

音環境プレゼンテーションシステムの拡充

ーその2 工事騒音評価への利用も考慮したシステム改良ー

Extending a Sound Environmental Presentation System - Part 2 : System Improvement for Construction Noise Evaluation -

柳沼勝夫* 阪本一生*

要 旨

これまで、設計仕様から完成建物の音環境を予測し、実音をもとに音環境性能を反映した音を試聴できる「音環境プレゼンテーションシステム」を開発してきた。本システムは、モバイル端末とクラウドを使用し、小型軽量でかつ高速処理が可能なシステムである。今回、建築音環境だけでなく工事騒音評価への利用も考え、既開発システムの改良を行った。また、改良をきっかけに、従来の建築音環境の評価に対しても利便性が向上する様々な機能向上を図った。

キーワード：音環境、工事騒音、試聴音、クラウド、モバイル端末、プレゼンテーション

1. まえがき

建築音環境性能や音の大きさは、通常、Dr-50 や 50dB など数値で示されることが多く、一般の人にはその性能や大きさをイメージしにくい。このような背景から、設計仕様より完成建物の音環境を予測計算し、実音をもとに音環境性能を反映した音を試聴できる「音環境プレゼンテーションシステム」^{1) 2)} (以下、「システム」) を 2021 年度に開発した。

2021 年度に開発したシステムを写真-1 と図-1 に示す。既開発システムは主にクラウド、SIM 搭載型モバイル端末、ヘッドホンで構成され、小型軽量でかつ高速処理が可能である。

クラウド上には、建築音環境に関する予測計算、試聴音作成などのプログラム、録音した音源、および予測計算に用いる材料データ等を保存するデータベースを実装している。クラウド上のデータベースを利用するにはモバイル端末等からインターネット経由で接続し、ブラウザ画面を操作して行う。試聴の対象となる音源の録音には、録音アプリ、モバイル端末の内蔵マイクや端末専用の外付けマイクを使用し、ヘッドホンを利用して試聴音の再生・評価を行う。

今回は、建築音環境だけでなく工事騒音評価への利用も考え、既開発システムのプログラム修正や追加による改良を行った。また、改良をきっかけに、従来の建築音環境の評価に対しても利便性が向上する様々な機能向上を図った。



写真-1 音環境プレゼンテーションシステム

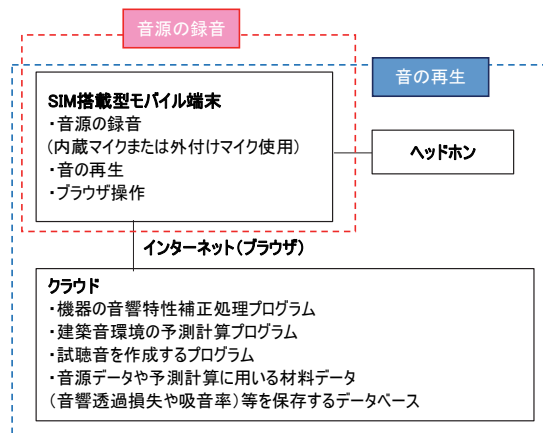


図-1 システム構成

*技術本部技術研究所環境研究グループ

2. システム改良における課題

2.1 評価対象の拡充（工事騒音評価への利用）

既開発システムの課題を表-1に示す。

工事で評価対象となる音源は、建築音環境の音源よりも基本的には発生音が大きい場合が多い。また、建設機械はエンジン音など低周波数領域で卓越した音を発生することもあり、低周波音を含めた収録と再生をする必要がある。その他、対象音源や予測計算に用いる材料等、建築音環境の検討とは異なることが多い。システム利用者も建築音環境では設計者、工事騒音は工事関係者が主であるため、それぞれの評価でユーザーインターフェースが分離されていることが望ましい。

2.2 予測計算に関する課題

既開発システムは音環境に関する予測計算プログラムを実装しており、計算条件として寸法入力や材料選択を行い計算する。材料選択においては、予め、クラウドのデータベースに登録した材料パラメータ（音響透過損失や吸音率）を選ぶ。しかし、新たな材料を計算条件に利用したい場合には、システムとは別に表計算ソフトにて材料パラメータを入力した CSV データを作成し、クラウドへアップロードする作業が生じる。

工事騒音による工事現場周辺への影響を検討する際には、複雑な地形条件など、システムの予測計算プログラムだけでは予測が難しい場合もある。そのため、高度なシミュレーションソフトの結果も容易に試聴音作成に反映できるようにすることで、利用しやすくなるを考える。既開発システムの状態では、この場合も材料データと同様に別途 CSV データを作成してクラウドへアップロードする作業が生じる。

2.3 試聴音評価に関する課題

環境によっては、評価点に伝搬する音が1つではない。また、同じ音でも、屋外と室内、室内の空調条件といった暗騒音の状況により聴感が異なる。既開発システムでは、表示画面上で再生できる試聴音は1つのみのため、暗騒音の影響を含めた試聴や複数音源が同時に伝搬する条件時には、適切な試聴音の再生が難しい。したがって、試聴音の再生に関する修正が必要である。

さらに、複数の音を同時に再生する場合には、評価ごとにそれぞれの音の再生開始時間が異なると、同じ試聴音の再生でも聴感が異なるため、複数試聴音の同時再生機能が必要である。

3. システムの改良

3.1 工事騒音評価への拡充

a. システム機器構成

工事騒音のレベルや低周波数領域の評価を考慮し、システム構成を修正した。改良したシステム機器の基本構

表-1 既開発システムの課題

1 評価対象の拡充(工事騒音への利用)
・ 音源のレベルが大きい
・ 低周波数の音が問題になることが多い
・ 評価する音源、予測に利用する材料が建築音環境と異なる
・ 工事騒音評価では不要な予測計算プログラムがある
2 予測計算に関する課題
・ 新材料のシステム予測計算への反映
・ システム以外の予測計算ソフトによる予測計算結果の反映
3 試聴音評価に関する課題
・ 同時に評価点へ複数の音が伝搬する状況の再現
・ 暗騒音の影響を含めた音の再現



写真-2 システム機器（工事騒音評価時）

成を写真-2に示す。

クラウド、SIM 搭載型モバイル端末、ヘッドホンを用いる基本構成に変更はない。ただし、建設機械のエンジン音などは大音量で低周波音の周波数領域も対策対象となることが多く、モバイル端末の内蔵マイクでは最大 80dB、低い周波数は 100Hz 程度までが限界であることから、工事騒音評価時には指定の外付けマイク（例えば、エムアイセブンジャパン社製「i437L Class 2」³⁾）の使用を必須とする。また、試聴音を再生するヘッドホンについても低周波の音が十分に再生できる指定の機器（例えば、SONY 社製モニターヘッドホン「MDR-M1ST」⁴⁾）を利用する。この構成により、音圧レベルは 30dB～100dB、周波数は 25Hz 帯域～5000Hz 帯域まで対応可能となる。

一方、録音時に 100dB を超える場合には、図-2に示すようなサチュレーションが生じても、これまでのシステムには波形表示機能がないため、システム使用者が気づかず試聴音作成作業を進めてしまう懸念がある。そこで、図-3に示すように、システム上では音源の波形とサチュレーションが生じている可能性を示す閾値ラインを表示させ、システムに登録されている音源が正しく録音されていることを確認する機能を設けた。録音波

形が閾値ラインを超えた際は、警告が表示される。

サチュレーションが生じている可能性がある場合には、距離減衰を期待して音源から離れて録音するか、騒音計等の専用機器での録音を検討する必要がある。

b. ブラウザ画面の構成

建築音環境評価と工事騒音評価を分けるため、システムのブラウザ画面の構成を修正した。モバイル端末等からインターネット経由でクラウドに接続した後のブラウザ画面の構成を図-4、操作画面例を図-5に示す。

対象となる音源や対策に用いる材料が建築音環境を検討する場合と異なることが多いので、ログイン後に「建築音環境」と「工事騒音」の評価対象を選択する画面を追加し、各種機能選択画面以降を分離した。

工事騒音評価の各種機能選択画面においては、床衝撃音や残響時間など不要な計算機能のアイコンを非表示とし、データベースも建築音環境評価用とは別に新しく設け、それぞれの評価で扱う予測計算プログラムやデータを混同せずにシステムを利用できるようにした。

3.2 試験音を作成するための予測計算に関する課題

予測計算に関しては、図-6に示すようにデータベース画面に CSV データ作成機能を設け、システムとは別に表計算ソフトによる CSV データの作成やアップロード作業を不要にし、利便性を向上させた。また、工事騒音予測時に3次元騒音予測計算ソフトを利用して騒音伝搬の計算を行った場合でも、従来に比べて容易に試験音作成に反映できるようにした。

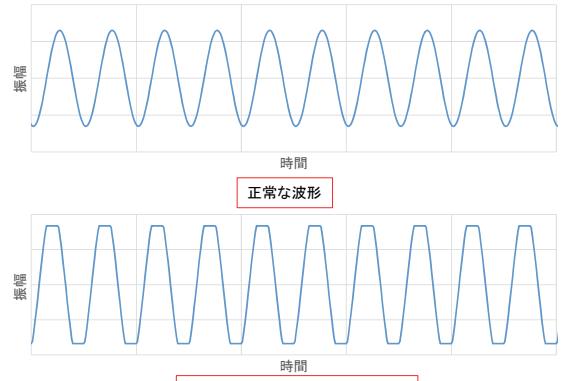


図-2 サチュレーション

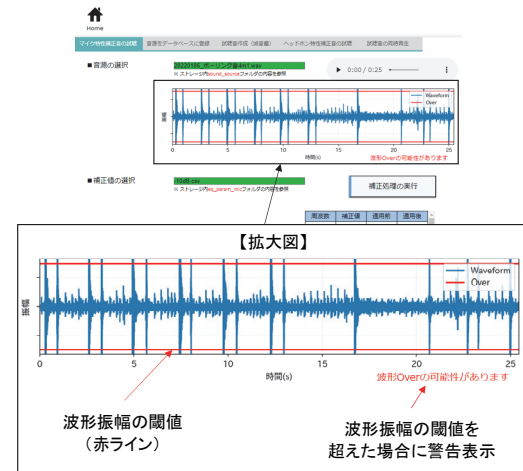


図-3 サチュレーション確認機能

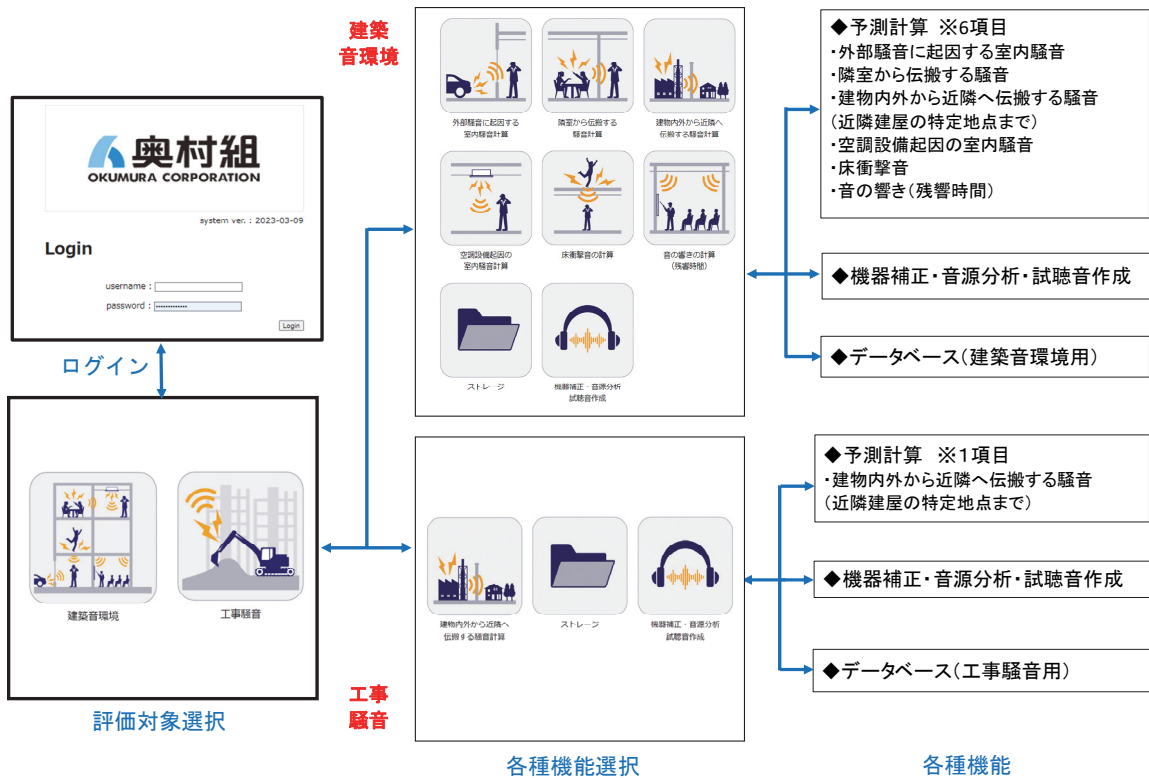


図-4 システムのブラウザ画面の構成

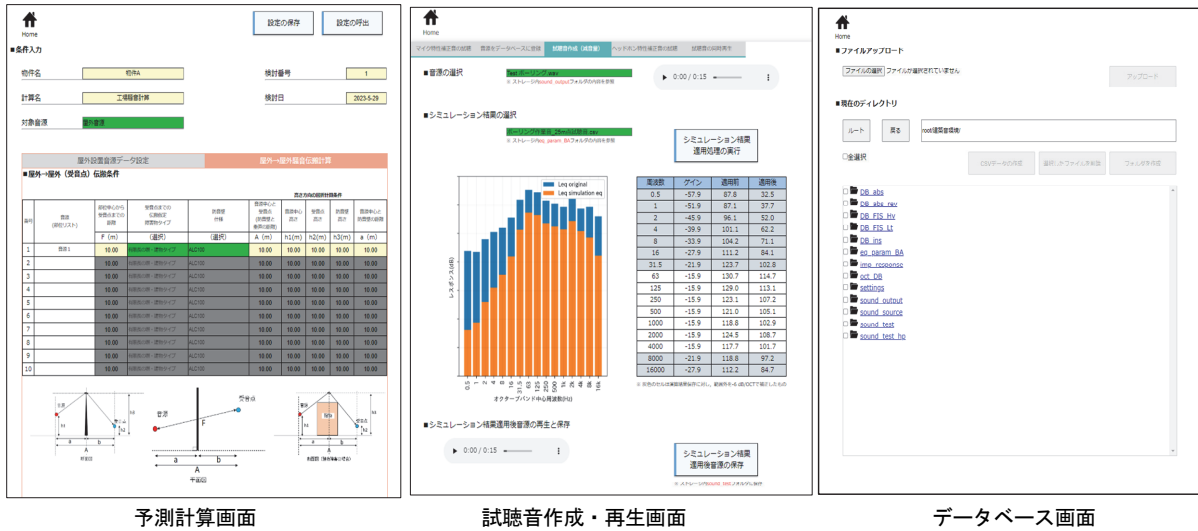


図-5 操作画面例

3.3 試聴音再生画面

試聴音再生画面において、既開発システムでは、1画面に1つの試聴音のみ再生可能としていた。改良システムにおいては、同時再生機能だけでなく下記 i ~ iii に記載した対策効果の評価も容易に行えるように、最大3つの試聴音を同画面で再生できるように修正している。

- i. 対策前後の聴感比較
試聴音 A (対策前) と試聴音 B (対策後) の比較
- ii. 対策方法の聴感比較
試聴音 B (対策 1) と試聴音 C (対策 2) の比較
- iii. 暗騒音を再生した状態での聴感比較
暗騒音を再生しながら i または ii の試聴

さらに、図-7に示すように音源選択ボックスの隣にチェックボックスを設け、チェックされた試聴音を同時に再生開始できるようにした。それにより、再生開始時間のずれによる聞こえ方の変化を防ぎ、常に同じ試聴が可能となった。

4 システムの利用手順

4.1 対象音の収録とアップロード

改良システムを用いて騒音評価を行う際の対象音の録音から試聴音再生までの作業順序を図-8に示す。以下では、操作の流れに従って図-8について詳説する。

始めにサンプリング周波数 48000Hz の WAV 形式 (16 ビットまたは 24 ビット) で録音できるアプリを利用して対象音の録音を行う。予めシステムのデータベースに対象音が保存されている場合には録音作業は省略する。

SIM 搭載型モバイル端末等からインターネット経由でシステムのクラウドに接続後、ブラウザのログイン画面上でログインする。ログイン後、評価対象を選択する画面にて「建築音環境」または「工事騒音」を選択する。その後、各種機能選択画面にて、「ストレージ」を選択

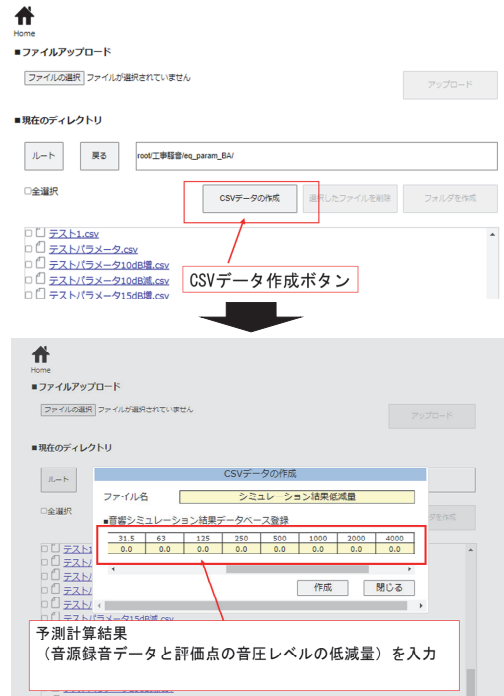


図-6 csv データ作成画面例



図-7 試聴音再生・比較画面

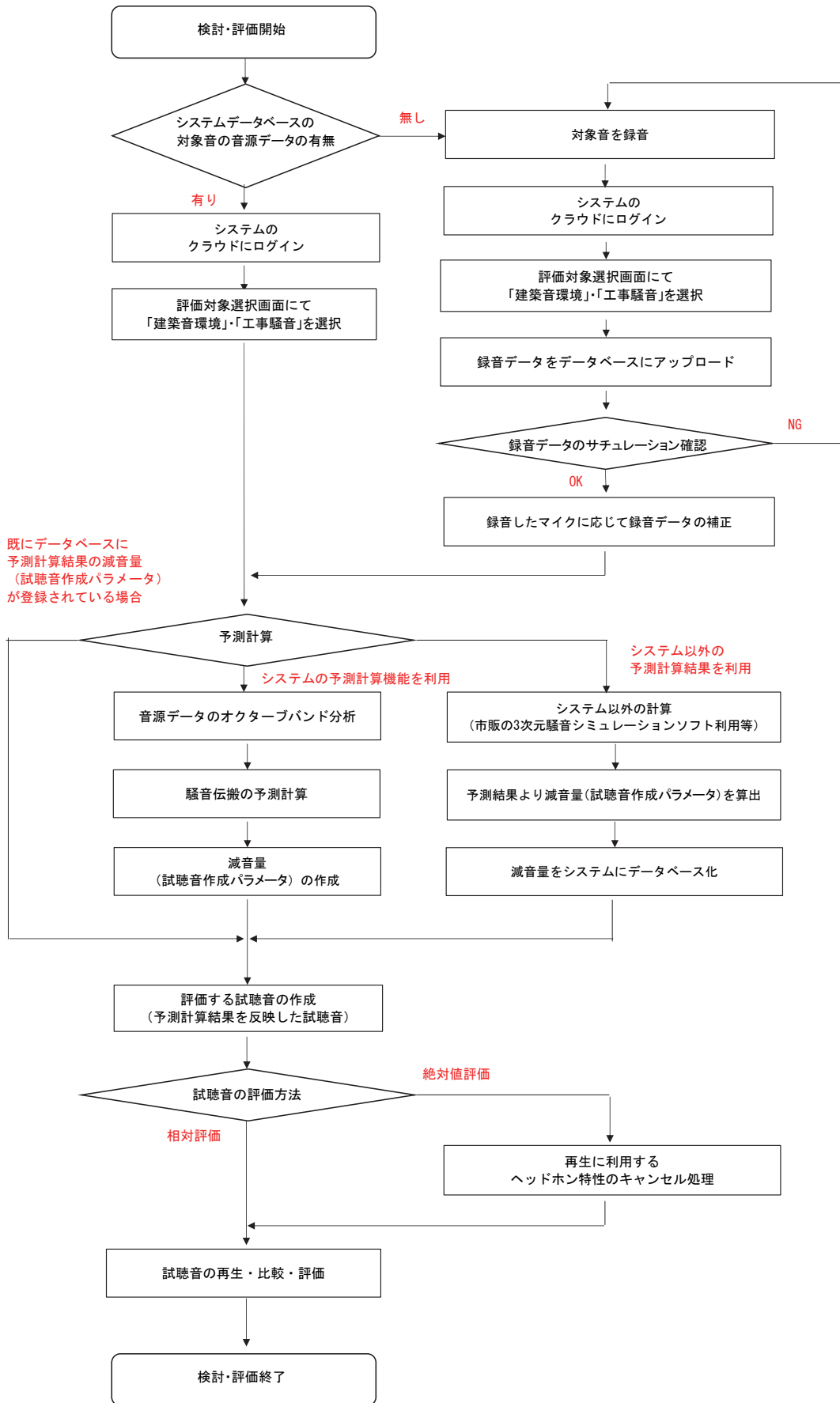


図-8 システム利用の作業順序

し、ストレージ画面にて録音データをシステムのデータベースへアップロードする。

4.2 音源データのマイクロホン補正

録音した音源データは、マイクロホンの特性に依存したデータであることから、マイクロホン補正を行い、マイクロホンの特性をキャンセルする。

各種機能選択画面の「機器補正・音源分析・試聴音作成」を選択後、マイクロホン補正画面にて録音データを使用した外付けマイクとモバイル端末の組み合わせに応じて補正する。補正值には、既報²⁾で報告した実験室実験によりデータベース化した値を用いる。なお、この画面にて、録音データのサチュレーションの有無など、録音波形に問題ないことを確認する。サチュレーションが生じている可能性がある場合には、録音作業に戻る。

4.3 予測計算

システムに実装した波形分析プログラムにより音源データをオクターブバンド分析後、予測計算プログラムを利用し、試聴音を作成するためのパラメータ（周波数帯域別の減音量＝録音位置と評価位置のオクターブバンドレベル差）を算出し、データベースへ保存する。予測計算時にデータベース化されていない材料の音響透過損失や吸音率を利用したい場合には、今回追加した機能によりデータベースへ予め保存しておく。

屋外の騒音伝搬計算において、地形や周囲反射、騒音対策範囲等、条件が複雑な場合、工事騒音の技術提案時に騒音レベルのコンター図マップと合わせて利用したい場合には、システム以外の計算ソフト等で計算を行う。例えば、周波数帯域別に音圧レベルを算出できる市販の3次元騒音シミュレーションソフトを利用し、録音した音源と評価点における音圧レベルの減音量（試聴音作成パラメータ）を算出後、システムのデータベース画面にて、周波数帯域別に減音量を入力後、保存する。

4.4 試聴音作成・再生・比較

マイクロホン補正を行った音源データに減音量（試聴音作成パラメータ）を施して試聴音を作成する。

騒音対策 A と B の効果比較など試聴音の相対評価を行う場合には、試聴音の再生・比較画面にて、比較したい試聴音を選択後、それぞれ再生して評価を行う。

騒音の大きさの良し悪しを判断したいなど絶対値評価を行う必要がある場合には、ヘッドホン特性のキャンセル処理を行い、指定のヘッドホンで再生を行う。なお、ヘッドホン特性のキャンセル処理には、既開発システムと同様に、既報²⁾で報告した実験により予めデータベース化した値を用いる。

以上の作業手順を終えて試聴音の評価を行い、騒音対策の要否や良し悪し等を評価する。

なお、今回は、本システムの波形処理や予測計算プログラムについては既開発から変更を行っていないため、試聴音の作成精度は既開発システムと同等だが、作成し

た試聴音の妥当性については、今後、実工事現場にて検証していく。

5. まとめ

今回、既開発システムの操作画面の構成やプログラムの追加・修正を行い、建築音環境の評価だけでなく工事騒音の評価へ利用できるシステムに改良した。

システムの改良点は次の i ～ v である。

- i. 事騒音で発生が多い低音域の録音、再生を行えるようにシステムのマイクやヘッドホンを見直した
- ii. 建築音環境評価と工事騒音評価の操作画面とデータベースを分離し、画面構成を追加・修正した
- iii. 大音量の騒音録音時に生じるサチュレーション確認機能を追加した
- iv. システム外の市販の予測計算ソフト等による騒音予測結果や新材料の音響透過損失や吸音率を容易にシステムに反映できるように、データベース画面を修正した
- v. 複数音源・暗騒音を考慮した試聴が行えるように試聴音の再生・評価画面を修正し、複数試聴音の再生開始時間を合わせて同時再生できるように配慮した

6. あとがき

既開発システムを改良したことにより、工事騒音評価だけでなく建築音環境評価においても、評価点へ同時に伝搬する複数音源の評価や暗騒音の影響を反映した試聴等が行える。

改良システムの工事騒音評価への利用については、技術提案時や施工計画時に工事関係者同士や発注者との意思疎通などに利用することを想定している。

今後は、改良システムにて作成した試聴音の妥当性の検証を行い、効果的な工事騒音対策の立案などにも有効活用したい。

【参考文献】

- 1) 児玉朗蘭、稲留康一、「音環境プレゼンテーションシステムの開発」、奥村組技術研究年報、No.35、pp.107-112、2009
- 2) 柳沼勝夫、稲留康一、「音環境プレゼンテーションシステムの拡充」、奥村組技術研究年報、No.47、pp.109-114、2021
- 3) エムアイセブンジャパン社ホームページ、<https://www.mi7.co.jp/products/mic-w/i-series/i4371.php>
- 4) SONY 社ホームページ、<https://www.sony.jp/headphone/products/MDR-M1ST/>