

## (21) 計測が困難な橋脚の 全容点群データの補完方法に関する一考察

塚田 義典<sup>1</sup>・梅原 喜政<sup>2</sup>・中原 匡哉<sup>3</sup>・窪田 諭<sup>4</sup>・  
田中 成典<sup>5</sup>・武内 克樹<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 摂南大学准教授 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)  
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 摂南大学講師 経営学部 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)  
E-mail: yoshimasa.umehara@setsunan.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪電気通信大学講師 総合情報学部 (〒575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70)  
E-mail: nakahara@oecu.jp

<sup>4</sup>正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)  
E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)  
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

<sup>6</sup>学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)  
E-mail: k456432@kansai-u.ac.jp

我が国では、高度経済成長期に施工された社会インフラの老朽化が深刻であり、長寿命化のための点検や補修が急務である。国土交通省では、CIMやi-Constructionを推進し、点群データや3次元モデルを活用することで、維持管理業務の効率化を目指している。しかし、高架橋や交通量の多い道路では、計測地点に制約が生じるため、構造物を限なく計測した全容点群データの取得が困難な課題がある。そのため、このように欠損が生じた点群データでは、3次元モデルの生成も困難となる。そこで、本研究では、深層学習を用いて、計測が困難な橋脚の全容点群データの補完方法について考察する。

**Key Words:** *i-Construction, point cloud data, point cloud completion, deep learning, bridge pier*

### 1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に施工された社会インフラの老朽化が深刻さを増しており、長寿命化のための点検や補修が急務<sup>1)</sup>である。そこで、国土交通省では、CIM<sup>2)</sup>やi-Construction<sup>3)</sup>を推進し、設計・施工の段階だけでなく、維持管理においても3次元データを活用することで業務の効率化を目指している。特に道路橋では、10年後、建設後から約50年経過する橋梁が6割以上になることが見込まれており、3次元データを活用した効率的な維持管理が求められている。しかし、これらの設計図面や関連資料は紙媒体であることが多く、それらの図面や資料から仕様<sup>4)</sup>に準拠した3次元モデルを生成する

ことは容易ではない。加えて、図面や資料は工事請負契約の履行期間を経過した後に廃棄されるため、全容を正確に把握できない橋梁が多数存在している。このことから、現在ではレーザ計測機器を用いて対象構造物を計測し、その点群データを用いて維持管理に供する3次元モデルを生成する技術が提案されている。ただし、これらの3次元モデル生成技術<sup>5)</sup>は、対象構造物を全方位から限なく計測して取得された点群データ(以下、全容点群データ)を用いることが前提となっている。しかし、高架橋や道路に面した構造物を計測する場合、侵入できない場所があり、一部の形状に欠損が発生することがある。そのため、欠損した点群データ(以下、欠損点群データ)の補完技術の開発が期待される。筆者らが調査した限り

では、橋梁を対象とした点群データの補完に関する既存研究は確認できなかった。

そこで、本研究では、橋梁の中でも比較的単純な構造をした部位である橋脚を対象に、深層学習を用いて補完モデルを構築する。そして、補完モデルを橋脚の欠損点群データに適用し、全容点群データに近い形状に補完できるかを検証する。

## 2. 研究概要

本研究の処理フローを図-1に示す。提案手法は、学習機能と点群データサンプリング機能、点群データ補完機能で構成される。入力データは欠損点群データと構造物が地面や他の部材に接している計測できない面を除く欠損のない全容点群データとし、出力データは欠損箇所が補完された点群データ（以下、補完点群データ）とする。

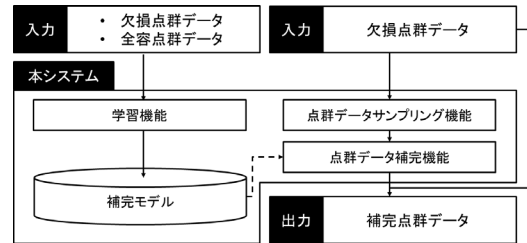


図-1 提案手法の処理フロー

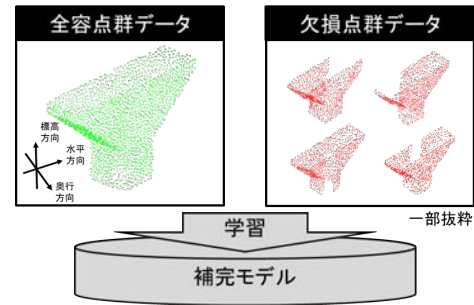


図-2 補完モデル構築の概要

### (1) 学習機能

本機能では、欠損点群データと全容点群データ、VRCNet<sup>7)</sup>を用いて補完モデル（図-2）を構築する。補完モデルは、入力した欠損点群データの欠損箇所を補完し、補完点群データを出力するモデルである。ハイパーパラメータはエポック数を 200、バッチサイズを 8、入力点数を 2,048 点とする。

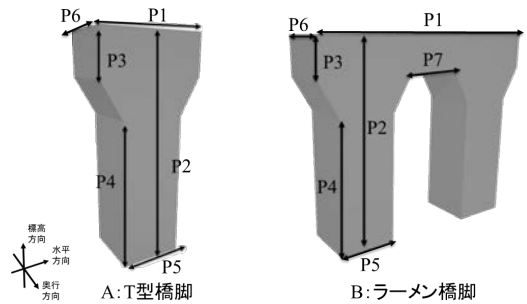


図-3 テンプレートモデル

### (2) 点群データサンプリング機能

本機能では、欠損点群データを補完モデルの入力点数に合わせるため、入力した欠損点群データに対して入力点数ごとにダウンサンプリングと抽出を繰り返すことで点群データを分割する。また、分割時に端数で余った点群データは、点群データ補完機能に入力しない。

### (3) 点群データ補完機能

点群データ補完機能では、点群データサンプリング機能で分割したそれぞれの点群データに対して、学習機能で構築した補完モデルを用いて欠損箇所を補完する。そして、出力したすべての点群データと欠損点群データを結合することで補完点群データとして出力する。

表-1 学習データの生成パラメータ

パラメータ	T型橋脚 (寸法範囲)	ラーメン橋脚 (寸法範囲)	モデル 生成間隔
P1	8.00~16.00	8.00~16.00	0.50
P2	5.00	5.00	0.50
P3	0.50~1.00	0.50~1.00	
P4	2.00~3.00	2.00~3.00	0.50
P5	2.00~3.00	2.00~3.00	0.50
P6			0.50
P7		1.00~2.00	0.50

寸法値の単位：m

提案手法の適用可能性を検証する。

## 3. 実証実験

### (1) 実験内容

本実験では、橋脚のテンプレートモデル（図-3）から生成した点群データを学習し、補完モデルを構築する。そして、学習データと異なる寸法の点群データを対象に補完が可能かシミュレーション実験し、結果を確認して

### (2) 実験条件

本実験では、まず、学習データに使用する T型橋脚とラーメン橋脚のテンプレートモデルの寸法範囲（表-1）を定義し、それらの範囲において 0.50m の間隔でパラメトリックモデルを生成する。次に、これらのパラメトリックモデルから全容点群データとその欠損点群データを 26 パターン生成し、それらをペアとして学習させる。

このとき、欠損点群データは、**図-4**のように点群データの中心を基準に14度ずつ扇状に欠損させて、26パターン生成した。そして、これらの学習データの個数はT型橋脚において306個、ラーメン橋脚は918個となった。加えて、構造物の違いによる補完精度への影響を確認するため、補完モデルはT型橋脚、ラーメン橋脚のそれぞれ構築した。また、本実験では、学習データの生成に関する拘束条件として、P2は固定値、P5とP6は常に等しい値とした。ただし、現実に即した点群データを生成するため、橋脚が地面や他の部材に接している計測できないような面に対しては、点群データを発生させない。

検証データは、まず、学習データと異なる寸法を持つパラメトリックモデル(**表-2**)を橋脚の種類ごとに3パターンずつ作成する。次に、そのパラメトリックモデル

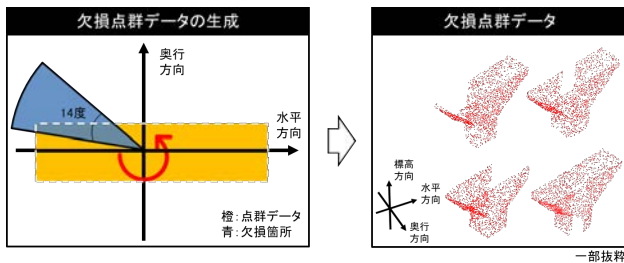


図-4 欠損点群データの生成

表-2 検証データの生成パラメータ

検証データ	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
A	1	9.70	5.00	0.50	2.20	2.00	2.00
	2	11.30	5.00	0.60	3.00	2.30	2.30
	3	14.80	5.00	0.80	2.30	2.90	2.90
B	1	8.20	5.00	0.90	2.50	2.10	2.10
	2	11.70	5.00	0.60	3.00	2.70	2.70
	3	15.30	5.00	0.80	2.90	2.40	2.40

寸法値の単位：m

の面上に30,000点を生成し、全容点群データとした。そして、全容点群データに対して意図的に欠損を発生させることで、欠損点群データを生成し、検証データとした。また、検証データの拘束条件は学習データと同様とする。

### (3) 評価方法

本実験では、全容点群データと欠損点群データ、全容点群データと補完点群データをそれぞれ同一座標系で3次元のグリッドで分割し、グリッド内に含まれる点の有無から、欠損点群データまたは補完点群データが含まれるグリッド(以下、推定グリッド)と全容点群データが含まれるグリッド(以下、正解グリッド)、両方の点群データ含まれるグリッド(以下、一致グリッド)の数を算出し、適合率、再現率、F値を評価する。

### (4) 結果と考察

各橋脚の欠損点群データにおける補完前後の評価結果を**表-3**、それらの可視化結果を**図-5**に示す。橋脚ごとの補完点群データの評価結果を確認すると、T型橋脚のパターン2と3では、欠損前よりも、F値が向上していることがわかった。これは、欠損箇所が補完されたことで、再現率が向上したためと考えられる。パターン1の評価結果では、F値が低下しており、他のパターンと比較して再現率の上昇幅が低い。これは、パターン1における補完箇所の点密度が低く、再現率の向上に至らなかったことが原因と考えられる。また、T型橋脚のパターン1と3を確認すると、**図-6**に示すとおり、ブレが発生していることがわかった。

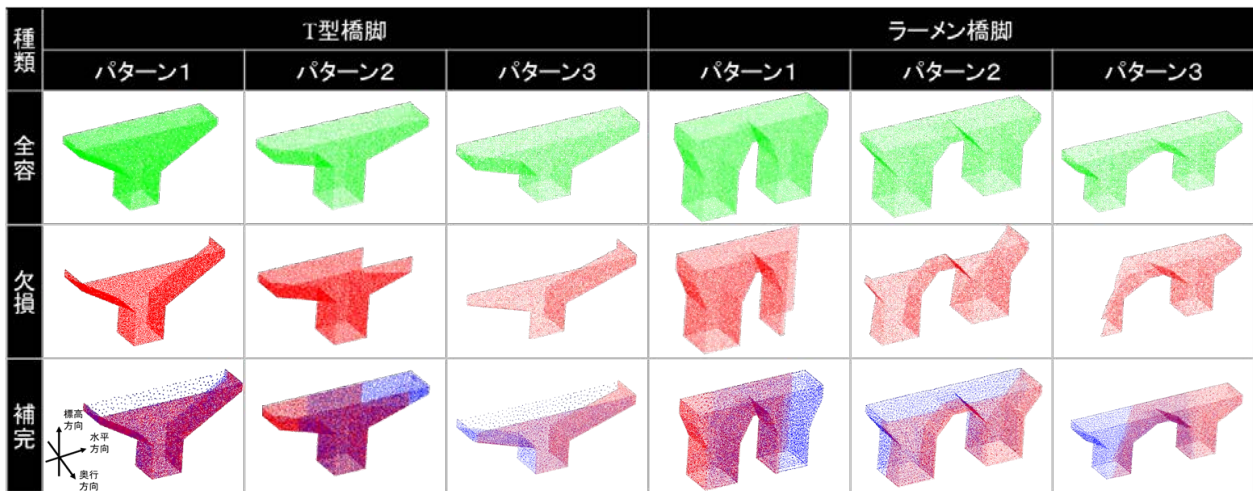
以上のことから、適合率は低下し、再現率の上昇幅が僅かであったため、補完点群データのF値が向上しなかったと考えられる。また、パターン3ではパターン1と同様に点密度が低い箇所やブレが確認されたが、側面

表-3 評価結果

検証データ	点数	一致グリッド	推定グリッド	正解グリッド	適合率	再現率	F値		
A	1	欠損点群データ	20,048	5,401	5,401	7,756	1.000	0.696	0.821
		補完点群データ	38,480	5,487	7,333	7,787	0.748	0.705	0.726
	2	欠損点群データ	25,307	7,238	7,238	8,581	1.000	0.843	0.915
		補完点群データ	49,883	8,629	8,893	8,769	0.970	0.984	0.977
	3	欠損点群データ	15,146	6,559	6,559	12,754	1.000	0.514	0.679
		補完点群データ	29,482	8,440	11,627	12,761	0.726	0.661	0.692
B	1	欠損点群データ	22,771	7,316	7,316	9,596	1.000	0.762	0.865
		補完点群データ	45,299	9,400	9,650	9,696	0.974	0.969	0.972
	2	欠損点群データ	19,166	8,364	8,364	12,913	1.000	0.648	0.786
		補完点群データ	37,598	11,814	14,035	12,986	0.842	0.910	0.874
	3	欠損点群データ	20,490	9,482	9,482	13,806	1.000	0.687	0.814
		補完点群データ	40,970	13,045	13,786	13,890	0.946	0.939	0.943

【補完点群データの適合率、再現率、F値におけるセルの背景色の凡例】

0.8~1.0以下	0.6~0.8以下
-----------	-----------



【凡例】 緑: 全容点群データ, 赤: 欠損点群データ, 赤 $\cup$ 青: 補完点群データ  
 図5 可視化結果

の欠損箇所を補完できているため、パターン1よりF値の上昇幅が高かったと考えられる。

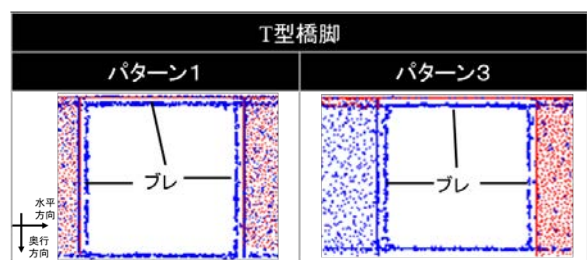
次に、ラーメン橋脚の評価結果を確認すると、全ての結果において補完後のF値が向上していることがわかった。また、T型橋脚のような低密度な点群データは生成されず、同程度の欠損が発生しているパターン2においても点群データが適切に補完されていることがわかった。

以上の結果から、T型橋脚のパターン1を除き、全てのパターンにおいて、補完後のF値が向上していたことがわかった。また、補完点群データのブレは、後処理でノイズ除去を行うことで解消できると考える。また、低密度になった箇所は、ラーメン橋脚において適切に補完できていることから学習データ不足であると考えられる。この課題は、パラメトリックモデルの生成間隔を縮めることで、解消できると考える。

#### 4. おわりに

本研究では、深層学習を用いた点群データの補完技術の橋脚への適用可能性を検証した。そして、実証実験により、一部の補完点群データにおいて、低密度な箇所やブレが見られたが、形状を大幅に逸脱することなく、全容点群データに近い形状の点群データに補完できることを明らかにした。

今後は、点群データのノイズ除去や学習データの増加により、点群データの補完精度の向上を図る。加えて、シミュレーション実験で使用したような疑似点群データではなく、実現場の点群データを用いることで本手法の有用性を検証する。また、補完点群データを既存の3次元モデル生成手法<sup>5),6)</sup>に適用して、既存手法の汎用性を向上できるか確認する。



【凡例】 赤: 欠損点群データ, 赤 $\cup$ 青: 補完点群データ  
 図6 T型橋脚のパターン1, 3を俯瞰、拡大した可視化結果

謝辞：本研究を遂行するにあたり、関西大学社会空間情報科学研究センターに参画されている研究者および企業からご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来、<[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)>, (入手 2022.6.5) .
- 2) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン（案）, <<https://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide01.pdf>>, (入手 2022.6.5) .
- 3) 国土交通省：i-Construction 推進コンソーシアム, <[https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/3d\\_wg/index.html](https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/3d_wg/index.html)>, (入手 2022.6.5) .
- 4) 国土交通省：3次元モデル成果物作成要領（案）, <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001473006.pdf>>, (入手 2022.6.5) .
- 5) 窪田諭, 塚田義典, 梅原喜政, 田中成典：点群データを用いた橋梁パラメトリックモデルの生成に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.5, pp.1234-1245, 2021.
- 6) 塚田義典, 梅原喜政, 中原匡哉, 窪田諭, 田中成典, 武内克樹：遺伝的アルゴリズムを用いた橋脚のパラメトリックモデルの生成に関する研究, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.84, No.4, pp.361-362, 2022.
- 7) Pan, L., Chen, X., Cai, Z., Zhang, J., Zhao, H., Yi, S. and Liu, Z.: Variational Relational Point Completion Network, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 8520-8529, 2021.