

(59) 可聴化技術を用いた 津波疑似体験システムの構築

川辺 赳史¹・樫山 和男²・宮地 英生³
岩塚 雄大⁴・古牧 大樹⁵・西畑 剛⁶

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: kawabe@civil.chuo-u.ac.jp

²正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

³非会員 サイバネットシステム株式会社 ADS第2事業部
(〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町 3)
E-mail: miyachi@cybernet.co.jp

⁴正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Yuudai.Iwatsuka@mail.penta-ocean.co.jp

⁵正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Daiki.Furumaki@mail.penta-ocean.co.jp

⁶正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Takeshi.Nishihata@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は立体音響場に基づく可聴化技術を用いた津波の疑似体験システムの構築を行ったものである。本システムでは、没入型VR（バーチャルリアリティ）装置内の空間において、浸水する津波の立体視に基づく可視化映像の提示とともに、津波の襲来音の音源を移動する水際線に設定して立体音響場を実現している。音響計算には幾何音響理論に基づく方法を行い、距離減衰を考慮している。システム利用者はVR空間においてコントローラーを用いることで任意の場所に移動ができ、津波の疑似体験が可能となる。本システムの妥当性を検証するために、検証例題および実地形を用いた解析例への適用を行った。

Key Words : *virtual reality, spatialization of sound, tsunami simulation*

1. はじめに

近年、わ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重要である。津波や地震などによる大規模災害では、ハード的な対策には限界があり、防災教育などソフト的な対策が重要である。著者らは、防災教育に資することを目的として、対象地域をCAD/GISデータを用いて正確にモデル化した上で災害の数値シミュレーションを行い、その結果を没入型VR（バーチャルリアリティ）装置を用いて立体視することで災害を疑似体験することが可能なシステムの構築を行ってきた¹⁾。しかし、津波の襲来音や建物倒壊の音などの聴覚情報が実装されておらず臨場感に欠けていた。

そこで本研究では、可視化映像とともに津波の襲来音を実装した疑似体験システムの構築を行った。なお、音響計算には幾何音響理論に基づく方法を行い、立体音響化にはAmbisonics^{2,3)}という球面調和関数展開法に基づく手法を用いた。

2. システムの概要

図-1はシステムの処理工程であり、津波解析、可視化、音響計算、可聴化の4つのパートにより構成されている。なお津波解析は事前に行い、解析結果とそれにより得られる水際線の位置情報を可視化及び音響計算で利用する。なお、本研究で用いる没入型VR装置Holostageは前面、

側面および底面の3面の大型スクリーンとそれぞれのスクリーンに対応する3台の高性能プロジェクター、VR装置内の観測者の動きを捉えるためのワイヤレスの光学式トラッキング装置、およびそれらを制御するPCクラスターから構成される。観測者である、システム利用者は液晶シャッターメガネをかけることで立体視が可能であり、またコントローラを操作することでVR空間内を自由に移動することが可能である。

(1) 津波解析

津波解析では、固定メッシュを用いた2次元浅水長波方程式または3次元Navier-Stokes方程式を用いた数値計算を行っている。

(2) 可視化

可視化では、可視化ソフトウェアとしてAVS/Expressを用い、VR空間に計算結果の可視化映像の出力を行っている。なお、津波の各時間ステップの計算結果と観測者のVR空間内での位置情報は0.1秒毎に出力を行っている。時間ステップ数情報を音響計算に送ることで可視化と可聴化の同期を取ることが可能である。ただし、問題により描画時間が異なるためVR空間での経過時間は実時間とは異なるものとなっている。この点については、今後の課題とする。

(3) 音響計算

音響計算では、観測者位置における音圧レベルの計算を、観測者の位置情報及び各時間ステップの津波の水際線の位置情報を用いて行う。計算には、幾何音響理論に基づいた音響計算手法を採用し、建物等の反射や回折は考慮せず距離減衰の考慮のみを行った。なお、プログラミングは、C++を用いて行った。

津波の襲来時に発生する音源は様々な要因が考えられ

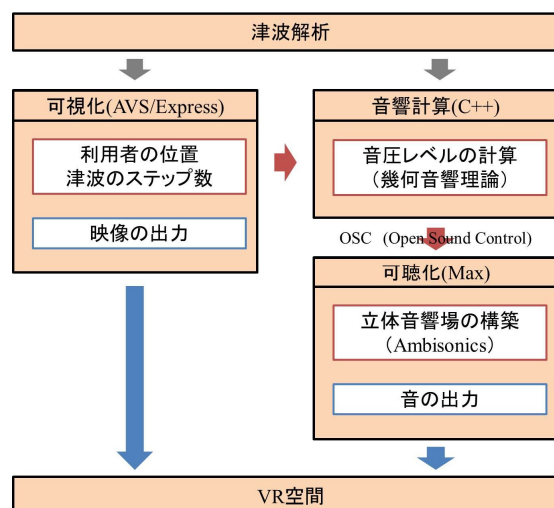


図-1 システムの処理工程

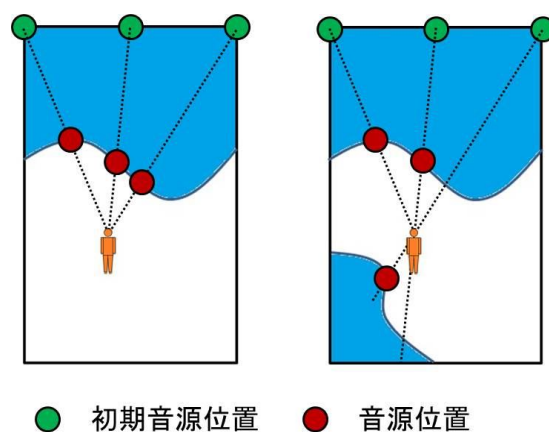


図-2 音源一の設定手法

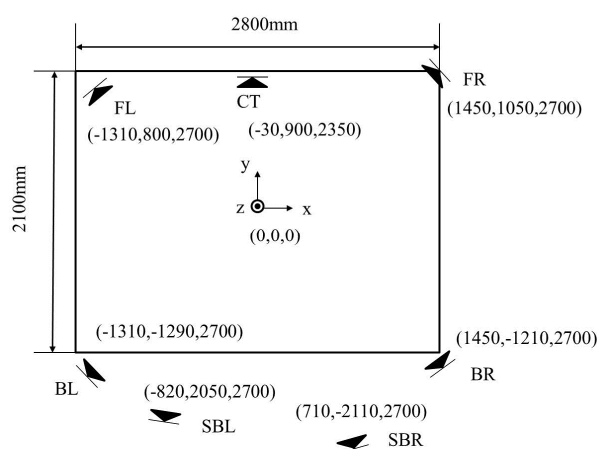


図-3 スピーカの配置

るが、本研究では津波襲来音は移動する水際線からのみ発生すると仮定した。音源位置の設定は、図-2に示すように、あらかじめ設定した初期音源位置と観測者の位置とを直線で結び、その直線上もしくは延長線上で観測者に最も近い水際線位置を抽出して、その点を音源位置とした。なお、水際線位置の位置情報は、固定メッシュの格子状において、水域であるか陸域であるかの判定を行うことで取得した。

(4) 可聴化

可聴化では、音響用プログラミングソフトであるMaxを用いて出力を行っている。また、立体音響場の構築にはAmbisonicsと呼ばれる球面調関数展開法に基づく手法³⁾を用いた。なお、音源や空間情報や減衰量などの音響情報を音響計算と共有する必要があるため、Open Sound Controlプロトコル(OSC)を用いたUDP/IP通信を行っている。使用した没入型VR装置には、スピーカが図-3に示すように、前方に3つ(FR, CT, FL)と後方に4つ(BL, SBL, SBR, BR)の合計7つが設置されている。津波の水際位置に設定する音源には、今回は津波の音源

データの採取が困難であったため、仮想的な水流の音源データを使用した。

3. 本システムの適用例

(1) 検証例題

本システムがVR空間内において立体音響場を正しく再現できているかを検証するため、図-4に示すようなダムブレイク問題を用いる。この例題において、VR空間は図に示す位置に設定されているものとし、波は観測者の前方スクリーン方向から後方へ通過するものとする。なお、数値解析は、浅水長波方程式を用いた安定化有限要素法により行った。微小時間増分量は0.01sでありx, y方向の要素分割幅は1.0mである。なお、50step毎（0.5秒毎）の解析結果を可視化および可聴化に用いる。図-5は、VR空間上の観測者の位置に段波が到達した際の水面形状を示している。

図-6は本システムが提示する立体音響場を検証するために、観測者位置に騒音計を設置（設置高さ1.5m）して計測を行っている様子である。なお、音圧レベルの測定は0.1s毎に行った。図-7は、上述の条件において各スピーカから再生され測定されたA特性音圧レベルである。図中、前方スピーカとは前方スピーカのみをオンにした結果であり、同じく後方スピーカとは後方スピーカのみをオンにした結果である。図より、波の移動に応じてスピーカから再生される音圧レベルが変化していることが分かる。なお、観測者位置における波の通過速度は長波の波速から11.3m/sであり、前方スピーカと後方スピーカのy座標値の平均の差は2.58mであるため、両スピーカ間を波が通過する時間は0.23sとなる。一方、観測結果では後方スピーカは前方スピーカと比べ0.2sの遅れがあり、理論結果と良い一致を示している。これにより立体音響場が正しく再現されていることがわかる。図-8は、音響スピーカの出力のキャリブレーションを行った上で、全スピーカをオンにして観測した結果と幾何音響理論により求めた計算結果の比較を示す。図より、計算結果と観測結果の音圧レベルが良い一致を示していることがわかる。

(2) 実地形への適用

本システムを実地形の津波解析事例に適用を行った。対象地域は宮城県気仙沼市とし、Navier-Stokes方程式に基づく3次元解析結果を図-9に示す。なお解析手法及び可視化手法の詳細については参考文献を参照されたい⁴⁾。また、図-10は解析結果から抽出した水際線の点データを描画したものである。上図が遡上前の点データであり、下図が遡上後の点データである。なお、水際線の抽出に

使用した水平方向の格子点間隔は5mである。図-11は観測者が本システムを用いて津波を疑似体験している様子である。立体視に加えて立体音響場を構築したことにより臨場感の向上を図ることができた。

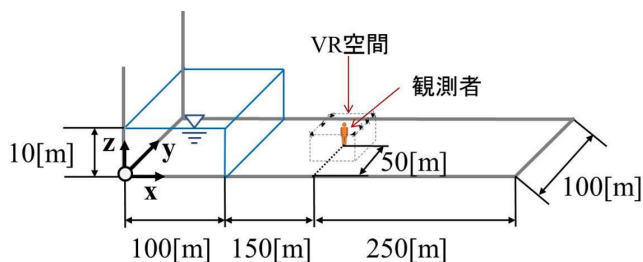


図-4 検証モデル

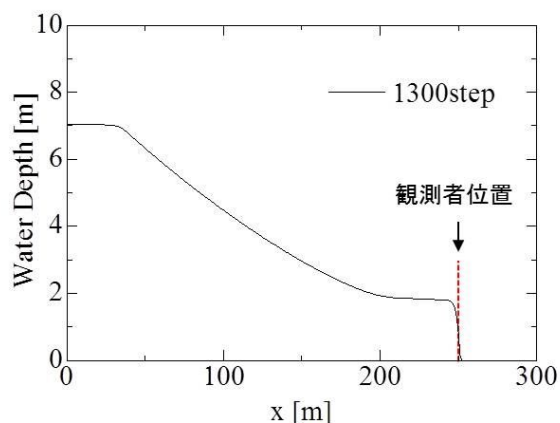


図-5 1300step時の水面形状

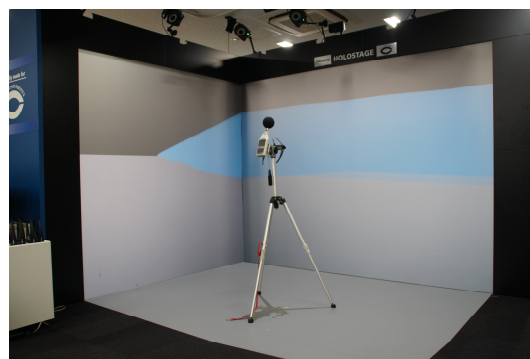


図-6 本システムを検証している様子

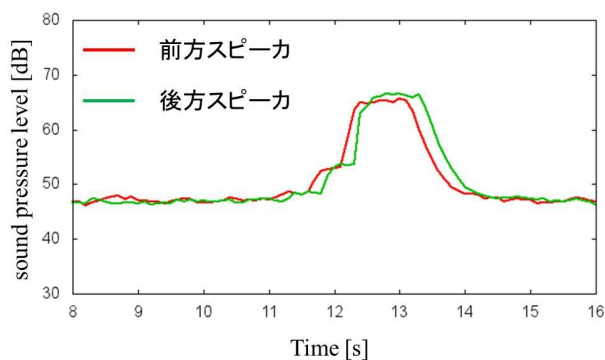


図-7 各方向のスピーカから出力される音圧レベル

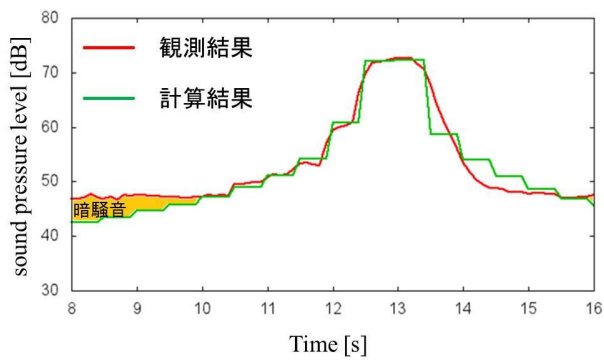


図-8 観測結果と計算結果の音圧レベル



図-9 津波解析結果

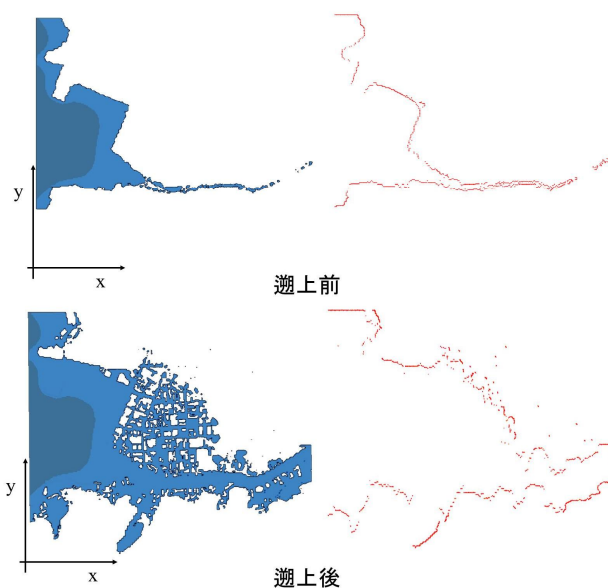


図-10 水際線の点群データ

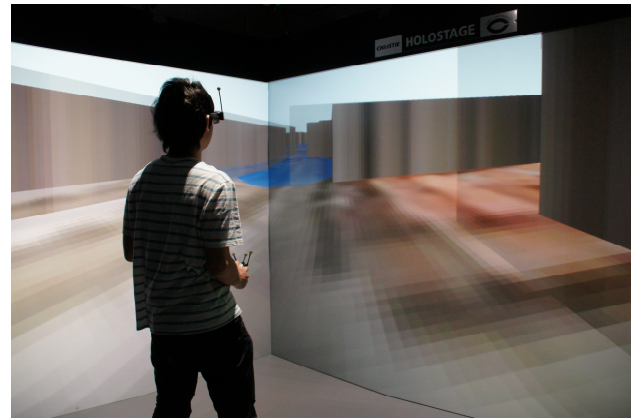


図-11 本システムを体験している様子

4. おわりに

本研究では、立体音響場の構築手法を用いて、津波の襲来音を実装した津波疑似体験システムの構築を行った。適用例題を通じて以下の結論を得た。

- 検証例題において、立体音響場が正しく再現できていることが確認された。
- 立体視に加えて立体音響場を実装したことにより臨場感の高いVR空間の提供が可能となった。

今後はVR空間内での時間と実時間との整合性の検討、より臨場感の高い音源位置の設定および音源データの取得等について検討を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は科学研究費（基盤研究（B）24360183）の援助を受けている。

参考文献

- 1) 田近伸二, 高田知学, 檜山和男: VR 技術を用いた災害疑似体験システムの構築, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp.375-376, 2008.
- 2) 谷川将規, 守屋陽平, 江嶋孝, 檜山和男, 志村正幸: VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの立体音響化と現実感向上に関する研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.2(応用力学論文集 Vol.16), pp.155-162, 2013.
- 3) Ward, D.B. and Abhayapala, T.D.: Reproduction of a plane-wave sound field using an array of loudspeakers, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, vol.9 pp.697-707, 2001.