

既存橋梁の性能評価に向けた 橋梁点群からのFEモデリング

2023/9/2~11/17

Aalto University (Finland)

筑波大学大学院 システム情報工学研究群
構造エネルギー工学学位プログラム

中溝智也

研究背景と目的

橋梁保有性能評価

経年劣化や損傷を考慮して、橋梁が現在保有している力学的性能を定量的に評価することが適切な維持管理・運用のために必要である。性能評価のため、図面から右図のような有限要素 (FE) モデルを構築する。この時、多様な構造要素を部材によって適切に選択することが必要である。

保有性能評価における課題

- 橋梁のような大規模構造物のモデル構築コストが高い
- インフラ構造物維持管理の従事者が減少している
- 橋梁の図面が残っていない場合がある

課題に対する解決策

点群データから橋梁のFEモデルを構築し構造解析を行う

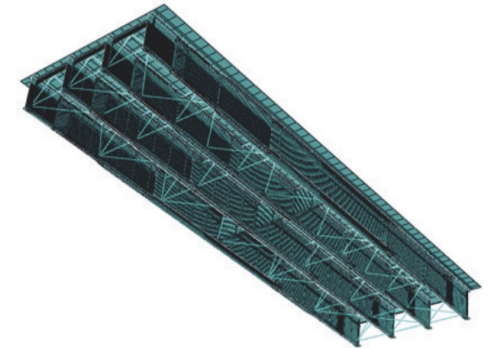
点群データとは3次元座標を持った点の集合で、カメラやレーザーを用いて非接触で短時間に計測できる。計測したデータからFEモデルが自動構築されることで、モデル構築コストが大幅に削減でき、業務の効率化が図れる。

これまで行ってきた基礎検証*

- 薄肉構造部材の点群データから、鋼橋の性能解析で多用されるシェル要素を用いたFEモデル構築に取り組んだ
- 実橋梁の点群データの計測を行った

実橋梁の点群データから多様な構造要素を用いたFEモデル構築のために、ソリッドやはり要素を用いたモデル構築手法の検討も必要である。そこで本研究では、点群データからソリッド要素を用いたモデル構築手法を示す。

*中溝&西尾, AI・データサイエンス論文集, 2022



橋梁の性能解析用FEモデル
(有村ら, 2017)

床版, 主桁, 横桁: シェル要素
対傾構, 横構. : はり要素
ソールプレート: ソリッド要素



取得した鋼橋の点群データ

訪問概要

研究協力者

・ Dr. Jarkko Niiranen

Aalto大学土木工学科 准教授

計算構造工学が専門で、有限要素法を中心に理論的な数値解析手法に焦点を当てた研究をされている。

・ Dr. Youqi Zhang

Aalto大学 博士研究員

以前から交流があり、画像や点群からFEモデルを構築する研究をされている。

本研究を協力者と共同で進める上で、ミーティングや交流を通し、計算構造工学・コンピュータービジョンなどの観点から知見交換を行った。

研究の流れ

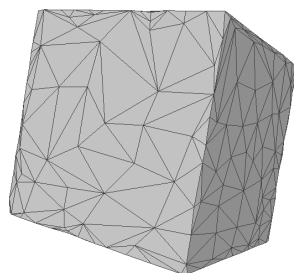
点群データ取得

表面メッシュ構築

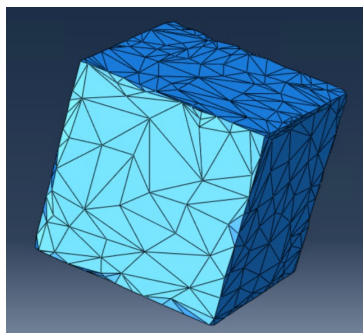
内部ソリッド化



コンクリート供試体を対象に、カメラを用いた点群データ取得を行った。



ポアソン表面再構成法を用いた点群からの表面メッシュ構築と、メッシュの最適化を行った。



構築したメッシュ内部をソリッド化した。



大学実験室内での点群取得の様子
点群取得に必要な機器（供試体・カメラ・照明）は大学関係者なら誰にでも貸出可能であった。

点群データ取得

対象供試体

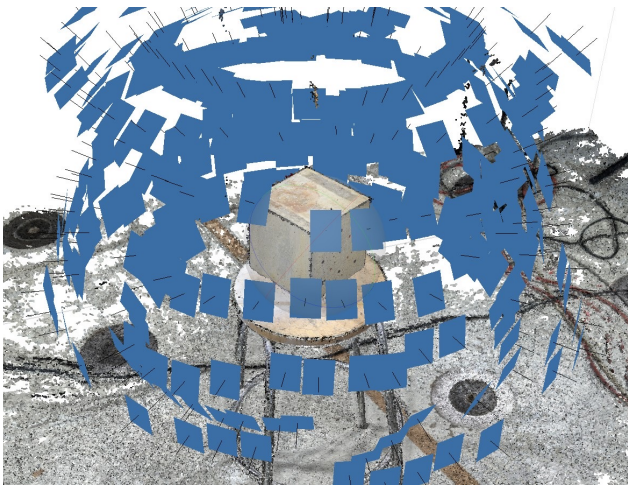
コンクリートブロック3種（キューブ、シリンダー大・小）

写真測量

複数画像から被写体の3次元形状を復元する手法である。機器が比較的小さいため狭い空間内でも取り回しがいいことや、レーザー機器よりも安価で導入コストが低いことなどの有用性がある。各写真が60%以上オーバーラップするように、供試体の周りから撮影を行うことに注意した。

- 使用したカメラ：iPhoneSE(第3世代)
- 使用したソフトウェア：Agisoft Metashape

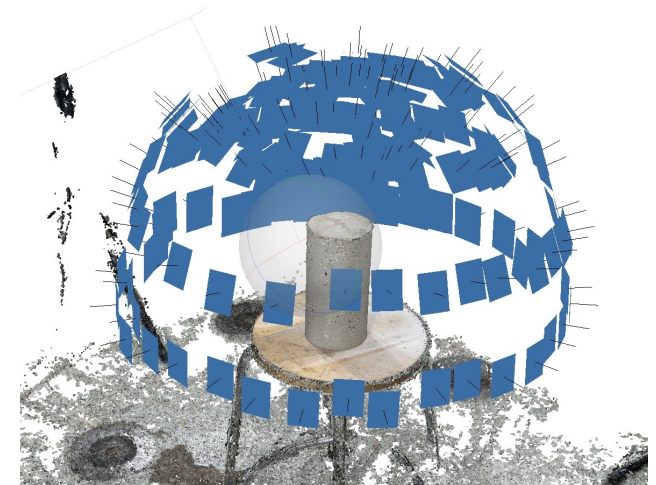
キューブ	一辺15 cm
シリンダー(大)	直径15 cm, 高さ30 cm
シリンダー(小)	直径10 cm, 高さ20 cm



キューブの点群と画像位置(図中青色)



シリンダー(大)の点群と画像位置



シリンダー(小)の点群と画像位置

供試体の周りから撮影した画像により点群データが生成された。それぞれ、307枚、211枚、180枚の画像から点群データが生成できた。

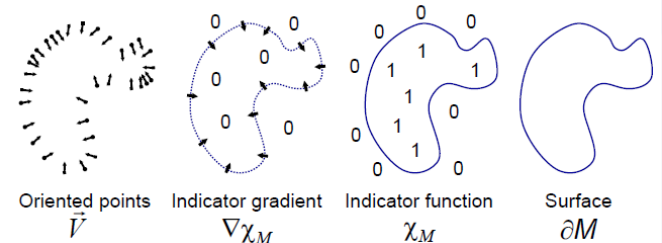
メッシュ構築

ポアソン表面再構成*

点群からベクトル場を生成し等値面をメッシュ化するという手法で、点群のノイズや解像度に対してロバストであるという特徴がある。

1. 点の法線方向(外向き)を求め、ベクトル場 V を計算
2. 指示関数 χ を導入
点より内側なら1, 外側なら0
3. 指示関数 χ の勾配が V と一致するような関数を以下の式より求める

$$\min_{\chi} \|\nabla\chi - V\|$$



*ポアソン曲面再構成の図 (Kazhdan, In Proceedings of Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2006)

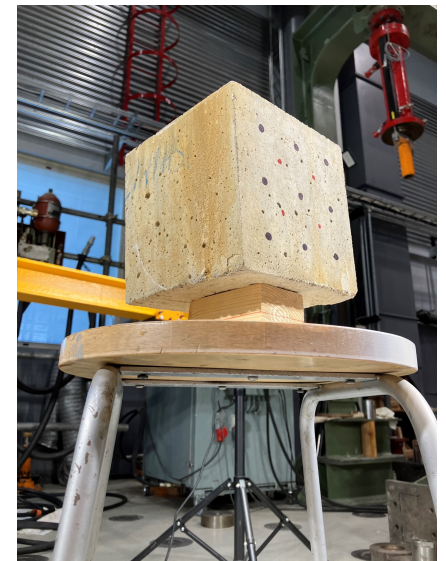
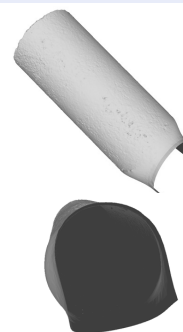
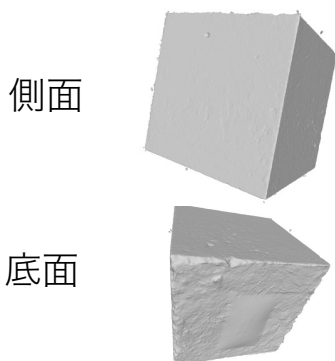
表面メッシュ構築の結果

キューブの表面メッシュは穴がなかったが、シリンダー2種に関しては底面部分(接地部分)が閉じていない形状となった。これは、右図のようにキューブでは供試体の下に小さな木材を置くことで、底面部分の点群が一部取得できていたことによるものだと考えられる。点群の取得できていない箇所をどのように取り扱うかは今後の検討課題である。

キューブのメッシュ

シリンダー(大)のメッシュ

シリンダー(小)のメッシュ



キューブの撮影の様子
底面の一部が撮れていることがわかる。

メッシュ最適化

構築したキューブのメッシュの様子

- 150万ものメッシュで構成されていた。
- 供試体のエッジ部分にノイズ(A)が存在していることが観察された。
- また、表面の小さな凹み(B)のような細かいジオメトリも表現されていることが観察された。
→部材の劣化、損傷を反映させたモデル構築の可能性が示唆された。

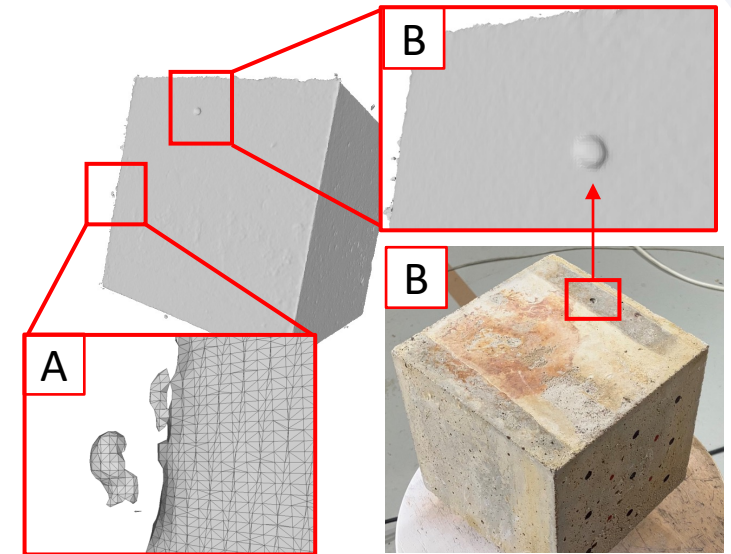
メッシュ最適化のために必要なこと

- メッシュ数を減らすためメッシュの簡略化
- 孤立したメッシュを取り除く

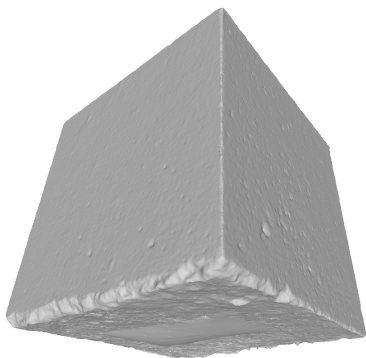
以上の処理を汎用ソフトウェアMeshLabを使用して行った。

最適化の結果

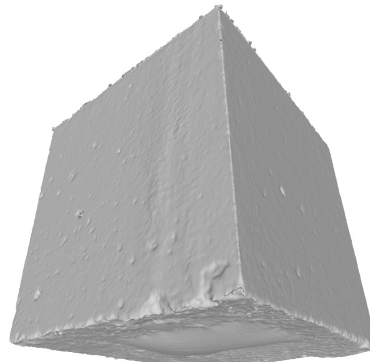
全体的な形状は保ちつつ、局所的な形状が平滑化されていく様子が見られた。どの程度まで簡略化すべきかが今後の検討課題となった。



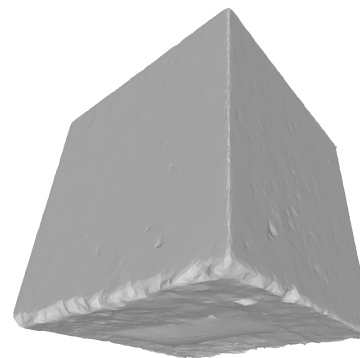
構築メッシュ各部の拡大図



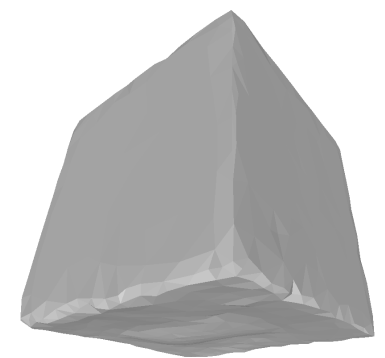
初期メッシュ: 1,486,503



メッシュ数: 371,624



メッシュ数: 23,226



メッシュ数: 1,450

ソリッドモデルの構築

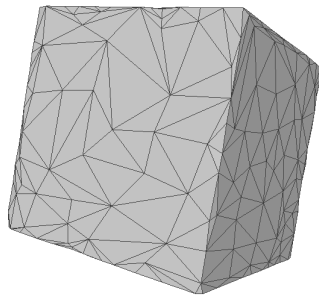
供試体の表面メッシュを構成したが、内部が空な状態である。したがって、ソリッド化（水密化）を行い内部の体積を定義する必要がある。

サーフェスカット

構築した表面で、十分に大きいソリッドモデルをカットする手法である。構築した表面メッシュの内部を水密化することが可能となる。

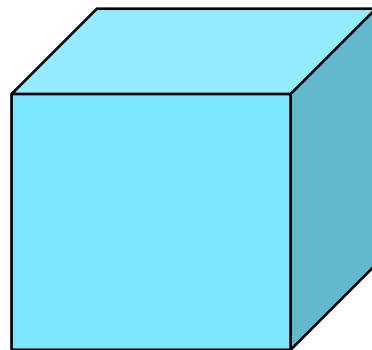
方法

1. 構築した表面の.stl ファイルを、CADファイル形式である.iges形式へと変換
2. .igesファイルをFE解析ソフト（本研究ではAbaqusを使用）へと入力
3. あらかじめ作成しておいたソリッドモデルを構築した表面でカットする



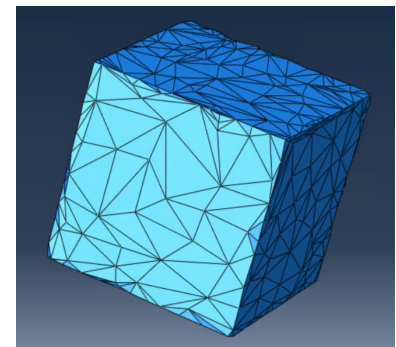
最適化したメッシュ
(メッシュ数: 996)

+



あらかじめ作成した
ソリッドモデル

カット
→



構築した表面からなるソリッド
モデル

以上のようにして点群から構築したソリッドモデルに対して、今後解析を行いモデル化の妥当性の検証を行う。

まとめ

感じたことや得たこと

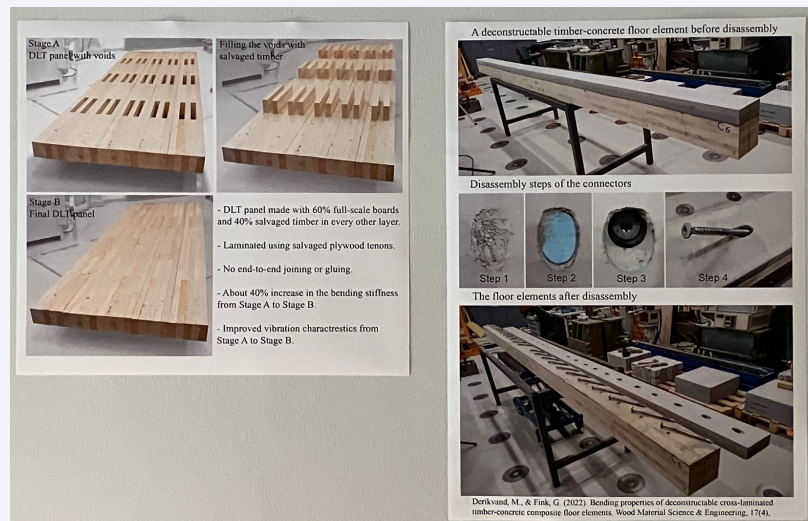
現地では、研究協力者らのグループとのミーティングや、セミナー、展覧会に参加した。知見交換を行うことで、新しい知識や視点を得られただけでなく、自分の知識をより深めることができた。研究協力者らとは、今後も連絡を取り合いながら検証を進めていくこととなった。また、さまざまなイベントで現地の方々と交流し、フィンランドでの文化や研究活動に対する姿勢を学んだ。教育の質が高いことで知られているフィンランドでは、世界各国から学生が集まっており、それぞれが学びたいことを自由にのびのびと学べる環境が整っていた。自分の研究活動に対する姿勢を見直し、より良いものにするための良いきっかけとなった。

どう活かしたいか

幸福度が高い国として有名であるが、その背景には高い教育力と研究の社会還元があるのだと感じた。大学と企業のコラボレーションがよく行われており、そこで得られた知見が社会に還元されていくことで生活水準の向上や幸福度の高まりにつながっているのではないかと考えた。

今後は社会還元を見据えた研究活動をより意識し、将来的に情報通信技術を活用した安全で持続可能なインフラ構造物の維持管理を促進できる人材になりたい。

本訪問では、指導教員、Niiranen氏、Zhang氏をはじめとする、多くの方々に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。



展覧会での展示(Derikvand & Fink, Wood Material Science & Engineering, 2022)



ヘルシンキ中央図書館Oodi
国民に学びを提供する洗練された空間であった。

有名建築家アアルト
(デザイン美術館)
大学名の由来となった人。大学内の至る所にデザインした椅子や机が置かれていた。