



建築物の高層化/複雑形状化に対応した流体-構造連成解析 — 構造物の耐風/免振設計分野への活用 —

研究・開発機関 : 鹿島建設株式会社 技術研究所、東京工業大学、神戸大学
 利用施設 : スーパーコンピュータ「京」
 計算規模 : 通常の風圧解析向け高精度CFDと比較して2~3倍である1週間程度
 利用ソフトウェア : OpenFOAM-v1606+のソルバ pimpleDyMFoam

Before

- 構造物の耐風設計分野において、高精度な数値流体計算手法を用いた建築物の外装材や構造骨組の風荷重評価が実用化されつつありますが、更なる高層化や複雑形状化の傾向を受けて、空力不安定振動評価の必要性が高まっています。
- また免震層を有する高層建築物の増加に伴い、その挙動を考慮した評価の必要性も高まってきていました。

After

- 構造物の耐風設計分野において、高次振動およびねじれ振動モードを考慮することにより空力不安定振動や免震層の挙動を含む評価が可能な FSI 解析コードを開発しました。
- 既往の風洞実験と FSI 解析結果を比較したところほぼ一致し、多質点構造モデルを用いた FSI 解析による空力不安定振動判定の活用可能性を示すことができました。

背景と目的

計算機の発達に伴い、高精度な数値流体計算 (CFD) 手法を用いた建築物の外装材や構造骨組の風荷重評価が実用化されつつあります。また、日本建築学会においても風洞実験と同様にCFD解析による評価が認められつつあります。近年の建築物の高層化や複雑形状化の傾向を受けて、構造物の耐風設計分野において高次振動 (2倍振動や3倍振動) やねじれ振動を考慮した空力不安定振動評価の必要性が高まっており、免震層を有する高層建築物も増えてきたことから、免震層の挙動を考慮した評価の必要性も高まっておりますが、これらを背景に数値解析による評価が期待されています。

従来より、建築物の空力不安定振動評価を実施する場合には、通常、ロッキング振動モデルによる風洞実験が用いられています。これは主に1次振動 (基本振動) が卓越することを仮定しているため、上記の実現象に近い評価を行うのが難しいのが実情です。ねじれや高次振動を評価するには、多質点の挙動を考慮可能な風洞モデルを利用する必要がありますが、そのようなモデルは制作に時間がかかり、また実際の建物の構造特性を再現するのが難しいため、実務での運用は困難な状況でした。

以上の理由により、空力不安定振動評価には、実際の建物構造を反映させた構造計算を高精度流体計算であるLarge-Eddy Simulation (LES)と連成させる流体-構造連成 (以下、FSI:Fluid-Structure Interaction) 解析の手法確立が望まれていました。そこで、数値解析に基づく高次振動モードおよびねじれ振動モードを考慮した空力不安定振動の評価法を開発することになりました。

利用成果

FSI解析の予測精度を検証するため、既往の風洞実験結果¹⁾と比較しました。図1に計算対象を示します。計算領域は比較対象となる風洞実験と同じ断面領域とし、主流方向領域は建物模型を原点に上流方向に3m、下流方向に3m設定しました。流入風条件として、図2に流入面における主流方向の平均風速および乱流強度の鉛直分布を、図3に流入面における風洞スケール高さ $z=0.5m$ の主流方向風速パワースペクトル密度を示します。

この値は風洞実験との整合性を考慮した条件です。

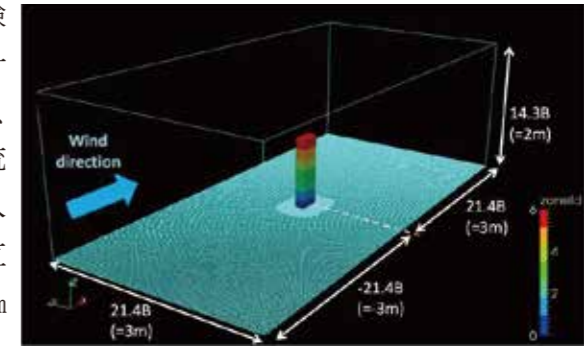


図1 計算対象

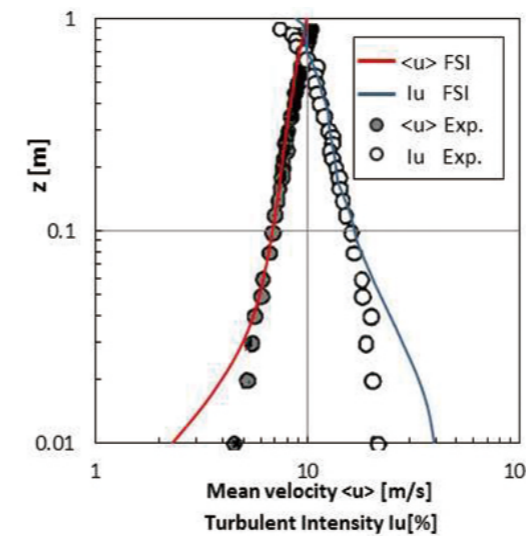


図2 流入面における主流方向平均風速および乱流強度

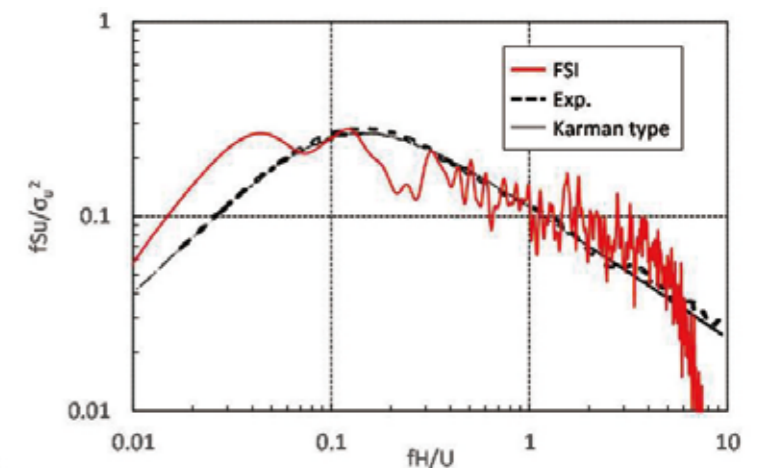
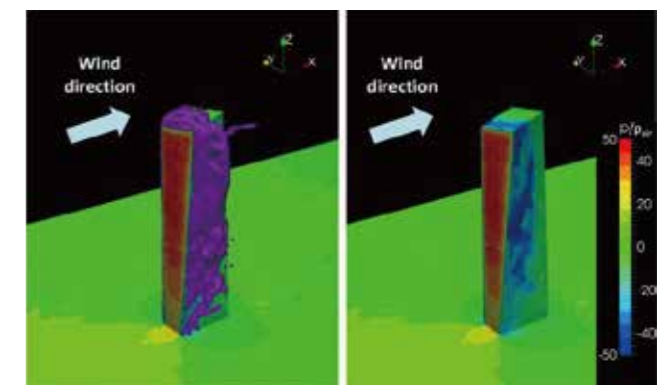


図3 流入面における主流方向風速パワースペクトル密度

図4に空力不安定振動時の建物モデルの変形時の計算結果を示します。(a)に瞬時圧力等値面の様子を、(b)に瞬時の表面圧力分布を示しています。ねじれ方向に顕著な変形が生じており、ねじれフラッター振動が生じていることが確認できます。その際、(a)に示す負圧領域を伴う渦がねじれに応じて周期的に発生しており、その結果、(b)に示す建物の上流側面を中心に発生する負圧領域の発生周波数と建物の応答が一致することで、ねじれフラッター振動が発生していると考えられます。



(a) 瞬時圧力等値面 (b) 瞬時の表面圧力分布

図4 空力不安定振動時の建物ねじれ変形時の様子

本研究では、数値解析を用いて高次振動モードおよびねじれ振動モードを考慮した空力不安定振動評価を評価可能にするべく、より実建物の構造を反映可能な多質点構造計算と高精度流体計算であるLESを連成させたFSI解析コードを開発し、既往の多質点空力弾性モデルによる風洞実験との比較を行いました。今後、風洞実験に置き換わるレベルを目指して開発を進めていきます。

出典: 1) 丸川ら, 多質点系弾性モデルの開発と高層建築物の風応答評価についての検討, 日本建築学会構造系論文集, 1996