

点群データを用いた時空間解析の最新動向

梅原喜政・中原匡哉

国土交通省における CIM や i-Construction の推進に伴い、点群データの計測・蓄積が進んでいる。これらはデジタルツインの基盤としての活用が期待されている。これにより、仮想空間上でのリアル空間の時空間変化のシミュレートが可能となる。既存の時空間解析技術では、災害前後の被災規模の算出等の大域的な差分の把握が可能である。しかし、構造物ごとに最適な差分の評価指標は異なるため、適宜評価指標を切り替えて人手で判読しなければならない課題がある。そこで、本稿では、領域データを用いることで構造物ごとに適切な差分評価ができる時空間解析技術を紹介する。本手法により、構造物ごとの時系列の変状把握や補修時期の予測等の解析が可能となる。

キーワード：CIM, i-Construction, 点群データ, 時系列差分, 機械学習

1. はじめに

国土交通省では、施工現場での業務効率化や ICT の全面的な活用を目的として、CIM (Construction Information Modeling) や i-Construction¹⁾ を推進している。現在では、地方公共団体等でも航空レーザ測量、MMS (Mobile Mapping System)、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 写真測量・UAV レーザ、地上設置型レーザスキャナやモバイル・ハンディレーザ等を使って3次元点群データ(以下、点群データ)を計測・蓄積している。これらの点群データは、土木・建設分野での利用に留まらず、サイバー空間上に都市のリアル空間を再現するデジタルツインの構築での活用も期待されている。これにより、過去から将来のリアル空間の時空間変化を仮想空間上でシミュレートしたり、リアルタイムに現況を確認したりすることができる。既存の時空間解析技術には、一定の大きさのボクセルごとの最高標高点の変化や、ボクセル内の点群データから近似平面を生成して平坦性の差分を確認する方法等がある。これにより、例えば、土砂崩れによる被害規模や通過可能な車道部を把握できる。しかし、様々な構造物が混在する環境下では、構造物ごとに適した評価指標が異なるため、適宜評価指標を切り替えて人手で判読する必要がある。そこで、本稿では、構造物ごとに評価指標を変えて比較するため、領域データを用いた点群データの時空間解析技術を紹介する。本技術により、構造物ごとに最適な評価指標で比

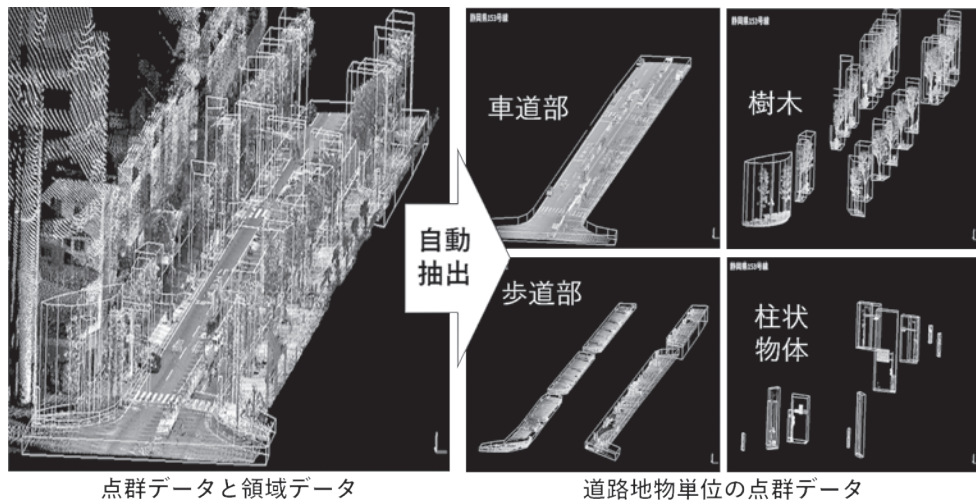
較でき、どの構造物で差分が生じたか把握できる。また、構造物ごとに時系列の変状情報を蓄積できれば、補修時期の予測等の解析も可能となるため、構造物の維持管理の高度化にも寄与できる。本稿では、2章にて点群データを効率的に分割・管理できる領域データと、その自動生成の取り組みを紹介する。そして、3章にて領域データを用いた点群データの時空間解析技術を提案し、4章にて筆者らの取り組みを総括する。

2. 点群データの空間解析による地物抽出技術

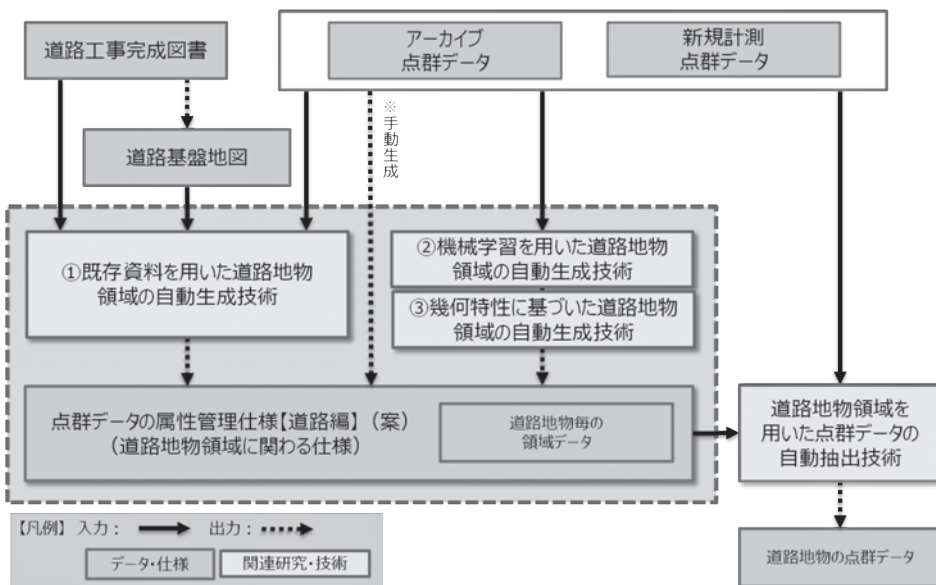
様々な地物が混在する点群データから地物の時空間変化を的確に抽出するためには、まず、点群データを地物単位に分割する必要がある。しかし、時空間解析のたびに点群データから手動で地物を分割するには手間がかかり、効率的な解析が困難となる。そこで、筆者らは、点群データに道路地物の位置や範囲を示す属性を「領域データ²⁾」として付与し、図-1に示すとおり、道路地物単位の点群データを自動で抽出する技術を開発した。本技術により、領域データを一度整備するだけで、その後は点群データを地物ごとに自動で分割する高度な時空間解析が実現できる。本章では、領域データの自動生成の取り組みについて詳述する。

(1) 領域データの自動生成に関する取組

領域データが整備できると、膨大な点群データから効率的に地物の点群データにアクセスできる。しか



図一 領域データを用いた点群データの自動抽出

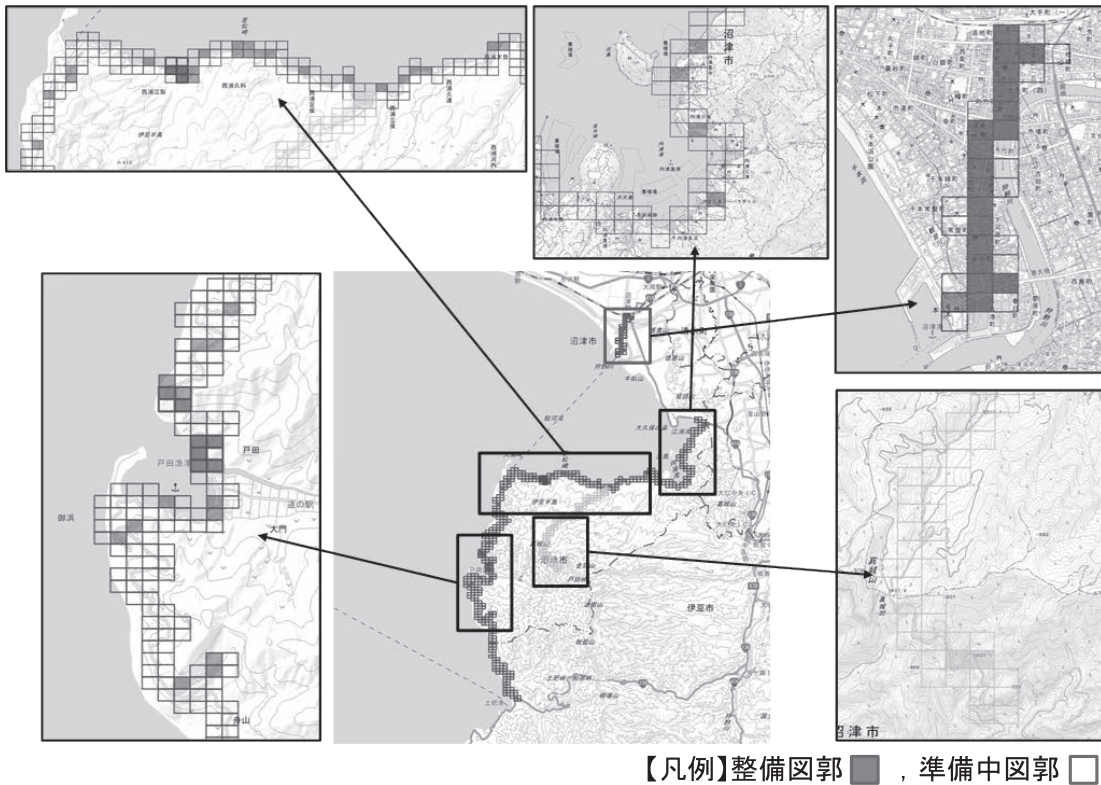


図二 領域データの自動生成技術の全体像

し、手作業で整備するにはコストが高く、広範囲の領域データの作成には多大な時間がかかる。例えば、道路延長 1 km の点群データを道路管理で共用性の高い 30 地物に構造化するのに 15 時間以上も要することもある。そのため、筆者らは、図一 2 に示すとおり、点群データから道路地物を認識する技術を考案して、領域データを自動生成する技術を開発した。点群データから道路地物領域を自動生成する技術は、i-Construction の成果である既存資料^{3), 4)}を用いた技術や機械学習^{5), 6)}を用いた技術、幾何特性に基づいた技術がある。完成平面図のある区間に対しては既存資料を用いた技術、それ以外の区間に対しては機械学習を用いた技術、前述の技術では適用が難しい道路地物に対しては幾何特性に基づいた技術を活用すると、効率良く領域データを整備できる。実際に、筆者らは、これらの手法を静岡県下の点群データに適用し、図一

3 に示す 71 図郭の領域データを整備した。

(2) 既存資料を用いた道路地物領域の自動生成技術
道路基盤地図情報または道路工事完成図等作成要領⁷⁾に準拠した完成平面図等の既存資料には、道路地物の種類やその位置、形状に関する領域情報が記載されている。そこで、既存資料を用いた技術^{3), 4)}では、点群データと既存資料に記載されている地物の領域情報とを重畳することで、高精度に道路地物の点群データを抽出し、領域データを自動生成する。具体的には、まず、既存資料に含まれる地物の外形線と点群データとを重畳する。次に、外形線を標高方向に延長し、領域を生成する。最後に、図一 4 に示すとおり、領域に内包する点群データを道路地物の点群データとして抽出する。そして、抽出した点群データから領域データを自動生成する。このとき、道路面や横断歩道など



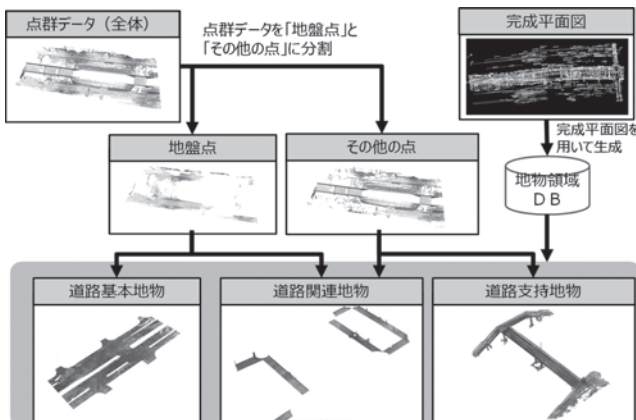
図一三 領域データの整備図郭

を含む地盤点と、横断歩道橋などの3次元空間上のその他の点とを分割後に地物を抽出することで的確な道路地物の抽出を実現している。

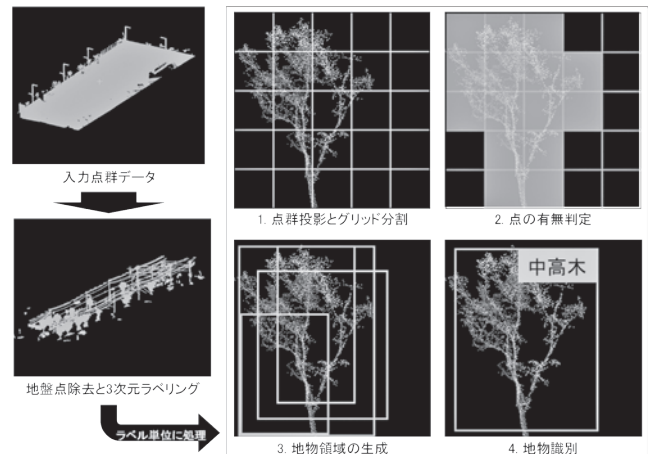
(3) 機械学習を用いた道路地物領域の自動生成技術

既存資料を用いた技術は、完成平面図等の資料が存在する現場の点群データにしか適用できない。そこで、既存資料に依存せず、機械学習により点群データがどの道路地物かを推定する技術^{5), 6)}を開発した。機械学習には、学習データが必要となり、事前に道路地物単位の点群データを用意する必要がある。そこで、既存資料を用いた技術により高精度に抽出した道路地物の点群データを一部活用することで、効率的に

学習データを収集した。本技術では、まず、点群データから地盤点を除去する。次に、建物等の大きな地物や、電信柱に接続されている電線を対象外として除去する。そして、3次元ラベリングを行うことで、道路地物ごとに点群データを分割している。最後に、分割された点群データに対して機械学習により道路地物を推定(図一五)する。機械学習としては、人手で定義した特徴に基づいて道路地物を判定する Random Forest と、点群データに含まれる形状的特徴を自動で学習する深層学習を用いることで、多くの道路地物に対応した推定技術を実現している。



図一四 既存資料を用いた道路地物領域の自動生成技術



図一五 機械学習を用いた道路地物領域の自動生成技術

(4) 幾何特性に基づいた道路地物領域の自動生成技術

現在、地方公共団体では、切土高 15 m 以上の長大切土や盛土高 10 m 以上の高盛土等の崩落時に道路機能への影響が甚大な特定道路土工構造物がどこにどれだけあるか、十分に把握できているとは言い難い。そのため、位置情報と共に台帳化することが急務とされている。しかし、これらの構造物は設計当時の図面が残っていないことが多い上、形状や規模が構造物ごとに異なる。そのため、前節までで紹介した技術の適用は困難である。そこで、筆者らは、幾何形状に着目して特定道路土工構造物である法面の点群データを抽出する技術を開発した。本技術では、まず、道路線形の点を基点とした領域拡張法により車道部の点群データを除去（図-6a）する。次に、道路線形に垂直な横断図を等間隔に生成（図-6b）する。そして、一定の傾斜を持つ法面の候補となる点群データを抽出（図-6c）する。最後に、抽出した点群データを基点とした領域拡張法により法面の点群データを抽出（図-7）する。本技術を各都道府県下全域の広域を計測した点群データに適用することで、道路土工構造物の網羅的な位置把握が期待できる。

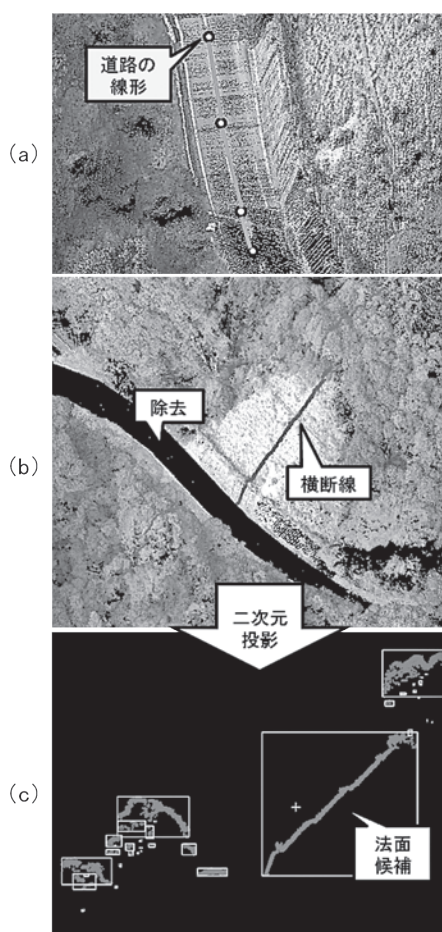
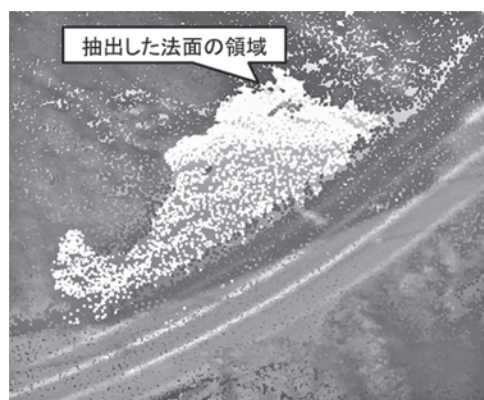


図-6 幾何特性に基づいた道路地物領域の自動生成技術



自動での抽出結果

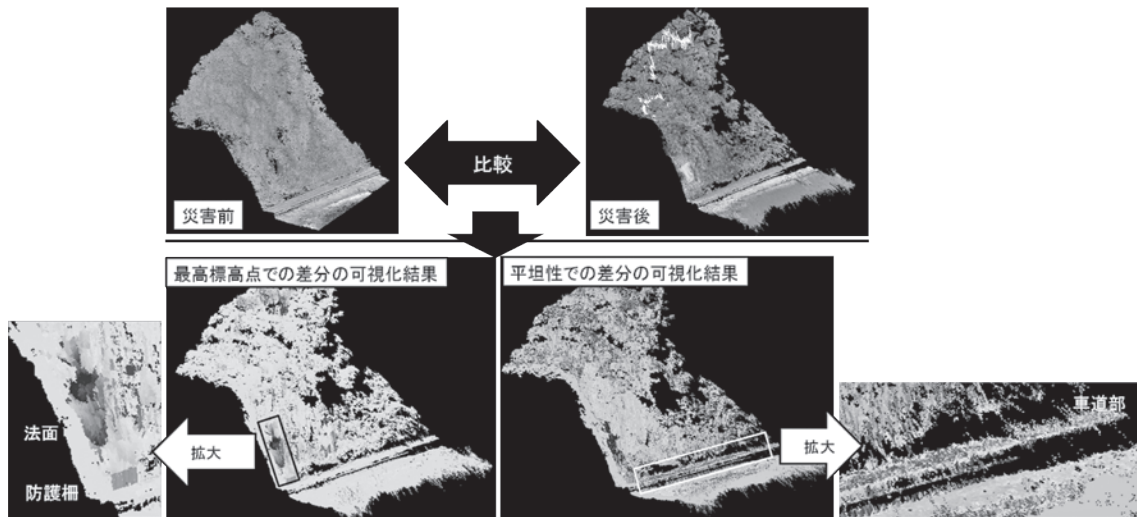


手動での抽出結果

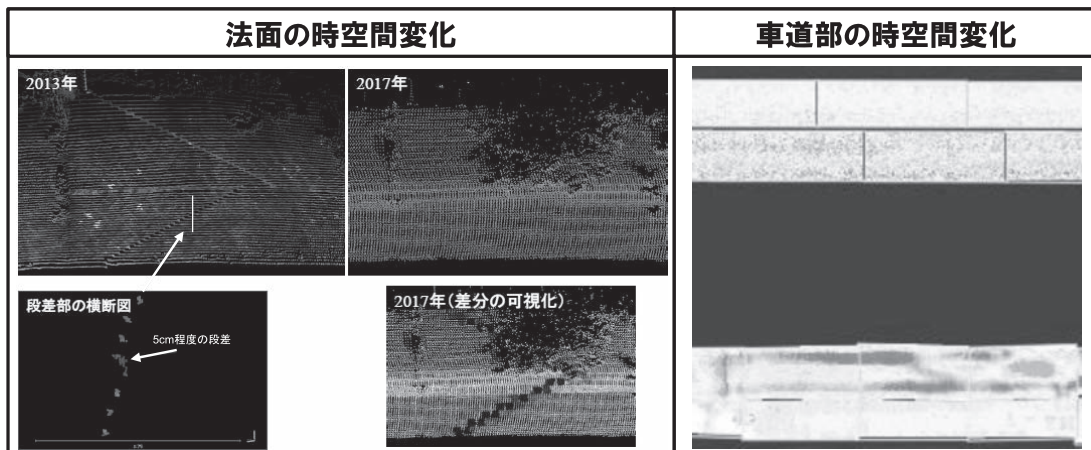
図-7 法面の抽出結果

3. 領域データを用いた点群データの時空間解析技術

従来の時空間解析技術では、計測した点群データ全体から単一の指標で差分を算出して確認する方法が一般的である。例えば、被災状況の把握時には、災害前後で点群データの差分を可視化する。しかし、点群データを生成するためのレーザ測量や写真測量では、完全に同一地点に点が生成されることはなく、比較対象となる点がいずれか把握できない。そのため、点単位での差分の算出および可視化は困難である。そこで、従来の時空間解析技術では、点群データ全体を一定の大きさのボクセルで分割して範囲内にある二時期の点群データを評価する。そして、ボクセルごとに標高最高点や平坦性の差分値を付与し、図-8のように可視化する。標高最高点での評価の場合、災害前後で法面上に土砂崩れが発生した箇所の把握等に活用できる。しかし、車道部に凹凸が発生していても、標高値に大きな変動がない限り、車道部の変状を的確に検知するのは困難である。平坦性の場合、災害前後で車道部に通行に支障がでるような深刻な被害が出ていないか把握できる。しかし、法面上には植生が繁茂していることが多く、法面の地表部の平坦性の把握は困難であ



図一八 従来技術による災害前後の変状確認



図一九 領域データを用いた点群データの時空間解析技術

る。以上のように、点群データ全体から単一の指標で差分を算出する従来の時空間解析技術では、構造物ごとに最適な評価指標が異なるため、適宜評価指標を切り替えて人手で判読しなければならない課題がある。そこで、筆者らは、前述の領域データを用いることで、点群データを効率的に地物単位に分割し、適切な評価指標で差分を抽出する時空間解析技術を開発した。本技術を用いることで、図一九の事例のように時空間変化を的確に抽出できるだけでなく、時系列でこれら変状情報を蓄積し、地物ごとに補修時期を予測できる等、様々な時空間解析技術の高度化に寄与できる。

4. おわりに

膨大に蓄積された時系列の点群データから適切に変状を把握するためには、構造物単位に点群データを分割し、それらごとに適切な評価指標による差分の算出が必要不可欠である。そこで、筆者らは、点群データを効率的に分割管理するための領域データを自動で生

成する取り組みについて紹介し、構造物ごとに点群データの差分を評価する時空間解析技術を提案した。今後も、これら技術を活用して、効率的な時空間解析に必要な領域データの整備を進める予定である。

謝辞

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。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省:i-Construction, < <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> >, (入手 2021.6.14).
- 2) 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.
- 3) 中村健二, 寺口敏生, 梅原喜政, 田中成典:完成平面図に基づいた点群データの地物抽出技術に関する研究. 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, pp.I_424-I_432, 2017.
- 4) 中村健二, 塚田義典, 田中成典, 梅原喜政, 中畑光貴:完成平面図を

用いた道路面地物の点群データの抽出に関する研究, 知能と情報, Vol.32, No.1, pp.616-626, 2020.

- 5) 梅原喜政, 塚田義典, 中村健二, 田中成典, 中畑光貴: 幾何と位相の特徴に基づいた点群データから道路地物の識別に関する一考察, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.5, pp.1218-1233, 2021.
- 6) 梅原喜政, 塚田義典, 中村健二, 田中成典, 中畑光貴: 深層学習を用いた点群データからの道路地物の識別に関する研究, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J104-D, No.10, pp.723-739, 2021.
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 道路工事完成図等作成要領 (第2版), 2008.



[筆者紹介]

梅原 喜政 (うめはら よしまさ)

1989年生。2019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、関西大学先端科学技術推進機構特別任命助教。2019年度国土交通省 i-Construction 大賞優秀賞受賞。



中原 匡哉 (なかはら まさや)

1992年生。2020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)。2020年関西大学先端科学技術推進機構特別任命助教。2021年から大阪電気通信大学総合情報学部講師。

