

橋梁保守管理作業における SfM3D モデルの Web ブラウザを用いた VR 表示の高精細化

北海道大学大学院情報科学院 ○中島 雄太, 田中 文基, 小野里 雅彦

要旨

本研究は、橋梁保守作業の効率化のために、Structure from Motion(SfM)で作成した橋梁 SfM3D モデルの Web ブラウザを用いた VR 表示機能を実現することである。しかし、使用する橋梁 SfM3D モデルのデータサイズやテクスチャサイズの制限によって適切に VR 表示できない場合がある。そこで、橋梁 SfM3D モデルとテクスチャ画像を分割することで、制限にかかることなく、高精細な橋梁 SfM3D モデルを VR 表示する方法を提案した。

1 緒論

近年、橋梁などの土木構造物の維持管理に対して ICT 技術を用いて効率化する動きが盛んである。その一環として堀ら[1]によって、Building Information Modeling (BIM)国際標準を拡張した橋梁維持管理情報モデルが提案され、点検現場で使用するための Web 配信システムが開発された。また、川村ら[2]によって、高精細なテクスチャ画像を用いる方法や大規模な 3D モデルを表示する際の負荷を低減する方法、WebVR の導入方法が提案された。しかし、Structure from Motion(SfM)によって作成された高精細で大規模な橋梁 SfM3D モデルを適切に VR 表示できない場合がある。

そこで本研究では、橋梁 SfM3D モデルに対し、高精細なテクスチャマッピングの問題を解決する方法や大規模な橋梁 SfM3D モデルを VR 表示する方法を提案する。

2 現状の橋梁保守管理に対する 3D モデルの Web 配信システムの概要と問題点

図 1 に橋梁保守管理に対する 3D モデル Web 配信システムの概要を示す。川村らによって提案されたシステムでは、高精細なテクスチャ画像を分割することで鮮明な橋梁 SfM3D モデルの表示を可能にしている。また、Level of Detail (LOD)制御を用いて Web 表示中の動作の改善を行った。さらに、WebVR を導入することで Web 上で橋梁 SfM3D モデルの VR 表示を可能にした。

しかし、この 3D モデルの Web 配信システムには、以下のような問題が存在する。

- 分割後のテクスチャ画像サイズが適切でなく、正しくテクスチャマッピングされない場合がある。
- ファイルサイズが大きい橋梁 SfM3D モデルの VR 表示ができない。

これらの問題を、以下の手法によって解決する。

- 適した画像サイズにテクスチャ画像を分割することで、正常にテクスチャマッピングを行う。
- 橋梁 SfM3D モデルを分割し、1つあたりのファイルサイズを小さくする。

以下に具体的な手法を述べる。

3 画像分割による高精細なテクスチャマッピング

three.js を用いて橋梁 SfM3D モデルを Web ブラウザで表示する際に、テクスチャ画像の画像サイズが 2 のべき乗でない、もしくはある値(デバイス依存)よりも大きい場合

に自動的にリサイズ処理が行われる。このリサイズ処理によって、本来よりも低い解像度でテクスチャマッピングが行われてしまう。さらに、大幅なリサイズ処理が行われるとモデルが黒く表示されてしまう。

そこで本研究では、WebGL の制限を考慮し、分割後の画像サイズが 2 のべき乗かつデバイス依存の値よりも小さくなるように画像分割を行う。これにより、WebGL の制限にかからないため、リサイズ処理が行われずに正常なテクスチャマッピングを行った橋梁 SfM3D モデルの表示が可能となった。図 2 で示した橋梁 SfM3D モデルの枠で囲った橋脚部について、図 3(a)に解像度 4,096×4,096 の画像を用いた表示結果と図 3(b)に解像度 32,768×32,768 の画像を解像度 16,384×16,384 の 9 枚の画像に分割した際の表示結果を示す。(a)、(b)を比較することで(b)の分割後のモデルのほうが鮮明に表示されていることがわかる。

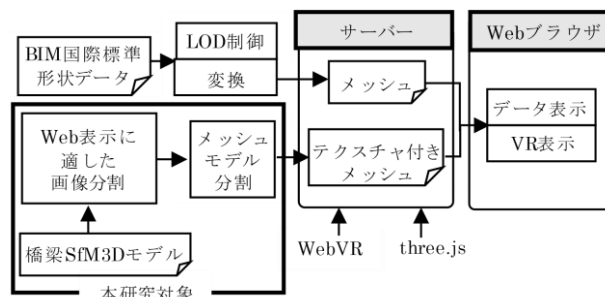


図 1 橋梁保守管理に対する 3D モデル Web 配信システム

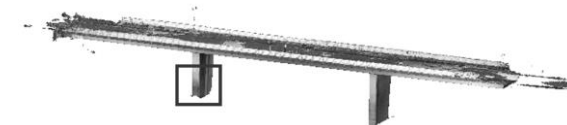
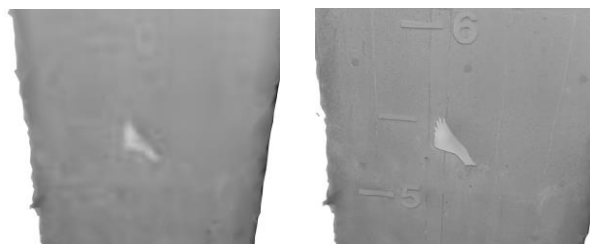


図 2 橋梁 SfM3D モデル



(a) 解像度 4,096×4,096 (b) 解像度 32,768×32,768

図 3 橋梁 SfM3D モデルの橋脚部の拡大図

4 橋梁構造に基づく SfM3D モデルの分割

three.js を用いて橋梁 SfM3D モデルを表示する際にモデルのファイルサイズが約 250[MB]を超えると読み込みを行えず、VR 表示を行うことができない。

本研究では、大規模な橋梁 SfM3D モデルを VR 表示するためにモデルを分割することで、大規模な橋梁 SfM3D モデルを VR 表示することを可能とした。また、点検情報は橋梁の構成要素ごとに管理されているため、分割後のモデルと点検情報を関連付けるために、橋梁構造に基づいて橋梁モデルの分割を行う。

橋梁 SfM3D モデルの分割にはスライスアルゴリズム[3]を用いる。スライスアルゴリズムによって、上部構造のみを含む部分と橋脚を含む部分に分ける手順を図 4(a)に示す。

まず、主成分分析を用いて、橋梁モデルの水平方向がグローバル X 軸とほぼ平行になるようにモデルを回転させる。次に、図 4(b)のように、ある一定の幅で橋梁モデルを X 軸に沿ってスライスし、そのスライス内部にある点の分布から橋梁形状を検出する。スライスの数を J とすると、スライス $S_x = \{S_{jx}; j = 1, 2, \dots, J\}$ が得られる。ここで、橋梁モデルに含まれる頂点の z 座標の最大値と最小値の差の絶対値を橋梁の高さ H_{bridge} 、各スライス S_{jx} に含まれる頂点の z 座標の最大値と最小値の差の絶対値をスライスの高さ $range_{jz}$ とする。また、橋梁の高さに対する上部構造の厚さの比率を ρ_1 としたとき、(1)式を満たすスライスを橋脚を含むスライスと分類し、満たさないスライスを上部構造のみを含むスライスと分類する。

$$range_{jz} > \rho_1 H_{bridge} \quad (1)$$

上部構造のみを含むスライスと橋脚を含むスライスが隣り合う位置を分割位置とする。図 5 に X 軸に沿ったスライスの高さを示し、このグラフから求めた分割位置を基に、分割した橋梁 SfM3D モデルを図 6 に示す。

5 大規模で高精細な橋梁 SfM3D モデルの VR 表示

高精細な画像と大規模橋梁 SfM3D モデルの分割を行うことで、Web ブラウザを用いた大規模かつ高精細な橋梁 SfM3D モデルの VR 表示を可能にした。図 7 に解像度 $32,768 \times 32,768$ の画像を用いてテクスチャマッピングを行ったファイルサイズが 461[MB]の橋梁 SfM3D モデルの VR 表示の結果を示す。

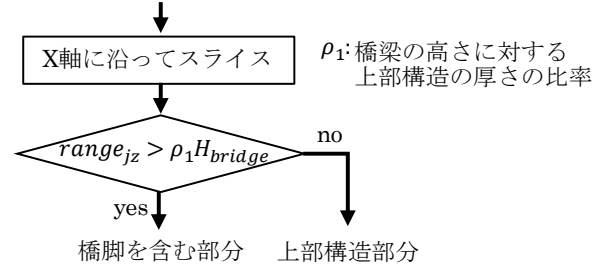
6 結論

本研究では、Web 表示に適したテクスチャ画像分割の方法と大規模な橋梁 SfM3D モデルを構造に基づいて分割し、VR 表示可能にする方法を提案した。それにより、大規模かつ高精細な橋梁 SfM3D モデルの VR 表示ができ、より正確に橋梁検査保守作業を行うことが可能になった。今後の課題として、大規模かつ高精細な橋梁 SfM3D モデルの VR 表示中の動作の改善などが挙げられる。

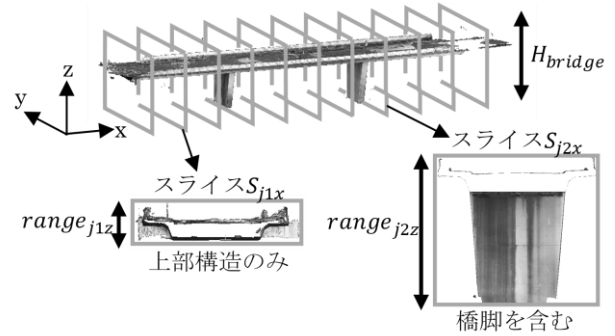
参考文献

- [1] 堀他, 橋梁点検・保守のための国際標準に基づく橋梁情報モデルとその web 配信システム(第 3 報), 2016 年度精密工学会春季大会講演論文集, 2016
- [2] 川村他, 橋梁点検・保守のための国際標準に基づく橋梁情報モデルとその web 配信システム(第 8 報), 2018 年度精密工学会春季大会講演論文集, 2018

主成分分析を用いて回転させた橋梁 SfM3D モデル



(a) スライスアルゴリズム



(b) スライスアルゴリズムによる分類例

図 4 スライスアルゴリズムによる分類

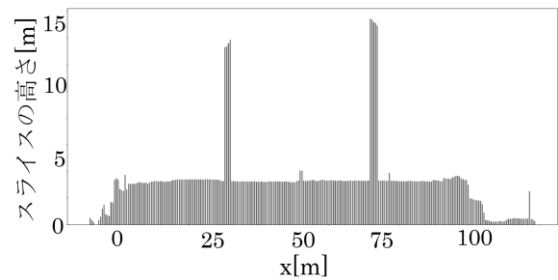


図 5 X 軸に沿ったスライスの高さ



図 6 分割した橋梁 SfM3D モデル



図 7 大規模かつ高精細な橋梁 SfM3D モデルの VR 表示

- [3] Roudan Lu et al.: Detection of Structural Components in Point Clouds of Existing RC Bridges, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 34 (2019) 191-212