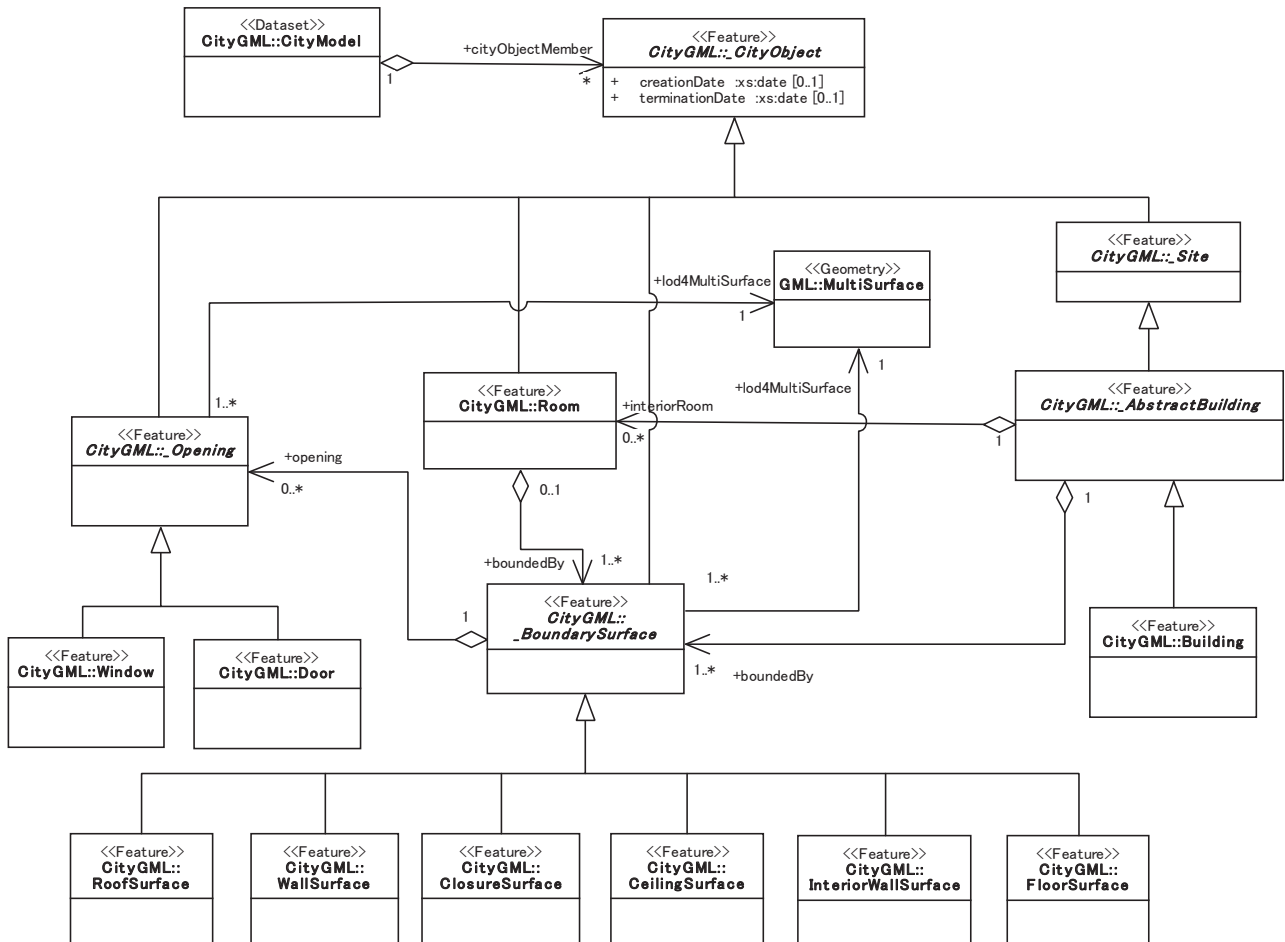


図-2 CityGML 形式の Building プロファイルパッケージ (UML クラス図)

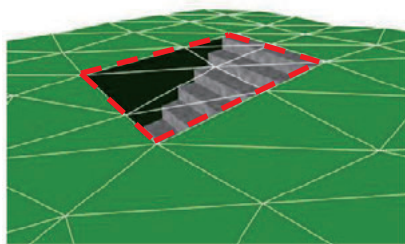


図-3 Closure Surface の例 (赤破線で囲まれた範囲の面)

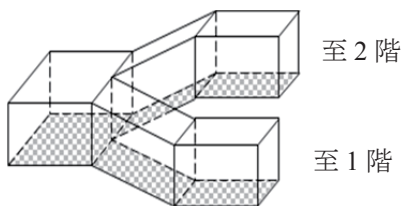


図-4 階段部を表すボックスモデルの例. 1 階から 2 階までの間で区切り, 床面の上に床面が重ならないようにした。

次に, 上記 (4) のネットワークデータについて説明する. CityGML 形式ではネットワーク構造を定義できないため, ネットワーク構造を独立して表現する必要がある. そこで, 歩行空間ネットワークデータ整備仕様案 (国土交通省, 2010) に基づくネットワークデータ (図-5) を採用した. ネットワークデータは, 歩行経路を示す「リンク」, 及びリンクの結節点である「ノード」によって構成され, リンクには, 歩道, 階段, エレベーター, エスカレーターなどの種類がある. ノードはリンクが分岐する点のほか, リンクの種類が変わる点や施設の出入口に設けられる. リンクには, 種類, 幅員, 縦断勾配, 手すりの有無, 視覚障害者誘導用ブロックの有無, エスカレーターの場合は進行方向などが属性として付けられる. 歩行空間ネットワークデータ整備仕様案において, ネットワークデータの形式は, GML 形式と CSV 形式が示されているが, ボックスモデルの CityGML 形式と組み合わせることから, 基本的仕様案では, GML 形式を採用した.

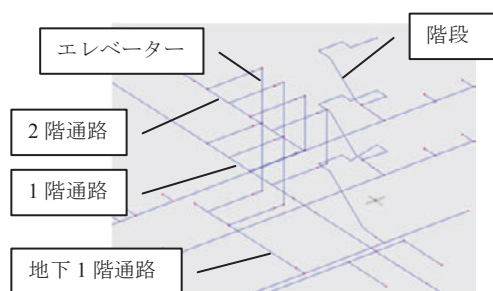


図-5 歩行経路を示すネットワークデータの例

以上のように、屋内空間の三次元 GIS データの基本的仕様案は、建物を表す CityGML 形式のボックスモデルと、歩行経路を示す GML 形式のネットワークデータを組み合わせたものとする事とした。

4. 基本的仕様案に基づくデータ試作と精度検証の方法

4.1 三次元 GIS データ試作の対象施設

設計図等の既存資料から作成した屋内空間の三次元 GIS データの精度を検証するとともに、データ作成における注意事項や作業量を把握するため、国土地理院本院の庁舎と TX 南流山駅舎を対象に、屋内空間の三次元 GIS データの試作と現地測量を行った。

国土地理院庁舎は、複数の建物で構成されるが、本研究では本館（屋内空間は、地上 6 階、地下 1 階のうち、地上 2 階、地下 1 階）と情報サービス館（地上 2 階）、地図と測量の科学館（地上 2 階）の 3 つの建物を対象とした（図-6）。ここでは、保有する資料を最大限活用して三次元 GIS データを作成した。

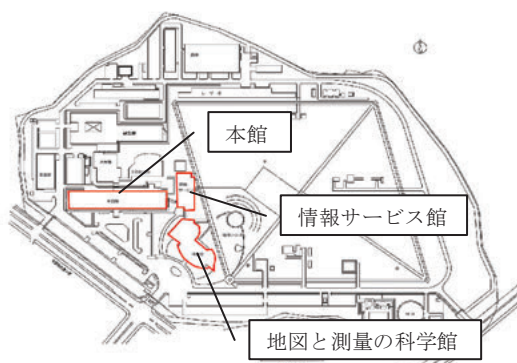


図-6 国土地理院本院庁舎の配置図

一方、TX 南流山駅舎は、地下 1 階の改札フロアと地下 2 階のホームで構成され、地上 3 箇所の出入口とはエスカレーター、階段及びエレベーターで繋がっている（図-7）。ここでは、改札口やホームドアなど駅に特有の施設の他、エスカレーターなど国土地理院庁舎には存在しない施設のデータ化について検討するとともに、セキュリティ保全のため、一般の利用者が立ち入ることのできない施設に係る記載

をすべて削除した資料を使用して、作成できる三次元 GIS データの精度や作業上の課題等について検証した。

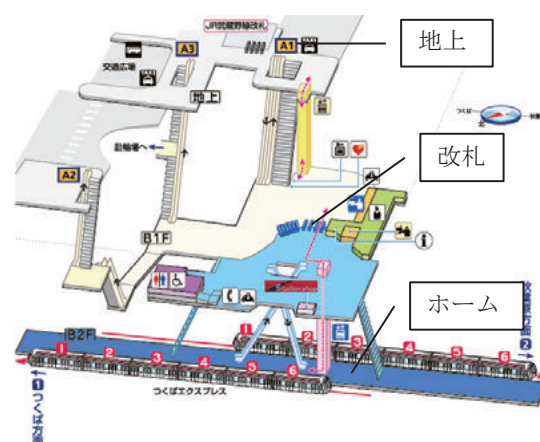


図-7 TX 南流山駅の構内図（つくばエクスプレス HP http://www.mir.co.jp/route_map/minami-nagareyam/a/yardmap.html 構内図を一部筆者修正）

4.2 屋内空間の三次元 GIS データの試作方法と試作結果

屋内空間の三次元 GIS データ試作にあたっては、まず使用する設計図と現況施設との差異を確認するために、現地調査を行った。設計図と異なる、または設計図に記載されていない施設の位置形状は、巻き尺や簡易レーザ計測機による計測で補った（図-8）。

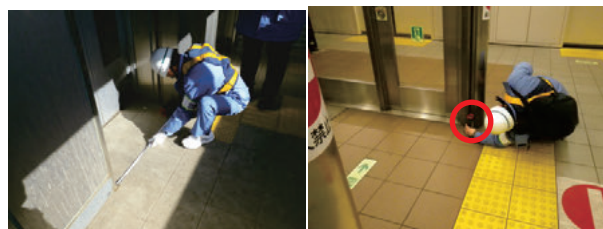


図-8 巻き尺（左図）や簡易レーザ計測機（右図赤丸）による計測

ボックスモデル及びネットワークデータの試作には、AutoCAD Civil3D 2011 を使用した。ただし、このソフトウェアでは、DXF 及び DWG 形式のデータは作成できるが、CityGML 形式のデータを作成することはできないため、DXF 形式のデータを CityGML 形式に変換するツールを独自に開発した。このツールは、国土地理院のウェブページで公開する予定である。

施設の幾何形状を示すボックスモデルの作成では、まず設計図のうちの平面図を取り込み、国土地理院庁舎では平成 21 年 3 月作成のつくば市の都市計画基本図から、TX 南流山駅舎では平成 20 年作成の基盤

地図情報から読み取った座標値を与えた。設計図のうちの断面図のグラウンドレベル（垂直方向の寸法計測の基準となる地盤の高さ）には、国土地理院庁舎では都市計画基本図から読み取った標高を与え、TX 南流山駅舎では断面図に記載されていた標高値を与えた。なお、基盤地図情報と都市計画基本図は、位置の基準として必要な精度を有する測量成果であること、平面図と対比させることのできる対象施設地上部の外縁が記載されていること、誰でも入手可能であることから、試作に使用する資料に選択した。

次に、CAD ソフト上で平面図の部屋の範囲を示すポリゴンデータを描画し、このポリゴンデータに断面図から読み取った床面の標高を与え、床面の三次元のポリゴンデータを作成した（図-9）。

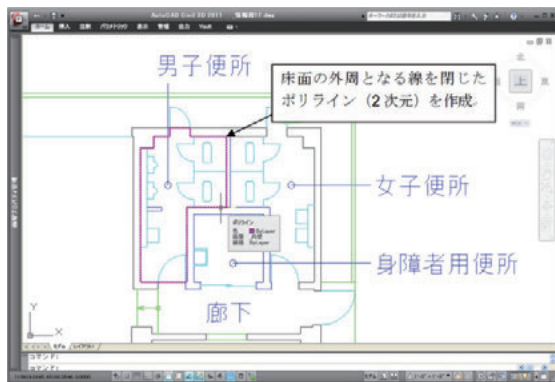


図-9 床面のポリゴンデータの作成

続いて、床面のポリゴンデータをコピーし、断面図から読み取った天井面の標高を与え、天井面のポリゴンデータを作成した（図-10）。

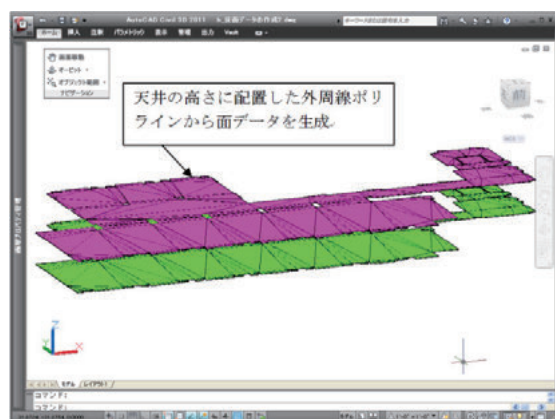


図-10 天井面のポリゴンデータの作成

床面と天井面のポリゴンデータの対応する点同士の間を結び、内壁面のポリゴンデータを作成した。出入口や窓の高さは、設計図のうちの立面図から読み取るか、現地調査で巻き尺等により計測した値を

用いた（図-11）。

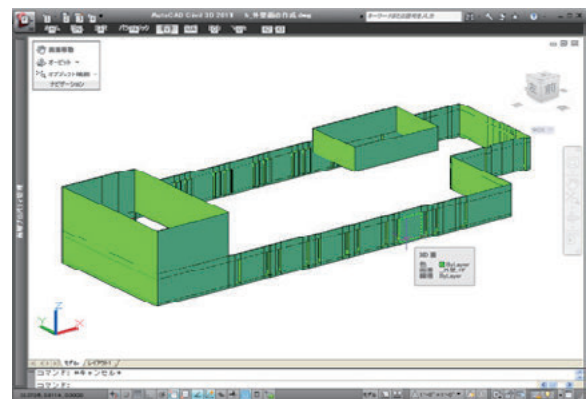


図-11 内壁面のポリゴンデータの作成

床面のポリゴンデータと同様の方法で屋上面のポリゴンデータを、内壁面と同様の方法で外壁面のポリゴンデータを作成し、これらのポリゴンデータを結合させて部屋や建物等の幾何形状を表すモデルを作成した（図-12）。壁面等のポリゴンデータには、空間に面する側と構造物側とを区別する裏表があり、この裏表に不整合があると部屋等のボックスモデルを組み上げることができない。なお、各部屋の出入口を結ぶ歩行経路を示すネットワークデータは、作成した床面ポリゴンデータと内壁面ポリゴンデータを基に作成した（図-13）。

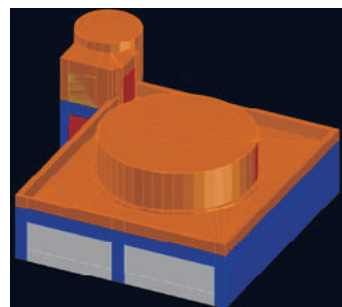


図-12 建物外形を示すモデルの作成



図-13 歩行経路を示すネットワークデータ（青線）の作成

以上により試作した国土地理院庁舎と TX 南流山駅舎の三次元 GIS データの鳥瞰図を図-14 に示す。なお、この図における国土地理院庁舎のうち、本館、情報サービス館及び地図と測量の科学館以外の建物と、TX 南流山駅舎以外の建物は、基盤地図情報の建物外縁に航空レーザ測量により作成された市販の DSM (Digital Surface Model) データで高さを与えて作成した外形モデルであり、屋内形状のモデルは作成していない。

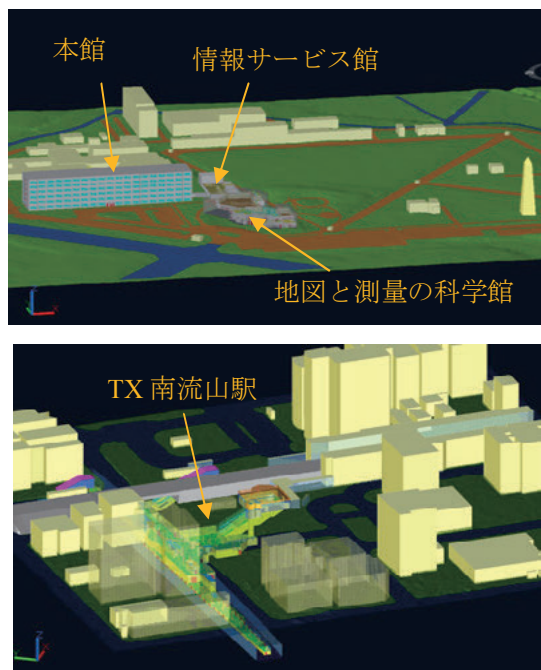


図-14 試作した国土地理院庁舎（上）及び TX 南流山駅舎（下）の三次元 GIS データ（外観鳥瞰）

4.3 精度検証のための現地測量の方法

設計図から作成した三次元 GIS データの精度検証を行うため、国土地理院庁舎においては 200 点、TX 南流山駅舎においては 100 点、ボックスモデルを構成する点に対応する現況施設上の点を検証点として選択し、現地測量を行った。具体的には、まず建物周辺または屋上における GNSS を用いた 1 級基準点測量により、一次基準点を設置し、次に一次基準点を与点として、トータルステーション（以下、「TS」という。）を用いた多角測量により、屋内に二次基準点を設置した。検証点の座標は、二次基準点を与点として TS を用いた放射観測により計測した（図-15）。

5. 試作した三次元 GIS データの精度検証結果

5.1 試作したデータの精度と大きな誤差を生む原因

GNSS と TS で計測した検証点の座標値と標高値



図-15 TS による検証点（矢印）座標の測量

を真値とし、三次元 GIS データからビューアソフトで読み取った平面座標値及び標高値との差分を取ることで精度検証を行った。国土地理院庁舎の各検証点の水平位置の誤差分布図を図-16 に、TX 南流山駅舎の水平位置の誤差分布図を図-17 に示す。図-16 をみると、検証点の分布が全体的に左上方向（X 方向に+30cm 程度、Y 方向に-40cm 程度；X,Y は、平面直角座標IX系の座標で、X 方向が北、Y 方向は東）に偏っていることが分かる。つくば市の都市計画基本図から読み取った座標値を設計図の建物四隅に与えていることから、この偏りは都市計画基本図の誤差、あるいは都市計画基本図により平面図を標定した際の誤差に起因する系統的なものと考えられる。一方、図-17 をみると、南流山駅舎では誤差分布の偏り等は認められず、流山市の基盤地図情報は結果として系統的なズレは無かったものと考えられる。いずれの図にも、数は少ないが、1m 以上の大きな誤差が認められる点がある（図中赤丸で囲まれている点）。

誤差が大きい点について、その理由を調べてみると、以下のような条件の箇所であることが分かった。1 つは、設計図と施設の現況が一致していない場合である。図-18 は国土地理院本館と情報サービス館をつなぐ廊下部分について、平面図とオルソ画像を重ね合わせたものである。渡り廊下の位置が両者で完全に違っており、設計図通りに施工されていないことが分かる。もう 1 つは、設計図に必要な情報が記載されていない場合である。図-19 は南流山駅のある出入口付近の平面図とオルソ画像を重ね合わせたものであるが、平面図には屋内の階段やエスカレーターは記載されているが、地上部の外壁が記載されていないことが分かる。このため、三次元 GIS データは、形状の似たもう 1 つの出入口の平面図を流用して作成したが、後の現地調査で形状が同じではなかったことが確認された。一方、これら以外の箇所については、水平位置座標の誤差は最大でも概ね 1m 以内に収まることが分かった。都市計画基本図による標定以外の誤差については、5.2 節及び 5.3 節

に記載する。

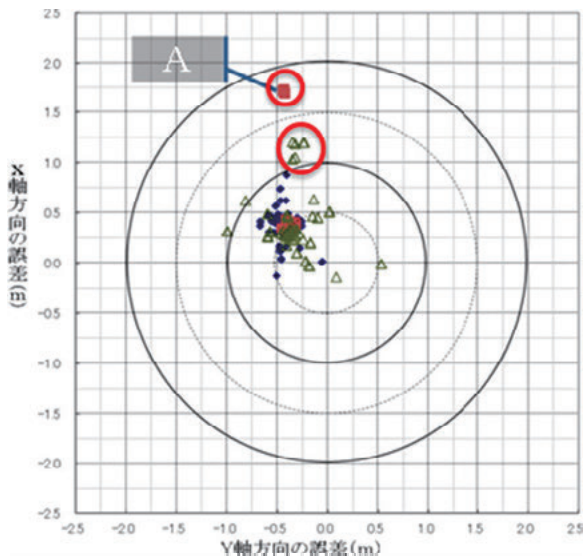


図-16 設計図から作成した国土地理院庁舎の三次元 GIS データの検証点の平面座標値の誤差 (◆: 本館, ■: 情報サービス館, △: 地図と測量の科学館, 赤丸で囲んだ点では, 設計図に情報不足や施設現況との大きな差異が確認された)

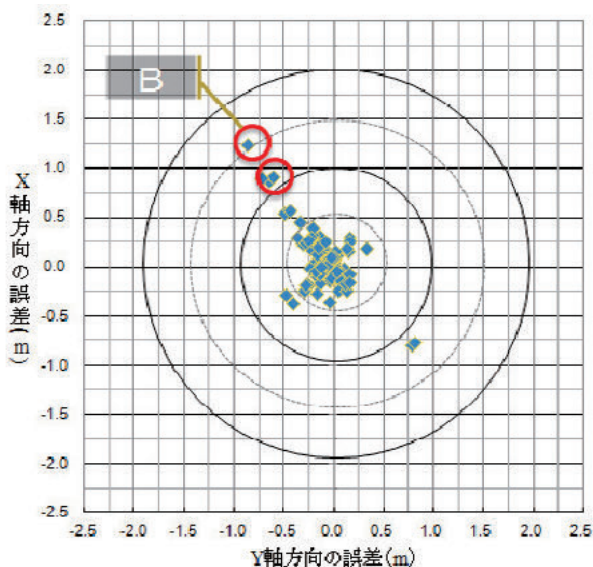


図-17 設計図から作成した TX 南流山駅舎の三次元 GIS データの検証点の平面座標値の誤差 (赤丸で囲まれた点では, 設計図に情報不足や設計図と施設現況に大きな差異があることが確認された)

国土地理院庁舎と TX 南流山駅舎の三次元 GIS データの検証点の標高値の誤差を, それぞれ図-20, 図-21 に示す。図-20 において, 本館では-0.2m, 情報サービス館では-0.5m, 地図と測量の科学館では

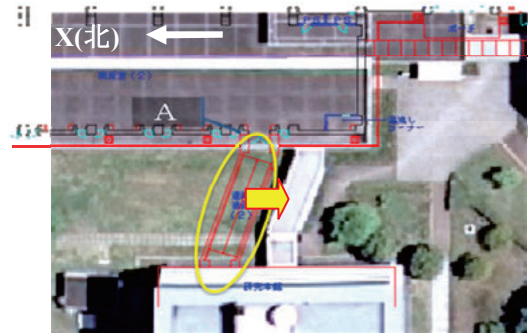


図-18 設計図と現況施設に大きな差異の見られる例 (図-16 の点 A). 渡り廊下の位置と形状が異なっている。(2008 年撮影の空中写真のオルソ画像と平面図の重ね合わせ)

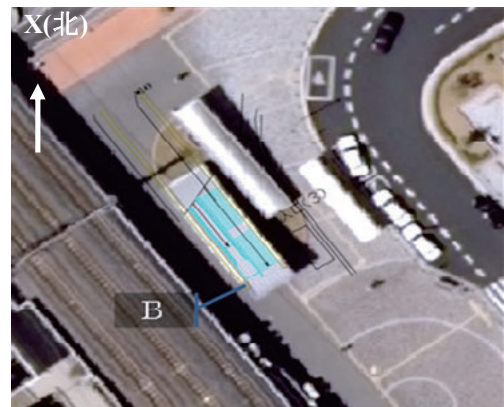


図-19 設計図に情報が不足している例 (図-17 の点 B). 平面図に屋内の階段やエスカレーター (水色) は記載されているが, 外壁が記載されていない。(2008 年撮影の空中写真のオルソ画像と平面図の重ね合わせ)

-0.6m 付近に多くの点が分布していることが分かる (黄線で囲まれた点). 各建物の断面図のグランドレベルにつくば市の都市計画基本図から読み取った独立標高点の標高値を与えていることから, これらの標高の差は, 都市計画基本図の標高の誤差, あるいは, 独立標高点の選定など, 都市計画基本図からの標高値の読み取り方に起因すると考えられる. 一方, 図-21 では, 多くの点は 0m 付近に分布している (黄線で囲まれた点). これは, TX 南流山駅舎の設計図 (断面図) のグランドレベルには標高値が記載されており, この標高値の精度が高かったためと考えられる。

図-20 において, 赤線で囲まれた差異の大きな点は, 屋上の外縁部にあり, 転落防止のため中央部より数十 cm~1m 程度高く造られている (図-22) ことが分かった. また, 青丸で囲まれた点は, 採光のため窓際のみ高く造られた天井にあることが分かった。

図-21 において赤線で囲まれた差異の大きな点は、2つの地上出入口の屋根上にあり、一方は設計図と現況施設で屋根の形状に差異があり（図-23）、設計図通りに施工されていないことが、他方は図-19に示す地上出入口の屋根上にあり、断面図にもこの出入口の屋根形状は記載されていないため、図-23の断面を流用して三次元 GIS データを作成したことが、誤差が大きくなった原因と考えられる。

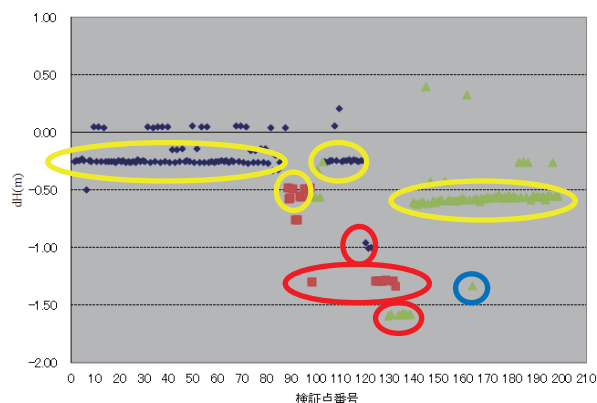


図-20 設計図から作成した国土地理院庁舎の三次元 GIS データの検証点の標高値の誤差（◆：本館，■：情報サービス館，▲：地図と測量の科学館）。

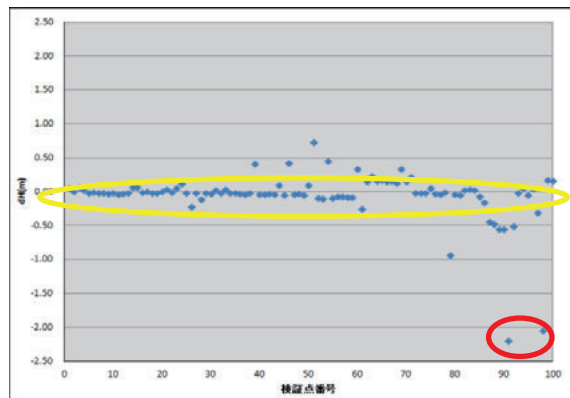


図-21 設計図から作成した TX 南流山駅舎の三次元 GIS データの検証点の標高値の誤差。



図-22 屋上外縁部の形状の例

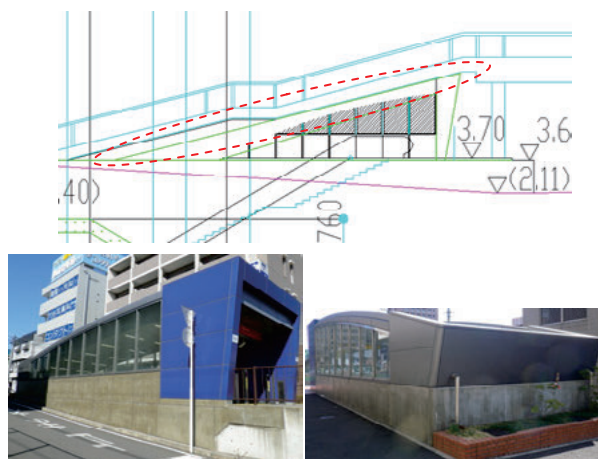


図-23 設計図と現況施設で形状に差異のある屋根の例 設計図（上図）では直線のまま地面に接している屋根（赤破線で囲んだ箇所）が実施設（下左は入口側から撮影，下右はその裏側から撮影）では地面に直接接してはならず、また丸みを持っている。

5.2 補測の有無や座標付与方法の違いによる精度の比較

設計図から 3 つの異なる方法で作成した三次元 GIS データの、各点と現地測量成果の位置の差の二乗平均平方根誤差（Root Mean Square Error. 以下、「RMSE」という。）を図-24 に示す。グラフ横軸の「1」は、前述の 4.2 節で示した、設計図に基盤地図情報または都市計画基本図から座標値を付与して作成した三次元 GIS データである。「2」は、設計図において現況施設と一致しない点を除外または修正し、基盤地図情報または都市計画基本図から座標値を付与して作成した三次元 GIS データである。ここでは、図-16、図-17 の赤丸で囲まれた点のように、概ね 1m 以上の設計図との位置形状の差異が現地で確認された点を除外または現況施設に一致するように修正している。「3」は「2」と同様に、現況施設と一致しない点を除外または修正した設計図に、現地測量成果で座標を付与した三次元 GIS データである。

国土地理院庁舎の場合、「1」では水平位置の RMSE が 70～90cm であったが、現地調査と巻き尺等により簡便な補測を行った「2」では、10～30cm 程度改善し、50～60cm となっている。さらに、平面図の施設の四隅等の座標を TS 測量等の現地測量で付与した「3」では、RMSE が 10～30cm 程度まで改善することが確認できた。標高についても精度の向上が認められ、特に情報サービス館と地図と測量の科学館において精度向上が著しく、都市計画基本図から断面図に標高値を付与した「1」や「2」の場合には RMSE で 50cm を越えていた誤差が、TS 測量等の現地測量で標高を付与した「3」では、RMSE で 10cm 程度ま

で向上した。

一方、TX 南流山駅舎については、設計図において現況施設と一致しない点を簡易な計測で補測した「2」では、「1」と比べて水平位置、垂直位置共に RMSE で精度が 10cm 程度向上しているが、断面図に記載された標高値と基盤地図情報の平面座標値を付与した「2」と TS 測量等の現地測量で座標値及び標高値を付与した「3」とでは、RMSE に大きな違いは見られなかった。これは、断面図に記載された標高値の精度が良かったことに加え、TX 南流山駅付近の基盤地図情報の水平位置精度が、現地測量と同程度高かったためと考えられる。いずれの場合も、TS 測量等の現地測量で座標値と標高値を付与した「3」の場合には、水平位置の RMSE は 30cm 程度、標高の RMSE は 20cm 程度と、作業規程の準則第 80 条（国土交通省、2013）で標準とされている地図情報レベル 500 の水平位置の標準偏差（0.25m 以内）及び標高点の標準偏差（0.25m 以内）と比較して、同じ程度の精度を有するものと判断される。

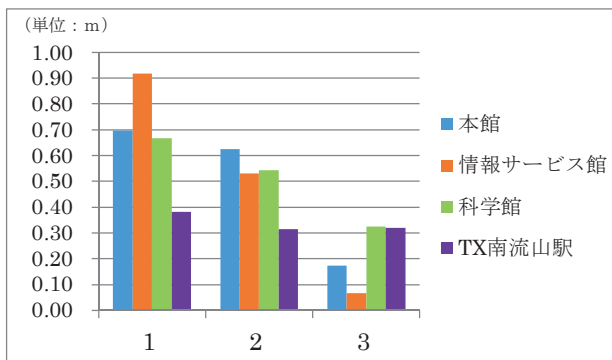


図-24 三次元 GIS データの各点の位置と現地測量成果の差の RMSE。上は水平位置、下は標高。

5.3 部位による精度の違い

国土地理院庁舎と TX 南流山駅舎の両方について、部位別の座標値（水平位置）及び標高値（垂直位置）の誤差（RMSE）を図-25 及び図-26 に示す。ここでの三次元 GIS データは、現地測量成果を用いて座標を付与したものであり、都市計画基本図等が持つ誤差を含んでいない。しかし、前述の 5.2 節の「3」と

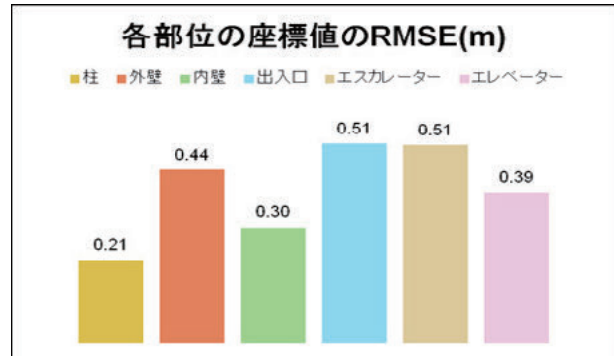


図-25 部位による座標値（水平位置）誤差の違い（現地測量成果により代表点に座標を付与、現地測量成果との比較）

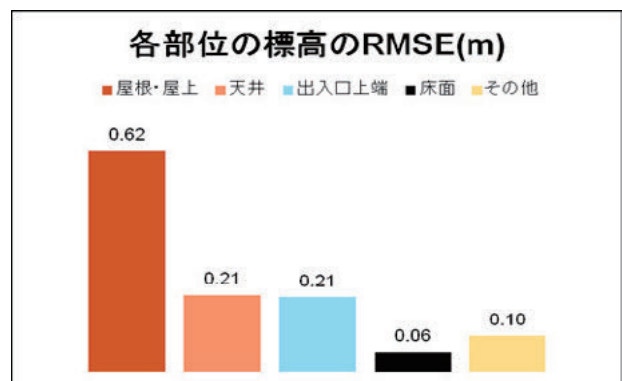


図-26 部位による標高誤差の違い（現地測量成果により基準面に標高を付与、現地測量成果との比較）。その他はホームドアの上端、エスカレーターの手摺、改札の切符投入口等。

異なり、現況施設と一致しない点の除外や現地調査による補測は行っていない。従って、ここで議論される誤差は、平面図と断面図の不整合など設計図が持つ誤りと、施工した施設と設計図との差異（故意に設計図と違う形で施工する場合も含む）のみになる。

図-25 をみると、出入口や外壁の RMSE は 45～50cm 程度あるが、柱の RMSE は約 20cm、内壁は約 30cm と、部位により明瞭な差が認められる。現地調査においても、施設の強度に影響する柱が、設計図と異なる位置に施工された例は確認されていないが、出入口の位置や幅が施工時に変更された例は多数確認されている。

図-26 をみると、浸水シミュレーションにおいて最も重要となる床面の高さの RMSE は約 6cm と極めて精度が高いのに対し、屋根・屋上の RMSE は約 60cm で、部位によって設計図から求まる精度が大きく異なっている。屋根については、前述の通り、設計図と現況施設で形状が大きく異なっている例（図-23）や設計図に記載のない例が確認されている。一方、屋上では転落防止のため、外縁部が中央部より

数十 cm～1m 程度高く造られていることが多い (図-22)。今回作成した三次元 GIS データにおいて、屋上は断面図で広い範囲を占める高さの平面で表している一方、精度検証のための測量では位置を特定しやすい四隅を計測点に多く選択するなど、検証点の選定に多少偏りがあったため、図-26 では誤差が実態より強調されている可能性がある。天井については、空調設備の設置や採光等のため、同じ部屋内でも高さが異なっており、限られた断面から読み取ることのできる代表的な高さとは一致しない点が多数見られた。出入口の上端も天井と同様に、部屋によって高さが異なることが少なくないが、床面の高さは場所による高さの違いが少ない。この違いが、天井や出入口上端と比べて床面の高さの RMSE が小さい理由の一つと考えられる。

以上のことから、現地測量成果により基準点から三次元 GIS データに標高を付与した場合には、設計図から浸水シミュレーションに活用可能な三次元 GIS データを作成できると考える。

6. 設計図を用いた三次元 GIS データ作成における注意事項 (具体的な例示)

データ試作により、データ作成において精度を担保するために注意すべき点がいくつかあることが分かった。設計図の使用にあたっては、現地調査等により使用の適否や補測の必要性等について事前に確認する必要がある。以下に、今回の試作で明らかになった事例を紹介する。これらの事例は、後述するマニュアル案の中で紹介することで、実際にデータ作成の際の参考になるように配慮している。

6.1 設計図の誤り

トイレの出入口が、設計図に記載されていない例があった (図-27)。また、平面図と断面図に不整合があり、平面図上における断面取得位置が誤っていることを現地調査で確認した例もある。従って、このような基本的な誤りもあることを認識したうえで、データ作成の計画を立てる必要がある。

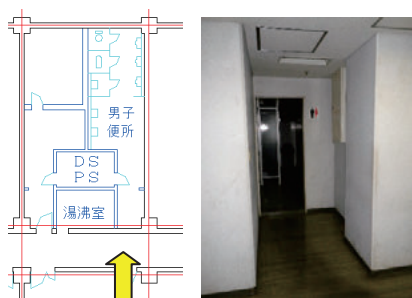


図-27 平面図 (左) にトイレの出入口の記載がない例 (矢印は右写真の撮影方向)。右はトイレ出入口の現況写真

6.2 情報の不足

断面図を作成している場所は限られている一方で、天井の高さなどは部屋により大きく異なる場合がある。また図-19 に示したように、施設の一部が設計図に記載されていない例も確認されている。このように、設計図だけでは施設の三次元形状を正確に再現できない場合があり、設計図の内容確認や現地調査により不足する情報内容を明らかにする必要がある。

6.3 施工時における変更

図-18 や図-23 に示すように、設計図通りに施工されなかった、または設計変更が行われた後の設計図が保存されなかったことなどにより、設計図と施設現況に差異が生じた例が多数確認されている。図-28 は、設計図に記載されている階段 (赤○で示す) が現況施設には存在しない例である。建設当時の空中写真にも写っていないことから、当初から階段は設けられていないことが確認された。このような差異について、現地調査等により確認する必要がある。

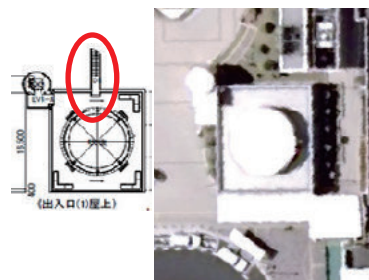


図-28 設計図 (左) に記載されている階段 (赤○印) が現況施設 (右) には存在しない例

図-29 に、設計図と現況施設で壁面の位置や形状に差異のある例を示す。左の設計図は本体建設工事のためのものであり、凹部に空調設備が納められた後、内装工事で新たな壁面が造られている。このような差異は、規模の小さいものを含めると多数確認された。今回の試作では、誤差に含めることとして差異を無視して三次元 GIS データを作成したが、データ作成の目的によっては、規模の大きな差異について補測する必要がある。

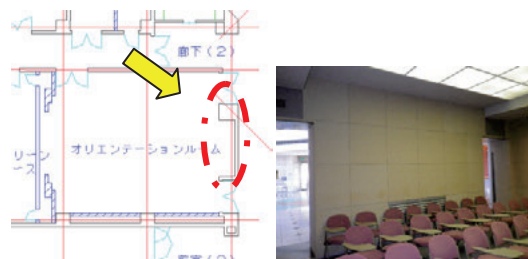


図-29 設計図と内装工事後で壁面の位置形状が異なる例 (矢印は右写真の撮影方向)

6.4 改修等による変化

今回のデータ作成期間中においても、国土地理院庁舎では部屋の分割工事が、TX 南流山駅ではホームの延長工事が行われた。このような工事により、設計図と現況施設との差異は年々大きくなる。なお、TX 南流山駅のホームについては、延長工事のための設計図もデータ作成に使用できたため、大きな差異は生じていない。

6.5 設計図と基盤地図情報等の記載内容の違い

基盤地図情報等から座標値を取得し、設計図に付与する際には、設計図と基盤地図情報の双方に共通して記載されている点であることを十分に確認する必要がある。平面図（設計図）は、床面から 1~1.5m の高さの断面を示す。一方、基盤地図情報や都市計画基本図は、空中写真測量で作成されており、建物の外縁は外壁を示すとは限らず、庇が外壁より張り出していれば、その先端を示している（図-30）。

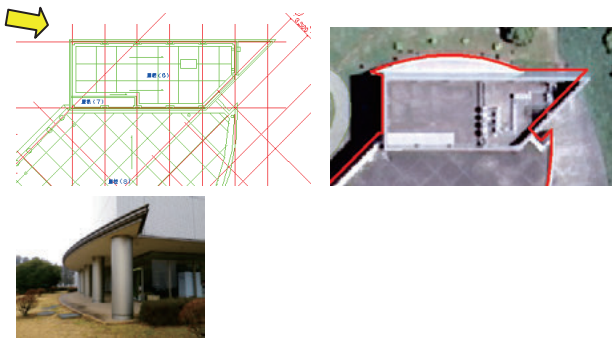


図-30 設計図（上左）と、空中写真のオルソ画像と基盤地図情報の建物外縁の重ね合わせ（上右）、及び同地点の地上写真（下）。上左図の矢印は下写真の撮影方向。

7. データ作成方法毎の作業量

屋内空間の三次元 GIS データを作成するために必要となる作業量（人日）を、各工程別に比較したものを表-1 に示す。ここに示す具体的な作業人日は、国土地理院庁舎のデータ試作に要した作業時間を基に算出している。なお、TX 南流山駅舎内では、現地測量作業を許可された時間が、終電終了後から始発開始前に限られたため、ボックスモデル作成の作業量を算出できる箇所の現地測量は実施していない。

設計図から三次元ポリゴンデータを作成して、都市計画基本図等で座標を付与した場合の作業人日は、約 37 人日である。設計図から作成した三次元ポリゴンデータに、RTK 測量で座標付与した場合は、現地測量に都市計画基本図等からの座標読み取りと比べて約 1 人日増えるため、約 38 人日となる。TS 測量で三次元ポリゴンデータを作成して、GNSS 測量で座標付与した場合は、約 85 人日となった。この作業

人日数は、今回の研究の一環として国土地理院庁舎における精度検証のための GNSS 測量及び TS 測量を行った際に、標準的な部屋のボックスモデル作成に必要な点の座標値取得に要した作業員数と計測時間を記録したので、これを基準人日として積算して算出したものである。地上設置型レーザ測量成果を元に三次元ポリゴンデータを作成し、TS 測量で座標を付与した事例は、本研究では実施しておらず、他の施設で実施された事例を元に算出した参考値であるが、42~125 人日となっており、設計図のみから作成する場合の作業量と比べて、同程度から 3 倍程度となっている。地上設置型レーザ測量の場合、一度の計測にはそれほど時間はかからないが、柱や設置物が多く、影になる部分が多い場合は、計測回数も増えることになる。また、計測した三次元点群データからの内壁、天井、床面などの属性を持った三次元ポリゴンデータの作成は、部屋の形状の複雑さなど、計測対象とする屋内空間の状況によって作業量が大きく異なる。このように、測量対象とする施設形状の複雑さやレーザで観測する点の密度などの条件が国土地理院庁舎におけるデータ試作と同じとは限らないため、作業量の比較には注意を要する。

これらにより、設計図の使用により TS 測量の半分程度の作業量で三次元 GIS データを作成できることを実証できた。なお、データ作成には、表-1 に示す他、関係者との調整、作業計画の作成、入手資料の内容確認（現地調査を含む）、現地における不足データの取得、移動等の作業を要する。

表-1 データ作成方法による作業量の差異の例（対象：国土地理院庁舎（3 棟、約 6,450 m²、ノード約 1 万点）
*1：図-24 の「2」の RMSE、*2：図-24 の「3」の RMSE、*3：作業規程の準則第 43 条ハに示される標準的な新点位置及び新点標高の標準偏差

各工程に要する作業量（人日）				
工程	設計図でデータ作成、都市計画基本図等で座標付与	設計図でデータ作成、RTK 測量で座標付与	TS 測量でデータ作成、GNSS 測量で座標付与	地上レーザ測量成果を元にデータ作成、TS 測量で座標付与
座標読取・付与	2.2	3.0	—	—
ポリゴン作成	18.5		68.5	(25.5~108.5)
ポリゴンの接合、属性付与、フォーマット変換等	11.1			
歩行ネットワークデータの作成	5.5			
合計	37.3	38.1	85.1	(42.1~125.1)
精度（参考）	水平 約 60cm、 標高 約 60cm *1	水平 約 30cm、 標高 約 20cm *2	水平 10cm、 標高 20cm *3	未検証のため不明

8. 設計図使用に係る課題の整理とマニュアル案の作成

精度の明確な三次元 GIS データを、設計図等の既存資料の活用により、効率的に作成する方法をマニュアル案にまとめ、ウェブページで公開することにより、屋内空間の三次元 GIS データの整備とデータ利用が促進されると考えられる。従って、このマニュアル案では、設計図や屋内三次元 GIS データの特性を熟知していない者でも、利用目的に合致したデータを効率的に作成する計画を適切に立てられるよう、ポイントを絞り、図や具体事例を付した平易な文章で分かり易く記載することを重視した。

マニュアル案の目次を図-31 に示す。

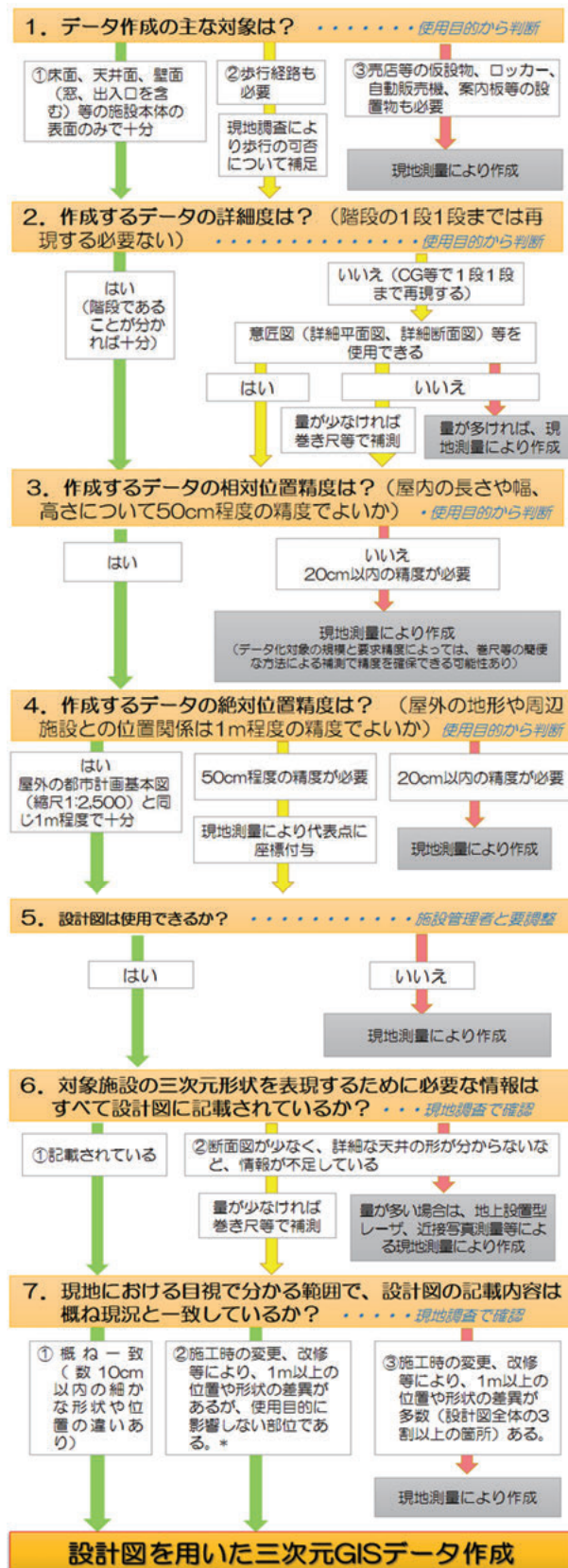
目次	
I	はじめに
1.	マニュアルの目的と適用範囲
2.	マニュアルの利用にあたって
II	仕様の検討
1.	データ作成目的の明確化
2.	目的に合致したデータ仕様の検討
III	作業方法の選択
1.	データ作成方法の選択
2.	GIS データ作成に利用できる既存資料の条件
3.	データ作成における制約条件
4.	仕様に合致したデータ作成方法の検討
IV	設計図を用いた三次元 GIS データの作成手順
1.	施設管理者等との調整
2.	入手資料の精査
3.	現地調査
4.	座標値の付与
5.	幾何形状データの作成
6.	データ構築
7.	フォーマット変換
8.	点検
9.	媒体への格納
10.	利用環境の整備
11.	情報管理

図-31 マニュアル案の目次

第Ⅰ章「はじめに」では、マニュアルの目的と適用範囲、マニュアル使用の前提条件等を記載している。

第Ⅱ章「仕様の検討」では、目的の明確化と目的に合致したデータ仕様の検討について記載している。仕様の検討は、データ作成対象、データ構造、形状の詳細さ、位置精度、属性分類、データフォーマットに分けて記載している。

第Ⅲ章「作業方法の選択」では、仕様に合致したデータ作成方法の検討、関係者との調整による作業方法の選択、利用可能性のある既存資料について記載している。ここでは、データ作成対象、データの詳細度、相対位置精度、絶対位置精度、設計図の利用可能性、情報の網羅性、設計図と現況の一致度などを基にフローをたどると、設計図を用いて三次元 GIS データを作成した方が良いのか、TS 測量や地上設置型レーザ等の他の手法を用いて三次元 GIS データを作成した方が良いのか、分かるようにしている(図-32)。



*例えば、浸水シミュレーションに使用する場合、床面の高さはシミュレーション結果に大きく影響するが、天井面の高さはそれほど影響しない場合がある。

図-32 設計図使用の適否判断の流れ

第IV章「設計図を用いた三次元 GIS データの作成手順」では、工程別に注意すべき事項を詳細に記載しており、実際に作業を行う人の簡便な参考書の役割を果たすような方針で記載した。

9. まとめ

設計図等の既存資料の活用により効率的に屋内空間の三次元 GIS データを作成できることを実証するため、浸水シミュレーションや避難計画検討のベースとなる屋内空間の三次元 GIS データの基本的な仕様案を検討し、これに基づいて国土地理院庁舎と TX 南流山駅舎を対象にデータ試作と精度検証を行った。

屋内空間の三次元 GIS データの基本的仕様案は、ボックスモデルとネットワークデータを組み合わせた構造が適当と判断した。また、三次元 GIS データの試作により、現地測量を実施せず、設計図等の既存資料のみから三次元 GIS データを作成した場合は、1:2,500 都市計画基本図と同程度である最大誤差概ね 1m の精度となることを確認できた。一方、現地測量により設計図に座標付与した場合には、RMSE で水平精度約 30cm、標高精度約 20cm と地図情報レベル 500 と同程度の三次元 GIS データを作成できることが確認できた。この屋内空間の三次元 GIS データは、洪水シミュレーション等に活用可能な精度を有していると考えられる。また、設計図の活用により、TS 測量の半分程度の作業量でデータを作成できることが分かった。一方、セキュリティ保全等のた

め、設計図の一部または全部を利用できない場合があることなどの課題が明らかとなった。データ試作で得られた知見を元に、屋内空間の三次元 GIS データの設計図等を使用した効率的な作成方法に関するマニュアル案を作成した。このマニュアル案と DXF 形式のデータを CityGML 形式に変換するツールは、ウェブページ

(<http://www.gsi.go.jp/cais/geoinfo-index.html>) で公開する予定である。

謝 辞

屋内空間の三次元 GIS データの試作にあたっては、首都圏新都市鉄道株式会社鉄道事業本部技術部から設計図の貸与を受けるとともに、TX 南流山駅舎内における現地測量作業等への協力を頂いた。また、つくば市都市建設部都市計画課からは都市計画基本図の提供を受けた。関西大学の田中成典教授からは研究の進め方について助言を頂いた。さらに、日本情報処理開発協会、衛星測位技術株式会社、関西工事測量株式会社、株式会社パスコ、アジア航測株式会社及び国際航業株式会社には屋内空間における GIS データ作成状況について有用な情報を頂いた。また、株式会社日立製作所からは CityGML に関する情報を頂いた。ここに記して感謝いたします。

(公開日：平成 26 年 4 月 17 日)

参 考 文 献

- 経済産業省 (2010) : 3 次元地理空間情報データベース構築関連ツール, G 空間プロジェクト,
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/GIS/ (accessed 27 Jan. 2014).
- 国土交通省 (2002) : 地下空間における浸水対策ガイドライン及び同解説,
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/ (accessed 27 Jan. 2014).
- 国土交通省 (2010) : 歩行空間ネットワークデータ整備仕様案, 39pp.
<http://www.mlit.go.jp/common/000124059.pdf> (accessed 27 Jan. 2014).
- 国土交通省 (2013) : 作業規程の準則, 国土交通省告示第 413 号,
<http://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/index.html> (accessed 27 Jan. 2014).
- 内閣府 (2009) : 荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定, 大規模水害対策に関する専門調査会,
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/daikibosuigai/index.html> (accessed 27 Jan. 2014).
- OGC (2013) : OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard
<http://www.opengeospatial.org/standards/citygml> (accessed 4. Apr. 2013).
- 乙井康成, 神谷泉, 小荒井衛 (2012a) : 設計図から作成した屋内空間の三次元 GIS データの精度について, 地理情報システム学会講演論文集, 21, E-1-1.
- 乙井康成, 神谷泉, 小荒井衛 (2012b) : 設計図から作成した三次元 GIS データの精度検証, CSIS DAYS 2012 全国共同利用研究発表大会研究アブストラクト集, 68.
- 乙井康成, 神谷泉, 小荒井衛 (2014) : 既存資料の活用による効率的な屋内三次元 GIS データ作成のためのマニュアル案の作成, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 19, 165-170.