

VR空間における都市型水害シミュレーションの 可視化に関する研究

Studies on Visualization for Urban Flood Disaster Simulation in Virtual Reality Space

田近伸二¹・高田知学²・檜山和男³

Tajika Shinji, Takada Tomosato, Kashiyama Kazuo

抄録: 本論文では、都市型水害シミュレーション結果の高品質で臨場感の高い可視化を、VR空間において行うための手法を提案する。本手法は、CAD/GIS データに基づき実際の都市の地形や建物を正確に再現した都市モデルと、洪水氾濫の数値シミュレーションにより得られた氾濫流のデータを、IPT (Immersive Projection Technology) に基づくVR技術により生成されるVR空間内において可視化するものである。なお、高品質な可視化を実現するために、スクリプト機能を有する三次元CGソフトを適用した。

キーワード: バーチャルリアリティ, 可視化, 都市型水害シミュレーション, CAD/GIS

Keywords: Virtual Reality, Visualization, Urban Flood Disaster Simulation, CAD/GIS

1. はじめに

都市域の洪水氾濫時における物的・人的被害を予測するために、近年では洪水氾濫のシミュレーション¹⁾のみならず、その結果を用いた避難行動シミュレーション²⁾が行われるようになってきている。人的被害を軽減するには、住民がいち早く避難行動を起こすことが重要であるが、住民の防災意識が低いために逃げ遅れるケースが後を立たない。その原因の一つに、過去に実際に災害を経験していないために災害を具体的にイメージできないことが挙げられる。著者らは、数値シミュレーションにより災害を疑似体験できる方法として、洪水氾濫とそれによる避難行動シミュレーションを行い、避難者の視点からの現象の可視化を行ってきた²⁾。しかし、平面的なPCディスプレイやプロジェクター投影により可視化を行っていたため、二次元的な表示になり、都市の三次元的な空間性や洪水流の浸水高さを避難者の視点で正確に把握することは困難であった。したがって、二次元的な可視化表示手法では、災害を疑似体験できるレベルには至らなかった。

そこで本論文では上記の問題点を解決するために、近年注目を集めているVR (Virtual Reality)³⁾技術に基づく立体視による可視化手法を導入し、VR空間にお

いて三次元表示での高品質でかつ臨場感のある水害シミュレーションの可視化手法を提案する。なお、VR空間において高品質で臨場感のある可視化を実現するためには、正確な構造物の形状モデルの作成と質感の高い流れの表現が必要であり、構造物の幾何形状の表現には三次元CADシステムを、洪水流の水面の表現には、スクリプト機能を有する三次元CGソフトを適用した。なお、本手法の有効性の検討のために、都市域(神田川高田馬場周辺)における仮想の洪水氾濫問題を適用例として扱った。

2. シミュレーション概要

本論文では、神田川周辺を対象とした仮想の洪水氾濫問題を適用例として扱う。基礎方程式は浅水長波方程式を用い、その空間方向の離散化には安定化有限要素法を、時間方向の離散化には差分法に基づく陽的解法を用いた¹⁾。また、移動境界手法として、非構造格子に基づく固定メッシュによるEuler的手法を用いている。

解析メッシュはGISデータに基づき作成し、実際の地形形状および構造物の境界形状を正確に再現している。なお、GISデータには、数値地図(5mメッシュ:国土地理院発行)と二次元住宅地図(Mapple2500:昭文社)を用いた。

1 : 学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27, Tel :03-3817-1815, E-mail : shin-t@civil.chuo-u.ac.jp)
2 : 学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻
3 : 正会員 工博 中央大学 教授 理工学部 土木工学科



図-1 都市型水害シミュレーション結果



図-3 構造物モデル

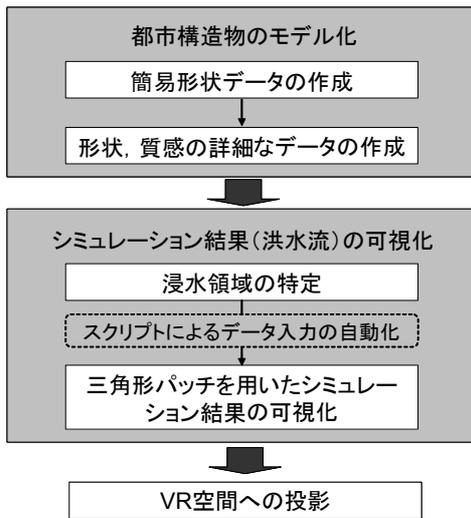


図-2 可視化工程

上記の解析手法，メッシュデータに基づき行われたシミュレーションの結果を，汎用可視化ソフトを用いて可視化した結果を図-1に示す．図より，従来の平面的な表示では，洪水氾濫の全体の状況は把握できるが，都市の位置関係や洪水により上昇した水位を正確に把握することは困難であることが分かる．また，同時に臨場感が低いという問題点も指摘されており，本論文ではこれらの問題点を解決するために，次章で述べるVR技術に基づく可視化手法の構築研究を試みた．

3. VR技術に基づく可視化手法の構築と適用

PCディスプレイやプロジェクター投影による二次元表示の可視化表示では，三次元的な位置関係や実スケールの把握が困難であるという問題点が生じる．そこで本手法ではこれらの問題点を解消するために，物体の三次元表示が可能で，VR技術に基づく立体視による可視化手法を導入する．また，従来の汎用可視化ソフトにおいて臨場感をさらに高めるために，可視化結果の質感を高品質に再現することを行う．具体的には，数値シミュレーション結果の可視化にスクリプト

機能を有する三次元CGソフト(3dsMax:Autodesk)を適用し，多種多様な質感設定をシミュレーション結果の可視化の際に用いる．しかし，三次元CGソフトの多くは幾何形状データの表示には，高い汎用性を有するが，シミュレーションなどにより得られた数値データの可視化を行う事は困難である．そこで本手法では，三次元数値データの入力作業を自動化するスクリプト(Maxscript)を作成し実行することで，数値シミュレーション結果の可視化に三次元CGソフトの適用性の向上を実現した．また，図-1に示すようにシミュレーション対象領域内の建物等のモデル化を簡易形状のみで表現することは，実スケールの把握や，臨場感のある可視化が困難となる要因の一つである．そこで本手法では，CADシステム(AutoCAD:Autodesk)により都市を正確に再現したシミュレーション対象領域のモデルを作成し，それとシミュレーション結果と重ね合わせて可視化することで，実スケールの把握や臨場感の向上を試みた．

図-2に本論文で用いた可視化工程を示し，以下にその詳細について述べる．

(1) 都市構造物のモデル化

a) 簡易形状データの作成

シミュレーションに用いたメッシュデータと，住宅地図より取得した建物の最上階数情報を用い，構造物の簡易形状データを作成する．本手法では，CADシステムにおいてメッシュデータを可視化するために，メッシュデータをdxf形式に変換する．可視化されたメッシュデータより建物の境界形状を抽出し，それらを建物の最上階数データに合わせて鉛直方向に押し出すことで簡易形状データを作成している．なお，構造物の高さは，4(m)×最上階数とした．

b) 形状，質感の詳細なデータの作成

前項で作成した簡易形状データに対して，正確な形状モデリング，及び質感の設定を行う．本手法では，シミュレーション対象領域の形状を正確に表現するために，CADシステムを用いて構造物の形状モデリングを行う．また，構造物の質感の設定には三次元CGソフトを用いる．しかし，構造物には多数の質感が存在

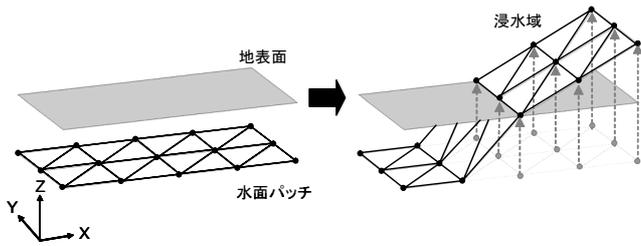


図-4 概念図

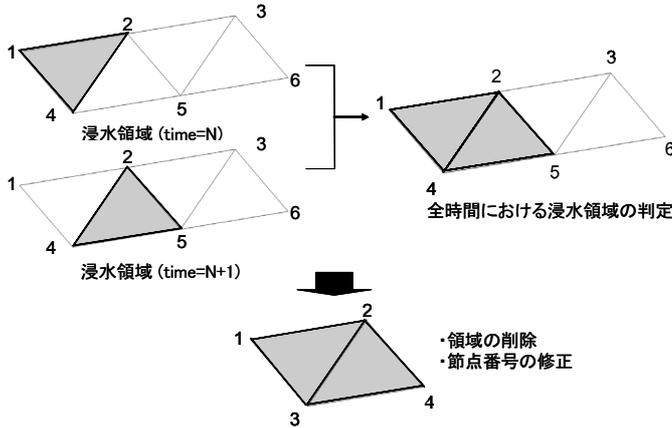


図-5 浸水域の特定

するため、それら一つ一つに対し設定を施すには膨大な時間が必要となる。そこで本手法では、窓などの光の反射、透明度などを求められる部材に関しては三次元CGソフトの質感設定を適用し、構造物の壁などの質感の表現に関しては、現地で撮影した写真の一部を切り取り、連続して張り付けることを行った。図-3に作成した構造物モデルの一例を示す。

(2) シミュレーション結果(洪水流)の可視化

a) 浸水域の特定

本手法では、図-4に示すように二次元平面に三角形パッチを作成し、これらのパッチの節点をシミュレーションにより得られた水位の値に応じて、鉛直方向に上下させることで、水面の可視化を行っている。なお、三角形パッチの作成にはシミュレーションに用いたメッシュの節点座標、及び要素を構成する節点の結合情報のデータを用いている。しかし、メッシュはシミュレーション対象領域の全領域に生成されているため、標高が高い場所では洪水流が一度も浸水しない領域が存在する。そこで本論文では、シミュレーション結果から全時間ステップ、全要素において洪水流の浸水領域の判定を行い、一度も浸水のなかった領域を削除することで、データ量の削減を行っている。領域を削除した後、節点番号、結合情報を番号順になるように修正することで、可視化の際に用いる三角形パッチのデータが完成する。

b) 質感を含めたシミュレーション結果の可視化

前項で作成した三角形パッチに、シミュレーションにより得られた時間ステップごとの水位のデータを入力し、洪水流の可視化を行う。しかし、GUI環境であ



図-6 HoloStage

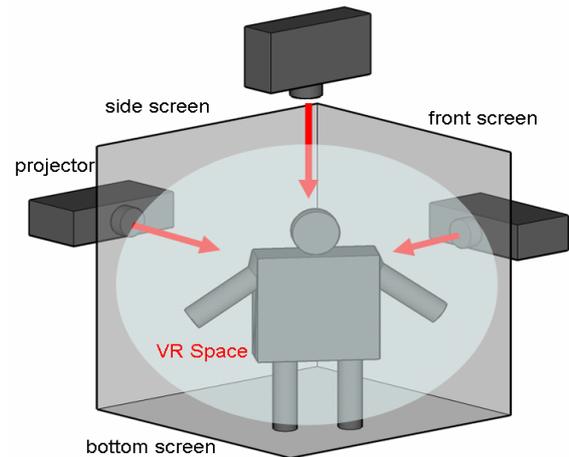


図-7 VR空間の構築

る三次元CGソフトにおいて、膨大なデータを有するシミュレーション結果の入力を手作業で行うことは非現実的である。そこで本手法では、数値データの入力作業を自動化するスクリプトを作成、実行することで三角形パッチの各節点に全時間ステップの水位のデータの入力を行い、三次元CGソフトにおける洪水流の可視化を容易に行えるようにした。これにより、三次元CGソフトの持つ多種多様な質感設定を洪水流に行うことが可能となり、水面の質感の表現が実現した。

(3) VR空間における可視化

a) VR空間の構築

VRとは、実際には存在しないが、機能や効果としては実際に存在しているのと同等の現実感をいう。本論文では、VR技術に基づく立体視による可視化を行うことで、我々が現実の世界において見ている現象と同等に、VR空間において現象を三次元的に正確かつ直感的に把握することを試みる。

本研究では、IPT (Immersive Projection Technology)⁴⁾に基づきVR空間の構築を行っている。IPTとは、多方面に大型スクリーンを設置し、スクリーンに囲まれた領域にVR空間を構築する手法である。図-6は本論文で用いるVRシステムHoloStageである。本システムは、三面の大型平面スクリーンと、それぞれに対

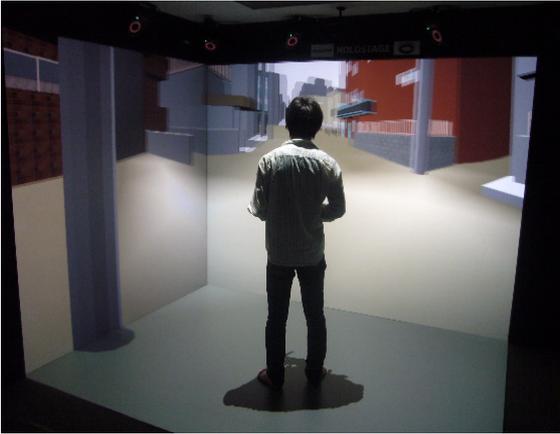


図-8 VR空間において人間視点で洪水氾濫の可視化結果を観察している様子

応する高性能プロジェクターで構成されている。なお正面、及び側面は透過型スクリーンとなっており、底面は反射型スクリーンとなっている。図-7に示すように、観察者は底面のスクリーンに立つことで、構築されたVR空間内に没入することができる。

本システムでは、立体視の方式として時分割方式を採用しており、液晶シャッターメガネと呼ばれる特殊なメガネを装着することで、高品質な立体視が実現される。また、液晶シャッターメガネを装着し、コントローラーを操作することでVR空間内を自由に移動可能となっている。

b) VR空間における可視化

三次元CGソフトにおいて、シミュレーション対象領域のモデルと洪水氾濫の可視化結果を重ね合わせ、VR空間における立体視による可視化を行う。図-8はVR空間における可視化結果を観察している様子である。立体視に基づく三次元表示による可視化により、構造物や洪水流の三次元的な位置関係の把握を容易に行うことができる。また、図に示すように実スケールによる可視化が可能であるため、従来では困難であった洪水による水位の上昇を実スケールで体感することができ、シミュレーション結果を直感的に把握することが可能となっている。また、三次元CGソフトにより質感の設定を行ったことで、水面の質感を高品質に表現できている。また、可視化のためのシミュレーション対象領域のモデル化を正確に行ったことで、水位の高さの把握が実スケールで容易に行えるだけでなく、より臨場感の高い可視化が行えるようになっている。図-8は、洪水流の進行方向に人間視点で立って現象を見ている状態であるが、観察者は実際に洪水流が迫ってくるような臨場感を得ることができる。

図-9は、都市の上方から洪水氾濫の様子を観察している様子である。このように観察者は、VR空間内をコントローラーの操作により自由に移動が可能であるため、様々な視点から自由に数値シミュレーション結果の可視化映像を観察することが可能であり、数値シミュレーション結果の詳細な把握を迅速かつ容易に



図-9 VR空間において上方より洪水氾濫の可視化結果を観察している様子

行うことができる。

4. おわりに

本論文では、VR技術に基づく立体視による可視化手法を都市型水害シミュレーションの可視化に導入し、高品質でかつ臨場感のある可視化手法を提案した。本手法を、実際の都市域における仮想の洪水氾濫問題に対する適用事例を通し以下の結論を得た。

- 1) 洪水氾濫シミュレーションの可視化にVR技術に基づく立体視による可視化手法を導入することで、高品質でかつ臨場感のある洪水氾濫状況の表現が可能となり、またそれらの状況を実スケールで体感することが可能となった。
- 2) VR空間における洪水流の可視化の際、三次元CGソフトのスク립ト機能を用いてデータの自動入力プログラムを作成した。これにより、三次元CGソフトの適用性が増し、品質と臨場感をさらに向上させることができた。

以上により、VR技術に基づく本可視化手法の有効性が確認できた。

今後は避難行動シミュレーション結果と洪水氾濫結果を統合し、避難行動擬似体験システムの開発を行う予定である。

参考文献

- 1) 岡田岳, 檜山和男, 高木利光:安定化有限要素法による都市域洪水氾濫解析手法の構築, 第18回数値流体力学シンポジウム講演論文集(CD-ROM), D2-4, 2004年12月
- 2) 宇野圭亮, 中矢琢士, 大川博史, 檜山和男:GISを用いたマルチエージェントモデルに基づく災害避難シミュレーションシステムの構築, 第12回計算工学講演会論文集, Vol.12, No.2, pp.449-452, 2007年5月
- 3) 舘 暉:人工現実感の基礎, 培風館, 2000年3月
- 4) E.J.Wegman and J.Symanzik: Immersive Projection Technology for Visual Data Mining, Journal of Computational and Graphics Statistics, Vol. 11, pp.163-188, 2002.