

TSUBAME 共同利用 平成 24 年度 産業利用 成果報告書

利用課題名 大規模室内外建築環境解析システムの開発

英文: A Numerical Simulation for the Building Indoor and Outdoor in Large Scale

利用課題責任者

PHAM VAN PHUC

所属: 清水建設(株)技術研究所

Affiliation: Institute of Technology, Shimizu Corporation

URL: <http://www.shimz.co.jp>

本利用課題では、マルチブロック・マルチカラー法と適応格子細分化法及び分散処理による新たな超大規模分散プリ・ポストシステムを開発した。また、建物近傍の計算格子の細分化・精緻化による小さいスケール、また2次元平面計算との連携シミュレーションによる大きいスケールの現象を再現できることを確認し、屋外環境の数 km 範囲から対象建物屋内の数 cm までの広範囲に渡るマルチスケールの大規模室内外建築環境解析の可能性を明らかにした。

A new mesh generation and visualization pre/post system in large scale has been developed using the multi-block, multi-color under distributed processing solution. Mesh refinement around buildings to consist a smaller scale, and the coupling simulation with 2D simulation to consist a larger scale are shown to be useful in the large scale simulation for the building indoor and outdoor.

Keywords: Large Scale Simulation, Mesh Generation, MultiBlock, MultiColor, Coupling Simulation

背景と目的

周辺環境を配慮して、安全・安心かつ快適な建築環境を提供できるかどうか建物の性能評価において重要な課題の一つである。この課題を解決するためには詳細な室内環境や広域な屋外環境の双方を考慮できる室内外環境の連成解析が必要となるが、計算量及び計算時間は膨大となるため、限られる範囲でそれぞれの検討対象、たとえば建物本体の風荷重や津波波力の評価、さらには周辺の風環境、温熱環境、音響環境、光環境の評価に対して屋内または屋外をモデル化して、異なる計算モデルで解析が行われている現状である。近年の計算機の性能向上や数値流体シミュレーション技術の進歩により室内・屋外を含めた総合的な大規模流体解析は建築環境評価において有効な計算手法の一つとして期待されている。

本利用課題は建築分野の流体問題を対象にして TSUBAME2.0 の計算資源を利用することで、周辺の地形や市街地形状及び屋内環境までのマルチスケールを考慮できる数百億計算格子レベルの大規模室内外建築環境のモデル化システムを構築、実測及び実験結

果との比較により大規模計算による計算精度を検証するとともに、大規模室内外建築環境の評価基盤を確立した。

概要

建物の性能評価としては、建物の安全性について構造本体に作用する風荷重・津波力など、建物の快適性について風環境・温熱環境・音響(騒音)環境と光環境などの多くの流体問題を総合的に評価するものとなる。

平成 22 年度～23 年度では産業利用トライアルコースの「建築物の室内外環境の連成解析とその高速化技術の開発」利用課題にて、TSUBAME スパコンの活用を通じて既存の流体計算ソフトや解析ソルバー及び最新の CPU・GPU ハードウェアアーキテクチャーの性能特性を調べており、一部 GPU 化による流体計算の高速性能およびフル GPU 化による光環境解析のリアルタイム性を確認した。また、1億計算格子レベルの室内外の風環境や数千万ポリゴンレベルの光環境をモデル化、大規模室内外の連成解析を試みており、その室内外環境の連成解析の可能性を確認した。平成 23 年度後期では構築した解析システム及び地理情報 GIS の連携によ

り広域市街地や複雑地形を考慮できる広域スケールの屋外環境解析を可能にして、TSUBAME 共同利用(産業利用)の採択課題「複雑地形を考慮した超大規模津波波力解析システムの開発」にて数 km 範囲大規模3次元津波解析の適用及び実用性を確認した。

また、図-1 を一例として示すように、実験結果や実測結果との比較及び実用範囲の考慮により、対象とした室内外環境の連携解析では屋外環境の数 km 範囲から対象建物屋内の数 cm までの広範囲に渡るスケールの解析が必要となる。それらのマルチスケール解析を可能にするためには、数百億格子以上の超大規模プリポストの開発と超大規模数値計算の実施、局所的な細分化・精緻化による支配的な現象のみのクローズアップ、複数計算手法による連携解析の実施が考えられる。

本利用課題では、まずは、超大規模数値流体計算の実施に向けてマルチブロック・マルチカラー法と適応格子細分化法による新たな超大規模分散プリ・ポストシステムを開発し、本システムの利用により数百億計算格子の作成を可能にした。また、実験結果との比較により、建物周辺の格子細分化による建物近傍の剥離渦の良好な再現性と風圧力の予測精度の向上を確認しており、建物本体の支配的な現象の把握について計算格子の局所的な細分化・精緻化が重要である。さらに、複数計算手法の連携解析については、広域平面2次元津波伝播・遡上計算とVOF法による3次元津波波力計算との連携解析により波源から対象建物まで広範囲に渡るスケールの解析を実現し、建物に作用する津波力の直接計算を可能にした。それぞれの計算方法が室外・屋内を含む建物の性能評価について有用であることを明らかにした。

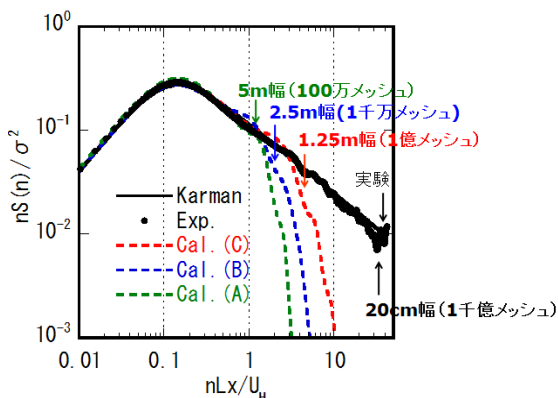


図-1 風速のパワースペクトル密度

結果および考察

1. 超大規模数値流体解析

図-2 は開発した大規模・広域計算格子作成法の概要を示す。マルチブロックとマルチカラー法の導入により広域市街地モデルを分散処理し、従来の計算格子作成法と比べて計算機メモリの容量に依存せず、高速に計算モデルの作成を可能にした。また、図-2 の拡大図に示すように、山岳地形における複雑市街地についても品質の良い計算格子が作成できる。

図-3 にはその計算格子作成法を用いた風環境解析の適用例と可視化結果を示す。本課題で開発したマルチブロック・マルチカラー法による分散処理の計算格子作成法と可視化法の有効性を確認した。

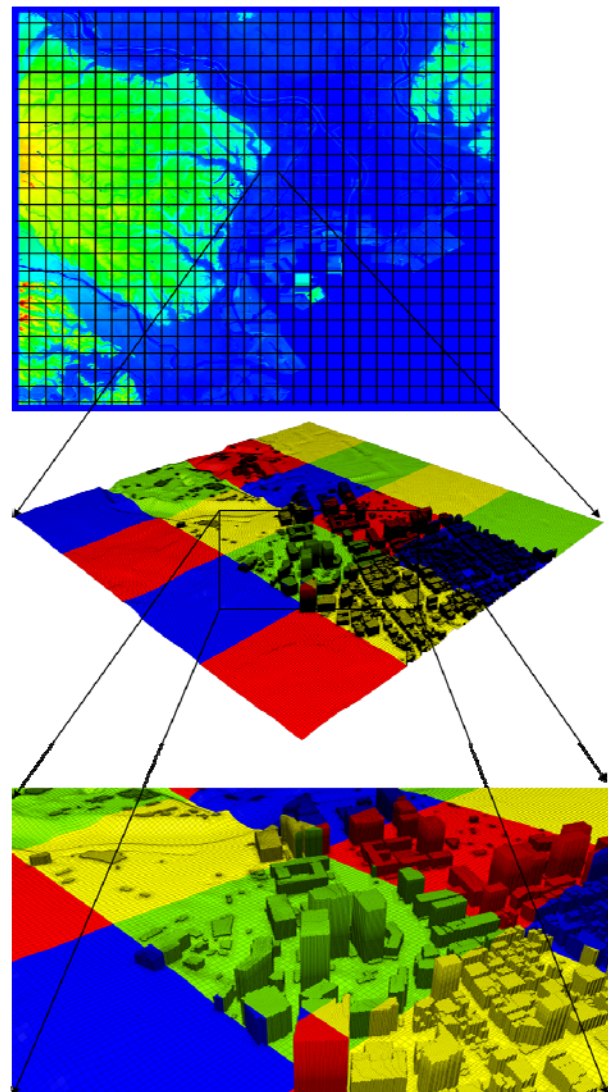


図-2 マルチブロック・マルチカラー法による広域計算格子作成法の概要とその拡大図

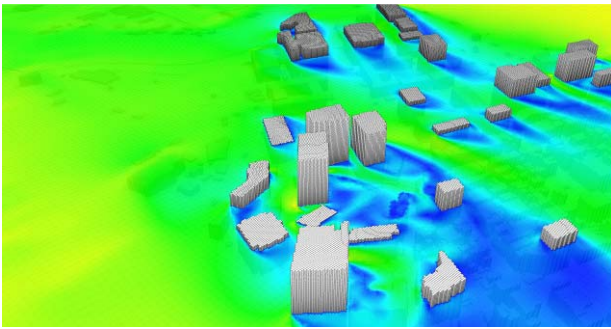


図-3 開発した計算格子作成法を適用した風環境解析

2. 建物近傍の細分化

前節に示すような大規模グリッド・ポストシステムと大規模計算機の利用により超大規模数値流体計算の実施は理論的に可能である。しかし、実用においては大規模な計算機リソースの確保が難しい現状である。周辺の影響を最小限に反映して、検討対象現象に応じて局所的な細分化または精緻化の方法も有効である。

図-4 は境界層風洞実験の再現の一例である。計算では3つの格子(A, A*, B)を用いた。表-1には計算格子の間隔と格子数を示す。格子 A は水平方向を6.25mm ~100mmの間隔とし、格子 A*では格子 A の建物近傍の格子のみを細分化した。格子 B では建物近傍以外の水平方向格子間隔を格子 A*の水平方向格子間隔の半分とした。格子 A と格子 A*または格子 B の計算結果の比較から、建物近傍の計算格子の細分化による効果が分かる。

図-5 はそれぞれの建物近傍の計算格子の拡大図と計算から得られた建物近傍の流れ場である。図-6には実験及びそれぞれの計算格子から得られた建物に作用する平均風圧分布を示す。建物近傍の計算格子の細分化により建物近傍の渦形状や流れ場及び建物に作用する風圧力もよく再現できる。建物本体から生成された支配的な現象については局所的な細分化又は精緻化の方法も有効である。

表-1 計算格子の間隔と格子数

計算格子	水平(mm)	鉛直(mm)	格子数
A	6.25~100	0.5~100	3.3 千万
A*	3.125~100	0.25~100	3.9 千万
B	3.125~50	0.25~100	1.32 億

A*:建物近傍の格子のみ細分化

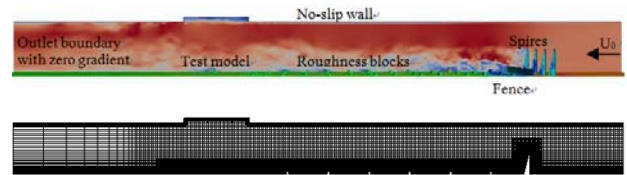


図-4 計算モデルと計算格子の断面図

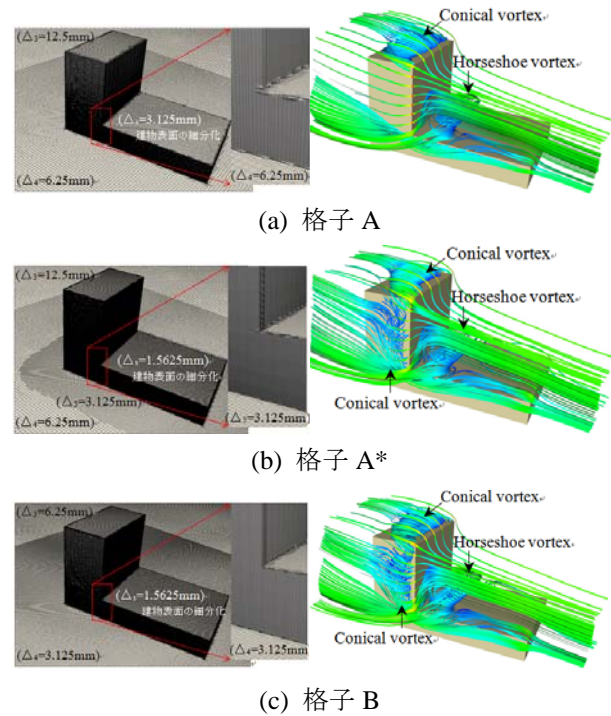
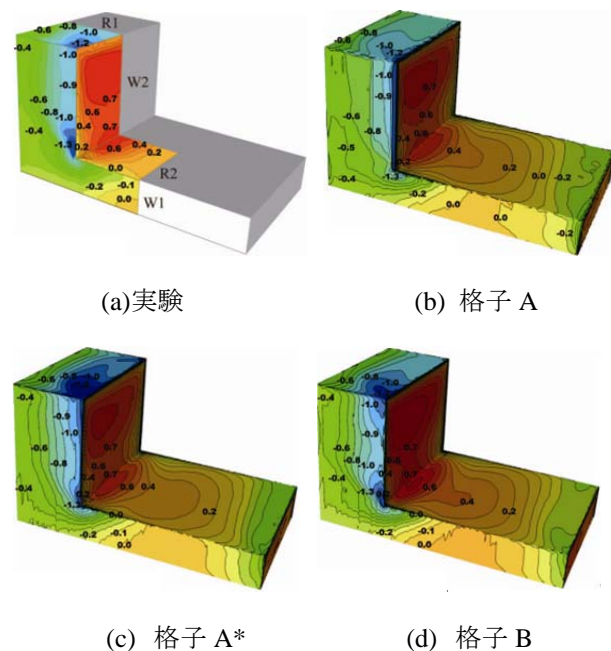


図-5 建物近傍の計算格子と計算から得られた流れ場



(c) 格子 A* (d) 格子 B

図-6 建物に作用する平均風圧分布

3. 広域連携シミュレーション

広範囲に渡るスケールを考慮するためには、風環境評価については広域2次元平面気象モデル計算と局所3次元流体計算による連携解析、津波波力評価については同様に広域2次元津波伝播・遡上計算とVOF法による3次元津波波力計算による連携解析などが考えられる。本利用課題では、津波に対する建物の性能評価において広域津波連携シミュレーションを構築し、広域連携シミュレーションの重要性を明らかにした。

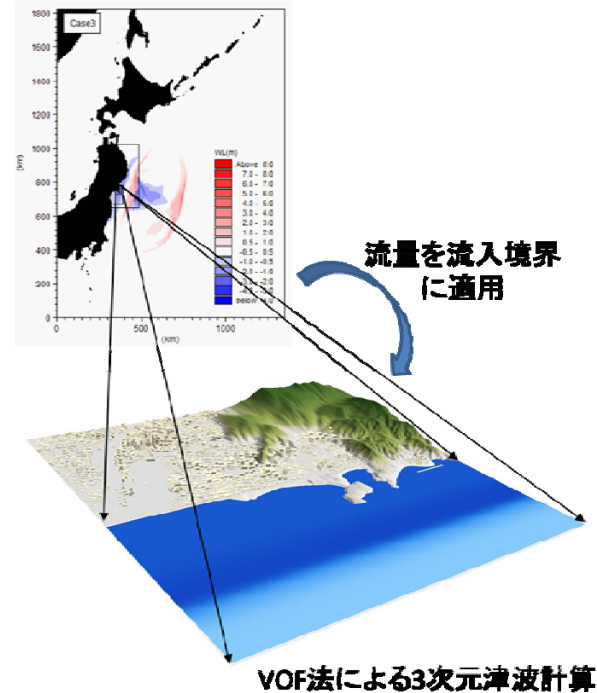
図-7 は、広域平面2次元津波伝播・遡上計算とVOF法による3次元津波波力計算による津波連携シミュレーションの概要を示す。広域平面2次元津波伝播・遡上計算から得られた流量を適切に3次元津波計算の流入境界に適用することにより津波の波源から建物までの広範囲スケールを考慮でき、建物に作用する津波の波力を直接に計算することが可能にした。

また、図-8 には、広域平面2次元津波伝播・遡上計算(2D)と、津波連携シミュレーション(3D)から得られた波高の時刻歴を示す。3次元津波計算との連携解析は流入境界近傍の沖合(図-8a)及び伝播してきた沖合位置(図-8b)での波高の時刻歴を精度よく再現し、広域平面2次元津波伝播・遡上計算とVOF法による3次元津波波力計算による津波連携シミュレーションの整合性も確認できた。ただし、図-8(c)により、陸域位置においては津波連携シミュレーションの結果は従来の2次元津波遡上計算の結果より大きくなる。これらは、津波連携シミュレーションでの3次元津波計算では建物などの詳細な再現により得られた効果である。広域連携シミュレーションの重要性もわかる。

まとめ、今後の課題

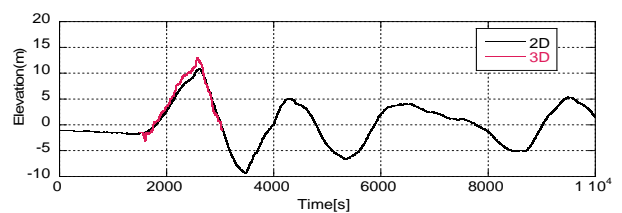
本利用課題ではTSUBAMEを用いて以下の開発検討を行った。屋外環境の数km範囲から対象建物屋内の数cmまでの広範囲に渡るスケールの室内外連携解析を実施するために必要な超大規模プリポスト処理システムを開発し、マルチブロック・マルチカラー法と適応格子細分化法の適用及び分散処理により数百億計算格子を短時間に作成できることを確認した。

平面2次元津波伝播・遡上計算

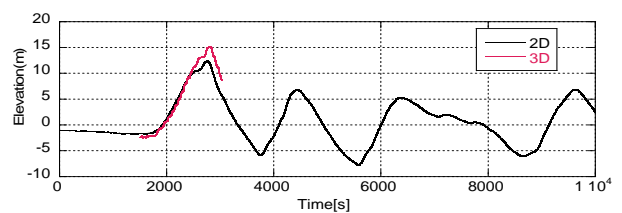


VOF法による3次元津波計算

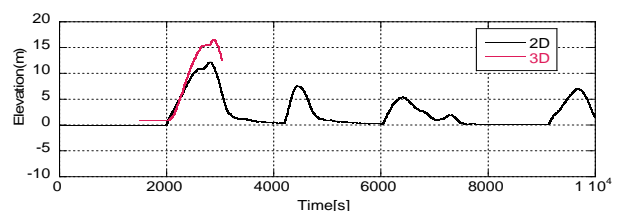
図-7 2次元津波伝播・遡上計算と3次元津波計算による広域連携津波シミュレーションの概要



(a) 流入境界近傍の沖合位置



(b) 沖合位置



(c) 陸域位置

図-8 広域2次元津波伝播・遡上計算と広域津波連携シミュレーションの波高時刻歴の比較

今後は、このシステムを活用して、GPU による処理高速化及び超大規模数値流体解析による厳密計算を実施し、高度な室内外連携解析が可能と考えている。また、本利用課題でも、より局所的な現象を再現するための局所的な計算モデルの細分化または精緻化、より広範囲なスケールの影響の考慮するための広域 2 次元平面計算の連携シミュレーションの可能性と重要性については、境界層風洞の忠実再現また津波連携シミュレーションを通じて明らかにした。