

特集 「快適な都市環境をめざして」

市街地風環境の予測・評価技術



木梨 智子



小野 佳之



片岡 浩人



川口 彰久

Technical Approaches for Urban Wind Environment Assessment

Satoko Kinashi Yoshiyuki Ono Hiroto Kataoka Akihisa Kawaguchi

Abstract

Strong wind flows around high-rise buildings cause pedestrian discomfort. This has been considered as a typical urban environmental problem. Nowadays, it is also a problem in the suburbs, since relatively high-rise condominiums are being built in low-rise residential areas and existing residents require developers to keep the wind environment as used to be. To achieve a comfortable urban environment, the authors have predicted the influence of proposed high-rise buildings on the urban wind environment and have proposed installation of windbreaks in places where pedestrians are expected to feel discomfort. This paper summarizes cutting-edge prediction methods for wind environment assessment and shows some examples of windbreaks. Requirements from local governments and problems that existing criterion don't account for are also touched upon. To accurately predict gust wind, an approximate equation that gives gust factor as a function of time-averaged wind velocity is proposed and highlighted.

概 要

ビル風は、都心部の高層建物周辺で発生する特徴的な現象とされてきた。しかし近年では、住宅地への中高層建物の建設が進み、郊外でも風環境問題として顕在化し、周辺住民の風環境保全に対する要求が厳しくなっている。筆者らは、快適な都市環境をめざして、新たに建設される建物が周辺風環境に与える影響の予測と、ビル風の発生が懸念される場所に対する防風対策の提案を行ってきた。そこで本論文では、風環境に関する最新の予測・評価方法や防風対策の概要を述べるとともに、行政の対応や、従来の手法では評価が難しい新たな問題についても言及する。また、より精度の高い評価を目指して検討を行った、ガストファクター（突風率）と風速の関係をあらわす近似式を提案する。

1. はじめに

1960年代に高層建物周辺に発生する強風、いわゆるビル風が国内の社会問題となって以来、約40年が経過した。この間、ビル風のメカニズムの解明や、予測手法の確立に関する多くの研究が行われてきた¹⁻³⁾。その結果、現在では高層建物を建設する際、計画建物が周辺風環境に与える影響の予測が行われるようになった。また、ビル風の発生が懸念される場合には、建物配置の工夫や、防風対策を施すことで、周辺風環境に配慮している。

一方、建物建設に伴う強風の発生は、市街地内で、かつ高層建物の計画に特有の現象であるとみなされていた。しかし近年では、低層住宅地内に中高層の集合住宅が計画されるようになり、郊外でも風環境問題が顕在化してきた。例えば、2003年大阪高裁判決では、大阪府堺市に完成した11階建てマンションによる、近隣住宅へのビル風被害を認めた⁴⁾。また、同裁判をきっかけとして、中高層建物建設時に、日照や電波障害と同様に、風環境に対する周辺住民の要求が厳しくなっている。

以上のような社会情勢のもと、市街地風環境の予測・評

価技術は、建築計画においてより重要な要素技術の一つとなっている。そこで本報では、はじめに風環境に関する基本的な事項と、行政の対応について解説する。次に、当社が取り組んでいる予測・評価手法、風環境の改善策について述べる。また、より精度の高い予測評価につながるガストファクター（突風率）の設定方法について提案を行う。

2. 強風の発生と風環境評価

2.1 建物による強風の発生

建物周辺に生じる気流分布の概要をFig. 1に示す。建物によってせき止められた気流は、風上面の高さの2/3程度位置を分岐点として、周辺に迂回する。このうち側壁から剥がれる「剥離流」は、一部が「吹き降ろし流」となり、周辺よりも風速が強い「風速増加領域」を地上付近で形成する。一方、建物風上側では上空と反対方向に吹く「逆流」が発生する。このような気流と風速の増加現象を「ビル風」、または「ビル風現象」と呼ぶ。これらの現象は、建物の高さや規模が大きくなるほど顕著になる。

2.2 風速と風害

建物周辺を流れる気流の風速は、絶えず変動している。強風の度合いを表すには、瞬間風速と、一定の時間内の平均風速の二通りがある。気象庁では、観測時間2～3秒間の風速を瞬間風速、10分間の平均風速を平均風速と定義している。

強風による人間や建物への影響は、多くの場合、瞬間風速に起因している。したがって、風害問題では、平均風速よりも瞬間風速の方が風速の指標として適している。

Table 1に瞬間風速と歩行障害関係を示す⁵⁾。瞬間風速が10m/sを超えると意志通りには歩けなくなり、15m/sを超えると風に飛ばされそうになる。また、屋根瓦（日本瓦、S型スレート）は、瞬間風速30～35m/sで飛散するといわれている⁶⁾。

2.3 風環境評価尺度

強風による日常生活への影響を、総合的に表す代表的な評価尺度として、日最大瞬間風速に基づく「村上式」⁷⁾と、平均風速に基づく「風工式」²⁾がある。

前者は村上教授等によって提案された評価尺度で、Table 2に示すように、歩行や日常生活への障害と、日最大瞬間風速（瞬間風速の一日の最大値）の発生頻度を結びつけている。強風による影響の程度をランク1から3の三段階に分類する（慣例により、ランク3を越える環境をランク4とする）とともに、各ランクに対して許容できる空間用途を示している。

2.4 行政指導の状況

中高層建物を建設する場合、事前に風環境の予測を義務付ける条例を設定する自治体が、増えてきている⁸⁾。例えば、東京都では、条例⁹⁾と総合設計制度¹⁰⁾において、風害の予測内容や方法、評価指標、事後調査方法等、詳細を規定している。Table 3に総合設計制度の適用条件を示す。

建物高さが45m（商業地域では60m）以上の場合には、風環境調査を数値解析等で事前に実施するよう規定し、建物高さが60m（商業地域では100m）以上では、風洞実験による予測と建設前後における風観測を義務付けている。

2.5 風環境評価の問題点

一方、現在の風環境評価手法は、以下の点が課題である。東京都内の住民に対するアンケート調査結果を基に作成された「村上式」は、強風に対する感覚の地域性について検証が十分でない。また「村上式」は地上1.5mを、「風工式」は地上5～10mの風速を対象としたものである。したがって計画建物に隣接する、中高層マンション等の上層階バルコニーや屋上の緑地帯の風環境の変化には、これらの尺度は適用対象外である。

さらに近年、地球温暖化にともなう気温上昇が課題となり、都市域の通風確保が課題となってきた。これは、強風予防を目的とした風環境評価とは相反する。また、単一の建築計画による通風の確保には限界があり、大規模再

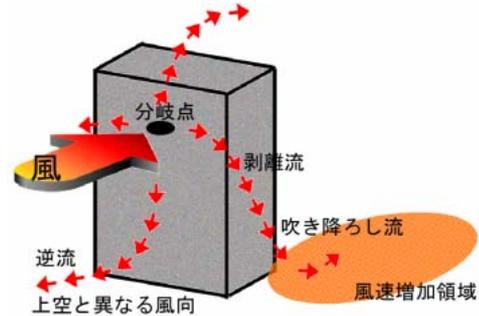


Fig. 1 高層建物周りの風の状況
Wind Flows around a High-Rise Building

Table 1 強風による歩行障害の程度⁵⁾
Pedestrians' Discomfort Caused by Gust Wind

瞬間風速	u<5m/s	5~10m/s	10~15m/s	15m/s<u
状況	正常	少々影響あり	かなり影響あり	相当影響あり
現象	・ほぼ正常に歩行することができる ・髪・スカートが乱れる	・歩調が少々乱れる ・髪・スカートが乱れる	・歩行は乱される ・意志通りの歩行は困難 ・上体が傾く	・意志通りの歩行は不可能 ・風に飛ばされそうになる

Table 2 風環境評価尺度（村上等による提案）⁷⁾
Criteria for Pedestrian Wind Environment
(Proposed by Murakami et al.)

強風による影響の程度	対応する空間用途の例	評価する強風のレベル 許容される超過頻度		
		日最大瞬間風速 (m/s)		
		10	15	20
ランク1 最も影響を受けやすい用途の場所	住宅地の商店街 野外レストラン	10% 37日	0.9% 3日	0.8% 0.3日
ランク2 影響を受けやすい用途の場所	住宅 公園	22% 80日	3.6% 13日	0.6% 2日
ランク3 比較的影響を受けにくい用途の場所	繁華街 事務所街	35% 128日	7.0% 26日	1.5% 5日
ランク4 *註 好ましくない風環境	—	ランク3以上		

*註 村上等が提案した尺度にはないが、評価ランク3を超えるものをランク4とする。

*ここで示す風速値は地上1.5mで定義する

*日最大瞬間風速 10m/s：ごみが舞い上がる。干し物が飛ぶ。

15m/s：立て看板、自転車倒れる。歩行困難。

20m/s：風に吹き飛ばされそうになる。

*本表の読み方：ランク1の用途では、日最大瞬間風速10m/sを超過する頻度が10%以下、15m/sを超過する頻度が0.9%以下、20m/sを超過する頻度が0.3%以下であれば、許容される。

Table 3 総合設計の適用条件と調査方法¹⁰⁾
Requirement of Tokyo Metropolitan government for
Wnd Environment Assessment

用途地域	建物高さ	調査事項
商業地域	100m以上	風洞実験による調査 建設前後の風観測
	60m以上	環境調査
上記以外	60m以上	風洞実験による調査 建設前後の風観測
	45m以上	環境調査

開発あるいは都市計画レベルでの対応が必要である。

3. 風環境予測・評価技術

3.1 予測・評価技術の概要

2章で述べた風環境評価尺度を用いて、計画中の建物が周辺風環境に与える影響を評価するには、対象となる地域内での日最大瞬間風速の発生頻度を予測しなくてはならない。そのために、風洞実験や数値計算が行われる。ここではFig. 2に示す市街地風環境の予測の流れにしたがって、当社で行われている予測・評価技術の概要を示す。

3.1.1 調査対象領域の設定と調査 まず、調査対象となる範囲を設定する。建設計画地を中心として、計画建物の高さの2倍程度の半径を持つ範囲内を、建物の影響を及ぼす範囲とみなし、これを越える範囲を風洞実験用の模型製作、あるいは数値計算用の建物モデル作成範囲としている。

次に、調査対象領域内の地形ならびに建物の調査を行う。都市計画図や住宅地図で確認できない建物高さや周辺の植栽状況の把握のために、現地調査を行っている。また、同時に病院や保育所・幼稚園・小学校といった、風環境に対して弱者となる人々が利用する施設の状況を確認する。

これとは別に、調査対象領域の風の統計的性質を調べる。開発計画前から調査対象領域内の風環境を継続的に観測している例は希で、通常、最寄りの気象観測所のデータを利用している。ただし、風観測所によっては、観測値に周辺建物の影響が現れているものがあるので、観測所周辺の状況確認も行っている。特にAMeDAS（アメダス）観測所は、風観測高さが6.5mに設定されていることが多く、データの採用には状況の確認が不可欠である。風観測所における観測高さ、風観測所周辺の状況、ならびに5年間の観測

データに基づく日最大平均風速の風向別に整理された統計的性質が必要となる。

また、計画地に吹く風は、建物や森林の散在状況あるいは傾斜地や丘陵地の存在など、遠方からの影響を受けている。そこで、計画地周辺の状況から、建築学会指針¹¹⁾に基づいて、Fig. 3に示すように地表面粗度に応じた風速の分布を想定する。

3.1.2 調査対象領域内の気流分布の予測 風洞実験あるいは数値計算により調査対象領域内の定性的な気流場の予測を行う。対象となるのは現況と計画建物建設後の2ケースで、各ケースともに16風向の条件下で実施する。ただし、具体的な風速を対象とするのではなく、風観測所の観測地点での風速に対する比すなわち風速比として結果をまとめる。風観測所での風速が与えられれば、風速比を掛けることで、調査対象領域内の風速値が推定できる。これは、強風を対象とした風環境予測では、風向が同じであれば、風の強さに関係なく相似な風速分布になることを前提としており、風観測所のデータで風速の変動を代表させることとなる。

3.1.3 風環境評価 風洞実験または数値計算により得られた16風向分の風速比分布と、風観測データの統計的性質から、調査対象領域内でどの程度の頻度で強風が吹くか、風速の超過確率を求める。

得られた超過確率と、2.3節で述べた風環境尺度を用いて、最終的な風環境評価を行う。

3.1.4 防風対策の立案とその効果確認 風環境評価の結果、防風対策が必要とされる場所が現れる場合には、防風対策の立案と、その効果の確認を行う。

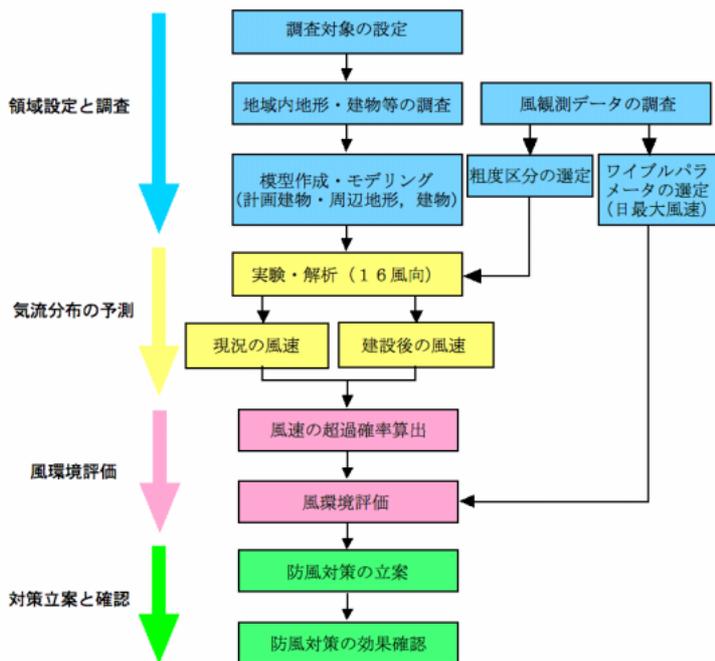


Fig. 2 風環境予測の流れ

Flowchart for Wind Environment Assessment

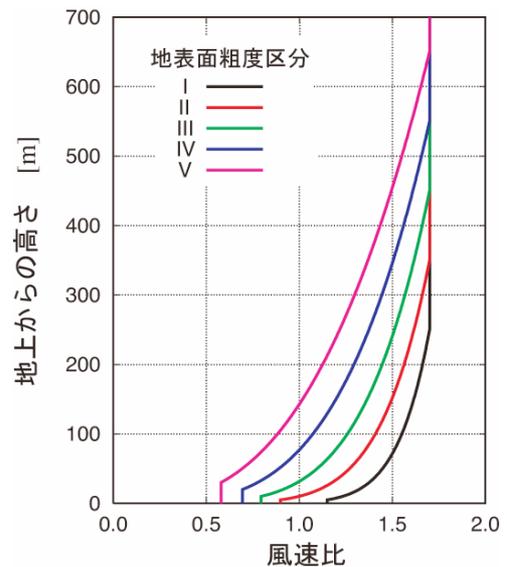


Fig. 3 平均風速の鉛直分布¹¹⁾

Vertical Profiles of Mean Wind Velocity

3.2 気流分布の予測手法

調査対象地域内の気流場を調査する方法である、縮尺模型を用いた風洞実験と、数値計算について述べる。

3.2.1 風洞実験による予測 調査対象領域の縮尺模型を風洞内に設置し、風速を測定する方法で、信頼性が高く、かつ実績のある方法である¹²⁾。実験例をPhoto 1に示す。写真奥にある三角形のスパイクと立方体状の粗度ブロックを用いて、Fig. 3に示した風速の鉛直分布を再現する。調査対象領域の模型は、写真手前の風洞床面のターンテーブル上に設置し、テーブルを回転することで風向を変える。

実験精度を高めるために、できるだけ大きな模型を用いることが望ましい。3m×3mの測定断面を持つ当社の風洞では、直径1kmの範囲に対して1/400～1/500の縮尺模型を用いることが可能である。これにより、例えばPhoto 2に示すように、屋上の防風対策を目的とした実験では、細部まで状況を再現することが出来る。

風速の測定は無指向性の風速計を街区模型の地表面から露出させることで行う。したがって、得られる風速分布は離散的なポイントに限られるので、実験に際して測定点の選定が重要となる。さらに同風速計では風向が測定できないので、風向の確認には別途、旗を建てた可視化実験を行う。一方、防風対策の効果確認では、樹木やフェンスなどの縮尺模型を追加で設置することで容易に対応できる。

風洞実験では、縮尺模型制作に期間（およそ5週間）とコストを要する事から、大規模物件への対応が主である。

3.2.2 数値計算による予測 流体計算は、近年のパーソナルコンピュータ（PC）の高性能化によって、風洞実験と比肩しうる精度の計算が可能となってきた。しかし、市販の流体解析コードを用いる場合、計算条件の設定に数値流体力学に関する専門知識が必要で、また対象となる街区の三次元モデル化や計算格子の生成を行わなくてはならない。一連の作業は風洞実験の模型製作に相当し、数値計算による予測は、必ずしも短期間で実施出来るわけではなかった。そこで、風環境シミュレータ「Zephyrus[®]（ゼフィルス）」の開発を行った¹³⁾。

風環境シミュレータでは、二次元の電子地図（GIS）データから建物の外形線を抽出し、それを高さ方向に引き伸ばすことで、街区の三次元モデルの作成を簡易化している。また計算格子に、直交等間隔格子を用いることで計算格子の生成を容易にしている。さらに解像度の異なる格子を重ね合わせる重合格子法を採用し、計算精度向上と計算時間短縮の両立を図っている。このように風環境評価に特化することで、気流場の予測から風環境の評価まで最低限の入力条件で実行が可能である。解析例をFig. 4に示す。

数値計算では、風環境の面的な広がり捉えるのに適している。また、地上付近だけでなく上空の結果も得られるので、風洞実験では測定することが困難な上層階バルコニー近傍や屋上で風速比の分布も得られる。また、風速のベクトル場が得られることから、風向情報をもとにした防風対策の立案が可能である。Fig. 5にその様子を示す。図中のC点に対して、同点の風上となる頻度の高い風向を、



Photo 1 風洞実験による予測
Prediction by Wind Tunnel Experiment



Photo 2 屋上の防風対策を目的とした縮尺模型
Scaled Model for Windbreaker Designing

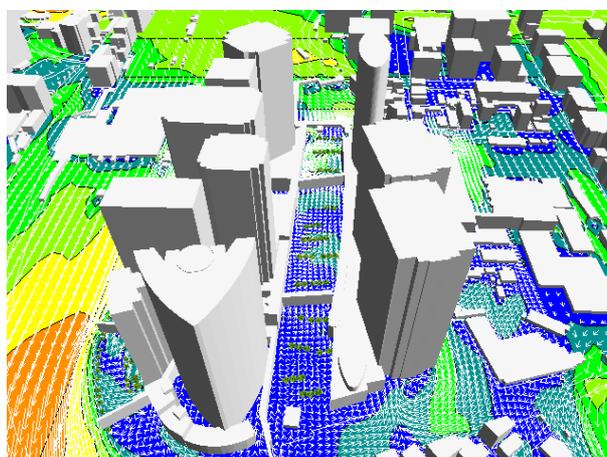


Fig. 4 風環境シミュレータ「Zephyrus」による予測
Prediction by CFD Code “Zephyrus”

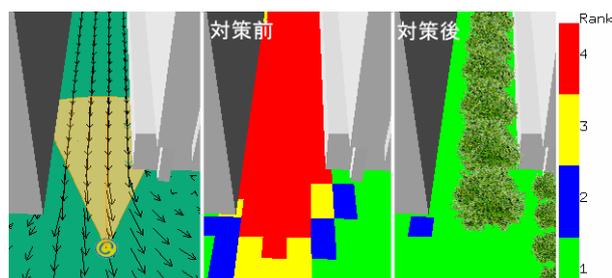


Fig. 5 防風対策支援と対策前後のランク値の分布
Effective Windbreaker Positions Suggested by CFD Results
and Changes of Rank for Criteria by Windbreak Trees

16風向分の計算結果から扇形で示している。この方向に植栽を行うことで、風環境が改善される結果が得られた。

防風植栽に対しては、樹冠による風速低減効果と乱れの生成を再現した樹木モデルを用いている。また、気流場の解析結果から、大気汚染物質の拡散予測も可能である。

4. ガストファクター（突風率）設定法の提案

4.1 日最大瞬間風速の超過確率

2.3で述べた「村上式」の評価尺度で必要となる日最大瞬間風速の出現頻度は、次の(1)式で示される、ある風速以上の風速が吹く確率（風速の超過確率）から求める。

$$P(>V) = \sum_{a=NNE}^N A(a) \exp \left\{ - \left(\frac{V}{C(a)R(a)G(a)} \right)^{K(a)} \right\} \quad (1)$$

- $P(>V)$: 風速Vを越える超過確率
- $A(a)$: 基準風の風向出現確率
- $C(a), K(a)$: 基準風のワイブルパラメータ
- $R(a)$: 基準風速に対する風速比
- $G(a)$: ガストファクター
- a : 基準風の風向

「村上式」は本来、瞬間風速による評価が必要である。しかし風洞実験では、センサーの感度の問題から瞬間風速の測定は容易ではない。また、数値計算においては、将来的に瞬間風速を用いた評価が可能になるものと考えられるが、現時点のコンピュータでは計算負荷の問題があり実用的ではない。そのため、評価に用いる日最大瞬間風速の算出では、平均風速にガストファクター（突風率）をかけた値を用いている。このガストファクターは、最大瞬間風速の平均風速に対する比で、一日の最大の平均風速（日最大平均風速）が得られれば、その値にガストファクターをかけて、日最大瞬間風速を推定する。

ガストファクターの値は、超過確率の結果に大きく影響する。「村上式」の評価尺度を提案した村上らの論文⁷⁾では、用いるガストファクターの値に対して1.5~3と幅を持たせている。一般的には、安全性を考慮してガストファクターの値を2.5程度と大きめに設定するケースが多いが、より適切なガストファクターを設定する必要がある。

4.2 実測に基づくガストファクター

一般に、建物側方や建物間などの風速増加領域では、平均風速に比べて風速変動の比は小さく、建物背後など風速が弱い場所では平均に対する変動の割合が大きくなる。すなわち、風速増加領域ではガストファクターが小さく、建物背後など、風速が弱い区域はガストファクターが大きくなる。このような性質に着目し、ガストファクターに関する研究が進められている^{14, 15)}。

そこで本研究では、実際の風観測データを用いて、新たなガストファクターの評価式を提示する。用いたのは、東京都内の5地域15地点で実施した風観測（地上約3m~4m）

データである。東京管区气象台（東京都中央区大手町、観測高さ74.5m）を基準点とし、15地点の観測点での1年間の観測データを、基準点（气象台）の風観測データに対する風速比に変換する。このとき、基準点の平均風速が3m/s以下のデータは削除する。次に、風速比のデータを16風向別に分類し、風向aに対する風速比 $R(a)$ と最大瞬間風速比 $RG(a)$ を算出して、両者の関係を調べた。

$$R(a) = \text{地上点平均風速} / \text{基準点平均風速}$$

$$RG(a) = \text{地上点最大瞬間風速} / \text{基準点平均風速}$$

ここで得られる実測データをもとにした最大瞬間風速比は、自然現象であるがゆえに、値が大きくばらつく。そこで、各風向において、最大瞬間風速比の平均値に、ばらつきを表す量として標準偏差 σ_{RG} を加え、その分布を近似する関数を求めた。得られた結果をFig. 6に示す。図中のプロットは、15地点×16風向の240組のデータから、風速比と最大瞬間風速比の関係を示したものである。各組ごと（各地点、各風向ごと）の平均値を $0\sigma_{RG}$ 、平均値に各組の標準偏差を加えた値を $1\sigma_{RG}$ 、標準偏差の2倍を加えたを $2\sigma_{RG}$ として表している。また各曲線は、それらを近似したもので、風速比と最大瞬間風速比はいずれも指数関数で近似した。

Fig. 7は、Fig. 6で示した関係を風速比とガストファクターに置き換えたものである。図中のプロットは、15地点での風向別の平均ガストファクター（Fig. 6の $0\sigma_{RG}$ に相当）を、実線はFig. 6の近似曲線を風速比とガストファクターの関係に置き換えたもので、以下のような近似式となる。

$$R-G, R-RG \text{ の関係} : G(a) = 1.70R(a)^{-0.40} \quad (2)$$

$$R-(RG+1\sigma_{RG}) \text{ の関係} : G(a) = 1.97R(a)^{-0.44} \quad (3)$$

$$R-(RG+2\sigma_{RG}) \text{ の関係} : G(a) = 2.15R(a)^{-0.49} \quad (4)$$

また、Fig. 7中の破線で示した既往の近似式のうち、本郷ら¹⁶⁾、西村ら¹⁷⁾、佐竹¹⁸⁾らによる提案式は、本研究による最大瞬間風速比の平均値に $1\sigma_{RG}$ を加算した近似式(3)に近い。これに対して村上らの提案式¹⁴⁾は、最大瞬間風速比の平均値の近似式(2)式よりも少し低めである。

一方、図中のガストファクター $G(a)=2.5$ で引かれている実線は、従来の風環境評価で使われている、風速比と無関係に一定としたガストファクターの値である。いずれの近似式でも、風速比が大きい領域でガストファクターが小さくなり、ガストファクター一定とおいた従来の評価方法では、強風域を過大評価している。

なお、本近似式の算出は、風観測データをもとに最大瞬間風速比に対して行ったものである。一方、既往の研究¹⁶⁻¹⁸⁾では、風洞実験結果をもとにガストファクターに対して近似を行っている。風洞実験では、基準点の風速に対する風速比は、風向毎に一定の値となる。一方、風観測データでは、上空風の不均一性等の原因で、風向毎の風速比はばらつく。本手法では、基準点に対する風速比のばらつき

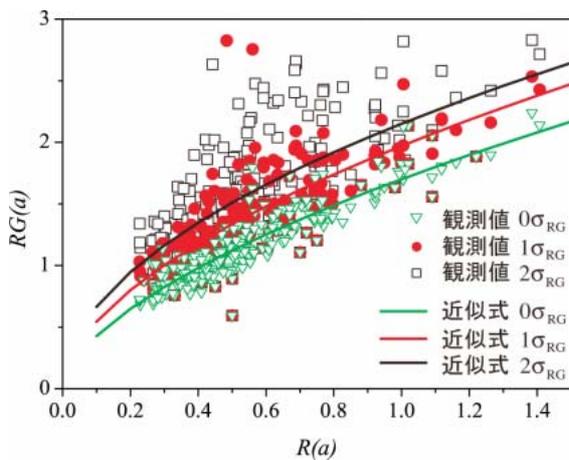


Fig. 6 最大瞬間風速比と風速比の関係
Relations between Peak and Mean Velocity Ratios

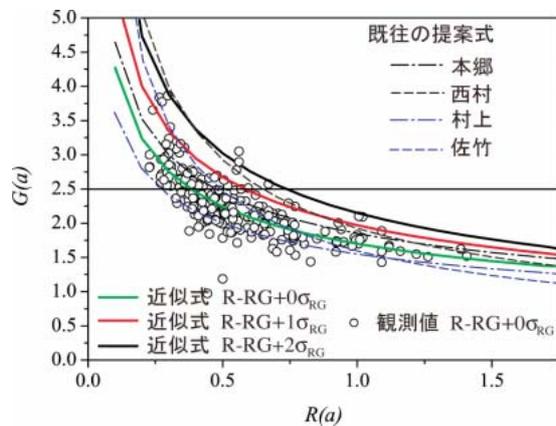


Fig. 7 ガストファクターと風速比の関係
Relations between Gust coefficients and Mean Velocity Ratios

が考慮されていることから、風速比が大きい所でガストファクターの値が他の近似式よりも大きめの評価になり、結果としてより安全側に設定される。

4.3 ガストファクターの風環境評価への影響

次に、本研究で提案したガストファクターの近似式が、「村上式」の風環境評価に与える影響について検討を行う。用いるデータは、東京管区気象台の風向別ワイブル係数と、15地点の観測点における風向別風速比である。これらと、ガストファクターの近似式を(1)式に代入して、日最大瞬間風速の超過確率を算出し、「村上式」による風環境評価を行った。近似式を用いて得られた評価結果と、日最大瞬間風速の実測データから直接評価した結果との比較(両者の評価が同一の場合をEqual, 近似式による評価の方が厳しい場合をHigh, 実測の方が厳しい場合をLowと表記)をFig. 8に示す。図中には、ガストファクターを一定値($G(a)=2.0, 2.5, 3.0$)としたケースも示す。

3通りの提案式のうち、(2)式ではランク評価の上では、

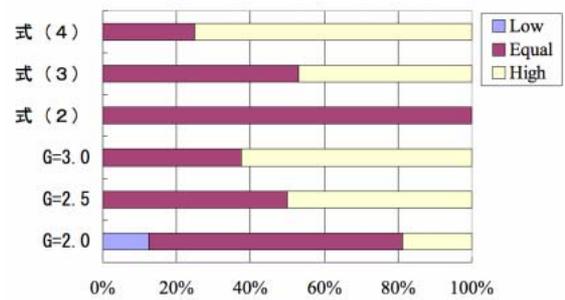


Fig. 8 ガストファクターの設定方法が風環境評価尺度に与える影響

Influence of Gust Factor Setting on Estimated Wind Environment Criteria

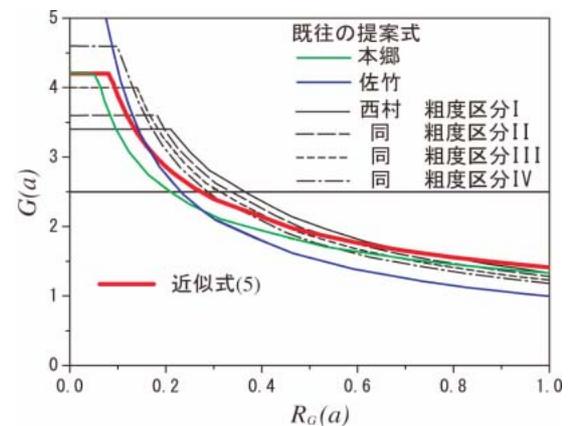


Fig. 9 地上高さ Z_G を基準にした場合のガストファクターの比較

Gust Factor and Ratio of Mean Wind Velocity Based on Reference Wind at Height of Z_G

実測との差がない(Equal)。一方、(4)式では過半数の地点で実測よりも厳しい評価結果(High)となった。ガストファクターを一定値とした評価方法のうち $G(a)=2.0$ では、一部の地点で実際よりも低めの評価結果となった。従来用いていた $G(a)=2.5$ と近似式(3)式を比較すると、実測よりも厳しい評価を下す地点の割合がほぼ同じである。しかし、Fig. 7で示したように、前者では強風域で過大評価を行っているのに対して、(3)式では実態に即した評価を行っている。したがって、安全側の評価で、かつ実情との乖離が小さいと考えられる(3)式が、ガストファクターの評価式として一番合理的であると考えられる。

4.4 ガストファクターの標準化

ガストファクターの近似式を、より使いやすくするためには、特定の基準点(この場合、東京管区気象台)に対する風速比よりも、より一般的な基準点に対する風速比との関係に置き換えることが望ましい。そこで、まず基準点を境界層高さ Z_G (建築学会指針¹¹⁾ が定義する地表面粗度区分ごとに決められた風速が一定となる高さ, m)に変更し、

その高さの風速に対する風速比とガストファクターの関係に整理し直す。指針に従って、平均風速の鉛直分布から(3)式を換算すると次式の関係となる。

$$G(a) = 1.41R_G(a)^{-0.44} \quad (5)$$

Fig. 9に(5)式を示す。ただし、本近似式ではガストファクターの最大は4.2とした。図中には、本郷ら¹⁶⁾、佐武ら¹⁸⁾、西村ら¹⁹⁾による近似式を高さ Z_G 基準に変換したもの、ならびにガストファクター一定値 $G=2.5$ を併記した。既往の近似式のうち、西村¹⁹⁾は地表面粗度区分ごとに予測式を提案している。しかし、境界層高さ Z_G を基準にすると大きな違いはない。(5)式は、既往の提案式に対して中間的な値を得ている。

以上の関係から、任意地点の風観測データを基準とすると、風速比($R(a)$)とガストファクターの関係は(6)式となる。

$$G(a) = 1.4 \left(\frac{Z_0}{Z_G} \right)^{-0.44\alpha} R(a)^{-0.44}, \quad G(a) \leq 4.2 \quad (6)$$

ここで、 Z_0 : 基準点の地上からの高さ(m)、 Z_G : 基準点上空の境界層厚さ、 α : 学会指針が定義する地表面粗度区分ごとに決められた速度勾配を示すべき指数である。

5. 風環境改善対策

風環境の予測評価の結果から、防風対策が必要であるとされた場合や、すでに建設された建物の影響により強風被害が発生した場合には、風環境を改善するための適切な処置を施す。風環境改善手法としては、以下の2段階で対応しているが、両者を組み合わせることで、より高い防風効果が期待できる。

5.1 一次的な対策

一次的な対策とは、ビル風の発生を抑制するために、計画の初期から建物の形状や配置を工夫し、できる限りビル風を歩行者レベルに発生させない手法である。例えば、

- 1) 計画建物の長辺を地域の卓越風向に正対させない
 - 2) 平面形状を円形や多角形にする
 - 3) 低層部を設ける
 - 4) 敷地内における計画建物の位置を考慮する
 - 5) 建物隅角部を切欠く、または壁面に凹凸をつける
- などがある。このうち5)の手法で地上レベルの風環境を改善するには、数m程度の形状変更では効果がないため、大幅な設計変更が必要となる。

5.2 二次的な対策

二次的な対策とは、建物の配置や形状はそのまま、敷地内に、風速を低減する効果がある障害物を適切な場所に設置する手法である。最も一般的なものは、防風植栽による対策である。Photo 3は、超高層建物足下における防風植



Photo 3 防風植栽による対策
Windbreak Trees



Photo 4 防風フェンスによる対策
Windbreak Porous Fences



Photo 5 防風構造物による対策
Windbreak Facilities

栽の事例で、常緑樹を密植している。防風植栽には、四季を通じて緑地を提供するという利点がある反面、枝葉が茂り生育するまでの期間は、十分な防風効果は得られないという欠点もある。さらに、強風にさらされる場所では樹木の成長自体が困難なことや、メンテナンスにコストがかかることなどの理由から、防風植栽以外の対策による改善策を求められることがある。

この動向に対して、防風フェンスや防風構造物を、デザインを工夫したうえで、設置する例が増えてきた。Photo 4は、歩行障害の緩和のためにフェンスを設置している例を示す。Photo 5の防風構造物では、風速低減効果のある工作物を、外構計画に組み込んでいる。

一方、筆者らは積極的にデザイン性を重視した防風構造物として、モニュメント型防風装置「Flowps[®] (フロープス)」を開発した²⁰⁾。Flowpsは、風まかせに回転することで、受風板が風を攪伴し、適度な遮蔽と風通しにより、防

風効果を発揮する構造体である。Photo 6は、神戸市垂水駅前広場に設置した回転型Flowpsである。空と海と瀬戸内海の魚の群れをイメージして、街のシンボルとして「Flowps-PLAZA FISH」と名付けられた。

6. おわりに

ビル風問題に関する社会情勢の分析に立脚して、独自に開発した市街地風環境の予測・評価技術としての風環境シミュレータ「Zephyrus」の運用と風洞実験手法について解説し、風の乱れの指標であり風環境評価の際に適用するガストファクター、およびビル風対策用に開発したモニュメント型防風装置「Flowps」を紹介した。

地球温暖化によって、わが国に襲来する台風の勢力が強まり、強風災害が頻発するとの指摘がある²¹⁾。今回示した技術を展開することで、強風災害のリスクを縮減させることができると考える。ただし、風環境に配慮した計画を行っても、その後から実施される隣接地域の開発によって、状況が大きく変わることがある。一方で、近年問題となってきたヒートアイランド現象に対する対策として提案された「風の道」は、強風を対象とした風環境対策とは相反する。いずれも、一計画地内に対する配慮では対応不可能な問題である。これらを解決するには、街区レベルにとどまらず都市気象的要素を含めた風環境の位置づけに関する社会的な合意形成が必要である。それには、都市域全体を対象とした、より高度な予測技術の開発が不可欠となる。今後は、数値気象モデルと「Zephyrus」の連系、あるいはZephyrusへの熱輸送モデルの追加等で、これらの要求に応じていきたい。

参考文献

- 1) 建築業協会：ビル風ハンドブック，(1979)
- 2) 風工学研究所編：新・ビル風の知識，(1989)
- 3) 日本建築学会：都市の風環境評価と計画，(1993)
- 4) あべの総合法律事務所：大阪高裁平成15年10月28日判決全文，<http://www.abenolaw.jp/index.htm>，(2003)
- 5) 村上，他：強風による歩行障害に関する研究Part II，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学Ⅱ，pp. 257-258，(1979)
- 6) 立川：強風による屋根瓦の飛散について，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅰ，pp. 921-922，(1971)
- 7) 村上，他：市街地低層部における風の特性と風環境評価に関する研究Ⅲ—居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究—，日本建築学会論文報告集，第325号，pp. 74-84，(1983)
- 8) 吉川：自治体の風環境調査に関する指導要綱等，風環境フォーラム 風環境(ビル風)評価の現状と課題，日本風工学会風環境評価研究会，pp. 120-124，(2005)
- 9) 東京都環境影響評価条例，(1980)
- 10) 東京都総合設計制度，(1988)
- 11) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，(2004)
- 12) 日本建築センター，建築物周辺気流の風洞実験法に



Photo 6 防風装置 Flowps
Wind Protector “Flowps”

に関する研究，(1984)

- 13) 片岡，他：風環境シミュレータ「Zephyrus (ゼフィルス)」の開発，大林組技術研究所報，No. 64，pp. 49-54，(2002)
- 14) 村上，他：市街地低層部における風の特性と風環境評価に関する研究Ⅱ—強風時における市街地低層部における変動風の性状—，日本建築学会論文報告集，第314号，pp. 112-119，(1982)
- 15) 川口，他：都市域の風環境評価に適用するガストファクターに関する考察，日本風工学会誌，第103号，pp. 147-148，(2005)
- 16) 本郷，他：風環境評価用ガストファクターの提案，日本風工学会誌，第95号，pp. 63-64，(2002)
- 17) 西村，他：ビル風評価のためのガストファクター—接近流の乱れ強さの影響—，日本建築総合試験所報，No. 105，(2002)
- 18) 佐竹，他：建物周辺の風環境の予測に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学Ⅱ，pp. 627-628，(1998)
- 19) 西村：風環境評価尺度，風環境フォーラム 風環境(ビル風)評価の現状と課題，日本風工学会風環境評価研究会，pp. 14-21，(2005)
- 20) 木梨，他：モニュメント型防風装置Flowpsの開発，大林組技術研究所報，No. 67，(2003)
- 21) Association of British Insurers：Financial Risks of Climate Change，June 2005 Summary Report，<http://www.abi.org.uk/>，(2005)