

(55) OpenFOAMとUnityを用いた氾濫災害の 疑似体験VRシステムの構築

野島 和也¹・桜庭 雅明²

¹ 正会員 日本工営株式会社 中央研究所 総合技術開発部 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304)
E-mail: nojima-kz@n-koei.jp

² 正会員 日本工営株式会社 中央研究所 総合技術開発部 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304)
E-mail: sakuraba-ms@n-koei.jp

本研究では、土砂氾濫や津波、高潮などの氾濫災害時における氾濫流の来襲状況を把握・体験するために、ゲームエンジンを用いた疑似体験システムの構築を行った。氾濫流の計算には3次元のVOF法に基づく自由表面流れの計算をOpenFOAMのソルバを用いて行った。また、氾濫流に流されて来襲するがれきを疑似体験システムに取り入れた。流木や巨石などのがれきの挙動の計算は、ゲームエンジンの物理エンジンを利用して実施した。また、ヘッドマウントディスプレイ型のバーチャルリアリティ装置を用いて、氾濫流が押し寄せた場合の状況を擬似的に体験できるようにした。

Key Words : OpenFOAM, virtual reality, tsunami, debris flow

1. はじめに

近年、我が国では大規模な自然災害が頻発しており、自然災害による人的被害を最小限に抑えることは急務な課題である。地震、津波および洪水などによる大規模災害では、ハード的な対策に限界があり、早期避難などのソフト的な対策が重要である。各自治体では、ハザードマップ等の各種防災情報の整備が進められているほか、津波災害に対しては、早期避難を目的とした津波避難ビルや津波避難タワーといった避難施設の重要性が再認識されており、様々な検討¹⁾³⁾および構造上の要件⁴⁾⁵⁾が示されている。しかし、一般住民の防災に対する意識の向上には課題が残されている。住民の避難行動の意思決定に際しては、災害に対して知識や経験を有していることが重要であるが、災害が起こる前にその状況を体験することは困難である。

一方近年、進歩が著しいVR（バーチャルリアリティ）技術を用いた疑似体験システム⁶⁾や避難シミュレーションのツール⁷⁾が開発されている。これまで災害の疑似体験として開発されている多くのシステムは、津波を対象としたものである。筆者らは、これまでに数値計算用の可視化ソフトウェアによる画像を元とした、数値計算の結果のVR化を行い、津波の建物内部の詳細な流況が目視できるシステムを構築した。しかし、現象を立体的にかつ、

実スケールで確認でき、流れが押し寄せる際の威圧感を体験できるようになったものの、実際の風景とVR映像の間には大きなギャップがあり、現実の代替として利用する上では、質感の向上に課題があった。そこで、本研究では災害疑似体験VRシステムを構築する上で課題となる、VR映像の質感向上を目的とし、ゲームエンジンによる映像作成を行った。対象を土砂氾濫による氾濫災害とし、氾濫流が体験者に接近する様子を映像化した。土砂氾濫流はOpenFOAMを用いた数値シミュレーションにより流況を算出した。また、土砂氾濫の現実感を高めるため、流木や巨石が洪水に流される様子をVR映像に再現した。流木や巨石の挙動は、数値シミュレーションではなく、ゲームエンジンの物理計算を用いて実施した。

2. VRシステムの構築

(1) VR装置の概要

VR装置の外観およびハードウェアおよびソフトウェアの構成・仕様を図-1および表-1に示す。VR装置は、PCおよびディスプレイ1台で構成される簡易なものから、PCクラスタシステムおよび多数の大型の映像装置から構成される高度なものまでいくつかの種類がある。VR映像から得る臨場感は、VR装置の能力に大きく左右さ

れる。本研究では、これらの種類から比較的簡易かつ臨場感のあるヘッドマウントディスプレイ型の VR 装置を用いた。VR 装置はヘッドマウントディスプレイ型の Oculus Rift CV1 を用いた。装置はヘッドマウントディスプレイ以外に、映像を出力制御する PC および制御操作のディスプレイ、位置関係を把握するセンサーおよび視点の移動を行うコントローラで構成される。なお、ヘッドマウントディスプレイの動作に必要な PC は VR 画像の作成にあたり、高いグラフィック能力が必要となり、表-1 に示すようなビデオカードを用いている。

(2) VR システムの構成

VR システムでは、数値解析により得られた氾濫流の計算結果の時刻歴から等値面を抽出し、視差を有する立体映像動画として VR 装置で視聴できる仕組みとした。数値解析における結果の可視化は、Unity Technologies 社の Unity を用いて行った。Unity は、ゲームエンジンと呼ばれるゲーム開発ソフトウェアであり、VR ヘッドマウントディスプレイ向けに立体映像を生成することができる。また、Unity は、風景や光や影などに関する映像効果機能が豊富に備え、現実感の高い映像を作成することができることから、疑似体験の映像作成に適している。

本研究で利用した VR 装置は、モーショントラッキング(利用者の動きを検知し、視点を動かすことができる)機能を有しており、体験者は 3m 四方の範囲であれば、VR 映像内の任意の場所に動くことができる。3m を超える距離の移動は、コントローラのボタンとスティックを操作することで可能とした(図-2 参照)。

3. VR 映像の作成

VR 映像は、Unity の開発環境である Unity Editor へ地形や水面形状のデータを登録し、それらを 3 次元の仮想空間上に配置し、水面のアニメーションや映像効果を加えて作成した。水面形状は別途数値シミュレーションにより算出し、がれきは Unity の物理エンジンを利用して再現した。使用したデータの概要を表-2 に示す。VR 映像は VR 装置に対応したアプリケーションの形式として出力し、開発環境のある PC 以外の PC で実行できるようにした。

(1) 地形データ

VR 映像に用いた地形データは、航空測量による測量成果の点群データに Delaunay 三角分割法を適用して、三角形ポリゴンを作成して利用した。三角形ポリゴンデータは、Unity に取り込めるように OBJ 形式で保存した。地形の三角形ポリゴンは、航空写真画像のテクスチャを



図-1 VR 装置の外観

表-1 VR装置の仕様

装置・ソフトウェア	仕様
VRヘッドマウントディスプレイ	Oculus Rift CV1 解像度：1080×1200 視野角：110°
コントローラ	Oculus Touch（無線式）
可視化演算・制御PC	CPU: intel Core i7-6700 メモリ：16GB ビデオカード：NVIDIA GTX 1070 OS: Windows10 64bit 解像度：1920×1200
VR映像製作ソフト	Unity Pro

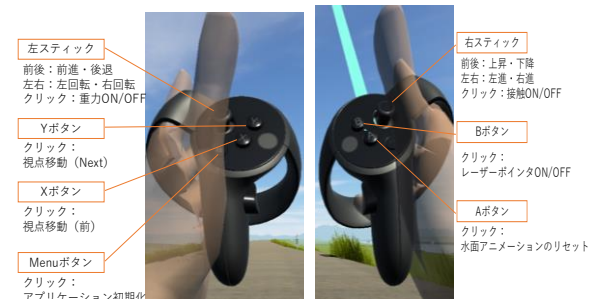


図-2 VR コントローラによる操作

貼ることで、見た目を改善した。地表面のデータのほかに、建物や橋、樹木を地形データとして VR 映像内に設置した。建物は国土地理院の基盤地図情報⁷⁾の建物ポリゴンに高さを与えて 3 次元モデルとした。建物の地表面からの高さは、2 階程度の高さを仮定し、一律に 8.0m とした。樹木は Unity の Standard Asset や Asset ストアから入手したモデルを利用した。

(2) 水面形状

水面形状は数値シミュレーションの結果から作成した三角形ポリゴンのメッシュに水面の映像効果を付加する

ことで表現した。水面形状データは、1/4 秒の間隔で作成し、全時間の水面データを VR 映像上に配置した後、Unity のスクリプトにより表示と非表示を切り替え、アニメーションで表示させるものとした。

(3) 映像の品質向上

VR 映像では、可能な限り現実の状態に近づけるための工夫を行った。ゲームエンジンの Unity では標準の機能ではあるが、光の反射や影の描画により質感を向上させた。また、スカイボックスと呼ばれる「空」を描画する機能を用いて、雲の描画や天候を変化させた。空間の大きさを把握しやすくするため、実スケールの乗用車を VR 空間に配置し、アニメーションにより移動させた。水面のアニメーションの間隔が 1/4 秒と大きいため、水面のマテリアルを流下方向にスライドさせて、擬似的な流れを与えて、滑らかに水面が変化するようにした。また、VR 映像の再生中は、濁流と地鳴り、風の音を再生することで、臨場感の向上を図った。VR 空間では風を考慮し、草木が揺れるようにした。

(4) VR 空間の移動方法

VR 空間での移動は、コントローラの操作を基本とした。前後進、左右回転、側方移動、上昇下降をコントローラのスティックに割り当て、空間を連続的に移動できるようにした。連続的な移動方法として、空中を移動する方法、地面を歩く方法の 2 種類を実装し、体験の場目に応じて切り替えられるようにした。空中を移動する場合においては、地形やがれきへの接触を考慮する場合と考慮せずに透過する場合の 2 種類を使い分けられるようにした。また、予め設置した複数の視点に、左手のコントローラのボタンを押すことで瞬間移動できるようにし、スティックによる移動が苦手な体験者でも移動できる仕組みとした。

4. 氾濫の数値シミュレーション

(1) 数値モデルの概要

津波・高潮、洪水氾濫や土石流など、氾濫による浸水範囲を求める数値解析は、一般的には静水圧近似に基づく非線形長波方程式が用いられる。しかし、跳水や滝のような流れの落ち込み、開口部がある建物の通過する流れなどの現象を表現することが困難である。本研究では、静水圧近似を適用しない、自由表面解析に基づく数値流体解析モデルを適用した。解析手法としては、連続式と運動方程式を用い、離散化手法に有限体積法を用い、自由表面流れの計算には VOF 法を用いた。計算コードは OpenFOAM の自由表面流れ解析ツールである interFoam

表-2 VR映像に用いたデータ

項目	データ
地形	航空測量点群を結合した三角形ポリゴン
建物形状	国土地理院基盤地図情報の建物ポリゴンを鉛直方向に立ち上げて作成
構造物 橋・詳細な建物	3次元CADにより作成した3Dモデル
水面形状	3次元数値解析（OpenFOAM）にて算出した三角形ポリゴンメッシュ
がれき	Standard AssetやAsset Storeのモデル（形状として利用） Unityの物理エンジンで挙動を計算

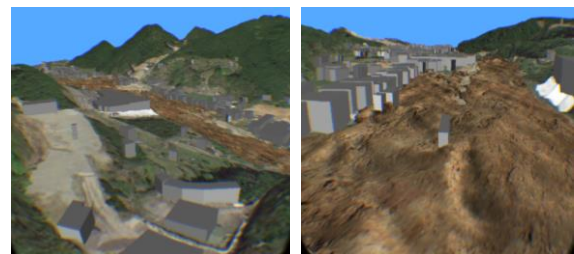


図-3 数値解析結果

ソルバを用いた。数値計算を行うにあたっては、計 MPI(Message Passing Interface)に基づき並列計算を行った。なお、数値解析計算機環境は CPU Intel Corei7-3960X (6 コア)、メモリ 16GB の PC を用いた。計算に用いたメッシュは、VR 映像に用いた三角形ポリゴンを利用して、OpenFOAM のメッシュ生成ツールである SnappyHex-Mesh を用いて作成した。解析結果の一例を図-3 に示す。

(2) 等値面の出力

VR 映像内では、氾濫流として水面のみを表示させる。Objects 関数の surfaces タイプを用いて、VOF 関数 (alpha.water) が 0.5 の等値面を水面形状として、出力した。等値面のデータは、Unity に取り込めるように OBJ 形式とし、時間ステップ毎に分けた。

5. がれきの挙動計算

土石流による土砂氾濫災害時には、流れの中に流木や巨石を伴う場合があり、災害時様子を体験するためには、これらが、がれきの存在が重要な要素となる。がれきを VR 映像に取り込む場合は、流木や巨石の挙動を把握する必要があるが、がれきの挙動は確立された計算手法がないため、数値シミュレーションで求めることは難しい。そ

ここで本研究では、がれきの挙動の計算は Unity の物理エンジンを利用した。Unity では、物体の運動学的な挙動を計算する物理エンジンを有しており、物体の重力による落下や慣性運動などが表現できる。また、Unity では物体同士の接触を考慮することができる。なお、がれきの挙動は流体の計算とは切り離して行うため、がれきの影響は流況には反映されない。がれきを含んだ VR 映像のスナップショットを図-4 に示す。



図-4 VR 映像のスナップショット

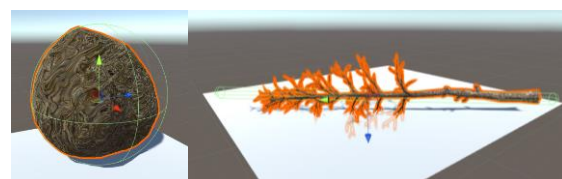


図-5 巨石および流木のモデル

(1) がれきの挙動計算方法

Unity において、標準の状態では物体にかかる力は重力のみである。物体が斜面に置かれた場合には、重力により移動するが、平坦な場所に置かれた場合は移動しない。本研究では、がれきを流れに沿って移動させるため、Unity のスクリプト処理を用いて、流木や巨石に流れの方向に沿った力を与えるようにした。本検討では、流れの方向は時間によらず一定とし、水位最大時の状態とした。

(2) 流木と巨石のモデル化

流木は、Unity の Standard Asset にある樹木の Asset を利用し、幹と枝のみを表示させた。接触の計算負荷を低減させるため、Unity のカプセルコライダを用いて簡易化した。なお、コライダは樹木の幹のみに設置した (図-5 参照)。

6. おわりに

本研究では、土砂氾濫による氾濫流の 3 次元の数値解析を行った。流木や巨石の挙動をゲームエンジン Unity の物理エンジンを用いて再現した。VR 装置を用いてこれらの結果を疑似体験できるシステムを構築した。

今後は、建物形状や配置の違いおよび実際の地形条件での影響について構築したシステムでの体験状況を分析するとともに、津波の来襲による心理的な状況を把握できるシステムを検討することを予定している。

参考文献

- 1) ファム バン フック, 今津雄吾, 佐川隆之, 長谷部雅伸: VOF 法を用いた東北地方太平洋沖地震津波の再現と建物の転倒メカニズムの解明, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp.I_156-I_160, 2014.
- 2) 李光浩, 青木悟, 水谷法美, 芦澤哲, 平川信也: 開口部を有する構造物への津波力に関する数値的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp.I_806-I_810, 2012.
- 3) 青木悟, 水谷法美, 平川信也, 芦澤哲: 建物ビルに作用する津波力に及ぼす建物形状および津波作用方向の影響に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp.I_811-I_815, 2014.
- 4) 内閣府: 津波避難ビル等に係るガイドライン, 73p, 巻末資料 2 構造的要件の基本的な考え方, 16p, 2005.
- 5) 国土技術政策総合研究所: 津波避難ビル等の構造上の要件の解説, 国土技術政策総合研究所資料, 第 673 号, 173p., 2012.
- 6) 川辺起史, 檜山和男, 宮地英生, 岩塚雄大, 古牧大樹, 西畑剛: 可聴化技術を用いた津波疑似体験システムの構築, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 70, No. 2, pp.I_235-I_242, 2014.
- 7) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>