

## I-18 モデル空間を用いた予備設計協議への点群データの活用

## Application of Point Cloud Data for Preliminary Design using Model Space

小林一郎<sup>1</sup>・吉田史朗<sup>2</sup>・野間卓志<sup>3</sup>・小林優一<sup>4</sup>

Ichiro KOBAYASHI, Fumio YOSHIDA, Takuji NOMA, and Yuichi KOBAYASHI

**抄録：**筆者らは、3D-CADにより作成されたモデル空間を用いた協議システム TuC を提案した。TuC はモデル空間を用いるという点で、BIM と同様の概念であるが、土木分野での利用に特化した時点で、全く異なるものとなる。モデル空間を作成する際、3D-CAD で設計対象物は作成できるが、現況空間の作成は困難であり、2次元図面から作られた3次元空間の信頼性が課題である。一方、点群データは、位置や色などの正確な情報を保持しているため、現況を忠実に再現できる。本論文の主旨は、現況把握に点群データを用い、議論の深化に平行し、3D-CADにより設計対象物を順次付加していくことで、協議の速度と質が飛躍的に向上することを示す。

**Abstract:** This paper proposed the conference system “TuC”, using the model space made by 3D-CAD. In case of using the model space, TuC is a concept similar to BIM. TuC specializes in civil engineering. So this concept is quite different from BIM in this respect. The design objects are made easily in model space. However, it is very hard to make the current state space. And making sure of the confidence of 3D-model space, which is made by 2D-drawing, is the subject. On the other hand, the point crowd data have accurate information of position and the color, etc. This enables to reproduce the current state space. This paper shows improvement of the conference-speed and - quality more than this, using the point crowd data to grasp the current state, and add in this date with the deepen of discussion.

**キーワード：**モデル空間、点群データ、予備設計、協議

**Keywords :** Model Space, Point Cloud Data, Preliminary Design, Conference

## 1. 序論

筆者らのグループは、設計段階において3D-CADにより作成されたモデル空間を用いて、設計および施工段階に発生する問題を可視化し、設計の質向上を図る協議システム TuC を提案した<sup>1)</sup>。TuC はモデル空間を用いるという点で、BIM<sup>2)3)4)</sup>と同様の概念であるが、土木分野での利用に特化した時点で、全く異なるものとなる。土木設計では、①空間（地形表現も含め、周辺空間と設計対象との関係把握）、②時間（調査から完成までの各段階での干渉チェック等の確認）、③人的対応（住民、複数の発注者・コンサル、委員会、警察等への折衝等）等に多くの協議を必要とする。つまり、単に数値を拾えば良い詳細設計以上に予備段階での検討事項が建築設計とは比較にならないほど多い。

BIM が設計システムであるとするなら、TuC は当然それを包含しつつも、基本的には協議システムとなる。それでは主として予備段階に力点をおいた場合、モデル空間の作成法はどのようなものが最良であろうか。土木分野では地形データを扱うため、その趣旨<sup>5)6)</sup>を生

かすためには、計測データがそろった時点で、現況把握から設計検討へシームレスに移行できることが望ましい。図-1に、現況把握と設計検討に分けてレーザ計測による点群データと3D-CADの得失をまとめた。

	3D点群データ	3D-CAD
現況把握 (予備設計)	a ◎	b △
設計検討 (詳細設計)	c ×	d ◎

図-1 点群データと3D-CADの得失

3D-CADでは設計対象物は作れても、現況空間（たとえば、街並みや電柱等）の作成は困難であり、2次元図面から作られた3次元空間の信頼性も高くはない。一方点群データは、現況を表現したものであり、各点は設計検討に十分な精度の位置情報を持っている。

本論文は、現況把握に点群データを用い、議論の深化に平行し、3D-CADにより設計対象物を順次付加していくことで、協議の速度と質が飛躍的に向上することを示すことにある。つまり、図-1bで現況空間を作成するのではなく、aからdへの移行を提案する。

1：正会員 工博 熊本大学大学院 教授 自然科学研究科

(〒860-0855 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1, Tel: 096-342-3531, E-mail: ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

2：正会員 学士(工) 旭測量設計株式会社 取締役 企画部 次長 (Tel: 096-368-3074, E-mail: f.yoshida@asahi-sk.com)

3：学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程 (Tel: 096-342-3531, E-mail: noma-t@pref.kumamoto.lg.jp)

4：学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (Tel: 096-342-3531, E-mail: 108d8820@st.kumamoto-u.ac.jp)

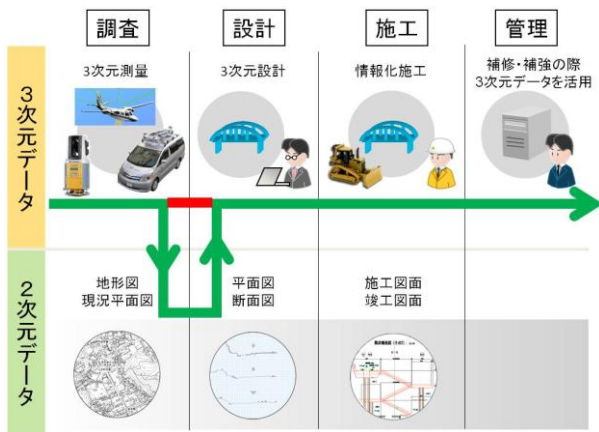


図-2 予備段階における点群データの利用

これが実現すれば、図-2の赤色で示した、建設ライフサイクルにおける最後の断点である調査（測量）から設計への3次元データの直接受け渡しが可能となる。点群データの利用は現時点ではコストの面で問題があるが、計測直後に予備検討が可能となり、設計対象物の大まかなオブジェクトを3D-CADで作成するだけで、予備設計だけでなく施工性や完成後の使用性（動線や視距確認など）の検討が可能となる。現在3次元設計データをもとにした情報化施工や出来型確認も、現実のものとなりつつある中、測量データの直接利用による予備検討は、極めて有効であると考えられる。

また、これにより、施工・維持管理も考慮した設計が可能となり、ライフサイクル全般にわたるトータルな時間短縮・コスト削減の効果は極めて大きいものと考えられる。

第2章では、モデル空間の概要及び有効性を示し、点群データを活用することを提案する。第3章では、点群データにより提案法と利用効果を示す。第4章では、駅周辺整備事業の歩道橋設計において、点群データをモデル空間へ用いて予備設計協議を行い、点群データの活用について考察を行う。

## 2. モデル空間の概要と提案

### (1) 概要

モデル空間とは、設計対象やその周辺を3次元的に表現した空間である<sup>7)</sup>。モデル空間内で視点、オブジェクトの移動、表示・非表示、背景の変更等を行い、協議に利用する。モデル空間を用いて予備設計段階で協議を行う場合、各関係者間や複数の関係者との設計、施工、管理に関する3項目の調整が必要である。

#### a) 空間調整

モデル空間内の任意の視点から設計対象となる構造物だけでなく、周辺地形や既存構造物との空間的関連性を検討しながら設計を行う(図-3)。これより、構造物間の物理的干渉の有無の確認、景観検討、および利用者の動線計画などについての把握が可能である。



図-3 空間の可視化

#### b) 時間調整

モデル空間に時間情報を加えることによって、時間的要素を考慮した設計を行う(図-4)。これより、施工過程の可視化からヤード選定、重機の搬入、配置位置、可動範囲などについて確認する。また、複数の設計対象物が存在し、同時期にそれぞれの工事が行われる場合、個別に検討するのではなく、施工全体を可視化し確認が行える。



図-4 時間の可視化

#### c) 人的調整

土木設計には、発注者、住民、設計者など複数の関係者間へのプレゼンテーションを行うことが不可欠である。相手の立場との関係により確認、指示、説得、合意などの行為の目的は異なるが、モデル空間を共有することで、その調整が容易となる(図-5)。

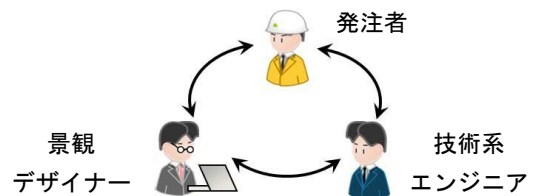


図-5 人的調整

### (2) 設計協議

前述したモデル空間による3項目の調整を図ることで、各段階で生ずる問題を設計協議時に早期解決することが可能である。この調整は、Web掲示板等を利用した非同期分散型である情報交換場と、全関係者が一堂に会して協議する同期集中型である合意形成場の2種類に分けることができる(図-6)。

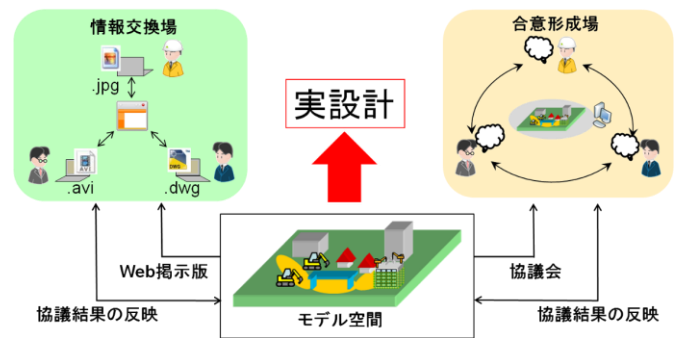


図-6 設計協議概念図

実設計をスムーズに行うためには、事前に情報交換場を用いて課題を整理し、情報を共有することが重要といえる。モデル空間が現況を正確に捉え再現されて

いれば、設計漏れやミスが減らすことができる。モデル空間の精度が、設計協議の進捗を左右することに繋がる。

**(3) 提案**

図-7 は、前掲図-1 に具体的なモデル空間を当てはめたものである。ここでは、電車軌道が併設された地方幹線道路上の高架鉄道橋に平行して架設される歩道橋の設計検討を行う。

従来型では、図-7d の 3D-CAD 空間を作成する。さらにその前提となる図-7b の周辺構造物モデルの作成を行うが、その労力は大きい割に精度は高くない。一方、図-7a は、MMS と固定式レーザ測定のデータで、計測後 2、3 日で現況空間が表示可能である。図-7a の空間に図-7d' のように 3D-CAD で設計対象物等を挿入すると、詳細設計も可能となる。

モデル空間の精度を高める点で 3D 点群データの利用は現況再現が正確という点で優れており、設計漏れやミスが減らすことができる。これより、設計協議の省力化にも繋がると思われる。

将来的には、モデル空間利用の流れは「3D 点群データを主とし、一部に 3D-CAD を用いる」という方向になるべきと考える。






	3D点群データ	3D-CAD
現況把握 (予備設計)	a 	b 
設計検討 (詳細設計)	c 	d 
	d' 	

図-7 モデル空間の構成

**3. 提案法の概要と利用効果**

**(1) 空間の構成要素とその利用法**

3D-CAD 空間では極めて困難であったことが、点群データを用いることで容易に、かつ高精度で実現できる。以下に点群データを用いたモデル空間を構成する要素とその利用法をまとめる。

**a) 点**

点データは、x, y, z の座標位の他に、RGB の色情報を有している。MMS データは、誤差 0.1(m)程度、固定式レーザスキャナは、誤差 mm 単位程度の取得精度である。

2 点の情報を用いることで距離や角度、面積の情報も、協議中に確認することが可能である。

**b) 点群**

家や木は属性をもっていないが、視覚的には確認可能である。たとえば、窓からの眺めや、構造物から窓の中が見えるかといった確認は容易である。

**c) アバター**

空間内のアバター（人間の視線）を介して、景観検討や信号の可視・不可視の協議も可能である。右折レーン増設時のバス運転席からの視線チェックも行えた。

**d) 3D-CAD オブジェクト**

空間内に図-7d' のようにオブジェクトを付加することで、詳細な設計検討が可能となる。予備段階では長方形を設定し、他の構造物との位置関係を確認し、大まかな施工検討ができる。細部の詰めの段階になれば、実設計を行って検討することもできる。

**e) 2 次元 CAD 図面**

図面がもつ各情報は CALS/EC<sup>8)</sup>の電子納品によりレイヤ分けされている。したがって、図-8, 9 のように、必要な 2 次元図面に高さを与えて点群データに追加することにより、モデル空間を補完できる。以下は、補完データの種別である。

**①計測不可物 (図-10)**

地下埋設管、地質など、3 次元レーザスキャナで取得不可能な情報。既存の維持管理資料や平面図、地質資料など、現行設計業務で利用される図面を用いる。

**②計測不十分物 (図-11)**

天候や計測現場の状況により計測されなかった情報。現行設計業務で利用されている図面を使用する。

**③計画物**

道路の設計図など、現況には存在せず将来的に設計対象物に影響を与える情報。他の設計対象物の計画平面図等を利用する。

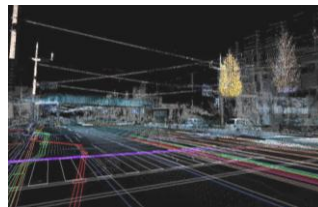


図-8 地上の様子

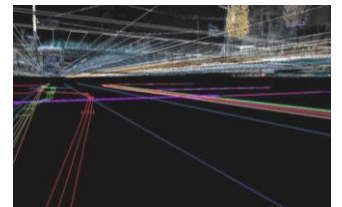


図-9 地下の様子

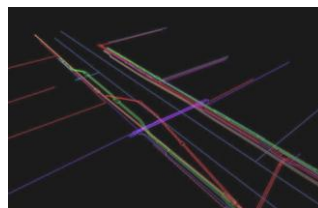


図-10 2次元図面



図-11 市電軌道の平面図

## (2) 効果

### a) モデル空間構築の作業概念

図-12 は、モデル空間構築における測量と設計の作業関係を表した概念図である。従来は予備段階において、平板測量、縦横断測量等の2次元図面データをもとに3D-CADを用いて現況モデル空間を作成した。その後、詳細設計で再測量された詳細データや、用地測量データなどをもとにモデル空間を作成していった。また、施工段階においては手戻り設計cが発生する度にモデル空間を再構築し検討を進めていた。

提案では、予備段階において取得する点群データへ、検討時に適宜3D-CADオブジェクトを作成・追加することで、現況モデル空間を構築していく。予備段階において現況モデル空間が忠実に再現されるため、設計対象となる構造物と周辺構造物との干渉確認や施工検討が可能となる。それらは、従来の詳細段階や施工段階において検討していたことである。しかし、本提案では予備段階において事前に議論し、詳細段階では設計対象物のみを考慮した検討ができる。最終的に、予備段階において施工性の検討を行うため、施工段階において発生する手戻りを縮減できる。



図-12 モデル空間構築における作成概念図

### b) 労力変化

図-13 は、図-12 にて示したモデル空間構築の作業概念図から測量の労力と設計の労力部分をそれぞれ抜きだし、定性的に示したものである。

#### ①測量の労力(図-13a)

従来において予備段階と詳細段階における労力は、図-12の予備設計の測量労力A、詳細設計の労力Bを合わせたものになる。一方、提案では予備段階において、一度の点群測量を行うだけでよいので労力Cのみである。予備段階において従来の測量労力Aと提案の点群測量労力Cを比較すると、提案の点群測量の方が予備段階においても労力がかからない。これは点群データの測量の容易さと、1回の測量で取得できるデータ量の違いである。したがって、従来の労力の合計(A+B)と提案の労力Cを比較すると、労力は大幅に

減少する。

#### ②設計の労力(図-13b)

従来の設計は2次元図面より現況モデル空間を全て作成する労力a、詳細段階における作成労力b、施工段階における作成労力cの合計である。提案では、予備段階において点群データへ検討時に適宜3D-CADオブジェクトを作成する労力d、詳細設計での設計対象物の作成労力eの合計となる。この労力差は、予備段階で点群データを用いて迅速に検討へ移行できる効果を示している。

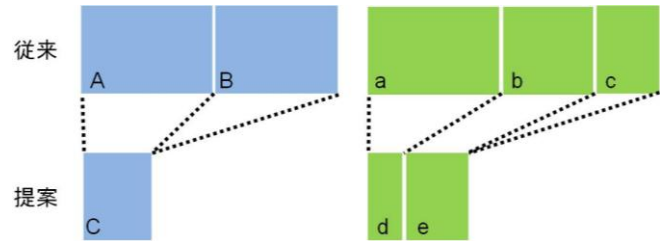


図-13 測量と設計における労力変化

### c) 建設ライフサイクルにおける労力変化

予備段階において点群データを用いた現況モデル空間で設計、施工、管理について協議を行い、結果を設計案へ反映する。予備段階で各段階の問題点を処理しておくことで、後の実際にかかる各段階の労力は軽減されると考える。従来と提案した各段階の業務労力を図-14に示す。提案した点群データを用いたモデル空間は予備段階において、各段階に関する調整を行うため検討項目として考慮した場合、増加する。しかし、図-13に示すように測量と設計の作業労力は大幅に減少するため、結果的に概念図においても減少する形となる。問題点を事前に発見・解決することで、詳細段階では、予備段階で提案された明確な設計要件のもとに構造物における設計を行える。

施工においては、施工工程を考慮した設計がなされているため、不慮の設計変更や手戻り工事等による施工の負担が軽減され、施工コストも削減できる。さらに、モデル空間を用いて3次的に検討可能であるため、管理段階における利用者が使いやすいものを設計できる。そのため、竣工後の利用者からの苦情は軽減され、対応が減ることが想定される。以上のように、予備段階において点群データを用いてモデル空間を深化していくことにより、各段階での労力は軽減されるため、建設ライフサイクル全般において労力の削減を図ることができる。

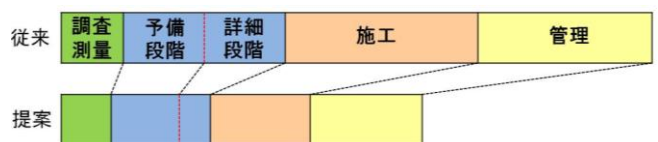


図-14 各段階の労力変化による概念図

## 4. 適用事例

### (1) 対象地概要

#### a) 設計対象物

対象事業は熊本県熊本市新水前寺駅地区交通結節点改善事業である(図-15)。対象地は都市部の幹線道路、鉄道、市電の交通結節点であり、予定されている工事は、①駅舎と高架橋の新設(民間企業発注)、②歩道橋の新設と道路拡幅工事(県発注)、③駐輪場の新設(市発注)、④電停、軌道移設(交通局発注)であった。それらを色分けした計画平面図を図-16に示す。

本事例の対象は県発注の歩道橋についてである。現場では同時期に複数の構造物が新設または移設され、周辺には民家や地下埋設管、路面電車の軌道といった既存構造物が複雑に存在する。また発注者が異なり、それぞれの設計は個別に進められているため、事業ごとの調整が重要視された。

#### b) 協議チーム

発注者からは県、市、民間企業の担当者が参加し、データ提供を受けた。また、対象である歩道橋の発注者は県であったため、県の担当者がチームをまとめる役割を担った。景観デザイナーとして大学グループが参加し、モデル空間を構築して検討を行った。技術系エンジニアには設計コンサルタント会社が参加し、大学が提案した案に対して構造計算等の技術的要素をふまえて設計を行った。

### (2) モデル空間の構築

#### a) 点群データ

図-17は、MMS<sup>9)</sup>と地上固定式3次元レーザスキャナ<sup>10)</sup>で取得した点群データを可視化したものである。本事例ではそれらのデータを直接モデル空間として利

用する。

#### ①MMS データ

街区全域の情報としてMMSデータを使用した。同一地域に新設される他の設計対象物との関係性、また、住宅の窓からの見え方など、事業がもたらす影響を住民目線で検討できる。

#### ②地上固定式3次元レーザスキャナ

固定式3次元レーザスキャナで取得されるデータを使用した。ミリメートル単位で現況情報が取得されることから、重機の可動範囲など、細かい検討が可能となる。市電の架線、電柱など柱状構造物のデータとして利用した。

#### b) 補完データ

図-17の現況点群データに各平面図を追加し補完することにより、現況モデル空間が完成する。図-18は、補完データを含めたモデル空間である。以下は補完データの詳細である。

#### ①計測不可物

対象地の地下には多数埋設管が存在する。地下の点群データは取得不可能なので、地下埋設物表記の平面図に高さを与えた。

#### ②計測不十分物

点群データが光の影響により本来の色が取得されず、白や黒色になり視覚的に困難になる箇所があった。また、車両や歩行者、放置自転車の存在により点群データが取得されなかった。以上のことから、市電軌道の点群データや後背エリアの情報が不足していたためそれらの平面図で補完した。

#### ③計画物

対象地には複数の設計対象物がある。歩道橋の設計に影響を与える計画車道の平面図を追加した。



図-15 現況写真

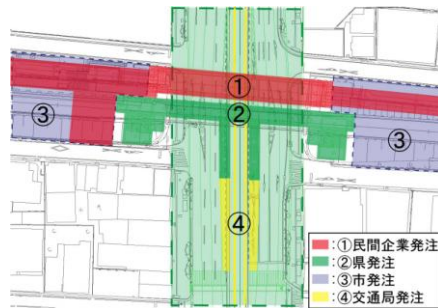


図-16 計画平面図

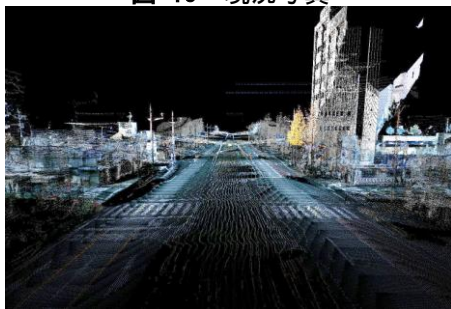


図-17 点群データ

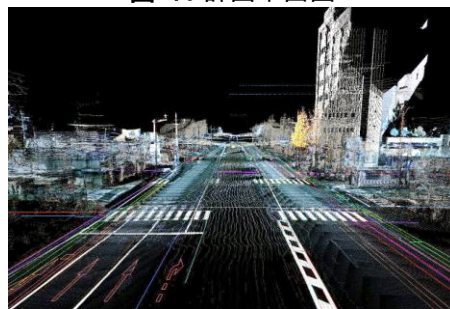


図-18 点群データ+補完データ

### (3) 適用結果

#### a) 概略検討

点群データは x, y, z の情報を持つため、任意の箇所の縦断、横断の情報等を取得することができる。これより視覚的、および数値的にも 3 次元的に現況把握することで、簡易的な 3 次元モデルを配置し様々な概略検討をすることが可能である。歩道橋の計画では箱のような 3 次元モデルを配置して、形状選択を行った(図-19)。また、図-20 は橋脚の配置検討として筒状の 3 次元モデルを無数に配置し、地下埋設物との干渉を確認しながら位置や大きさの検討を行った。

#### b) 干渉確認

モデル空間に歩道橋と概略の周辺構造物を追加し、設計検討を行った。歩道橋は中央部に 2 本の橋脚を持つ 3 径間の桁橋であった。図-21 に示すように、橋脚の杭がそれぞれ上水道管と下水道管と干渉していることが確認された。その結果、中央部に橋脚の無い改善案が提案されることになった。

#### c) 景観検討

点群データで計測不十分であった街路樹や架線など、検討に必要なデータのみモデル空間へ補完した。表-1 は、桁橋よりも強度の高い単径間の A 案：トラス橋、B 案：フレンドリー橋を検討したものである。点群データは色情報を持っているため、現況の雰囲気が再現される。これより、歩道橋の見え方や構造など、様々な視点から確認した。

#### d) 施工検討

##### ① 施工工程の再現

現況を忠実に再現している点群データと設計対象物、および事業で使用される重機や機材を作成し、モデル空間を構築した。各施工の工程表はそれぞれ個別に発注され作成されている。また、都市部であるため施工ヤードが限られており、同時期に複数の施工を行うため施工全体の調整が必要とされた。図-22 は、各工程表をもとにモデル空間に時間情報を加えることによって、事業全体の施工状況を再現し段階的に可視化した図である。このモデル空間を用い、施工全体の重機や機材の配置位置の確認・調整を行った。

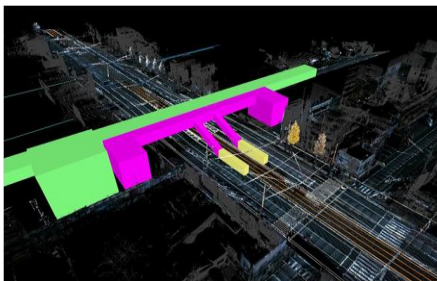


図-19 形状の概略検討

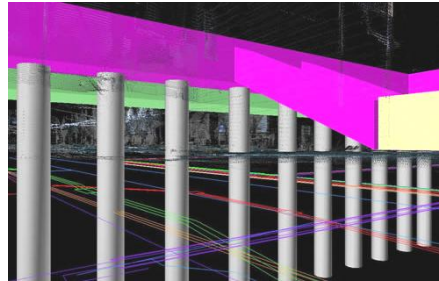


図-20 橋脚の概略配置検討

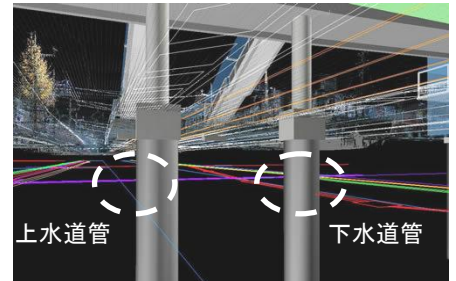


図-21 杭と埋設管の干渉

表-1 検討案の比較

	鳥瞰図	正面図	内部図
A			
B			

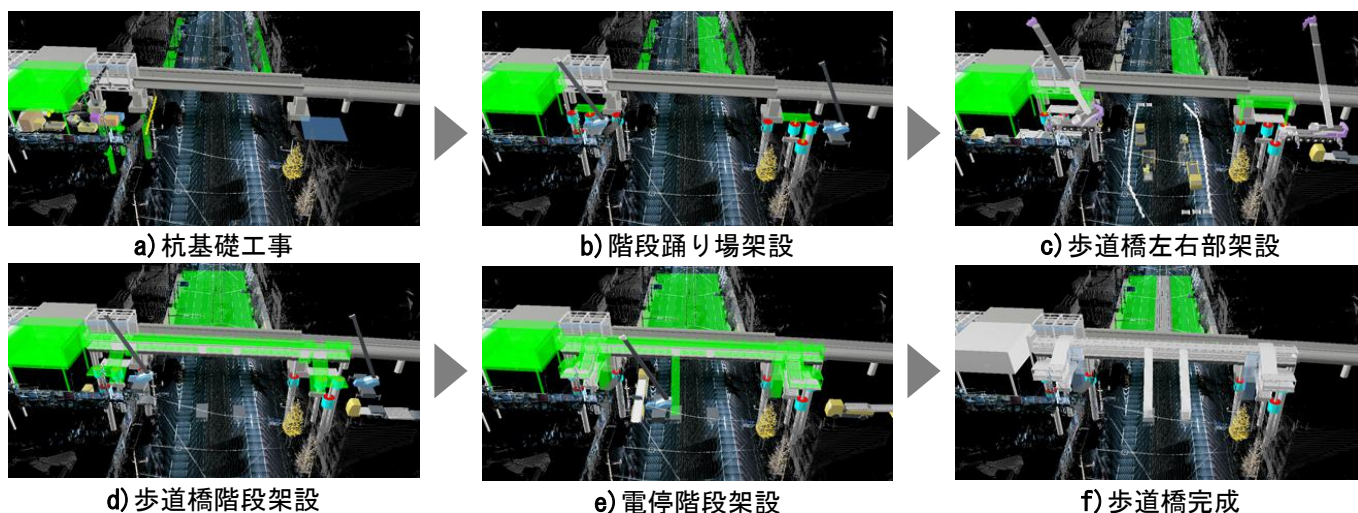


図-22 施工全体の再現

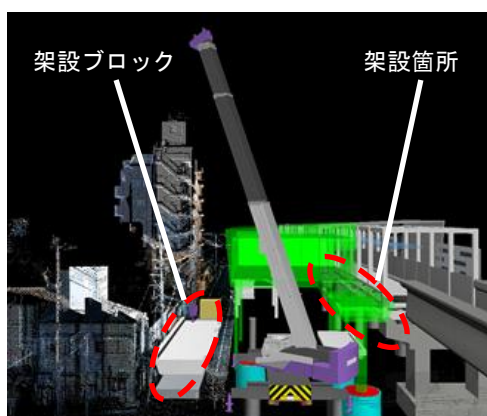


図-23 架設ブロックの施工

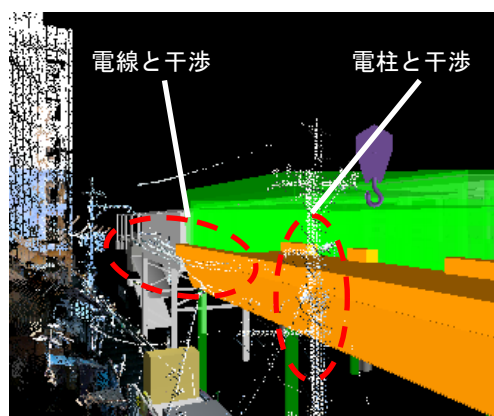


図-24 電線、電柱との接触

## ②重機の動的検討

モデル空間において、施工図面をもとに重機の可動範囲および作業半径など実際に動かし確認を行った。

図-23 は、架設ブロックの施工である。架設ブロックをクレーンにて吊上げ、架設箇所へ移動させる際、同時期に施工中の駅舎およびブームとの接触の有無を確認した。その結果、点群データで再現された電線と電柱にそれぞれ干渉することが明らかとなり（図-24）、電柱の移設について協議されることが新たに決まった。本問題は、施工段階より前に確認することができたため、施工現場での手戻りを防止できた。

### (4) 考察

#### a) 点群データの有効性

点群データを用いることにより、現況を忠実に再現したモデル空間が迅速に構築できることは、先に詳述した。本事例において、設計および施工の干渉確認は、点群データの有効性を特に示すものとする。電線や架線など空中に存在するものと、設計および施工対象物との干渉は、2次元図面の平面図や立面図では発見されていなかった。よって、点群データをモデル空間へ用いる有効性が示せたといえる。

#### b) 設計協議における効果

適用事例は、対象地において同時期に設計、施工さ

れる現場であった。従来の協議は、事業関係者で一堂に会することで具体的な議論を重ねていく。しかし、所在も異なる事業関係者で日程調整を行い、何度も一堂に会することは現実的に困難である。本研究では、点群によりモデル空間を迅速かつ正確に捉え、精度を向上図ることで、非同期分散型の情報交換場を主に設計協議を進めた。現況が正確に再現されているモデル空間であるため、干渉等の課題を事前に把握し調整することが可能であった。これにより、同期集中型の合意形成場においては議論の円滑化が図れ、全体として協議時間の短縮がなされた。

#### c) モデル空間の作成労力

3次元モデルは個々の3次元オブジェクトから構成されるものであり、この数と作成労力は比例すると考える。しかし、本提案では各検討段階において適宜3D-CADで追加作成し、検討を行った。このとき、現況空間を点群データで再現することにより、現況モデル空間の構築が容易に行えた。したがって、従来と比較すると労力を軽減することができた。また3次元レーザスキャナにて測量する際、点群測量機材を現場に応じて使い分け、追加測量して補完することにより、現況把握が詳細にできるといえる。

## 5. 結論

本論文では、点群データをモデル空間へ用いることを提案し、予備設計段階の協議へ活用することにより、その有効性を示した。第2章では、モデル空間の概要および有効性を示し、課題をあげた。第3章では、モデル空間へ点群データを利用することを提案し、その効果を示した。第4章では、駅周辺整備事業の歩道橋設計において、点群データと2次元図面によって構築されたモデル空間を用いて予備段階において、協議した。事例として現況の再現、概略検討、干渉確認、施工工程の再現、重機の動的検討を示し、考察を加えた。

点群データをモデル空間へ用いることにより、建設ライフサイクルにおける最後の断点であった調査から設計への直接受け渡しが可能となった。

予備設計段階において、迅速に現況モデル空間を作成し、概略検討、干渉確認、景観検討、施工検討といった様々な検討項目について協議し、調整した。これより、後の詳細設計や施工段階における手戻り設計を縮減することができ、3次元設計が迅速かつ容易に行える可能性を示した。

一方で、現段階では点群データを2次元図面で補完しているため、完全な3次元設計を行っていないことが課題としてあげられる。予備段階において点群測量を行った後、3次元設計をし、施工段階へ移ることが理想である。また、それらが可能ならば、施工段階における手戻りもなくなると想定される。

今後の展望は、①点群データ内の属性分析手法の開発（木と電柱の区別など）、②本手法の効果を高める測量法の検討（予備設計段階で必要となる箇所の特定制と計測）、③より大量の点群を表示可能な協議用ビューアの開発などである。

**謝辞：**本研究を進めるにあたりご協力頂いた、(株)ウエスコ、(株)大建測量エンジニアには、点群データを提供していただきました。また、熊本県熊本土木事務所、熊本市都市計画課、熊本市交通局、九州旅客鉄道株式会社、(株)インフォマティクスには設計、施工に関連した様々なデータを提供していただきました。ここに記して謝辞を表します。

## 参考文献

- 1) 小林一郎, 池本大輔, 竹下史朗, 坂口将人: 3D-CAD を基盤としたトータルデザインシステムの提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.171-182, 2008年11月.
- 2) Brad Hardin: BIM and Construction Management, Sybex, 46 p, 2009.
- 3) 山梨知彦: 業界が一変する BIM 建設革命, 日本実業出版社, 85 p, 2009.
- 4) 大西康伸, 中村達也, 両角光男, 村上祐治, 本間里美: 三次元建物形状のウェブ表示システムの開発と利用評価—施主の設計案理解のための BIM を活用した支援システムに関する研究—, 日本建築学会研究報告, 九州支部 第48号, 3計画系, pp.33-36, 2009年3月.
- 5) 朝重亜紀子, 小林一郎, 松尾健二, 竹本憲充: 3D-CAD を用いた分水路設計検討に関する実証的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.161-170, 2008年11月.
- 6) 小林一郎, 竹本憲充, 高尾篤志, 山根裕之, 星野裕司: 地形設計初期段階への立方体地盤モデルの適用, 土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.17-24, 2009年10月.
- 7) 小林優一, 小林一郎, 野間卓志, 坂口将人: 設計時の施工検討への3次元データの利用, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 平成21年度, pp.799-800, 2010年3月.
- 8) 財団法人日本建設情報総合センター: 公共事業受発注者のための CALS/EC ガイドブック, 財団法人経済調査会, 125p, 2009.
- 9) 株式会社ウエスコ: モービルマッピングシステム(MMS), <<http://www.wesco.co.jp/work/sokuryou/data/r1000190002>>, (入手 2010.5.26) .
- 10) 株式会社大建測量エンジニア: 3次元レーザスキャナ <<http://www.daiken-se.co.jp/introduction2.html>>, (入手 2010.5.26) .

(2010. 5. 28 受付)