

17. 数値流体解析によるビル風害の検討方法について

An Examination Method of Building Wind Disaster by Numerical Fluid Analysis

恩村 定幸*

山内 豊英*²

要 旨

この度、汎用性3次元熱流体解析プログラムの導入により、数値流体解析結果から建物の建設前後における風の流れの変化を予測することが可能になった。

本報告は、数値流体解析プログラムを用いて、一つの実例について行った風環境予測を中心としたビル風害の検討結果を報告するものである。

キーワード：ビル風害／数値流体解析／風環境／風洞実験

1. はじめに

近年、住環境に対する意識の向上にともない、建築主や近隣住民から建物の建設によって発生するビル風害に関する検討を計画の段階で求められる度合いが多くなってきた。その検討を行うためには、建物の建設前および建設後の地上付近での風の流れの変化を予測することが必要であり、その主な方法として次の3つがあげられる。

- ・風洞実験による検証
- ・既往の風洞実験データを用いた類推
- ・数値流体解析による予測

このうち、最も信頼性の高い風洞実験による検証は、膨大な期間と費用が必要であり、実務レベルで行うのは簡単ではない。したがってこれまでは、既往の風洞実験データから類推する机上での予測方法が広く一般的に行われてきた。しかし、この方法では複雑な形状をもつ建物には対応がしにくいという、正確さに若干欠ける面があった。一方、複雑な形状の建物でも対応が可能な数値流体解析による予測法では、計算に要する時間が長いうえに、専門的な知識が必要になること、計算結果の検証が不十分なことなどの理由から敬遠される傾向にあった。

ところがコンピューターの計算能力の大幅な向上にともない、パソコンレベルでも数値流体解析が短時間で実行できるようになると、各方面でその有用性や精度の検証が盛んに行われるようになり、現在では数値流体解析による予測法の採用が多くなりつつある。

この度、当社に汎用性3次元熱流体解析プログラム「STREAM for Windows」の導入されたことで、数値流体解析結果を用いた風環境の予測が可能になった。本報では、その予測を中心としたビル風害検討の概要につ

いて、具体的な事例をあげて述べる。

2. ビル風、ビル風害について

ビル風とは、建設された建物の周囲で局所的に吹く強い風や乱れた風のことであり、そのビル風が原因で起こる災害がビル風害と言われているものである。具体的には以下のことを指す。

①周辺家屋に及ぼす影響

（屋根瓦の飛散、窓ガラスの破損など）

②歩行者等人体に及ぼす影響

（衣服や髪の甚だしい乱れ、歩行困難、転倒など）

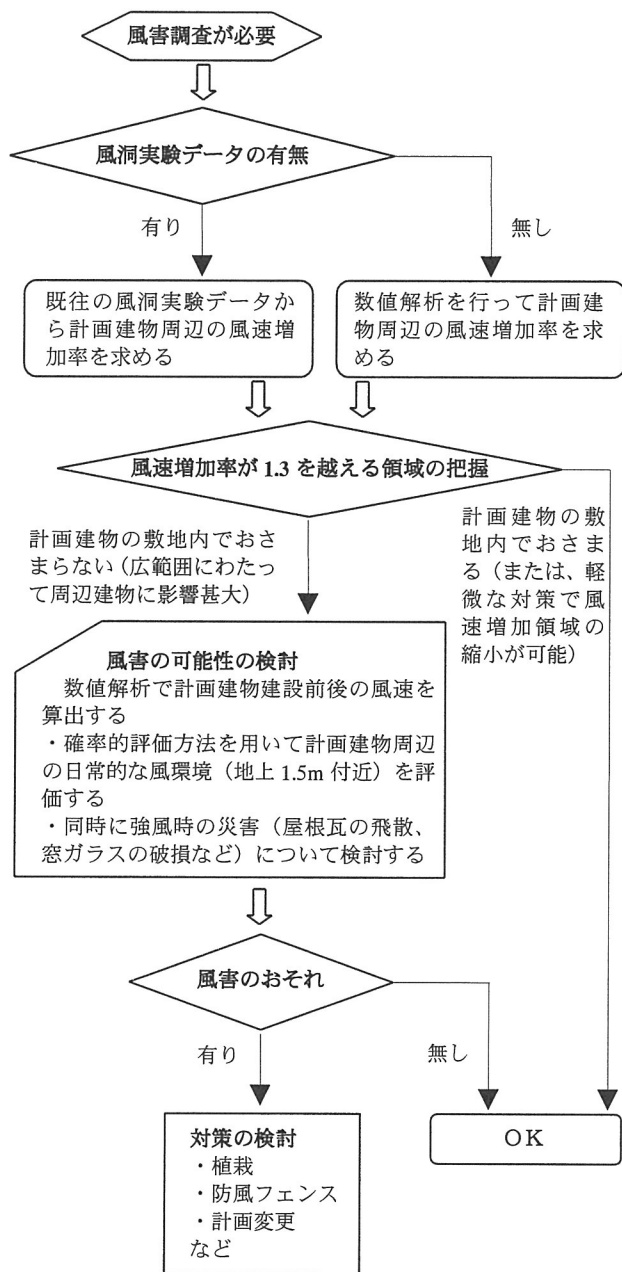
ビル風害については、上記2項目を検討する必要がある。①の周辺家屋に及ぼす影響の検討は、周辺建物の屋根高さの位置での強風時の場合について行う。②の歩行者等人体に及ぼす影響の検討は、地上1.5m程度の位置での日常時の場合について行う。

3. ビル風害の検討例

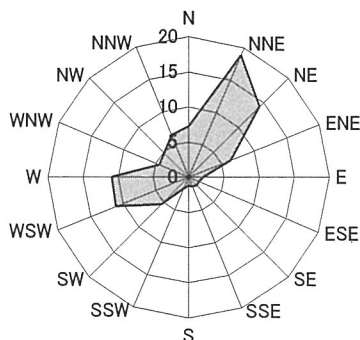
ここでは、実際の物件を例にあげ、ビル風害について検討した結果を述べる。検討は、図-1に示すフローにしたがって行った。計画建物の概要、および周辺の建物状況は図-2のとおりである。

計画建物の北東に高速道路および鉄道の線路があり、問題となりうる低層建物群および周辺道路は、計画建物の南東から西南西の方向にかけて存在している。図-3に示す大阪管区気象台が実測した1996年度の平均風速の風向頻度から、この地域は北北東、北東、西南西、および西の風が主風向と判断でき、建物配置を考え合わせると周辺建物は、計画建物によるビル風の影響下にあると予測される。

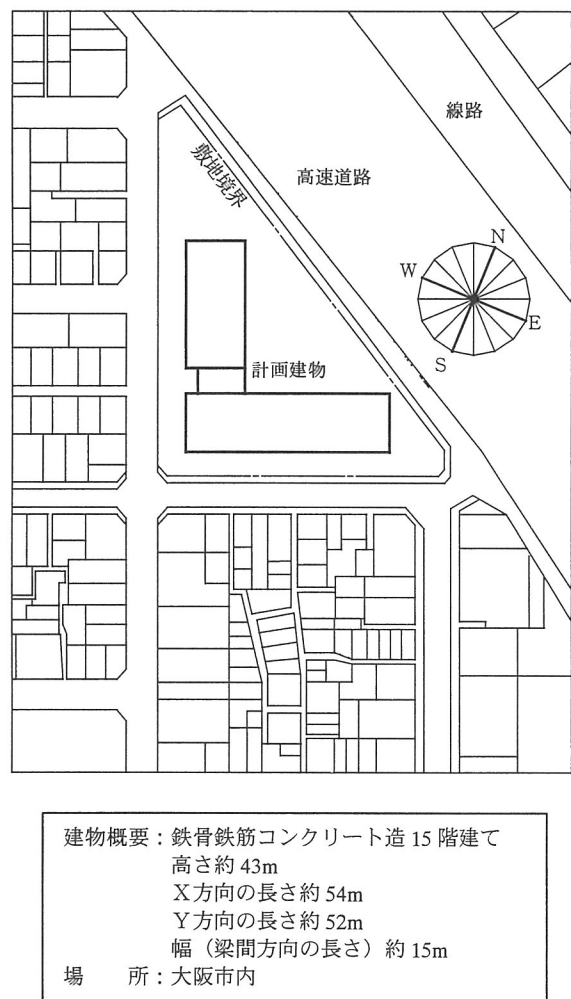
*建築工法研究室 *²建築構造研究室



図－1 ビル風検討のフロー



図－3 大阪の風向頻度 (1996年度 単位: %)



図－2 計画建物の概要と周辺の建物状況

3.1 既往の風洞実験データの利用

現在、数値流体解析による予測法の研究が急速に発展しつつあるとはいえ、実際の風の流れを的確に再現できるのは風洞実験である。したがって、まずは計画建物の形状に類似する模型を用いた既往の風洞実験データを活用することとした。

ここでは、計画建物を単純なL型の直方体にみなし、その高さや大きさの比率、および形状が比較的近い模型を用いた既往の風洞実験データを文献¹⁾から引用した。図-4は、計画建物および周辺建物の模式図に既往の風洞実験データ(北北東、東北東、東南東、南南東、南南西、西南西、西北西、北北西の8風向)を重ね合わせたもので、風速増加率が1.3を越える領域を太線で示している。表-1に示すペンワーデンが発表したビューフォート風力階級と人体への影響によると、快適の限界である「和風」の風速が不快域の「疾風」の風速に変化するに

は、20%以上の風速増加が必要である。したがって、通常は1.3以上の風速増加領域について検討を行えば良いとされている。

当初の予測どおり風速増加領域は計画建物の敷地内ではおさまらず、周辺の道路や建物まで広がっていることが図-4から分かる。主風向を考慮した場合、楕円で囲まれた地域（網掛部）でビル風害が発生する可能性が高いと考えられる。ただし、この風洞実験データは周囲に建物がない場合の結果であるため、屋根高さより高い位置での風速増加領域は図-4のようになると思われるが、地上付近については、風速増加した風は周辺の建物に衝突して道路に沿って流れ、どの程度の広さの領域になるかが予測できない。また、16風向のデータが揃っていないので、風向頻度が比較的高いその他の方角（例えば北東、西など）から風が吹いた場合の風速増加領域が把握できない。さらには、計画建物の形状比の大きさが引用した風洞実験データの模型の形状比よりも2割ほど小さいため、実際の風速増加領域は異なってくると思われる。このような意味で既往の風洞実験データを用いた予測は正確性に欠けると言われているものの、おおよその予測をたてるには十分可能と考える。しかし、この不明確な部分を補うために、次節で述べる数値流体解析を行うこととした。

表-1 ビューフォート風力階級と人体への影響

	風力階級 (表現)	風速 (m/s)	影響
快適	0 (なご)	0.0~0.2	
	1 (至軽風)	0.3~1.5	
	2 (軽風)	1.6~3.3	顔に風を感じる。木の葉、衣服がさらさら音をたてる。
	3 (軟風)	3.4~5.4	髪が乱れ、衣服がばたつく。新聞がみにくい。
	4 (和風)	5.5~7.9	髪やごみがまいあがる。旗がなびく、小枝が動く。
不快	5 (疾風)	8.0~10.7	体に風の力を感じる。つまづく危険が生じる
不快 甚大	6 (雄風)	10.8~13.8	傘がさしにくい。まともに歩くのが困難になる。
	7 (強風)	13.9~17.1	歩くのに不便を感じる。風の音が耳に障り、不快を感じる。
	8 (疾強風)	17.2~20.7	前進できない、人家に影響する。
危険	9 (大強風)	20.8~24.4	人が吹き飛ばされる。樹木が倒壊する。

* 風速は地上10mの平均風速

3.2 数値流体解析による風速の算出

実際の建物に等しい形状のモデルを計算を行う領域（解析領域）内に配し、16風向について、計画建物が有る場合と、無い場合における計画建物周辺の風の流れ（風向と風速）を数値流体解析によって算出する。

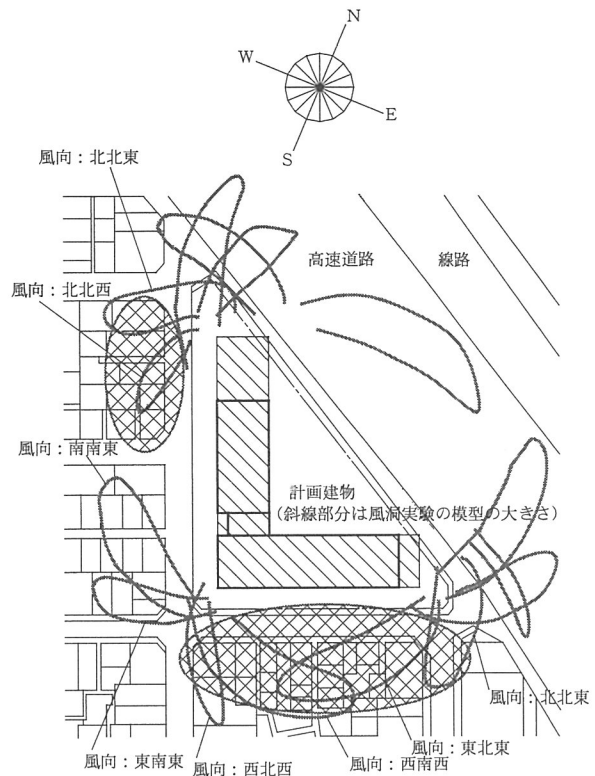


図-4 風速増加率が1.3を越える領域

(1)基礎方程式

基礎方程式としては、表-2に示す乱流 $k-\varepsilon$ モデルを用いている。解析手法としては、コントロールボリューム法に基づく3次元非圧縮・非定常流体解析を採用した。計算は流れの成分に対してのみ行い、熱移動（建物からの発熱、日射の影響、車両からの廃熱など）は考慮していない。ソルバーには市販の解析コード「STREAM for Windows V2 (株)ソフトウェア クレイドル社製」を使用した。

(2)解析条件

解析領域は、計画建物が周辺の風の流れに影響を及ぼす範囲（計画建物の高さ程度といわれている）とした。つまり、計画建物の大きさを図-5に示すように52m×54m×43mとしているので、X方向とY方向は144（＞54+43×2=140）m、Z方向は97（＞43×2=86）mである。なお、解析の簡易化のために計画建物および周辺の低層建物群は、デカルト座標（X×Y×Z直交）に合う矩形モデルに簡素化し、周辺の低層建物群の高さは一層6m（木造2～3階建程度の高さ）とした。

数値流体解析では解析領域を多数の要素に分割する必要がある。その分割方法は、建物近傍のように流れの変化の大きいところを細かく、建物から離れた流れの変化

の小さいところを粗く分割するのが好ましい。さらには、隣合う要素どうしの幅に大きな変化を与えず、アスペクト比（縦横比）を10以下に抑えるのが通常の分割方法である。しかし、本解析においては、次節以降に述べる風速比や風速超過確率の計算を効率よく行うために、X方向とY方向については2m幅の等間隔で要素の分割を行った。Z方向については通常の分割方法を用い、 $72 \times 72 \times 35 = 181440$ の要素について計算を行った。

解析に用いた境界条件は表-3のとおりである。

入力風速は、16風向について次式(1)を用いて与えた。なお、入力風は近接風として取り扱うため、風上側の低層建物群で計算領域枠に接するものについては計算の際に無視している。

$$U = U_R (z/z_R)^a \quad - (1)$$

U : 高さ z における風速(m/s)

z_R : 基準高さ=94.2m

(大阪管区気象台の風速測定位置の高さ)

U_R : 基準高さにおける風速 (10m/s で計算した)

a : べき指数

(比較的建物が低層な市街地なので 1/4 を使用した)

初期の計算時間間隔は 0.01s としクーラン数で制御して 300 サイクルまで計算を行った。なお、事前に 250 サイクルまで計算した結果と 300 サイクルまで計算した結果を比較して両者にほとんど差がないこと（定常であること）を確認している。

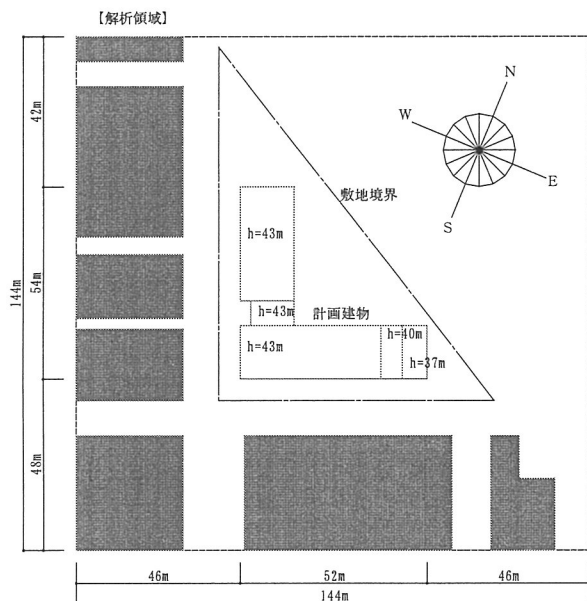


図-5 解析モデル（黒色部分は周辺の低層住宅群）

表-2 基礎方程式（乱流 $\kappa - \varepsilon$ モデル）

質量保存式

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

運動量保存式

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_j \rho U_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$$

乱流エネルギー（ κ ）・乱流消失率（ ε ）の式

$$\frac{\partial \rho \kappa}{\partial t} + \frac{\partial U_i \rho \kappa}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial x_i} \right) + G_s - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U_i \rho \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{\kappa} G_s - C_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{\kappa}$$

ここで、

$$G_s = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \mu_t = C_\mu \rho \frac{\kappa^2}{\varepsilon}$$

$\sigma_\kappa, \sigma_\varepsilon, C_1, C_2$ は定数で各々、1.0, 1.3, 0.09, 1.44, 1.92

[記号]

x_i : 位置座標(m), U_i : x_i 方向の流体速度(m/s),

t : 時間(s), ρ : 密度(=1.176kg/m³), P : 圧力(N/m²),

μ : 粘性係数(kg/ms), κ : 乱流エネルギー(m²/s²),

ε : 乱流消失率(m²/s³)

表-3 境界条件

地上および建物	対数則 (壁面等の抵抗=対数値を流れに与える)
解析領域 (流体入力面)	風速規定 (風速値を入力)
解析領域 (流体出力面)	圧力規定 (圧力が一定と仮定する)
地上以外その他の 解析領域面	フリースリップ (流れに影響を与えない)

(3)計算結果

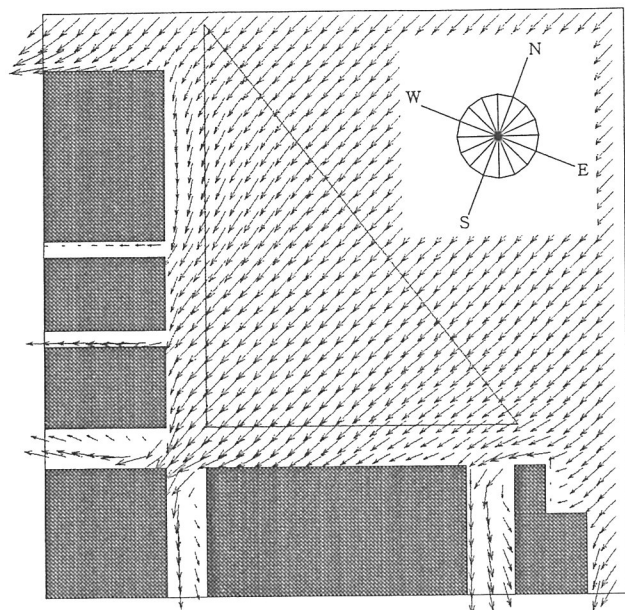
計算結果の一部を図-6～図-8に示す。

図-6は計画建物が無い場合における地上1.5mでの風の流れ（風向と風速）の計算結果で、図-7は計画建物が有る場合の計算結果である。図-8は計画建物がある場合の地上6.5mでの風速増加領域の計算結果である。なお、風向はいずれも風向頻度が最も高い北北東である。

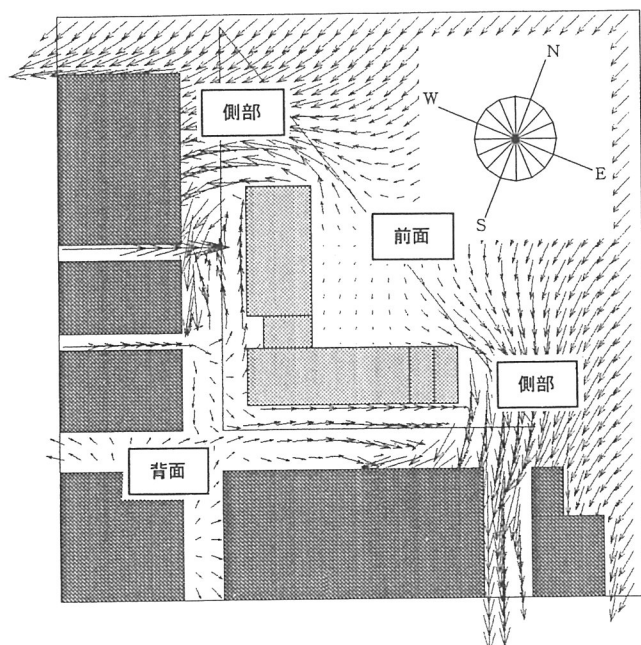
図-6と図-7との比較から、計画建物の建設によって前面と背面で風速が低下し、剥離流の影響で側部の風速が増加していることが分かる（図-7参照）。また図-8から、屋根高さ付近の風速増加率が1.3を越える領域が計画建物の敷地内でおさまっていないことが分かる。なお、その形状が図-4に示した既往の風洞実験データと多少異なっているのは、周囲低層建物群の屋根部分における剥離流の影響によるものと考えられる。

以上、既往の風洞実験データ、および数値流体解析の結果の一部を示したが、ビル風の影響をより良く評価す

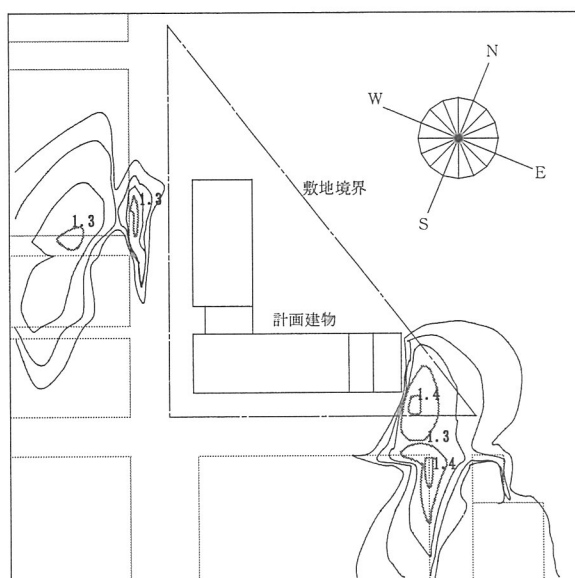
るために、風速や風向の発生頻度を考慮した風環境評価と強風時の災害検討を次節で行った。その際に用いる風速には、本節で得られた数値流体解析結果を使用した。



図－6 風の流れの計算結果
(計画建物無し、地上1.5m)



図－7 風の流れの計算結果
(計画建物有り、地上1.5m)



図－8 風速増加領域の計算結果
(計画建物有り、地上6.5m)

3.3 確率的評価方法による日常時の風環境の評価

現在、国内外で提案されている風速の発生頻度を考慮した日常時の風環境の確率的評価方法には各種あるが、ここでは、東京大学生産技術研究所の村上教授が提唱する評価尺度²⁾を用いる。これは、数カ所の地域における風観測と住民の意識調査結果を基に分析、作成されたものである(表－4)。例えば、ランク2の用途地域(住宅地など)では日最大瞬間風速が10m/sを超過する頻度が22%(年間約80日)以下、15m/sを超過する頻度が3.6%(年間約13日)以下、20m/sを超過する頻度が0.6%(年間約2日)以下、これら各々の条件をすべて満たしたならば住宅地として許容される風環境にあるとし、一つでも満足できないものがあれば、住宅地の風環境として許容されないことを意味する。

表－4 強風出現頻度に基づく風環境評価尺度

レベル	用途	許容される超過頻度		
		日最大瞬間風速(m/s)		
		10	15	20
		日最大平均風速(m/s)		
		10/GF	15/GF	20/GF
ランク1	住宅地の商店街、 野外レストラン	10% (37日)	0.9% (3日)	0.08% (0.3日)
ランク2	住宅地、公園	22% (80日)	3.6% (13日)	0.6% (2日)
ランク3	事務所街	35% (128日)	7% (26日)	1.5% (5日)

GF：ガストファクター(突風率)

具体的には、前節の数値流体解析によって求めた計画建物建設前後における地上1.5mでの16風向に対する風速 $V(a)$ を下記(2)式に代入して風速 v の超過確立 $P(V > v)$ を求め、表-4を用いて評価する。なお、(2)式は確率分布式の一つでワイブル分布式と呼ばれ、風速の発生頻度をよく近似する。計算式に用いられている風配とワイブル係数は、表-5に示す大阪管区気象台の日最大平均風速データ（1977年～1986年）を用いて算出された値を文献¹⁾より引用した（ワイブル係数算出の詳細は文献¹⁾を参照のこと）。したがって、評価は日最大平均風速について行わねばならず、評価の対象となる風速 v は、突風率=2.0として各々5.0m/s、7.5m/s、10.0m/sとなる。また、基準高さ（ワイブル係数を求めた高さ）は前節で示したとおり、大阪管区気象台の風速測定場所の高さと同じなので基準高さでの風速 V は数値流体解析で用いた10.0m/sとなる。

$$P(V > v) = \sum \left\{ A(a) \times e^{\left[-\left(\frac{v}{R(a)C(a)} \right)^{K(a)} \right]} \right\} \quad (2)$$

$P(V > v)$: 風速 v の超過確率

$A(a)$: 風向 a の発生頻度（風配）

$C(a)$ 、 $K(a)$: ワイブル係数

$R(a) = \frac{V(a)}{V}$: 風速比

$V(a)$: 風向 a における任意の場所での風速(m/s)

V : 基準高さ（=ワイブル係数を求めた高さ）での風速(m/s)

表-5 大阪における風配とワイブル係数

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
$A(a)$	5.6	15.7	19.5	6.6	2.2	1.6	2.0	1.7
$C(a)$	3.30	3.11	3.24	3.13	2.72	2.71	1.91	1.74
$K(a)$	1.64	1.77	1.75	1.45	1.31	1.19	1.34	1.50
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
$A(a)$	1.3	1.6	4.3	11.2	12.7	4.9	4.3	4.9
$C(a)$	2.00	3.06	4.03	4.72	4.95	3.92	3.51	3.76
$K(a)$	1.31	1.25	2.03	2.31	2.17	1.90	1.72	1.93

解析結果を図-9と図-10に示す。図-9は、地上1.5mの高さにおいて日最大平均風速が5m/sを超過する頻度の最大値の領域を示し、その値は10%（約37日）（<22%）である。また、図-10は、日最大平均風速が7.5m/sを超過する頻度の最大値の領域を示し、その値は2%（約7日）（<3.6%）である。日最大平均風速が10m/sを超過する頻度は、どの地点においてもほとんど0%であった。したがって表-4の評価尺度から、この地

域は計画建物が建設された後も日常的にはランク2の住宅地として十分に許容される風環境にあると判断できる。

さらには、風向頻度と図-7に一部示した16風向の数値流体解析結果を詳細に検討した結果、図中A部分では北北東の風の風速が、B部分では西および西南西の風の風速が、C部分では東から南にかけての風の風速が強く影響していることが分かった。したがって、周辺の低層建物群に接するB部に影響を及ぼす西および西南西の風には注意が必要だと判断される。

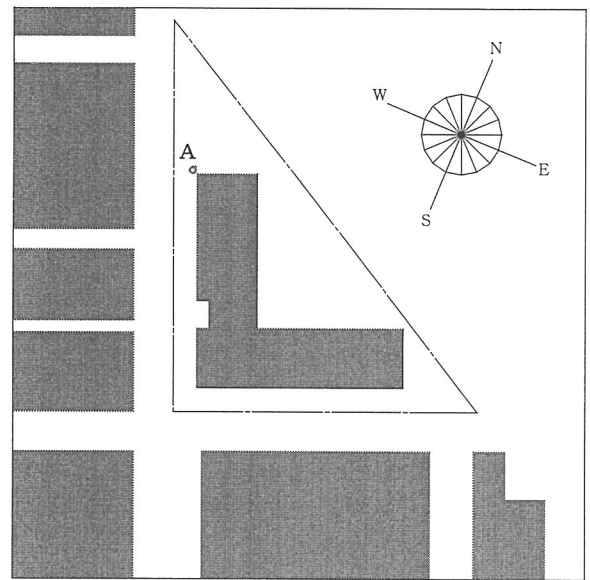


図-9 日最大平均風速が5 m/sを超過する頻度

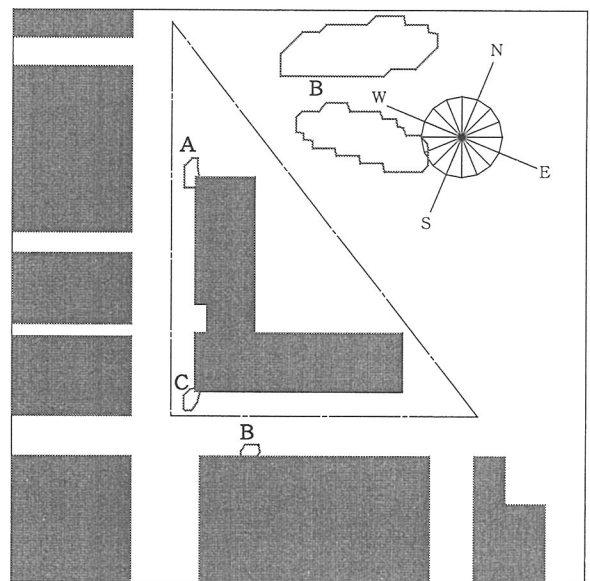


図-10 日最大平均風速が7.5 m/sを超過する頻度

3.4 強風時の災害についての検討

最後に台風や季節風などの強風が吹いたときにビル風害が発生するかどうかについて検討する。

(1) 屋根瓦飛散の検討

建設省告示第109号（昭46）を遵守して施工されておれば、たとえば高さ4mの位置の軒先、けらばおよびむねでは255kgf/m²（約25.00×10⁴Pa）、その他の部位でも85kgf/m²（約8.34×10⁴Pa）の風圧力に耐えられる。したがって(3)式より（C=1.5、またはC=0.5）、瞬間風速が52m/s（平均風速は突風率を2.0として27m/s）以下の風であれば、老朽化や施工不良等の要因がない限り瓦が吹き飛ばされることはない。

$$P = C \times q \quad q = V^2 / 16 \quad - (3)$$

P：風圧力、C：風力係数、V：瞬間風速

しかし、実際には平均風速が20m/sを越えと何らかの原因で被害が生じ始めると言われており、したがって、屋根高さの位置で平均風速がその値を越える可能性が発生するかどうかを検討しなければならない。

ここでは、何らかの要因で平均風速が25m/sを越えた場合に屋根瓦が飛散するものと仮定する。表-6は文献¹⁾から引用したもので、1961年から1980年の間に観測された年最大風速を基に算出した大阪の再現期待値を示しており、平均して5年に1度の頻度（10年で1度の頻度、…、200年で1度の頻度）で年最大風速が21.1m/s（23.8m/s、…、34.6m/s）を越えることを意味する。したがって、屋根高さでの平均風速が25m/sとなる風速比は、25/21.1（25/23.8、…、25/34.6）=1.18（1.05、…、0.72）となる（表-7）。ここでは、3.2節の数値流体解析で算出した屋根高さ付近（h=6.5m）での風速の計算値と基準風速（=10m/s）から得られる風速比が各再現期間において表-7の数値（風速比）以下であれば、その期間で屋根瓦が飛散するといった災害が起こらないと判断できる。

表-6 年最大風速の再現期待値（1961年～1980年）

5年	10年	15年	20年	30年	50年	100年	200年
21.1	23.8	25.3	26.4	27.8	29.6	32.1	34.6

単位(m/s)

表-7 各再現期間で屋根瓦が飛散するときの風速比

5年	10年	15年	20年	30年	50年	100年	200年
1.18	1.05	0.99	0.95	0.90	0.84	0.78	0.72

解析結果を図-11に示す。この図は30年に1度の頻度で屋根瓦が飛散する可能性がある領域と風向の関係を示している。解析結果と建物の平均的な寿命（30年～50年）から推察して、この地域で強風時に屋根瓦が飛散するような災害が発生することは極めて少ないと予測できた。ただし、風向頻度の高い北北東および西南西の風に対しては、安全を期して何らかの対策を講じることが必要と思われる。

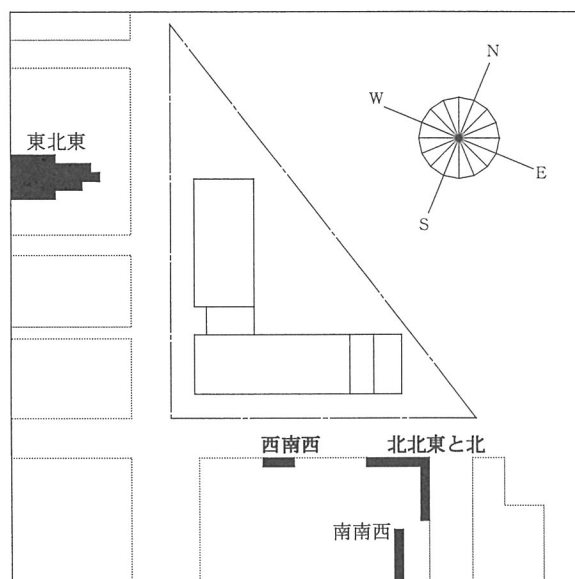


図-11 強風時に屋根瓦が飛散する可能性が高い領域と風向の関係

(2) 窓ガラス破損の検討

一般住宅で用いられる厚さ3mmの窓ガラスの耐風圧は表-8のとおりである。(3)式を用いて計算すると（C=0.8）、各面積の窓ガラスは表-9の風速に耐えられることになる。通常、一般住宅で用いられる窓ガラスの面積は1～1.5m²なので屋根瓦飛散の検討と同様、窓位置で平均風速が25m/sを越える可能性があるかどうかを検討すればよい。屋根位置と窓位置との高低差がそう大きくないので、屋根瓦飛散の検討結果と同様に北北東および西南西の風に対しては、何らかの対策が必要であると考えられる。

表-8 一般住宅用窓ガラス（厚さ3mm）の耐風圧

面積（m ² ）	耐風圧（kg/m ² ）（）内は Pa
1	170（16.67×10 ⁴ ）
1.5	110（10.79×10 ⁴ ）
2	80（7.85×10 ⁴ ）

表－9 一般住宅用窓ガラス（厚さ3mm）の耐風速

面積 (m ²)	瞬間風速 (m/s)	平均風速 (m/s) [突風率 2.0]
1	58	29
1.5	47	23
2	40	20

3.5 ビル風害対策について

以上の検討結果から、本事例の場合には以下のことがいえる。

- ①既往の風洞実験データおよび数値流体解析結果から、計画建物周辺の住宅群や道路において、風速が若干増加する領域のあることが確認された。
- ②しかし、強風の出現頻度に基づく風環境評価尺度を用いた検討結果からは、この地域の日常時の風環境は、計画建物建設後も住宅地として許容される範囲内にあり、風環境に悪影響を及ぼす風は、主に西南西の風であることが分かった。

- ③強風時における災害について検討した結果、30年に1度の頻度で屋根瓦の飛散や窓ガラスの破損等の災害が起こりうる領域があり、その原因となる北北東および西南西の風向については何らかの対策が必要である。

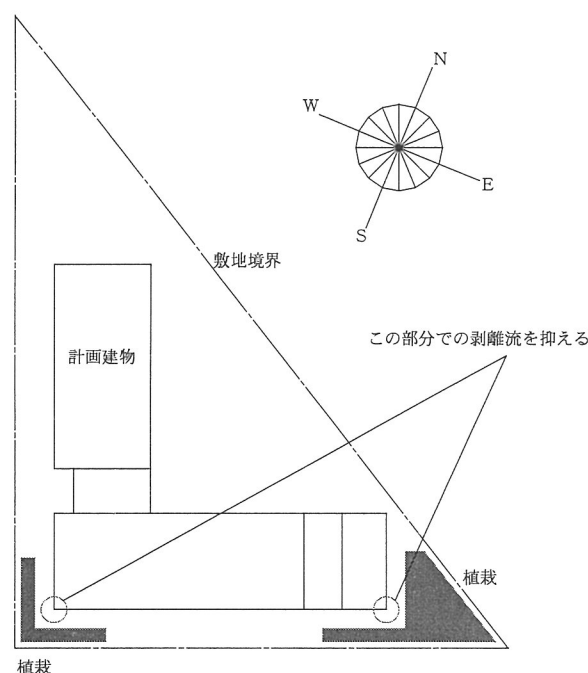
したがって、ビル風害対策は北北東と西南西の風に対して施すことが必要であり、その比較的簡単な方法として植栽が知られている³⁾。今、図－12に示すように高さ2～3mの常緑樹を図示した位置に植栽すれば、計画建物の剥離流が敷地内で抑えられることになり、周辺の道路や建物への悪影響は低減される。また、樹木が生育していけば、近い将来には強風にも対処できるはずであり、風環境の改善に役立つだけでなく、景観的にも良くなり、良好な居住環境を提供することにもなると思われる。

4. まとめ

既往の風洞実験データと数値流体解析結果を用いて行ったビル風害の検討方法を実際の物件を例にして示した。ただし、本報で示した方法は、数ある検討方法の一つであり⁴⁾、状況が変わると多少手法が異なったものになってくると思われるが、本報の紹介がビル風害検討を行うときの参考になってくれることを望む次第である。

今後は、さらに検討事例を増やし、風洞実験や既往の成果を参考にして数値流体解析結果の検証を進めていきたいと考えている。

最後に風環境予測に関してご指導頂きました川村風科学研究所所長の川村純夫氏（大阪市立大学名誉教授）と岡崎充隆氏に深く感謝の意を表します。



図－12 植栽によるビル風害対策

注) ビル風害の検討方法としては、

- ・累積度数を用いる方法¹⁾
- ・平均風速を算出する方法¹⁾
- ・無次元評価量を用いる方法³⁾

などがある。

〔参考文献〕

- 1) 風工学研究所編：新・ビル風の知識、鹿島出版会、1994.
- 2) 村上周三・岩佐義輝他：「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、昭58年3月.
- 3) 川村純夫著：「建築」風工学、技報堂、1997.
- 4) 川口彰久・表佑太郎：「スーパーコンピュータによる超高層建物周辺の気流解析」、大林組技術研究所報 No.41、抜粋、1990.8.
- 5) 村上剛士：「数値解析によるビル風の予測」、G B R C 95、pp.34～37、1999.7.
- 6) ㈱ソフトウェア クレイドル：STREAM for Windows Version 2.0 ユーザーズガイド