

XR 環境下での複雑な構造解析の実装を目的としたソフトウェアの連携 Software Collaboration for Implementation of Complex Structural Analysis in the XR Environment

○門積 直宏*¹, 満田 衛資*²
Naohiro KADOZUMI*¹, Eisuke MITSUDA*²

*1 京都工芸繊維大学大学院建築学専攻 大学院生 学士(工学)
Graduate Student, Master's Program of Architecture, Kyoto Institute of Technology, B. Eng
*2 京都工芸繊維大学 デザイン・建築学系 教授 博士(工学)
Professor, Faculty of Design and Architecture, Kyoto Institute of Technology, Dr. Eng

キーワード : XR; 構造デザイン; 形態創生; 設計感度解析
Keywords: XR; Structural design; Morphogenesis; Sensitivity analysis.

1. はじめに

1.1. 背景と目的

近年, XR(Extended Reality:VR (仮想現実), AR (拡張現実), MR (複合現実)などの総称)技術の発展は目覚ましく, 建築分野においても施主と設計者の認識共有や施工者の補助, 社員の教育等, 様々な場面でその活躍が期待されている. 一方, 建築のモデリングや構造解析等に XR を活用する取り組みもあるが, ワークフローの一部として XR を導入する例が多く, それ単体で完成させている例はほとんど見られない. また, そもそもこれらの場面での XR の導入に対して懐疑的な態度を示す者もいる. モデリングや構造解析といった場面では XR の導入によって今までにはない情報や体験を得ることが可能であっても, 使い慣れたソフトの使用感と XR で得られる新たな体験を天秤にかけた際, XR への移行をためらうのも頷ける. ここでの使用感とはモデリング精度の高さや設定の容易さ, 操作に対するレスポンス, 解析速度などを指す. 建築物のファサードの検討やプロダクトデザイン, 構造解析等の場面での XR の広い普及のためには, 普段ユーザーが使用しているソフトをそのまま XR 空間へ移行し, 普段通りの使用感のまま XR の利点を得られることが望ましい.

以上を受けて, 本報告では一般的なモデリングソフトと XR との連携手法を提案し, XR 空間内に XR 空間外での使用感と変わらない形態操作や複雑な構造解析を実装することを目指す. 本報告ではその一例として, 3D モデリングソフト Rhinoceros 及び Grasshopper を使用し, そのフォルムと構造性能の結びつきが強い大空間構造物を設計対象物として, 形態のパラメトリックな操作と複雑な構造解析からなる形態創生の XR 空間へ実装を行う.

1.2. 既往研究と本報告の位置づけ

XR 技術を建築分野で活用する研究は石田¹⁾による VR

で設計対象の空間を経験させ, それが設計プロセスに与える影響について考察を行うものや, 中村²⁾による AR で表示させた 3D モデルによって合意形成や情報共有を図るもの等がある. これらの研究ではあらかじめモデリングソフト等で作成した 3D モデルを XR 空間へ投影するという手法を取っている. この手法を構造に適用し, 形態やスパンなどの違いによる空間体験の違いを XR 空間で確認することは可能ではあるが, この時, その違いによって構造性能は大きく変化しているはずであり, それら性能の変化を適切に追跡できている必要がある. 筆者らはこれまでに形態の変化に伴う構造性能の変動を示し, 適切な変更の方向性を与えるアドバイス情報を提示しつつ, XR 空間体験者が感性に基づいて形態を変更させる手法を提示してきた³⁾. この手法は設計者の意思は反映させやすい反面, 標準的な最適設計解と比較して構造性能が見劣りする, XR 空間からの操作に対するレスポンスが悪い, といった問題点が見られた. 本報告は以上のような問題点を改善し, 構造性能が伴いつつも設計者の意思が反映された形態創生を XR 空間内で不自由なく行うことを目指したものである.

2. XR 活用が期待される設計対象

本章では本報告で取り扱うモデルと XR 空間内で実行する設計手法について述べる.

2.1. 設計対象モデルと実行する設計手法

本報告では XR 空間内で形態の外部空間・内部空間の体験の重要性, パラメトリックな形態操作との相性, 構造解析や最適化など計算負荷のかかるプロセスの必要性といった点から, 設計例として大空間構造物を取り扱う. この時, 形態をパラメトリックに操作することは自由な設計へとつながるが, 実際はその後, 構造性能を確保するための形態の修正が欠かせないため, 設計者が初期に思い描いた

形態をそのまま建築物として再現する難しい。そこで、筆者らの提案した設計手法³⁾を改善し、設計感度解析に基づく最適化アルゴリズム中に手動での直接操作を組み込んだ手法(図1)をXR空間上で実行する。

Step1.) Grasshopper で初期形状と操作点の設定など設定をあらかじめ行う。

Step2.) XR空間上に設計対象物の形態と、その形態に対する形状操作による構造性能の変動を表すアドバイス情報を描画する(図2)。

Step3.) 設計者はこの情報を参照しながら形態を操作し、そのたびに最適化プログラムによる構造性能を考慮した形態の補正も実行される。

以上より、設計者はXR空間から得られる形態の外部空間・内部空間の情報と、アドバイス情報から得られる構造性能に関わる情報の両方を得ながら設計を行う。

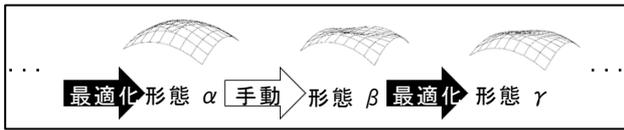


図1 手動操作を組み込んだ最適化

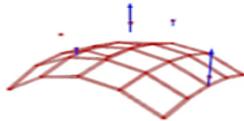


図2 アドバイス情報の描画

2.2. 設計手法のアルゴリズム

2.1 で紹介した設計手法のアルゴリズムは以下の8Stepからなり図3に示す通りである。

Step1.) Python で使用断面、材料定数、载荷条件、拘束条件を定義する。

Step2.) 制御点の座標をもとに形状を再現する。

Step3.) 剛性法に基づく構造解析を行い、節点変位と歪エネルギーを計算する。

Step4.) 制御点座標に関する感度解析を行う。

Step5.) 形態の描画を行う。

Step6.) 座標の更新を行う。

自動更新の場合：

指定した回数感度係数を用いて勾配法に基づく制御点座標の更新を行う。これは一般的な最適化に当たる。

手動更新の場合：

設計感度解析の結果をもとに、形態上にアドバイス情報を表示し、設計者はその情報を参照しながら形状を操作する。

Step7.) Step6での形状変更の結果をもとに、各部材の断面を適切な断面に変更する。

Step8.) 制御点座標の増分が収束もしくは形態操作の試

行回数が規定回数に達すれば終了。それ以外はStep3へ

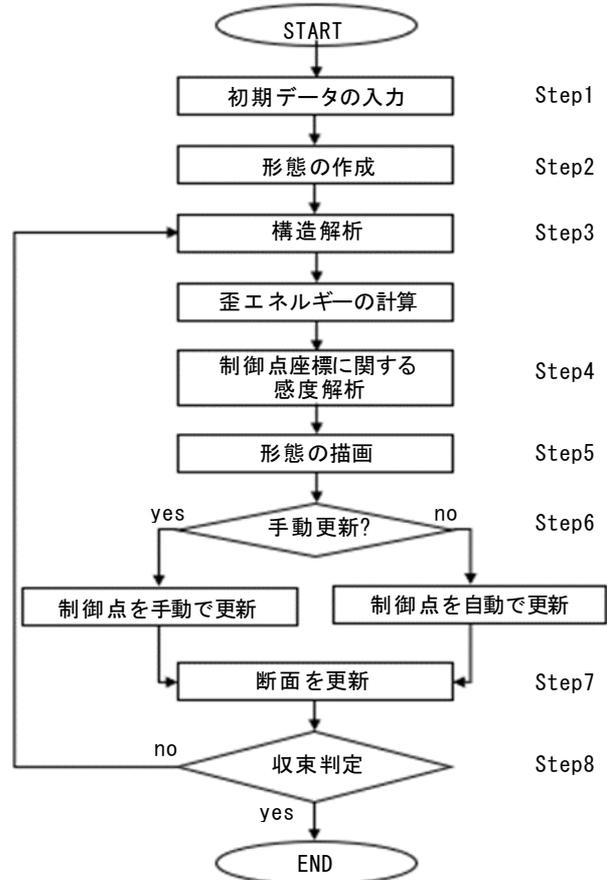


図3 設計アルゴリズム

2.3. 設計手法で得られる形態について

2.1 で紹介した設計手法を用いて得られる形態の例を示す。図4のCase1が最適化の途中に恣意的な形状操作のみを行ったもの、Case2が恣意的な形状操作に加え、アドバイス情報に従う補正を加えたもの、すなわち前章までで取り上げた手法である。歪エネルギーの推移と最終的な歪エネルギー値、ライズ、得られる形態を図4に示す。図4からCase2はCase1に類似した形態でありながら、Case1より歪エネルギーの値が低くなっていることがわかる。

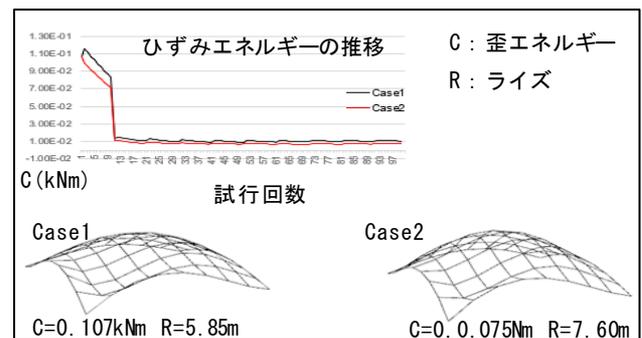


図4 Case1とCase2の比較

3. ソフトウェア間の連携

本章では2章で紹介した設計手法をXR空間で実行する際の各ソフトウェアの役割とその連携について述べる。今回は構造的な把握のための線形弾性解析、アドバイス情報の作成のための感度解析には Python で作成した解析プログラムを、形態の作成、操作には Rhinoceros & Grasshopper を、XR 環境への対応は Unity と Mixed Reality Tool Kit を使用する。ソフトウェア間の連携は図5のとおりである。以下の節ではそれぞれの連携手法についてより詳細に述べる。

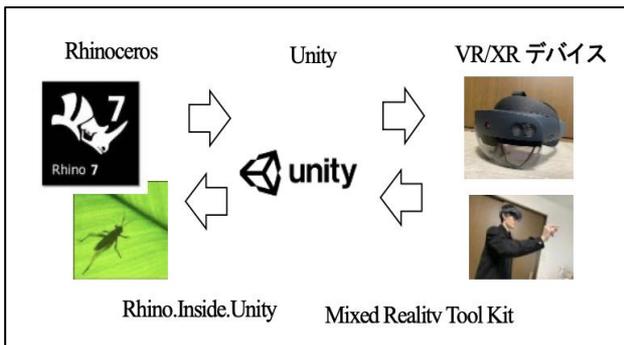


図5 ソフトウェア間の連携

3.1. 解析プログラムと Rhinoceros & Grasshopper の連携

本手法では解析プログラムで得られた解析結果を基にして Grasshopper を用いて形状の作成を行う。この時解析プログラムを Grasshopper で動かすとモデルの規模の増大に伴い計算負荷が大きくなり、Unity でのモデル形状のスムーズな操作に影響を与えることが確認できた。そこで Grasshopper のプラグインである gHowl 中の UDP Sender(<UDP>)と UDPReceiver(>UDP<))を使用し、設計変数のみを OSC で UDP 通信を用いて送信、Python でサーバーを作成し受信及び解析プログラムで解析、解析結果を Grasshopper へ送信という手法をとった(図6)。

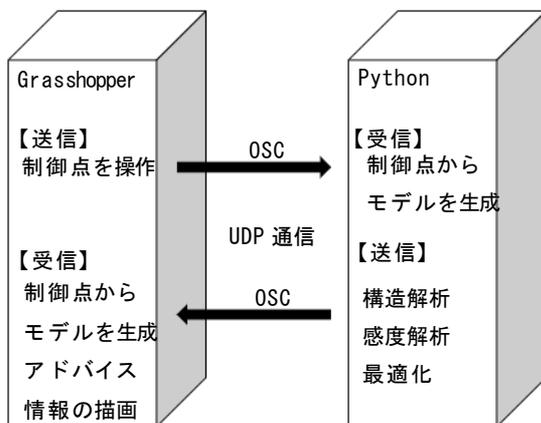


図6 UDP 通信を用いたデータのやり取り

また、2.2 節で示したアルゴリズムの Step6.)では自動または手動で形態の操作を行う。手動更新ではアドバイス情報を作成するため構造解析と感度解析のセットを1度のみ行うが、自動更新とはすなわち最適化を指し、構造解析と感度解析のセットを複数回計算するため手動更新と比較し解析に時間がかかる。形状操作時に必要な情報はアドバイス情報の表示のみであることに着目し、プログラム全体としての計算負荷を減らすため、Python のサーバー及び解析プログラムを手動更新用と自動更新用に切り分け、手動更新時と自動更新時でのプログラムの干渉をなくすことで手動更新時の計算負荷の低減を図った。それに応じて Grasshopper 内には Boolean Toggle でスイッチを作成し、受信する情報を自動更新と手動更新をスイッチの on-off で切り替えられるようにした(図7)。以上により最低限の計算負荷での手動操作の実行を可能にした。

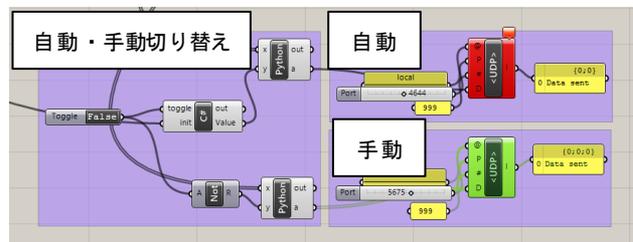


図7 自動・手動切り替え用のスイッチ

3.2. Rhinoceros & Grasshopper と Unity との連携

本手法では設計対象モデルに対し Grasshopper を用いたパラメトリックな形状操作を行い、得られた動的なモデルを Unity に転送する。ここでは、Rhinoceros7 より実装されたプログラムである Rhino. Inside を使用し形状操作に用いる Number Slider、自動・手動の切り替えに用いる Boolean Toggle、モデル形状を Unity へリアルタイムで転送する。Rhino. Inside とは様々な Windows アプリケーションの中で Rhinoceros を使用することが可能するオープンソースのプロジェクトである。このプロジェクトを用いることで、Rhinoceros によるモデル形態や、形状の操作のための Grasshopper のコンポーネント群を Unity で再現した(図8)。

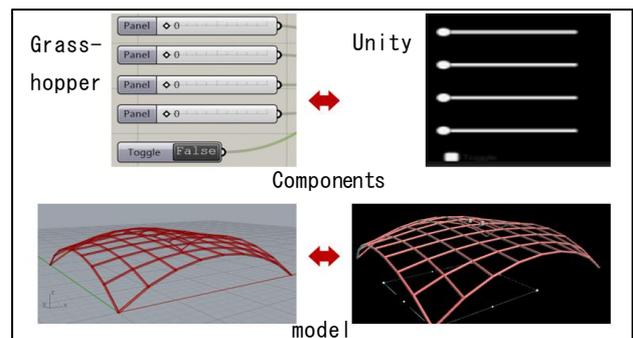


図8 モデル・コンポーネントの連携

3.3. MRTK の使用と XR デバイス

本手法では Rhino. Inside を使用し Unity へ移行したモデル・コンポーネント群に対し、MRTK(Mixed Reality Tool Kit) を用いることでそれらを XR へ対応させる。MRTK とは Unity でのクロスプラットフォーム MR 開発のためのコンポーネントと機能を提供する Microsoft 主導のオープンソースプロジェクトであり、様々なデバイスに対応している。このプロジェクトを用いることで比較的簡単に Unity を用いた XR アプリケーションの作成が可能となる。本報告では HoloLens2(図 9)の使用を想定する。HoloLens2 とは Microsoft 社が開発した MR デバイスであり、指先のジェスチャーによって仮想モデルの拡大、縮小、回転、位置の変更といった操作が行える。ここでは、Unity の slider と MRTK の Pinch Slider を連携させ(図 10)、制御盤上またはモデル上に Pinch Slider を配置することで HoloLens2 環境の中でのパラメトリックな形態操作を可能にした。



図 9 HoloLens2

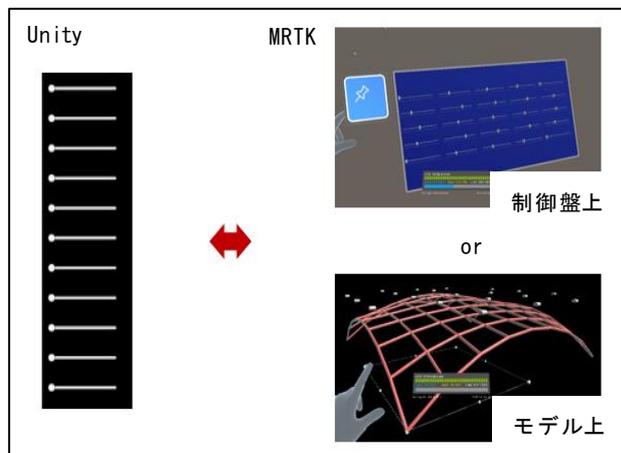


図 10 slider と Pinch Slider の連携

4. 操作例

ここでは実際の操作の様子を示す。ここでの図 11、図 12 は Unity 上に再現した HoloLens2 の仮想空間での操作の様子である。モデル上に表示した制御点を操作することにより、Grasshopper での Number Slider を用いたパラメトリックな形態操作をそのまま XR 空間の中でも実行させた(図 11)。また、以上のような使用感に加えて、XR 空間の中で形態を内側から体験しながらそのモデルの形態を操作するという XR ならではの空間の体験を付与することができ

た(図 12)。

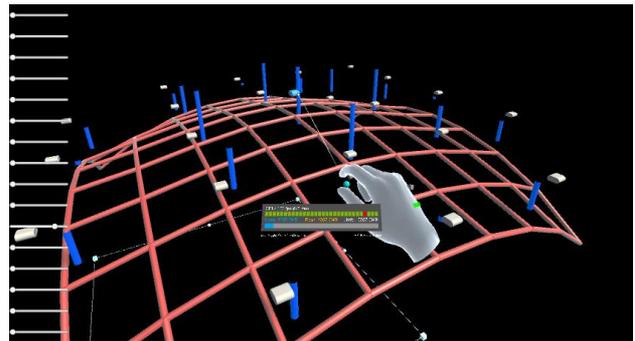


図 11 外側からの操作の様子

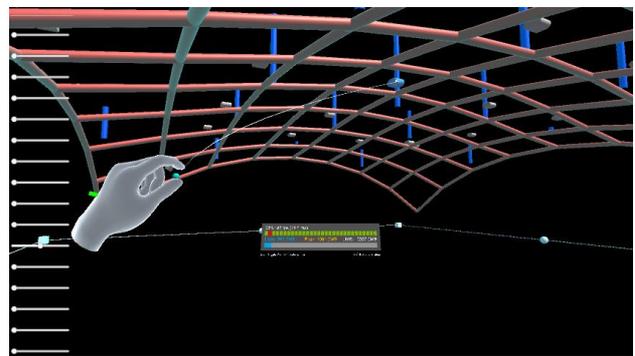


図 12 内側からの操作の様子

5. まとめ

本報告では一般的なモデリングソフトと XR との連携手法を提案した。ユーザーの使い慣れたソフトの使用感のまま XR での利点を付与した手法を目指し、今回はその一例として大規模空間構造について取り扱った。今後はよりスムーズな操作やユーザーインターフェースの向上、他の構造形式に向けての展開などに向けて取り組みたい。

【参考文献】

- 1) 中村泰斗, 本間里見, 内山忠: AR 技術を用いた都市再開発計画における合意形成・情報共有ツールの開発, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 59 号, pp317-320, 2020. 3
- 2) 石田康平, 酒谷稔将, 田中義之, 千葉学: VR を通じた空間の経験が設計プロセスに与える影響 建築設計における創造的プロセスを支える対話ツールとしての VR に関する研究(その 1), 日本建築学会径角形論文集, 第 84 巻, 第 761 号, pp1579-1582, 2019. 7
- 3) 門積直宏, 満田衛資: 可視化された設計感度情報を利用する形状直接操作型の構造形態設計法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp775-776, 2021. 7