


学位論文の要旨

専攻名	環境工学	ふりがな 氏名	おくぞの たけし 奥園 健	
学位論文題目	建築音環境予測のための時間領域有限要素法による高効率波動数値解析手法の構築 (Construction of high efficient wave based numerical analysis based on time domain finite element method for predicting architectural acoustic environment)			
<p>建築の音響設計では、室の利用目的に応じた適切な音環境計画が重要である。所望の音環境を実現するためには、設計段階から、経済性に優れ、かつ、条件変更が比較的容易なコンピュータシミュレーションの利用が有効である。特に、音場の時間情報を含むインパルス応答の予測は、音響障害の確認あるいは可聴化による聴感評価、聴感に対応した音響指標の算出につながり室の音響特性を評価する上で大変重要である。</p> <p>コンピュータシミュレーション手法の中でも、音の支配方程式を解く波動音響学的手法は、物理的な観点から信頼できる手法であり、音波伝搬の本質的理解には不可欠な手法である。しかし、同手法は、高い計算コストを必要とするため、音響設計の実務において、同手法が十分に活用されるまでに至っていない。これまでに、同手法を大規模空間・高周波数帯域までの予測に活用するための計算の効率化に関する研究も行われているが、未だ実大建築音場の実用的な周波数帯域まで含むインパルス応答を予測するのは困難であり、さらに効率的な手法の開発が望まれている。</p> <p>そこで本論文では、既存の手法に比べ、建築音場のインパルス応答をより効率的に算定可能とする時間領域有限要素法 (TDFEM) に基づく高効率波動音響数値解析手法を提案し、その性能に関する検証を行った。</p> <p>本論文は、全6章で構成され、第1章では、本研究の背景と目的、さらに既往の研究について述べた。</p> <p>第2章では、本研究で構築した27節点スプライン音響要素、集中減衰行列、絶対対角スケーリング付き Krylov 部分空間反復解法を計算効率化の核とした TDFEM による音場解析手法について記述した。さらに、同手法に要求される必要記憶容量の概算式を構築し、必要記憶容量と室容積の関係を周波数をパラメータとして示した。例えば、本手法によれば、32GByte の主記憶のもと、10000 m³ の建築空間の 1kHz までの解析が可能となる。その後、本手法にとって最大の問題点となる反復解法の収束性に関して検討を実施した。その結果、係数行列の固有値分布の観点から、TDFEM に現れる係数行列は反復解法の収束性にとり良好な性質を有すること、1ステップあたり 20 回以下の反復回数で収束すること、を確認し、計算時間の観点からも本手法が有効である事を示した。</p> <p>第3章では、第2章で構築した TDFEM の更なる計算効率化を達成するために、2種の不完全コレスキー分解型前処理ならびに領域分割法に基づく大規模並列計算手法による演算高速化効果について検証した。その結果、IC(0)分解、DIC 分解の活用により更なる計算効率化を図れることを明らかにした。また、最大で 9,000 万複素自由度を有する大規模音場を対象に、256 コアまでを使用した数値実験を通して、領域分割型並列計算を用いた TDFEM により、高い並列性能が得られることを実証した。</p> <p>第4章では、第2章で構築した TDFEM の性能 (計算コスト・解析精度) を他の数値解析手法 (時間領域差分法 FDTD 法・周波数領域有限要素法 FDFEM) との比較から明らかにした。まず、FDTD 法を比較対象とした数値実験から、TDFEM は標準的な FDTD 法に比べ、極めて少ない分割数で同等の精度の解析が可能であること、より少ない計算コストで FDTD 法と同等の精度の解析が可能であることを明らかにした。なお、この際 TDFEM に適用した Newmark 法に関してパラメータ β の設定の異なる3種の手法を用い、FG, LA, CAA の順に時間精度が高いことを示した。CAA, LA によれば、FDTD 法の 36%程度、FG によれば、FDTD 法の 9%程度の計算時間で解析が可能である。</p>				

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

学位論文審査結果の要旨

専攻	環境工学 専攻	氏名	奥園 健
論文題目	建築音環境予測のための時間領域有限要素法による高効率波動数値解析手法の構築		
主査	大 鶴 徹		
審査委員	佐 藤 誠 治		
審査委員	真 鍋 正 規		
審査委員	秋 田 昌 憲		
審査委員	富 来 礼 次		
審査結果の要旨 (1000字以内)			
<p>本論文は、建築空間のインパルス応答を従来法に比べ高効率に予測可能な時間領域有限要素法 (TDFEM) に基づく波動数値解析手法を提案し、その性能を明らかにしたものである。建築の音響設計においては、目的とする音環境を実現するために設計段階から、コンピュータシミュレーションによる設計支援が不可欠である。また、シミュレーション手法としては、物理的な観点から音の支配方程式を数値的に解く波動音響シミュレーションの活用が望まれている。しかしながら、同手法は、計算コストの高い手法として、音響設計の実務において十分に活用されるまでには至っていない。既往の研究において、同手法を大規模空間・高周波数帯域までの予測に活用するための計算の効率化に関する研究が実施されているが未だ不十分である。</p> <p>そこで、本論文において筆者はまず、27 節点スプライン音響要素、集中減衰行列、絶対対角スケールリング付き Krylov 部分空間反復解法を用いた TDFEM を提案した。併せて、本手法に要求される記憶容量の概算式を提示し、本手法にとって最大の問題点となる反復解法の収束性に関して音場や問題の自由度数によらず良好な収束性が得られることを示した。</p> <p>次いで、著者は提案手法の更なる計算効率化方法として不完全コレスキー分解型前処理の活用が効果的であること、領域分割型の大規模並列計算により著しい高速化が図れることを実証した。なお、著者はこの際に 9000 万複素自由度を有する問題を対象とした建築音響数値解析における世界最大規模の数値実験を実施している。</p> <p>さらに、筆者は、従来建築音響分野で活用されてきた時間領域差分法 (FDTD 法) と周波数領域有限要素法 (FDFEM) といった数値解析手法との計算精度・計算コストの比較に関する数値実験を実施し、本手法の有効性を検証している。その結果、FDTD 法に比べ、最大で 10 倍程度高速に同等の精度の応答を算定可能であること、また、FDFEM では反復解法の収束が困難な音場に対してより高速に同等の精度の周波数応答が算定可能であることを示している。</p> <p>最後に、著者は、実在音場を対象とした実測値との比較を実施し、実在音場予測に対する提案手法の予測精度を示した。</p> <p>公聴会当日の質疑応答でも、回答は的確であった。以上、本論文の研究成果は、建築音場の予測に極めて有用であり、学位論文としての適合性は十分であると判断した。</p>			