

## 超高層ビル周辺における気流の特性

相馬清二\*

気象庁気象研究所

### Characteristics of Airflow Around High-Rise Buildings

By

Seiji Soma

Meteorological Research Institute, Tokyo

#### Abstract

The constructions of high-rise buildings have rapidly become popular of late in Japan. They have problems of their own wind loading against high wind. Recently, it has come into question that the gigantic buildings make the wind velocity around themselves change and increase locally. This problem has been studied by a method of the wind tunnel experiments, and the actual observations of wind around the buildings at Kasumigaseki by the help of Mitsui Real Estate Co. Ltd. in Tokyo could successfully find out some characteristics of the airflow around the high-rise buildings, though the weather conditions on that day were not so good because of the lack of strong winds.

はしがき

言うまでもなく、わが国は世界でも有数の台風の国であって、強風に関しては特に厳しい環境にある。昭和36年9月、四国室戸岬測候所で得られたような84.5米/秒という強風は米国でハリケーン記録された例を除いては他に例を見ないものである。またわが国の大都市は台風が直接上陸可能な太平洋沿岸に数多く並んでいることは風害の観点から見逃せないことである。

戦後の著しい傾向として、人口は都市へ集中し、市街地は際限なく拡張され、今なお膨張を続けている。平坦地の余裕のない処では丘を切崩し、海の埋め立てまで行なって市街地の拡大を図っている状態である。これらの市街地のスプロール化と共に、都市の近代化あるいは過密化対策として、ビルの高層化が急速に進められている。すでに都

内では、150米級の超高層ビルが三つも完成されており、この後に200米を越す巨大な高層ビルの建設も計画されているという。また、これらと平行して、超高層と呼ばれるほどのものではないが、10数階のビルが郊外の住宅地に、最近目立って多くなってきた。

強風災害の観点から見て、市街地ほど風の問題を抱えている処は少ない。例として、大都市ほど高層ビルの屋上、建物の角に大きな看板が見られるし、また空高く突き出ているクレーン、建設途中のビル鉄骨等、耐風上問題になりそうな構造物が多い。しかし、市街地の風に関しては余り研究が進んでおらず、その性状はまだ充分判っていない。特に、その乱流性状に関して不明の点が多い。超高層建造物並びにその付帯設備等の耐風設計の信頼度を高めるために、市

\* 気象研究所物理気象研究部第1研究室長

街地上の強風性状の研究は重要なことと思われる。

また、最近、超高層ビルの建設に伴って新たに生じた問題であるが、巨大な建造物の周辺では局部的に風が増速され、それによって隣接の家屋に強風上の影響をもたらすというのである。風の弱い場合は別として、台風が来襲して強い風をもたらすが、それより強い風域が局部的にも形成されることは、風害を助長する可能性もあって好ましいことではない。高層ビルの建設が急速に進んでいる際でもあるので、この問題を至急解明する必要があるように思われる。

都市における風の問題の中で、ここでは以上の二つの問題を取りあげた。ただし、後者については、現地観測風洞実験によって若干の成果を得たが、前者の市街地上の強風時の乱流構造に関しては、ここ数年間、関東地区へ台風の来襲は見られず、その資料は得られなかった。しかしながら、計測器（超音波風速計 S A T）を整備して今後も強風観測を続ける計画になっているので、資料入手次第続報として研究報告することにした。以下では超高層ビル周辺の気流の問題と、新たに開発された計測器（S A T）について述べたい。

### 1. 超高層ビル周辺の風の特徴

#### (i) 現地観測

地形によって気流は大きな変化を受けることは気象学の常識となっている。超高層ビルのごとく大きく気流に立ちかかっている建設物も、その周辺になんらかの気流変化をもたらすであろうことは想像に難くないことであった。しかし、その影響がどの程度のものであるかは、これまでは、研究の対象にすらなっていなかった。この種の現

地資料は一般に入手困難なものであるが、三井不動産株式会社の御好意により、霞ヶ関超高層ビル周辺において観測を行なうことができ、貴重な資料を得ることができた。このビルは典型的な市街地とでも呼び得る都心にあつて、周辺は何れも4〜8階のビルに囲まれている。霞ヶ関超高層ビルは38階、高さ147米、その水平断面は長辺方向80.4米短辺方向で42.4米である。このビルに最も近接している建物は南々西方向にある6階建ての東京クラブビルであつて、両者の間隔は約27米である。また超高層ビルの北西側と南東側には割合に広い空間がある（図-1）。

#### (ii) 風の観測

現地観測は昭和44年11月18日〜19日の二日間に亘って行なわれた。超高層ビル周辺の気流分布を求めるため、地上にピラム型風向風速計11ヶ、エーロベン型風速計1ヶおよび吹きながし4本を第1図に示されるごとく配置した。このほかに、霞ヶ関超高層ビルの屋上アンテナポール

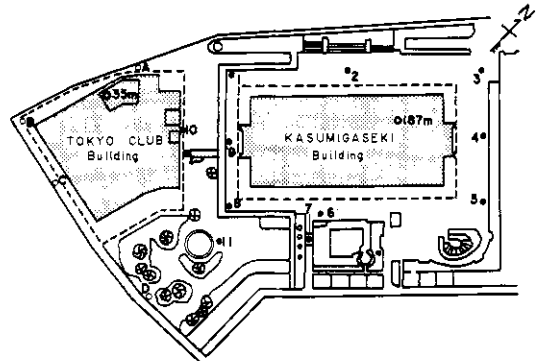


図-1 霞ヶ関超高層ビルと隣接ビルの配置ならびに現地気流観測の観測点

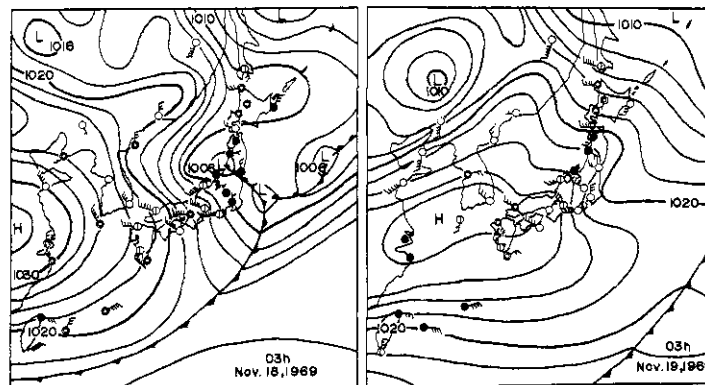


図-2 観測当日の天気図

に取りエーロベン風速計（高度187米）と東京クラブ屋上の三杯型風速計の資料も解折に利用された。風速値はピラム型風速計については5分間平均値、エーロベンおよび三杯型風速計については10分間平均値が用いられている。

観測期間中の一般風向は、気圧配置が西高東低であったため北西であった。しかし、風速は余り強くはなく、ビル屋上の187米の高度で5~7米/秒に過ぎなかった。天気は両日共快晴であった。（図-2）

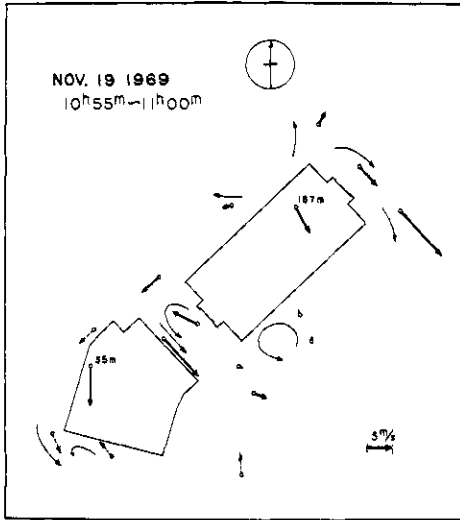


図-3 霞ヶ関超高層ビル周辺の気流分布；実線の矢印は風向並びに風速（5分間平均）、点線の矢印は吹流しによる風向を示す。

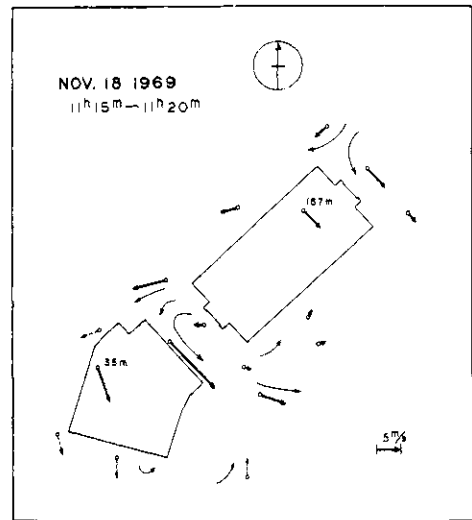


図-5 霞ヶ関超高層ビル周辺の気流分布；実線の矢印は風向並びに風速（5分間平均）、点線の矢印は吹流しによる風向を示す。

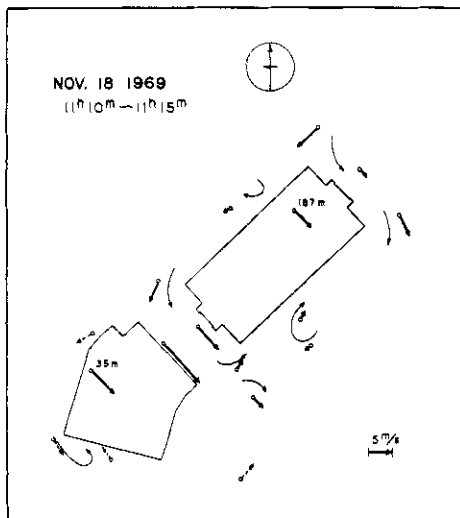


図-4 霞ヶ関超高層ビル周辺の気流分布；実線の矢印は風向並びに風速（5分間平均）、点線の矢印は吹流しによる風向を示す。

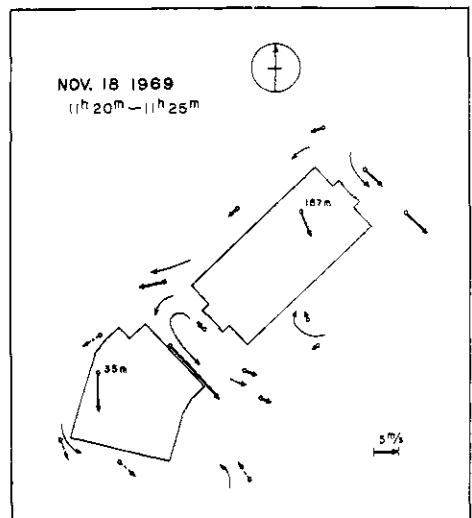


図-6 霞ヶ関超高層ビル周辺の気流分布；実線の矢印は風向並びに風速（5分間平均）、点線の矢印は吹流しによる風向を示す。

## 2. 超高層ビル周辺の気流分布

### 地表風の水平分布

実地観測で得られた超高層ビル周辺の地表風分布を第3図のAからEにかけて示した。これによると、個々の気流はかなり複雑な様相を呈しているが、全体の傾向として気流はビルに突き当たったのち測面を廻り込んで風下に向っているように見える。ここで特異と思われるのは、このビルと東京クラブビルとの間(観測点A10)では風速が異常に強くなっていることである(図3~6)。この風速を霞ヶ関超高層ビル屋上(高度187米)の風速値と比較して見ると、地表の方がはるかに大きい。地表で平均12.0米/秒吹いているのに、屋中では6米/秒の風速に過ぎない。両者の比率が2.5倍に達したこともあった。地表のこの値と東京クラブビル(高度35米)とを比較して見ても、この傾向には変りない。つまり、地表、35米および187米の風速を総じて見ると、地表で最も風速が大で、上空に向うにつれて順次風速が減じている。このような風速高度分布は接地気層の一般概念に反することである。超高層建造物のない一般の市街地で、この時刻に、どのような風速高度分布を示していたか調べる必要はあるが、これに対応する観測データは東京タワーの他では得られていない。しかもここでは地表のデータがない

ので、厳密な比較は困難であるが、26米以上の高度について見ると、第1表の如くなっていた。

それによれば、霞ヶ関ビルから南へ1400米離れている東京タワーでは、上空に向うほど風速は大で、下層ほど弱いという普通の風速高度分布を示している。これからすると、霞ヶ関超高層ビル周辺に見られる風速の異常高度分布は、やはり巨

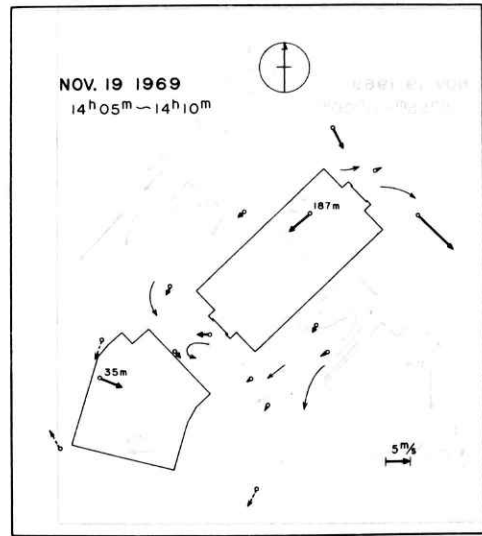


図-7 霞ヶ関超高層ビル周辺の気流分布；実線の矢印は風向並びに風速(5分間平均)，点線の矢印は吹流しによる風向を示す。

第1表 東京タワーでの風速(米/秒)

1969. 11.

日時		高さ		26(米)		107(米)		253(米)	
18日	12時00分	NNW	4.5	N	7.3	NNE	8.0		
19日	12時00分	N	2.7	NE	3.0	NNE	5.0		

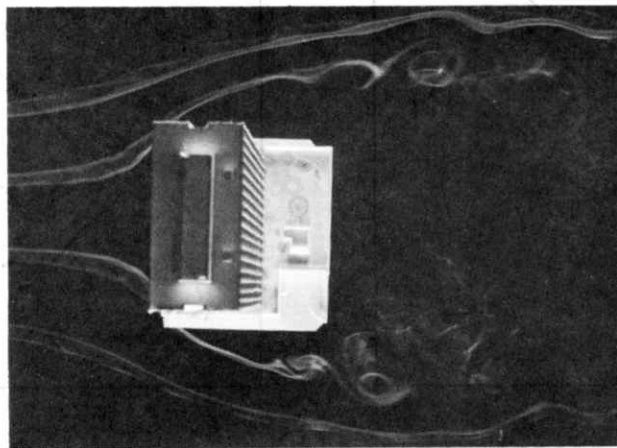


写真-1 高層ビル周辺気流の煙による観察

大な建造物に主要原因があるものと考えざるを得ない。なお、地表での異常と思われる強風地域は超高层ビル側面に当たっている。写真1に見られるようにここでは収束流の生ずる部分であって、流体の基本概念にしたがった増速気流が自然風の場でも存在することを示しているのであろう。No.10の測定点、すなわち超高层ビルの南西側に強風の現われるのはNW~NNWの狭い風向範囲に限られ、NE風向などの場合には全く事情は異なってくる。(図-7)

### 3.理想化市街地模型による実験

実際の市街地では、建物の構造並びにその配置は複雑で、気流の一般的特徴をつかまえることは困難なことが多い。そこで、市街地を理想化した模型を作製し、それによって超高层ビルの周辺気流に及ぼす影響を調べて見た。

理想化市街地模型というのは、写真2に示されたような木製ブロック(50耗×25耗、高さ50耗)を地表になぞらえた平板上に並べたものである。超高层ブロックの影響を調べるために、底辺50耗×50耗、高さ250耗の背の高い木製ブロックを別に用意した。そして、これが理想化市街地の中に置かれた場合に、周辺気流がどのように変化するかを測定したのである(図-8~11)

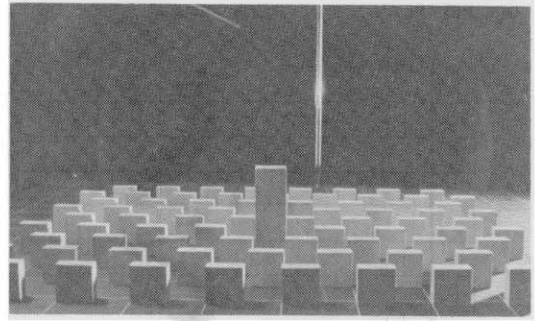


写真-2 理想化市街地の風洞実験, 写真中央のやや右に見えるのは熱線風速計

#### (i) 実験結果

まず、小型ブロックだけを並べた場合の風速水平分布を第4図Aに示そう。この場合の風速測定高度は平板から50耗の高さ、すなわち小型ブロックと同じ高さであった。それによれば、風速は極めて乱れているが、平均的には水平方向にほぼ一様な分布を示している。しかしながら、小型ブロックを一つだけ取り去り、そこへ超高层ビルになぞらえた250耗の背の高い大型ブロックを置いて、同様な測定を行なってみると、気流の状態は前者と全く異なってくる(図-11)。大型ブロックの斜め背後に、小型ブロック群だけの実験(図-8)では見られなかった気流の増速現象が見

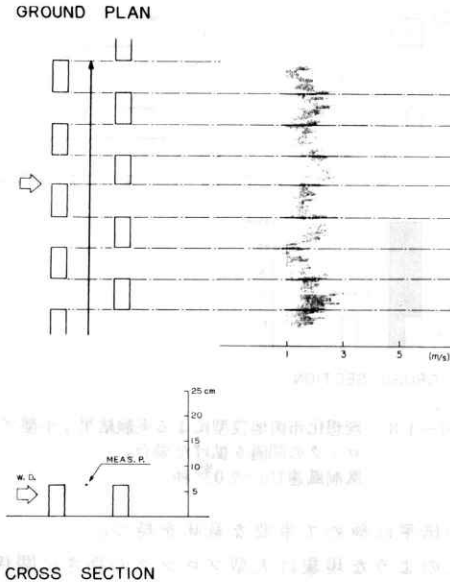


図-8 理想化市街地模型による実験結果を示す。実験のさいの風洞風速 $U_0=7.0$  m/秒

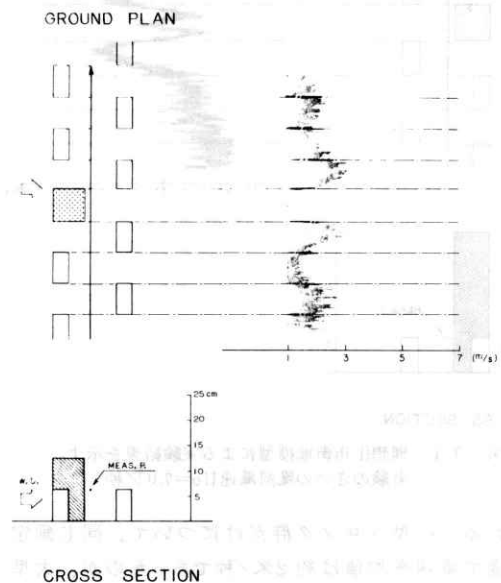
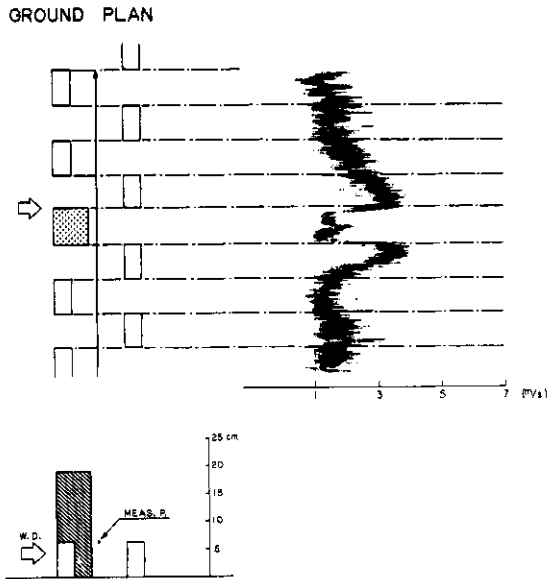
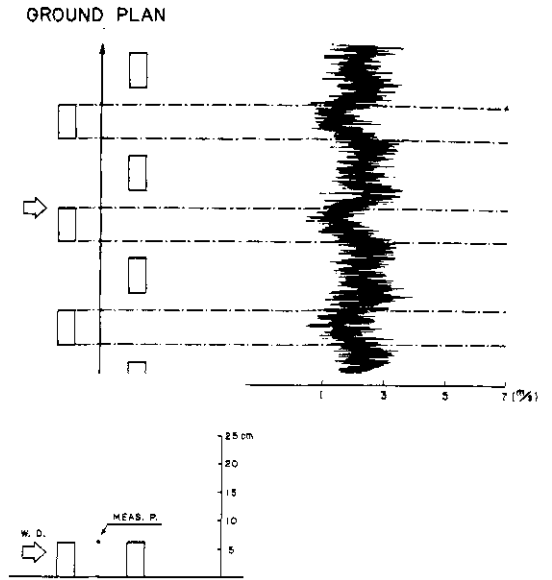


図-9 理想化市街地模型による実験結果を示す。実験のさいの風洞風速 $U_0=7.0$  m/秒



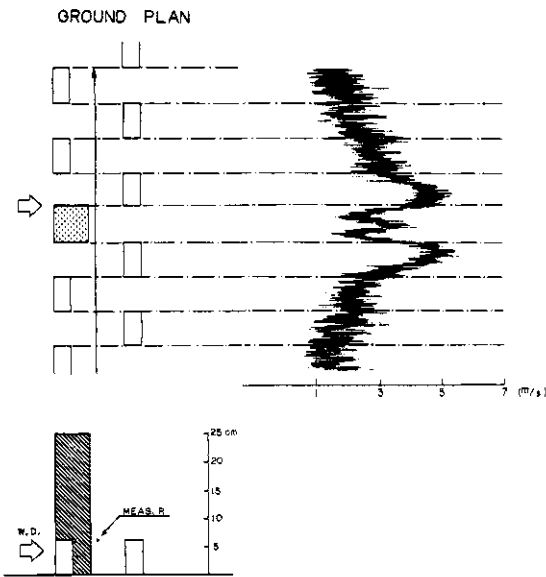
CROSS SECTION

図-10 理想化市街地模型による実験結果を示す。  
実験のさいの風洞風速  $U_0 = 7.0$  / 秒



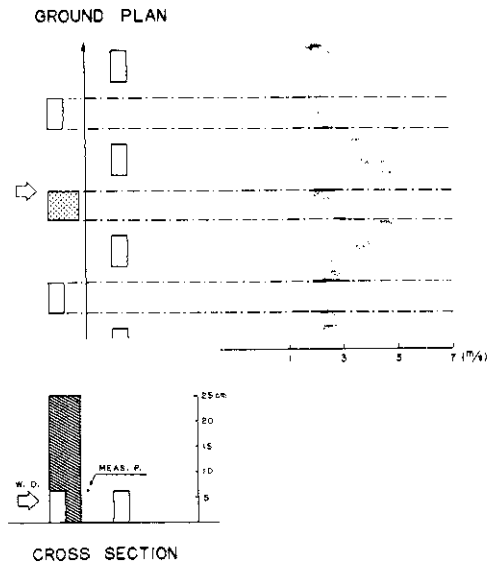
CROSS SECTION

図-12 理想化市街地模型による実験結果, 小型ブ  
ロックの間隔を拡げた場合。  
風洞風速  $U_0 = 7.0$  / 秒



CROSS SECTION

図-11 理想化市街地模型による実験結果を示す。  
実験のさいの風洞風速  $U_0 = 7.0$  / 秒



CROSS SECTION

図-13 理想化市街地模型による実験結果, 小型ブ  
ロックの間隔を拡げた場合。  
風洞風速  $U_0 = 7.0$  / 秒

られる。小型ブロック群だけについて、同じ測定高度で風速平均値は約2米/秒であったのが、大型ブロックの場合では、その約2.3倍の強い風速となる。もし、自然風にこれを当てはめて考えると、

この倍率は極めて重要な意味を持つ。

このような現象は大型ブロックの高さに関係していることは間違いない。そこで、250耗のブロックの他に200耗、125耗のブロックを用いて、

同様な測定を行なって見た。それによると、大型ブロックの高さが減ずにつれて異常と思われる強風は次第に弱まってくる(図-10、図-9)。そして小型ブロック群だけになれば、どこでも同じような平均風速値になる。

このような理想化された市街地の模型実験結果と覆々関超高層ビルの観測結果とを同一視することには無理があろう。しかし、理想化市街地模型による実験結果は、低い家屋が並んでいる地域に巨大な超高層ビルが建った場合には、これと似た現象の起こることは推論できる。その影響の度合はビルの高さに関係することも、この実験から推論が可能である。なお、図-12、図-13には、小型ブロックの配列間隔を前者の2倍に広げて、同様な測定を行なった実験結果を示したが、この図から見た処では間隔を広げても大型ブロック周辺の気流パターンは、狭い場合と比べて大きな変化はなかった。

#### (ii) 風速高度分布

接地気層、特に市街地上での風速は大きな傾度を持った高度分布を示すのが普通である。超高層ビル周辺の気流増速の現象も、対数法則による高度分布を持った一般風の中で起こった現象である。前節の実験においても、これに関する考慮が必要であり、乱流境界層の厚さは高層ビルを想定した大型ブロックの高さよりも大であることが必要である。

理想化市街地模型の実験の際に、大型ブロックは、乱流境界層の厚さを考慮して小型ブロック群の最前列から70網風下の位置に置かれた。そこでの風速高度分布は第6図に示されるように、ほぼ対数法則に従っていた。ただし、小型ブロックの高さに相当する50耗以下の気層内では、風速は高さと共にexponentialな増加を示している。乱流境界層の厚さは約200耗で、大型ブロックのそれよりは薄かったが、これが大型ブロック周辺の気流変化の現象に対して決定的な影響をもたらすことはないようであった。これは200耗の高さの大型ブロックによる実験でも、その周辺でかなりの気流変化を生じていることから明らかである。なお、この風速高度分布は、特に50耗以下において、測定点が小型ブロックのすぐ背後か側面に位置するかによって複雑に変化する。図-14のごとき分布型だけを掲げたのは、この型が比較的多いこと並びに、井上(1963)によれば、植

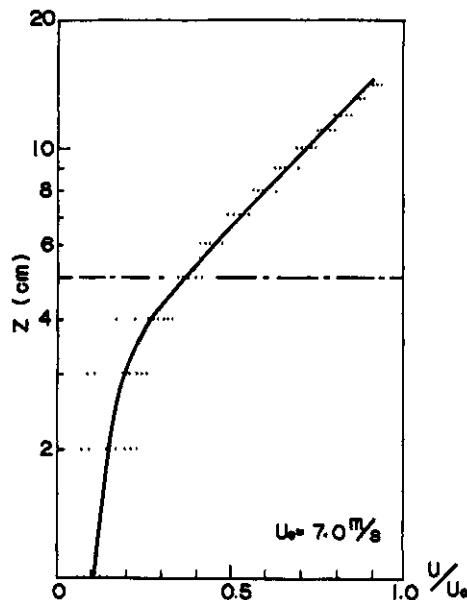


図-14 理想化市街地模型における風速高度分布の一例  
風洞風速 $U_0=7.0$ /秒  
たて軸 高さ(Z), よこ軸 風速( $U/U_0$ )

物群落内部の風速高度は理論的にexponentialな分布型になることを考慮にしたためである。

実際の市街地の中で、どのような気流分布を示すかを調べた研究は極めて少ない。ただし、関根(1958)の報告の中に、市街地で、このような風速高度分布を観測しているデータが見られる。

以上から、前節での実験は極めて理想化された状態で行なわれているが、自然風と似たような乱流境界層を持つ気流内で行なわれた実験であり、超高層ビルが周辺気流に及ぼす影響を定性的に表わしているものと考えられる。

#### 4. 強風用超音波風速計

自然風には数10サイクルの変化の早い乱流成分も含まれている。従来は、このような高周波の風速変動は余り問題にされていなかったが、建築物あるいはその付帯設備の耐風設計に際して、少なくとも5サイクル程度の乱流スペクトルの性状を知っておく必要のあることが最近いわれ始めている。しかも、市街地の風について、このような問題が多いように思われる。強風用で、かつ早い変動に追いつき可能な風速計は案外少なく、例えばエーロペンあるいは三杯型風速計にしても、そ

の時定数が1~2秒であるため、5サイクルの風速変動を検出することはできない。以上のような事情から、ここでは、超音波風速計の活用を考えた。

超音波風速計の特徴は数10サイクルの早い変動にも追いつき、かつ風速を三次元方向に分離して測定可能なことである。ただ、どの程度の強風まで測定可能かは、今まで 厳密に確かめられていなかった。かつて航空機に超音波風速計を取り付けて対気速度を測ったさい、風速センサーのプローブ付近で生ずるカルマン渦のため、風速記録にノイズが加わって、乱流計測が不可能となったという報告もある。

気象庁の風洞を用い、この点を特に留意して、80米/秒まで風速をあげて超音波風速計の試験を行なった。それによれば、60米/秒までは問題なかったが、それを越すと前述のごときスパイク状のノイズが記録紙上に現われた。スパイク状ノイズは風洞内での一様気流の場合には、明確にそれと識別できるが、自然風の乱れが混った場合には、自然乱流と区別しにくくなる。従ってこの超音波風速計の使用限界は一応60米/秒までということになる。ただし、強度の点では80米/秒の風速にも充分耐えた。なお、今回製作された超音波風速計は、従来のものとは異なって、固定されたまま、広い風向範囲に亘って風速三成分を測定できる機構になっている(写真3~4)。

#### 測定例

この風速計は市街地上の代表的乱流を観測するため、まず、霞ヶ関超高層ビルの屋上アンテナボール(高度186米)に取りつけられた(写真5)。しかしながら、この設置以後、関東地区に台風が

来襲しなかったこと、並びに、東京タワー方向からと思われる強力な電波によって、しばしば電波障害が超音波風速計の電気回路内に入り込むことがあって、十分な資料を得ることができなかった。そこで、京王プラザホテルの御好意を得て、昭和46年8月に同ホテルの屋上(高度約200米)にこれを移設して強風の資料を得るべく、待機している。なお、図-15に、超音波風速計で得られた風速記録を示したが、これによれば、極めて早い変動も検出していることがうかがわれる。

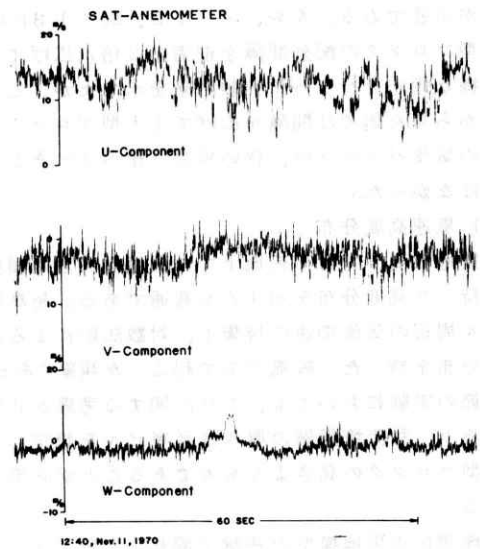


図-15 超音波風速計による自然風の観測例、上からそれぞれ主流成分(ほぼ南風)、よこ成分および鉛直成分

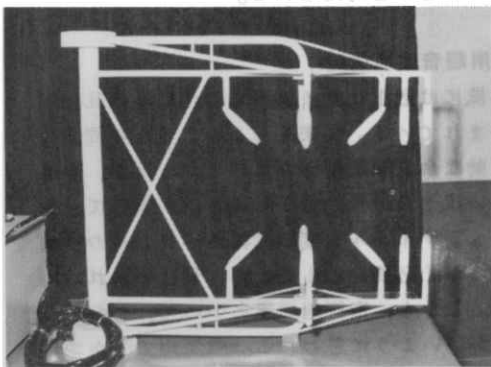


写真-3, この研究のために開発された超音波風速計

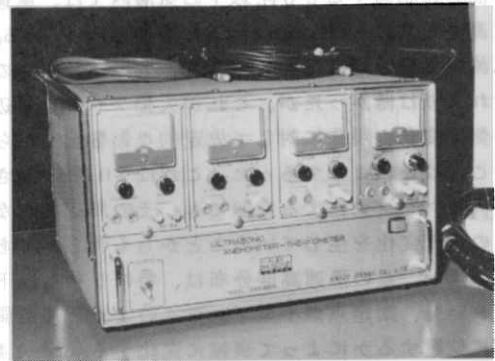


写真-4 感部(写真3)および増巾部(写真4), 感部の寸法 たて80cm×よこ100cm



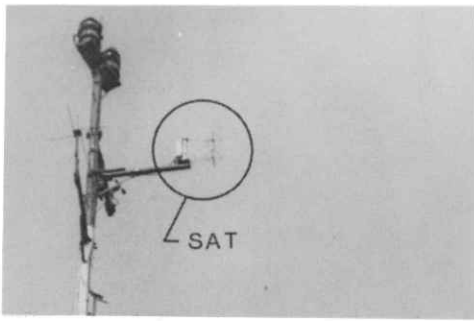


写真-5 超高層ビル屋上アンテナポールに取り付けられた超音波風速計，略称（SAT）

## 5. むすび

都市風研究の一環として、超高層ビル周辺の気流の問題を現地観測並びに風洞実験によって行ってきた。霞ヶ関超高層ビル周辺での現地資料によると、

隣接した建物との相互干渉による分もあるかも知れないが、ビル周辺では、予想の2倍にも達する風速があつた。理想化された市街地模型による風洞実験からも同じような値が得られた。

流体の中に、このような性質のあることは理論的には知られてはいたが、超高層ビル周辺の自然風にも、それが現われることがこの研究で明白になったのである。ただし、実測並びに風洞実験で得られた2倍という数値は予想を上廻る値である。強風の際には、この倍率は減少するものと思われるが、しかし、一般の場合より風が強いという傾向は依然として残るはずである。

市街地上空の乱流構造に関する研究は、強風条件に恵まれなかったこと並びに技術上の問題があつて、研究は進まなかつた。これに関しては資料を得次第報告の予定である。 以上