

# 都市における風環境の予測・評価・および調整

## — 強風の発生頻度に基づく風環境評価の方法を中心として —

Assessment for Wind Induced Discomfort at Ground Level around Buildings

村上周三\*・小峯裕己\*

Shuzo MURAKAMI and Hiromi KOMINE

都市における風環境の問題を、予測・評価・対策等の各視点から概説する。特に、風速の出現頻度に基づく風環境の評価尺度を提案するとともに、これを用いた評価方法を示し、東京の代表的ないくつかの市街地を対象にして風洞実験を行い、この方法を用いて評価を行った例を示す。

### 1. 風害問題の位置付け

我が国ではじめて、都市の新しい環境障害として風害が指摘されるようになってから、すでに数十年が経過した。霞ヶ関ビル、世界貿易センタービル等の超高層建物の誕生を契機として風害問題が顕在化した。その後のこの問題に関する研究により、風害は決して超高層建物の周辺に限られるものでなく、周辺の建物の規模、密度、街路の幅などによっては10階建程度の中層建物の周辺でも、しばしば発生することが明らかにされている。

風害問題の研究テーマとしては次のようなものが挙げられる。

- 1) 強風の発生機構の解明
- 2) 市街地における強風の観測
- 3) 風洞実験による強風の予測技術の開発
- 4) 強風による被害に関する調査、実験
- 5) 強風の防除に関する実験
- 6) 風害、あるいは風環境の評価方法
- 7) 風害対策の指針

これらのテーマのうち、1)~4)についてはすでに多くの研究成果を得ており、現在は5)~7)が主要な研究テーマになっている。建築紛争に関する行政上の観点から言えば、日照問題をめぐる法的処理が一応の決着をみた現在、風害に関連した建築紛争はこれからの中心的な課題の1つと言える。

本稿では都市の風環境の予測・評価・調整等の各視点から風害問題について解説を行う。

### 2. 強風による環境障害とその評価尺度

#### 2.1 高層建物周辺における被害の発生状況

まず、強風による環境障害の発生する地域の広がりについて述べる。

図1に、強風による被害を訴えた住戸と風害の原因と

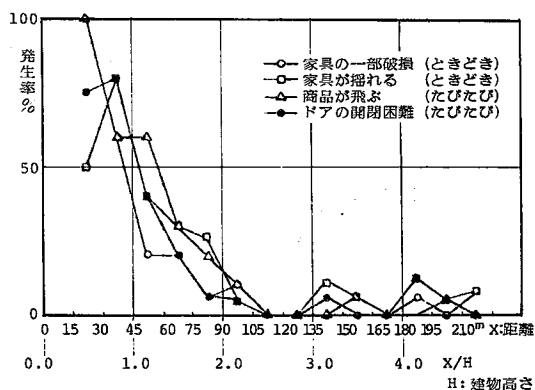


図1 強風による被害の発生率と当該建物からの距離の関係<sup>1)</sup>

考えられる高層建物からの距離との対応を示す。これは風害の発生で著名な東京都中央区月島の14階建の集合住宅周辺の住民を対象としたアンケート調査の結果である<sup>1)</sup>。図の縦軸は強風による被害を訴えた人の割合であり、横軸は当該高層建物からの距離を示す。被害の発生率は当該建物から離れるに従って急激に減少し、当該建物高さの2倍程度離れるとほぼ0になる。また、同調査結果によれば、強風による歩行障害の経験に関して、当該建物からかなり離れた所に住んでいる住民も、近くに住んでいる人同様に、当該建物周囲の道路上における被害を集中的に指摘していた。

このほかの観測・調査・市街地模型を用いた風洞実験等の結果を考慮すると、風害の発生が予想される地域は特殊な配置を除いて当該建物を中心とした建物高さの2倍以内の円内であると考えてよい。

#### 2.2 風速と環境障害の対応

強風とそれに対応して発生する障害の内容について述べる。

図2は強風によって発生する現象と1日の全般的な風環境評価との対応を示したものである。これは前述の中

\* 東京大学生産技術研究所付属計測技術開発センター、第5部

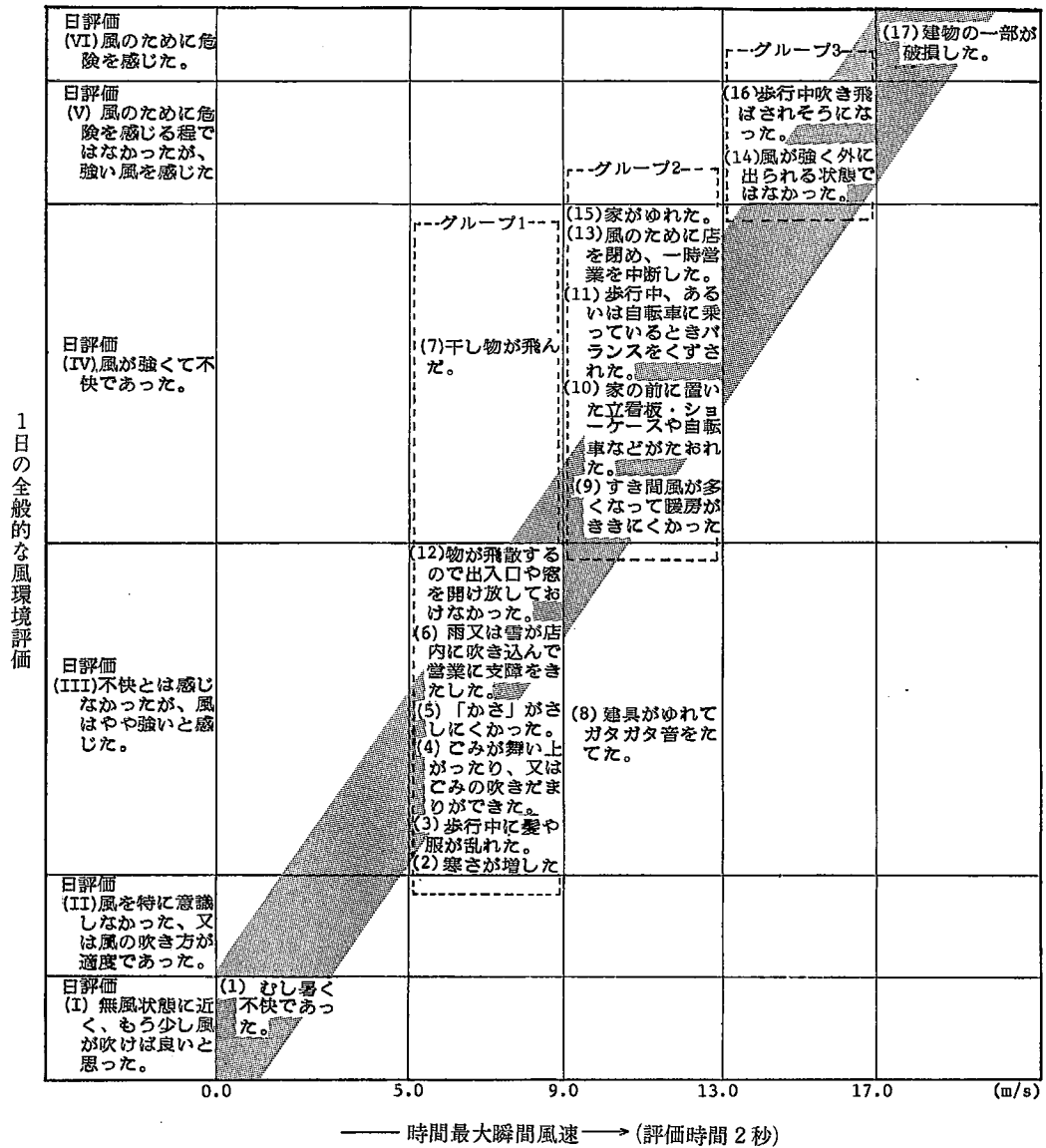


図2 風速と1日の全般的な風環境評価、および個々の発生現象との対応<sup>2)</sup>

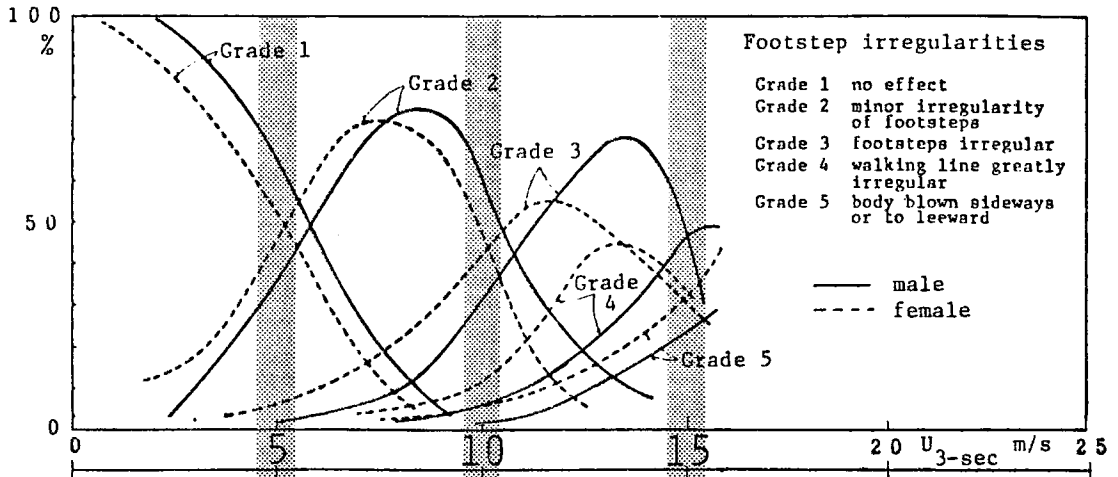
中央区月島の高層建物周辺において、2年余にわたって行った調査結果を用いてとりまとめたものである。<sup>2)</sup>

調査結果は18名の住民に毎日の風環境の印象や強風による発生現象を日誌に記入してもらい、常時測定している風速と対応づけることにより得られたものである。

図は強風による発生現象を大きく3つのグループに分類し、おのおのと評価時間2秒の時間最大瞬間風速とを対応させている。風速が5.0~9.0 m/sではグループ1のような比較的軽微な被害が発生し、9.0~13.0 m/sではグループ2のような中程度の被害が、また13.0 m/s以上ではグループ3のような重大な被害が発生している。横軸に示したこれらの発生現象、風速と縦軸に示した住民

の1日の全般的な風環境評価とは、比較的良好に対応しており、住民は1日単位の生活サイクルと関連づけて風環境の評価をしていることが考えられる。したがって、風環境に関する代表性のある風速指標として日最大風速(10分間平均風速)や日最大瞬間風速などの使用が示唆される。

次に、歩行障害の程度と瞬間風速(評価時間3秒)の対応関係を図3に示す。<sup>3)</sup>これは、大型風洞内で被験者を用いた歩行実験結果(図ではPart Iと称している)、超高層建物周辺の風の強い場所における被験者を用いた歩行実験結果(図ではPart II)、および超高層建物前庭における2000人以上の一般歩行者の強風による歩行障害



1	Criteria in Part III	based on "footstep irregularity"	No effect	Minor irregularity of footsteps	Footsteps irregular walking line greatly irregular	Body blown sideways or to leeward		
2	Criteria in Part III	based on "walking-balance"	Sensitive to wind		Upper-half of body bends to windward	Whole body bends to windward, whole body swings		
3	Hunt et al. 7)	based on gusty wind	For comfort and little effect on performance	Most performance unaffected	For control of walking	For safety of walking		
4	Criteria in Part I 3)	based on uniform flow $U_{\infty}$ = peak of street wind $U_s$			Walking not easy	Walking difficult to control	Walking difficult or almost impossible	
5	Criteria in Part II 3)	based on non-highly turbulent wind $\bar{U}_{10\text{-sec}}$	Footsteps irregular		Walking difficult to control			
6	Criteria in Part II	based on highly turbulent wind $\bar{U}_{10\text{-sec}}$	Walking difficult to control		Footsteps irregular			
7	Melbourne and Joubert 9)	based on gust speed	Comfortable		The limits of safety		Danger	
8	Gandemer 12)	based on $u = \bar{u} + \sqrt{u'^2}$	Comfort	Discomfort				
9	Lawson and Penwarden 8)	based on Beaufort Scale, $U_{3\text{-sec}}$	1, 2	3	4	5	6	7
			Wind felt on face	Hair disturbed clothing flapped etc.	Hair disarranged etc.	Danger of stumbling when entering a windy zone etc.	Difficult to walk steadily etc.	

図3 強風による歩行障害の評価尺度に関する提案の比較<sup>3)</sup>

の程度の観察結果 (図では Part III) をまとめたものである。歩行障害の程度は、足どりを示す「歩調」、および歩行の際の体全体の動作を示す「歩行姿勢」により判断している。

図の上部の「歩調」についてのグレードの分布において、あるグレードの割合を示す線と、その1つ上のグレ

ードの線の交叉する風速値から、図中□のような歩行障害に関する評価尺度ができる。すなわち、瞬間風速が5 m/s 以下では「正常歩行」、5~10 m/s の範囲では「少々歩調が乱れる」、10~15 m/s で「歩調が乱れる、歩行軌跡が乱れる」、そして15 m/s 以上では「身体全体が流される」となる。図には Part I や Part II の実験結果、

表1 強風による歩行障害の評価尺度<sup>4)</sup>  
(評価時間3秒の瞬間風速  $U_{3-sec}$  に基づく)

$U_{3-sec} < 5$		10	$15 < U_{3-sec} \text{ m/s}$	
正	常	少々影響あり	かなり影響あり	相当影響あり
ほぼ正常に歩行することができる	歩調が少々乱れる	歩行は乱される	意志通りの歩行は困難	意志通りの歩行は不可能
女性は髪・スカートが多少乱れる	髪・スカートが乱れる	上体は傾く	風に飛ばされそうになる	

(注) 1. 下記の場合はこれより低い風速に下げる必要がある。

・ 乱れ強さが極端に大きい場合、老人の場合

(注) 2. 平均風速に基づいた評価尺度が必要な場合は、この尺度からピークファクター・ガストファクター等を用いて換算すればよい。

および既往の研究による提案も示している。

図3に示した既往の研究成果も総合的に考慮して、強風による歩行障害の評価尺度として表1を提案した<sup>4)</sup>

### 2.3 強風の発生頻度を考慮した風環境の評価尺度

「風の強い場所」、「風の弱い場所」という表現は、実際には強風の吹く頻度の大小を意味している。風が弱いと言われる場所でも、数年に1回位は相当な強風が吹くはずである。逆に、風の強い場所とは絶え間なく強風が吹いているわけではなく、強風の吹く頻度が相対的に高いということである。したがって、風環境の評価に当たっては、風速値と同時にそのような風速の出現する頻度も同時に考慮しなければならない。

前述の東京都中央区月島における風観測や風環境に關する住民の意識調査、およびいくつかの既往の風観測・調査を用いて、風速の出現頻度を考慮した風環境評価尺度を提案した。これが表2である。<sup>5)</sup>これは、空間用途に応じて風の影響を受けやすい順番にランク1~3に分類し、おのおのに対応する風の出現頻度の許容値を示している。ランク1とは風の影響を最も受けやすい用途の場所で、たとえば常に表の戸を開けて営業する商店のある場所などがこれに相当すると考えられ、これらに対しては最も厳しい基準を設けている。逆にランク3とは、たとえば事務所街の歩道等で、風の影響を受けるのは通行時のみであるので、その許容値は比較的緩和されている。

一般に強風によって発生する現象は、瞬間風速が最もよく対応していると考えてよいから、風速指標として瞬間風速を用いるのは妥当なことである。表2においても風速指標として日最大瞬間風速を用いているが、評価対象地域のG.F.(瞬間風速/平均風速)を2.0~3.0前後の範囲で適宜仮定して、日最大風速に変換して用いてもよい。

### 3. 建物周辺における風向・風速の予測技術の現状

前節で述べた風環境の評価尺度を用いて、計画建物建設後の建物周辺の風環境を評価するためには、計画建物周辺の風向・風速を明らかにする必要がある。

表2 風速出現頻度に基づく風環境評価尺度<sup>5)</sup>

風速尺度として、日最大瞬間風速*4(地上1.5mにおいて)を用いた場合	*1 10 m/s以上	*2 15 m/s以上	*3 20 m/s以上
風速尺度として、日最大平均風速*5(地上1.5mにおいて)を用いた場合	*6 10 GF m/s以上	15 GF m/s以上	20 GF m/s以上
ランク1(最も風の影響を受けやすい用途の場所)に対する許容頻度	許容される頻度 10%以下 (37日)	許容される頻度 0.9%以下 (3日)	許容される頻度 0.08%以下 (0.3日)
ランク2(風の影響を受けやすい用途の場所)に対する許容頻度	22%以下 (80日)	3.6%以下 (13日)	0.6%以下 (2日)
ランク3(比較的風の影響を受けにくい用途の場所)に対する許容頻度	35%以下 (128日)	7%以下 (26日)	1.5%以下 (5日)

\*1. ごみが舞い上がる、干し物が飛ぶ、歩みにくい等の現象と対応する。

\*2. 立看板・自転車等が倒れる、歩行困難等の現象と対応する。

\*3. 出入口・窓を開放しておけない、風に吹きとばされそうになる等の現象と対応する。

\*4. 評価時間2~3秒

\*5. 10分間平均風速

\*6. GF: ガストファクタ(地上1.5m, 評価時間2~3秒)

密集した市街地(乱れは強いが、平均風速はさして高くない)  
2.5~3.0  
通常の市街地 2.0~2.5  
特に風速の大きい場所(高層ビル近傍の増速域など) 1.5~2.0  
程度の値をとると考えられる。

具体的な建物の計画において、周辺の気流性状を予測する方法としては、現状では風洞実験に基づくものが最も正確であると言える。これ以外の方法、たとえば類似事例を用いた机上予測や数値計算によるものは、対象が単純な場合を除いて、正確な予測方法にはなりにくい。

建物周辺気流は、周辺に位置する建物や街路による影響が極端に大きいので、類似の事例に関する既往の風洞実験を参考にして机上予測を行う場合には、この点に十分注意を払う必要がある。机上予測の限界は、この点にあるわけで、これを十分認識して概略の予測を行うのに用いるのならば、相応の有用性はあり、特にその簡便さは風洞実験に比べて有利な点である。予測の目的に応じて、これらの方法を使い分けることが望ましい。

実測結果と風洞実験結果を照合し、風洞実験において建物周辺の風速がどの程度正確に再現されているかを示したものが図4である。<sup>6)</sup>これは、東京都港区三田に建設された超高層建物周辺の7点の風速観測点における風速の測定結果を、強風時のデータのみを選んで各風向別に整理したものを全てプロットしたものである。風速については±15%の誤差内で予測が可能である。模型製作上の精度を考慮すれば、この予測精度は十分満足できるものであると考える。

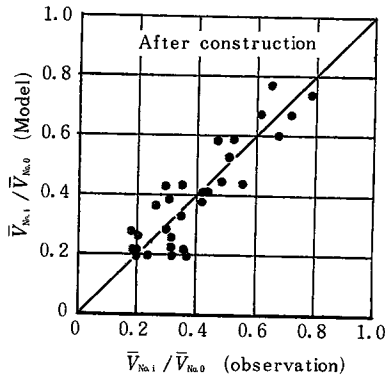


図4 観測値と風洞実験値の比較<sup>9)</sup>  
 ・地上132.5mの高さの風速 ( $V_{No,0}$ ) に対する各測定点における風速 ( $V_{No,1}$ ) の比率  
 ・7測定点の強風時における結果を各風向について整理したもの全てプロットした。

4. 地上における風速出現頻度の予測方法<sup>7)</sup>

一般に、風洞実験における各測定点の風速は、基準点(たとえば、最寄りの気象官署)の風速に対する比率で示されることが多い。

ところで、風環境の評価は前掲の表2に示したように風速の出現頻度も考慮して行う必要がある。風洞実験結果からある地点の風環境を評価するためには、その地点の風速の出現頻度分布を、なんらかの方法で予測する必要がある。

気象官署等の資料を用いれば、上空の風の風速出現頻度は知ることができる。ここでは上空の風の風速出現頻度と風洞実験により求めた基準点に対する風速の比率から、地上の風の風速の出現頻度分布を予測する方法について述べる。

4.1 上空の風の風向・風速の出現確率

(1) 上空の平均風速  $\bar{V}_g$  が風向  $(a_n \pm \frac{da}{2})$  の範囲内で、ある風速  $\bar{V}_{g1}$  を超える確率は次式で表される。

$$P(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} \cdot a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2}) = P(a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2}) \times P(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} | a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2}) \quad (1)$$

ここで、

$$P(a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2}) :$$

風向  $a$  が  $(a_n - \frac{da}{2})$  から  $(a_n + \frac{da}{2})$  の間にある確率

$$P(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} | a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2}) :$$

風向が  $(a_n - \frac{da}{2} < a < a_n + \frac{da}{2})$  の条件の下で  $\bar{V}_g$  が  $\bar{V}_{g1}$  を超える確率

(2) ある風向  $a_n$  において、風速  $\bar{V}_g$  が  $\bar{V}_{g1}$  を超える確率はワイブル分布で近似することができ、次式で表される。

$$P(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} | a_n \pm \frac{da}{2}) = \exp. \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_{g1}}{C(a_n)} \right\}^{K(a_n)} \right] \quad (2)$$

ここで、

$K(a_n), C(a_n)$ : 風向が  $a_n \pm \frac{da}{2}$  のときのワイブル係数

(3)  $(a_n \pm \frac{da}{2})$  の風向の出現確率を  $A(a_n)$  とすると、

この風向の範囲で風速が  $\bar{V}_{g1}$  を超える確率は

$$P(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} \cdot a_n) = A(a_n) \cdot \exp. \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_{g1}}{C(a_n)} \right\}^{K(a_n)} \right] \quad (3)$$

ただし、

$$\sum_n A(a_n) = 1$$

上の数式のうち、 $A(a_n), K(a_n), C(a_n)$  等は長期間に亘る上空の風観測資料から算出する。ここでは東京都市中央区月島における2年間の観測結果から算出したものを表3に示す<sup>8),9)</sup>

4.2 地上の風速の上空の風に対する風速比

風向が  $a_n$  のときに、地上のある地点  $i$  における風速  $\bar{V}_i$  の上空風速  $\bar{V}_g$  に対する比率を風洞実験により求め、次式で表す。ここでいう  $\bar{V}_g$  は、基準点における風速と考えてよい。

$$\bar{V}_i(a_n) = R_i(a_n) \cdot \bar{V}_g(a_n) \quad (4)$$

ただし、 $R_i(a_n)$ : 風向  $a_n$  のときの  $i$  点における風速  $\bar{V}_i$  の上空風速(基準点)に対する風速化

$\bar{V}_g(a_n)$ : 風向  $a_n$  のときの上空の風速(基準点)

4.3 地上のある点の風速が許容風速を超過する確率

あらゆる風向に対して、地上の  $i$  点の風速  $\bar{V}_i$  がある許容風速  $\bar{V}_1$  を超える確率は、次のようにして求められる。まず、地上のある許容風速  $\bar{V}_1$  に対する上空の風速  $V_{g1}$  は、風向  $a_n$  のもとで、 $\bar{V}_{g1} = \bar{V}_1 / R_i(a_n)$  上空の風速  $\bar{V}_g$  がこれを超える確率は、

$$P_i(\bar{V}_g > \bar{V}_{g1} \cdot a_n) = A(a_n) \cdot \exp. \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_1 / R_i(a_n)}{C(a_n)} \right\}^{K(a_n)} \right] \quad (5)$$

(5)式の左辺の  $\bar{V}_g > \bar{V}_{g1}$  は、地上においては  $\bar{V}_i > \bar{V}_1$  ということになる。したがって、(5)式の右辺を全風向にわたって合計すれば、地上の地点  $i$  点における風速  $\bar{V}_i$  が許容風速  $\bar{V}_1$  を超える確率の全風向の総計となる。

表3 風向ごとのワイブルパラメータ<sup>8),9)</sup>

風向	日最大平均風速			日最大瞬間風速		
	$A(a_n)$	$C(a_n)$	$K(a_n)$	$A(a_n)$	$C(a_n)$	$K(a_n)$
N	0.311	9.97	3.45	0.303	15.47	3.92
NNE	0.165	9.19	5.13	0.148	13.40	3.68
NE	0.039	7.27	3.27	0.034	11.41	8.17
ENE	0.026	7.48	17.53	0.057	12.57	6.37
E	0.052	7.32	6.12	0.037	10.42	8.45
ESE	0.010	5.74	4.21	0.013	9.54	8.19
SE	0.029	6.49	10.90	0.024	9.37	10.89
SSE	0.016	7.12	4.44	0.024	9.55	5.46
S	0.016	6.29	6.27	0.034	9.65	4.52
SSW	0.113	7.53	4.03	0.094	11.31	4.67
SW	0.039	0.92	2.94	0.061	14.93	3.52
WSW	0.133	11.82	3.57	0.104	18.30	3.57
W	0	—	—	0	—	—
WNW	0	—	—	0.066	13.16	3.21
NW	0	—	—	0	—	—
NNW	0.042	7.85	2.58	0	—	—
全風向時	1.000	10.00	4.14	1.000	14.83	3.57

注 東京都中央区月島1丁目の高層市街地住宅の屋上(地上57.8m)における1977~1979年の2年間の観測値より求めた。

すなわち、

$$P_i(\bar{V}_i > \bar{V}_1) = \sum_n \left[ A(a_n) \cdot \exp \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_i / R_i(a_n)}{C(a_n)} \right\}^{K(a_n)} \right] \right] \quad (6)$$

となる。

この(6)式により、地上*i*点の風速超過確率が求められることになる。

### 5. 風環境の評価 — 東京都下の代表的な市街地を対象としたケーススタディ

東京の代表的な市街地を4つ選んで、ケーススタディとして前節まで述べてきた風環境の評価方法を適用してみる<sup>10)</sup>

対象とした地域は、以下のとおりである。

- 1) 高島平地区(板橋区高島平2丁目付近)  
典型的な大規模団地
- 2) 墨田地区(墨田区業平・横川・大平にまたがる地区)  
小規模住宅の密集した典型的な下町
- 3) 有楽町地区(千代田区の有楽町駅周辺)  
最も代表的な都心の盛り場
- 4) 新宿地区(新宿区西新宿の副都心)  
世界的にもユニークな超高層建物の街

#### 5.1 地上付近の風速出現頻度の算出とその評価

高島平地区の測定点7を例として、風洞実験結果からこの地点の風速の出現頻度を算出する方法を示すとともに、同地点の風環境の評価を行う。

##### (1) 上空における風向・風速の出現確率

東京の市街地を対象とした評価であるので、(1)~(6)式で示した $A(a_n)$ 、 $K(a_n)$ 、 $C(a_n)$ 等は表3に示した東京都中央区月島における風観測から算出したものを用いた。

資料が整備されていれば、最寄りの気象官署のものを用いてもよい。

#### (2) 地上付近の風速出現頻度の算出

(6)式に基づいて地上の*i*点における風速出現頻度分布を算出するが、表3に示したように $A(a_n)$ 、 $K(a_n)$ 、 $C(a_n)$ 等は16方位のおのおのに対して算出しているので、これらの値を(6)式に代入して16方位ごとの風速出現頻度を算出する。

たとえば、高島平地区の測定点7(図6参照)の風向*N*における風速比 $R_7=0.77$ (ただし、中央区月島における基準風速測定点の風速に対する比率)である。一方表3より風向*N*のときの $A(N)=0.311$ 、 $C(N)=9.97$ 、 $K(N)=3.45$ であるので、これらを(6)式に代入すると測定点7の風向*N*における許容風速 $V_1$ を超える確率は、

$$P_7(\bar{V}_7 > \bar{V}_1 \cdot N) = A(N) \cdot \exp \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_1 / R_7(N)}{C(N)} \right\}^{K(N)} \right] \\ = 0.311 \times \exp \left[ - \left\{ \frac{\bar{V}_1 / 0.77}{9.97} \right\}^{3.45} \right]$$

となる。このようにして算出した超過確率を全風向について合計したものを、図5に示す<sup>10)</sup>

図5の見方は次のとおりである。図中、点線で示す一般市街地風とは、上空の風が1/4乗則(一般に市街地上

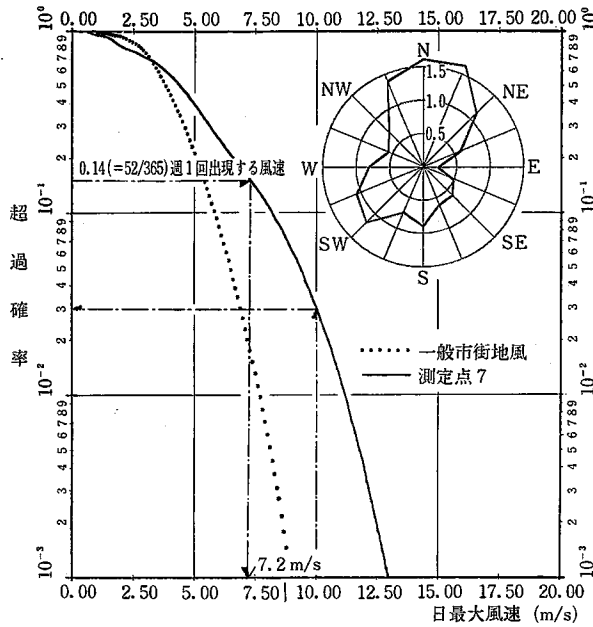


図5 高島平地区の測定点7における風速超過頻度<sup>10)</sup>

部の風の垂直方向の分布は、(風速) × (高さ)<sup>1/4</sup> の式で表されることが多い。)にしたがってそのまま地上3.0mの風速になったと仮定した場合の風速の超過確率で、これを一つの標準的な市街地風とした。図右上の同心円状のグラフは、一般市街地風の風速を1.0としたときの、測定点7における各風向ごとの風速比を示したものである。図中の矢印で示したように、この測定点7においては、平均的に週1回出現する風速(確率は52/365=14%)は7.2 m/sとなる。すなわち、7.2 m/s以上の風がこの確率で吹くことを示している。逆に、10 m/s以上の風が吹く確率は3% (年間では365×0.03≒11日)であるという見方もできる。

(4) 風環境の評価(高島平地区測定点7を例にして)

図5の結果を表2に示した風環境の評価尺度に照らし合わせて風環境の評価を行うと、次のようになる。

G.F.=2.0と仮定すると、日最大瞬間風速10 m/sは日最大風速で5.0 m/sとなる。表2の評価尺度は地上1.5mの風速を用いて示されているが、風洞実験の測定高さが実物換算で地上3.0mであるので、1/4乗則で高さ補正すると5.9 m/sとなる。図5で5.9 m/sを超過する確率を求めると23%になり、この頻度は表2の各ランクと比較すると、空間用途ランク1,2に不適合、ランク3に適用可能となる。すなわち、オフィス街の歩道としてやっと合格ということであり、それ以外の用途では不適合ということになる。

5.2 高島平・墨田・有楽町・新宿の4地区に対する風環境の評価

市街地の形態が異なる上記4地区を対象に、各地区20~30地点の風速測定点を設定して、各地点ごとに風環境を評価した上で、4地区の全般的な風環境評価を行った。

風洞実験で求めた風速比に基づいて、前項で示した方法により各地点の風速の超過頻度を算出しているが、新宿については観測より求めた超過頻度を用いている<sup>11)</sup>ここでは、各地区の風環境を示すと考えられる代表的な地点の風速超過頻度を示し、4地区の風環境の相違を明らかにする。

図6~9に、上記4地区の風環境評価対象地点、および同地点における風速超過頻度を示す<sup>10)</sup>

図中、点線で示した一般市街地風を基準にして判断すれば、高島平と墨田の2つの住宅地の風環境の違いは明瞭である。墨田地区の4点における超過頻度は、いずれも一般市街地風のそれを下回っている。G.F.=2.0と仮定して日最大風速5.9 m/sの超過頻度に着目すれば、墨田地区では5.9 m/sの風はほとんど出現しないので、同地区の風環境は表2に示すランク1、すなわち最も厳しい基準に合格であるという評価を下すことができる。全体として、同地区では強風の出現頻度は極めて低く、弱風の出現頻度が高いので、通風障害等の弱風による環境障害が問題になると考えられる。

一方、高島平地区では測定点3や7における風速の超過頻度が、一般市街地風のそれを上回っており、強風が吹きやすくなっている。2つの点は、高層集合住宅の隅角部付近や住棟間にあり、剥離流が流れ込むことが十分予想される場所である。これらの地点の日最大風速5.9 m/s

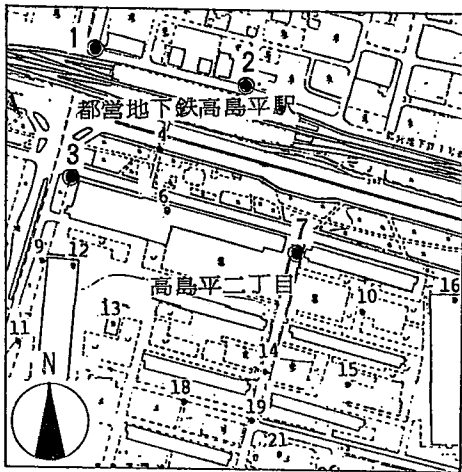


図6 (1)高島平地区における風速の測定点<sup>10)</sup>

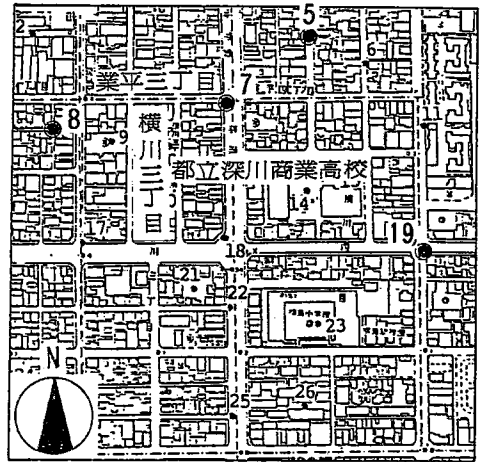


図7 (1)墨田地区における風速の測定点<sup>10)</sup>

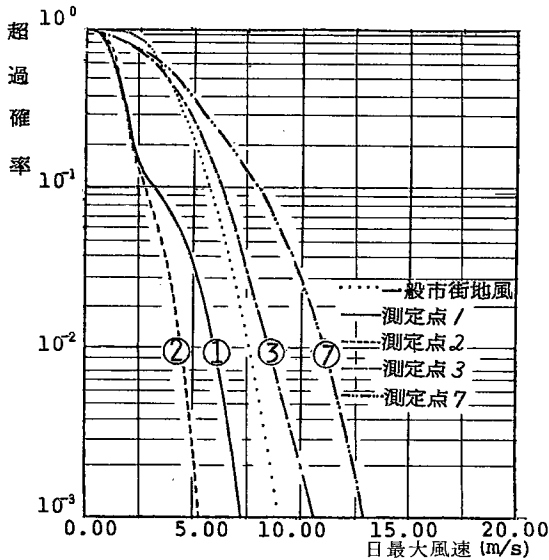


図6 (2)高島平地区の各点における風速超過頻度<sup>10)</sup>

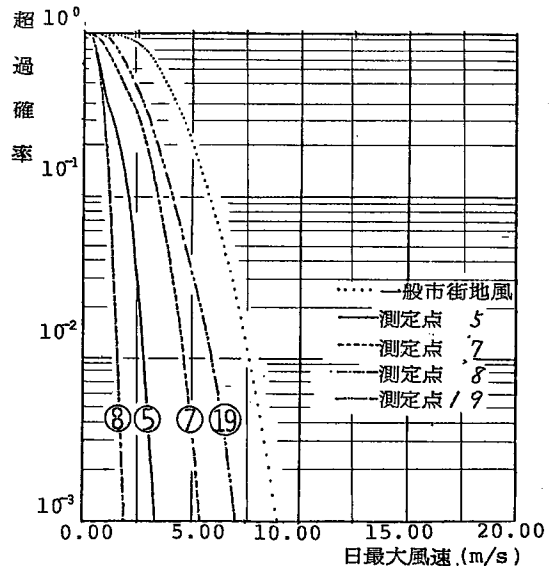


図7 (2)墨田地区の各点における風速超過頻度<sup>10)</sup>

の超過頻度は15~28%程度であり、ランク2や3の風環境である。特に、測定点7における超過頻度は、後述の新宿副都心におけるものにも比べてもそれ程劣らず、この地点は超高層建物周辺の地域と同程度の風環境のもとにあり、強風が吹きやすいことが判る。ただし、このように強風が吹きやすい地点は数点であり、多くの地点は図6の①、②のようにランク1の風環境のもとにある。

また、図8、図9に示した有楽町地区、新宿地区の風環境を比較すると、次のようなことが言える。有楽町地区の多くの地点における超過頻度は、一般市街地風のそれより低い、高層建物の隅角部付近にある地点（たとえば測定点24等）などのいくつかの地点では上回って

いる。後者における日最大風速 5.9 m/s の超過頻度は、35~40%にも達しており、高島平地区の強風の吹きやすい地点よりも、さらに強風が吹きやすいと考えられる。これらの地点は、表2のランク3よりも悪い風環境にあると言える。

図9のKDD, SMBは超高層建物屋上における超過頻度であるが、これらの点は地上からの高さがTWSで示す東京管区気象台の風観測高さに比べはるかに高いので、超過頻度もTWSのそれをはるかに上回っている。また、超高層建物のすぐ近くの測定点13における超過頻度は、一般市街地風のそれよりはるかに大きく、TWSのものと同超高層建物屋上におけるもの中間に位置しており、こ



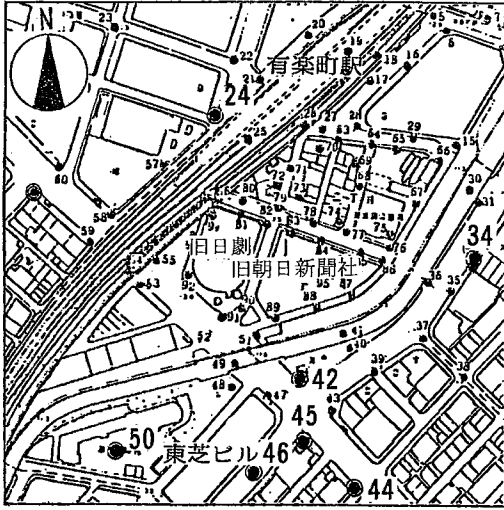


図8 (1)有楽町地区における風速の測定点<sup>10)</sup>

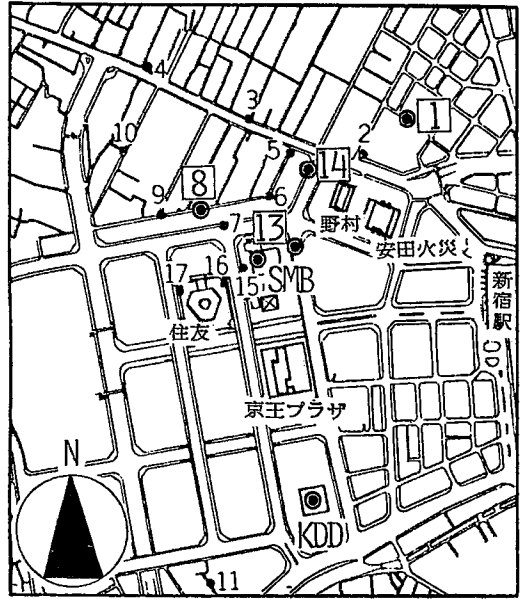


図9 (1)新宿地区における風洞測定の測定点<sup>11)</sup>

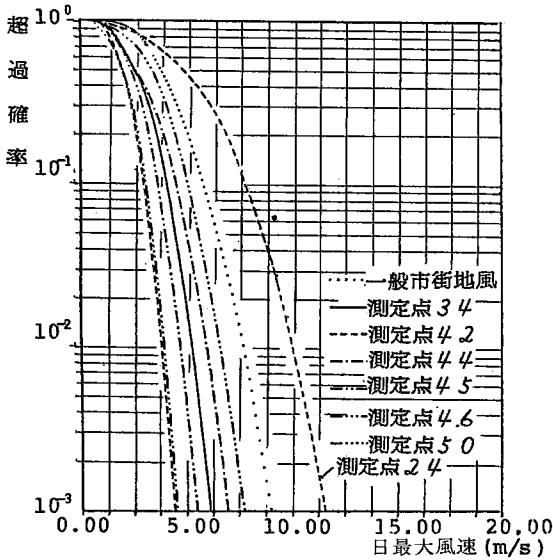


図8 (2) 有楽町地区の各点における風速超過頻度<sup>10)</sup>

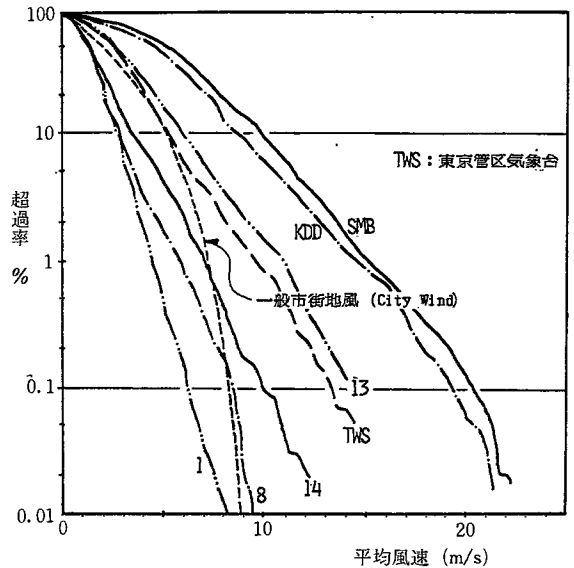


図9 (2)新宿地区の各点における風速超過頻度<sup>11)</sup>

の地点で強風が異常に吹きやすいことを示している。測定点8や14などのように、超高層建物と道1つ隔たっているような地点では、7~8m/s以上の強風の超過頻度が一般市街地風のそれと同程度になっている。

以上、4つの市街地の風環境を調べたが、これらを要約すると、新宿地区は強風が非常に吹きやすい環境であり、有楽町地区・高島平地区でも中高層建物の剥離流の影響で強い風が吹く地点がかなり多く存在し、比較的強風の吹きやすい風環境であると言える。これに対し、墨田地区は強風の吹く恐れは少なく、逆に弱風による環境障害の恐れのある風環境である。

今回の風環境評価は、強風による障害に基づくものであるが、風は弱すぎても問題となるので、今後は弱風による障害も含めて風環境の評価を行う必要がある。

### 6. 防風対策

風洞実験や実測等により風環境評価を行い、その地点が強風の吹きやすい地点であることが判明した場合、強風を防除するための対策を考慮する必要がある。

防風対策を選択する場合、対策の目的、対策をする領域、対策の時期、防除の対象とする気流現象等を明確にすることによって、その場合に最も適切な防風対策を見出すことができる。

現在までに考案されている防風対策を挙げれば、以下のようなになる。

1) 敷地内の建物配置

敷地内に一定建築面積以上の建築物を建設する場合、強風の卓越風向に対して長辺方向を向けないような配置を採用すれば、風速増加領域が同一敷地内からはみ出る確率を低くすることが可能である。

2) 建築物相互の配置

建築物相互の間隔・配置を考慮することにより、風速増加領域を減少、または特定領域を強風から防ぐことができる。

3) 平面形状の変化

建築物の平面形状を円形にしたり、隅角部を切除した形とすることにより、剥離流により生じる風速増加領域の減少を図ることができる。

4) 断面形状の変化

① 墓石型建築物

大きな低層部の上に高層部を設けることにより、下降流の影響を低層部の屋根に限定することができる。

② セットバック

建築物の一面を斜めに削り取ることにより、隅角部における剥離流の発生を抑えることができる。

③ キャノピー、ペDESTリアンデッキ

低層部に設ける庇、ペDESTリアンデッキ等により、その下の歩行者に対する強風による環境障害を防ぐことができる。

④ ピロティー

建築物前面に当たった風の一部がピロティーを吹き抜けることにより、建物両側の剥離流による風速増加領域の減少を図ることができる。

⑤ 中間階の中空化

建築物の高さ、または風上見付け面積を減少させるかわりに、中間階に中空層を設けて風速増加領域の減少を図ることができる。

5) 遮蔽物の設置

① 植栽

② フェンス・防風ネット(有孔フェンス)

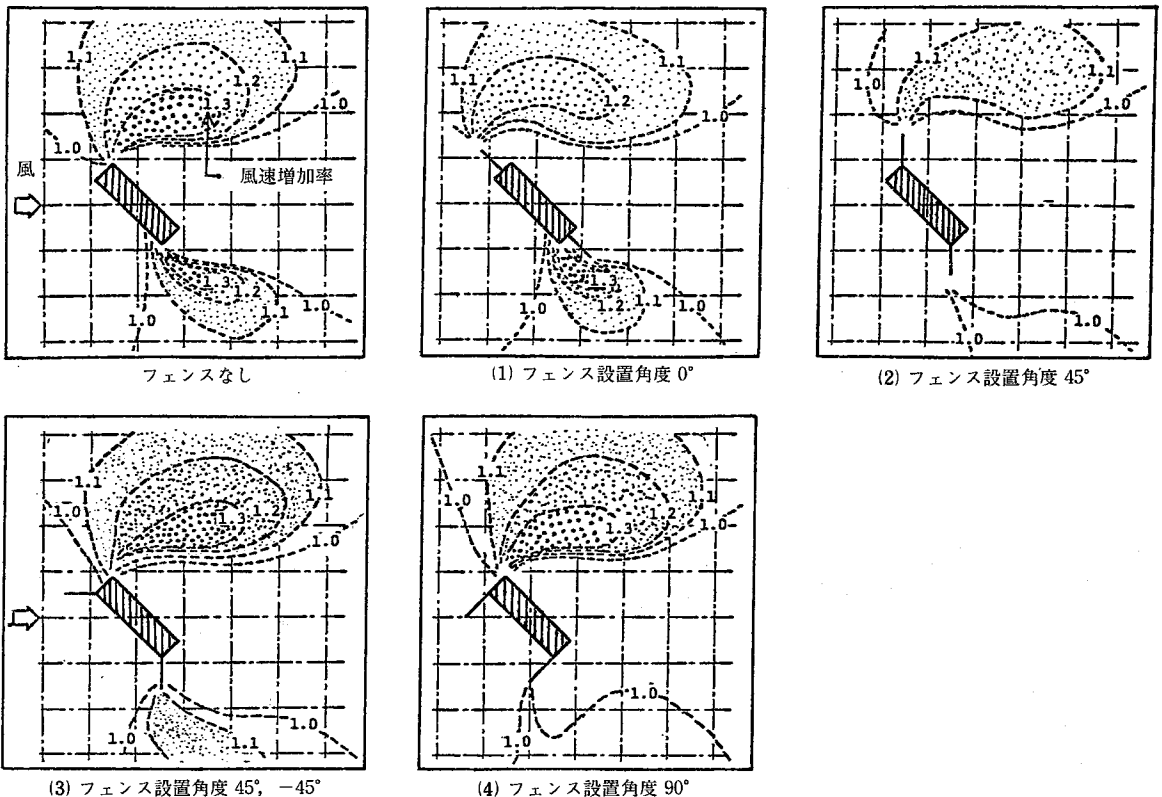


図10 フェンスの設置角度の変化に伴う風速増加領域の変化<sup>12)</sup>  
(防風対策に関する風洞実験結果の1例)

両者とも建築物周辺に設置することにより、地表面の強風を遮ることができる。

### ③ スクリーン (仕切り)

建築物下部の通路にスクリーンを設けることにより、通り抜ける強風を防ぐことができる。

### ④ アーケード

吹き降ろしによる強風から歩行者を守るができる。

これらの防風対策に関しては、風洞実験や実物の建物への設置などにより、その効果の程度が調べられているが、ここでは1例として、ネットフェンスの設置による風速増加領域の減少に関する風洞実験結果を図10に示す<sup>12)</sup>。図は建物に対して斜めに風が当たった場合、建物周辺に設置するネットフェンスの設置角度の変化に伴う風速増加領域の変化を示したものである。図中の数字は、建物模型設置前後の風速増加率を示している。フェンスなしに比べ、(2)では風速増加率 1.3, 1.2 の領域が消滅している。一方、(1)の風上から見て右側の領域や(3)、(4)の風上から見て左側の領域は、フェンスなしのときの分布とほとんど同じである。この実験では建物模型周辺の流れの向きも測定しており、これとフェンスの設置角度とを対応させて、フェンスによる風速増加領域の増減を調べると、次のことが結論として挙げられる。フェンスを剥離点に、かつ剥離流に対して直角に設置すると、防風効果大きい。一方、流れに対して平行な場合は防風効果はほとんど期待できない。

## 7. ま と め

強風による障害の内容、風環境の評価尺度、風洞実験結果に基づく風環境の評価方法、および強風の防除方法など、風害問題全般について解説した。

この問題に関する現在までの研究は、いくつかの問題についてその大枠を把握したと言えるが、残された問題も多く、都市における風環境の予測・評価・調整の体系を完全なものにするため、さらに研究を推進することが必要である。

(1981年3月18日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 村上・池田, 「高層建築物における周辺気流の影響とその対策に関する研究(その2) 被害の発生状況の住民アンケート調査」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1978年9月
- 2) 村上・森川・岩佐・内海, 「適風環境に関する基礎的研究(その2) 居住者の日誌による日単位の風環境評価と被害発生風速に関する研究」, 日本建築学会関東支部研究報告集, 1980年7月
- 3) S. Murakami, K. Uehara and K. Deguchi, "WIND EFFECT ON PEDESTRIANS; New Criteria Based on Outdoor Observation of over 2000 Persons", Proceedings of 5th International Conference on Wind Engineering, 1979, Colorado
- 4) 村上・出口・後藤・上原, 「歩行者に対する強風の影響とその評価尺度に関する研究」, 日本建築学会論文報告集, 第287号, 1980年1月
- 5) 「高層建築物における周辺気流の影響の予測・評価・対策に関する指針」, (財)国土開発技術研究センター 指針作成部会(主査, 村上周三), 1980年7月
- 6) 村上・上原, 「市街地低層部における風の観測その2」, 日本建築学会論文報告集 第279号, 1979年5月
- 7) N. Isyumov and A.G. Davenport, "The Ground Level Wind Environment in Built-up Area", Proceedings of Wind Effects on Buildings and Structures, 1975, London
- 8) 村上・藤井, 「高層建築物における周辺気流の影響とその対策に関する研究(その5) 高層建物周辺における風の長期観測」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1979年9月
- 9) 村上・藤井, 「高層建築物における周辺気流の影響とその対策に関する研究(その8) 高層建物周辺における風の長期観測(II)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1980年9月
- 10) 村上・森川・高橋, 「墨田・高島平両地区の風環境に関する風洞模型実験—強風の発生頻度による環境評価—」, 文部省環境科学特別研究1980年度報告書
- 11) 吉田・真田・藤井ほか, 「新宿副都心地域の風—市街地風の特性(1)—」, 構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集, 1978年12月
- 12) 村上・内海・小峯, 「建物周辺の強風に対するネットフェンスの防風効果に関する風洞実験(その2) ネットフェンスの設置角度, 配置形状と防風効果の関係」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1980年9月