(16) 点群データを用いた橋梁のワイヤーフレームモデルの生成に関する一考察

塚田　義典[1]・中原　匡哉[2]・梅原　喜政[3]・田中　成典[4]・
武内　克樹[5]・中井　瑞基[6]

[1]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

[2]正会員　大阪電気通信大学講師　総合情報学部（〒575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70）
E-mail: nakahara@oecu.jp

[3]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

[4]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

[5]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

[6]非会員　関西大学　総合情報学部（〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1）
E-mail: k509887@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，BIM/CIM を推進し，3 次元データの活用や共有を容易に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，3 次元モデルの作成は専門的な知識や多大な労力を必要とするため，より効率的なモデリング手法が求められている．既存研究では，遺伝的アルゴリズムを用いて橋梁の点群データとテンプレートモデルからパラメトリックモデルを生成する手法が提案されているが，莫大な処理時間を要する課題がある．そこで，本研究では，深層学習を用いて橋梁の点群データからワイヤーフレームモデルを生成可能か検証し，既存手法の高度化に寄与できるか考察する．

Key Words: *bridge, parametric model, wireframe model, point cloud data, deep learning*

1. はじめに

近年，国土交通省では BIM/CIM 原則適用[1]を掲げ，設計事業のデジタル化や 3 次元モデルの活用を推進している．これにより関係者のデータ活用や共有を容易にし，設計・施工だけでなく，維持管理においても生産性の向上を目指している．現在，全国には約 73 万の橋梁が存在しており，2030 年にはその 5 割以上が建設後 50 年を経過[2]する見込みである．したがって，社会インフラの中でも特に老朽化した橋梁の維持管理は重要な課題である．しかし，生産性向上を実現するために必要な 3 次元モデルの作成は容易ではない．設計図面や関連資料は工事請負契約の履行期間が経過した後に破棄されるため，既設構造物の計測データをもとに 3 次元モデルを作成する必要がある．こうした 3 次元モデル作成の目安は詳細度 200~300 程度[1]とされているが，全国の橋梁をレーザ計測機器等で計測し，そのすべてを人手でモデリングすることは難しい．そこで，筆者らは，計測された橋梁の部位（以下，橋梁部位）の点群データとテンプレートモデルから遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm，以下 GA）を用いてパラメトリックモデルを生成する手法[3),4)]を提案した．しかし，GA は一般的に汎用性が高い一方で，計算コストが高く，探索範囲が広がると処理時間が大幅に増加する．この課題は，GA による探索範囲を事前に限定することで解決可能と考えられる．

そこで，本研究では，橋梁部位の点群データを対象に，

深層学習を用いて点群データのエッジとコーナーを推定し，ワイヤーフレームモデルを生成する手法を提案する．そして，実証実験により提案手法の適用可能性を検証する．その上で，生成したワイヤーフレームモデルの寸法値を探索時の初期値とし，GA による探索範囲を限定することで既存手法 [3][4]の処理時間を高速化できるか考察する．

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正規化機能，ワイヤーフレームモデル生成機能により構成される．入力データは橋梁部位の点群データとし，出力データは入力した橋梁部位に対するワイヤーフレームモデルとする．

(1) 学習機能

本機能では，まず，橋梁部位のテンプレートモデル（図-2）の各寸法の範囲を定義し，その範囲内でランダムに寸法を決定することで複数のパラメトリックモデルを生成する．次に，パラメトリックモデルの表面に点を発生させ，そのコーナーとエッジをラベルとして定義する．事前実験により，生成した点群データ同士の密度やサイズが大きく異なると適切に学習できないことを確認したため，点群データのサイズを直径 1m の球に収まるサイズにスケーリングすることで正規化する．最後に，スケーリング済みの点群データとエッジラベル，コーナーラベル，PointNet++[5]を用いて，エッジ・コーナー推定モデル（図-3）を構築する．このモデルは，橋梁部位の点群データからエッジとコーナーを推定し，ワイヤーフレームモデルの生成のベースとする．

(2) 点群データ正規化機能

本機能では，入力した橋梁部位の点群データのサイズや密度，点数を調整することで学習データと同様に点群データを正規化する．まず，点群データを直径 1m に収まるサイズにスケーリングする．次に，点群データの点を全体的に均一的かつ指定した点数に調整できる Farthest Point Sampling を用いて，スケーリング後の点群データをダウンサンプリングする．そして，このデータをワイヤーフレムモデル生成機能の入力データとする．

(3) ワイヤーフレームモデル生成機能

本機能では，点群データ正規化機能で処理された点群データに対し，Coarse-to-fine pipeline[6]を用いてワイヤーフレームモデルを生成する．具体的には，エッジ・コーナー推定モデルにより，エッジラベルとコーナーラベルを推定し，これらの組み合わせからワイヤーフレームモデルを生成する．

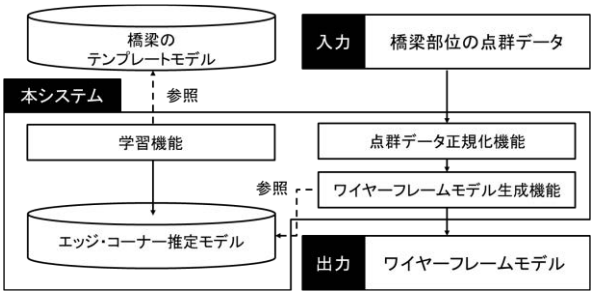


図-1 提案手法の処理フロー

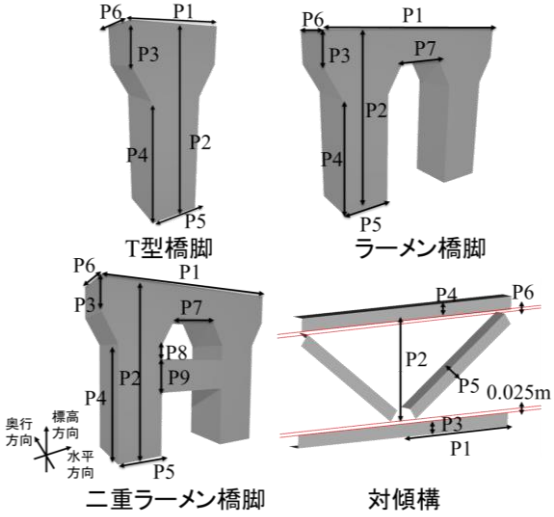
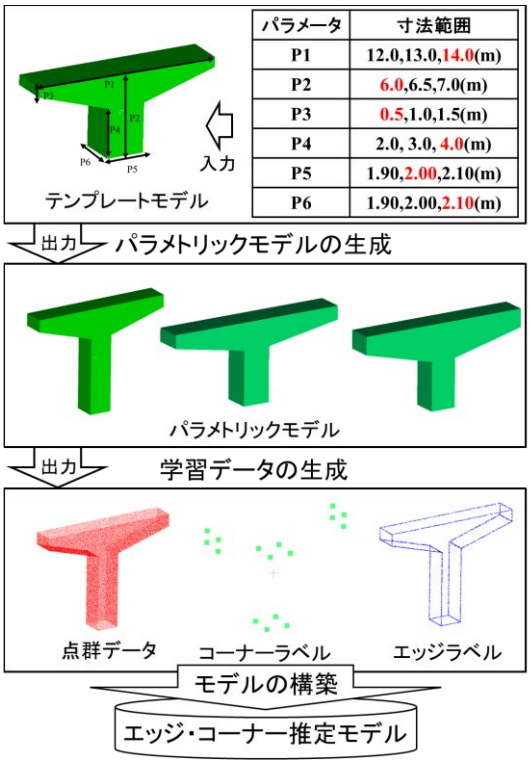


図-2 テンプレートモデル



パラメータ	寸法範囲
P1	12.0,13.0,14.0(m)
P2	6.0,6.5,7.0(m)
P3	0.5,1.0,1.5(m)
P4	2.0, 3.0, 4.0(m)
P5	1.90,2.00,2.10(m)
P6	1.90,2.00,2.10(m)

図-3 学習機能の概要

3. 実証実験

(1) 実験内容

本実験では，橋梁部位のテンプレートモデル（**図-2**）から生成した点群データを学習データとして，エッジ・コーナー推定モデルを構築する．そして，学習データと異なる寸法を持つパラメトリックモデルから擬似的に生成した点群データを対象にシミュレーション実験を行う．これにより，提案手法の適用可能性を検証する．

(2) 実験条件

本実験では，まず，学習データとしてT型橋脚とラーメン橋脚，二重ラーメン橋脚，対傾構のテンプレートモデルの寸法範囲（**表-1**）を定義し，その範囲内で橋梁部位ごとに 50 個の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点数が 20,000 点の点群データを生成し，そのサイズをスケーリングする．スケーリング後の点群データとそのエッジラベル，コーナーラベルを学習させることでエッジ・コーナー推定モデルを構築する．ただし，T 型橋脚やラーメン橋脚，二重ラーメン橋脚の点群データは実環境を想定し，地面や他の部位と接する面には点を生成させない．そして，学習データと異なる寸法（**表-2**）を持つ橋梁部位ごとの点群データを生成し，検証データとする．この検証データの生成パラメータを正解値とし，生成したワイヤーフレームモデルから寸法を手動で測った値をそのモデルの寸法値とする．最後に，前文の寸法値と正解値の差分を算出し精度を評価する．

(3) 結果と考察

各橋梁部位の検証データに対して生成されたワイヤーフレームモデルの寸法値と正解値との差分結果を**表-3** に示す．そして，入力点群データと推定したエッジの点群データ，推定したコーナーの点群データ，ワイヤーフレームモデルの可視化結果を**図-4** に示す．

まず，生成されたワイヤーフレームモデルの寸法値との差分結果を確認すると，二重ラーメン橋脚の P8 と P9 を除きすべての差分が 0.050m 以下であることがわかっ

表-1 学習データの生成範囲

橋梁部位	パラメータ（寸法値，単位：m）								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
T型橋脚	10.000～12.000	10.000～12.000	10.000～12.000	10.000～12.000	10.000～12.000	10.000～12.000			
ラーメン橋脚	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000		
二重ラーメン橋脚	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000	13.000～15.000
対傾構	1.000～2.000	1.000～2.000	1.000～2.000	1.000～2.000	1.000～2.000	1.000～2.000			

表-2 検証データの生成パラメータ

橋梁部位	パラメータ（寸法値，単位：m）								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
T型橋脚	11.000	8.500	1.000	6.000	2.000	2.000			
ラーメン橋脚	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500		
二重ラーメン橋脚	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500
対傾構	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800			

表-3 生成されたワイヤーフレームモデルの寸法値と正解値との差分結果

橋梁部位	数値の種類	パラメータ（寸法値，単位：m）								
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
T型橋脚	寸法値	11.183	8.559	0.962	6.207	1.777	1.783			
	正解値との差分	0.017	0.041	0.038	0.007	0.023	0.017			
ラーメン橋脚	寸法値	14.501	10.702	2.000	6.998	3.000	3.000	2.975		
	正解値との差分	0.001	0.048	0.000	0.002	0.000	0.000	0.025		
二重ラーメン橋脚	寸法値	14.500	10.746	2.021	7.032	3.000	3.004	3.000	1.343	1.819
	正解値との差分	0.000	0.004	0.021	0.032	0.000	0.004	0.000	0.157	0.181
対傾構	寸法値	1.800	1.610	0.150	0.150	0.150	0.025			
	正解値との差分	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000			

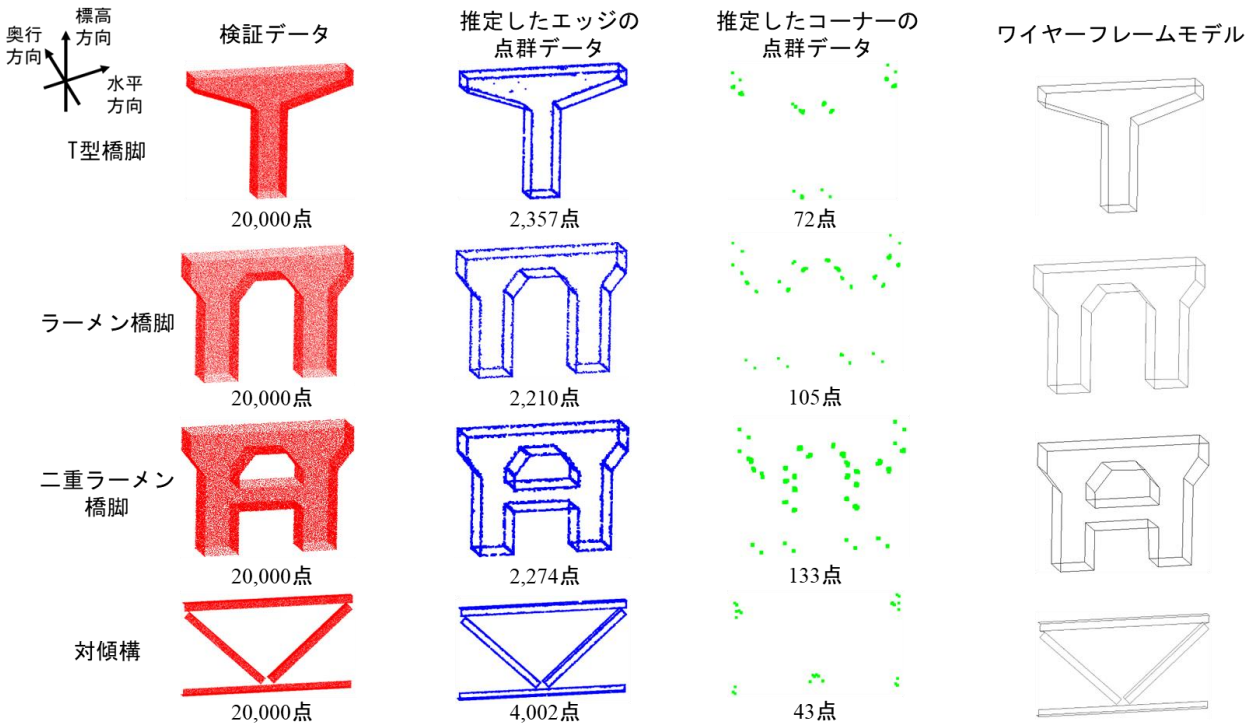


図-4　可視化結果

た．このことから，提案手法により正解に近いワイヤーフレームモデルを生成できることを確認できた．

次に，T 型橋脚の推定したエッジの点群データの可視化結果を確認すると，面上に誤推定が見られたが，Coarse-to-fine pipeline により差分が 0.040m 程度のワイヤーフレームモデルを生成できた．また，各橋梁部位における推定したコーナーの点群データを確認するとコーナー付近の点がコーナーの点として過剰に推定される傾向があった．しかし，それらが過剰に推定された場合でもワイヤーフレームモデルを生成できることを確認した．

以上の結果より，シミュレーション実験では橋梁部位の点群データからワイヤーフレームモデルを生成できることを明らかにし，提案手法の適用可能性を確認した．ただし，レーザ計測機器等で実測された点群データに対する検証はできていない．今後は，実測された点群データを対象に提案手法の適用可能性を確認した後，既存手法 [3][4]との組み合わせを通じて処理速度の高速化が可能か検証する．

4.　おわりに

本研究では，深層学習を用いて橋梁部位の点群データからワイヤーフレームモデルを生成できるか検証した．そして，シミュレーション実験により，対象の橋梁部位の点群データからワイヤーフレームモデルを生成できることを明らかにした．

今後は，本実験で用いた擬似的に生成した点群データではなく，実測した点群データを対象に提案手法の有用性を検証する．そして，既存手法の課題を解決するため，ワイヤーフレームモデルの寸法値を自動で推定するアルゴリズムを開発し，その寸法値を用いて GA の探索範囲を限定することで既存手法の処理速度の高速化を目指す．

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：令和 5 年度 BIM/CIM 原則適用について，<https://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide01.pdf>，（入手 2023.6.11）．
2) 国土交通省：社会資本の老朽化状と将来，<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html>，（入手 2023.6.11）．
3) 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，62 巻 5 号，pp.1234-1245，2021.
4) 塚田義典，中原匡哉，梅原喜政，窪田諭，田中成典，武内克樹：点群補完技術を用いたパラメトリック橋梁モデルの生成に関する研究，土木学会論文集，79 巻 22 号，pp.22-22021，2023.
5) Qi, C. R., Yi, L., Su, H. and Guibas, L. J.: PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space, *Conference on Neural Information Processing Systems*, Vol.31, 2017.
6) Tan, X., Zhang, D., Tian, L., Wu, Y. and Chen, Y.: Coarse-to-fine pipeline for 3D wireframe reconstruction from point cloud, *Elsevier Computers & Graphics*, vol.106, pp.288-298, 2022.