



論文

市街地における粗度形状について

On the configuration of roughness elements in the urban areas

丸山 敬*

Takashi MARUYAMA

SUMMARY

It is important to know the configuration of the surface roughness, because the wind characteristics in the atmospheric boundary layer near the ground are mainly affected by the surface roughness. Configurations of houses and buildings in real urban cities were obtained from maps and aerial photographs. The relation of the number, the scale and the volume of houses and buildings against the number of stories were evaluated from these data. Using these results, various parameters of roughness configurations against the roughness volume density are examined for real urban areas.

1. はじめに

接地境界層内の気流性状を左右する要因として地表面の形状はもっとも重要なものである。地表面には植物や建物等、障害物が存在することが多く、一般に粗面とみなすことができる。したがって、粗面の気流性状を予測しようとするとき、とくに市街地のように粗度形状が複雑な場合には、粗度形状をどのような尺度で評価し、定量化するかが重要となる。

粗度要素が角柱や円柱のような単純な幾何学形状をもつ場合には、粗度形状を配列間隔や密度等で定量的に評価するのは割合簡単で、そのような研究も幾つかある。しかし、市街地のように複雑な形状をもつ粗面の場合には、粗度形状自体をどのような尺度で評価するかという問題も含めて、これといった指標はないようである。実際、市街地には種々の粗度要素が存在し、上空の気流性

状を決定する上でもっとも影響が大きいと考えられる建物だけを取り上げても、その形状は多様で、水平方向だけでなく鉛直方向にも複雑な分布を示す。そのため、市街地における粗度形状を扱った研究はこれまでに幾つかあるが、その評価の仕方も研究者によって異なる。

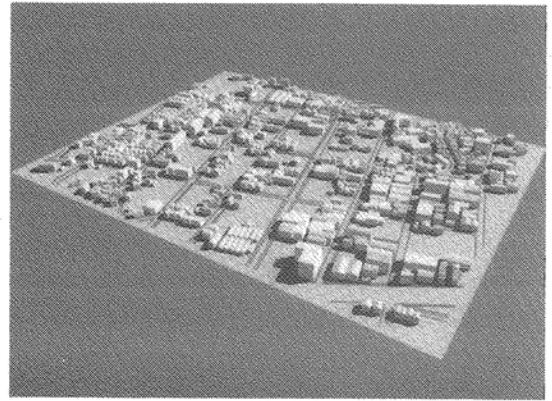
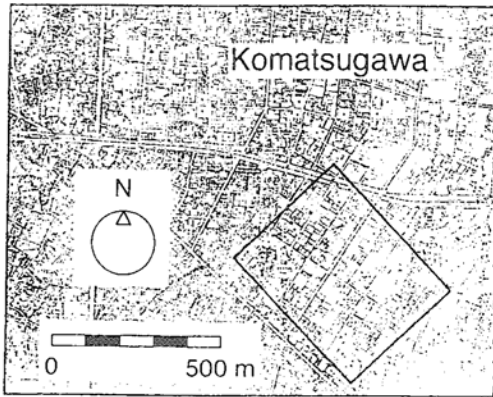
本報では市街地における粗度形状の評価を行うために、実際の市街地における建物の立体的な形状を読み込み、そのデータを用いて粗度形状の定量的な把握を試みた。また、粗度形状を表すパラメータ（以後、形状パラメータと呼ぶ）を幾つか取り上げて考察を加えた。

2. 市街地における建物形状

2.1 建物データの読み込み

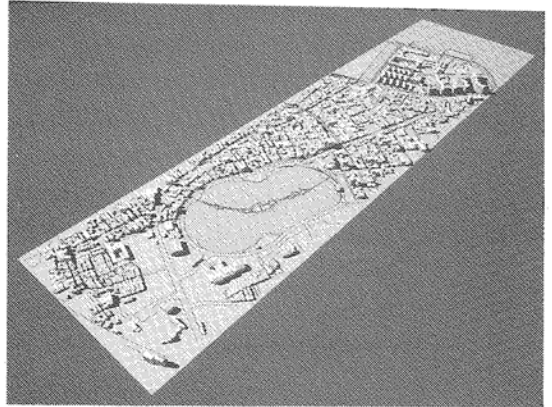
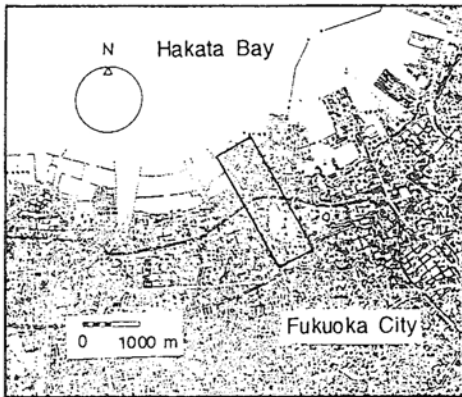
市街地における粗度形状の定量的な評価を行うため、実際の市街地における建物形状を読み込む。地表面に

* 京都大学防災研究所, 助手
Research Associate, Disas., Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.



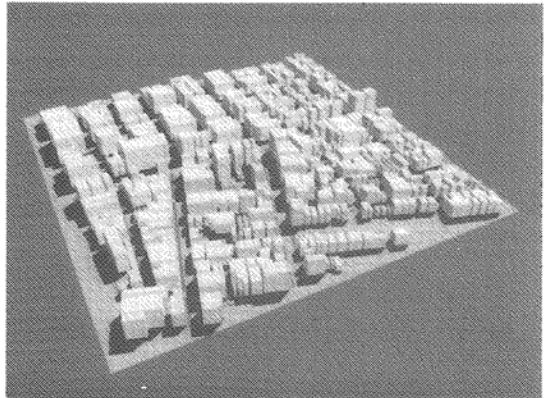
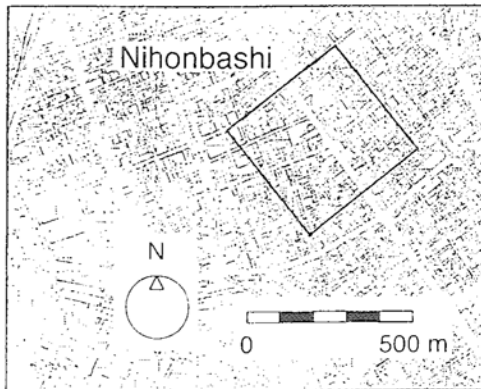
a. 小松川 (Komatsugawa)

北から南方向を眺める
(looking at south direction)



b. 福岡 (Fukuoka)

東から西方向を眺める
(looking at west direction)



c. 日本橋 (Nihonbashi)

西から東方向を眺める
(looking at east direction)

Fig. 1 建物データの読み込み範囲とその出力
(Region where the configurations of buildings and houses were obtained from maps and aerial photographs.)

ある粗度要素としては建物以外にも植物や自動車等が挙げられるが、これらは季節や時刻によって変化し、それを評価するのは難しい。また、建物の体積は植物や自動車に比べるとはるかに大きく、気流性状に及ぼす影響も大きいと考えられるので、今回は建物形状だけを読み込む対象とした。読み込む領域は、建物構成にそれぞれ異なる特徴を持った市街地を代表する場所として、Fig. 1aに示す東京都江戸川区小松川付近の $0.4 \times 0.5\text{km}^2$ の範囲、Fig. 1bに示す福岡市大濠公園付近の約 $0.7 \times 2.5\text{km}^2$ の範囲、およびFig. 1cに示す東京都中央区日本橋付近の $0.4 \times 0.4\text{km}^2$ の範囲である。建物形状は縮尺1/2500の地図からデジタイザーを用いて読み込んだ。用いた地図は1987年撮影の航空写真により制作され、建物の階数は1988年の現地調査により表示されている。なお、読み込みの際に以下のルールに従った。

- 1) 建物の屋根形状は1987年撮影の航空写真を参考にし、陸屋根、切妻、寄棟の3種類に分類する。その際、片流れ屋根は陸屋根に、入母屋は寄棟に分類する。
- 2) 建物の水平断面形状は地図より求め、陸屋根は多角形で、切妻、寄棟は長方形で近似する。
- 3) 建物の階数は地図上の表示および航空写真を参考にして決定する。

読み込んだ建物総数は小松川付近で765軒、大濠公園付近で2843軒、日本橋付近で496軒である。

これらの地域における地表面粗度形状の特徴をまとめると、それぞれ以下ようになる。

- 1) 小松川は中高層のビルは無く、若干の工場、農地を含む住宅街で、読み込んだ範囲内では1~3階建ての一戸建住宅を中心とする低層建物ばかりの地域である。
- 2) 福岡は市の中心部から少し離れた場所で、住宅地、団地、商店街、公園等を含む1~15階建ての低中高層建物が混在する地域で、都市周辺部の平均的な市街地を代表する地表面粗度形状を含んでいるとみなせる。
- 3) 日本橋はわずかに一戸建住宅などを含むが、主に2~10階建ての中層オフィスビルが中心の地域である。

2. 2 建物形状

建物は用途や構造等によって形状が変化するが、ここでは屋根形状と建物の階高による分類を行う。屋根形状は陸屋根と勾配屋根（切妻と寄棟）に分類し、階高は美術館、体育館、講堂、神社仏閣の本堂等、とくに建物の規模が大きく階高の高い建物と通常の階高の建物に分類した。

以下、建物を屋根形状で2種類、階高で2種類、その組

合せて合計4種類に分類し、それぞれ階数と建物数、階数と建物規模の関係を調べてみる。

(1) 階数と建物数

各分類ごとの階数Fと読み込んだ建物数の関係をFig. 2に示す。

小松川 (Fig. 2a) : 建物はすべて3建て以下で、2階建てがもっとも多い。とくに勾配屋根で階高が普通の場合に2階建てが多く全体の約59%を占めている。

福岡 (Fig. 2b) : 陸屋根、勾配屋根ともに2階建てがもっとも多く、建物数は2階以上で階数の増加とともに減少する。陸屋根で階高が普通の建物では、6階以上で建物数が急に少なくなり、建物数の変化も小さくなる。勾配屋根の建物はすべて3階以下であり、2階建ての数が非常に多く全体の約71%を占めている。

日本橋 (Fig. 2c) : 階高の高い建物は無く、普通の階高をもった建物だけである。陸屋根では4階まで階数が増えるにしたがって建物数も増加し、それ以上では減少する。勾配屋根は2階建てのみで、全体の15%ほどしかなく、住宅が中心となる小松川との違いが表れている。

(2) 階数と建物規模

建物の水平断面における周長の4分の1 L と建築面積の平方根 $\sqrt{S_f}$ によって建物の規模を評価し、階数との関係を分類別にそれぞれFig. 3, 4に示す。図をみると、データ数が少ない場合には各関係のばらつきが大きい。全般的な傾向としては階数が増えるにしたがって規模が大きくなり、 L および $\sqrt{S_f}$ の値も大きくなる。屋根形状によって変化の割合が異なるのは、建物規模の違いが屋根形状に反映されているためと考えられる。階高が普通の建物については、階数と L 、 $\sqrt{S_f}$ の関係を図中の実線のように直線近似することができる。一方、規模が大きく階高の高い建物は特殊な用途に用いられるものが多く、建物形状にもばらつきが多い。さらに、階高が普通の建物に比べると読み込んだ件数も少ないので、階数と L 、 $\sqrt{S_f}$ の値との間に明瞭な関係を見いだすのが難しい場合がある。階数と L 、 $\sqrt{S_f}$ の関係を直線近似することができる場合についてその関係を以下のように求め、図中に実線で示した。

小松川 (Fig. 3a, 4a)

1) 階数Fと建物の周長の4分の1 L の関係

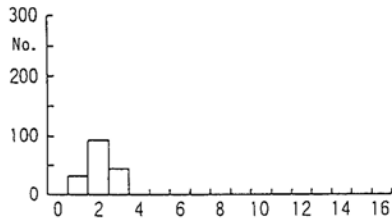
陸屋根で階高が普通の建物の場合

$$L=6.6+1.3F(\text{m}) \dots\dots\dots (1)$$

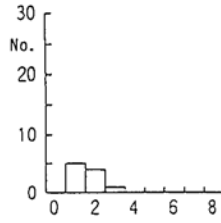
陸屋根で階高が高い建物の場合

$$L=11.9+4.3F(\text{m}) \dots\dots\dots (2)$$

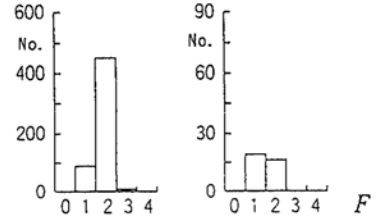
勾配屋根で階高が普通の建物の場合



flat roof, normal size

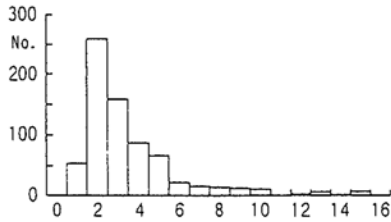


flat roof, large size

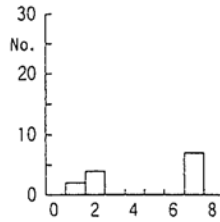


inclined roof, inclined roof, normal size large size

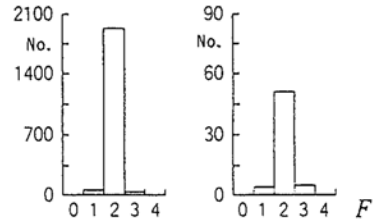
a. Komatsugawa



flat roof, normal size

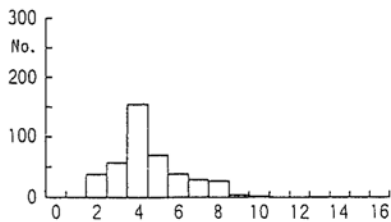


flat roof, large size

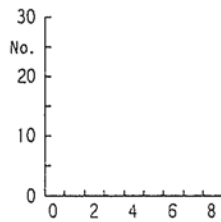


inclined roof, inclined roof, normal size large size

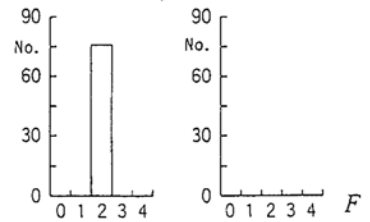
b. Fukuoka



flat roof, normal size



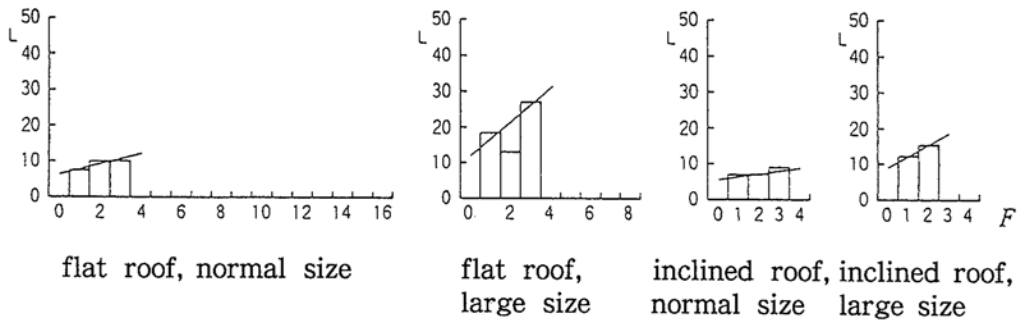
flat roof, large size



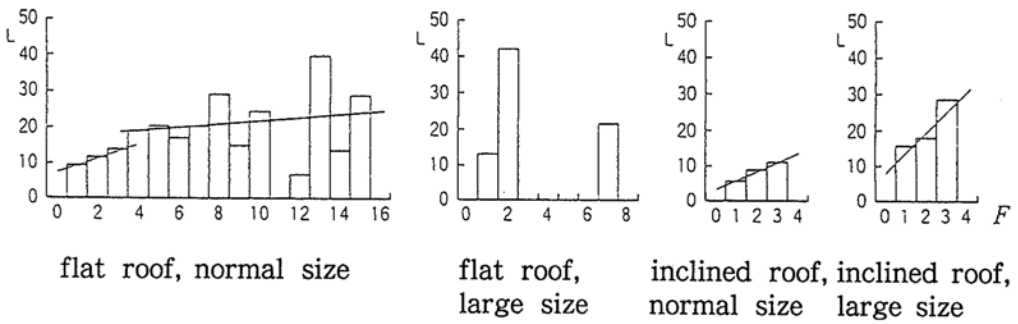
inclined roof, inclined roof, normal size large size

c. Nihonbashi

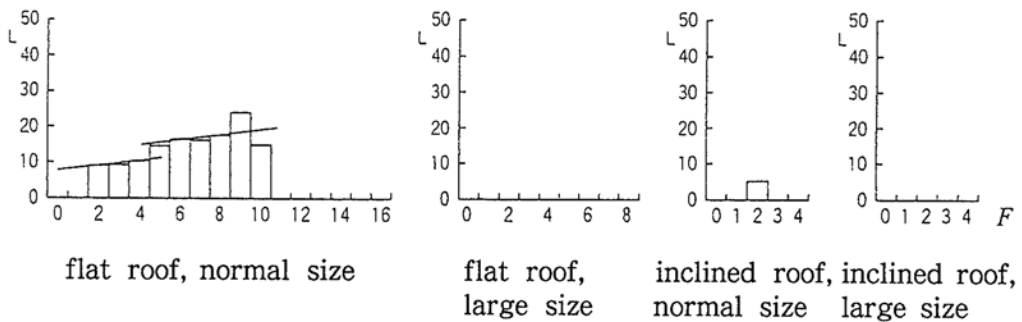
Fig. 2 階数 F と建物数の関係
(Variation of the numbers of buildings and houses against the number of stories.)



a. Komatsugawa



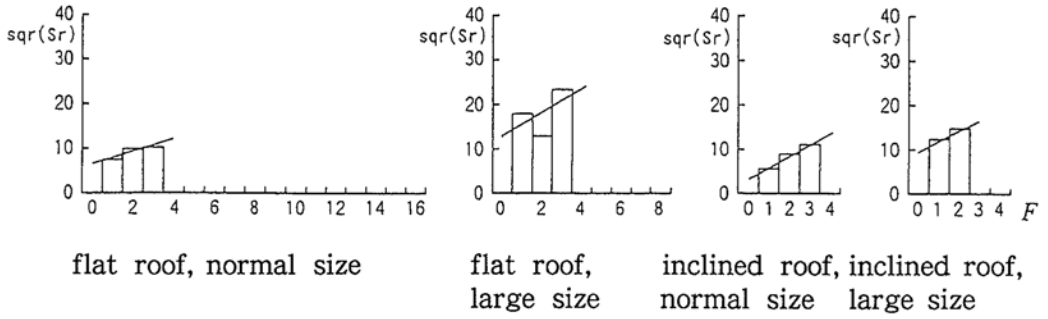
b. Fukuoka



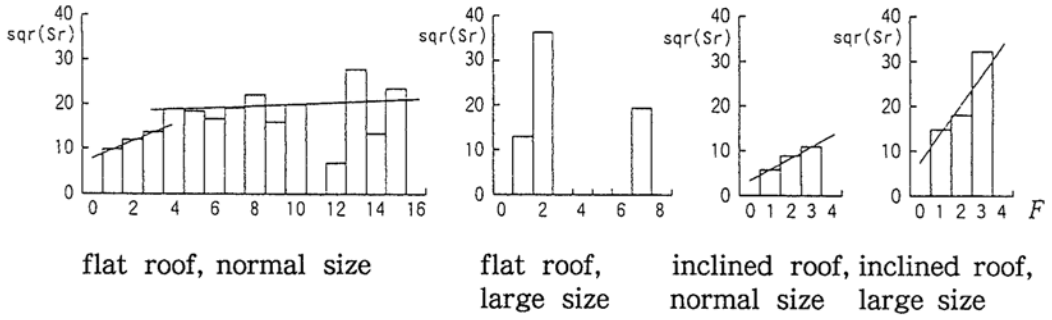
c. Nihonbashi

Fig. 3 階数と建物の周長の4分の1(=L)の関係

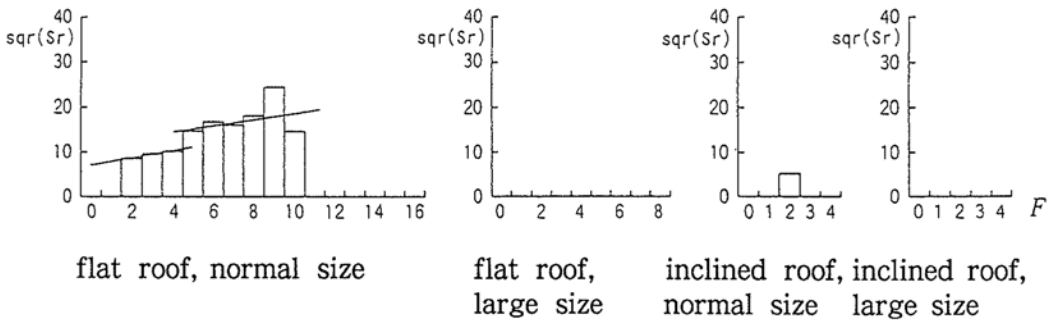
Variation of L (the averaged quarter length of buildings and houses) against the number of stories.



a. Komatsugawa



b. Fukuoka



c. Nihonbashi

Fig. 4 階数と建築面積の平方根, $\sqrt{S_r}$ の関係
Variation of $\sqrt{S_r}$ (the square root of the building area) against the number of stories.

$$L=5.7+F(m) \dots\dots\dots (3)$$

勾配屋根で階高が高い建物の場合

$$L=9.2+3.1F(m) \dots\dots\dots (4)$$

2) 階数 F と建築面積の平方根 = $\sqrt{S_r}$ の関係

陸屋根で階高が普通の建物の場合

$$\sqrt{S_r}=6.5+1.4F(m) \dots\dots\dots (5)$$

陸屋根で階高が高い建物の場合

$$\sqrt{S_r}=13.3+2.7F(m) \dots\dots\dots (6)$$

勾配屋根で階高が普通の建物の場合

$$\sqrt{S_r}=3.6+2.5F(m) \dots\dots\dots (7)$$

勾配屋根で階高が高い建物の場合

$$\sqrt{S_r}=10.0+2.4F(m) \dots\dots\dots (8)$$

福岡 (Fig.3b,4b)

陸屋根で階高が高い建物については建物のデータ数も少なく、階数と規模の関係を見だしにくいので、階高が普通の建物についてのみ、その関係を求めた。さらに、陸屋根で階高が普通の建物では規模の変化が3階以下と4階以上で異なっているので、この二つを分けて考えた。

1) 階数 F と建物の周長の4分の1 = L の関係

陸屋根で階高が普通の建物 (3階以下) の場合

$$L=7.5+2.1F(m) \dots\dots\dots (9)$$

陸屋根で階高が普通の建物 (4階以上) の場合

$$L=18.0+0.4F(m) \dots\dots\dots (10)$$

勾配屋根で階高が普通の建物の場合

$$L=3.2+2.8F(m) \dots\dots\dots (11)$$

勾配屋根で階高が高い建物の場合

$$L=7.9+6.5F(m) \dots\dots\dots (12)$$

2) 階数 F と建築面積の平方根 = $\sqrt{S_r}$ の関係

陸屋根で階高が普通の建物 (3階以下) の場合

$$\sqrt{S_r}=8.0+1.9F(m) \dots\dots\dots (13)$$

陸屋根で階高が普通の建物 (4階以上) の場合

$$\sqrt{S_r}=18.5+0.2F(m) \dots\dots\dots (14)$$

勾配屋根で階高が普通の建物の場合

$$\sqrt{S_r}=3.6+2.5F(m) \dots\dots\dots (15)$$

勾配屋根で階高が高い建物の場合

$$\sqrt{S_r}=7.9+6.5F(m) \dots\dots\dots (16)$$

日本橋 (Fig. 3c,4c)

陸屋根で階高が普通の建物では階数の増加にともなって規模が大きくなるが、4階以下と5階以上ではその増え方が異なっているので、この二つを分けて考えた。

1) 階数 F と建物の周長の4分の1 = L の関係

陸屋根で階高が普通の建物 (4階以下) の場合

$$L=7.8+0.6F(m) \dots\dots\dots (17)$$

陸屋根で階高が普通の建物 (5階以上) の場合

$$L=11.9+0.7F(m) \dots\dots\dots (18)$$

勾配屋根で階高が普通の建物の場合 (2階建てのみ)

$$L=5.3(m) \dots\dots\dots (19)$$

2) 階数 F と建築面積の平方根 = $\sqrt{S_r}$ の関係

陸屋根で階高が普通の建物 (4階以上) の場合

$$\sqrt{S_r}=7.1+0.8F(m) \dots\dots\dots (20)$$

陸屋根で階高が普通の建物 (5階以上) の場合

$$\sqrt{S_r}=12.0+0.7F(m) \dots\dots\dots (21)$$

勾配屋根で階高が普通の建物の場合 (2階建てのみ)

$$\sqrt{S_r}=5.3(m) \dots\dots\dots (22)$$

これらの関係を、階高、屋根勾配、地表面における建物密度等と組み合わせると、各種の粗度形状を表すパラメータを計算することができ、市街地における粗度評価を定量的に行うことができる。

3. 形状パラメータ

3. 1 各種形状パラメータ

粗度要素の形状がすべて同じで、角柱や円柱のような単純な幾何学形状をもち、分布形状も一様であるときには、粗度要素の高さ、幅、間隔、縦横比、密度等、形状パラメータの定義もしやすく、その値も明確に求めることができる。しかし、市街地のように粗度形状が一様でない場合には、どのような尺度を用いるかが問題となる。以下にこれまで用いられている形状パラメータを幾つか取り上げ、それらの定義、意味、問題点、研究者による呼び名の違い等について検討する。記号はFig. 5のよ

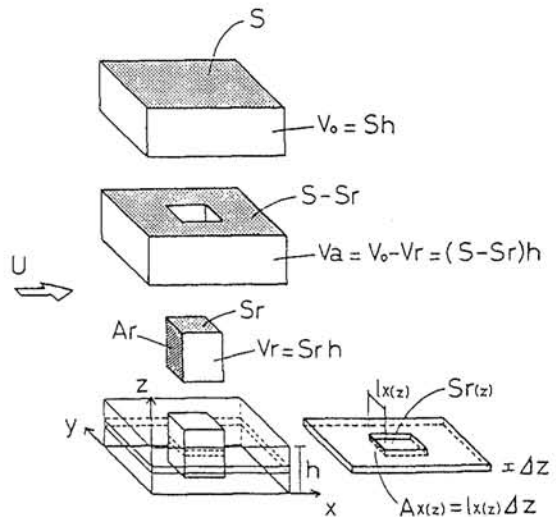


Fig. 5 記号の定義 (Determination of variables)

うに与え、x軸を風向方向に、y軸を風向直角水平方向に、z軸を鉛直方向にとる。

(1) 粗度高さ : h

市街地における主な粗度要素は建築物であり、建物の高さがhに相当する。このとき、建物の高さは一定ではないのでhの定義が問題となる。たとえば、建物高さの平均値や最大値が挙げられる。建物近傍では風速分布が建物の影響を受けて局所的に変化し、一様ではない。また、風速の時空間平均値についてみても建物高さ付近で分布形状の変化が大きいので、hの定義としては建物高さの最大値の方が適していると考えられる。ただし、周辺の建物にくらべてとびぬけて高い建物が孤立して存在するときには、これをhとするには無理がある。しかし、このような高層建物がどの程度建て込んできたときに、高層建物の高さをhとみなすかは検討すべき課題である。

(2) 粗度体積密度 : $\rho_r(z)$

高さzにおける単位体積あたりの粗度体積を表し、平均化面積S、平均化を行う層の厚さ Δz および高さzにおける粗度要素の水平断面面積 $S_r(z)$ により次式のように定義する。

$$\begin{aligned} \rho_r(z) &= (S_r(z)\Delta z) / (S\Delta z) \\ &= S_r(z) / S \end{aligned} \quad (23)$$

ここでは $\rho_r(z)$ を粗度体積密度と呼ぶ。地上における $\rho_r(z)$ の値、

$$\rho_r(0) = S_r(0) / S \quad (24)$$

をCounihan¹⁾はelement density、亀井ら²⁾は建築密度、大熊ら^{3,4)}は平面密度と呼んでいる。高さ方向に粗度要素の水平断面形状が変化しないときには、平均化体積 $V_o (=Sh)$ および粗度要素の体積 $V_r (=S_r h)$ を用いて

$$\rho_r(z) = \rho_r(0) = V_r / V_o = S_r / S \quad (25)$$

となる。単位体積あたりの粗度体積を表わす形状パラメータとしては、この他に平均化体積 V_o を $10 \times S(m^3)$ として求める

$$\gamma = V_r / (10S) \quad (26)$$

が挙げられ、亀井ら²⁾は密集度、田村ら⁵⁾は建物密度と呼んでいる。流体の占める割合という観点からは

$$G(z) = 1 - \rho_r(z) = (S - S_r(z)) / S \quad (27)$$

とする定義があり、村上ら⁶⁾、平岡ら⁷⁾はGを有効体積と呼んでいる。

(3) 有効粗度表面積率 : λ

単位面積に存在する粗度要素の風向方向見つけ面積を表し、粗度要素の風向方向見つけ面積 A_r と平均化面積Sを用いて次式のように定義する。

$$\lambda = A_r / S \quad (28)$$

これは面積平均値で、高さ方向の粗度形状の変化を扱うことはできない。O'Loughlinら⁸⁾、Marshall⁹⁾はlateral cover、Woodingら¹⁰⁾はroughness concentrationと呼んでいるが、ここでは有効粗度表面積率と呼ぶことにする。市街地のように複雑な形状をもつ粗面では、各粗度要素の形状や向きが一定ではないので、粗度要素の表面積に対する風向方向の見つけ面積の割合 ξ が問題となり、 A_r は粗度要素の表面積Aを用いて

$$A_r = \xi A \quad (29)$$

と表す。 ξ の値は、たとえば、円柱の場合 $\xi = 2h / \pi(2h+r)$ 、(h:高さ、r:半径)、立方体の場合 $\xi = 1/5 \sim \sqrt{2}/5$ 、平板の場合 $\xi = 0 \sim 1/2$ となる。また、 A/S は単位面積に存在する粗度要素の表面積を表すので、ここでは粗度表面積率と呼ぶことにする。

地表面が上空の流れから受ける抗力 F_r は通常、地表面剪断応力 τ_w 、地表面抗力係数 C_r 、基準速度 U_r により

$$F_r = \tau_w S = C_r q_r S \quad (30)$$

と定義される。ここで、 q_r は空気密度 ρ 、基準風速 U_r を用いて

$$q_r = \rho U_r^2 / 2 \quad (31)$$

である。式(30)の中で、粗度を表すパラメータは C_r である。したがって、 C_r と粗度形状の関係がわかれば、粗度形状から地表面抗力 F_r を求めることができる。地表面抗力 F_r は各粗度要素に働く抗力 f_r の和と、地表面に働く摩擦力 f_s の合力で

$$F_r = \Sigma f_r + f_s \quad (32)$$

と表せる。文献¹¹⁾で示したように粗面において f_s の値は f_r に比べて小さいので、 F_r は主に式(32)の右辺第1項、すなわち各粗度要素に働く抗力の合計で決まる。各粗度要素に働く抗力 f_r は通常、各粗度要素の風向方向見つけ面積 a_r および抗力係数 C_D によって

$$f_r = C_D q_r a_r \quad (33)$$

と表され、形状パラメータ a_r を含む。

単位面積あたりの地表面抗力、すなわち F_r/S は式(30)より地表面剪断応力 τ_w に等しい。 τ_w は流れ方向に静圧勾配が零のとき、粗度要素のすぐ上の空気層でレイノルズ応力 $-\rho \overline{u'w'}$ と釣合って

$$\tau_w = -\rho \overline{u'w'} \quad (34)$$

の関係があり、上空の気流性状を左右する。 τ_w は式(30)、(32)、(33)より

$$\tau_w = (\Sigma(C_D q_r a_r) + f_s) / S \quad (35)$$

とも表せ、このとき抗力係数の面積平均値を C'_D とし、 $f_s = 0$ とみなすと

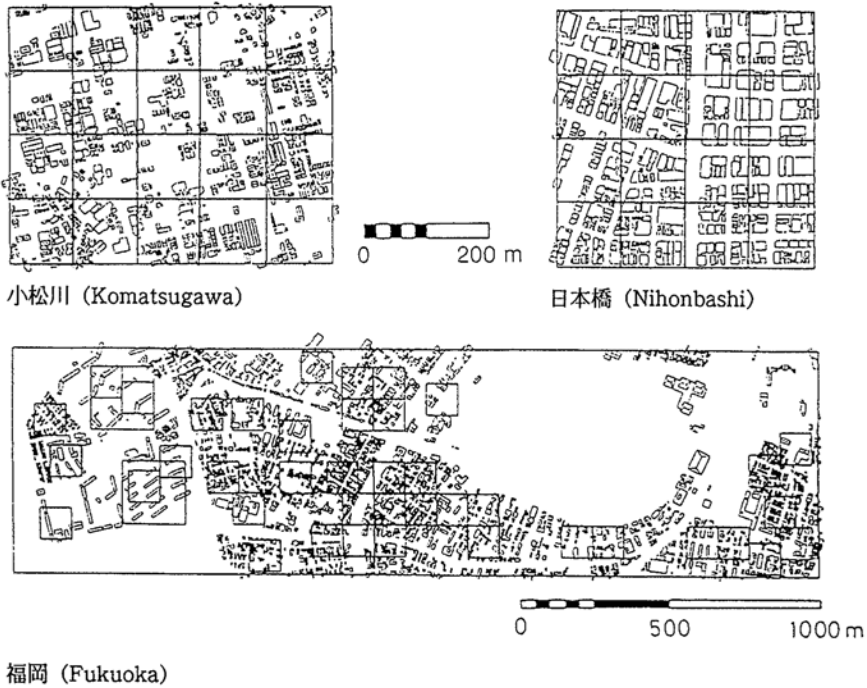


Fig. 6 建物の形状データの出力と抽出範囲
(Output of the configuration of buildings and houses ; the areas where the parameters of roughness configurations were evaluated.)

$$\tau_w \cong C'_D q_r \Sigma a_r / S = C'_D q_r A_r / S = C'_D q_r \lambda \dots\dots\dots (36)$$

となつて、 τ_w は C'_D および λ によって表される。式(30)、(36)より

$$C_r = C'_D \lambda \dots\dots\dots (37)$$

の関係があるので、粗度パラメータ C_r は形状パラメータ λ に依存する。たとえば、立方体粗度ブロックの場合、風向角が 0° の場合に λ は ρ_r と一致し、 C_r と λ の関係は文献¹¹⁾に示した通りである。

(4) 有効粗度表面積密度： $a_x(z)$

流体単位体積あたりに存在する粗度要素の風向方向見つけ面積を表し、平均化面積 S 、平均化を行う層の厚さ Δz 、高さ z における粗度要素の水平断面積 $S_r(z)$ 、粗度要素の風向方向見つけ面積 $A_x(z)$ 、あるいは粗度要素の見つけ幅 $l_x(z)$ 、によって式(38)のように定義する。

$$a_x(z) = A_x(z) / \{(S - S_r(z)) \Delta z\} = l_x(z) / (S - S_r(z)) \dots\dots\dots (38)$$

鶴野ら¹¹⁾は $a_x(z)$ を建物表面積密度と呼んでいるが、ここでは有効粗度表面積密度と呼ぶことにする。 $a_x(z)$ は

高さ z における流体単位体積が粗度要素から受ける風向方向の力 $F_x(z)$ を表すときに用いられ、高さ z における風向方向の抗力係数 $C_x(z)$ および速度圧 $q(z)$ により

$$F_x(z) = C_x(z) q(z) A_x(z) / \{(S - S_r(z)) \Delta z\} = C_x(z) q(z) a_x(z) \dots\dots\dots (39)$$

と表すことができ、キャノピー内の風速分布を計算するときに用いられる。なお、 $a_x(z)$ は植物キャノピーでは葉面積密度と呼ばれる。このとき、葉の体積は無視されるので

$$a_x(z) = A_x(z) / (S \Delta z) = l_x(z) / S \dots\dots\dots (40)$$

と定義される。また、単位体積あたりの粗度表面積 a_l は

$$a_l = A / (Sh) \dots\dots\dots (41)$$

と定義される。

3. 2 市街地における形状パラメータの値

2で読み込んだ建物の形状データをもとに、市街地における各種形状パラメータの値を求める。建物の形状データを読み込んだ領域はかなり広く、ビル街、住宅地、団地、商店街、公園等、様々な地域が含まれ、町並みの特

Table 1 建物の高さによる分類
(Category of roughness)

高さ	地域		
	小松川	福岡	日本橋
低層が主	●	◐	○
低層と中層が混在	◆	◑	◇
中層が主	■	◒	□
中層と高層が混在	▲	◓	△
高層が主	★	☆	☆

建物の高さの分類

低層：1～3階

中層：4～9階

高層：10階以上

徴も位置により異なっている。ここでは、Fig. 6に示すように、特徴的な町並みの形状を示す部分を100×100m²（一部200×200m²）の範囲で抽出し、その領域を主に占める建物の高さによる分類を試みた。建物の高さは低層（1～3階）、中層（4～9階）、高層（10階以上）に分類し、抽出した範囲内でそれぞれが占める割合によってTable 1に示すように分類した。各々の分類のシンボルを表に示す。

以下に地表面における粗度体積密度 $\rho_r(0)$ を中心に、他の代表的な形状パラメータとの関係を調べてみる。なお、各パラメータの値は以下の仮定に従って求めた。

- 1) 建物の水平断面形状は屋根部分を除き高さ方向に変化しない。
- 2) 屋根勾配は0.45とする。
- 3) 建物の階数をFとすると、軒高は次式によって算定する。

通常の階高をもち、用途が住宅と考えられる建物
 $0.5+2.75F(\text{m})$ (42)

陸屋根で上記以外の通常の階高をもつ建物
 $0.5+3.5F(\text{m})$ (43)

陸屋根で、階高の高い建物（美術館等）
 $4.0+5.0F(\text{m})$ (44)

勾配屋根で、階高の高い建物（神社・仏閣等）
 $5.0+4.0F(\text{m})$ (45)

ただし、3階以下の陸屋根の建物では、式(42)と式(43)で評価される建物の割合は同じ（50%づつ）とする。

(1) 地上における粗度体積密度 $\rho_r(0)$ の値

今回評価した範囲において、地上における粗度体積密度 $\rho_r(0)$ の値を調べてみると、0.074～0.541であった。他の場所で得られた値としては、亀井ら²⁾が1973年度

の税務統計資料により求めた値が東京23区で0.104～0.342である。大熊ら³⁾による1985年の調査では、住居地域（市川）で0.191、商業地域（新宿、八重洲、丸の内）で0.373～0.462である。

ある地域の建物の形状を把握しようとする場合、現地調査や航空写真による方法が挙げられるが、もっとも簡単なのは地図から読み取る方法である。このとき、地図上の建物形状は地面上の水平断面形状を表わしているので、まず、地上における粗度体積密度 $\rho_r(0)$ の値を求めることができる。したがって、この値と他のパラメータとの関係を把握しておけば、 $\rho_r(0)$ を建物形状を評価する指標として用いることができ、地図からその地域における粗度形状を評価できて便利である。そこで、以下に $\rho_r(0)$ と他のパラメータとの関係を調べる。

(2) $\rho_r(0)$ と γ （密集度 or 建物密度）の関係

$\rho_r(0)$ および γ はともに評価する領域内の建物が密になるほど大きくなる。ただし、 γ は平均化体積が10S (m³)と一定なので、領域内の建物高さの構成によってその値は変化する。Fig. 7に示すように、領域内に高い建物が多くなるほど γ の $\rho_r(0)$ に対する増加の割合は大きくなる。他の場所で得られた値として、亀井ら²⁾によると γ の値は東京23区で0.048～0.260であった。田村ら⁵⁾も1980年前後の市街地の航空写真より植物も含めた値として γ の値を求めており、函館、上野、松本、日田で0.123～0.212となっている。

(3) $\rho_r(0)$ と粗度表面積率 ξ の関係

Fig. 8に示すように ξ の値は建物高さや密度によらず、ほぼ一定値をとり、今回求めた範囲において図中破線で示す様に平均値は0.28であった。

(4) $\rho_r(0)$ と有効粗度表面積率 λ の関係

Fig. 9に示すように λ の値は $\rho_r(0)$ とともに増加し、

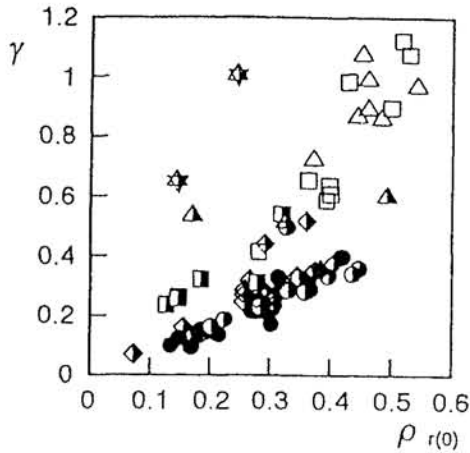


Fig. 7 $\rho_r(0)$ と γ の関係
Variation of γ with $\rho_r(0)$

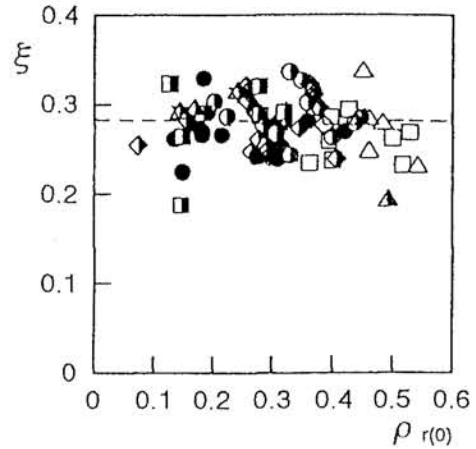


Fig. 8 $\rho_r(0)$ と ξ の関係
Variation of ξ with $\rho_r(0)$

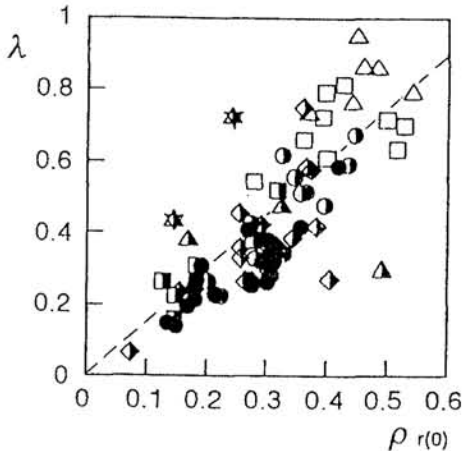


Fig. 9 $\rho_r(0)$ と λ の関係
Variation of λ with $\rho_r(0)$

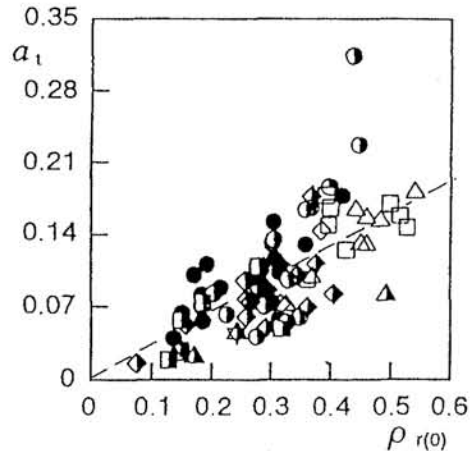


Fig. 10 $\rho_r(0)$ と a_t の関係
Variation of a_t with $\rho_r(0)$

$\rho_r(0)$ と γ の関係にみられたような建物高さの構成比による特徴はあまりない。両者の関係は少しばらついてはいるが、ほぼ比例関係にあるとみなせる。その関係を図中破線で示す直線で近似すると次式ようになる。

$$\lambda = 1.46\rho_r(0) \dots\dots\dots (46)$$

(5) $\rho_r(0)$ と単位体積あたりの粗度表面積 a_t の関係

a_t も λ と同様に $\rho_r(0)$ とともに増加する。その増加傾向はFig. 10に示すように、建物高さの構成比によらずほぼ比例関係にあるとみなせる。両者の関係を図中破線で示す直線で近似すると次式ようになる。

$$a_t = 0.32\rho_r(0) \dots\dots\dots (47)$$

ただし、福岡における低層が主な場合(図中シンボル●)のように $\rho_r(0)$ の値が大きいときに a_t の値が極端に大きくなるケースがある。この場合、評価領域内の低層建物

の数が非常に多くなっている。したがって、低層建物では屋根面積の全表面積に対する割合が大きいため、屋根面積の寄与分が大きくなり、 $\rho_r(0)$ の増加の割合に対して a_t の増加の割合の方が大きくなって、 a_t の分布が上方へずれたものと考えられる。

(6) $\rho_r(0)$ と地上における有効粗度表面積密度 $a_x(0)$ の関係 $a_x(0)$ は $\rho_r(0)$ とともに増加する。その増加傾向はFig. 11に示すように、ほぼ比例関係にあるとみなせる。両者の関係を図中破線で示す直線で近似すると次式ようになる。

$$a_x(0) = 0.16\rho_r(0) \dots\dots\dots (48)$$

ただし、中層オフィスビルが中心の日本橋では、 $\rho_r(0)$ の値が大きいときに $\rho_r(0)$ の増加の割合に対して $a_x(0)$ の増加の割合の方が小さくなり図中下方に片寄る傾向が

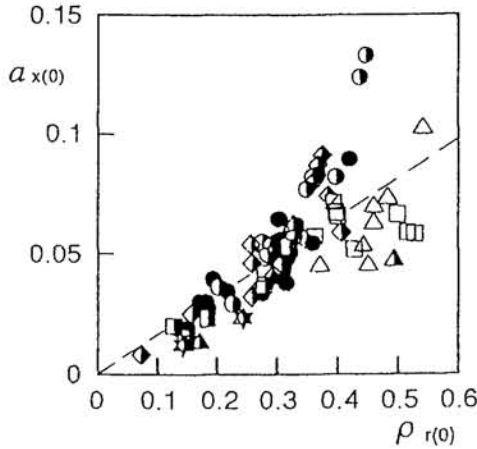


Fig. 11 $\rho_r(0)$ と $a_x(0)$ の関係
Variation of $a_x(0)$ with $\rho_r(0)$

ある。一方低層が中心の福岡（図中シンボル●）の場合には、逆の傾向を示しており、 a_t の場合と同様、規模の小さい建物が密集している地域の特徴であると考えられる。

4. まとめ

市街地における粗度形状について、実際の市街地における建物の形状を読み込み、そのデータに基づいて以下の関係を定量的に求めた。

- 1) 階数と建物数
- 2) 階数と建物の水平断面における周長
- 3) 階数と建築面積

これらの関係を、階高、建物密度等と組み合わせることにより、市街地における粗度評価を定量的に行うことができる。

次に、市街地のような複雑な形状をもつ粗面に対して、これまでに用いられている建物形状を表すパラメータを幾つか取り上げ、考察を加えた。さらに、粗度形状データを用いて各形状パラメータの値を計算し、地表面における粗度体積密度 $\rho_r(0)$ を中心に、他の代表的な形状パラメータとの関係を調べた。求められた形状パラメータの値は過去に他の場所に対して求められた形状パラメータの値をカバーしていた。

なお、ここでは粗度形状についてのみ評価を行い、上空の気流性状との関係については言及しなかった。この点については、今後の課題として取り組んでゆく予定である。

参考文献

- 1) Counihan, J. : Wind tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and the roughness density of three - dimensional roughness elements, Atmospheric environment pergamon press, Vol. 5, 1971, pp. 637 - 642.
- 2) 亀井勇・丸田栄蔵：風速の垂直分布における粗度パラメータに対する3次元粗度密度の適応について、耐風シンポ、第4回、1976、pp. 53 - 59.
- 3) 大熊武司・丸川比佐夫・小林啓人・宮下康一：市街地を対象とした乱流境界層の研究-その1、二次元ラフネスによる検討-、日本建築学会大会学術講演梗概集、1985、pp. 687 - 688
- 4) 大熊武司・丸川比佐夫・宮下康一：市街地を対象とした乱流境界層の研究-その2、三次元ラフネスによる検討-、日本建築学会大会学術講演梗概集、1986、pp. 123 - 124.
- 5) 田村幸雄・須田健一・松井源吾：設計基準風速についての一考察（建物密度の経年変化を考慮した年最大風速の均質化）、日本建築学会論文報告集、第400号、1989.6、pp. 101 - 111.
- 6) 村上周三・加藤信介・B.E.ロンダー・鈴木啓泰：層流型クリーンルーム内の気流性状・汚染質拡散性状に関する研究（その6）-床グレーチングの通風抵抗を考慮した新しいk-e型乱流モデルの提案-、生産研究、Vol.40、No. 1、1988. 1、pp. 67 - 70.
- 7) 平岡久司・中村泰人・丸山敬：植物群落内および都市キャノピー内での乱流モデル、日本建築学会近畿支部研究報告集、1989. 2、pp. 65 - 68 .
- 8) O'Loughlin, E.M.and V.S.S. Annambhotla : Flow phenomena near rough boundaries, Journal of Hydraulic Research, Vol.7, No2, 1969, pp. 231 - 250.
- 9) Marshall, J.K. : Drag measurements in roughness arrays of varying density and distribution, Agricultural Meteorology, Vol. 8, 1971, pp. 269 - 292.
- 10) Wooding, R.A., E.F. Bradley and J.K. Marshall : Drag due to regular arrays of roughness elements of varying geometry, Boundary - Layer Meteorology, Vol.5, 1973, pp. 285 - 308.
- 11) 丸山敬：立方体粗度ブロックの配列形状の違いに

よる抗力の変化について, 日本風工学会誌, No.49,
1991. 11, pp.15 - 24.

謝辞

建物の形状データの読み込みにあたって協力していた

だいた, 京都大学川面賢氏および(株)プラスワン, 建物の
地図および写真を提供していただいた(株)風工学研究所
に謝意を表す。また, 本研究の一部は文部省科学研究
費による補助を受けて行われた。