

VR技術を活用した騒音可聴化システム

清水建設株式会社 宮瀬文裕 谷川将規 荒瀬純治 一瀬康弘 早川泰央

1. はじめに

工事騒音に起因する周辺住民からの苦情は多数発生している。そのため、騒音対策の確実な実施と周辺住民、発注者の理解を得ることが、工事を支障なく進めるために重要である。通常、騒音対策の予測結果は、数値（例：近接民家近傍で騒音レベル 60dB）やセンター図等で示される。しかし、長さや重さ等とは異なり、数値を音として理解することは難しい。そこで、施工者は表 1 に示すような身近な音にたとえて説明を試みることが多いが、周辺住民、発注者の理解を得るのに多大な労力を要している。

そこで、VR（バーチャルリアリティ）技術を活用し、騒音対策実施効果を、周辺住民、発注者が耳で聞いて「体感」できる騒音可聴化システムを開発した（

写真 1). 本システムは、市販のタブレット端末を利用して小型化を実現している。騒音検討モデルの作成は指先の操作だけで可能とし、騒音分野の専門家ではない現場係員にも容易に使用できるように配慮した。さらに、モデル作成から体感までの所要時間は 10~15 分程度と短時間であるため、周辺住民、発注者との協議の場に持ち込み、様々な条件をその場で変更して、すぐに耳で聞くという体感を通して合意を得るのに適したシステムである。

本システムの基本性能確認のため、現場係員に騒音対策ツールとして活用してもらった。また、小中学生とその保護者を対象とする現場見学会で活用し、本システムの適用性を確認した。本論文では、これらの概要を述べる。

2. システムの開発コンセプト

本システムは、住民説明、発注者との協議の場で、施工者が活用できることを目標に開発した。この目標を達成するため、「臨場感」、「短時間」、「低成本」の 3 つを開発コンセプトとした。

（1）臨場感

協議の場に参加する周辺住民、発注者が、本システムが再現する騒音状況を実際に聞こえる音として体感することが重要である。本システムは、その使用状況に応じた可聴化に対応している。

① バイノーラル

本手法はヘッドフォンを用いて、一人の受聴者に体感してもらう場合に適している。本手法で用いた HRTF（頭部伝達関数）は、耳殻、人頭および肩まで含めた周辺物により生じる音の変化を、伝達関数として表現したものである。バイノーラル再生は、原理的に音像定位の左右、前後、上下の区別

表 1 騒音レベルと音の感じ方¹⁾

騒音 レベル	音の感じ方	参考
110 dB	自動車のクラクションより 2m	通常の会話の範囲は、50dB から 70dB 程度
100 dB	電車が通過する時のガード下	
90 dB	大声による独唱	
80 dB	電車・地下鉄の車内	
70 dB	掃除機、騒々しい事務所内	
60 dB	静かな乗用車(40km/h)、普通の会話	
50 dB	一般事務所内、都会の住宅地夜間	
40 dB	図書館	



写真 1 騒音可聴化システム及び使用例

も可能となるため、立体的に再現可能である。バイノーラル再生のイメージを図1に示す。

② 振幅パンニング

本手法はスピーカーを用いて、複数の受聴者に同時に体感してもらう場合に適している。自動車等の音源が移動する場合には、時々刻々と音像定位が変化する。

(2) 短時間

協議の場に参加する周辺住民、発注者に、短時間で騒音状況を体感してもらうためには、高速な計算手法の採用が必須である。著者らは幾何音響理論に基づく計算負荷の小さい音響計算手法を採用し、これまでに騒音の可聴化を実現している^{2),3)}。本システムにはこれを応用している。本音響計算手法のベースとは、業界標準である日本音響学会の道路交通騒音予測モデル ASJ-RTN Model 2013 および工事騒音の予測モデル ASJ-CN Model 2007 である^{4),5)}。ASJ モデルは、音のエネルギー収支のみを扱う簡易な計算手法であり、計算量が少なく扱いやすい。具体的な計算法と精度検証に関しては、参考文献⁶⁾を参照してほしい。本システムの回折計算のイメージを図2に示す。

(3) 低コスト

多くの現場で活用するためには、システムの導入・運用コストが低廉である必要がある。

そこで、市販のタブレット端末とヘッドフォンまたはスピーカーで構成するシステムとし、導入コストの低減を図った。本システムでは、モデル設定、高速計算、可聴化の全てがタブレット端末で可能であり、運用時に別途計算コスト等も発生しない。

3. システムの使用方法及び活用イメージ

(1) システムの使用方法

本システムのシミュレーション手順を図3に、特徴を①～④に示す。図3に示す設定に要する時間は、10～15分程度であるため、設定完了後に周辺住民、発注者に直ちに体感してもらえる⁷⁾。

① 現場周辺の地図画像

- ・地図画像は、JPEG 方式のデータを使用

② 防音塀の設定

- ・設置位置は、任意の位置に設定可能
- ・設置する形状は、複数箇所で自由に折曲げ可能
- ・高さは自由に設定可能
- ・遮音性能を事前に登録し、万能鋼板、防音シート等の仕様を任意に選択可能

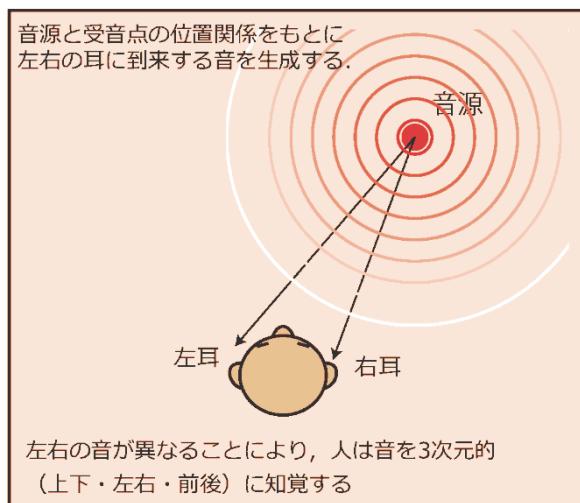


図1 バイノーラル再生のイメージ

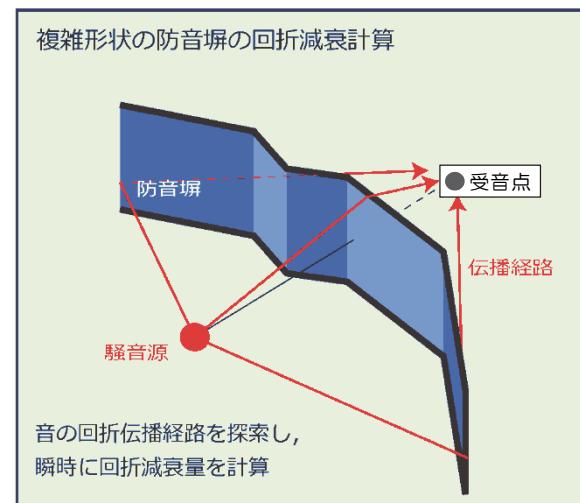


図2 回折計算のイメージ

③ 騒音源の設定

- ・現場等で機器材の騒音を録音したデータを使用
- ・固定音源 2 種類、ダンプ等の移動音源 1 種類を同時に設定可能
- ・対象とする騒音源とは別に暗騒音も設定可能

④ 受音点(住居)を設定

- ・任意の位置に 1箇所設定可能
- ・高さは自由に設定可能

(2) システムの活用イメージ

本システムの活用イメージを、図 4 に示す。現場担当者は、住民説明会用のシミュレーションモデルをあらかじめ作成する。そのモデルを住民説明会で可聴化し、周辺住民に聴いてもらう。説明対象となる人数や会場の仕様により、ヘッドフォンとスピーカーを選択する。

周辺住民から、たとえば「防音塀が 1m 高くなったら、どの程度静かになるのか?」との意見が出た場合、シミュレーション条件をその場で変更し、あらためて聞いてもらうことが可能である。このような手順で周辺住民と協議を進めることで、騒音対策の実施効果についての理解が進み、合意形成が期待できると考えている。また、施工中に発生した住民からの要望に対して、その対応について協議する場合に、防音塀の設置位置、長さ、高さ、遮音性能を体感しながら検討することで、合意形成が速やかになされると期待される。

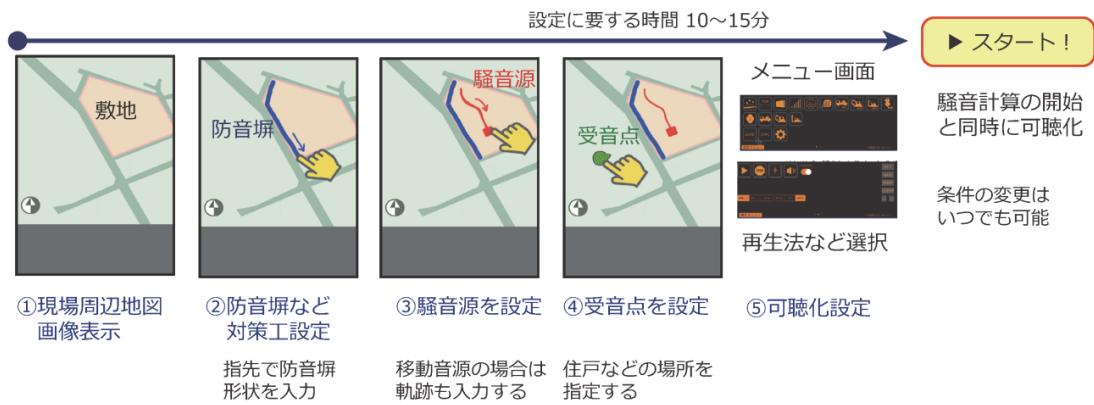


図 3 シミュレーション手順

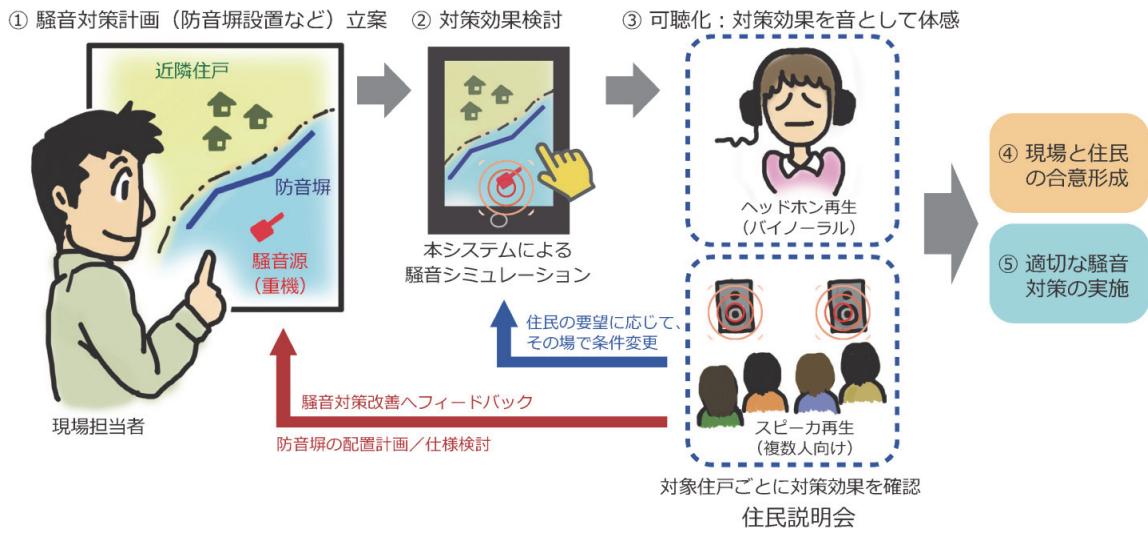


図 4 システムの活用イメージ

4. 現場での活用事例

本システムの基本性能確認のため、現場係員にツールとして活用してもらった。また、小中学生を対象にした現場見学会に使用し、住民説明会への適用性を確認した。以下に、その概要を述べる。

(1) 現場係員の活用による検証

① 現場概要

現場係員に活用してもらった現場は、長崎県諫早市において建設中の一般県道 諫早外環状線道路改良工事((仮称)4号トンネル)である。本トンネルの施工場所を図5に示す。

このトンネルは、一般県道諫早外環状線の内、長野IC～栗面IC工区約3kmに属する。その延長は1,594m、内空断面96.1m²の大断面トンネルで、NATM機械掘削工法で施工している。この現場の周辺には民家が散在し、工事用道路は民家に隣接している。工事期間中は、掘削ズリ、吹付コンクリート用のセメント、骨材等の大量の運搬車両が連日走行する。そこで、仮囲いを現場周囲に設置、掘削ズリ仮置き場への防音ハウスの設置等の様々な騒音対策を実施している。多様な騒音対策を実施し、周辺住民への説明の経験が豊富なことから、本システムの基本モデルを試用してもらい、現場の声を反映するのに最適な現場と考えた⁸⁾。

② 活用結果

現場係員に約2週間活用してもらい、基本性能と操作性について確認した。図6にタブレット端末のインターフェイスを示す。その上部には現場周辺地図が表示される。また下部には計算モデル作成用メニューが表示され、音源、防音壁、受聽者設定等のためのアイコンが並ぶ。また「体感」時にはシミュレーション実行用メニューに切り替え、騒音計算と可聴化を行う。シミュレーションモデルは、民家に近接して防音壁(画面内で青色の線)を設置し、運搬車両が工事用道路を走行する状況(画面内の赤色の曲線)を設定した。

活用後に、現場係員にヒアリングを実施した。まず、騒音源と暗騒音のデータの充実を要望された。



図5 工事場所位置図



図6 タブレット端末のインターフェイス

暗騒音が現場周辺の状況に合致しているほど、周辺住民はより身近に感じやすいとの意見であった。たとえば、水田が広がる地域であればカエルや虫の声、都市部の道路近接地域であれば交通騒音である。騒音源、暗騒音とも今後録音を実施し、データを充実させていく予定である。次に画面の見易さについて要望があった。音源は、簡単な記号で表示しているが、イラストの方が周辺住民には理解しやすいとの意見であった。**図6**に示すように移動音源は音源を点、移動ルートを曲線で表示しているが、音源の移動場所が視覚的に理解しにくいとの意見であった。また、防音塀の高さを変更した場合、視覚的にわかる工夫が必要と指摘された。これらについても、今後改善していく予定である。

(2)住民説明会での適用性の確認

① 現場概要

現場説明会での適用性は、開発期間中に機会の得られた現場見学会において、本システムを使用することで代替的に確認した。対象とした現場は、住宅近接地域にあり、その周辺には高層マンションが複数隣接している。そのため、騒音対策として高層マンションの前面に大規模な防音塀を設置している。

本現場で、女子小中学生とその保護者を対象とした、社団法人主催の現場見学会が計画された。そこで、騒音についての知見が少ない小中学生に対し、前述の大規模な防音塀の効果を本システムにより直感的に理解してもらえるかを確認することとした。

② 現場見学会での本システムの使用方法

現場見学会は、3~6人程度のグループに分かれ、現場内を順番に見学する。そこで、見学ルートに体験コーナーを設け、大規模な防音塀の効果について、はじめにグループ全員にスピーカにより試聴してもらい、つぎに試聴希望者にヘッドフォンにより聴いてもらうこととした。

本システムの体験者が小中学生のため、興味を持つてもらえるように3つの工夫をした。

1つ目の工夫として、スピーカの試聴ではタブレット端末の画面を大型モニターに表示し、全員が騒音源、受音点、防音塀の位置を確認できるようにした。各人の手元にタブレット端末がないため、騒音源等の位置を示す画面を見ることができないため、**写真2**に示すような配置とした。

2つ目の工夫として、騒音源、受音点、防音塀を示す図を、現場周辺の地図をもとにイラスト風の下絵を作成した。このイラストを**図7**に示す。

3つ目の工夫として、騒音対策の効果をよりよく感じてもらえるよう、暗騒音として虫の鳴き声を使用した。防音塀のない状態では聞き取れない

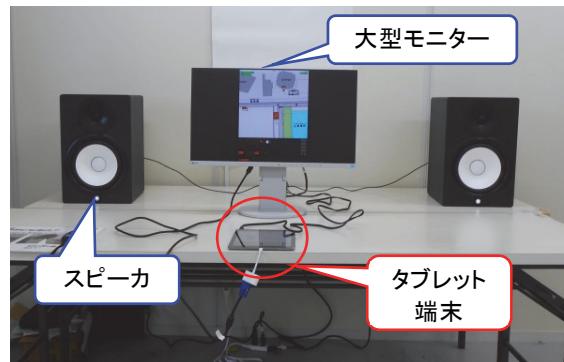


写真2 タブレット端末、スピーカ
とモニターの使用例

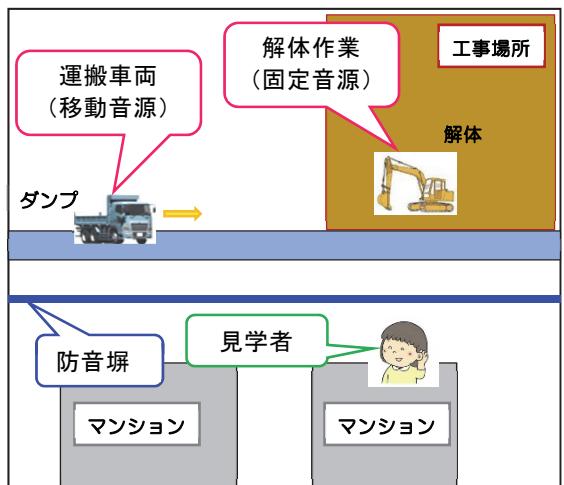


図7 イラスト風の下絵



写真3 見学会の状況

が、防音屏が設置されると、「背景に虫の鳴き声が聞こえる程静かになる」ことを体感してもらうことで、強く興味を持って聴いてもらえると考えた。

③ 現場見学会での使用結果

現場見学会の状況を写真3に示す。当日は、まず防音屏の騒音低減効果について説明した。スピーカでの試聴では、防音屏の効果(15~18dB程度騒音低減)に驚きの声が上がった。大規模な防音屏の騒音低減効果の大きさを「体感」してもらえた。ヘッドフォンでの試聴では、「ヘッドフォンは暗騒音の虫の声等、細かい違いまでわかりやすい」との感想が得られた。スピーカとヘッドフォンの両方を体験してもらう使用方法は、今回が初めてであったが、以下のことが確認できた。スピーカは試聴者全員が同じ音を同時に聴くことで、情報を共有して話しやすくなる状況であった。ヘッドフォンは騒音対策効果を細部まで体感してもらえる様子であった。再生方法の違いによる受聴者の感想、様子は、今後の使用方法の参考となった。

5. おわりに

住民説明、発注者との協議の場で、騒音対策効果を直感的に理解できるツールとして、騒音可聴化システムの開発を行った。本システムは、臨場感のある音を短時間の操作で「体感」できる。市販品によりシステムを構成することで、導入コスト、運用コストの低コスト化を実現した。

現場での活用により、基本性能等の課題を確認した。主な課題は、騒音源と暗騒音源データの充実、表示の見易さであった。これらの点は、今後改善していく予定である。

小中学生対象の現場見学会で使用した結果、騒音対策の知見が少ない人にも、騒音対策効果を直感的に理解してもらえることが確認できた。スピーカで複数人が同時に試聴した場合、情報を共有し、話やすくなること、ヘッドフォンの試聴では、騒音対策効果の細部まで理解しやすい状況であることが確認できた。

謝辞：中央大学 横山和男教授より、VR技術および回折計算をはじめとする音響計算手法についてご指導いただいた。また、現場での試用、現場説明会への適用性の確認には、現場関係者にご協力いただいた。ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 宮瀬文裕、中牟田直昭：土木工事現場での環境対策事例 -騒音・粉塵・交通渋滞-, 土木学会第40回環境システム研究論文発表会講演集, pp.121-126, 2012.
- 2) 谷川将規、守屋陽平、江嶋孝、横山和男、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, pp.155-262, 2013.
- 3) 柴田啓輔、田近伸二、横山和男、志村正幸：可視化・可聴化技術を用いた道路交通騒音評価システムの構築, 土木情報利用技術講演集, 土木学会, Vol.36, pp.33-36, 2010.
- 4) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル”ASJ RTN-Model 2013”，日本音響学会誌, Vol.70, pp.172-230, 2014.
- 5) 日本音響学会建設工事騒音予測調査研究委員会、橘秀樹：建設工事騒音の予測モデル”ASJ CN-Model 2007”，日本音響学会誌, Vol.64, pp.229-260, 2008.
- 6) 谷川将規、宇野昌利、宮瀬文裕：騒音対策支援のための可聴化システム, 清水建設研究報告, 第93号, pp.120-125, 2016.
- 7) 宇野昌利、谷川将規、宮瀬文裕：VR騒音シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集F3(土木情報学), Vol.71, No.2, pp.I_212-I_217, 2015.
- 8) 宇野昌利、谷川将規、宮瀬文裕、一瀬康弘：VR騒音シミュレーションの開発, 土木学会第70回年次学術講演会, VI-256, pp.511-512, 2015.