

氏名	大 竹 和 夫		
授与学位	博士（工学）		
学位授与年月日	平成8年3月26日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 建築学専攻		
学位論文題目	実測に基づく高層建物の風力性状に関する研究		
指導教官	東北大学教授 山田 大彦		
論文審査委員	東北大学教授 山田 大彦	東北大学教授 杉村 義広	
	東北大学教授 柴田 明德	東北大学助教授 値松 康	

## 論文内容要旨

建築物に作用する風荷重に関する研究は、超高層建物の出現以降、確率・統計的手法を基本に据え急速に発展してきている。そして、風荷重ならびに風による建築物の応答の評価においては、風荷重の平均成分とともに変動成分に関する研究が重要な位置を占めている。風荷重の変動成分については、風洞実験に基づく研究は数多く実施されているが、実建物を対象とした実測に基づく研究は、自然現象が恣意的であることから長期間に渡り、コストも多大となることから、実施例は極めて少ない。しかし、観測方法が適切であれば、実測から得られたデータは全て真実の現象である。したがって、適切に実施された実測結果を蓄積していくことは、風荷重を正しく評価するうえで不可欠である。

このような背景をふまえ、本論文では、高層建物に作用する風力の平均および変動成分の性状を、実測に基づいて明らかにし、耐風設計に役立つ資料を得ることを目的としている。そのために、実測から得られた結果を風洞実験によりシミュレートし、両者を比較することにより、縮尺が数百分の一である風洞実験がどこまで実現象を再現し得るかについて検討した。

### 第1章 序 論

本章においては、研究の目的、既往の研究概要および本論文の概要を示した。

### 第2章 実測対象建物と実測方法

本章においては、実測対象として取り上げた千葉ポートタワーの建物概要と周辺状況、実測の測定システムについて述べた。以下にその概要を示す。

- 1) 千葉ポートタワーは、菱形平面をもつ高さ125mの塔状構造物であり、菱形の一辺の長さ13mで定義したアスペクト比が8を越えており、風に対して敏感な構造物である。
- 2) 千葉ポートタワーの周辺状況は、建設地の南西側が東京湾、北東側が中層建物が建ち並ぶ官公庁街であり、風向により風上側の地表面粗度が異なっている。したがって、千葉ポートタワーでは風向により自然風の性状が変化し、種々の気流条件下でのデータ収集が可能である。
- 3) 実測において平均風圧を評価する場合に問題となる室内圧に関しては、差圧計の基準圧側は全て同一室内であり、平均的には同じ基準圧と考えることができる。

以上のように、本研究の実測対象建物である千葉ポートタワーは、建物形状ならびに立地条件から見て、実測に基づく高層建物の風力性状に関する研究に適した建物である。

### 第3章 強風の観測記録とその性状

本章においては、初めに強風記録の全体概要と自然風性状について述べた。次に、ほぼ日本全土を暴風圏に巻き込み、大きな被害をもたらした1991年の台風19号（以下、台風9119号と呼ぶ）時の実測記録の一例を示した。以下にその概要を示す。

- 1) 本実測で得られた強風の卓越風向は南南西から南西であり、東京湾側からの風に相当する。この狭い風向範囲においても、乱れの強さは風向により4%から12%と大きく変化している。これは風上側の地表面粗度の変化に起因するものと考えられる。現在、自然風の性状を予測する際に考慮すべき風上側の範囲は、高層建物を対象とした場合、建物高さの30倍が目安とされている。しかし、本研究で観測された乱れの強さの変化は、風上側が風向によって陸地から海上に変化することに起因しており、周辺状況によっては、建物高さの30倍より広い範囲の地形の影響を考慮する必要があることを示した。これは、本研究において得られた新しい知見である。
- 2) 自然風の乱れを表わす乱れの強さと変動風向の標準偏差の間には高い相関関係があり、変動風向の標準偏差を乱れの強さで代表させることが可能である。
- 3) 本実測期間中に実測地点を直撃した台風はなかったが、最大瞬間風速41.3m/sを記録した台風9119号を含む台風時とそれ以外の強風時において、自然風の性状に差異は認められなかった。
- 4) 台風9119号の風圧力波形の中で、最も鋭いスパイク状の負圧を記録したのは、菱形平面の鈍角側の側面風上端部であり、発生時刻は風速が急増した時刻と一致している。

なお、この台風9119号時の温度変化は小さく、圧力計のゼロ点に及ぼす影響は小さいため、平均風圧係数、室内圧係数を評価するのに適していることから、第5章以降での実測と風洞実験との比較・検討においては、この台風9119号時の記録を用いている。

### 第4章 風洞実験による実測記録のシミュレーション方法

本章においては、台風9119号時の実測記録をシミュレートすることを目的として実施した風洞実験の概要と、その風洞実験結果より推定した基準風速に及ぼす建物自身の影響について述べた。通常の実測においては、得られる風向・風速はほとんどが屋上10m程度での測定結果であり、その中には建物自身の影響も含まれるのが一般的である。そして、その影響の度合いも建物形状や風速測定位置などにより変化することが予測される。この建物屋上で実測された風向・風速は、風圧係数および風力係数を算定する際に基準となるものである。したがって、実測と風洞実験とを比較する場合や実測結果を一般化する場合には、建物自身の影響を把握しておくことが重要である。本研究においても、第5章以降において実測と風洞実験の風圧係数および風力係数を比較するため、実測位置での風向・風速に及ぼす建物自身の影響を推定した。以下に建物自身の影響を風洞実験より推定した結果を示す。

- 1) 通常、基準風速としては軒高での平均風速が用いられる。この平均風速に対する実測位置での平均風速の比は、風向により変化し、測定高さの影響を含めて1.10~1.25となった。これは、建物自身の影響による風速の増加を表している。この風速比を速度圧の比に換算すると1.20~1.56となり、風圧係数および風力係数の評価においては、建物自身の影響は大きい。
- 2) 実測位置での風向は、建物自身の影響により最大で8°実際の風向からずれている。

以上のように、実測位置での風向・風速は建物自身の影響を強く受けていることが明らかになった。このような詳細な検討は既往の研究ではほとんどなされておらず、特に実測位置での見かけの風向が実際の風向からずれる場合があることは、本研究において得られた新しい知見である。これは、従来、風洞実験は設計段階での風荷重予測のために実施され、実測結果をシミュレートするために実施されることは稀であったためである。

### 第5章 風圧力に関する結果と考察

本章においては、台風9119号時の実測結果と実測結果をシミュレートした風洞実験結果を、平均風圧係数、変動風

圧係数、変動風圧のパワースペクトル、変動風圧のピークファクタならびに最大・最小風圧係数に関して比較・検討し、風圧力の詳細な特性について述べた。ここでの風圧力は、空間的な拡がりの小さい外装材等を対象としたものである。以下に本研究で明らかになった風圧力の特性を示す。

- 1) 平均風圧係数に関して実測と風洞実験の結果を比較すると、両者は定性的に良く対応しており、両者の差は実測と風洞実験とで基準圧の取り方が違うことに起因している。この差は主に室内圧による。なお、室内圧係数は、従来考えられていた値よりも負圧側にあり、 $-0.4 \sim -0.5$ であった。
- 2) 変動風圧係数は、入力条件である乱れの強さが実測と風洞実験とでほぼ等しい場合には良い対応を示す。両者の変動風圧係数の差異は、乱れの強さの違いに起因するものであり、乱れの強さの影響は風上面のみならず側面、風下面においても認められる。
- 3) 変動風圧のパワースペクトルは、入力条件である乱れの強さが実測と風洞実験とでほぼ等しい場合には良い対応を示す。一方、両者の乱れの強さが異なる場合には、風上面では全周波数領域において、側面では剥離に起因する渦により生ずる変動風圧以外の周波数領域において、差異が現れる。
- 4) 変動風圧のピークファクタは、正側では風向による変化は小さく、その値は風上面中央で概ね3.0である。一方、負側では風向により激しく変化し、その値もばらついている。実測でのピークファクタは、5回の風洞実験結果の範囲にほぼ収まっているが、側面の風上端部においては、負側ピークファクタが風洞実験結果の範囲を大きく上回る場合があった。これは、スパイク状のピーク負圧に起因している。
- 5) ピーク風圧に及ぼす移動平均時間の影響は、実測と風洞実験とで良く対応しており、乱れの強さの影響は現れていない。また、移動平均時間の影響は、風上面においては小さいが、スパイク状のピーク風圧が生じる側面および風下面においては大きい。

## 第6章 風圧力の相関ならびに層風力に関する結果と考察

本章では、風圧力の相関ならびに層風力すなわち構造骨組を対象とした風力について述べた。風荷重の特徴の一つとして、時間的変動ばかりでなく空間的相関あるいは空間的拡がりをもっていることが挙げられる。したがって、空間的な拡がりを有する建築物あるいはその部分に作用する風荷重や風応答を評価するためには、風圧力の時間的・空間的相関を把握することが重要である。以下に本研究で明らかになった風圧力の相関ならびに層風力の特性を示す。

- 1) 実測と風洞実験とで乱れの強さがほぼ等しい場合には、風洞実験での2点間の風圧力の相関は、全般的に高めではあるが、実測結果と良く対応している。
- 2) 固有直交関数展開により、変動圧力場の構造を解析した結果、今回の風向範囲においては、乱れの強さが小さい風向では剥離に起因する渦による変動圧力場が支配的になり、また、乱れの強さが大きい場合には、風の乱れに起因する変動圧力場が支配的となることが分かった。
- 3) 平均層風力係数に関しては、定性的には実測結果と風洞実験結果は良い対応を示すが、実測での乱れの強さが風洞実験に比べて大きい風向範囲において、実測の絶対値が大きくなっている。平均層風力係数は室内圧の影響を受けないことから、乱れの強さが大きい場合には、実測位置での基準風速が風洞実験によって適切にシミュレートされてない可能性がある。
- 4) 変動層風力係数ならびに変動層風力のパワースペクトルは、実測と風洞実験とで、乱れの強さがほぼ等しい場合には、風方向、風直交方向、およびねじれ方向とも良い対応を示す。また、実測と風洞実験とで乱れの強さが異なる場合には、各方向ともに変動層風力のパワースペクトルの形状は類似しているものの、乱れの強さの影響が全周波数領域に現れる。

## 第7章 結 論

本章は結論であり、2章から6章までの成果をまとめている。

## 審査結果の要旨

建築分野における風向、風速並びに風圧力の実測は、1960年代後半以降、自然風の性状把握、超高層建物の外装材や構造物の応答評価等に関連して、数多く行われている。しかし、実測で得られた成果は、建物の形状や建設地周辺状況など建物固有の条件が実測結果に影響し、結果の一般化が困難であることから、自然風の性状以外については耐風設計に十分に活用されているとは言えないのが現状である。一方、現段階で最も実用的な風荷重の推定手法である風洞実験は、設計段階において数多く実施されているが、その結果と実測結果とが比較検討されることは稀である。また、風洞実験法そのものは、現在ではほぼ成熟の域に達しているが、自然風の非定常性に関する問題など解決すべき問題が残っており、実測との対応が不可欠である。本論文は、これまで詳細に行われたことのない実測と風洞実験の比較・検討により、高層建物に作用する風力性状を解明したもので、全編7章よりなる。

第1章は、序論である。

第2章では、本研究で実測対象とした千葉ポートタワーをあげ、その建物概要と建設地の周辺状況並びに測定システムを詳細に示している。

第3章では、強風時の自然風の性状を検討している。高層建物の場合、風洞実験で地表面粗度区分を判断する際に考慮すべき風上側の範囲は、従来その高さの30倍程度とされてきたが、本論文では、実測における乱れの強さは、その程度の粗度評価からでは説明できず、より広い範囲の地形変化を考慮することによって良く説明できることを明らかにしている。これは、本研究によって得られた新しい知見である。

第4章では、実測記録をシミュレートした風洞実験の概要と、実測位置での風向・風速に及ぼす建物自身の影響について論じている。本論文では、実測位置での見かけの風向・風速が評価基準からずれることを評価して実測と風洞実験との対応を分析して、その重要性を明らかにしている。

第5章では、外装材等を対象とした局所的な変動風圧力の特性について詳細に論じている。従来風圧力の変動成分は、風上面においては準定常理論に基づき風の乱れの強さと関係づけられてきたが、本論文では、側面並びに風下面においても乱れの強さの影響が現れることを併せて明らかにしている。

第6章では、風荷重の特徴である時間的・空間的変動の相関について論じている。本論文では、層風力の変動成分について、風方向だけでなく風直交方向およびねじれ方向の成分も、乱れの強さの影響を受けることを明らかにしている。

第7章は、結論である。

以上要するに本論文は、高層建物に作用する風力性状を実測に基づいて詳細に把握すると共に、実測をシミュレートした風洞実験の結果と比較することにより、風荷重の変動成分に及ぼす接近流の乱れの強さの影響を明らかにし、新たな知見を示したもので、建築構造学並びに風工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。