

現場で使える公共構造物デジタルツインの構築

中村 健二・塚田 義典

近年、レーザ計測技術の革新に伴い、道路空間の3次元形状を点群データとして取得する手段が多様化している。さらに、i-Constructionを契機として、3次元CADデータ等のマシンリーダブルなデータの蓄積・流通も進んでいる。このように、様々なデータが蓄積される中、点群データは、現況形状を正確に把握する手段として利用機会が増大しているものの、点が示す地物の属性を保持しないため、用途に即して賢く使うことが難しい。

そこで、筆者らは、点群データをプロダクトモデル化して効率的に管理するための要件を定め、その要件を満たすデータ管理仕様を策定した。そして、仕様に準拠して構造化した点群データをSemantic Point Cloud Dataと呼称し、この仕組みを備えた公共構造物デジタルツインの構築に取り組んでいる。

キーワード：i-Construction, デジタルツイン, Semantic Point Cloud Data

1. はじめに

レーザ測量技術の革新および国土交通省のCIMやi-Construction¹⁾による情報化の推進により、公共構造物の点群データが計測・蓄積されてきている。この潮流は地方公共団体でも同様で、静岡県では仮想3次元県土を目指して、点群データを蓄積・公開している²⁾。

公共構造物の維持管理に点群データを活用する取り組みも盛んである。全国109の一級水系では、レーザ測量成果の点群データ（レーザープロファイル）を用いた河川管理が行われている。道路管理では、首都高速道路のInfraDoctorの好事例³⁾、さらに奈良県香芝市では道路空間の点群データの公開事例もある⁴⁾。このような社会潮流を受けて、最近では点群データの用途開発が話題になる機会が多くなっている。道路管理や道路交通サービスの高度化に加え、スマートシティ・スーパーシティ、都市OSやデジタルツインへの活用など、様々なところで点群データに対する期待が高まっている。

上述のとおり、業界関係者の協力により、新設・既設の両方の公共構造物の点群データを蓄積する仕組みが定着してきている。この潮流を活かし、大きな発展を目指し、筆者らは、公共構造物の点群データの特長を活かしたスマートなメンテナンスの仕組みづくりに果敢に取り組んでいる。

本稿では、筆者らの公共構造物の点群データの活用

に向けた取り組みとして、第2章にて、点群データに意味付けして構造化する取り組みを述べる。そして、第3章にて構造化された点群データを活用した公共構造物の維持管理支援に関する活動を詳述し、第4章にて総括する。

2. 構造化点群データ（Semantic Point Cloud Data）の提案

(1) 点群データの利活用時の課題

点群データは、都市空間上のX、Y、Zの座標やRGB値（色のデータ）などを保持した膨大な点の集合体である。また、点が示す地物や他点との関係情報を保持しないため、用途に即して賢く使うのが難しい特徴がある。公共構造物の管理者にヒアリング調査すると、日常巡視、定期点検や苦情・災害対応に対する点群データの活用に資する技術開発に関して、多くの要望があった。一方で、点群データの活用環境の整備は過渡期であり、次のような課題認識を保持されていた。

- ・公共構造物の管理者が点群データを手軽に確認・編集するための環境がない。そのため、点群データを保有していても、法面のはらみ出しや路面の変状など、地物毎の変状や時系列変化などを容易に把握できない。
- ・点群データはデータサイズが大きく、対象箇所の点

群データを容易に検索・取得・閲覧できない。そのため、苦情や問合せがあっても、即座に対象箇所の点群データにアクセスできない。

この解決の方向性として、点群データの利活用環境を整備するとともに、“点群データ”と“コンピューターリーダーなデータ”とを関連付けて効率的に活用するためのデータ構造を定義し、利活用環境の共通化を図ることが肝要と言える。

そこで、筆者らは、トレーサビリティの確保とデータ交換の容易性の二つの観点から、大容量の点群データをプロダクトモデル化（以下、構造化とする。）して効率的に管理するための要件を定め、その要件を満たすデータ管理仕様⁵⁾を考案した。そして、仕様に準拠して構造化した点群データを Semantic Point Cloud Data⁶⁾と呼称し、この仕組みを備えた公共構造物デジタルツインの構築に取り組んでいる。

(2) 要件定義と設計方針

筆者らは、大容量の点群データを構造化して効率的に管理するための要件を次のとおり設定した。

- 要件 1. 点に複数の属性情報を効率的に付与できること
- 要件 2. 点に付与した属性情報を容易に編集できること
- 要件 3. 点が他点との関係性を保持できること
- 要件 4. プログラム処理が容易であること
- 要件 5. 属性情報のデータ交換が容易であること
- 要件 6. トレーサビリティを確保できること

一般に、点に属性値を付与させるためには、X, Y, Z座標、反射強度等を保持するフィールドと同様のフィールドを新規に追加し、全点に対して数値や文字を設定する。しかし、この方法では、同一点に複数の属性値を付与することが難しく、フィールドを増やす度にデータサイズが肥大化する。特に、属性値を付与する必要の無い点に対してもデータ領域を確保する必要があるため、非効率的である。また、ユーザ毎に属性値の定義方法が異なる上に、点群データ自体に属性値を含めるため、データ交換も容易とは言い難い。したがって、上述の要件を満たさない。

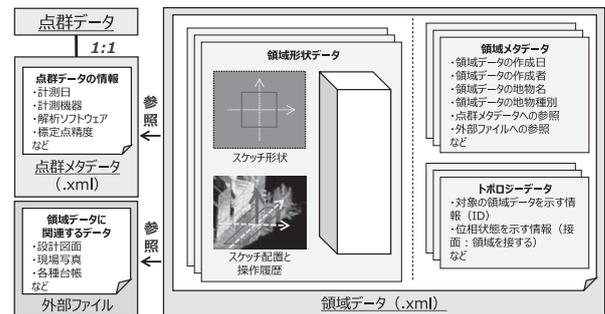
そこで、筆者らは、点群データとは別のファイルにて、計測日や計測機器等のトレーサビリティに関わる諸情報を保持する点群メタデータと、地物の位置・属性・位相情報を保持する領域データを定義した。そして、これを基本方針として、具体的なデータ構造を設計した。

(3) 点群データの構造化の構想

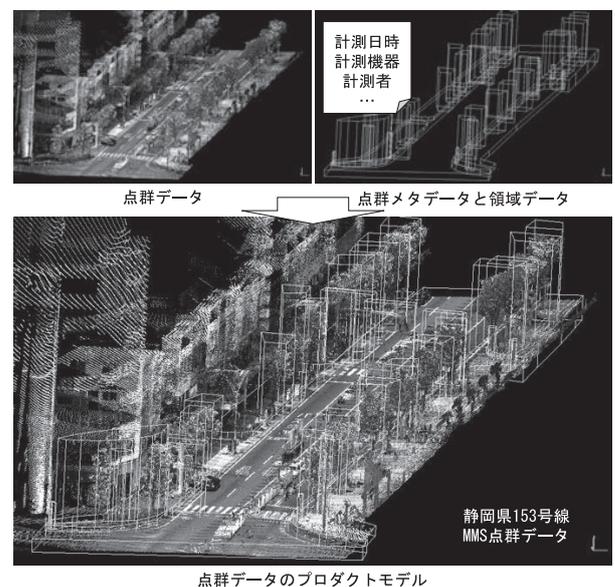
前節の方針に従い、要件定義を満たすためのデータ構造を図—1に示す。このデータ構造では、1つの点群データに対して、点群メタデータと領域データをそれぞれ1つずつ作成する。点群メタデータと領域データは、XML形式のテキストファイルとする。

図—1に示すとおり、地物の位置や名称を複数記録できる領域データを点群データとは別ファイルで定義することにより、要件1と要件2、要件3、要件5を満たす。また、領域データは、他の領域データとの位相情報を保持することにより、要件4を満たす。加えて、計測日や計測機器等の情報を記録できる点群メタデータを点群データと別ファイルで定義することにより、要件6を満たす。

筆者らは、図—1に示すデータ構造を保持する点群データを「Semantic Point Cloud Data」(図—2)と呼称し、BIM/CIMモデルとの連携を考慮しつつ、計画・設計から施工、検査、維持管理までの全ての建設生産プロセスで生じる点群データの利活用を促進する。



図—1 データ構造



図—2 Semantic Point Cloud Data のイメージ

(4) 点群メタデータの仕様

点群メタデータは、トレーサビリティの確保のために保持することが強く推奨される情報のみを既定項目として定め、その他の情報はユーザが任意に拡張可能な仕様とする。規定項目は、点群データの主要なファイル形式であるLAS(American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) Ver.1.3等を参考に、表-1に示すとおり定めた。なお、点群メタデータの詳細仕様は⁵⁾を参照されたい。

表-1 点群メタデータの規定項目

| 項目名 | 記録内容 | 必須 |
|----------|--|----|
| 計測者 | 計測者の氏名 | ○ |
| 計測日時 | 計測の開始日時と終了日時 | ○ |
| 計測機器 | 計測機器のメーカー名や製品名 | ○ |
| 計測機器の詳細 | レーザスキャナ, IMU, GNSS等の搭載機器の仕様 | ○ |
| 計測方法 | 走行または飛行高度, 走行または飛行軌跡, 設置位置, カメラ設定等(計測手段により異なる) | ○ |
| 気候 | 天気, 湿度, 気温, 風速等 | |
| 補正有無 | 標定点等による補正の有無 | ○ |
| 精度 | 標定点精度 | |
| 使用ソフトウェア | 点群データの生成に使用したソフトウェア, 設定パラメータ | |
| 点群データの詳細 | 点群データが保持する属性情報(フィールド数やレンジ等) | ○ |

(5) 領域データの仕様

領域データは、図-1に示すとおり、地物の位置情報を示す「領域形状データ」、領域形状データに対して作成日や地物名等の属性情報を保持する「領域メタデータ」、そして領域データ間の位相を保持する「トポロジーデータ」で構成される。

(a) 領域形状データの仕様

領域形状データは、図-3に示すとおり、ISO10303 Part108⁷⁾で定義されるスケッチと、ISO10303 Part55⁸⁾およびPart111⁹⁾で定義される操作履歴とを用いて生成する。スケッチとは、3次元形状を生成するための2次元断面(底面)のことである。したがって、スケッチは、任意平面を示す情報と幾何要素を保持する。任意平面を示す情報とは、平面を定義するために必要な原点と直交する2軸方向を示す値である。これらの値をスケッチが保持することで、任意のスケッチを3次元空間上に配置できる。本仕様におけるスケッチ上に配置できる幾何要素は、矩形、円形、折線の3種類(図-4)とする。矩形は、全ての角が直角となる四辺形であり、4点の座標で定義する。円は、定点

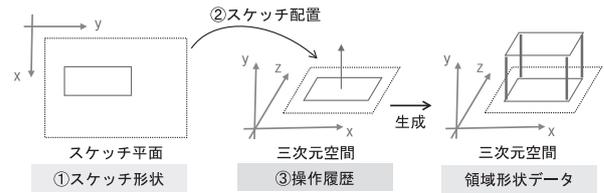


図-3 領域形状データの生成フロー

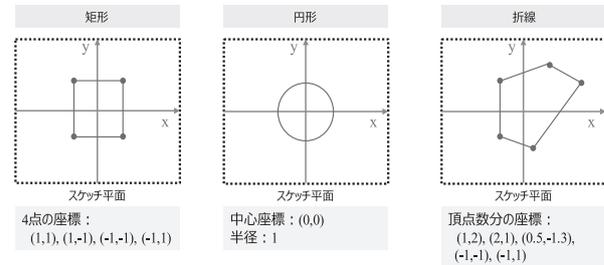


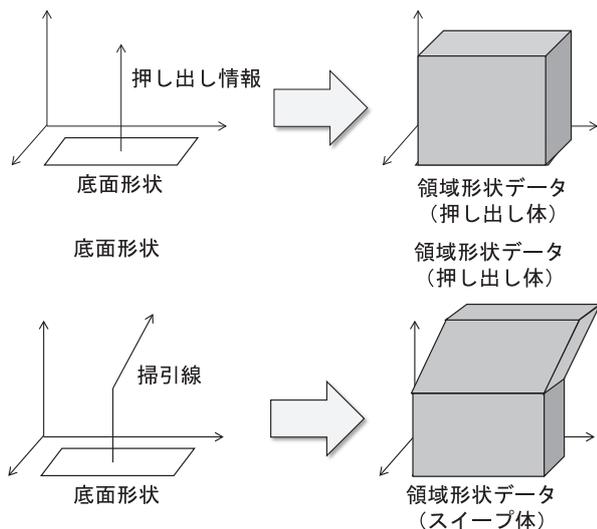
図-4 スケッチ上に配置できる幾何要素

からの距離が等しい曲線であり、中心座標と半径で定義する。折線は、線分の集合であり、頂点数分の座標で定義する。ただし、開始点と終了点を接続した閉じた矩形に限定する。これらの幾何要素の形状を定義するパラメータは、SXF¹⁰⁾を参考とする。また、本仕様におけるスケッチの3次元空間上への配置方法は、水平配置、垂直配置、自由配置の3種類とする。水平配置とは、スケッチ平面の軸を配置先座標系の軸に合わせ、地表面に平行となるように設置することである。垂直配置とは、スケッチ平面の軸を配置先座標系の軸に合わせ、地表面と垂直になるように設置することである。配置点の3次元座標、X軸とY軸方向ベクトルで定義する。自由配置とは、スケッチ平面を配置先座標系に自由な向きで設置することである。いずれも、配置点の3次元座標、X軸とY軸の方向ベクトルで定義する。

操作履歴は、ISO10303 Part55およびPart111の定義を参考に設計する。操作履歴とは、3次元の領域形状データを生成するために、スケッチに行う操作及びその順序のことである。本仕様の操作履歴は、押し出しとスイープの2種類(図-5)とする。押し出し(図-5上)とは、スケッチ上で表現された底面形状を押し出すことで領域を生成するための操作である。本操作では、任意に押し出し情報(押し出し方向と押し出し量)を設定可能とする。スイープ(図-5下)とは、スケッチ上で表現された底面形状を掃引することにより領域を生成するための操作である。本操作では、折線の幾何要素を使用して、任意に掃引情報を設定可能とする。

(b) 領域メタデータの仕様

領域メタデータは、表-2に示すとおり、領域形状データの作成者や作成日、地物種別や詳細度を保持



図一五 スケッチ上の幾何要素に対する操作履歴

表一 領域メタデータの項目

| 項目名 | 記録内容 | 必須 |
|-------|---|----|
| 作成者 | 領域形状データの作成者の氏名 | ○ |
| 作成日 | 領域形状データの作成日 | ○ |
| 地物種別 | 設計基準情報、道路面地物、道路面と領域を共有する地物、道路面以外の地物、道路支持地物を示す定数 | ○ |
| 詳細度 | 地物の詳細度レベル (3段階) | ○ |
| データ種別 | 項目「データ内容」の文字列が画像、図面、テキスト、その他のいずれかを識別するための定数 | |
| データ内容 | URL や参照パス等の文字列 | |

する。また、領域形状データに対して、画像や図面等を示す情報を複数個保持できる。これらの情報は、データ種別とデータ内容の項目で保持する。

(c) トポロジーデータの仕様

トポロジーデータとは、ISO10303 Part42¹¹⁾ に定義されている Topology と同様の意味をなし、領域形状データ間の接する・含むといった関連性のことである。一般に、頂点、稜線、面の位相要素で定義されるが、本仕様における位相要素は、異なる地物を示す領域形状データ間が接していることを示す「接領域」のみを定義する。位相を保持することで、例えば、道路に接する全オブジェクトを一括で検索・取得することが可能となる。

3. 公共構造物デジタルツインの構築

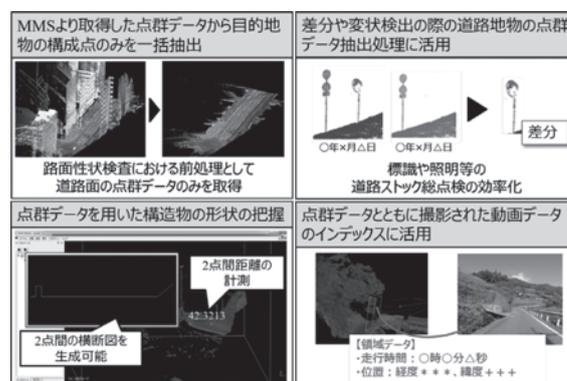
(1) 公共構造物デジタルツインの構想

Semantic Point Cloud Data の有用性を検証するため、公共構造物デジタルツイン (図一六) の環境を構

築した。この環境では、点群データに対して、領域データ等の属性と地図を重ねることで、車道部、標識や照明柱等の道路附帯構造物、法面や擁壁等の道路土構造物等、道路管理の用途に応じて、点群データを道路地物単位で構造化してアクセスを容易にする。Semantic Point Cloud Data を基盤とした本環境により、図一七の具体例に示す通り、任意の道路地物の点群データの取得、異なる時期の道路地物単位の点群データの比較による差分検出、点群データを用いた構造物の形状の把握や画像・動画・台帳などのファイルとの関連付け保存などが可能である。



図一六 公共構造物デジタルツインのイメージ



図一七 点群データと領域データの利用例

(2) 公共構造物デジタルツインの体験会の実施

筆者らは、静岡県道路保全課、沼津土木事務所、建設 ICT 部会等の所属の方、静岡県建設コンサルタント協会等の所属の方の協力のもと、公共構造物デジタルツイン環境の体験会を実施した。体験会では、点群データの閲覧ソフトウェアとして、3D Point Studio¹²⁾ を用いた。体験会後のヒアリング調査の結果を表一三に示す。ヒアリング調査の結果を使用感、用途や業務効率化への寄与の可能性の3つの観点で整理した結果を次に示す。

(a) 使用感

点群データの取扱経験の少ない被験者が多かったため、操作に慣れる必要があるという意見が多くみられ

表-3 ヒアリング調査結果

| 質問項目 | 回答内容 |
|--------------------|---|
| 本環境の使用感はどうか | <ul style="list-style-type: none"> ・動作が非常に軽かった。手軽に点群が表示できるため良かったが、ズームアップやみたい箇所に移動する際に操作がしにくかった。操作に慣れる必要がある ・背面の点群が表示されないため閲覧しやすかった ・一般の人が見るには良いが測量としては機能不足と感じた ・台風15号の災害査定において現場状況の確認でオンラインシステムを活用した。点群から平面図、横断図を簡易にCAD図として作成できると発注作業が容易になる ・災害前後の状況変化や崩壊土量の評価に活用できた。法面の横断を確認する際に道路線形が入っていないと法面断面を設定するのが難しいと感じた。線形にそって垂直を提示し、法面の断面を自動で生成する機能があると使いやすいと感じた ・法面のグランドラインを確認するのも苦労したので、これも自動抽出できるとよく、さらに伐採が必要な樹木が直径や本数がわかると災害査定に使える ・災害前後で同じ位置で横断図を作成することが大変だった。重ね合わせた状態で断面を生成できるとよいと感じた |
| 本環境はどのような用途に利用できるか | <p>現況測量の等高線作成。現地状況の説明や確認。道路幅員の計測。道路勾配の計測。現地調査前の基礎資料の作成。発注者とのデータ認識の共有化。社内でのデータ認識の共有化。災害時の事前状況の確認程度（業者目線では）。道路内や周辺の施設管理（管理者目線では）。点群処理用の容量の大きいパソコンでなくても作業が出来る。3D点群閲覧ソフトを保有していないPCとの情報共有。現地踏査（補足資料）。道路台帳。顧客との情報交換ツール。</p> |
| 本環境で業務効率化が図れるか | <p>現地の詳細な標高がわかる。現況データをPCでお互いに把握することによる効率化できる。点群データを使用しての電話による打合せが可能である。現地の状態等がイメージしやすいので受発注者間でイメージのずれがなくなる。情報の共有化。ネットにオンラインでアクセスできるPCが限られている。</p> |

た。一方、Webブラウザを用いて点群データを簡易に閲覧できるという点は好意的な意見が多く見られた。

また、実務での利用を見越した場合は、横断図を道路線形等に応じて自動的に生成する機能や、図化まで可能な機能を要望する声が多かった。この機能は、今後機能拡張により対応を検討する予定である。

(b) 用途

本環境の用途は、平常時や災害時の現地状況の把握、現地調査前の基礎資料の作成、社内や発注者との意識合わせ等、相互認識の共有化を図る基盤にしたいという声が多くみられた。

(c) 業務効率化への寄与の可能性

本環境によって業務効率化が図れるかという問いには、現業において導入が可能なシーンが存在することと、打合せの内容が具体化できるといった好意的な回答が見られた。一方、外部ネットワーク（インターネット）への接続が可能なパソコンが少ないため、社内や省内のネットワーク内に限定した稼働を要望する声もあった。

以上のヒアリング調査の結果、本環境が点群データを簡易的に閲覧できることから、日常や災害時の維持管理業務において、相互認識の共有化を図る基盤として活用できることがわかった。一方、公共構造物デジタルツインの利用環境である3D Point Studio¹²⁾の機

能に関わる要望等の意見も多くみられた。今後の業務への利活用を想定した場合、専用機能が一部不足しており、それらを要望する声を多数収集できた。

4. おわりに

本研究では、i-Constructionの深化に寄与する点群データの効率的な管理手法を開発するため、新たに点群データのプロダクトモデル「Semantic Point Cloud Data」を提案・実装した。点群データのプロダクトモデルの実装をとおして、既存のデータ管理手法の課題である「データサイズが肥大化する課題」や「属性として他資料の関連付けが困難な課題」、「属性をデータ交換できない課題」を解消可能であることを明らかにした。CIM・i-Constructionの推進により、今後もマシンリーダブルなデータが着実に蓄積されることを見据えると、点群データを簡便かつ賢く扱うための仕組みづくりが必須といえる。今後は、同仕様と同仕様準拠したソフトウェアの開発をとおして、研究成果の社会実装と普及促進を図る予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、（一財）日本建設情報総合センター社会基盤情報標準化委員会、道路分野における点群データの属性管理仕様の検討小委員会への参画

者各位より支援を賜った。点群データの属性管理仕様【道路編】(案)は、国土交通省国土技術政策総合研究所のホームページにて公開されている。本研究の一部は、静岡県「スマートガーデンカントリー“ふじのくに”モデル事業」のデータ利活用に関する共同研究の成果である。本研究の遂行にあたり、静岡県、日本インシーク社と日本工営社の皆様にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。



《参考文献》

- 1) 国土交通省：i-Construction, <<https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>>, (入手 2021.10.20).
- 2) 静岡県交通基盤部建設支援局建設技術企画課：Shizuoka Point Cloud DB, 入手先<<https://pointcloud.pref.shizuoka.jp/>> (参照 2021.10.20).
- 3) 首都高技術：InfraDoctor/インフラドクター, 入手先<<https://www.shutoko-eng.jp/technology/infradoctor.php>> (参照 2021.10.20).
- 4) 香芝 RID：奈良県香芝市の3次元道路情報データが Web 上で自由に使える香芝 RID, 入手先<<https://www.insiek.co.jp/ksb-rid/>> (参照 2021.10.20).
- 5) 道路分野における点群データの属性管理仕様の検討小委員会：点群データの属性管理仕様【道路編】(案) - 第 1.0 版 -, 2018.
- 6) 中村健二, 今井龍一, 塚田義典, 梅原喜政, 田中成典：点群データのプロダクトモデル化 - Semantic Point Cloud Data の提案 -, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.46, pp.177-180, 2021.
- 7) International Organization for Standardization : ISO10303-108 Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-Part108 : Integrated application resource : Parameterization and constraints for explicit geometric product models, 2005.
- 8) International Organization for Standardization : ISO10303-55 Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-Part55 : Integrated generic resource : Procedural and hybrid representation, 2005.
- 9) International Organization for Standardization : ISO10303-111 Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-Part111 : Integrated application resource : Elements for the procedural modelling of solid shapes, 2007.
- 10) 国土交通省：SXF Ver 3.1 仕様書・同解説 (第 2 版), 2009.
- 11) International Organization for Standardization: ISO10303-42 Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-Part42: Integrated generic resource: Geometric and topological representation, 2018.
- 12) Intelligent Style社:3D Point Studio, <<http://www.pointstudio.jp>>, (入手 2021.10.20).

【筆者紹介】

中村 健二 (なかむら けんじ)

2009年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士(情報学)。現在、大阪経済大学情報社会学部教授。2016年度文部科学大臣表彰科学技術賞「科学技術振興部門」受賞。2019年度国土交通省 i-Construction 大賞優秀賞受賞。2020年度国土交通省 i-Construction 大賞優秀賞受賞。



塚田 義典 (つかだ よしのり)

2015年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士(情報学)。現在、摂南大学経営学部准教授。2019年度国土交通省 i-Construction 大賞優秀賞受賞。2020年度国土交通省 i-Construction 大賞優秀賞受賞。

