中空層を有する建築物の周辺気流

WIND TUNNEL EXPERIMENTS FOR AIR FLOW AROUND BUILDINGS WITH VOID SPACE

黒谷 靖雄*, 関根 毅**
Yasuo KUROTANI and Takeshi SEKINE

Wind tunnel experiments were conducted to study the relation between the air flow and the shape of buildings, concentrating on the location of the void space through which air can pass.

The strong wind region near the ground becomes minimum when the distance from the ground to the bottom of the void space is nearly equal to the building width, in case that the building height is 2 to 5 times its width. As the location comes near the ground, the strong wind region increases rapidly.

Keywords : *wind tunnel test, air flow around buildings, wind disaster, strong wind, void, pilotis[Fr.]*

風洞実験, 建築物周辺気流, 風害, 強風, 中空, ピロティ

1. 序

高層建築物に風が作用すると、その周辺にはその建築物の建設以前より風速が増加する領域と、風速が低減する領域が生じることは、周知の事実である。特に、地表面近傍に生じる風速増加域では、物の飛散、歩行障害などが生じ、風速低減域では換気・通風の悪化が生じる。したがって、建築物の基本的形状とその周辺気流の関連については、既に多くの資料^{1)~3)}が蓄積されている。さらに、地表面近傍の風速増加域を低減させる試みとして、防風フェンスの設置⁴⁾のほかにも、セットバック⁵⁾、壁面の傾斜化⁶⁾、コーナークット^{7)~10)}、および中空層の設置¹¹⁾など、基本的に建築的見地からの提案もされており、いずれもその効果が認められている。

本研究は、建築物の建設に伴い発生する風害の抑制を基本的に建築的見地から目指す一連の研究^{6),7)}の一環をなすものであり、中空層を有する建築物について、中空層の設置位置とその周辺気流の関連を3次元的に明らかにすることを目的として実施した風洞模型実験の結果を報告するものである。内容的には既報¹¹⁾と関連するが、既報¹¹⁾がアスペクト比が2の矩形建築物を対象としているのに対し、本研究においては、アスペクト比が2~5の矩形建築物を対象としている。

なお、建築物に中空層を設け、中空層の内部を生活空間とする状況では、中空層内部の気流性状が重要な問題

となる。そのため、地表面に接して中空層を設け、ピロティ形式とした場合のピロティ内部の気流性状^{12)~14)}については、既に資料が蓄積されている。本研究においては、建築物周辺の気流性状に焦点を絞り、風害の抑制に有効な中空層の設置位置を考察しているが、中空層内部の気流性状に関しても若干の考察を加えている。

2. 記号

W : 模型幅 (40 mm 一定)

D : 模型奥行 (40 mm 一定)

H : 模型高さ (H_0 : 基準高さ 80 mm)

H_s : 模型風上側の気流の淀み点の高さ

H_v : 中空層の中心高さ

T_v : 中空層の厚さ ($1/8 H$ 一定)

δ : 境界層厚さ (平均風速が境界層上空風速の 99 % に達する高さ)

$1/n$: ベキ指数

λ_p : スペクトルスケール

U_∞ : 風洞基準風速 ($X=0$, $Y=0$, $Z=600$ mm の平均風速, 8 m/s 一定)

U_z : 高さ Z における平均風速

U_H : 模型高さ H における平均風速

U : 模型周辺の平均風速

U_s : U に対応する位置での風洞気流平均風速

* 米子工業高等専門学校建築学科 助教授・工博

** 広島大学工学部 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Yonago National College of Technology, Dr. Eng.

Prof., Faculty of Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

S_x : 模型設置に伴う平均風速の変化比 U/U_s が
 $X\%$ 以上となる領域の面積
 $\sqrt{u^2}/U$: 乱れの強さ

3. 実験方法

1) 風洞: 実験に用いた風洞は, 米子工業高等専門学校建築学科所属のエッフェル型吹出式境界層風洞である。本風洞の測定部断面は, $1.4 \times 0.8 \text{ m}$ であり, 測定部の概要は図-1 に示すとおりである。便宜上, XYZ 座表系を同図に示すように設定する。乱流境界層の作製に当たっては, 平均風速の鉛直分布(後述)が, ベキ指数 $1/3$ の指数法則に従うことを一応の目標とし, 図-1 に示すように, 測定部の風上側に $40 \times 40 \times 20 \text{ mm}$ の小ラフネスと, $80 \times 80 \times 40 \text{ mm}$ の大ラフネス, および, $10 \times 10 \text{ mm}$ の二次元ラフネスを試行錯誤的に配列した。なお, 図中の大ラフネスの中でアミカケ表示した部分は, 高さを 80 mm とした部分である。この部分は左右非対

図-1 風洞測定部の概要

称であるが, これは風洞気流の水平分布がより平坦になるよう試行錯誤した結果である。 U_s は, 8 m/s 一定である。

2) 模型: 実験に用いた模型は, 表-1 に示す 24 種の中空層を有する模型と, 表-2 に示す 13 種の矩形模型であり, いずれの模型も幅 $W 40 \times$ 奥行 $D 40 \text{ mm}$ 一定である。中空層を有する模型は, 表-1 に示すように, アスペクト比 (H/W) により 4 つのシリーズに分類される。中空層の厚さ T_v は, 模型高さ H の $1/8$ 一定である。中空層内部の支柱は, 表-1 に示すように 3 本であり, 風洞気流に対して左右非対称である。これは, 中空層内部の気流性状をできる限り支柱の影響を避けて測定するためである。このことにより, 厳密には, 模型周辺の流れ場は左右の対称性を欠くことになるが, 支柱による影響は風下側の狭い範囲に限定されている(後述)ため, 全体の流れ場に与える影響は小さい。なお, 中空層を有しない 13 種の矩形模型は, 中空層の設置に伴う周辺気流の変化を考察するための対照標準として用いる。風洞断面に対する模型の見付け面積の比(閉塞率)の最大値は, $H 200$ の模型において 0.71% であり, 模型による風洞気流の閉塞効果は問題とならない¹⁵⁾。各模型とも, 模型の中央が風洞地面盤上 ($X=0, Y=0$) で一致するように設置した。

3) 模型周辺気流測定領域および測定点: 模型周辺気流の測定は, X 方向には模型の中心を基準として風上側に $3D$, 風下側に $6D$, Y 方向には模型の中央で流れ場

表-1 中空層模型

H2Vシリーズ模型		H3Vシリーズ模型		H4Vシリーズ模型		H5Vシリーズ模型
単位: [mm]
模型略号	H_v/H	模型略号	H_v/H	模型略号	H_v/H	模型略号	H_v/H
H2V0	1/16	H3V0	1/16	H4V0	1/16	H5V0	1/16
H2V1	1/8			H4V1	1/8		
H2V2	2/8	H3V2	2/8	H4V2	2/8	H5V2	2/8
H2V3	3/8			H4V3	3/8		
H2V4	4/8	H3V4	4/8	H4V4	4/8	H5V4	4/8
H2V5	5/8			H4V5	5/8		
H2V6	6/8	H3V6	6/8	H4V6	6/8	H5V6	6/8
H2V7	7/8			H4V7	7/8		

表-2 矩形模型

Hシリーズ模型	
単位: [mm]
模型略号	H
H020	20
H030	30
H040	40
H050	50
H060	60
H070	70
H080	80
H100	100
H120	120
H140	140
H160	160
H180	180
H200	200

がほぼ左右対称であるとして、 $0 \sim 3W$ (一部 $4W$)、 Z 方向には、 $0.2W \sim H+W$ の範囲で行った。測定点は、模型の周辺に 3 次元的に設定されており、表—1 に示す H4V、H5V シリーズの模型については、中空層の内部にも設定されている。測定点の総数は模型により異なるが、中空層を有する模型については 2 063～4 217 点であり、矩形模型については 821～3 433 点である。模型近傍における最小測定点間隔は、模型幅 W の $1/8$ である。

4) 風速・風向測定および解析装置：風速の測定には、定温度型熱線風速計（日本科学工業製、温度補償ユニット付）を用い、センサーはタングステン（ $5\mu\phi$ ）製 I 型熱線プローブを横置き（熱線部分が鉛直方向）でを使用した。本風速測定方法は、風速測定時鉛直面内において強い指向特性があるため、模型の風上側と風下側の壁面近傍のように、下降気流もしくは上昇気流が顕著な場所では大きな誤差を生じるが、風向変動が小さい模型側方の corner-flow 領域での誤差は小さい⁷⁾。また、地表面近傍の wake 領域においては、現在各方面で多用されている無指向性のサーミスタ風速計との対応は良好であるが、ベクトル演算形式の風速測定でないことに伴う誤差は大きい⁷⁾。したがって、結果の考察においては、模型の風上側および風下側の wake 領域の風速については定性的扱いをすることとする。風向は、ほぐした絹糸（長さ約 10 mm）を用いて、タフト・スティック法で測定した。模型周辺気流の風速解析は、パーソナル・コンピュータ（日本電気製 PC-8801）に A/D 変換モジュール（ネオローク電子製 PNC-1209）を組み込み、風速の実質分解能約 0.005 m/s、A/D 変換周期 10 ms、サンプリング数 2 000 点で行った。

4. 風洞気流性状

実験に用いた風洞気流の気流性状を、図—2 に示す。図—2(a) は、模型設置位置（ $X=0$ 、 $Y=0$ ）における風洞気流の平均風速と、乱れの強さの鉛直分布を示している。同図によれば、平均風速の鉛直分布は、 $Z=25 \sim 300$ mm ($Z/H_0 \approx 0.3 \sim 3.8$) の範囲内で、おおむねべき指数 $1/3$ の指数法則に従っていることが明らかである。平均風速の鉛直分布は、 $X=0$ より風上側では、さらに下層までべき指数 $1/3$ の指数法則に従うが、模型周辺気流の測定領域内での気流性状の安定性を考慮し、 $X=0$ を模型設置の基準点とした。境界層の厚さ δ は、約 300 mm であり、乱れの強さは、高さ $Z=80$ mm ($Z/H_0=1$) において約 20 % である。

図—2(b) は、模型設置位置（ $X=0$ 、 $Y=0$ ）におけるスペクトルスケール λ_p の鉛直分布を示している。スペクトルスケールの算出においては、100 Hz のローパスフィルタを用い、A/D 変換周期 5 ms、サンプリング数 2 048 点でサンプリングし、MEM (Burg) 法により

(a) 平均風速・乱れの強さ (b) スペクトルスケール
図—2 風洞気流鉛直分布 ($X=0$ 、 $Y=0$)

スペクトルを求めた。同図によれば、スペクトルスケール λ_p は、 $Z=20 \sim 160$ mm まで、ほぼ高さ Z の $1/4$ 乗に比例して増加している。実測値として仮に、

$$\lambda_p = 200 Z^{1/4} \text{ (Berman)} \dots\dots\dots (1)$$

を想定し¹⁶⁾、縮率をパラメータとして表示すれば、図中の破線で示すようになる。これより、本風洞測定部には、実物の $1/500 \sim 1/600$ のスペクトルスケールが再現されたことになる。

以上のことより、この風洞気流は、平均風速と乱れの強さおよびスペクトルスケールの鉛直分布に関して、市街地上空の大気境界層を、おおむね的確にシミュレートしているといえる。ただし、本実験においては、縮率を $1/600$ とすると境界層の再現高さ δ は 180 m 程度であり、高さ H が 180 mm と 200 mm の模型の δ/H は、それぞれ約 1.7 と 1.5 である点に注意を要する¹⁷⁾。

5. 実験結果

5.1 高さの異なる矩形模型の周辺気流

表—2 に示す幅 W 40×奥行 D 40 mm が一定で、高さ H のみが異なる矩形模型 13 種について、その周辺気流を 3 次元的に測定した。結果の一部を図—3 と図—4 に示す。

図—3 は、模型周辺気流の平均風速 U を同一点の風洞気流平均風速 U_s で基準化した風速比、すなわち、模型設置に伴う平均風速の変化比 U/U_s の分布を表している。同図には、 $Z/W=0.2$ ($Z=8$ mm) の XY 水平面と、模型中央である $Y=0$ の XZ 鉛直面、および、それと直交する $X=-3D$ の YZ 鉛直面に、10 % 間隔の等値線と、各面内の測定点（図中・印）を、さらに、 D 間隔ごとの YZ 鉛直面に 90 % と 110 % の等値線を表示している。

図-3 矩形模型の周辺気流分布 (U/U_s) 図-4 矩形模型の風向と U/U_H の分布

図-4 は、模型中央を通る XZ 鉛直面内の風向（図中細矢印）と、模型周辺気流の平均風速 U を模型設置中心位置における模型高さの風洞気流平均風速 U_H で基準化した風速比 U/U_H の分布、および模型の風上側隅角部近傍（ $X=-25$, $Y=25$ ）における風向（図中太矢印）を表している。なお、風向の表示で円形あるいは扇形の

表示は、その位置でタフトが回転もしくは扇形の範囲で激しく振れたことを意味している。

これらの実験結果から得られた知見の内、①模型高さと風速変化比 U/U_s の最大値との関係、②模型高さと模型側方の風速増加域面積との関係については、すでに既報³⁾で報告しており、さらに、中空層を有する模型に関する結果とともに図示するので、ここでは結果の要約のみを記す。

- ① 風速増加域の平均風速変化比 U/U_s の最大値は、高さ H にほぼ比例して増加する。
- ② 模型側方の風速増加域の面積は、高さ H の増加に伴い二次関数的に増大する。なお、地表面に近いほど風速増加域の面積増加が顕著である。

模型風上側の気流の淀み点は、厳密には壁面風圧の測定により決定されるが、簡便的に、模型の中央を通る XZ 鉛直面内、および模型の風上側隅角部近傍の風向をもとに、模型風上側の気流の淀み点の高さ H_s を求めた。その結果は、中空層を有する模型に関する結果とともに図-7 に示す。これによれば、模型のアスペクト比が1～3の範囲では、アスペクト比の増加に伴い気流の淀み点の相対位置 H_s/H は上昇するが、アスペクト比が3～5では、ほぼ一定（ $H_s/H=0.83$ ）となることが明らかである。

5.2 中空層の設置位置とその周辺気流の関係

表-1 に示す中空層を有する模型 24 種について、その周辺気流を 3 次的に測定した。それらの結果の内、H4V シリーズ模型に関する結果の一部を図-5 と図-6 に示す。なお、これらの図の表現方法は、図-3 および図-4 と同様である。これらによれば、中空層の設置により、模型の風上側と風下側の静圧差に起因する強風が中空層内部を通り抜けるため、特に中空層周辺の気流が大きく変化していることが明らかである。また、中空層を地表面に接して設け、ピロティ形式とした場合には地表面近傍の風速増加域がかなり拡大し、中空層を模型の上部に設置した場合にはいくぶん縮小していることが特徴的である。なお、一部分がピロティとなっている板状建築物模型の周辺気流については、防風垣による強風遮蔽の効果を含め、既に、勝田・村上⁵⁾による報告がある。

5.2.1 気流の淀み点の位置

詳細に中空層の設置位置とその周辺気流の関係を検討するための基礎資料として、まず、一般に地表面近傍の風速増加域の広がりに関連が深いとされている模型風上側の気流の淀み点の高さ H_s と、中空層の設置位置との関係を明らかにした。図-7 は、H4V シリーズの模型に関して、その結果をまとめたものである。なお、同図には、参考のため、中空層を有しない矩形模型に関する結果も併記している。同図に示すように、中空層の設置

図—5 H4Vシリーズ模型の周辺気流分布 (U/U_s)

に伴い、模型が上下に分割された場合、中空層の下部にも気流の淀み点の存在が確認される。また、中空層を元来の気流の淀み点より下方に設置した場合、中空層より上部の気流の淀み点は、中空層を有しない状態とほぼ同一の高さに位置しており、中空層より下部の気流の淀み点は、中空層の近くに位置していることが明らかである。このことにより、中空層が模型の下層部に設置された場合（ピロティ形式の場合を除き）、地表面近傍に直接的に作用する模型風上側の下降気流は極端に減少することが明らかである。実際、図—5において、模型風上側の地表面近傍における風速低減域の広がり、中空層を下

図—6 H4Vシリーズ模型の風向と U/U_h の分布

図—7 中空層の設置位置と気流淀み点高さの関係

層部に設置するほど小さくなっている。さらに、中空層の下部に位置する気流の淀み点の存在は、模型側方の気流に影響を与えているが、このことについては模型周辺の風速増加域との関連から5.2.3節で後述する。

なお、気流の淀み点の位置に関しては、結果の表示を省略している他のシリーズの模型についても同様の結果が得られているが、中空層より下方に位置する気流の淀み点の存在は、主として中空層の相対的厚さ T_v/H に依存した現象であることは言うまでもない。

5.2.2 中空層内部の気流性状

さらに詳細に中空層の設置位置とその周辺気流の関係を検討するための基礎資料として、次に中空層内部を通り抜ける気流の性状について述べる。図—6によれば、中空層付近の気流の流れのパターンは、中空層の設置位置により異なる。まず、図—6(a)~(c)に示すように、中空層を元来の気流の淀み点より下方に設置した場合、主として、模型風上側の下降気流が下向きのベクトルを持って中空層に流れ込むため、中空層の上部前縁で気流のはく離が生じる。そのため、中空層内部の上部空間はwake領域となり、下部空間は縮流に伴い強風領域となる。なお、ピロティ内部の平均風速の鉛直分布に関しては、すでにPenwardenら¹²⁾と高木ら¹³⁾による測定例があり、ピロティ内部の特に下部空間が強風領域になることが明らかにされている。中空層を通り抜けた気流は、模型の風下側壁面近傍に生じている上昇気流の影響を受け、若干上向きのベクトルを持って流れ出し、その後、急速に模型全体から生じているwake領域に拡散している。一方、図—6(d)に示すように、中空層を元来の気流の淀み点付近に設置した場合、中空層の風上側に卓越した気流が存在しないため、中空層内部にははく離に伴う大きなwake領域は存在せず、上下対称の流れが生じる。また、中空層を元来の気流の淀み点より上方に設置した場合（結果の表示をしていないがH4V7の模型の場合）、逆に中空層の下部前縁で気流のはく離が生じ、中空層内部の下部空間がwake領域となる。中空層内部の気流性状をさらに3次元的に検討するため、一例として、図—6(c)に示す模型（H4V4）に関するより詳細な測定結果を図—8に示す。これによれば、中空層の内部の流れはほぼ2次元的な流れであり、中空層内部の支柱から生じる影響は、風下側の狭い範囲に限定されていることが明らかである。さらに、同図には図示していないが、中空層の側面における風向は、鉛直方向には中空層内部の風向とほぼ同一であり、水平方向には風上側端部で20°程度外向きとなるが、中央部および風下側端部ではほとんど0°となっている。なお、このことは他の模型についても同様に言える。

次に、中空層内部を通り抜ける気流を定量的に把握するため、図—9を示す。同図は、H4Vシリーズの模型

図—8 中空層内部の風向と U/U_H の分布 (H4V4)

図—9 中空層の設置位置と中空層内部の風速との関係

に関して、中空層の設置位置 H_v/H と中空層内部の平均風速変化比の最大値 $(U/U_s)_{\max}$ 、および平均風速比 U/U_H の最大値 $(U/U_H)_{\max}$ との関係、さらに平均風速比 U/U_H の平均値 $(U/U_H)_{\text{ave}}$ との関係を表している。ここで、 $(U/U_s)_{\max}$ と $(U/U_H)_{\max}$ の算出は、図—9と図—8に・印で示すように、中空層内部に合計126点（ただし、ピロティ形式となった場合84点）の測定点を設定し算出した。また、 $(U/U_H)_{\text{ave}}$ の算出は、図—9に示すように、模型の中央 ($X=0$, YZ平面) に位置する合計15点（ただし、ピロティ形式となった場合10点）の測定点を用いて算出した。なお、平均値の算出は、図中の測定点を囲む格子内の面積で重み付けを行なった。図—9によれば、 $(U/U_s)_{\max}$ はピロティ形式とした場合に最大（186%）となるが、 $(U/U_H)_{\max}$ は最小（90%）であり、上部に中空層を設置するほど大きい。また、中空層を通り抜ける気流の流量と直接関係する $(U/U_H)_{\text{ave}}$ も、おおむね上部に中空層を設置するほど大きい。厳密には、元来の気流の淀み点付近に設置した場合に極大となる。これは、前述のように、この位置では中空層内部に大きなwake領域が生じていないことに依存している。なお、ピロティ形式とした場合の結果を、高木ら¹³⁾の結果と比

較すると、高木らはアスペクト比4 ($W 100 \times H 400 \times D 50 \text{ mm}$, $T_v=20 \text{ mm}$, 側壁有) の場合、ピロティ中央部の $(U/U_s)_{\max}$ は、約 250 % 程度であるとしており、本実験の方が小さな値となっている。この原因に関しては、風洞気流の鉛直分布、風洞閉塞率（風洞断面に対する模型の見付け面積の比）、側壁の有無、ピロティ部分の相対的厚さ T_v/H , T_v/D など多くのパラメータが両実験間で異なるため、現時点では何とも言えない。

5.2.3 模型周辺の風速増加域

中空層の設置位置と模型側方の風速増加域との関係を定量的に把握するため、まず、図—10 と図—11 を示す。図—10(a) は、H4V シリーズの模型に関して、中空層の設置位置 H_v/H と平均風速変化比の最大値 $(U/U_s)_{\max}$ との関係を、地表面からの高さ Z/W をパラメータとして表している。ただし、 $(U/U_s)_{\max}$ の算出においては、矩形模型との比較を考慮し、中空層内部の領域（厳密には模型壁面から 5 mm 未満の領域）の測定値は除いている。図—10(b) は、高さ H のみが異なる矩形模型に関して、アスペクト比 H/W と $(U/U_s)_{\max}$ との関係を表している。図中の記号は、図 (a) の記号と対応しており、図中の回帰直線の相関係数は、いずれも 0.993 以上であ

図—10 中空層の設置位置と U/U_s の最大値との関係

図—11 中空層の設置位置と風速増加域面積との関係

る。なお、図 (b) において、 $H/W=3.5$ の状態は、中空層の厚さ T_v 分だけ高さの低い矩形模型に対応している。図—11 は、図—10 と同様にして、中空層の設置位置と風速増加域の面積 S_{110} （模型設置に伴う平均風速の変化比 U/U_s が 110 % 以上となる領域の面積）との関係を表している。ただし、風速増加域面積の算出においては、矩形模型の風速増加域との比較を考慮し、中空層内部の領域（厳密には模型壁面から 5 mm 以内の領域）の面積は除いている。なお、図 (b) の回帰曲線は、最小自乗法により二次の多項式への当てはめを行って描いたものであり、その相関係数はいずれも 0.998 以上である。これらによれば、

① ピロティ形式として中空層を設けた場合、模型周辺の地表面近傍 ($Z/W=0.2$) における $(U/U_s)_{\max}$ は、同じ高さの矩形模型と比較して約 9 % 増加し、 S_{110} は約 1.3 倍に増大している。

② しかしながら、中空層を高さ H の 1/4 以上の位置に設けた場合、 $(U/U_s)_{\max}$ は同じ高さの矩形模型と比較して約 7 % 低減し、 S_{110} は約 1 割減少している。なお、 S_{110} に関しては、中空層の厚さ分だけ模型の高さを低くするほうがより大きく減少するが、 $(U/U_s)_{\max}$ に関しては、中空層を設置したほうが大きく低減する。

③ 模型側方の空間全域に着目すると、ある高さの水平面内の $(U/U_s)_{\max}$ および S_{110} は、その水平面と同じ高さに中空層が設置された場合に最大になるが、その水平面より上方に中空層が設置された場合より、下方に設置された場合の方が大きい。たとえば、 $(U/U_s)_{\max}$ に関して言えば、 $Z/W=2$ すなわち $Z/H=0.5$ の水平面においては、 $H_v/H=0.5$ の時、 $(U/U_s)_{\max}$ は 130 % で最大となる。そして、 $H_v/H=0.75$ の時 121 % となり、矩形模型の場合の 126 % より低減するが、 $H_v/H=0.25$ の時は 128 % である。なお、これは模型風上側の気流の淀み点の位置に関連した事象である。すなわち、図—6 より明らかなように、中空層が元来の気流の淀み点より下方に設置された場合には、中空層の上方では風上側の下降気流が発達し、それに伴い模型の側方に流出する気流も強い下向きのベクトルを持つが、中空層の下方には気流の淀み点が位置するため、側方に流出する気流のベクトルは水平に変わり、上方からの下降気流の影響が中空層の下方で一旦弱まるためである。さらに、地表面近傍においても、この現象により中空層を高さ H の 1/4 以上の位置に設けた場合には風速増加域が縮小し、それより下方に設けた場合には拡大すると考えることができる。したがって、地表面近傍の風速増加域を低減するのに有効な中空層の設置位置は、高さ H を基準とした相対位置ではなく、地表面からの絶対高さで表されることが考えられる。

次に、中空層の設置高さ H_v/W と模型側方の地表面

(a) 中空層模型 ($H/W=2\sim5$) (b) 矩形模型
図—12 中空層の設置高さ U/U_s の最大値との関係

(a) 中空層模型 ($H/W=2\sim5$) (b) 矩形模型
図—13 中空層の設置高さ S_{110} との関係

近傍 ($Z/W=0.2$) における風速増加域との関係を、模型のアスペクト比をパラメータとして、図—12 と図—13 に示す。これらによれば、

① 模型のアスペクト比によらず、模型周辺の地表面近傍における $(U/U_s)_{\max}$ および S_{110} は、中空層を地表面に接して設け、ピロティ形式とした場合に最大となる。ピロティ形式とした場合の $(U/U_s)_{\max}$ を、同じ高さの矩形模型のものと比較し、その増減の程度を矩形模型の高さの増減に置き換えて表すと、アスペクト比が 2, 3, 4, 5 の場合、それぞれ、 $1.05W$ 分の増加、 $1.27W$ の増加、 $0.75W$ の増加、 $0.35W$ 分の減少と等価であり、アスペクト比が小さいものほど増加の程度が大きい。また、アスペクト比が 4 以上では、 $(U/U_s)_{\max}$ はほぼ一定である。そのため、アスペクト比が 5 の場合には、ピロティを設けることにより $(U/U_s)_{\max}$ が低減している。同様に、ピロティ形式として中空層を設置した場合の S_{110} の増減を、矩形模型の高さの増減に置き換えて表すと、アスペクト比が 2, 3, 4 の場合、それぞれ、 $0.89W$ 分の増加、 $0.87W$ 分の増加、 $0.62W$ 分の増加と等価であり、 $(U/U_s)_{\max}$ と同様、おおむねアスペクト比が小さいものほど増加の程度が大きい。

② 中空層を適切な位置に設けることにより、模型周辺の地表面近傍における風速増加域を低減させることができる。ここで、図—12 と図—13 において、 $H/W=3$ に関する $H_v/W=1$ 付近のデータを $H/W=2$ と 4 の状況から類推するならば、最大の低減効果が期待できる中空層の設置位置は、地表面から中空層の下端までの高さがほぼ幅 W と等しい位置であると言える。また、模型のアスペクト比が 4, 5 の場合には、それ以上の高さであれば、同程度の低減効果が期待できる。中空層を最適な位置に設けた状態では、模型のアスペクト比にかかわらず、 $(U/U_s)_{\max}$ は約 7~8% 減少し、その効果を矩形模型の高さの増減量に置き換えて表すと、高さを約 $0.6W \sim 0.7W$ 分低くすることと等価である。なお、中空層の厚さ T_v はアスペクト比が 2, 3, 4, 5 の場合、それぞれ $0.25W$, $0.375W$, $0.50W$, $0.625W$ であるので、中空層の厚さ当たりの低減効果という点では、アスペクト比が小さいものほどその低減効果大きい。同様に、 $S_{110}/(W \times D)$ は、模型のアスペクト比にかかわらず、約 0.5~0.6 減少している。これは、アスペクト比が 2, 3, 4, 5 の場合、それぞれ高さを $0.41W$, $0.23W$, $0.22W$, $0.14W$ 分だけ低くすることと等価である。したがって、アスペクト比が 2 の場合は、中空層の厚さ ($T_v=0.25W$) 分だけ高さを低くするよりさらに大きな低減効果が期待できるが、アスペクト比が 3 以上の場合は、高さを低くするほうが効果が大きい。

なお、既報¹¹⁾によれば、地表面近傍の風速増加域の面積と中空層内部を通り抜ける気流の流量との間には、一次回帰により負の強い相関 (相関係数 0.94 以上) が認められたが、今回の実験で中空層内部の平均風速を測定したアスペクト比が 4 と 5 の模型については、相関係数はそれぞれ、0.84 と 0.85 であり、既報で認められたほどの強い相関は認められない。

6. 結 語

市街地上空の大気境界層をシミュレートした乱流境界層を風洞測定部に作製し、表—1 に示すように、高さ H の $1/8$ の厚さの中空層を有する模型 24 種と、表—2 に示すように、高さの異なる矩形模型 13 種の周辺気流を 3 次元的に測定した。その結果、中空層の設置位置とその周辺気流との関連に関して、次の結果を得た。ただし、以下の結果は、アスペクト比 (H/W) が 2~5 の矩形建築物について得られるものである。

① 中空層を適切な位置に設けることにより、建物周辺の地表面近傍の風速増加域を低減させることができる。最大の低減効果が期待できる設置位置は、おおむね地表面から中空層の下端までの高さがほぼ建物の幅 W と等しい位置である。ただし、アスペクト比が 4 以上の場合には、それ以上の高さであれば、同程度の低減効果が期

待できる。最適な位置に中空層を設けた状態では、アスペクト比にかかわらず、平均風速の最大値は7~8%減少し、風速増加域（建設に伴い平均風速が10%以上増加する領域）の面積は、 $0.5 \sim 0.6(W \times D)$ 減少する。したがって、中空層の厚さ当たりの低減効果は、アスペクト比が小さなものほど大きい。例えば、アスペクト比が2の建物の最適な位置に中空層（厚さ $0.25W$ ）を設けることは、平均風速の最大値に関しては、高さを約 $0.6W$ 分だけ低くすることと等価であり、風速増加域の面積に関しては、高さを約 $0.4W$ 分だけ低くすることと等価である。

② 中空層を地表面に接して設け、ピロティ形式とした場合、風速増加域はもとの状態より増大する。増大の程度はアスペクト比が小さなものほど大きい。例えば、アスペクト比が2の建物にピロティを設けることは、平均風速の最大値に関しては、高さを約 $1.1W$ 分高くすることと等価であり、風速増加域の面積に関しては、高さを約 $0.9W$ 分だけ高くすることと等価である。

以上、中空層の設置位置とその周辺気流の関連に関しては、本報においてかなり明確にすることができた。しかしながら、中空層の厚さや中空層の両端に位置する側壁の影響などについては、いまだ明確ではない。これら本報で残された課題については、現在すでに実験を継続して実施しており、次報以下で順次報告する予定である。

参考文献

- 例えば、関根 毅、海野健一：市街地における建築物周辺気流の立体的構造に関する研究 その3 独立的建築物模型周辺気流の性状について、日本建築学会論文報告集，第247号，pp.111~117，1976.9
- 例えば、亀井 勇、丸田栄蔵：高層建築物周辺に生じる強風領域の実験的研究（第1報 強風領域に係る諸パラメータの検討）、日本建築学会論文報告集，第232号，pp.101~107，1975.6
- 例えば、黒谷靖雄、関根 毅：矩形建築物周辺気流の3次元分布について、第11回風工学シンポジウム論文集，pp.149~154，1990.12
- 例えば、内海康行、村上周三、小峯裕己：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，講演番号4126，1980
- 勝田高司、村上周三、池田耕一、上原 清：建物周辺に発生する強風ならびに防風垣による強風の遮蔽に関する風洞実験 その1. 単独模型の場合 建物周辺気流に関する実験的研究（Ⅶ）、日本建築学会論文報告集，第233号，pp.121~132，1975.7
- 黒谷靖雄、関根 毅：傾斜壁面を有する建築物の周辺気流、日本建築学会計画系論文報告集，第419号，pp.31~38，1991.1
- 黒谷靖雄、関根 毅：コーナーカットを有する建築物の周辺気流、日本建築学会計画系論文報告集，第421号，pp.21~30，1991.3
- 中村国雄ほか4名：建物形状による周辺気流変化に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集，講演番号2157，1976
- 片山忠久：建物周囲気流に関する基礎的研究（その8）模型隅角部の形状が強風領域におよぼす影響、日本建築学会関東支部研究報告集，第51号，pp.5~8，1980
- 植松 康ほか4名：高層建物周辺の風環境に及ぼす建物隅角部形状の影響に関する実験的研究，第11回風工学シンポジウム論文集，pp.143~148，1990.12
- 関根 毅、新上敏彦：市街地における建築物周辺気流に関する実験的研究，広島大学工学部研究報告，第29巻，第2号，pp.187~194，1981
- Penwarden, A. D. and Wise, A. F. E. : Wind Environment around Buildings, Department of the Environment, Building Research Establishment, London, Her Majesty's Stationery Office, 1975
- 高木 猛、岩佐義輝、畑中公樹、山口伸夫：高層建物の周辺気流に関する研究ピロティ部分の風速について、日本建築学会大会学術講演梗概集，講演番号2136，1974
- 亀井 勇、丸田栄蔵、卯月英夫、葉袋寿紹：ピロティ内を流れる風の性状に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，講演番号2134，1974
- 黒谷靖雄、関根 毅：建築物周辺気流を対象とする風洞実験における閉塞効果，日本建築学会計画系論文報告集，第415号，pp.1~8，1990.9
- Berman, S. : Estimating the Longitudinal Wind Spectrum Near the Ground, Qu. Jul. Roy. Met. Soc., vol.91, pp.302~316, 1965
- 風洞実験法研究会：建築物周辺気流の風洞実験法に関する研究報告書，日本建築センター，1984.3

(1991年2月10日原稿受理，1992年2月19日採用決定)