

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	LES Study of Aerodynamics of Two-dimensional Bluff Bodies in Crossflow at Very High Reynolds Numbers
著者(和文)	曹勇
Author(English)	Yong Cao
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10375号, 授与年月日:2016年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:田村 哲郎,喜々津 仁密,山中 浩明,肖 鋒,淺輪 貴史,大風 翼
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10375号, Conferred date:2016/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Yong Cao		
論文審査 審査員			氏 名	職 名		
	主査		田村 哲郎	教授	大風 翼	准教授
	審査員		山中 浩明	教授	喜々津 仁密	特定准教授
			肖 鋒	准教授		
			浅輪 貴史	准教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「LES Study of Aerodynamics of Two-dimensional Bluff Bodies in Crossflow at Very High Reynolds Numbers」と題し、以下の7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、橋梁ケーブル、高層建築物の強風被害を低減するために円柱、角柱などの二次元非流線形物体が本来有する空力特性を明らかにすることの重要性を述べ、特に実験では困難な、実構造物の場合の超臨界域レイノルズ数での解析においてLES (Large-Eddy Simulation) が有効であることを確認するという本研究の目的を述べている。またパッシブ空力制御のための隅角部形状を変化させた場合のレイノルズ数依存性を示し、LESの実用性に対する本論文の位置づけを明確にしている。

第2章「Numerical methods」では、非流線形物体まわりの流れを解析するための直交系ならびに一般座標系のLES乱流解析法を提示している。また、乱流に対する取り扱いとして渦粘性近似、スケール相似則モデル、両者の混合モデルを定式化し、流体支配方程式の離散化手法を示すとともに並列計算のアルゴリズムを提示し、超臨界域のレイノルズ数での計算の可能性を明らかにしている。

第3章「Large-eddy simulations of flow past a square cylinder using structured and unstructured grids」では、亜臨界の比較的高いレイノルズ数での角柱まわりの非定常流れを対象に、数値解析法に関して精度検証を行っている。一般座標に基づく構造格子系に加えて非構造格子系のLESを導入し、移流項の取り扱い、メッシュ分割法、二次元物体のスパン方向長さをパラメータとして数値解析法の有効性を系統的に明らかにしている。両方の格子系でのLESは、適切な数値スキームを用いることで平均値ならびに変動値に十分な精度を有することを示している。また、メッシュ分割については、角柱の後流に適切な配置をすることで数値粘性による後方での変動成分の減衰が避けられ、十分な強度の渦が生成されること、また、スパン方向長さが圧力相関に対して影響を与えることから、適切な長さを有することで、全体力としての変動揚力係数の推定に十分な精度が得られることを示している。以上、適切な計算を実行する上での諸条件を提示した。

第4章「Three-dimensional wake patterns and their effects on aerodynamic characteristics at upper subcritical Reynolds number」では、さらに高い亜臨界のレイノルズ数の円柱まわりの流れの後流構造とそれが空力特性に与える影響を明らかにしている。このレイノルズ数は、臨界域直前のもので強風下での橋梁ケーブルの場合に一致し、実用的な問題への有効性の吟味を行うものである。特に渦の発生パターンに着目し、非構造格子系LESにより三次元後流構造における位相差特性を調べ、全体力での変調特性を確認し、スパン方向における弱い相関性を示した。三次元後流構造の発達過程において周期渦での局所的な位相ずれが不規則な縦渦によってもたらされ、段階的に斜め渦の発生と並行渦の発生へと移行していく。これらのパターンは、渦発生に強弱をもたらし、断面揚力においても変調をもたらすことを示している。以上、ここでは、空気力を決定する流れの物理構造が数値解析

的方法により明らかにできることを示した。

第5章「Supercritical flows past a square cylinder with rounded corners」では、高層建築物の隅角部形状の変化による空力制御の例として、正方形柱の角に丸みを持たせた場合を考える。超臨界域の流れを系統的に調べ、丸みのある正方形柱の空力特性に与える影響を確認した。一般座標系 LES で動的混合モデルを用いると鈍い物体まわりの超臨界域の流れを正確に推定できることを示した。亜臨界域の場合に比べて、超臨界域の流れは大きく異なり、物体に沿った流れは後方の隅角部から剥がれ、小さな循環流の一次渦を形成する。さらに、側面上を付着して発達する乱流境界層は、後方の周期的な渦の離脱に伴って変化する圧力勾配に応じて形成され、側面での圧力・摩擦力が決定されることを示した。

第6章「Shear effects on supercritical flows past a square cylinder with rounded corners」では、隅角部に丸みを持つ正方形柱に対して、流入風としてせん断流れが作用した場合の亜臨界域ならびに超臨界域の空力特性をより実務的な観点から議論している。亜臨界域においては、非対称の流れが角柱の両側に発生した。高速側の側面における流れはより角柱表面に近づくのに対し、減速側の側面における流れは、角柱より離れた。その結果、圧力の分布特性も非対称となり、揚力が発生した。一方、超臨界域の場合は、せん断流れの影響を受けず、両方の側面に付着して流れ、角柱の後方に限定して渦を発生している。その結果、圧力分布は、両側面で大きな差がみられず、揚力もほとんど発生していないという新しい物理的な知見を明らかにしている。

第7章「Conclusions」では、前章までに得られた成果を総括し、今後の課題・展望を述べている。

以上を要するに、本研究で用いた非構造格子系 LES は、レイノルズ数が比較的高い亜臨界域の場合に適切に推定できること、一方、超臨界域の場合は、一般座標構造格子系 LES が適切であり、レイノルズ数に応じた計算手法の選定が必要であることを示した。また、構造物の耐風設計において適切に予測すべき様々な後流構造に対し、計算モデル構築のための要件とその合理性を確認した。本研究成果は、耐風設計の実務に資する基本的な知見を与え、今後の風工学の発展に大いに貢献するものと考えられる。従って、博士（工学）の学位論文として十分に価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。