

低層建物に加わる非定常空気力の解明と 耐風設計用風荷重の予測手法に関する研究

課題番号：14350303

平成14年度～平成16年度 科学研究費補助金

(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書

京 都 大 学 図 書



1050572112

丸山敬氏寄贈

附 属 図 書 館

平成17年6月

研究代表者 丸山 敬

(京都大学防災研究所 助教授)

目 次

はじめに	1
研究組織	1
交付決定額	2
研究発表	2
研究成果による工業所有権の出願・取得状況	3
1. 研究概要	4
1.1 地面付近の自然風の性状と低層建物に加わる非定常空気力	4
1.2 強風被害調査	4
1.3 耐風設計用風荷重の予測手法	5
2. 研究成果	6
2.1 : 自然風中での観測と解析	6
2.1.1 : 舞州観測結果	7
2.1.2 : 舞州観測結果 (英語)	21
2.1.3 : 非定常な風向の解析方法について	29
2.2 : 強風被害調査	35
2.2.1 : 強風被害	36
2.2.2 : 台風0314号の気象学的特性	41
2.2.3 : 台風0314号の被害の特性その1	46
2.2.4 : 台風0314号の被害の特性その2	58
2.2.5 : 台風0418号の被害の特性	64
2.3 : 耐風設計用風荷重の予測手法	72
2.3.1 : 台風の数値シミュレーション	73
2.3.2 : 台風時の強風場の数値シミュレーション	77
2.3.3 : 地表面境界条件の取り扱い	79
2.3.4 : 建物まわりの非定常流れの計算	94
2.3.5 : LESによる乱流境界層の数値計算	107
3. 参考文献一覧	113

はじめに

近年の台風などの強風による被害をみると、建物が全壊するような重大な被害は減少する傾向にあるが、屋根や外壁材などの被害は反対に多くなっている。これは、保険金などの支払総額やその内訳をみても明らかで、低層構造物における外装材の被害が占める割合が最も大きくなっている。さらに、瓦や外壁材の飛散は、それらの飛散物に当たって人が怪我をしたり、電線を切断するなどの二次災害を引き起こす原因ともなっている。このように、強風被害に占める外装材の被害の割合が大きくなってきた理由としては、構造骨組みの耐風性が向上し、重大な被害が生じにくくなってきているだけでなく、都市化による市街地の拡大により建物などによる粗度形状が変化し、地面付近の風の性状が変化してきていることが一因であると考えられる。とくに、市街地では住宅やビルが建て込み、地面付近の風の乱れは大きくなってきているため、一般の住宅など低層建物に加わる風向・風速の時間・空間的な変化も大きくなってきている。

現在、建築学会の指針などでは、耐風設計用風荷重は周囲の地表面粗度形状の状況に応じて求められた風速分布をもとに算定されている。この際、地表面粗度形状は建物の形状や密度によって分けられた幾つかの粗度区分によって評価されるが、実際の気流性状は、構成される建物の高さや形、密度や分布状況の変化、また、吹送距離によって変化することがわかってきている。さらに、建物に加わる風圧力に関しては風向・風速が時間・空間的な変化をもつ場合には、通常の風洞実験で行われるような定常な乱流場で得られた、平均的な値とは異なる風圧特性を示す場合があることが指摘されており、これらの点を考慮した耐風設計用風荷重の推定法の確立が強く望まれている。

本研究ではこれらの要望に応えるために、市街地における低層建物を対象とし、1：地面付近の自然風の性状、とくに乱流性状を明らかにし、2：低層建物に加わる非定常空気力と接近流との関係を検討し、3：耐風設計を行う上で重要となる設計用風荷重の予測手法の確立を目指すことを目的として行われた。

本研究における研究組織・研究費を以下に挙げる。

研究組織

研究代表者	：	丸山 敬	(京都大学防災研究所)
研究分担者	：	林 泰一	(京都大学防災研究所)
研究分担者	：	石川裕彦	(京都大学防災研究所)
研究分担者	：	西村宏昭	(日本建築総合試験所)
研究分担者	：	谷口徹郎	(大阪市立大学工学研究科)
研究分担者	：	内田孝紀	(九州大学応用力学研究所)
研究分担者	：	荒木時彦	(京都大学防災研究所)

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成14年度	10,200	0	10,200
平成15年度	1,800	0	1,800
平成16年度	1,200	0	1,200
総 計	13,200	0	13,200

また、本研究の成果は以下の学会誌などに発表した。

研究発表

（1）学会誌等

- 丸山 敬：接近流の気流性状および地表面粗度形状が市街地上空の乱流境界層に及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002.8, pp. 99-100
- 中川美紀・丸山 敬、谷池義人・岡崎充隆・谷口徹郎：接地境界層内に設置された立方体周りの気流・風圧に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, 2002.8, pp. 179-180
- 河井宏允・丸山 敬・石川裕彦・荒木時彦：2001 年 6 月から 7 月にかけて発生した強風被害について、日本風工学会論文報告集, No.94, 2003.1, pp.99-106
- 丸山 敬・谷口徹郎・岡崎充隆・谷池義人：自然風中に置かれた立方体周りの気流・風圧性状、京都大学防災研究所年報、2003.4, pp.303-317, 第 46 号 B-1
- 丸山 敬・谷口徹郎・谷池義人・岡崎充隆：接地境界層内に設置された立方体周りの気流・風圧に関する研究（その 2 接近流の乱流特性）、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, 2003.9, pp. 127-128
- 丸山 敬：接地境界層の数値シミュレーションにおける粗面境界条件について、日本風工学会誌, No.99, 2004.4, pp.39-40
- 岡田 恒・奥田泰雄・喜々津仁密・松井正宏・田村幸雄・土谷学・山本学・林田宏二・近藤宏二・丸山 敬：台風 0314 号（マエミー）の宮古島での強風被害について、日本風工学会誌, No.99, 2004.4, pp.67-68
- 丸山 敬・谷口徹郎・岡崎充隆・谷池義人：接地境界層中に置かれた 2.4m 立方体周りの気流・風圧性状、日本風工学会誌, No.99, 2004.4, pp.227-240
- 林 泰一、村田文絵、横木 研、石川裕彦：宮古島を来襲した台風 0314 号について（1）－気象学特性について－、京都大学防災研究所年報、第 47 号 B, 2004.4, pp.485-489
- 丸山 敬・河井宏允・奥田泰雄・林 泰一：宮古島を来襲した台風 0314 号について（その 2 被害の特性）、京都大学防災研究所年報、2004.4, pp.491-502, 第 47 号 B-1
- T. Maruyama, T. Taniguchi, M. Okazaki, Y. Taniike : Field Experiment Measuring the Approaching Flows and Pressures on a 2.4m Cube, 5th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications Summary Papers, pp.453-456, 2004.7
- 丸山 敬：ラフネス上に発達する乱流境界層の LES による計算、日本建築学会大

会(北海道)学術講演梗概集, 2004.8, pp.45-46

内田孝紀・大屋裕二: 人工的に生成された流入変動風を用いた建物周辺流れのラージ・エディ・シミュレーション, 九州大学応用力学研究所年報, 第 127 号, 2004.9, pp.95-107

丸山 敬・河井宏允・奥田泰雄・林 泰一: 宮古島を襲った台風 0314 号の後日調査, 日本風工学会論文報告集, Vol.29, No.4(No.101), 2004.10, pp.63-69

丸山 敬: LES による粗面上の乱流境界層の数値計算, 第 18 回風工学シンポジウム論文集, 2004.12, pp.57-62

奥田泰雄・林 泰一・横木 研・丸山 敬: 2003 年台風マエミー (0314) 号による強風と宮古島での被害について, 18 回風工学シンポジウム論文集, 2004.12, pp.175-180

池内淳子・谷口徹郎・丸山 敬・谷池義人: 自然風中における非定常な風向の解析方法について, 第 18 回風工学シンポジウム論文集, 2004.12, pp.193-198

石川裕彦: 台風に伴う強風はモデルでどの程度再現できるか? T9807(Vicki)の場合, 日本風工学会誌, No.102, 2005.1, pp.19-22

丸山 敬・河井宏允・益田健吾・田村幸雄・松井正宏: 台風 0418 号による厳島神社の被害について, 日本風工学会論文報告集, Vol.30, No.1(No.102), 2005.1, pp.49-56

丸山 敬・石川裕彦・内田孝紀・河井宏允・大屋裕二: 台風 0418 号通過時の宮島周辺気流の数値シミュレーション, 日本風工学会誌, No.103, 2005.4, pp.101-102

(2) 口頭発表

丸山 敬: 乱流境界層の数値シミュレーションにおける地表面粗度の取り扱い, 東京工芸大学工学研究科建築学専攻 21 世紀 COE プログラム COE ワークショップ「CFD による乱流境界層のシミュレーション」, 平成 16 年 10 月 22 日

丸山 敬・石川裕彦・西村宏昭: 平成 16 年台風 18 号被害調査報告会, 広島県環境生活部危機管理総室危機管理室主催, 平成 17 年 2 月 9 日

丸山 敬・林 泰一: 平成 15 年台風 14 号による被害調査報告会, 沖縄県宮古支庁総務・観光振興課主催, 平成 17 年 3 月 16 日

(3) 出版物

丸山 敬・河井宏允・益田健吾・田村幸雄・松井正宏: 台風 0418 号による厳島神社 (広島県) の被害, 2004 年の強風災害に関する報告書, 日本風工学会・風災害研究会, 2005.

丸山 敬・河井宏允: 厳島神社の台風 0418 号による被害, 「建築防災」, (財) 日本建築防災協会, 2005.

研究成果による工業所有権の出願・取得状況

なし

1. 研究概要

本研究では市街地における低層建物を対象とし、1：地面付近の自然風の性状、とくに乱流性状を明らかにし、低層建物に加わる非定常空気力と接近流との関係を検討する。また、2：研究期間中に接近した台風などによる強風被害調査も行い、低層建物の強風災害特性を明らかにし、3：耐風設計を行う上で重要となる設計用風荷重の予測手法の確立を目指した。

1.1 地面付近の自然風の性状と低層建物に加わる非定常空気力

地面付近の自然風の性状と低層建物に加わる非定常空気力に関しては、大阪湾の舞洲で行われた観測データを解析し、自然風のもつ乱流特性、とくに風向・風速の変化に対する性質を調べ、接近流の乱流特性を検討し、風洞実験および数値計算に必要な各種統計値を明らかにした。また、同時に測定された建物模型に加わる変動風圧力の解析も行い、自然風中での接近流の風速変動と風圧変動特性を明らかにし、両者の相関を調べて接近流の風速変動が建物壁面の風圧変動に及ぼす影響を検討した。結果は、2.1節の“自然風中での観測と解析”にまとめてある。解析結果によると、建物に加わる変動風圧力は建物の上流側・建物の高さと同程度の距離における接近風の変動特性と相関が高いことがわかった。これは、耐風設計を行う上で重要となる設計用風荷重を算定するために、強風時の地面付近における自然風の乱流性状を正確に予測することが重要であることを意味する。すなわち、強風時、とくに台風接近時の地面付近の強風の乱流特性に関する予測の確立の重要性を示唆している。そこで、本研究では数値計算によるシミュレーションによる風速の予測手法に関して検討を行うこととした。詳細に関しては以下の1.3耐風設計用風荷重の予測手法の確立に述べる。

1.2 強風被害調査

強風による被害調査に関しては、過去の被害調査（2.2.1）、研究期間中に発生した台風の強風による被害調査（台風0314号：2.2.2，2.2.3，2.2.4，および台風0418号：2.2.5）を行い、低層建物の強風災害特性を明らかにした。それによると、建物が全壊するような重大な被害は減少する傾向にあるが、屋根や外壁材などは依然として被害を受けており、また、飛散物による建物の二次被害や、人的被害も少なくないことが明らかとなった。これらの結果より、低層建物では、接近流の乱流特性の正確な予測と、瓦などの外装材が飛散しないような耐風設計を行うことが重要であること。また、市街地などにおける気流性状を正確に予測することが重要であることが結論づけられ、台風などの強風時の気流性状を予測する手法の重要性が示された。なお、台風などの強風による被害調査に関する詳細は2.2節“強風被害調査”にまとめてある。

1.3 耐風設計用風荷重の予測手法

最後に、耐風設計用風荷重の予測手法に関しては、台風接近時の広域的な流れ場、および地面付近の強風の乱流特性の予測、市街地の粗度形状が流入風の気流性状に及ぼす影響の解明、流入風の気流性状が低層建物に加わる非定常空気力に及ぼす影響の解明、などが挙げられ、これらに関して検討を加えた。詳細は2.3節に示すが、以下にその概略を述べる。

台風接近時の広域的な流れ場の予測と地面付近の強風の乱流特性に関しては、メソスケールの気象解析・予測のために開発された PSU/NCAR MM5 モデルを用いて、実際の台風時の広域的な風況場のシミュレーション手法に関する検討を行い、台風時の観測結果との比較により、ある程度の予測が可能であることを確かめた (2.3.1)。さらに、その結果を境界条件として用い、ラージエディシミュレーションを使ってより狭い範囲での流れ場の非定常計算を行い、境界条件や、格子解像度、計算手法などを検討した。その際、1.2節に示した台風0418号による厳島神社の被害を例にとり、実際の観測結果や、強風被害調査との比較を行って、計算結果が実際の風況をある程度再現できることを確かめた (2.3.2)。

市街地上空の気流性状に関しては Jensen ら(1963)に始まる風洞実験や、観測結果からその気流性状と粗度形状が対応付けられ、例えば風荷重を見積もる平均風速の鉛直分布はべき法則や対数法則などで評価され、粗度密度とべき指数や粗度長の関係が与えられている。しかしながら、市街地のように建物が建て込んでくると、低層建物用の風荷重を見積もるうえで重要な、地面付近における平均風速分布はべき法則や対数法則などで表すことができないことがわかっている。この地面付近で、付近の建物などの影響が気流性状に直接及ぶ層をキャノピーと呼ぶが、市街地におけるキャノピー内の気流性状に関する研究は、鵜野ら(1988)によって実測と数値計算による解析が始められた。さらに平岡ら(1989)は市街地におけるキャノピー内の乱流モデルを定式化し、建物などの粗度形状をパラメータとして取り込めるようになった。そして、Maruyama(1992)は、平岡らの方法を実際の市街地における複雑な建物形状に適用する際のモデル定数の最適化を行い、風洞実験や実市街地での観測結果との比較により、計算手法や、モデルの有効性の検証を行い平均的な気流性状の予測が可能であることを示した。本研究ではこれらの成果をもとに、市街地のような粗面上に発達する乱流境界層を数値計算で求める際の地面境界条件を検討し、市街地における粗度形状の変化が、風速の乱流統計値の変化に及ぼす影響を明らかにし、その予測手法を示した (2.3.3)。

一方、自然風中での観測 (桂 1995, 1996, Tamai ら, 2000) によると、構造物に加わる風圧力は風向・風速が時間・空間的な変化をもつ場合には、通常の風洞実験で行われるような定常な乱流場で得られた、平均的な値とは異なる風圧特性を示す場合があることが指摘されている。このような非定常問題は近年注目されはじめており、非定常な流れを発生させることのできる風洞実験 (野村ら 1998) や数値計算 (丸山

ら,1999) などによる研究が始まっている。ここで, 建物周りの流れ場と圧力場の詳細な情報が得られるという点から, 数値計算による非定常乱流場の解析が, 最も有望視されている。ただし, 数値計算においては流入境界条件として与える変動風速場をいかに自然風に近づけるかという問題や, 計算結果の信頼性をチェックするための観測データや実験データをいかに集めるかという問題が残っている。これに関して, 本研究では風洞実験やそれに対応した計算を行い, 種々の条件における自然風の数値計算による再現方法の検討と, 流入変動風としての数値計算への応用方法を検討した(2.3.4)。また, 地表面粗度をモデル化したLESによる数値シミュレーション手法を新しく提案し, 非定常乱流場の再現が可能であることを風洞実験結果との比較により確かめた(2.3.5)。

2. 研究成果

以下に研究成果の詳細を挙げる。なお, 一部は学会誌等に掲載された原稿をそのまま掲載している。

2.1 : 自然風中での観測と解析

2.1.1 : 舞州観測結果

丸山 敬・谷口徹郎・岡崎充隆・谷池義人: 接地境界層中に置かれた2.4m立方体周りの気流・風圧性状, 日本風工学会誌, No.99, 2004.4, pp.227-240.

2.1.2 : 舞州観測結果 (英語)

T. Maruyama, T. Taniguchi, M. Okazaki, Y. Taniike : Field Experiment Measuring the Approaching Flows and Pressures on a 2.4m Cube, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics に投稿中.

2.1.3 : 非定常な風向の解析方法について

池内淳子・谷口徹郎・丸山 敬・谷池義人: 自然風中における非定常な風向の解析方法について, 第18回風工学シンポジウム論文集, 2004.12, pp.193-198.