

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17360266  
 研究課題名(和文)メソ気象モデル・マイクロLESモデルの融合解析による強風の実勢推定と被災機構解明  
 研究課題名(英文) Estimation of strong wind and its hazard mechanism by the hybrid method of meteorological model and LES model  
 研究代表者 田村 哲郎(TAMURA TETSURO)  
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授  
 研究者番号：90251660

## 研究成果の概要：

日本近海の海水温の上昇に伴い、勢力の衰えない台風が我が国に数多く来襲している。その際、極端に高風速の風が生じ、比較的新しく耐風設計された建築物でさえ、屋根破損などを被っている。建築物が実際に存在する人間の生活圏の高さ100m程度までの範囲での強風の実勢がわかっていないことが原因である。本研究では、メソ気象モデルとマイクロLESモデルを、両者の特長を活かしながら融合し、地表近傍での強風に対して変動風速まで含めて推定できる数値モデルを構築した。さらに本モデルを用いて人間の生活圏である地表近傍の強風の実勢を把握し、建築物に被害をもたらす機構を明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	4,500,000	0	4,500,000
2006年度	5,200,000	0	5,200,000
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
総計	14,100,000	1,320,000	15,420,000

研究分野：建築耐風構造・環境乱流力学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：Large eddy simulation、メソ気象モデル、融合解析、被災機構、強風予測、台風、突風

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化による日本近海の海水温の上昇に伴い、勢力の衰えない台風が我が国に数多く来襲している。その際、極端に高風速の風が生じ、比較的新しく耐風設計された建築物でさえ、屋根破損などを被っている。しかしながら建築構造物が被害を受けた時の強風の実態は必ずしも把握されていない。確かに最大風速が高い場合に被害の発生確率が上昇すると大まかには評価できるものの、被害が発生した場所から少し離れた場所では

被害が全く存在しないなど、強風災害発生の有無の分岐点がどこにあるのか、被害調査から度々判断が困難な現実を突きつけられる。建築物が実際に存在する人間の生活圏の高さ100m程度までの範囲での風系構造が予想以上に複雑で、強風の実勢がわかっていないためと考えられよう。一方、近年のメソスケールの気象モデルによれば、格子点気象客観データ(GPV)を活用しながら、台風の移動経路ならびにそれによってもたらされる強風の風速値が解像度1km程度で具体的に

予測できるようになってきている。また、最近 1 km 程度の範囲（解像度数 m）での都市域の強風特性が、LES 計算により乱流構造まで含めて予測されている。しかしながら、こういった計算技術がありながらも、気象分野と流体力学分野での研究成果はそれぞれが独立しており、両者を融合した有効な活用がなされていないのが当時の状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究では、これらメソ気象モデルとマイクロ LES モデルを、両者の長をを活かしながら融合し、地表近傍での強風に対して変動風速まで含めて推定できる数理モデルを構築する。特に、台風通過時の地表近傍での風速の時間変化を実際に推定し、観測値との比較に基づきモデルを改良して精度を向上する。さらに本モデルを用いて人間の生活圏である地表近傍の強風の実勢を明らかにし、建築物に被害をもたらす機構を明らかにしようとするものである。

## 3. 研究の方法

本研究で用いた解析モデルは、メソ気象モデルとマイクロ LES モデルの両者の長をを活かしながら、両モデルを融合し、地表近傍での強風の風速値ならびに変動風速を実際に推定することが可能なモデルであり、従来のネスティングによる複合モデルとは大きく異なる。具体的には、気象モデルで再現されたメソスケールの時空間変化を LES の初期値・境界値条件として直接的に風速場を接続させる。この融合モデルにより、初めて地表近傍の人間の生活圏での風速値の直接的な推定が可能となり、観測データとの比較検証に基づいた強風の実勢が明らかにできる。

まず、初年度は、以下の実施項目により、要素技術を確認する。

- ・台風来襲時における強風災害パターン分析
- ・メソ気象モデルによる台風経路の予測と強風推定
- ・局所的暴風災害の予測手法の検討
- ・マイクロスケールでの強風特性に関する LES 乱流解析
- ・メソ気象・マイクロ LES 融合モデルの提案と気象観測データとの比較

2006 年度以降は、初年度に提案されたメソ気象とマイクロ LES の融合モデルの実際の都市域を対象とした場合の解析結果に対して、乱流の非定常構造まで含めた再現性を自前の観測データに基づき検証すると共に、地表近傍において建物被害時に吹いていた実際の風の強さ（強風実勢）を推定しながら融合モデルの精緻化をめざす。

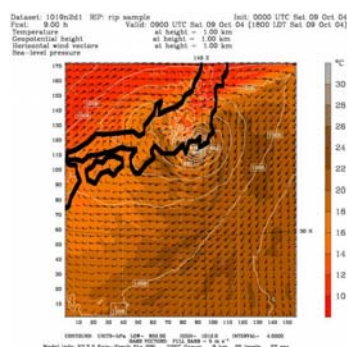
## 4. 研究成果

研究成果について年度を追いながら、順次示す。2005 年度については、本研究を進める上での要素技術を主に開発した。

(1) 台風来襲時における強風災害の分析  
台風来襲した際の、建物の強風災害が発生した場合の詳細を文献調査し、被災建物と無被災建物とを生み出した要因について考察し、それぞれの場所における強風特性の違いを分析した。都市キャノピーの形態によるガスト構造の変化、局所地形と風向との関わりによる風の急変などが明らかにされた。

(2) メソ気象モデルによる台風経路の予測と強風推定

建物の強風災害が発生した場合について、メソ気象モデルによる台風経路を予測し、強風災害の発生した場所での強風の平均風速を推定した。さらに、既存の気象観測データとの対応関係を調べ、気象モデルの予測精度の限界について吟味した。特に、人間の生活圏である地表近傍における強風特性の再現性について検討した。都市域での地表形態の影響を気象モデルで予測することの困難さが示された。



台風進路予測（メソ気象モデル：MM5）

(3) 局所的暴風災害の予測手法の検討  
メソ気象モデルの解析から得られたメソスケールでの気象データを境界・設定条件にししながら、通常気象モデルでは捉えきれないマイクロスケールの局所的暴風に対する LES 解析モデルを検討した。

(4) マイクロスケールでの強風特性に関する LES 乱流解析の実施

マイクロスケールの計算領域に対する LES 非定常乱流解析を実施し、都市圏の建物密集域の強風の空間構造およびガスト構造を明らかにした。なお、メソ気象モデルとの融合に配慮し、LES モデルに温度輸送方程式を組み込み、浮力評価が可能な数理モデルが導出されている。

(5) メソ気象・マイクロLES融合モデルの提案  
と気象観測データとの比較

メソ気象モデルとマイクロスケールのLES乱流モデルを融合した解析手法の提案を行った。実在の都市を対象にした計算を実施し、計算対象領域に存在する気象官署の観測データ（アメダスなど）との比較を行い平均値レベルでの融合モデルの強風の再現性に関する検証を行った。都市中心部における建物が密集する場所において、融合モデルが著しく改善されることが確認された。

2006年度は、初年度に提案されたメソ気象とマイクロLESの融合モデルの実際の都市域を対象とした場合の解析結果に対して、乱流の非定常構造まで含めた再現性を自前の観測データに基づき検証すると共に、地表近傍において建物被害時に吹いていた実際の風の強さ（強風実勢）を推定しながら融合モデルの精緻化をめざした。

(6) 都市域での強風の三次元乱流構造に関する観測のシステム化とデータ処理  
強風特性が地形の影響を受けそうな都市域に観測サイトを設定し、超音波風速計を用いて、強風の三次元乱流構造に関するデータを蓄積した。なお、近接する複数地点での三杯型風速計も併せて用いることにより、風観測のシステム化を進めた。ただし、ここでは、従来の風観測のように基準となる風を対象としておらず、地表近傍のある程度の局所的な影響が入り込んだ風を対象としており、あくまで、提案した融合モデルの検証に活用する。

(7) 融合モデルによる推定値と観測データとの比較によるモデル検証  
台風来襲時および強い季節風時などを対象としながら、メソ気象モデルとマイクロスケールLES乱流モデルを用いた融合解析を行い、観測サイトにおける強風の三次元構造を求め、上記の自前の観測データならびに近隣の気象官署のデータと併せて、データ処理計算機上に非定常強風乱流に関する観測値と推定値のデータ整備を行った。両者の平均値ならびに変動値（乱れの強さおよび最大瞬間値）に対する比較を行い、融合モデルの推定精度を明らかにするとともに、モデルの改良方法について検討し、その有効性を確認した。

Mean wind speed in dense tall buildings (north wind)

	Aビル屋上	気象台
観測結果	16.2(m/s)	5.8(m/s)
MM5	19.2(m/s)	14.2(m/s)
MM5+LES	13.4(m/s)	9.4(m/s)

Gust factor in dense tall buildings (north wind)

	Aビル屋上	気象台
観測結果	1.48	2.19
MM5+LES	1.52	1.82

Mean wind speed in dense tall buildings (south wind)

	Aビル屋上	気象台
観測結果	16.1(m/s)	11.1(m/s)
MM5	31.5(m/s)	24.3(m/s)
MM5+LES	15.8(m/s)	13.6(m/s)

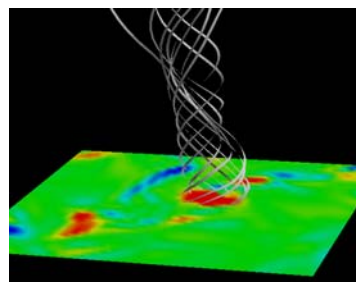
Gust factor in dense tall buildings (south wind)

	Aビル屋上	気象台
観測結果	1.94	2.34
MM5+LES	2.07	2.28

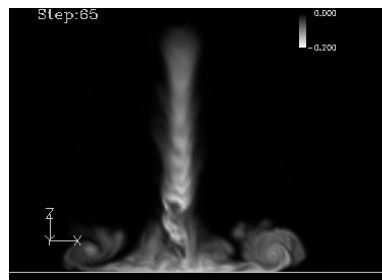
2007年度は、これまでに開発、さらには精度検証されたメソ気象とマイクロLESの融合モデルの適用範囲の拡充をめざし、また環境あるいは防災問題の解決の視点から、地表近傍での実際の風の強さ（強風実勢）を把握した。特に、台風通過時の地表近傍での風速の時間変化を実際に推定し、観測値との比較に基づきモデルを改良して精度を向上した。

(8) 小規模気象擾乱に基づく局所的暴風の融合解析

小規模気象擾乱による突発性強風による被害調査データを踏まえた上で、こういった特殊な局所的暴風による建築物に対する風外乱の特性を推定する。被害調査結果から得られた被害発生場所を対象に、まず、GPVデータを用いた台風来襲時のメソ気象モデルによる解析を実施した。さらに、そこから得られたメソスケールでの気象データに基づき、不安定大気現象あるいは小規模気象擾乱に対してLES乱流解析を実施した。その上で、こういった特殊な局所的暴風による建築物に対する風外乱作用の特性を推定した。なお、竜巻状極大突風については、その時空間構造に基づき、風速・風向の急変状況を具体的に数値で示した。



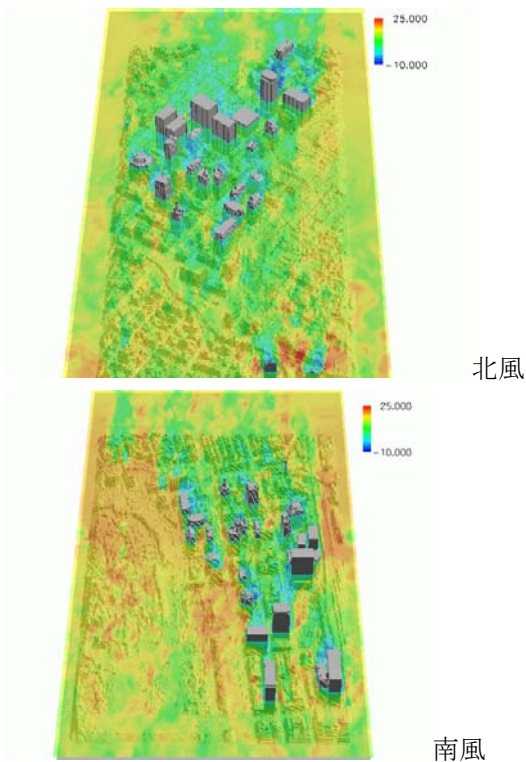
自然対流中の鉛直渦（竜巻）



冷却空気塊の落下現象（ダウンバースト）

(9) 地表近傍における強風の実勢の把握  
 実際の都市域あるいは地域を対象に融合モデルによる解析から、地表近傍での強風を求め、その地域特有の風況評価を行った。また、局所的な影響を受けた乱流構造まで含めて強風特性を明らかにし、人間の生活圏における強風の実勢を詳細に把握し、建築物などの強風災害が生じる要因を解明した。周辺建物が作り出す強風構造の変化が、特に著しくなる建物の配置パターンを例示した。

2008 年度は、最終年度として、これまでに開発、さらには精度検証されたメソ気象とマイクロ LES の融合モデルの適用例を増やし、その解析結果を用いて、環境あるいは防災問題の解決をめざした研究成果のまとめを実施した。

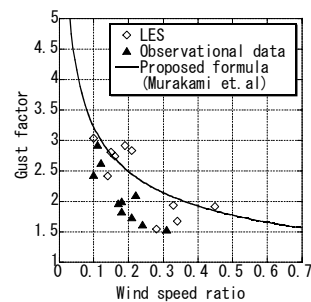


東京駅周辺地区の風系構造に関する LES 解析  
 - 風向および周辺市街地の変化の影響

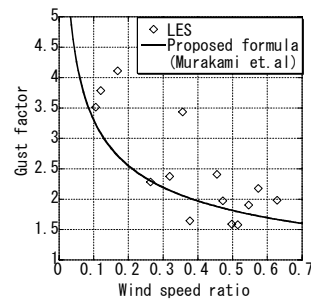
(10) 強風時の被災に関する機構の解明と強風危険度の把握  
 都市域の強風に関する解析結果に基づき、強風の発生機構を明らかにし、強風時の災害状況を想定しながら、強風発生時の局所的な特性を把握することで、被災の危険度評価を実施した。その結果に基づき、都市域での台風来襲時、および局所暴風発生時の強風推定のためのデータを作成した。その際、強風のレベルを正確に予測した場合の建物の破損あるいは

は破壊との関連性を考察できるよう、なるべく都市域での可視化図の提供を中心に行った。なお、建物そのものが持つ施工時の不良などの人為的な要素については、今後の課題とする。

(11) 強風災害低減のための資料の提示  
 強風災害発生時の危険度の高い地域に着目し、その被災機構を考慮しながら、それに基づく耐風設計を高度化するための方法を模索し、災害低減のための資料を提示した。特に、強風災害を判定する上で重要な最大瞬間風速に着目し、都市域の強風の乱流構造に基づいた都市キャノピーを中心とするガストファクターの推定関連図を提示した。



孤立高層建物まわりのガストファクター



高層建物群まわりのガストファクター

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 10 件)

- ① 岸田岳士、田村哲郎、奥田泰雄、中村 修、宮下康一、都市域における高層建物屋上での風観測値に関する数値的研究 - 風速基準値の設定方法 -、日本建築学会構造系論文集、643、採用決定、2009、査読有
- ② 田村哲郎、岸田岳士、奥田泰雄、中村 修、宮下康一、LES による実在都市域での強風測定 - 孤立する高層建物を対象として -、日本建築学会構造系論文集、636、215-223、2009、査読有
- ③ Takeshi KISHIDA, Yasuyuki TAKEI, Tetsuro TAMURA, Yasuo OKUDA and Osamu NAKAMURA, Numerical Simulation of Strong Wind around Super High-rise

Building -Comparison with Observational Data, THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS JAPAN, Vol. 57, 469-479, 2008, 査読有

- ④安部 諭、田村哲郎、中山浩成  
逆転層を有する対流境界層中の乱流構造と拡散挙動に関する LES 解析、  
日本風工学会論文集、第 33 巻、131-148、  
2008、査読有
- ⑤Tetsuro Tamura, Azuma Okuno and Yohei Sugio, LES analysis of turbulent boundary layer over 3D steep hill covered with vegetation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, 679-695, 2007, 査読有
- ⑥Tetsuro Tamura, Shuyang Cao and Azuma Okuno, LES Study of Turbulent Boundary Layer Over a Smooth and a Rough 2D Hill Model, Flow Turbulence Combust, 79, 405-432, 2007, 査読有
- ⑦野津 剛、田村哲郎、高精度・保存的流計算法の耐風問題への適用性について -その 5 高層建築物のまわりの流れと風圧力特性に与える温度成層性の影響-、日本建築学会構造系論文集、622、49-56、2007、査読有
- ⑧田村哲郎、中山浩成、奥田泰雄、  
実在都市における空間発達型境界層乱流中の大気拡散に関する LES 解析、日本建築学会環境系論文集、604、31-38、2006、有
- ⑨小野佳之、田村哲郎、粗面を有する三次元丘陵地まわりの強風乱流への LES の適用、日本建築学会構造系論文集、606、73-80、2006、査読有
- ⑩岸田岳士、田村哲郎、奥田泰雄、喜々津仁密：都市細密データより地表被履形状を再現した実在都市域における風速の鉛直分布-LES による検討-；第 19 回風工学シンポジウム論文集、37-42、2006、査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ①Ryota IIJIMA, Tetsuro TAMURA  
DNS on growth of a vertical vortex in convection due to eternal forces,  
24<sup>th</sup> Conference on Severe Local Storm (AMS), 2008 年 10 月 30 日, Savanna (USA), 有
- ② Kojiro Nozawa, Tetsuro Tamura,  
Turbulent boundary layer flow simulation over urban-like roughness using LES, 5<sup>th</sup> International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, 2007 年 8 月 27 日, Munich (Germany), 有
- ③日野雄太、岸田岳士、田村哲郎、竹見哲也、

中村 修、奥田泰雄、実在都市での風環境評価のための最大瞬間風速空間構造 LES 解析、日本風工学会年次研究発表会、2007 年 5 月 31 日、北九州、無

- ④Tetsuro Tamura, J. Nagayama, K. Ohta, T. Takemi and Y. Okuda, LES Estimation of Environmental Degradation at the Urban Heat Island due to Densely-Arrayed Tall Buildings, The 17th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, AMS, 1-5, 2006 年 5 月 23 日, San Diego (USA), 有
- ⑤Tetsuro Tamura and Kohei Mori, LES of Spatially-developing Stably Stratified Turbulent Boundary Layers, Direct and Large-Eddy Simulation, VI, 583-590, 2005 年 9 月 13 日, Poitiers (France), 有

[図書] (計 1 件)

- ①田村哲郎  
日本風工学会編集、朝倉書店、風工学ハンドブック、2007、70-72 ページ

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田村 哲郎 (TAMURA TETSURO)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授  
研究者番号：90251660

### (2) 研究分担者

竹見 哲也 (TAKEMI TETSUYA)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・講師  
研究者番号：10314361  
担当期間：平成 17~18 年度

### (3) 連携研究者

なし