

建物周辺に発生する強風に関する研究

Investigations of Strong Wind around Buildings.

勝田 高司*・村上 周三**・池田 耕一*・上原 清*

Takashi SHODA, Shuzo MURAKAMI, Koichi IKEDA and Kiyoshi UEHARA

序

都市における風環境に関連した公害問題としては、大別して、強風による環境障害と弱風時の汚染物滞留の2つが挙げられるが、今回は強風による風害について報告する。

建物周辺に発生する強風の問題は、新しい都市公害の1つとして近年大きな注目を浴びるようになった。これは、霞が関、浜松町、新宿等の、周囲に広場を設けた新しい超高層ビルの周辺で、特に顕著であることから判るように、都市計画の方法と密接な関連を持つ。すなわち、従来の30mクラスのすんぐりした建物を敷地一杯に建設して街区を形成すれば、これらの密な、roughness elementに阻まれて、強風が地表付近にまで達することは少ないが、これらを再開発して、まとめて1つの超高層ビルを建設し、高くした代償に周辺に空地をとれば、この超高層ビルに遮られた風は、広場を吹き抜け、環境障害を起す訳である。同様の事柄は、スケールこそ異っても、2階建ての民家群の中に30m程度の建物を建設しても発生している。すなわち、一樣で密な roughness が地表付近に安定した風環境を形成している所へ、この秩序を破壊するような建物を建設すれば、必然的に発生する現象で、いわば既得権の破壊という意味が公害と呼ばれるゆえんであると考える。従って、風害問題へのアプローチとして、空気力学的な観点は勿論のこととして、都市計画、建築計画的な観点が、それに劣らず大切であることを忘れてはならない。

我国と同様の風害問題は、先進諸国で提起されており、特に英国では、風害による死亡事故が何件か起きていることもあって、この問題の対処に熱心である。英国の場合もやはり、低層高密度な街区を高層化して空地を設けた時に特に顕著に発生している。

我国でもこの問題に関する研究は大変活発になってきており、又、大規模の建築計画には事前のアセスメントが、必須とされるような社会情勢になってきている。このアセスメントの内容は、風洞実験により、建

設前に比べ、建設後にどれだけ風速が増加したかを調べるのが主なるやり方である。しかしながら、現在の所風害の定義そのものも甚だあいまいで、単に器物の破損のみを問題にするならば、耐風設計学の蓄積からある程度判るとしても、強風による歩行障害や、店舗の営業障害等についての評価判断は、甚だ困難である。いずれにしても、この風害問題の解決には、広汎なテーマの研究が必要で、主なものを列挙すれば、

- 1) 市街地風の構造の解明
- 2) 市街地を対象とした風洞実験法の検討
- 3) 2)に関連して変動の問題の取り扱い方
- 4) 建物の形状、配置と周辺風速分布
- 5) 強風の防除方法
- 6) 強風に対する人体の応答

等である。

筆者らは、以上の問題について、計画的に研究を進めており、今回は、その中のいくつかについて報告する。

1. 記号

H	模型(建物)の高さ(mm)
h	測定高さ(mm)
H _p	ピロティ高さ(mm)
H _f	防風フェンスの高さ(mm)
L	模型(建物)の長さ(mm)
L _p	ピロティ長さ(mm)
L _f	防風フェンスの長さ(mm)
U _h	模型(高層ビル)周辺の高さhの風速(m/s)
U _∞	模型を設置しない時(高層ビル建設前)のU _h に対応する風速(m/s)
U _∞	基準風速(境界層の外の風速, m/s)
U _(z)	模型を設置しない時の高さzでの風速(m/s)
\bar{U}	気象庁気象庁における1時間平均風速(m/s)
$\bar{U}_{No. 1}$	測定点No. 1における1時間平均風速(m/s)
$\bar{U}_{No. 4}$	測定点No. 4における1時間平均風速(m/s)
θ_{∞}	基準風速の風向(°)
x	防風フェンスの設置位置
P	防風フェンスの空隙率(%)

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 東京大学生産技術研究所附属計測技術開発センター兼第5部

2. 市街地における風の観測

2. 1 市街地気流の実測

実測場所は、図1に示す港区三田1丁目特定街区のMビル^(注1)建設用地の周辺である。実測期間は、Mビル建設前の昭和47年8月から建設後に至る約4年間である。風速測定点は、全部で7点であり、各測定点の概要は、表1に示すとおりである。各点の風向風速は、三杯型風向風速計(中浅測器)により測定した。

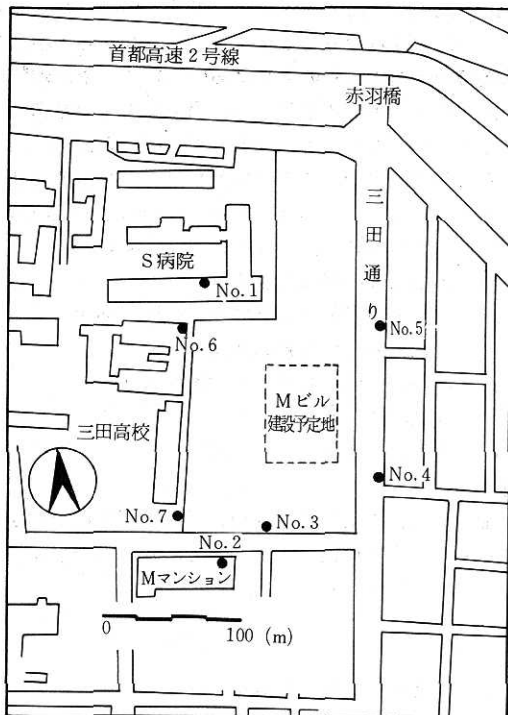


図1 実測場所の風速設計位置

表1 測定点の概要

測定点	場所	高さ
No. 1	S病院屋上 ^(注2)	地上45.6m
No. 2	Mマンション屋上 ^(注3)	地上27m
No. 3	Mビル敷地内	地上4m
No. 4	三田通り歩道上	地上6m
No. 5	三田通り歩道上	地上6m
No. 6	三田高校屋上	地上23m
No. 7	三田高校々庭の隅	地上4m

2. 2 実測結果

(1) 強風時の実測例

写真1および写真2に、昭和47年9月16日～17日の台風20号通過時の測定点No. 1および測定点No. 4における実測データを示した。これらの写真から、No. 4

における風速は、No. 1の風速の大体1/3程度であることがわかる。

(2) 測定高さと風速

昭和47年9月17日の午前中(台風20号通過時、風向SSW)に測定した風速計の高さと風速の関係を図2に示す。参考のため同時刻における気象庁のデータも合わせて示した。当然のことながら、風速計が高くなるほど、風速は、高くなる傾向を示している。

(3) 強風の継続時間

図3にNo. 1とNo. 4における1時間平均が6m/s以上の強風の継続時間Tの発生頻度Nの分布を示す。最も長い強風の継続時間は、No. 1の場合が51時間であるのに対し、No. 4の場合は、わずか3時間である。また、No. 4の場合には、発生頻度も少ない。

3. 市街地を対象とした風洞模型実験の精度

3. 1 風洞実験の概要

実験は、当研究所環境物理実験室の1.8m×1.2mの断面をもつ境界層型風洞を用いて行った。模型設置位置における垂直風速分布を図4に示す。実験の対象と

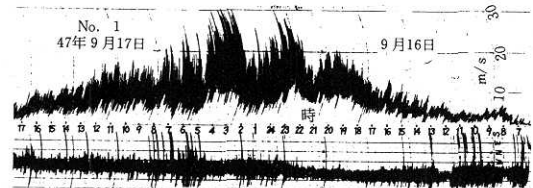


写真1 強風時の実測例(測定点No. 1, 地上45.6m)

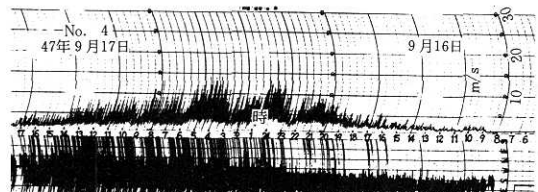


写真2 強風時の実測例(測定点No. 4, 地上6m)

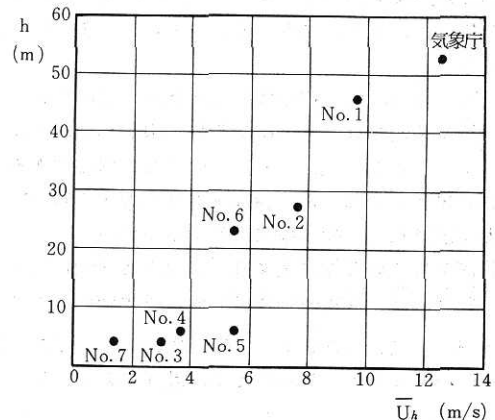


図2 風速計の高さhと平均風速 \bar{U}_h の関係(風向SSW)

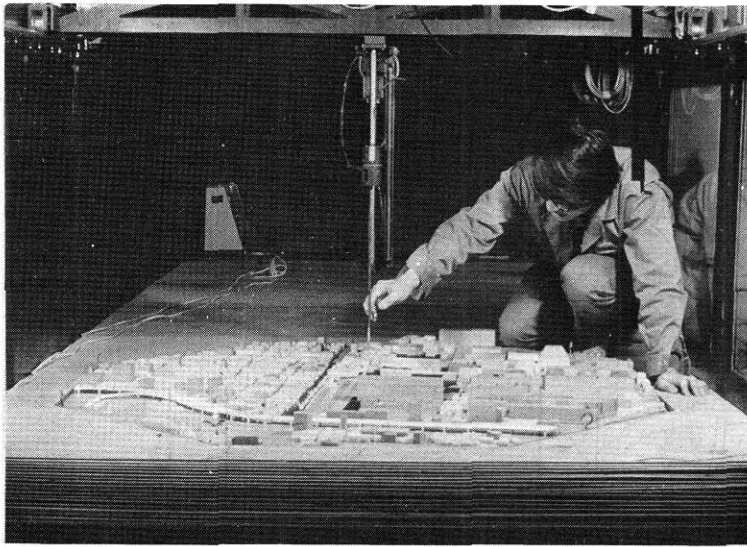
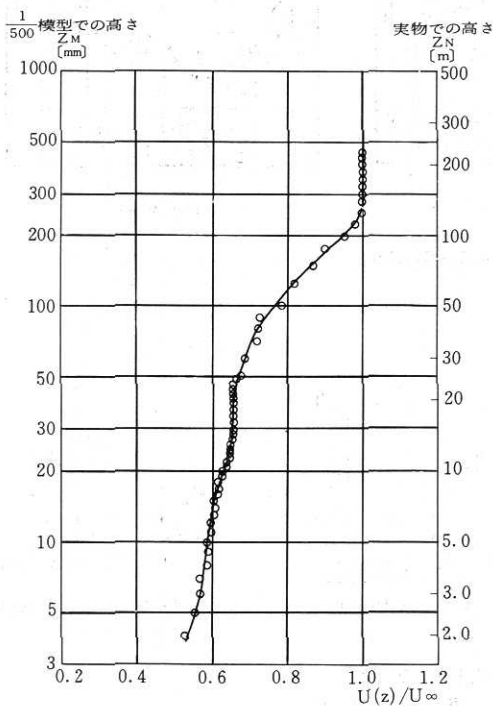


写真3 風洞内に設置した1/500市街地模型

図4 平板上の垂直風速分布
(模型を置かない場合)

した特定街区の1/500模型を写真3に示す。風速測定点および測定高さは、実測のそれらに相当する位置である。各点の風速は、定温度型熱線風速計(日本科学工業)により測定した。熱線の向きは、あらかじめ小

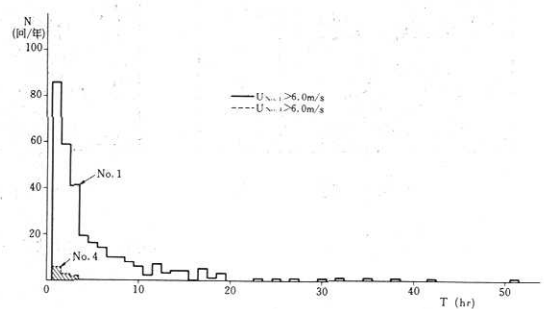


図3 6 m/s以上の強風の継続時間Tとその発生頻度N

旗で調べた風向に合せた。

3. 2 基準風速の選び方

市街地における実測結果と風洞実験の結果を比較する場合、無次元化する基準風速として、上空の風速 U_{∞} を用いることが最も望ましいが、実測の場合 U_{∞} を測定することは不可能である。そこで、本報告では、両者の比較にあたって、測定点No.1における風速 $\bar{U}_{No.1}$ を基準風速として用いた。

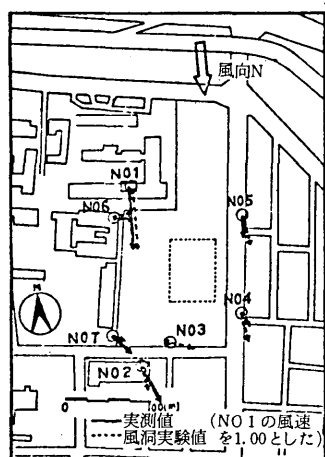
3. 3 風洞実験結果と実測結果の比較

Mビル建設前の状態における実測値と実験値の比較を表2に示す。このうち、3例をベクトル的に表わすと、図5のようになる。

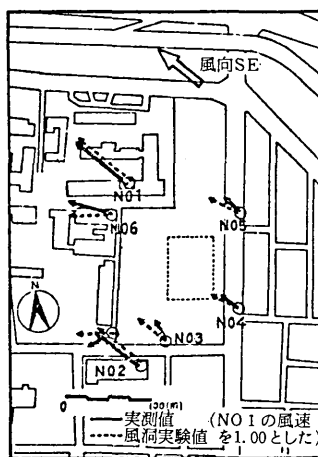
実測値と実験値は比較的近い値を示していると考えられるが、両者の結果が著しく異なる例もいくつかみられる。このくいちがいの原因は、種々考えられるが、最も大きな理由の一つに、測定点の近傍における建物

表2 実測結果と風洞実験結果の比較

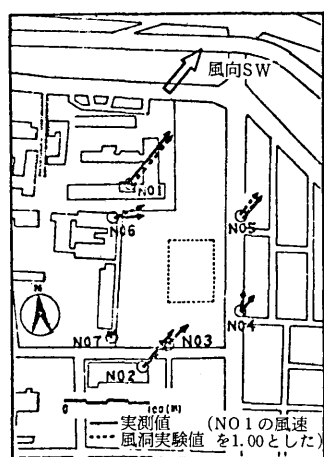
風向 測定点	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW	
	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞	実測	風洞
No. 1	1.00	1.00		1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00
No. 2	0.65	0.71		1.03		0.96	0.74	0.85	0.71	0.95	0.72	0.91		0.98	0.72	0.91
No. 3	0.36	0.33		0.43		0.44	0.33	0.55	0.31	0.57	0.19	0.13		0.39	0.44	0.40
No. 4	0.20	0.43		0.14		0.08	0.27	0.43	0.28	0.43	0.30	0.28		0.46	0.37	0.52
No. 5	0.29	0.41		0.56		0.31	0.31	0.48	0.33	0.40	0.43	0.40		0.55	0.34	0.54
No. 6	0.28	0.26		0.36		0.77	0.67	0.64	0.57	0.37	0.50	0.46		0.75	0.40	0.70
No. 7	0.05	0.19		0.61		0.75	0.39	0.52	0.17	0.15	0.06	0.22		0.65	0.14	0.47
サンプル数 (時間)	62						26		18		30				0 63	



(風向Nの場合)



(風向SEの場合)



(風向SWの場合)

図5 実測結果と風洞実験結果の比較

や樹木の状態が模型において十分正確に再現されていないことが挙げられる。

4. 建物建設に伴う周辺気流の変化の予測

この実験は、建築の配置計画の段階で、建物周辺気流の問題を考えるための基礎資料を得ることとして、行ったものである。実験は極めて多数の研究例について行ったが、ここでは、代表的な例をいくつか示す。

4. 1 基本的な形状をした模型による風洞実験

まず、高さ H と長さ L が等しい単純な形状をした建物模型を1個あるいは数個用いて、その周辺の風速分布を調べる実験を行った。

(1) 実験に使用した模型

① 単独模型

図6に示したのは、高さ H と長さ L が等しい基本模型である ($H = 100\text{ mm}$)。また図7に示したのは、基本模型に、高さ $H_p = H/4$ 、長さ $L_p = H/2$ のピロティを設

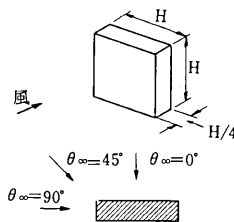


図6 基本模型

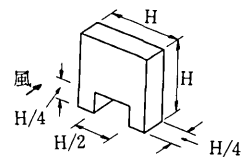


図7 ピロティ模型

けた模型である。

② 群模型

①で述べた基本模型を図11～図13示のように組合せ、その周辺の風速分布を調べた。

(2) 実験方法

実験方法および装置は、前章の風洞実験と全く同様である。測定点は、模型高さ H の $1/2$ を単位とする格子の交点とした。^(注5) なお測定高さ h は、 $H/10$ ($=10\text{ mm}$)

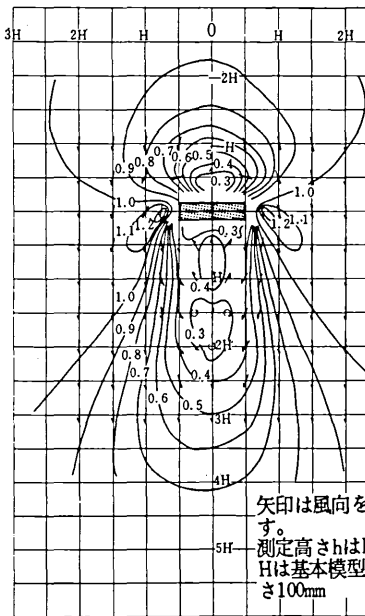


図8 基本模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=0^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

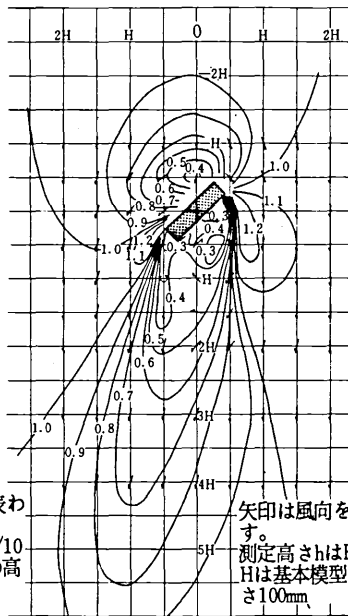


図9 基本模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=45^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

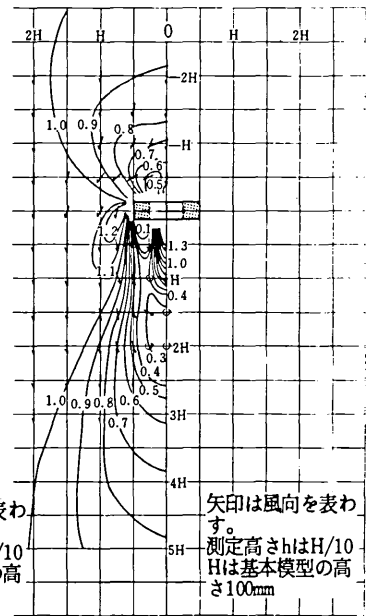


図10 ピロティ模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=0^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

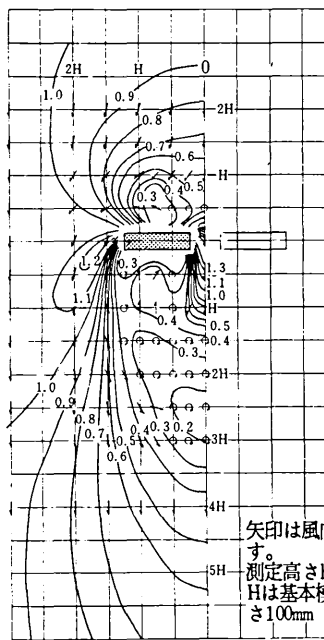


図11 横型模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=0^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

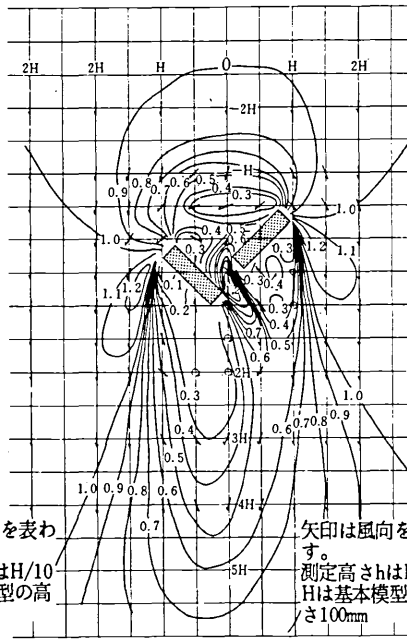


図12 L字型模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=45^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

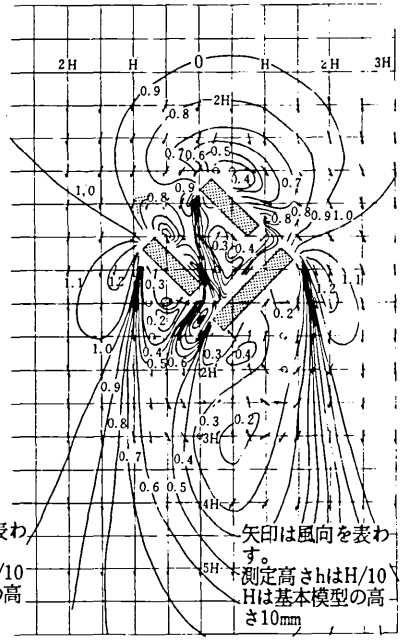


図13 Yの字型模型周辺の風速比 U_a/U_{a0} の分布 ($\theta_\infty=45^\circ$)
 U_a は模型がある場合の風速
 U_{a0} は模型がない場合の風速

である。

(3) 模型の存在によって風速が増加する領域

各種配置の模型周辺の風速分布を図8～図13に示す。

これらの図よりわかるように、各種模型周辺の細部にわたる風速分布は、模型形状、配置等により複雑に変化し、全く異なるが、以下に述べるような共通点が見られる。

すなわち、単独模型、群模型とも、模型にさえぎられた流れが縮流する模型風上側隅角部において、風速が、最高20%程度増加している ($U_a/U_{a0} > 1.0$) 領域がみられる。また、群模型の模型間の隙間の風下および基本模型にピロティがある場合は、その風下に、風速が増加する領域がみられる。

4. 2 ケーススタディ

4. 1 で述べた基本的な形状をした模型を用いた実験により、建物建設に伴う周辺気流の変化の概略を知ることができるが、それだけでは、実際の市街地に計画中の建物の周辺の具体的な場所での風速を予測するのには十分とはいえない。したがって、風害の発生が懸念される場合には、必要に応じて、実物の市街地の模型を用いた実験を行う。ここでは、そのようなケーススタディの1例について述べる。

(1) ケーススタディの概要

実験の対象としたのは、3章で述べた港区三田のMビル建設用地周辺である。したがって、実験に使用した模型は、3章の風洞実験において用いたものと同じ1/500市街地模型である。実験方法および実験装置は、3章の実験と全く同じである。実験条件、風速測定点

表3 実験概要

実験条件		測定点
風向	敷地の条件	
N, NE, E, SE, S, S, W, NWの8風向	1. 敷地がさら地の場合 2. 敷地内に26階建(高さ118 m)の超高層ビルが建設されている場合.	敷地内 22点 敷地周辺 35点 測定高さは6mm(実物で、3mに相当)

等の実験概要は表3に示すとおりである。

(2) 建物建設に伴って風速が増加する領域

図14および図15に実験結果の1例(風向N)を示す。図15中において曲線で囲んだのは、建物建設によって風速が増加し($U_h/U_\infty > 1.0$) かつ、建設後の U_h/U_∞ が

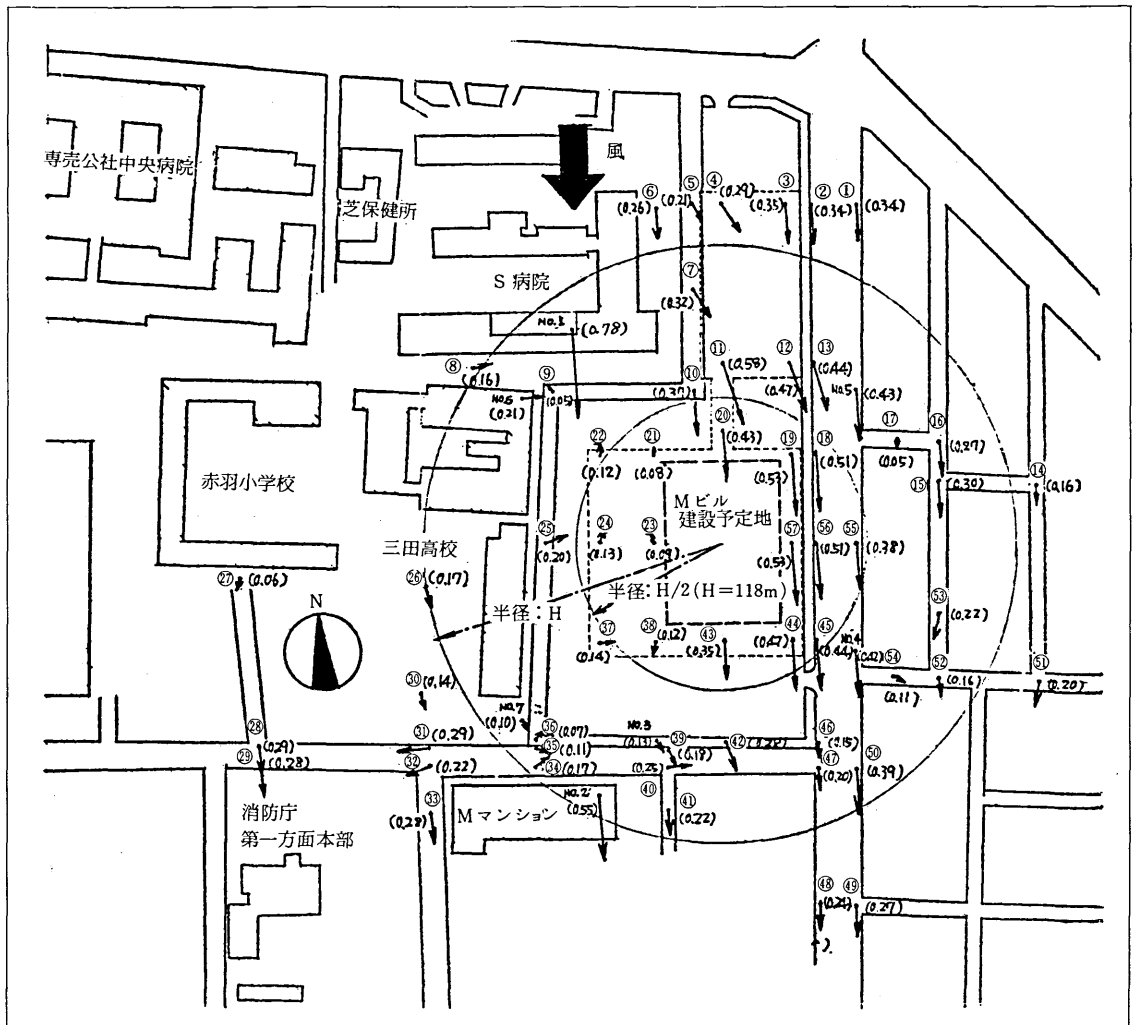


図14 Mビル建設前における風向風速分布(風向N)

ただし、カッコ内の値は U_∞ (6.0 m/s) で無次元化した相対風速 U_h/U_∞

測定高さ h は 6 mm (実物で 3 m に相当)

0.4以上を示した領域である。このような領域を建物建設による強風の発生域と考える。

図14, 15よりわかるように, Mビル建設による風速の増加が最も著しい場所は, 建物風上側の隅角部付近である。このことは, 前述した基本的な形状模型の結果とも一致する。特に, 測定点②のように, 建設前には, 既存のS病院の風下の風速の低い領域にあったのに, 建設後には, MビルとS病院との相隣関係により, 新しい風路となったような場所では, 風速の増加率が10倍程度になっている。ただし, 図15よりわかるように, 建物建設による強風の発生域 ($U_h/U_\infty > 1.0$ かつ $U_h/U_\infty > 0.4$) は, 建物を中心として半径H (建物高さ118m) の円内に限られている。

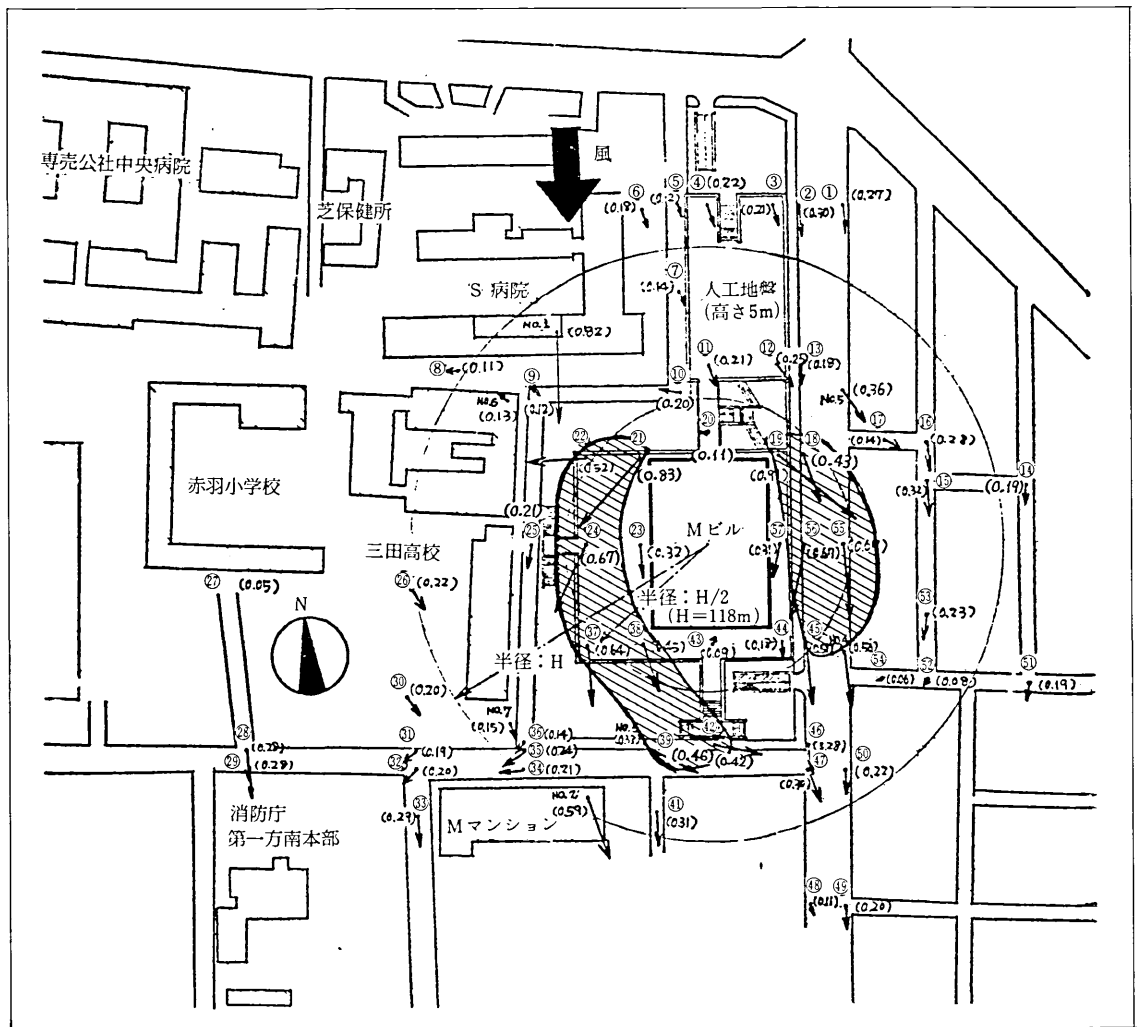
以上述べたことは, 北風以外の風向についても, ほぼ同様であった。

5. フェンスによる強風の防除に関する実験

4章の実験により, 建物周辺の強風の発生域が明らかとなったが, それを防除する手段として, 例えば植栽等の防風フェンスは有力なもの1つと考えられる。しかしながら, 建物周辺の気流は, 複雑であるので, 単に建物近傍にフェンスを設置しただけでは, 防風効果が期待できないこともある。ここでは, 模型の周辺の種々の位置にフェンスを設置して, 風速分布を測定し, 設置位置 x と防風効果の関係を求めると同時に, フェンスの長さ L_f , 高さ H_f , 空隙率 P を変化させ, それらの要因と防風効果の関係を調べた実験について述べる。

5. 1 実験概要

実験は, 図16に示すようなフェンスを, 4章の実験で用いた基本模型の周辺に設置して行った。実験方法,



装置, 測定高さ, 等は, 4章の基本的な形状をした模型を用いた実験と全く同様である。

実験の種類は, 表4に示すとおりである。

5. 2 実験結果

(1) 防風フェンスの設置位置と防風効果

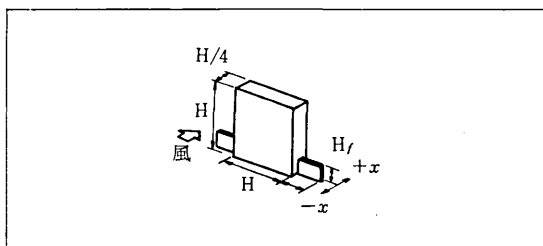


図16 基本模型+フェンス

表4 実験の種類

実験No.	変化させる要因	その他の要因
1	フェンスの設置位置 $x = -H/2, -H/4, H/4, H/8$	$L_f = H/2, H_f = H/4$ $P = 0, \theta_\infty = 0^\circ$
2	フェンスの長さ $L_f = H/4, H/2$	$x = 0, H_f = H/4$ $P = 0, \theta_\infty = 0^\circ$
3	フェンスの高さ $H_f = H/4, H/10$	$x = 0, \ell = H/4$ $P = 0, \theta_\infty = 0^\circ$
4	フェンスの空隙率 $P = 50\%$	$x = 0, H_f = H/4$ $L_f = H/2, \theta_\infty = 0^\circ$

図17 (1)~(3) にフェンスの設置位置 x が変わった場合の周辺の風速分布を示す。この図と, 4章の図8を比べるとわかるように, いずれの設置位置においても, フェンスがある場合には, ない場合に比べ, 模型の風上側隅角部にみられる強風域 ($U_h/U_\infty > 1.0$ の領域) は, 全くみられなくなっているか, または, 面積が減少しており, 防風フェンスを設置すれば, 何らかの防風効果があるものと思われる。特に, $x = 0$ (模型の側面に設置) の場合には, 周辺の風速の低減率が最も大きくなる。

(2) フェンスの高さ, 長さ, 空隙率と防風効果

図18(1)~(3)に, フェンスの高さ H_f , 長さ L_f および空隙率 P が変わった場合の風速分布を示す。これらの図と, 図17 (2), さらに, 4章の図8を比較するとわかるように, フェンスの各要因が変化すると, それによって風速分布も変化するが, いずれのフェンスにおいても, 模型の風上側角近くにおける強風の発生域はみられず, 防風効果は, H_f, L_f が減じたり, P が増加しても, それほど減じないものと考えられる。

6. ま と め

(1) 強風時の市街地における風速は, 当然のことながら, 測定高さが高いほど高い値を示す。

(2) 市街地における強風の継続時間は, 測定高さが高くなるほど長くなる。

(3) 実測結果と風洞実験結果を比較するといくつかの例外を除いて両者は, ほぼ近い値を示した。

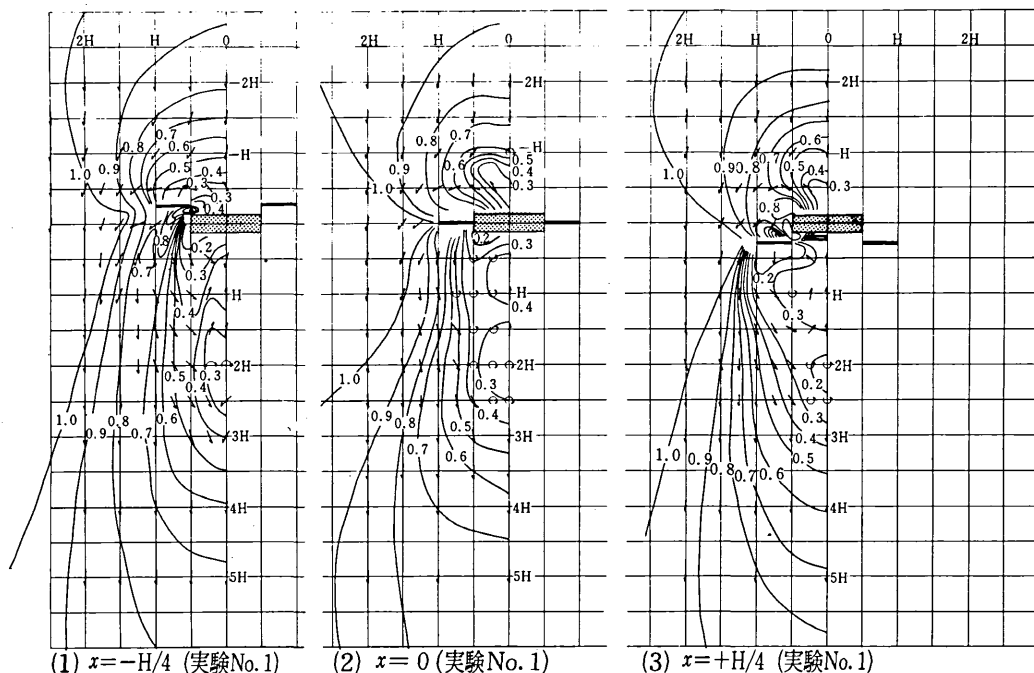


図17 防風フェンスの設置位置 x と模型周辺の風速分布

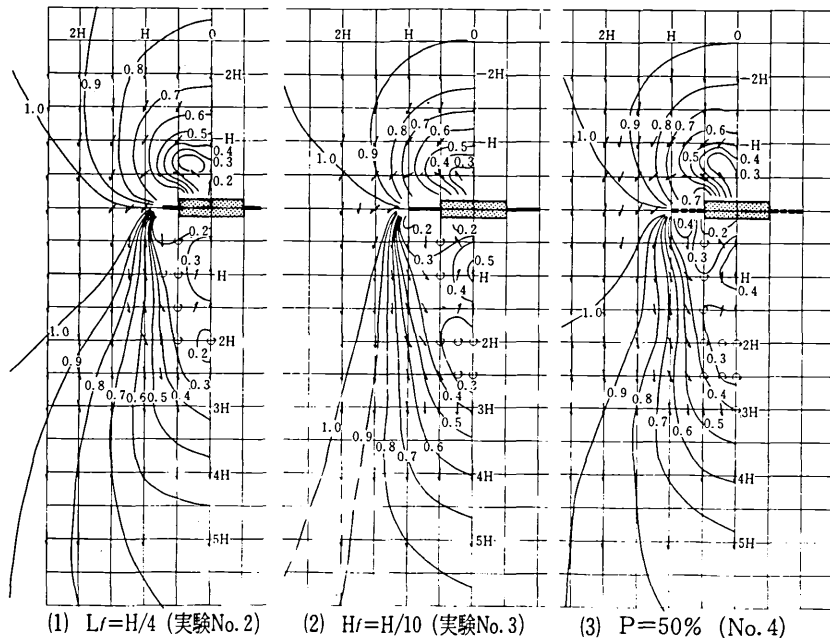


図18 防風フェンスの長さ L_f 、高さ H_f 、空隙率 P と模型周辺の風速分布 (U_h/U_0)

(4) 建物が建設されれば、周辺気流はそれによって複雑に変化し、細部にわたって流れを予測することは困難であるが、ほぼ次のようなことがわかる。すなわち、建物建設により風速が増加する場所は、単独で建っている建物の場合では、建物風上側の隅角部付近であり、群建築の場合では、それらの場所に加え建物間の隙間の風下に風速の増加する領域が生じる。また、建物にピロティがあれば、その風下に、風速の増加する領域が生じる。ただし、これらの強風の発生域は、建物を中心として半径 H (建物高さ) の円内に限られるものと思われる。

(5) 建物近傍に防風フェンスを設置した場合、フェンスの、設置位置、高さ、長さ、空隙率等の違いによって、周辺の風速分布は、異なるが、フェンスを設置しない場合に比べれば、何らかの防風効果がある。

(1975年1月8日受理)

参考文献

- 1) A. D. Penwarden :
"Acceptable Wind Speeds in Towns"
Building Research Establishment Current Paper, 1974
- 2) 亀井 勇 :
"中高層建築物相互間内の強風区域"
日本建築学会大会学術講演梗概集, 1974, 他多数
- 3) 関根 毅, 海野健一 :

"建築物周辺気流の性状に関する研究 (その1)"

日本建築学会大会学術講演梗概集, 1974, 他多数

- 4) 勝田高司, 村上周三, 池田耕一, 上原 清 :
"建物周辺気流に関する風洞実験と実測"
気象研究ノート第119号, 1974
- 5) 勝田高司, 村上周三, 池田耕一, 上原 清
"基礎的配置モデル周辺の風速と乱れの分布に関する風洞実験"
日本建築学会大会学術講演梗概集, 1974
- 6) 勝田高司, 村上周三, 池田耕一, 上原 清 :
"建物近傍にフェンスを配置した時の風速分布に関する風洞実験 (防風フェンスの最適な設置位置及び形状について)"
日本建築学会大会学術講演梗概集, 1974

注

- 注1) 三菱地所が建設中の三田ビルディング
- 注2) 済生会中央病院
- 注3) シヤトー三田
- 注4) この正方形の模型は、いわゆる超高層ビルを想定したものではなく、超高層よりはるかに多く建設される10~15階程度の建物を想定したものである。この種の建物に関する風の資料は、超高層建物のそれにとらず重要であると考えられるが、この程度の規模の計画では、風に関する予備調査が不十分であることが多いので、資料の整備が急務であると考えられる。
- 注5) ただし、模型近くの風速の勾配の大きい場所では、これより細かく測定し、模型から遠いところでは、これより粗く測定した。