

BEMによる室内音場解析における反復解法の収束判定

—形状・吸音・拡散性と解析結果の関係—

Convergence tolerance of iterative solvers for sound field analysis in rooms using BEM:

relation of shape, sound absorption, and diffuseness of sound field to analysis results

安田研究室 201770171 齋藤 昂太

研究背景: 境界要素法 (BEM) は高精度な波動数値解析手法として広く活用されている。BEM は解析規模の大規模化に伴い計算負荷が増加するため、解くべき連立一次方程式に反復解法を適用して計算を高速化することが一般的である。反復解法は収束判定値によって計算精度と計算時間を制御でき、両者はトレードオフの関係にあることからこれを適切に設定することが重要である。

研究目的: 反復解法を適用した BEM を用いて室内音場解析を行い、残響減衰曲線、周波数応答、音圧レベル分布を算出し、反復解法の収束判定値がこれら解析結果の計算精度に与える影響について、室内の吸音性状、音の拡散の観点から検討を行う。

研究成果:

解析対象 図 1 に立方体室とそれに拡散体を設置した解析ケースを示す。平均吸音率は全て 0.1 程度である。

音場の拡散性に関して 拡散性の指標として、図 2 に周波数領域変動係数[羽入ら, 2018]と周波数応答の差分系列の各値を平均したもの (差分の平均値) を示す。また、減衰曲線の発散度を示す減衰発散度 (図 3) を定義して収束性の指標とした。結果より、減衰発散度は、差分の平均値との相関が比較的高いことなどがわかった。

収束性に関して 残響減衰曲線 (図 4) に関して、 $\epsilon \geq 10^{-2}$ の結果は減衰初期・中期で湾曲が生じており収束が不十分であるが、 $\epsilon \leq 10^{-4}$ であれば真値 ($\epsilon = 10^{-6}$ の結果) の結果とほぼ一致している。周波数応答 (図 5) に関しては、 $\epsilon \leq 10^{-4}$ であれば真値との音圧レベル差が弁別閾である 1 dB 以内となっており収束している。音圧レベル分布 (図 6) に関しては、 $\epsilon \leq 10^{-2}$ であれば真値との音圧レベル差の絶対値が 1 dB 以内となっており、減衰曲線や周波数応答よりも緩い基準で収束している。

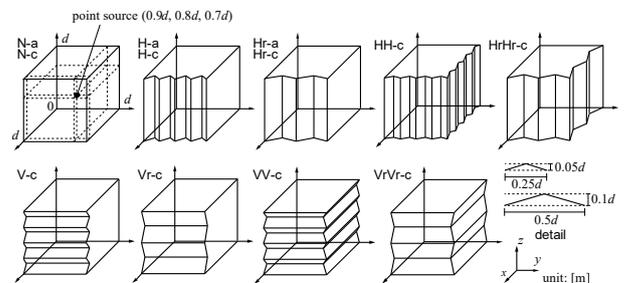


図 1 解析対象: 拡散体付き立方体室 ($\approx d^3 \text{ m}^3$)

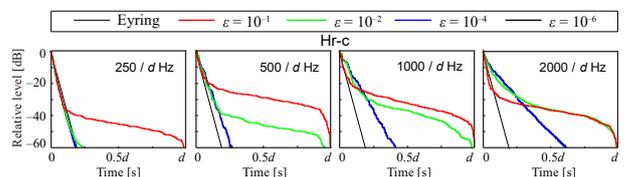


図 4 残響減衰曲線 (1/3 オクターブバンド)

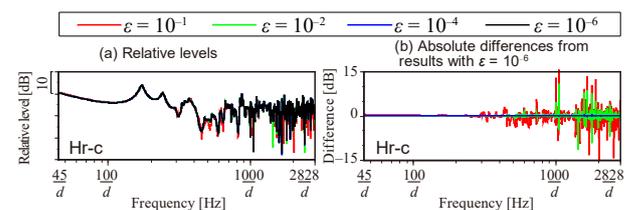


図 5 (a) 音圧レベルの周波数応答, (b) $\epsilon = 10^{-6}$ の結果との音圧レベル差

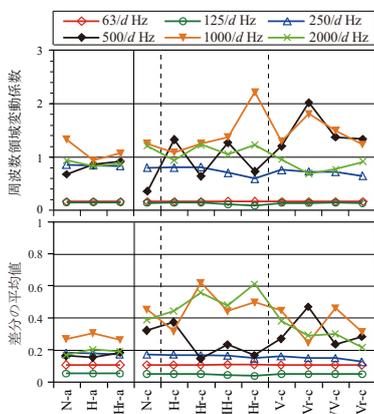


図 2 拡散性の評価指標

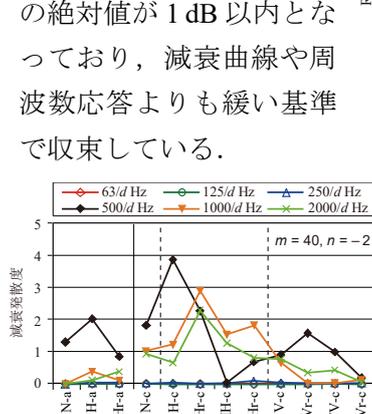


図 3 減衰発散度

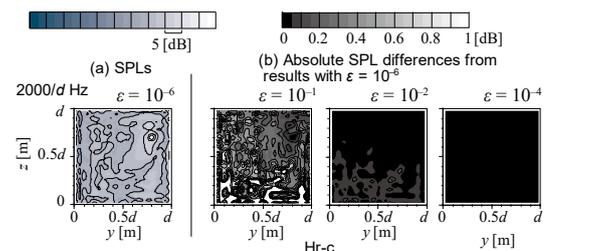


図 6 (a) 音圧レベル分布 (1/3 オクターブバンド), (b) $\epsilon = 10^{-6}$ との音圧レベル差の絶対値

感想: 数値解析で得たデータの数が膨大であり、整理するのにとても苦労しました。最後まで丁寧にご指導くださった先生方に感謝いたします。