

FEB. 1984

RIIS-RR-32-2

UDC 69.057.6, 624.042.4  
533.6.011, 517.946,  
518.12

# 産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-32-2

建設工事用足場の養生シート，防音パネルに作用  
する風圧力についての三次元数値解析（第一報）

木 下 鈞 一

労働省産業安全研究所  
MINISTRY OF LABOUR  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

# 建設工事用足場の養生シート，防音パネルに作用する 風圧力についての三次元数値解析（第一報）

木 下 鈞 一\*

## A three dimensional computational analysis of the wind loads on canvas or panel covered over the scaffold structure around a tall building

by Kinichi KINOSHITA\*

For the purpose of the prevention of accidents caused by falling articles from a tall building under construction and others, canvases or panels are put up over a wide range on the outside of scaffold structures which built around the building. In these circumstances there have often happend fall-down accidents of the scaffolds by a strong wind.

In this paper, six geometries of scaffold structures that are shown in Figure-1 were taken as models, and a numerical analysis has been conducted to predict wind loads on the canvases or panels in strong wind.

The MAC method was employed to solve a set of governing equations for the three dimensional incompressible turbulent flow, and the turbulent quantities were treated with a two-equation model. A characteristic point in this computational treatment is that air flow process and wind pressure are carefully considered in the narrow space between the outer wall of a building and the canvas on the scaffold.

From the results of computations, contour maps of coefficient of wind load on the canvas or panel are obtained for the model structures, and they are shown in Figures-18, 19, 21, 22, 24 and 25.

The maps show that strong negative pressure arises in the space between the front side canvas to the wind and the outer wall of the building and locally at the neighbourhood of front corners of scaffold.

Numerical solutions are compared with experimental observations in a wind tunnel (Case 2) and on full-scale scaffoldings in natural strong wind environment (Case 6).

The results show that both computational and experimental values of the coefficient of wind load are nearly the same, and the author concludes that the computational method described in this paper will be useful for practical applications.

---

\* 土木建築研究部 Civil Engineering and Construction Research Division

## 1. はしがき

建築工事現場では、工事中の建物の周囲に足場が組み立てられるのが普通である。この足場の外側面（以下足場面と略す）に、目隠し、風雨の侵入の防止、現場内から外部への工事用資材等の落下防止などの目的のため、シートを張ることが多い。このシートに風を受けると、帆のように風をはらみ、足場に大きな風荷重が作用する。工事現場によっては、工事中の建物の高さより高く足場を組みあげ、それにシートを張ることがあり、市街地の建築工事現場でよく見受けられる。この場合、強風時において、足場面に局部的に過大な風圧力が生じ、倒壊するおそれがあり、きわめて危険である。よって足場等の仮設物に対しても充分なる耐風設計が必要である。

このため、先に、産業安全特別研究報告<sup>1)</sup>において、足場に作用する風圧力を算出するための地域別基準風速の設定、足場面に作用する風圧力の実大実験などを実施し、その研究成果を報告した。また、吉田ら<sup>2)</sup>は、1/100の模型を用い、風洞実験を行って、足場面にシートが張られたときの風力係数を求めている。これらの結果等から足場等の仮設構造物の風荷重に対する技術指針<sup>3)</sup>が作成されるなどの一応の成果を得た<sup>脚注</sup>。

本研究は、上記技術指針をさらに整備すべく、また風力係数を風洞とは別に数値実験によって得る方法を開発するために行ったもので、本報では、吉田らの風洞実験で採用した模型とほぼ同一の寸法比を有する建物及び足場をとりあげ、足場面等に作用する風力係数を求め、風洞実験との比較検討を行った。また、既報<sup>1),4),5)</sup>のような実大実験とほぼ同一条件を与えて数値解析し、風圧力について比較検討した。また、その他相互の比較のために建物や足場の寸法の異なる場合を数例とりあげた。

構造物の面に作用する風圧力を推定するには、現在では、風洞による模型実験が一般的である。風洞実験の長所は、人工的に所定の速度プロフィールや、乱れ度等を設定できる点と、供試体に模型を用いることによって、解析の対象物に即した条件設定が容易で、複雑な部材で構成された構造物や、さまざまな受圧面をもった構造物に作用する風圧力を求めることができる点にある。しかし、電子計算機による数値解析の場合には、現時点では

まだ風洞実験の場合のように任意の受圧面をもった構造物の風圧力を求めることは困難なことが多く、受圧面が単純な面に限られる。また、計算には長時間を要すること、プログラミングに手数がかかること、上流、上空、下流等の開放された境界条件についてプログラミング上の処理の方法、アルゴリズム等にまだ多くの問題を含んでいる。これらの点について、風洞実験による実験結果の援用などが必要である。しかし、数値解析の長所としては、流速、圧力、乱流量などの物理量の分布等、流れの全体の状態を数値で把握できる点と、妥当なアルゴリズムとよく注意が払われたプログラミングによって、精度のよい結果が期待でき、興味深いものがある。

本報では、足場面上の風圧力を計算することを目的としたことは上述の通りであるが、足場面頂部、隅角部、地面境界、上流境界値などに対して、いくつかの計算処理法について試行錯誤を繰返した結果、最終的には、以下に述べるような計算方法によることとした。

なお、本報の後述の Case 2 の計算例については、昭和 58 年度日本建築学会北陸大会において発表したが<sup>6)</sup>、その数値解析では、足場面と建物の壁面との間の狭い空間の空気の流れに対しては考慮していない場合であった。本報においては、改めて、この部分の空気の流れを考慮に入れている。また計算例 Case 3~5 についても同様な扱いをしている。

### 記号

- $h$  ; 建物の軒高(後に示す計算例記号の Case 1 ~Case 5 では  $h=20.4\text{m}$ , Case 6 では  $23.4\text{m}$  とし、以下長さの代表値とする。
- $u_m$  ; 上空 400m 程度の高さにおける時間平均風速 (m/s)。
- $u_h$  ; 上流境界における建物の軒高の水平方向時間平均風速 (m/s)。
- $x, y, z$  ; 三次元直角座標
- $X, Y, Z$  ; それぞれ、 $x, y, z$  に対応する無次元直角座標で、 $X=x/h, Y=y/h, Z=z/h$  で表わす
- $u, v, w$  ;  $x, y, z$  方向時間平均風速 (m/s)。
- $U, V, W$  ; それぞれ、 $u, v, w$  に対応する無次元速度で、 $U=u/u_m, V=v/u_m, W=w/u_m$  で表わす。
- $q, q'$  ; 無次元乱流エネルギー、 $q'$  を有次元音数として、 $q=q'/u_m^2$  で表わす
- $\epsilon, \epsilon'$  ; 無次元粘性逸散率、 $\epsilon'$  を有次元変数として、 $\epsilon=\epsilon'/(u_m^3 h)$  で表わす。
- $\nu_t, \nu$  ; 無次元渦動粘性係数、無次元動粘性係数
- $\rho$  ; 空気の密度 ( $\text{kgs}^2/\text{m}^4$ )。

\* 社団法人仮設工業会において仮設構造物に対する設計基準を作成するため、日本大学、早稲田大学、大林組技術研究所、鹿島建設技術研究所及び労働省産業安全研究所等が参加し、昭和 55 年 3 月 31 日、風に対する鋼管足場等の安全技術指針をまとめた。

- $\pi$  ; 無次元静圧,  $p$ を有次元静圧として  $\pi = p / \rho u_m^2$  で表わす。
- $\pi_h$  ;  $\pi_h = p / (\rho u^2 h / 2)$  風圧力, 風圧係数を表わす。
- $x_s, X_s$  ; 側面足場面の  $X$  方向の長さを  $x_s$  で表わし, その無次元長さ  $X_s = x_s / h$
- $y_s, Y_s$  ; 上流側及び下流側足場面の見付巾寸法を  $y_s$  で表わし, その無次元寸法を,  $Y_s = y_s / h$  で表わす。
- $z_s, Z_s$  ; 足場面頂部までの高さを  $z_s$  で表わし, その無次元高さ  $Z_s = z_s / h$  で表わす。
- $R$  ; 前面足場面のアスペクト比で,  $R = Z_s / Y_s$  で表わす。
- $k$  ; カルマン定数 0.4。
- $z_0, Z_0$  ; 地表面粗度長を  $z_0$  で表わし, その無次元長を  $Z_0 = z_0 / h$  で表わす。
- $T, \Delta T$  ; 無次元時間, 同時間きざみ

## 2. 計算を実施すべきモデルの設定

計算は上流境界上の値を計算によって決定したあとで, 以下に示すように数種のモデルを設定し, それらをそれぞれ Case 1, Case 2, ..., Case 6 のように記号で表わし, その順序に従って計算を実施した。

### 1) Case 1

地表面粗度長  $Z_0$  なる地表 (以下全モデルとも同じ) に平板又はシートを一面に張りつめた足場面が直立した場合で, 主風向は前面足場面に直角に吹きつける場合である。主風向については, 以下 Case 2~Case 5 まで同じ扱いとする。

寸法は  $y_s = 20.4 \text{ m}$ ,  $Y_s = 1.0$ ,  $z_s = 23.8 \text{ m}$ ,  $Z_s = 1.16$ , アスペクト比  $R = 1.16$  である。Fig. 1 の a)

### 2) Case 2

建物 (以下 Case 5 のモデルまで建物は全て無窓で, 空気の流通はないものとする) の四周に足場が組み立てられ, シートまたは防音パネル等が全面に張られた場合である。足場面の高さは, 現在の建築工事現場の実状を考慮し, 工事中の建物の軒高より枠組足場 2 層分, 3.4m だけ高いものとし, 以下のモデルについて同様な扱いとした。また足場面と建物の壁面との距離は全て 1.8m とし, Case 5 まで同様な扱いとした。Fig. 1 の b)

各部の寸法は,  $X_s = 1.0$ ,  $Y_s = 1.59$ ,  $Z_s = 1.16$  でアスペクト比  $R = 0.734$  である。

### 3) Case 3

以下 Case 5 までは  $X_s, Y_s$  の寸法の差異による風圧

力の差異を調べる目的で計算を行ったものである。

Case 3 の場合には,  $X_s = 1.0$ ,  $Y_s = 1.0$ ,  $Z_s = 1.16$ ,  $R = 1.16$  でその他は Case 2 と全て同一。Fig. 1 の b)

### 4) Case 4

$X_s = 3.0$ ,  $Y_s = 1.0$ ,  $Z_s = 1.16$ ,  $R = 1.16$ 。Fig. 1 の c)

### 5) Case 5

$X_s = 1.0$ ,  $Y_s = 3.0$ ,  $Z_s = 1.16$ ,  $R = 0.388$ 。Fig. 1 の d)

### 6) Case 6

自然風中の実大実験で得られた実験結果を検討する目的で計算対象として採りあげた。本例の場合, Fig. 1 の e) に示すように, 建物の妻面に枠組足場を組み立て, 全面にシート等を張った場合である。建物の外形寸法は,  $h = 23.4 \text{ m}$ , 桁行 21.0m, 梁間 7.2m である。足場面の寸法は,  $Z_s = 1.145$ ,  $Y_s = 0.389$ ,  $R = 2.94$  であり, 足場面の右端は建物から枠組足場一スパン分張り出している。主流方向は実測値と合致させるため図示のように足場面に向かって  $9^\circ$  だけ偏っている。

## 3. 計算の方法

### 3.1 計算を実施するときの仮定条件

計算を行うに当り, 計算を容易にするため, 条件を整理し, 次のような仮定を行った。

1) 空気の密度は計算をすべき領域内では一様とする。

2) 地表面粗度も全て一様とする。

3) 足場は全て建物に堅固に緊結されていて, 揺れはない。また Case 1 の場合は, 足場は倒壊しないように補強されているものとする。

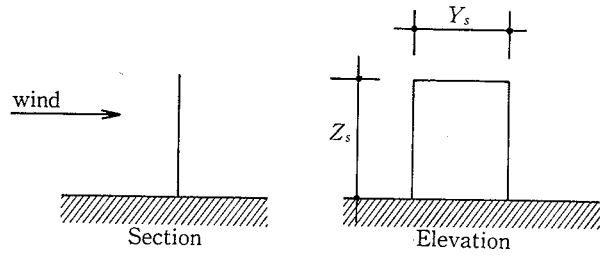
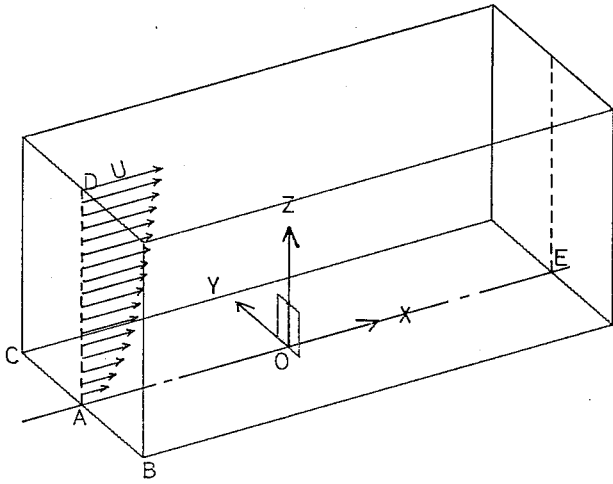
4) シート面は受風時には平らな面とは考えにくいですが, 簡便のため平板とみなす。また, 受風時にはためきはないものとする。建物の屋根, 壁面も同様平らな面とみなす。

5) 現実には, シートとシートの接合部は隙間は生ずるが, この隙間は無視するものとする。

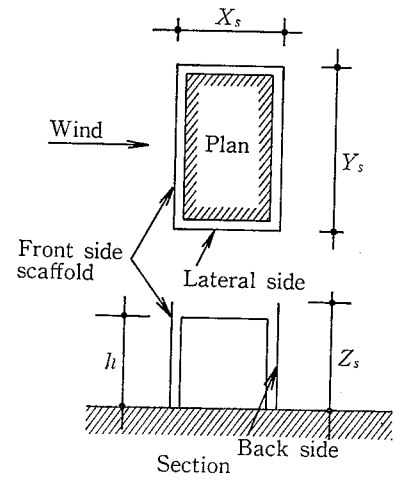
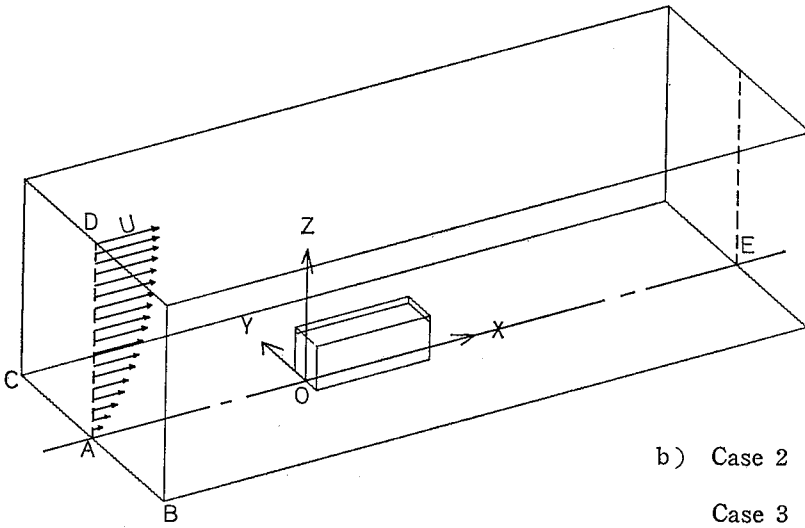
6) 足場面と建物の間には足場板が置かれ, 空気の流れに抵抗するが, 計算では全て足場骨組及び足場板の抵抗はないものとして扱い, 足場面と建物の間の空気の流れ及び圧力も計算する。

7) Case 6 の場合には, 建物は 4 層で壁面が全くなく柱と梁のみの構造物で床スラブは 2~3 層にはなく, 屋根面のみが存在するもので, 当所清瀬実験場にある仮設構造関係の実大実験用施設である。計算にあたっては, 厚みのない剛な屋根スラブを太さのない柱と梁が支えているものとする。また実大実験では, 周囲に小規模

建物が点在している状況下で行なわれたが、計算ではこれらを見捨てる。

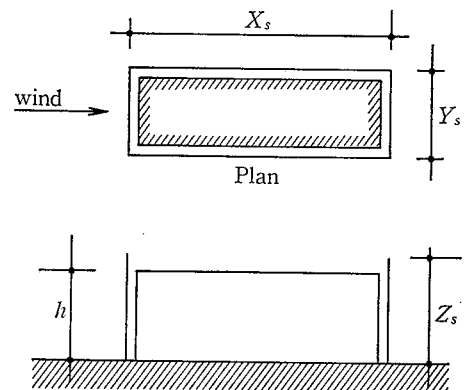
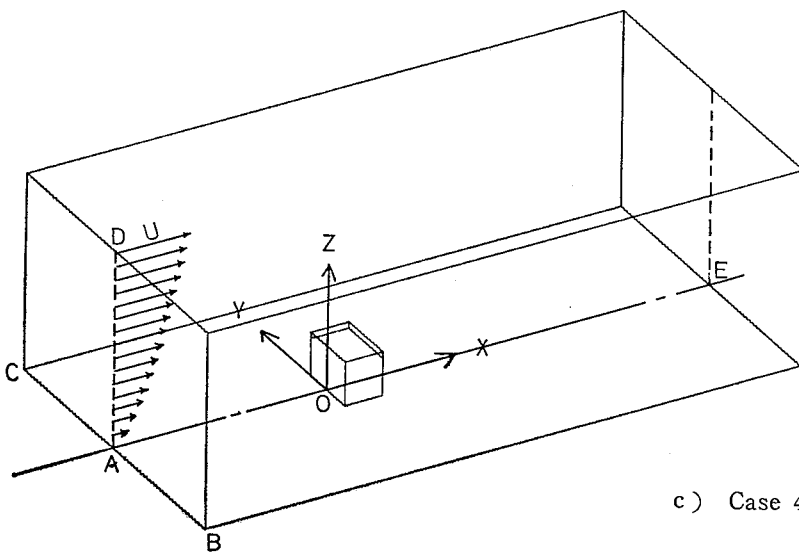


a) Case 1,  $Y_s=1.0$ ,  $Z_s=1.16$



b) Case 2 ( $X_s=1.0$ ,  $Y_s=1.59$   
 $Z_s=1.16$ )

Case 3 ( $X_s=1.0$ ,  $Y_s=1.0$   
 $Z_s=1.16$ )



c) Case 4 ( $X_s=3.0$ ,  $Y_s=1.0$   
 $Z_s=1.16$ )

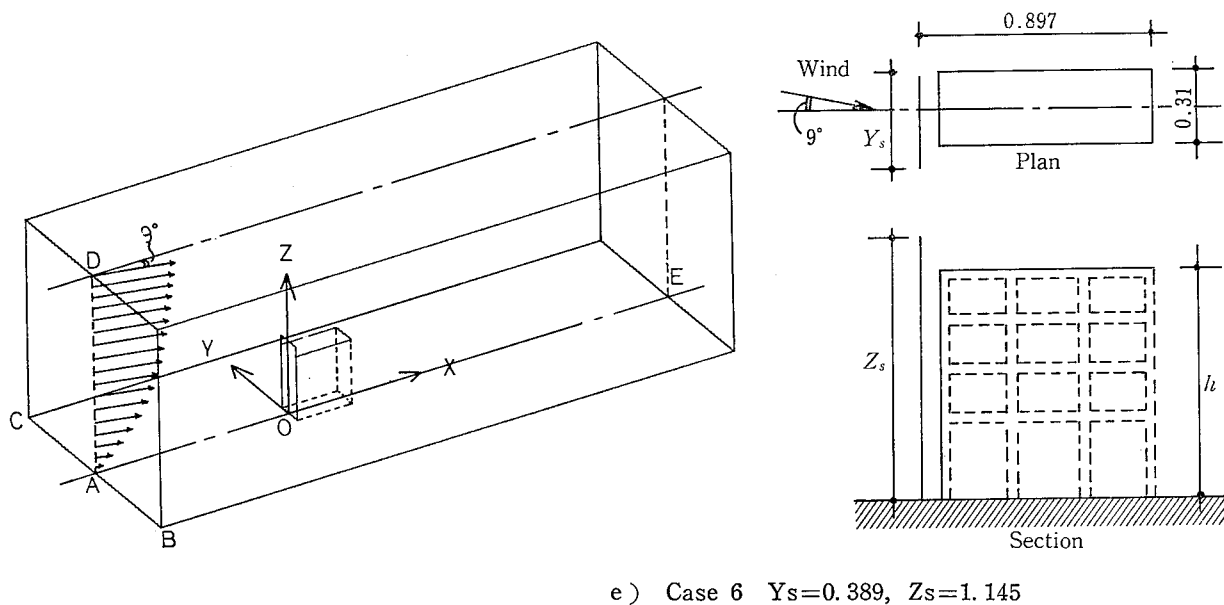
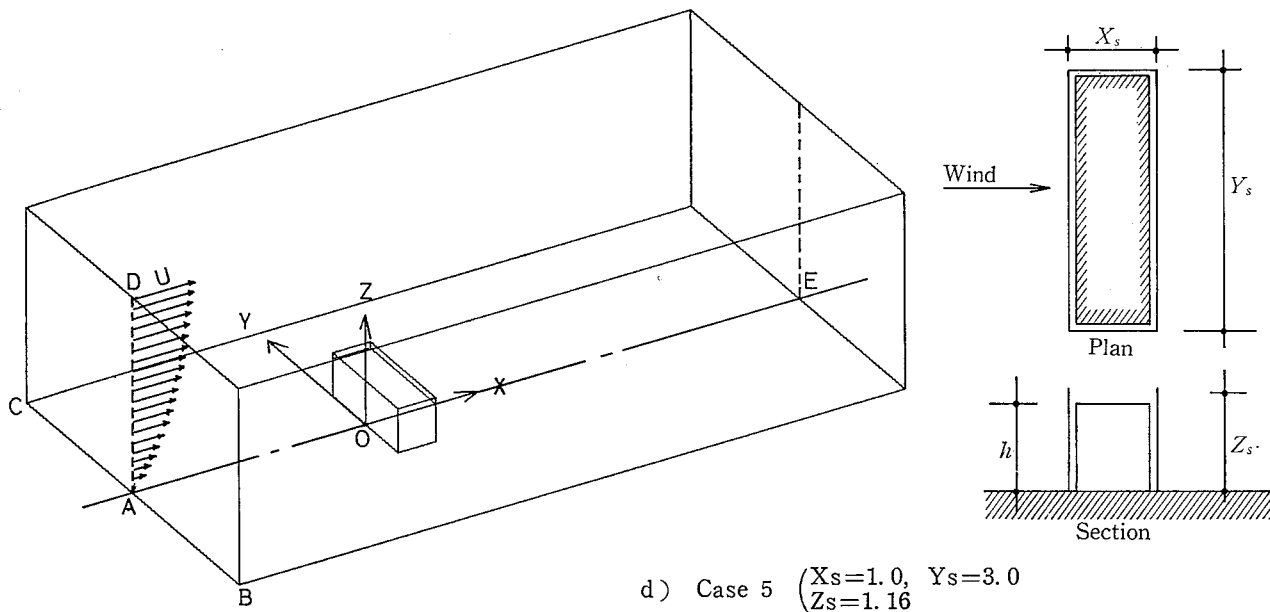


Fig.-1 Sketches of six models, the computational area and the principal direction of wind, and coordinate system.

6種のモデルとその計算領域、主風向及び座標系

### 3.2 基礎方程式

台風接近時の強風、寒冷前線通過時等の急激な気象変化による突風あるいは強い季節風が吹く場合、建物の周囲には大きな風速変動が生ずる。任意の空間で、ある瞬間の風向、風速及び風圧を知る必要がある場合には、実測によるか、あるいは計算による場合には不定常解を求めねばならない。しかし本報では、設計用風力係数を求めることを目的としているので、以下に述べる方法で定

常解を求めることにする。

流れは乱流非圧縮性3次元流れとして扱い、渦動粘性係数について良く知られている2方程式モデル<sup>7)~9)</sup>を用いると、計算すべき方程式は連続の方程式、運動方程式、乱流エネルギー輸送方程式及び静圧力についてのポアソン方程式(実際には圧力緩和式に置き換える)である。

よって、解くべき無次元方程式は、Fig.1に示す座標系において、

1) 連続の式

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (1)$$

2) 運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial T} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{\partial \pi}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial X} \left( 2\nu_e \frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial T} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} + W \frac{\partial V}{\partial Z} = -\frac{\partial \pi}{\partial Y} + \frac{\partial}{\partial Y} \left( 2\nu_e \frac{\partial V}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial T} + U \frac{\partial W}{\partial X} + V \frac{\partial W}{\partial Y} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{\partial \pi}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial Z} \left( 2\nu_e \frac{\partial W}{\partial Z} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ \nu_e \left( \frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

3) 乱流輸送方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial T} + U \frac{\partial q}{\partial X} + V \frac{\partial q}{\partial Y} + W \frac{\partial q}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial X} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_q} + \nu \right) \frac{\partial q}{\partial X} \right\} + \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_q} + \nu \right) \frac{\partial q}{\partial Y} \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_q} + \nu \right) \frac{\partial q}{\partial Z} \right\} + \nu_t S - \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} + U \frac{\partial \varepsilon}{\partial X} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial Y} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial X} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X} \right\} + \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial Y} \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ \left( \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial Z} \right\} + C_1 \nu_t \frac{\varepsilon}{q} S - C_2 \frac{\varepsilon}{q} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\nu_t = C_D \frac{q^2}{\varepsilon}, \quad \nu_e = \nu_t + \nu \quad (7)$$

ただし,  $S$  は

$$S = 2 \left\{ \left( \frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial Z} \right)^2 \right\} + \left( \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial W}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial X} + \frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 \quad (8)$$

である。上式の方程式中の定数  $C_1, C_2, C_D, \sigma_q, \sigma_\varepsilon$  は

$$\left. \begin{aligned} C_1 = 1.59, \quad C_2 = 2.0, \quad C_D = 0.09 \\ \sigma_q = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

とする。  $\pi$  は下記に示す不等間隔格子の場合の緩和式を用いる。  $X, Y, Z$  方向の任意の格子番号を  $I, J, K$  で表わし, その近傍の格子間隔を,

$$\left. \begin{aligned} HX_1 = X_{I-1/2} - X_{I-3/2}, \quad HY_1 = Y_{J-1/2} - Y_{J-3/2}, \quad HZ_1 = Z_{K-1/2} - Z_{K-3/2} \\ HX_2 = X_{I+1/2} - X_{I-1/2}, \quad HY_2 = Y_{J+1/2} - Y_{J-1/2}, \quad HZ_2 = Z_{K+1/2} - Z_{K-1/2} \\ HX_3 = X_{I+3/2} - X_{I+1/2}, \quad HY_3 = Y_{J+3/2} - Y_{J+1/2}, \quad HZ_3 = Z_{K+3/2} - Z_{K+1/2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

とおき, 連続方程式の不満足分を  $D_{I,J,K}$  とおけば,

$$D_{I,J,K} = \frac{U_{I+1/2,J,K} - U_{I-1/2,J,K}}{HX_2} + \frac{V_{I,J+1/2,K} - V_{I,J-1/2,K}}{HY_2} + \frac{W_{I,J,K+1/2} - W_{I,J,K-1/2}}{HZ_2} \quad (11)$$

によって  $D_{I,J,K}$  を計算し, 圧力の修正量  $\delta\pi$  を

$$\delta\pi = -\frac{\beta}{2\Delta T} \cdot D_{I,J,K} \quad (12)$$

とし, 圧力の  $l$  回目の反復値を次式で与える。

$$\pi^l = \pi^{l-1} + \delta\pi \quad (13)$$

ただし,  $\beta$  は

$$\beta = \beta_0 \left\{ 1 / \left[ \frac{HX_1 + 2HX_2 + HX_3}{HX_2(HX_1 + HX_2)(HX_2 + HX_3)} + \frac{HY_1 + 2HY_2 + HY_3}{HY_2(HY_1 + HY_2)(HY_2 + HY_3)} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{HZ_1 + 2HZ_2 + HZ_3}{HZ_2(HZ_1 + HZ_2)(HZ_2 + HZ_3)} \right] \right\} \quad (14)$$

である。 $\beta_0$  は 1.0~1.4 程度の値を与える。

### 3.3 境界条件

#### 3.3.1 上流境界

風のような開放境界の流れの解析では、閉空間の流体問題と異なり、上流、上空、下流における境界条件の設定の方法が大きな問題である。

上流側の境界値のうち  $U$  及び乱れ度に関しては、風洞実験による結果が発表されている<sup>10),11)</sup>。しかし、充分に発達した境界層の  $V, q, \varepsilon, \nu_t$  についての詳しい実験結果を示しているものは少ない。しかるに後述の計算例を実施するには、上流の境界条件を精度よく与える必要がある。よって本報では、坂本等の方法<sup>12)</sup>にならい、最上流境界で  $U, V, q, \varepsilon$  等に一樣な値を与え、一樣な粗度を有する地表面に沿う流れの発達過程にある境界層の流れを数値的に解き、その一断面上の諸値を本計算の上流境界とすることを考えた。具体的な方法は次の通りである。

- 1) 地表粗度は下流まで一様に 0.25m とする。

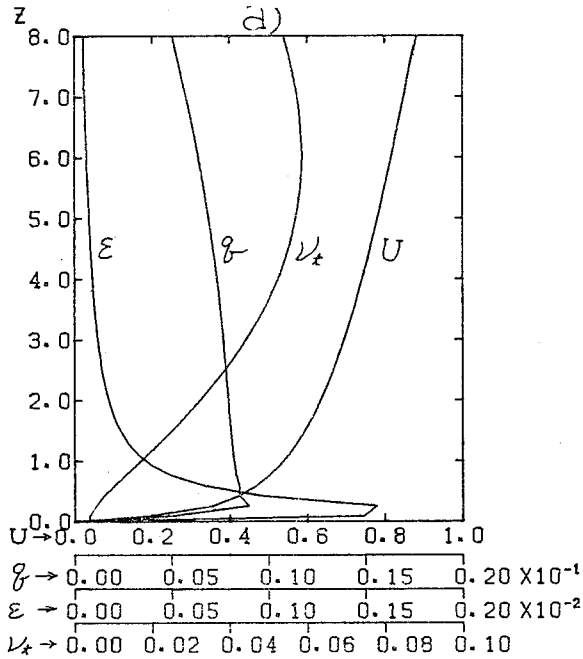


Fig. -2 a) Preparatory computation of two dimensional flow on a rough ground surface at zero incidence were carried out and the profiles on the down stream boundary were used as profiles on the up-stream boundary in analysis. b) A power of  $Z$  is estimated to be 0.254. c) Relation between thickness of boundary  $\delta$  and distance  $X$ .

- a) 下流境界での解を以下の計算の上流境界値とする。
- b)  $Z$  のべき数  $\alpha=0.254$ , c) 境界層の厚さの  $\delta$   $X$  関係

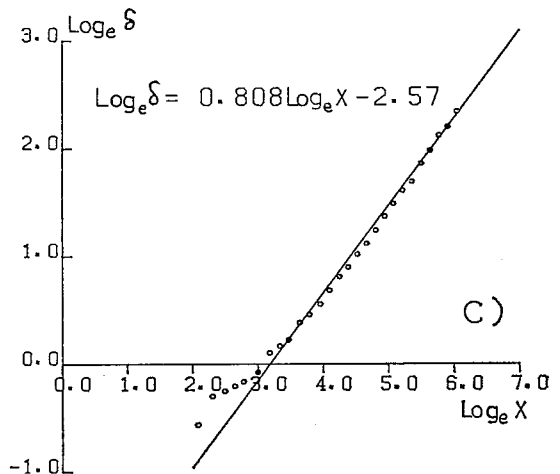
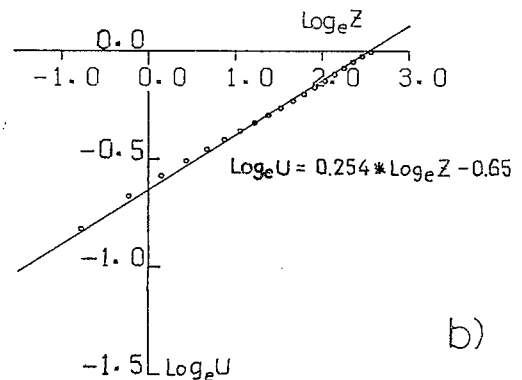
2) 最上流の境界条件は、垂直方向に一樣とし、水平方向流速  $u$  を  $u_m$ ,  $U=u/u_m$ ,  $W=0.0$ ,  $q=0.0003$ ,  $\nu_t=0.0003^{12)}$ ,  $\pi=0.0$  と仮定する。

3) 格子は  $X$  方向については、間隔 1.5h なる等間隔で格子数は 327, 最下流までの距離は 490h (約 10km) である。また、 $Z$  方向は不等間隔で、地表付近では、0.294h (6m), 上空では 1.1h (22.44m), 格子数は 26, 上空境界までの高さは 20h (408.0m) とした。

3) 基礎方程式は式 (1)~(8) のうち、 $\partial/\partial Y=0$ ,  $V=0$  とし、2次元流れとし、時間平均値を MAC 法で解く。

4) 上空、下流の境界条件は遠藤<sup>13)</sup>等の方法を、また地表での境界条件は坂本<sup>12)</sup>等の方法に従った。

計算の結果、下流境界上の水平方向の流速の垂直分布を Fig.2 の a) に示す。この水平方向の流速  $U$  と  $Z$  との関係を調るため、両者の対数を取り、作図したのが Fig.2 b) で、これより、 $Z$  のべき指数  $\alpha$  は 0.254 となり、概略  $Z$  の 1/4 乗となった。垂直方向の速度  $W$  はきわめて小さく、図示することは省略した。また、同図 a) には乱流エネルギー  $q$ , 粘性逸散率  $\varepsilon$  及び  $\nu_t$  の垂直分布をも併せて示した。これらの図から、 $q$  及び  $\varepsilon$  は地表面近傍で著るしく急変するが、 $\nu_t$  については、





地表面近傍でも滑らかな分布形となった。

また、この境界層の計算で、境界層の厚さ  $\delta$  を求めてみると、Fig. 2c) に示すように、

$$\delta \propto X^{4/5} \quad (15)$$

となり、風洞実験結果とよく一致している。

### 3.3.2 上空境界条件

上空の境界条件は次のように与えた。 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  はそれぞれ格子間隔である。また、( ) 内は差分の置換例を示し、添字  $KN$  は最上層のセル番号を示す。

$$1) \quad U; \frac{\partial U}{\partial X} = - \left( \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} \right), \quad (16)$$

$$\begin{aligned} (U_{I,J,KN} = U_{I-1,J,KN} \\ - (V_{I,J,KN} - V_{I,J-1,KN}) \cdot \Delta X / \Delta Y \\ - (W_{I,J,KN} - W_{I,J,KN-1}) \cdot \Delta X / \Delta Z \end{aligned}$$

$$2) \quad V; \frac{\partial V}{\partial Z} = 0 \quad (V_{I,J,KN} = V_{I,J,KN-1}) \quad (17)$$

$$3) \quad W, \pi; W_{I,J,KN} = \pi_{I,J,KN} = 0 \quad (18)$$

$$4) \quad q, \varepsilon; \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0 \quad (19)$$

$$(q_{I,J,KN} = q_{I,J,KN-1}, \varepsilon \text{ も同様})$$

### 3.3.3 下流境界条件

下流の境界条件は次のように与えた。添字  $IN$  は最下流のセルの番号である。

$$1) \quad U; \frac{\partial U}{\partial X} = - \left( \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} \right) \quad (20)$$

$$\begin{aligned} (U_{IN,J,K} = U_{IN-1,J,K} \\ - (V_{IN,J,K} - V_{IN,J-1,K}) \cdot \Delta X / \Delta Y \\ - (W_{IN,J,K} - W_{IN,J,K-1}) \cdot \Delta X / \Delta Z \end{aligned}$$

$$2) \quad V, W; \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial X^2} = 0 \quad (21)$$

$$(V_{IN,J,K} = 2V_{IN-1,J,K} - V_{IN-2,J,K}, W \text{ も同様})$$

$$3) \quad q, \varepsilon, \pi; \frac{\partial q}{\partial X} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial X} = \frac{\partial \pi}{\partial X} = 0 \quad (22)$$

とした。

### 3.3.4 計算領域の側面での境界条件

$$1) \quad U, W; \frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{\partial W}{\partial Y} = 0 \quad (23)$$

$$(U_{I,2,K} = U_{I,3,K}, U_{I,JN,K} = U_{I,JN-1,K})$$

ただし  $U, W, q, \varepsilon$  については  $J$  の境界上のセル番号は 2 よりはじめ。

$$2) \quad V; \frac{\partial V}{\partial Y} = - \left( \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} \right) \quad (24)$$

i)  $J = JN$  の境界

$$\begin{aligned} (V_{I,JN,K} = V_{I,JN-1,K} \\ - (U_{I,JN,K} - U_{I-1,JN,K}) \cdot \Delta Y / \Delta X \\ - (W_{I,JN,K} - W_{I,JN,K-1}) \cdot \Delta Y / \Delta Z \end{aligned}$$

ii)  $J = 1$  の境界

$$\begin{aligned} (V_{I,1,K} = V_{I,2,K} \\ + (U_{I,2,K} - U_{I-1,2,K}) \cdot \Delta Y / \Delta X \\ + (W_{I,2,K} - W_{I,2,K-1}) \cdot \Delta Y / \Delta Z \end{aligned}$$

$$3) \quad q, \varepsilon; \frac{\partial q}{\partial Y} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial Y} = 0 \quad (25)$$

$$4) \quad \pi; \pi_{I,JN,K} = \pi_{I,2,K} = 0 \quad (26)$$

とした。

### 3.3.5 地表境界条件

地表面での境界条件は、足場面の外側に接するセルの空間部分を除く全ての地表面で、流速について対数法則が成立しているものとし、3.3.1 で行った方法を基に、さらに水平 2 方向の風速成分を考慮し、以下のような方法によった。ただし、足場面に接するセルについては、3.3.6 のところで記す境界条件を与えた。

$U, V, W$  の定義点は MAC 法の定義点で、セルの底面が地表に接するところで、

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 \quad (27)$$

と置き、(10) 式を用いて、

$U$  の定義点で水平 2 方向の合成速度  $U'_{I+1/2,J,2}$  は、

$$\begin{aligned} U'_{I+1/2,J,2} = \left\{ U^2_{I+1/2,J,2} \right. \\ \left. + \left[ \frac{(V_{I,J+1/2,2} + V_{I,J-1/2,2})}{2} \cdot \frac{HX_3}{(HX_3 + HX_2)} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(V_{I+1,J+1/2,2} + V_{I+1,J-1/2,2})}{2} \cdot \frac{HX_2}{(HX_3 + HX_2)} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (28) \end{aligned}$$

と表わし、これより無次元摩擦速度  $U^*$  は、

$$U^* = \frac{k}{\ln(\Delta Z / 2Z_0)} \cdot U'_{I+1/2,J,2} \quad (29)$$

によって求める。地表に接するセルについて、

$$U^{*2} = \nu_t \frac{\partial U'}{\partial Z} \quad (30)$$

と置けば、下層の境界値  $U'_{I+1/2,J,1}$  は、

$$U'_{I+1/2,J,1} = U'_{I+1/2,J,2} - \frac{U^{*2}}{\nu_t} \cdot \Delta Z \quad (31)$$

となる。ただし、 $\nu_t$  は、

$$\nu_t = (\nu_{tI+1,J,2} + \nu_{tI,J,2}) / 2 \quad (32)$$

よって、(31) 式の  $X$  方向への速度成分  $U_{I+1/2,J,1}$  は、

$$U_{I+1/2,J,1} = U'_{I+1/2,J,1} \frac{U_{I+1/2,J,2}}{U'_{I+1/2,J,2}} \quad (33)$$

を得る。

次に地表面における  $q, \varepsilon$  は文献 12) によるものとするが、その場合  $U^*$  は  $q, \varepsilon$  の定義点で合成速度を求め、(29) 式を用いる。

3.3.6 足場シート面、建物壁面及び屋根面境界条件  
垂直面での境界条件は次のようにした。

Table -1 List of the dimensions of computational area and grid number  
各モデルの計算領域の大きさと格子数の一覧表

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
$\overline{AO}$	5.63	5.63	5.63	5.63	6.22	3.10
$\overline{AB}$	-3.31	-4.19	-3.31	-3.31	-4.89	-1.80
$\overline{AC}$	3.31	4.19	3.31	3.31	4.89	1.80
$\overline{AD}$	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	3.14
$\overline{OE}$	9.57	10.16	9.57	11.43	11.53	6.00
Grid number $X \times Y \times Z$	$40 \times 22 \times 18$	$40 \times 27 \times 18$	$40 \times 22 \times 18$	$45 \times 22 \times 18$	$40 \times 31 \times 18$	$35 \times 22 \times 18$

- 1)  $U, V; U=0, V=0$  (34)
- 2)  $W, q, \varepsilon$ ; 反射法によるノンスリップ条件とした。  
これは、境界面上で、 $W, q$  及び  $\varepsilon$  がゼロとなるように与える方法であるが、 $q, \varepsilon$  について、仮想セル側で負の値を与えることになり物理上意味のない操作をすることになるが、 $\nu_t$  と併せて数値実験を重ねた結果、便宜上この方法によった。
- 3)  $\nu_t$ ; スリップ条件とする
- 4) 足場頂部、角のある部分は局部的に 3.5 において述べる扱いをする。  
また、建物の屋根面では
- 5)  $U, V, q, \varepsilon$ ; 単に反射法によるノンスリップ条件とする。
- 6)  $W; W=0$  (35)
- 7)  $\nu_t$ ; スリップ条件とする。

### 3.4 計算領域及び格子寸法

計算領域の大きさはアスペクト比Rの大きさによって

種々変えた。計算領域は十分に広いことが望ましいが、計算時間の制約があるためあまり広くすることができない。本報で設定した寸法は Table 1 に示した。同表中の線分については Fig. 1 を参照のこと。

格子間隔は  $X, Y, Z$  方向とも不等間隔で、その例として、Case 2, Case 5 の場合について格子の割りつけ例を Fig. 3 に示す。

足場面と建物との間では、セルは1列のみとし、したがって足場面と建物との巾が格子の間隔となる。その他の格子間隔は足場面より遠ざかるに従い拡大する。垂直方向の格子間隔は、足場頂部近傍が最小で 1.7 m/h(=0.0833) で上空に向うに従い拡大するように設定した。ただし、Case 1 と Case 6 はこれとやや異なるが、ほぼ同様である。

格子数は計算例毎により計算領域が変わるために Table 1 に併記するような数にとった。

計算を実施する際、 $U, V, W, q, \varepsilon, \nu_e, \pi$  の初期値は、建物の内部セル及び、所要境界値を除き全て上流境界値

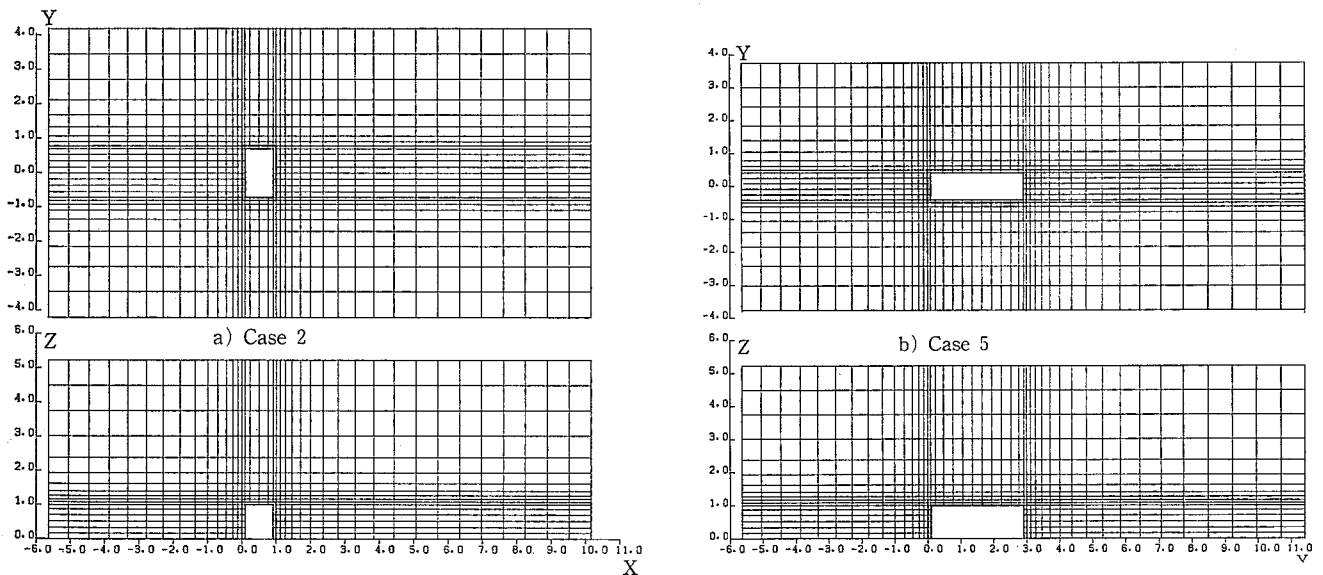


Fig.-3 Examples of finite difference variable grid system. a) Case 2, b) Case 5  
格子の割りつけの例 a) は Case. 2, b) は Case. 5 の場合

を入れておき、計算を始める。また時間ステップも適宜調整しつつ実行する。計算の打ち切りは、

$$C_{\varphi_{\max}} = \left[ \left| \frac{\varphi^n - \varphi^{n-1}}{\varphi_{\max}^n} \right| \right]_{\max} < 0.0005 \quad (36)$$

$$\varphi = U, V, W, q, \varepsilon, \pi$$

を判定条件とした。ただし、 $n$ は Iteration の回数であり、上記の5変数がともに(36)式を満足しても、 $\pi$ の  $C_{\max}$  はこれらの変数のそれよりかなり大きい値となって残るが、実用問題のない精度にまで収れんしているものとみなし、また計算時間の制約もあって計算を打ち切った。

### 3.5 角のある部分のプログラミングについて

原方程式を差分で表わす場合、最も工夫を要する点は境界に接するセルと鋭角部を含むセルについてであろう。とくに鋭角部に対するプログラミングについては、数種の方法<sup>15)</sup>に対し数値実験を行い、試行錯誤を繰返した。その結果、次のような方法によることにした。この方法は比較的自然的に近い結果を与えるのではないと思われる。ただし、この方法が妥当であるか否かについては実験によって確認すべきであるが、未だ行っていない。

実際の計算では3次元であるが、図が複雑となるので Fig. 4 のように2次元的に図示する。図中のセル ABCD において、 $U, V$  の MAC 法の定義点は図の位置にとられる。よって同図において、

$$\left. \begin{array}{l} 1) U_P \text{ を計算するとき} \\ \quad \text{i) } U_S = -U_P \text{ (ノンスリップ)} \\ \quad \text{ii) } V_E = V_P \text{ (スリップ)} \end{array} \right\} \quad (37)$$

$$\left. \begin{array}{l} 2) V_P \text{ を計算するとき} \\ \quad \text{i) } U_S = U_P \text{ (スリップ)} \\ \quad \text{ii) } V_E = -V_P \text{ (ノンスリップ)} \end{array} \right\} \quad (38)$$

のように与える。このような方法を足場面頂部及び外側足場面の隅角部等に適用した。

### 3.6 足場面上の風圧力の算出について

これまでのような方法で未知変数は決定されるが、前述のように、格子は Fig. 3 に示すように設定したので、足場面はセルの境界面と一致している。風圧力の定義点は MAC 法ではセルの中心にあり、従って足場面上の風圧力を求めるためには、以下に示すように一旦得られた(1)~(9)式の解を用い、追加計算が必要である。

Fig. 5 (図は簡単にするため、断面で表わした) のように足場面に接するセルを小さな格子間隔に分割する。分割の方法は、セルの中心を足場面が通るように設定する。

各細分セルのそれぞれの MAC 法による定義点  $P(X, Y, Z)$  における  $U, V, W, \pi$  及び  $\nu_t$  は、それぞれの変数の8個の既知数((1)~(9)式の解を用いる)を8つの頂点上に有する直方体に包含される。よって、それぞれの定義点における未知変数は、有限要素法でよく用いられる内挿多項式

$$\varphi = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 XY + a_5 XZ + a_6 YZ + a_7 XYZ \quad (39)$$

を用い、8個の既知変数とその座標値を上式に代入すれ

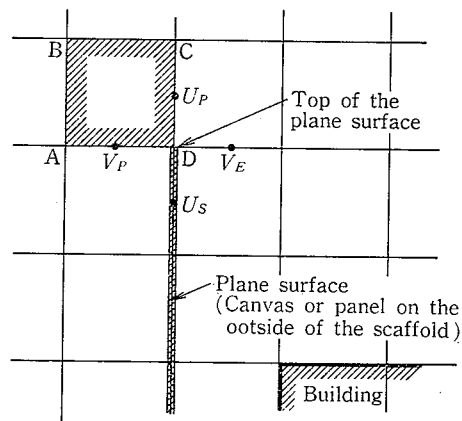


Fig. -4 Special treatments of virtual values at a top of the plane surface.

In computation for the  $U_P$ ,  $U_S = -U_P$  and  $V_E = V_P$  and for the  $V_P$ ,  $U_S = U_P$  and  $V_E = -V_P$

足場頂部での仮想値の特殊な扱い方の例

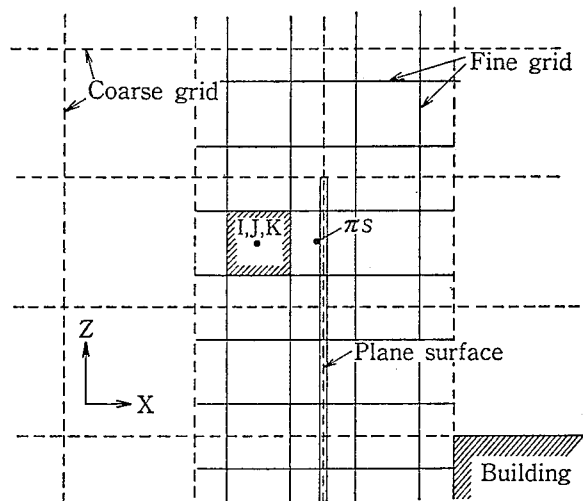


Fig. -5 Small grid arrangement to compute wind pressure on the plane surface (scaffold face)

足場面上の風圧力を計算するための細分格子

ば、8元の連立方程式が得られ、これらより、 $a_0, a_1, \dots, a_7$  が決定される。実際に  $a_0, a_1, \dots, a_7$  を決定し、(39)式に代入すると、P点の内挿値は次のような関係式で与えられる。

P点を通り、直方体の各面に平行な3面で直方体を分割すると、8個の直方体ができるが、それらの体積を  $Q_1, Q_2, \dots, Q_8$  とし、またP点が区間  $(X_I, X_{I-1}), (Y_J, Y_{J-1}), (Z_K, Z_{K-1})$  の間にあるものとするとき、 $Q_1, Q_2, \dots, Q_8$  を

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= (X - X_{I-1})(Y - Y_{J-1})(Z - Z_{K-1}) \\ Q_2 &= (X_I - X)(Y - Y_{J-1})(Z - Z_{K-1}) \\ Q_3 &= (X - X_{I-1})(Y_J - Y)(Z - Z_{K-1}) \\ Q_4 &= (X_I - X)(Y_J - Y)(Z - Z_{K-1}) \\ Q_5 &= (X - X_{I-1})(Y - Y_{J-1})(Z_K - Z) \\ Q_6 &= (X_I - X)(Y - Y_{J-1})(Z_K - Z) \\ Q_7 &= (X - X_{I-1})(Y_J - Y)(Z_K - Z) \\ Q_8 &= (X_I - X)(Y_J - Y)(Z_K - Z) \\ Q &= (X_I - X_{I-1})(Y_J - Y_{J-1})(Z_K - Z_{K-1}) \end{aligned} \right\} (40)$$

のように表わせば、補間値  $\varphi$  は、

$$\begin{aligned} \varphi &= (Q_1 \cdot \varphi_{I,J,K} + Q_2 \cdot \varphi_{I-1,J,K} + Q_3 \cdot \varphi_{I,J-1,K} \\ &\quad + Q_4 \cdot \varphi_{I-1,J-1,K} + Q_5 \cdot \varphi_{I,J,K-1} + Q_6 \cdot \varphi_{I-1,J,K-1} \\ &\quad + Q_7 \cdot \varphi_{I,J-1,K-1} + Q_8 \cdot \varphi_{I-1,J-1,K-1}) / Q \end{aligned} \quad (41)$$

で表わされるので、この式により、各未知変数の値を求めておく。

次に、まず風上側足場面上の風圧力  $\pi_s$  を求めるには、Fig. 5の斜線を施したセルに注目すれば、細分セル上の変数は  $\pi_s$  を除き全て上記の補間によって既知となっているので、(2)式において

$$\frac{\partial U}{\partial T} = 0 \quad (42)$$

と置き、同式中の  $\partial \pi / \partial X$  を Explicit の形で表わし、

$$\pi_s = \pi_{I+1,J,K} \quad (43)$$

で得られる。同様に側面の足場面上の風圧力も(4)式を用いて計算するものとする。また、風下側の足場面上の風圧力は足場面の近傍で急激な圧力変化が生じていないので、上記の扱いはせず、単に足場面に接するセルの風圧力をもってその足場面上の風圧力とした。また、当然ながら、足場面と建物の壁面との間においても同様な扱いをした。

## 4. 計算結果

### 4.1 風速分布について

計算結果のうち、まず、代表例として Case 2, Case 5 及び Case 6 について時間平均風速の分布図を Fig. 6~

Fig. 8 に示す。これらの図で、建物の中心を通る  $Y=0$  垂直断面上の分布図をそれぞれ図中の a) に Fig. 6 の b) 及び Fig. 8 の b) は  $Z=0.5$  の高さにおける水平面上の水平方向成分の風速分布を示した。とくに、Fig. 7 の b) には、 $Z=0.25, 0.60, 0.93, 1.12$  の高さにおける水平面上の風速分布を掲げた。また、Fig. 9 には、Case 3 及び Case 4 の場合の  $Y=0$  の垂直断面上で建物近傍の風速分布を両者の比較する意味で示した。

これらの図では、風上側の足場面近傍に注目すると、足場面に衝突した風は、足場面に沿う下降気流になる。さらに、これが地表に衝突し、一部は  $Y$  の正負方向に2分され、地表に沿う流れとなり、一部は渦を形成する。

上流側の足場の頂部の裏側で旋回流が生ずるが、とくに Fig. 9 の Case 4 の場合は  $X_s$  が他のものに比べて大きくとり、屋根面上で上流側の足場を越えた風が再付着する位置を調べたところ、 $Y=0$  の線上で、上流足場から下流に向かって 0.92 の位置にあることが求められた。他の計算例の場合には、屋根面上の再付着の位置は明確ではない。

また、風上側足場面外側で、 $Y=0$  の断面上における剝離点の高さ  $Z_{sp}$  を求めてみた結果を Table 2 に示す。この表から、 $Z_{sp}$  はアスペクト比にあまり関係なく、ほぼ 0.865 位となった。

また後流部分では、Case 2, Case 5 の場合、 $Y=0$  の面に関し対称の渦が生じていることがわかる。この面上で、後面足場面から再付着位置まで距離  $X_a$  を Table 2 に併記した。

一方、建物と足場面との間の風の流れはかなり微弱であるが、Fig. 10 に示すような結果が得られた。同図中の a) は  $Z=1.0$  の高さの水平面上の流速を、b) は上流足場面と建物壁面間、c) は側面足場面と建物壁面間、d) は下流側足場面と建物壁面との間の流速の状態を示したものである。この図から上流側足場面を越えた風の一部が下流側の足場面の内側に衝突して、建物壁面と足場面の間で下降気流を生ぜしめる。これが左右両側面の建物壁面と足場面の間の空間に2分されて流れこみ、上流側足場面と建物壁面の間では上昇気流となることがわかる。流速は同図中に示した基準速度と比較してみればわかるように、0.06 以下である。現実には、流路に足場板等様々な障害物があるため、この結果とは多少異なることが予想される。

Case 6 の場合は、計算上の仮定条件のところ述べてように、前面足場面の後の建物は太さを無視した柱、梁と厚さを無視した屋根スラブで構築されているものとして建物の周囲及び内部の空気の運動を計算している。

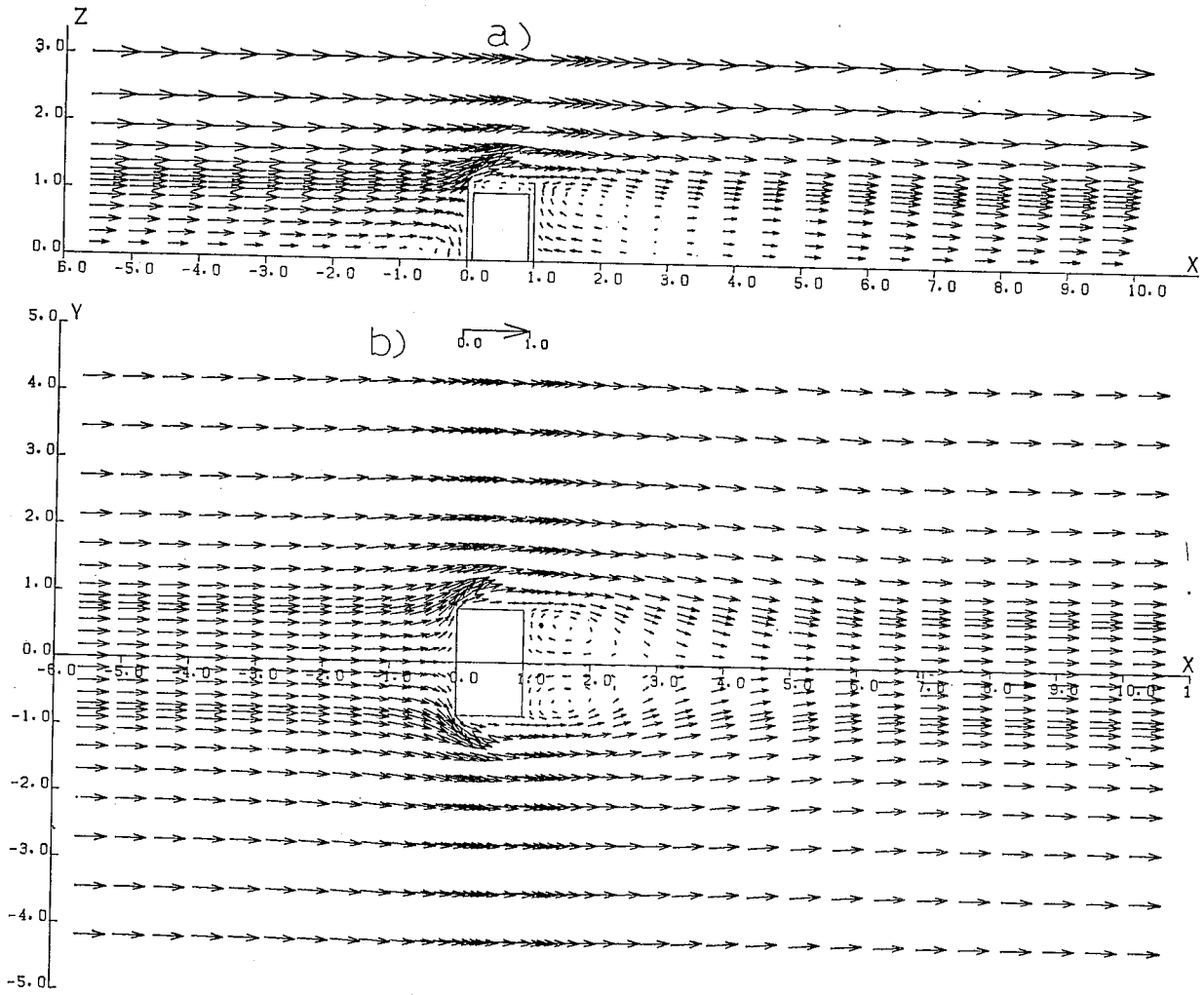


Fig.-6 Velocity vectors on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal section at  $Z=0.5$  b) (Case 2)  
Case 2 の場合の速度ベクトル図

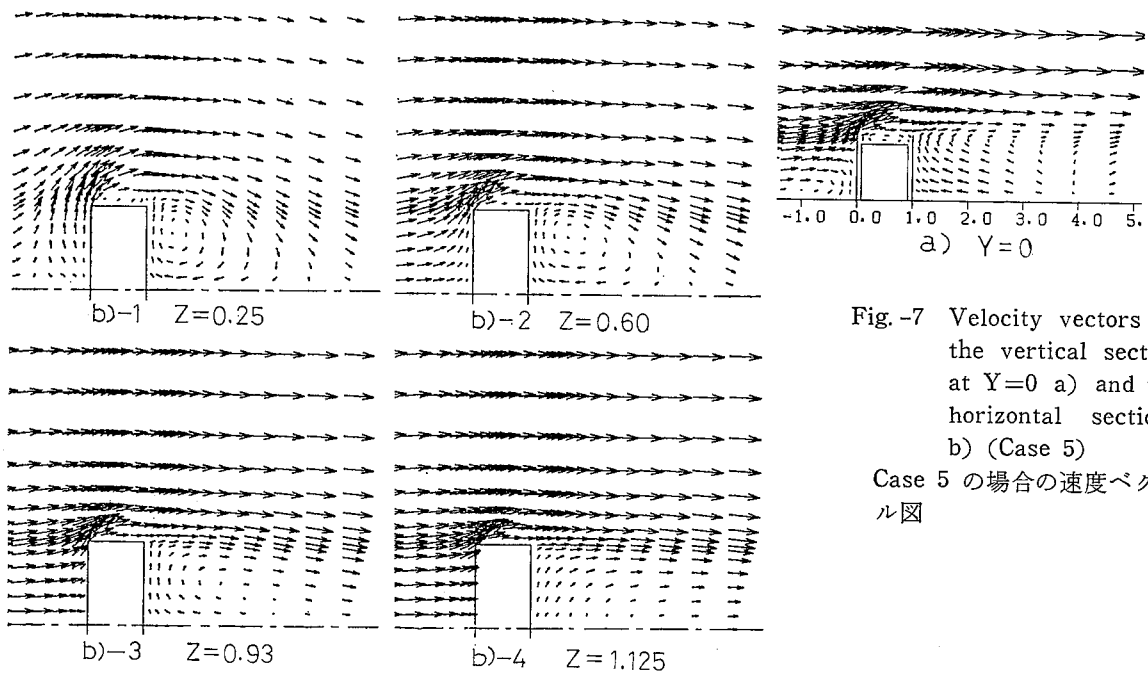


Fig.-7 Velocity vectors on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal sections b) (Case 5)  
Case 5 の場合の速度ベクトル図

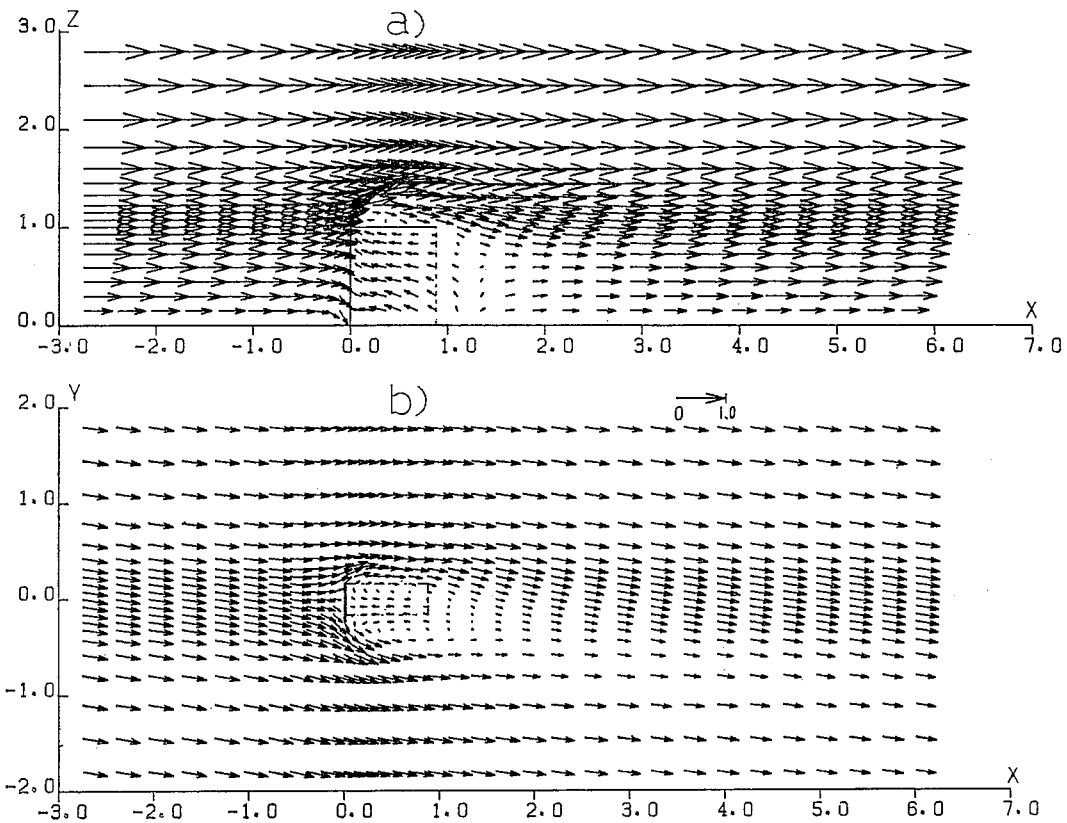


Fig.-8 Velocity vectors on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal section at  $Z=0.5$  b) (Case 6)

Case 6 の場合の速度ベクトル図

Table-2 Height,  $Z_{sp}$  is a separation point on the canvas of up-stream side scaffolding and  $X_a$  is the distance between the O (Fig-1) and separation point at  $Y=0$   
 $Y=0$  における上流側足場面の剥離高さ  $Z_{sp}$  と後流での0点からの剥離距離  $X_a$

Case No.	R	$Z_{sp}$	$X_a$
1	1.16	0.870	1.44
2	0.734	0.865	2.23
3	1.16	0.866	1.43
4	1.16	0.865	1.45
5	0.388	0.864	3.16
6	2.94	0.876	—

計算の結果、屋根スラブが存在するため、Case 1 のように単純な平板が地表上に直立する場合と比較し、後流部分の流れの様子がかなり異なる。それは、足場裏面の建物内の空間において、水平断面上には二つの渦を有する旋回流が見られるが、 $Y=0$  を通る垂直断面上の流れを見ると屋根スラブの存在によって縦の旋回流が阻害されていることがわかる。

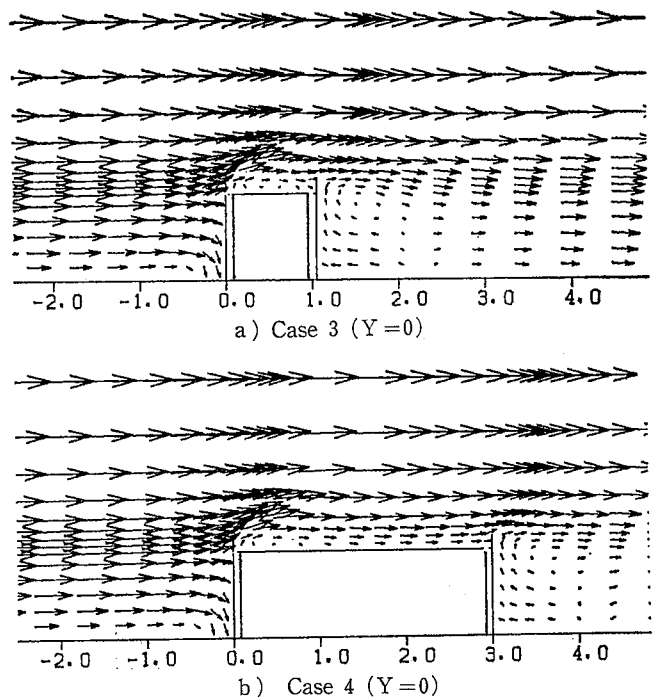


Fig.-9 Velocity Vectors over the roof in the Case 3 and Case 4.

Case 3 と Case 4 の場合の屋根面上の速度ベクトル

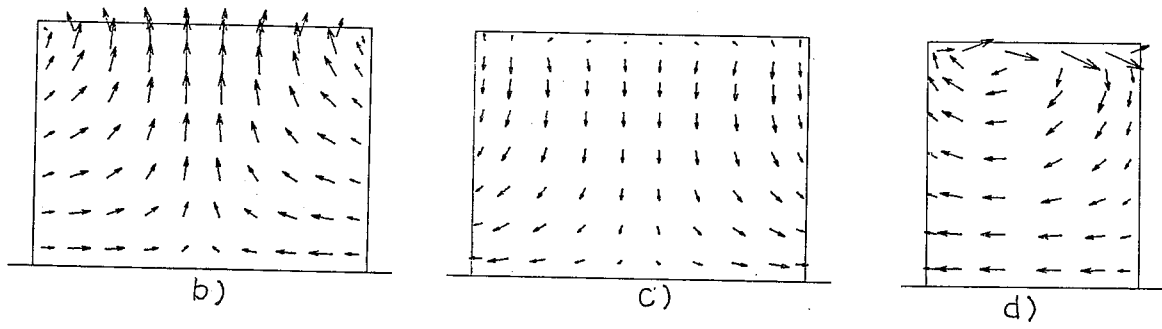
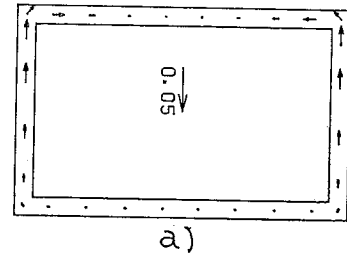


Fig. -10 Velocity vectors of inner flow between the outer wall of the building and the canvas on scaffolding, a) plan, b) front side, c) back side, d) lateral side (Case 2)

Case 2 の場合の足場面と建物壁面との間の気流速度,  
a) 平面, b) 上流側, c) 下流側, d) 側面



a)

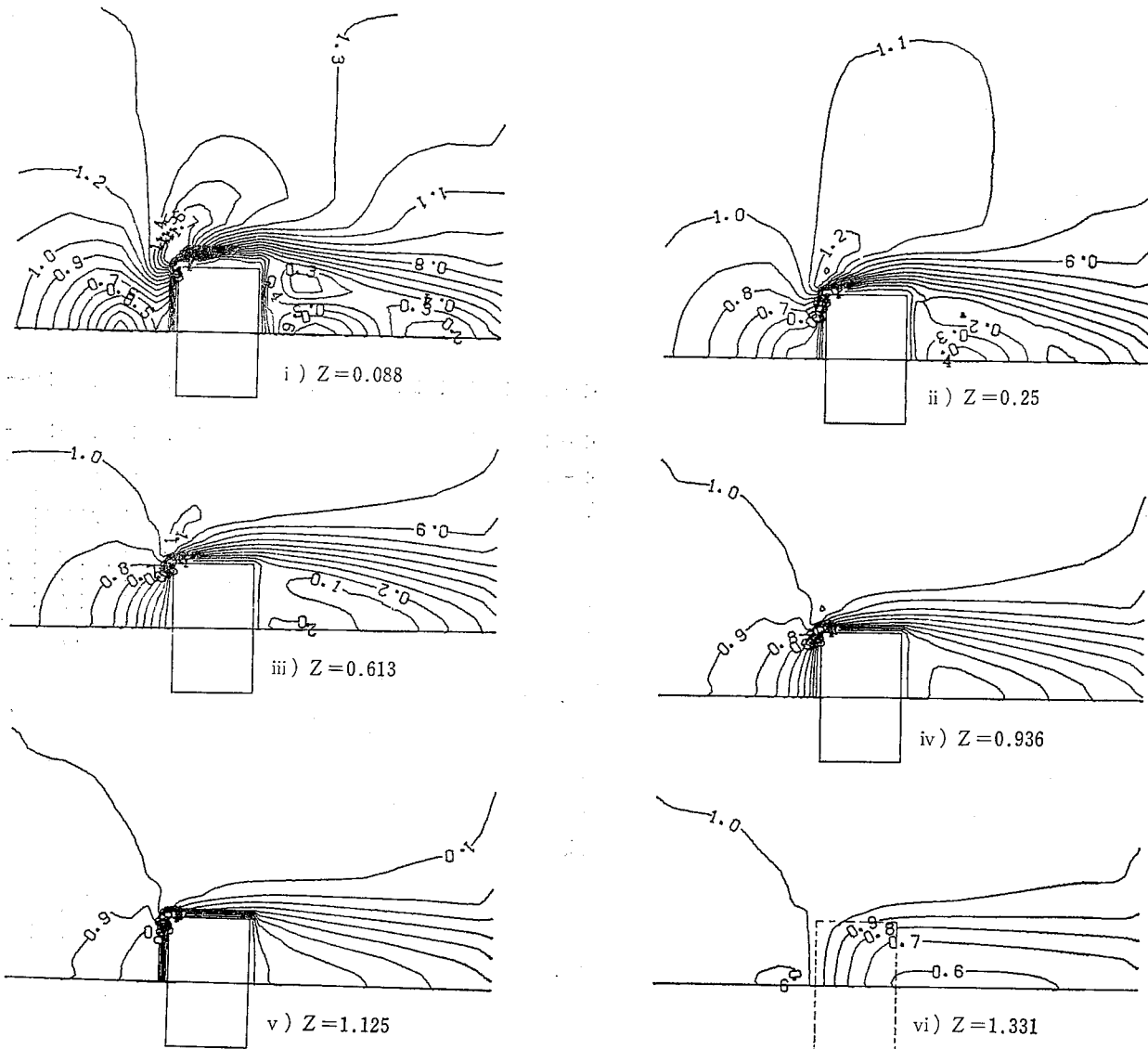


Fig. -11 Contour maps of the rate of reinforcement of wind velocity in the Case 2  
Case 2 の場合の速度増強率

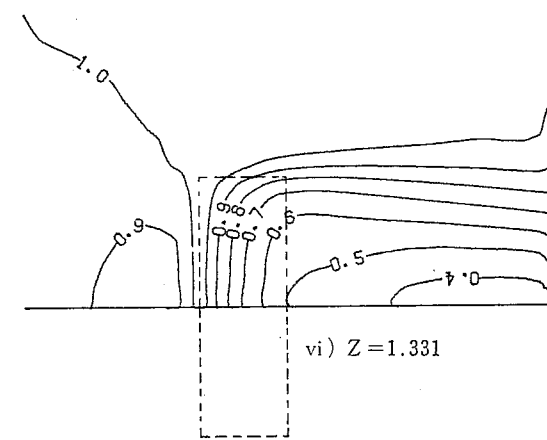
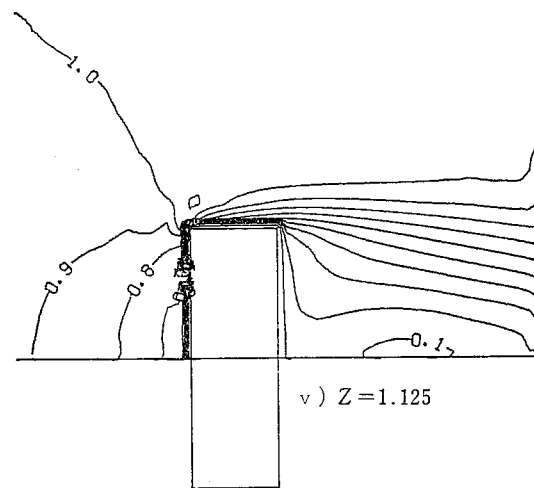
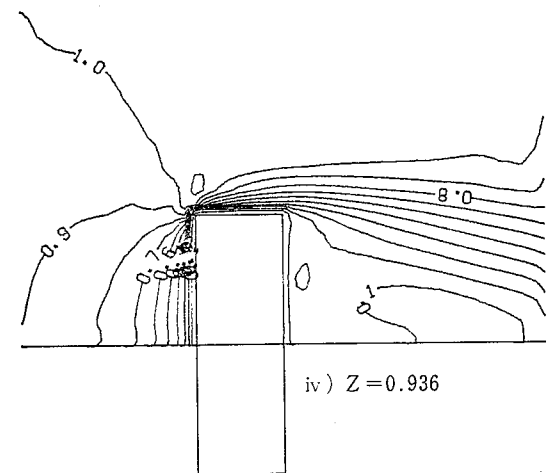
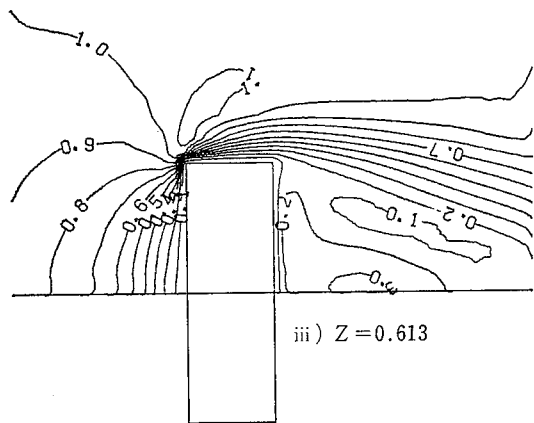
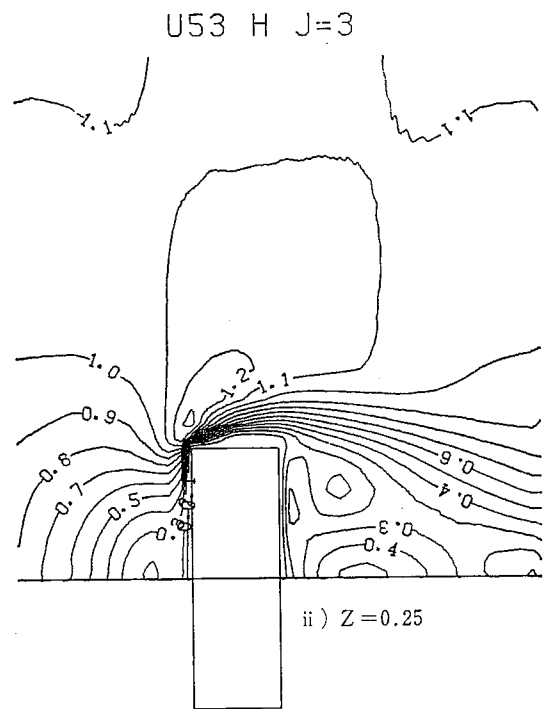
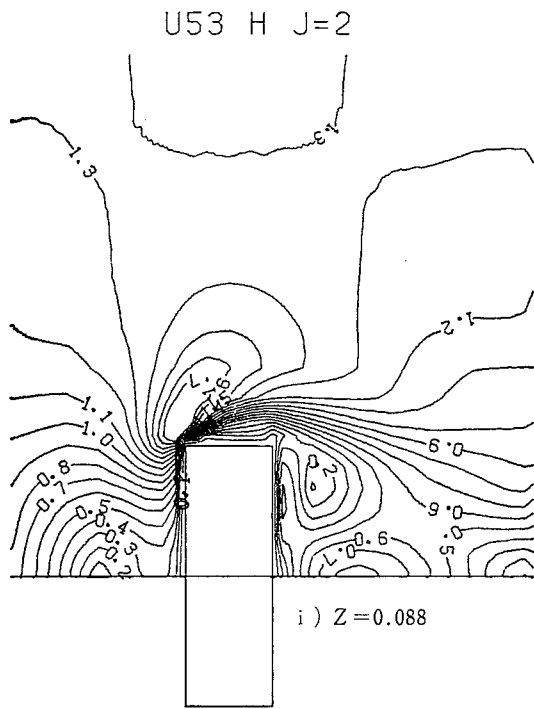


Fig. -12 Contour maps of the rate of reinforcement of wind velocity in the Case 5  
Case 5 の場合の速度増強率



次に建物周辺の任意の位置の速度を同一の高さの上流境界上の主流方向速度で除し、速度増強度を求めたが、そのうち Case 2, Case 5 の場合について、Fig. 11 及び Fig. 12 に示す。いずれも地上高さを、

- i)  $Z=0.088$       iv)  $Z=0.936$
- ii)  $Z=0.250$     v)  $Z=1.125$
- iii)  $Z=0.613$     vi)  $Z=1.331$

としたときの図である。Fig. 11 の i), 12 の i) から、地表近く足場面の隅角部近くで風速増強度がきわめて大

きくなることがわかる。しかし、位置が高くなるにつれて速度増強度の最大値は減少する。また、同一の高さにおいて、Case 2 と Case 5 で同一速度増強度の範囲の大きさを比較してみるとあまり大きな差は見受けられない。

#### 4.2 乱流エネルギー、粘性逸散率、渦粘性係数の分布について

Case 2 について建物の中心を通る垂直断面上の乱流

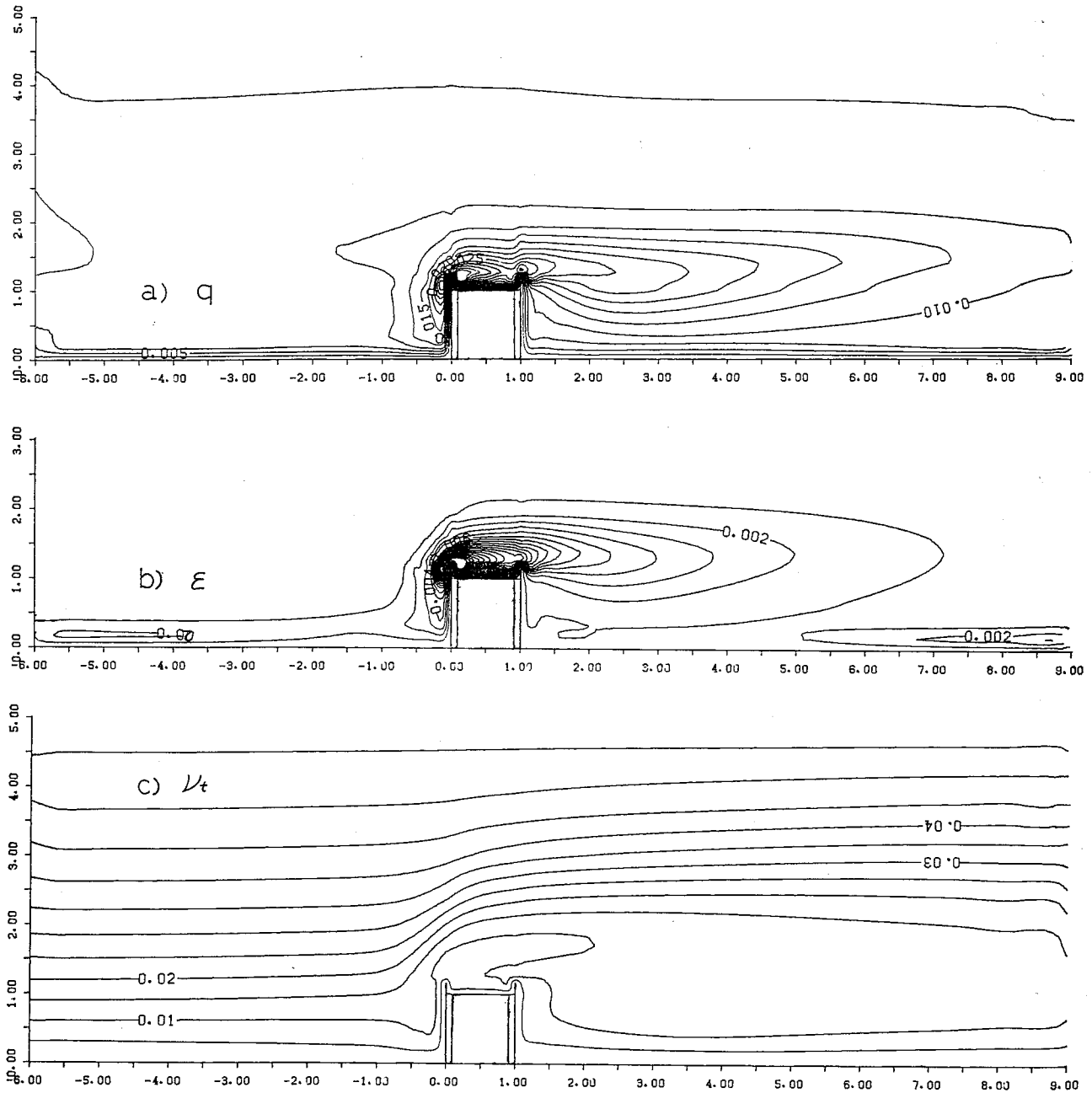


Fig.-13 Contour maps of  $q$ ,  $\epsilon$  and  $\nu_t$  on the vertical section at  $Y=0$  (Case 2)

Case 2 の場合の  $Y=0$  の垂直断面上の  $q, \epsilon$  及び  $\nu_t$  の分布図

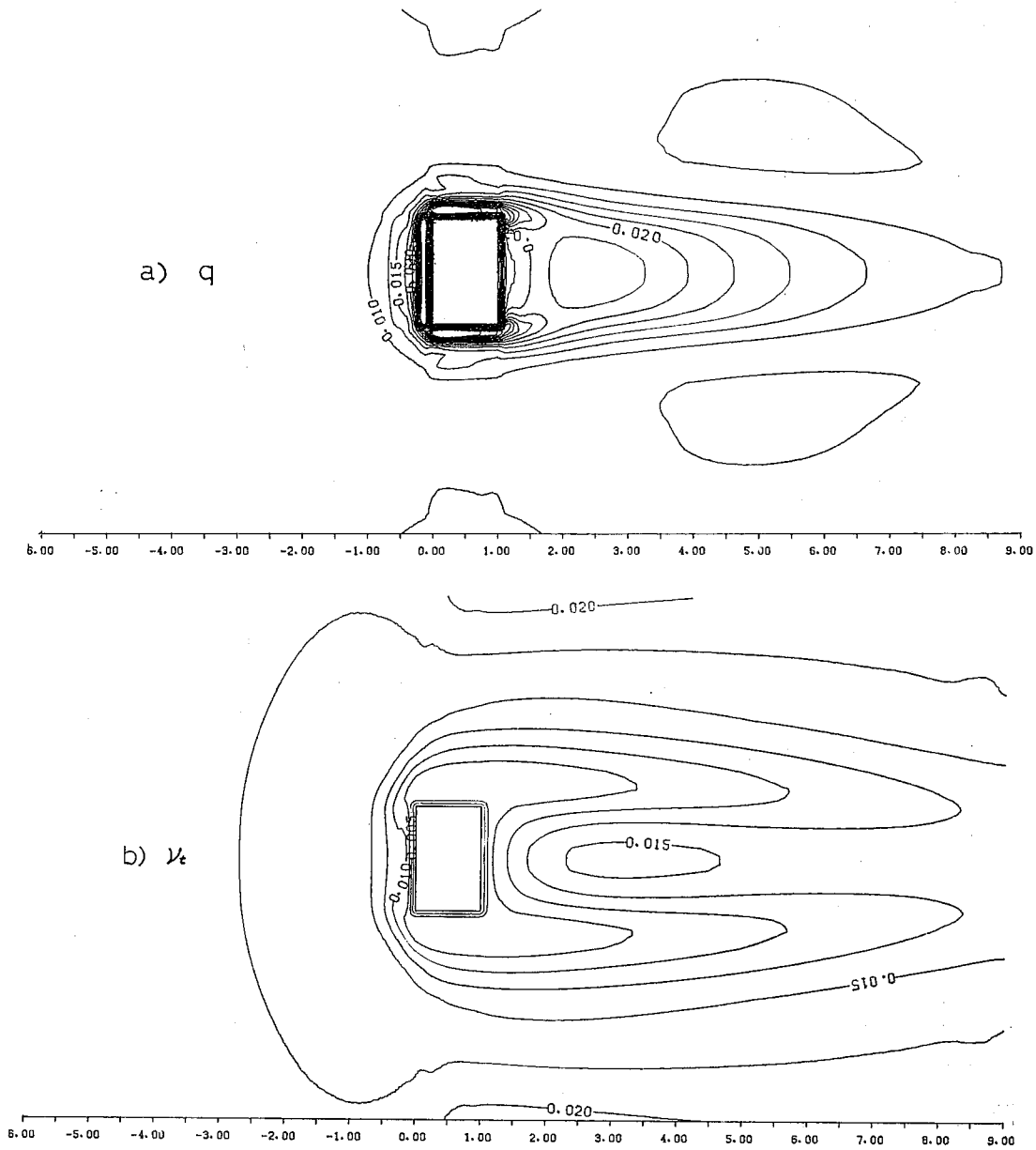


Fig.-14 Contour maps of  $q$ , and  $\nu_t$  on the horizontal section at  $Z=0.5$  (Case 2)  
Case 2 の場合の  $Z=0.5$  の平面上の  $q$  と  $\nu_t$  の分布

エネルギー、粘性逸散率及び渦動粘性係数の分布を Fig. 13 に示した。また、 $Z=1.16$  を通る水平断面上の乱流エネルギー分布及び、渦動粘性係数の分布図を Fig. 14 に示す。これらの図から上流側足場面の隅角部で生じた乱れはかなり後方にまで影響を与えていることがわかる。

足場頂部付近の  $q, \epsilon$  の最大値はそれぞれ 0.057, 0.031 となった。

また他の計算例についても、Case 2 とほぼ同様な分布図が得られたので図示することを省略した。

### 4.3 計算領域の風圧分布について

式(1)~(9)の解が得られたあと、 $\pi$  は上流境界上の軒高と同一高さの風速  $U_h$  を用い、

$$\pi_h = \pi \frac{1}{\frac{1}{2} U_h^2} \quad (44)$$

により  $U_h$  を reference velocity として無次元表示しなおす。以下、風圧力は全てこの  $\pi_h$  で示す。よって、 $\pi_h$  は風圧係数をも表わすことになる。

建物及び足場面周辺の風圧力分布の例として、Case 1, Case 2, Case 6 の場合について、それぞれ  $Y=0$  の

垂直断面上及び、高さ  $Z=0.5$  における水平断面上の分布図を Fig. 15, 16, 17 に示した。その他の計算例の場合も同様なパターンとなる。これらの風圧力分布図から建物の上流側では前面足場面から  $2.0h$  程度上流から急激に正の風圧力が增大している様子、建物の下流では負の風圧力の分布領域の状態、また建物の上部領域で急激に風圧力が変化している様子がわかる。

Case 6 は Case 1~Case 5 とは異なり、自然の強風中での実大実験による結果と比較する目的で計算したものである。風向は前面足場面に直角ではなく、東側に  $9^\circ$  ずれている。このため Fig. 17 b) の図で、水平断面上の風圧力分布で示すように、 $Y=0$  の軸に関して対称ではない。また、4.4 の 5) の項で示す前面足場面の風力係数の分布図においても同様に、対称図形とはなっていない。また、足場裏側の屋根スラブの上と下で、著しい圧力差が生じていることがわかる。

#### 4.4 足場面に作用する風圧力及び風力係数の分布の計算結果

1) Case 1 の場合 Fig. 18 a) は前面側風圧力、Fig. 18 b) は裏側風圧力、Fig. 18 c) は風力係数を示す。風力係数の最大値は  $1.32$  で、その位置は  $Y=0.0$ ,  $Z=0.89$  の点である。

Fig.-16 Contour maps of static wind pressure on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal section at  $Z=0.5$  b) (Case 2)  
Case 2 の場合の風圧力分布

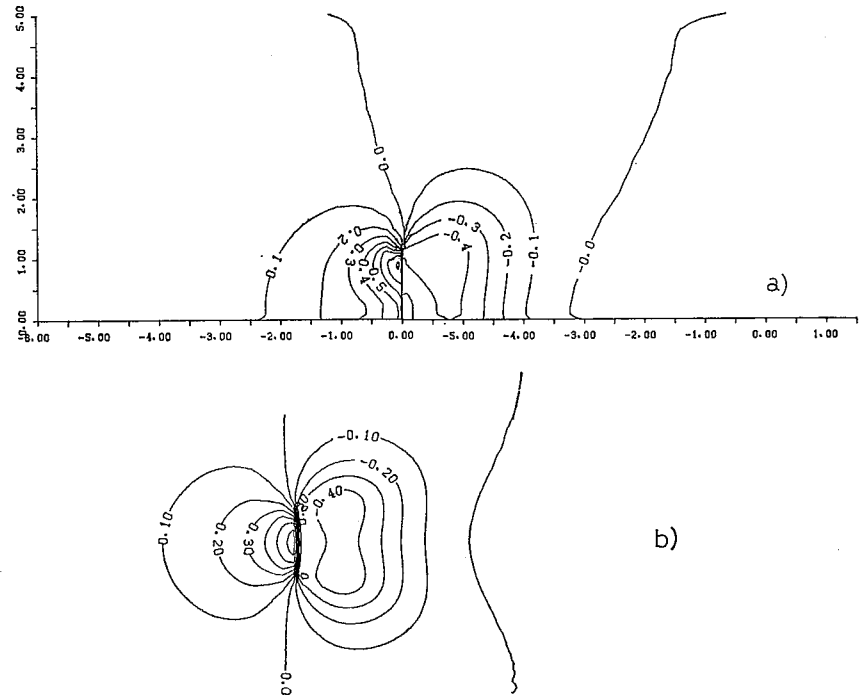
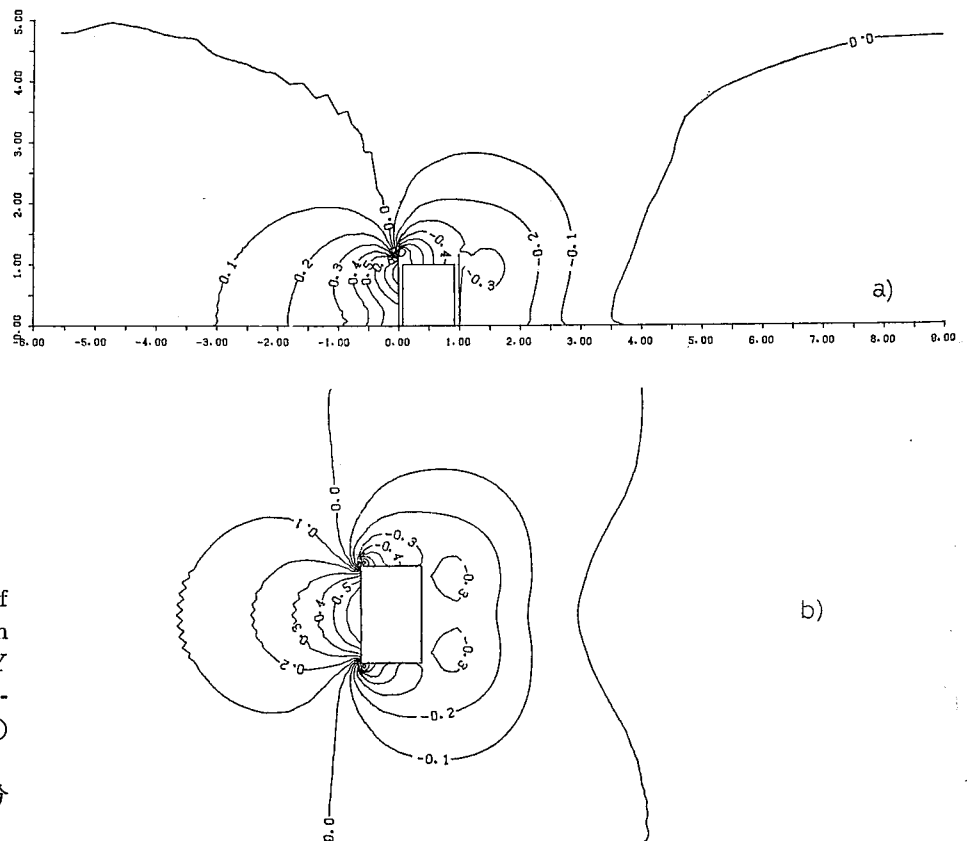


Fig.-15 Contour maps of static wind pressure on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal section at  $Z=0.5$  (Case 1)  
Case 1 の場合の垂直断面 ( $Y=0$ ) 上と水平断面上 ( $Z=0.5$ ) の風圧分布



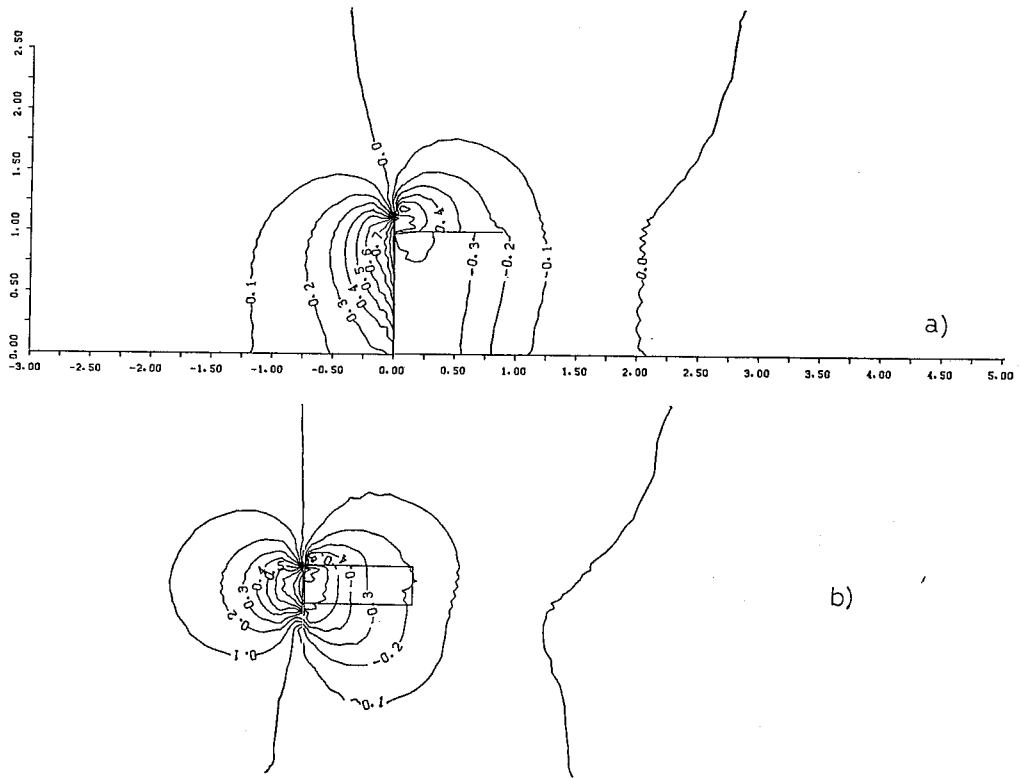


Fig. -17 Contour maps of static wind pressure on the vertical section at  $Y=0$  a) and the horizontal section at  $Z=0.5$  b) (Case 6)  
Case 6 の場合の風圧分布

2) Case 2 の場合 Fig. 19 a) に上流側の外側足場面風圧力, Fig. 19 b) に同足場の内側の風圧力, Fig. 19 c) に同足場面の風力係数, Fig. 19 d) に側面足場の外側面の風圧力, Fig. 19 e) に同足場の内側面の風圧力, Fig. 19 f) に同足場面の風力係数を示す。さらに Fig. 19 g) には下流側足場の外側面の風圧力, そして, Fig. 19 h) に同足場面の風力係数を示す。

上流側足場面で, 風力係数の最大値は約 1.57 で, その位置は  $Y=0.0, Z=0.936$  となった。これらの図から局部的に大きな風力を生ずる部分は側面足場面の上流側隅角部近傍であることがわかる。なお, この隅角部分で風圧力は急激に変化しているの以上記に示す図の作成にあたっては, この部分の風圧力はどの計算例においてもゼロとした。また上流側足場面の頂部も同様な処理を

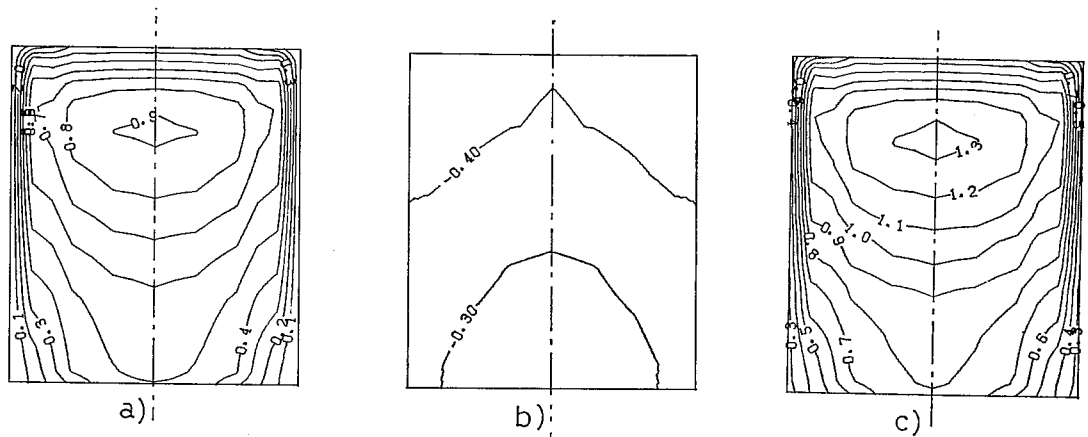


Fig. -18 Contour maps of static wind pressure on the front surface a) and on the rear surface b), and the coefficient of wind load c) on the scaffolding covered with canvases (Case 1)  
Case 1 の場合の足場面の表面側風圧力 a), 裏面の風圧力 b) と風力係数分布 c)

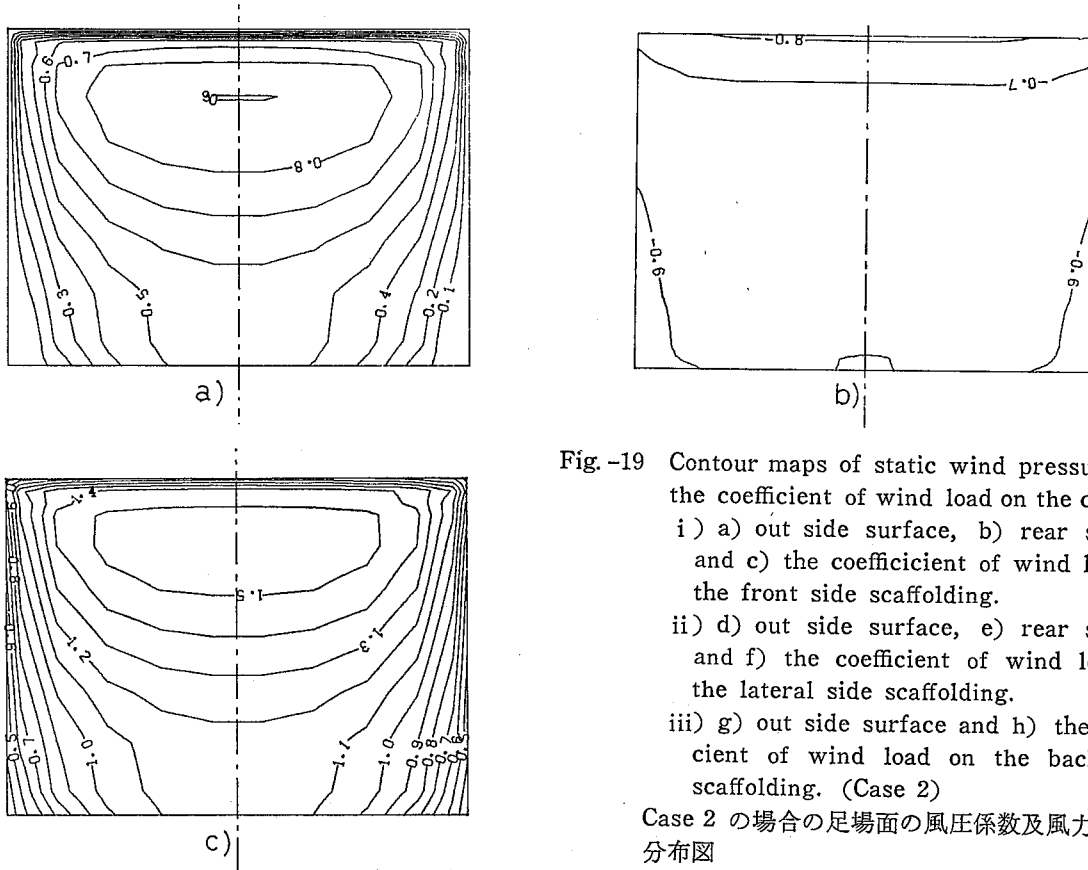
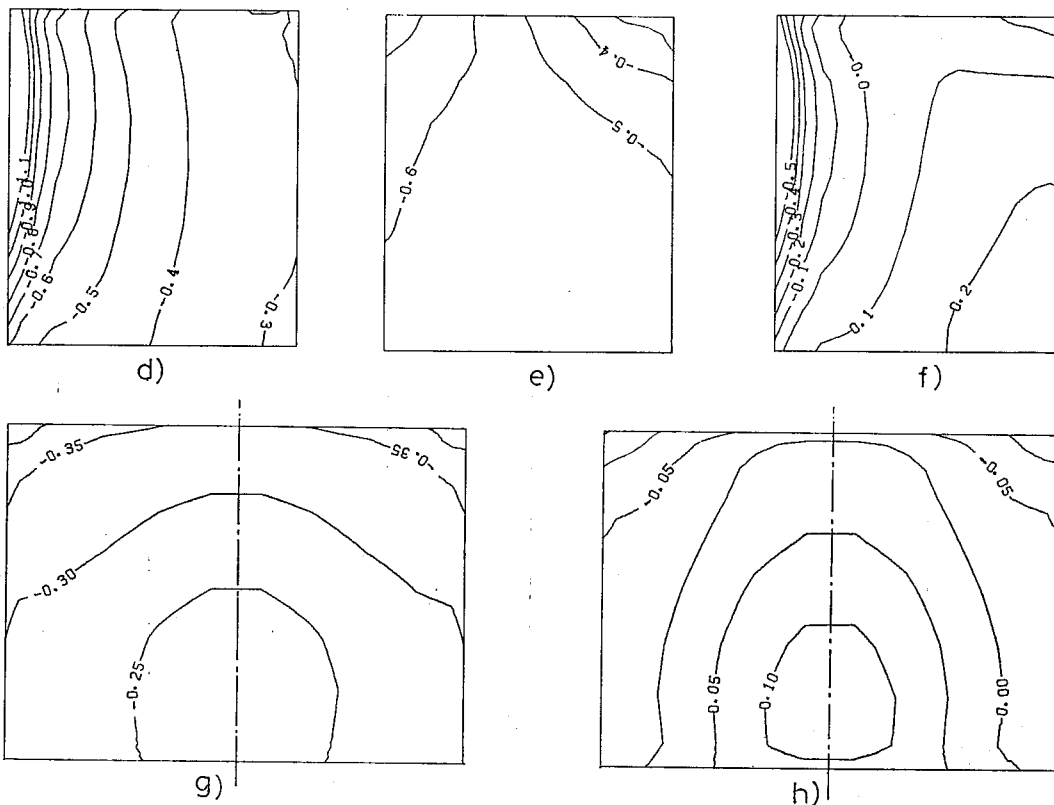


Fig. -19 Contour maps of static wind pressure and the coefficient of wind load on the canvas; i) a) out side surface, b) rear surface and c) the coefficient of wind load on the front side scaffolding. ii) d) out side surface, e) rear surface and f) the coefficient of wind load on the lateral side scaffolding. iii) g) out side surface and h) the coefficient of wind load on the back side scaffolding. (Case 2)

Case 2 の場合の足場面の風圧係数及風力係数の分布図

- i) 上流側足場面, a) 外側風圧係数, b) 内側風圧係数, c) 風力係数
- ii) 側面側足場面, d) 外側風圧係数, e) 内側風圧係数, f) 風力係数
- iii) 下流側足場面, g) 外側風圧係数, h) 風力係数



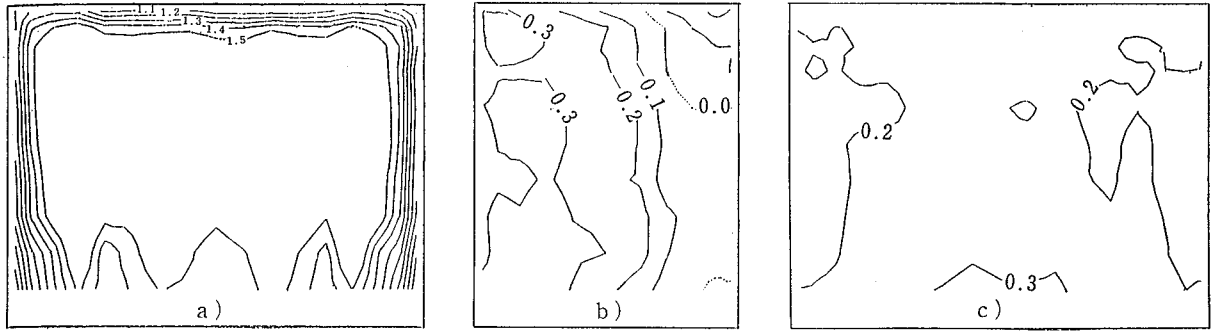
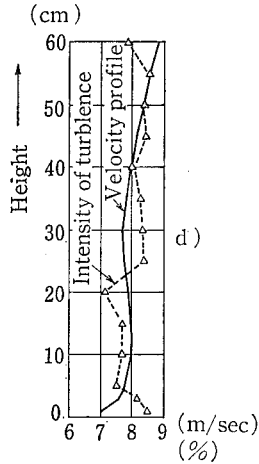


Fig.-20 Contour maps of the coefficient of wind load on the front side a), the lateral side b) and the back side c) (Case 2), and a profile of wind velocity and the intensity of turbulence at the up-stream boundary in the wind tunnel test (by Yoshida et al<sup>2)</sup> 吉田らの Case 2 の場合の足場面の風力係数分布図, 上流側足場面 a) 側面 b), 下流側足場面 c), 及び上流境界での速度分布図



した。

3) Case 2 の場合は風洞実験結果と比較する目的で、モデルの大きさを概略同寸法比にとっているの、上記の計算結果と比較する。風洞実験結果のうち、上流側足場面の

風力係数の分布を Fig. 20 a) に、側面足場面の風力係数の分布を Fig. 20 b) に、また下流側足場面風力係数の分布を Fig. 20 c) にそれぞれ示す。

まず風上側の足場面については面の中央部での平均的風力係数は約 1.7 位で計算値よりやや大きい。また等高線のパターンを見ると、風力係数の値が 1.5 を起える領域が、足場面の高さの低い領域に及んでいることなどが挙げられる。この差異の生じた理由は、主として、上流境界の高さ方向の速度分布が異っていたためである。

Fig. 20 d) は、風洞実験において使用された上流側の速度分布図である。明らかに速度分布の高さに関するべき指数が本計算で用いたそれよりも小さく、境界層のやや未発達速度分布のようである。よって両者の結果を細かく照合することは無理があるが、風力係数は概ね同程度の値となっていることは認められる。

側面の足場面の風力係数について比較してみると、風洞実験においては、上流側隅角部に近い部分で、計算結果では著しい圧力変化が生じているが、実験ではさほど圧力変化は生じてはいないが、全体としておよその類似傾向は認められる。

4) Case 3, Case 4 の場合の上流側場面、側面足場面、下流側足場面の風力係数の分布図を Fig. 21, Fig. 22 に示した。

まず、上流側足場面の風力係数を両者比較すると、Case 4 の方がやや小さい値となる。最大値では Case 3

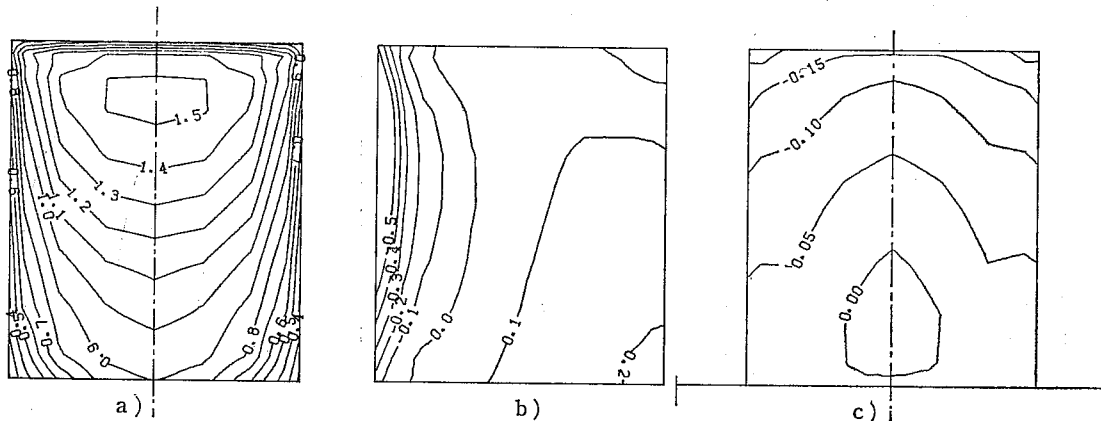


Fig.-21 Contour maps of the coefficient of wind load on the front side a), the lateral side b) and the back side c) (Case 3) Case 3 の場合の風力係数分布, a) 上流側, b) 側面, c) 下流側足場面

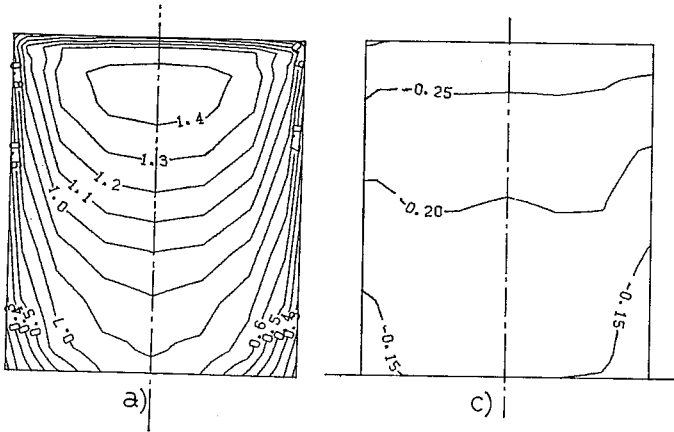


Fig. -22 Contour maps of the coefficient of wind load on the front side a), the lateral side b) and the back side c) (Case 4)

Case 4 の場合の風力係数分布, a) 上流側, b) 側面, c) 下流側側面

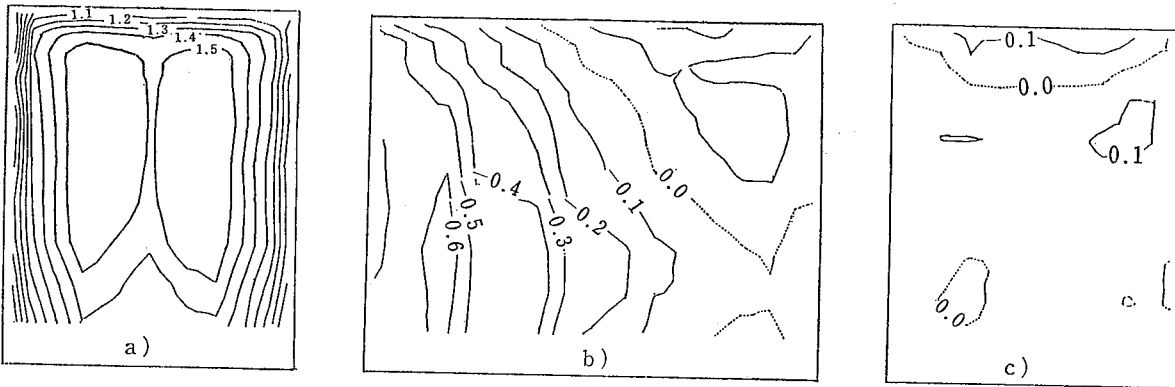
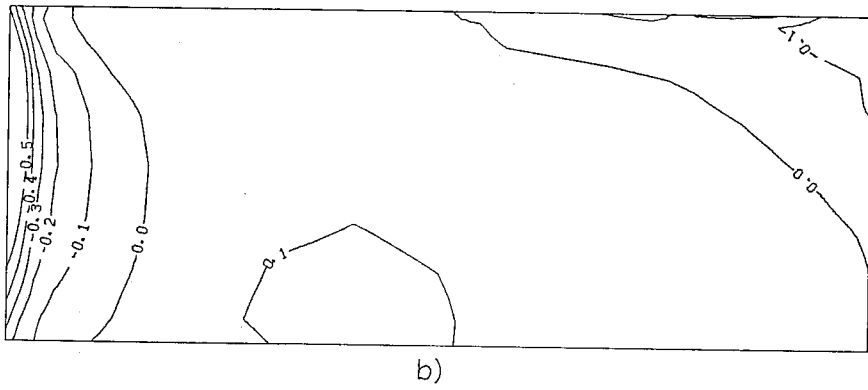


Fig. -23 Contour maps of the coefficient of wind load on the front side a), the lateral side b) and the back side c) in the wind tunnel test by Yoshida et al  
吉田らの風洞実験による風力係数分布

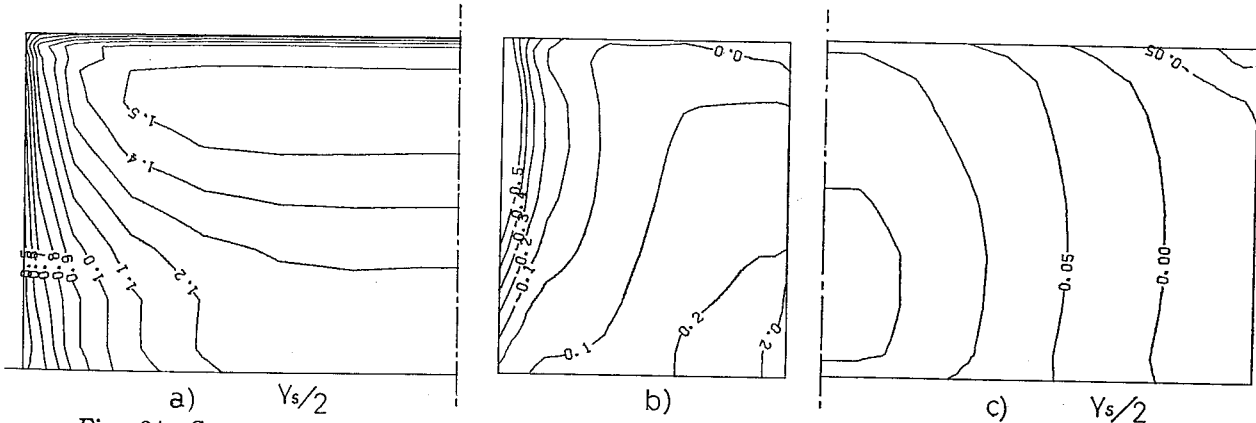


Fig. -24 Contour maps of the coefficient of wind load on the front side a), the lateral side b) and the back side c) (Case 5) Case 5 の場合の風力係数分布図

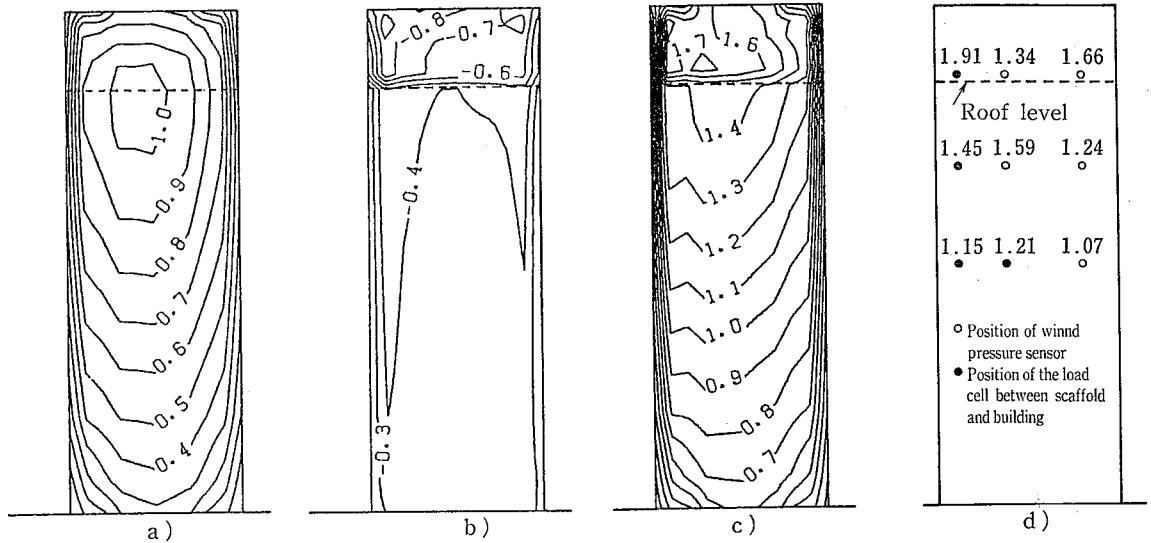


Fig. -25 Contour maps of static wind pressure on the front surface a) and the rear surface b), and the coefficient of wind load c). d) shows the results of the coefficient of wind load by full scale experiment in natural strong wind. (Case 6)  
Case 6 の場合の風圧力と風力係数の分布及び実大実験による風力係数

の場合、1.527 で、Case 4 の場合では1.445 となった。外側表面の風圧力の最大値はそれぞれ 0.963, 0.966 でほぼ同一であるので、風力係数で上記の 0.082 の差は裏面での圧力に差が生じているためである。

次に下流側の足場面の風力係数の分布を見ると、共に負の値となっており、足場面を建物から引き離すように力が作用することがわかるが、その大きさは Case 4 の方がやや大となった。これは、Case 4 の場合、 $X_s$  が 3.0 で Case 3 のその 3 倍あり、Fig. 10 に見られるように、屋根面付近の下流方向への流速成分がやや強く、Case 3 の場合よりもやや強く足場面を外側に押すことに一因があると思われる。なお、Fig. 22 の下流側の足場面の風力係数の分布が完全な左右対称となっていないのは、解の取れんが不完全のまま計算を打ち切ったためである。

寸法比は全く同一ではないが、足場面が主流方向に長い場合の風洞実験で得られた風力係数の分布図<sup>2)</sup>を Fig. 23 に示す。同図中 a) は上流側足場面風力係数分布図で、中央部に谷状の等高分布となっているが、現場でのシートの接合部での隙間部を考慮し、実験では模擬シート面に隙間を入れているので、その影響であると考えられる。

Case 4 の結果と比較すると、Case 2 のところで述べたように、上流側足場面では風洞実験の方が風力係数 1.5 を超える範囲が足場面の高さが低い部分に及んでいること、また最大値が計算値よりやや大きい。また側面

の足場面についてみると、上流側隅角部附近で計算値の方は局部的に大きな負の風力となっている。風洞実験では、計算値ほど明確ではないが、この傾向は認められ、風力係数も大体同程度とみてよい。

5) Case 5 の風力係数の分布を Fig. 24 に示す。この場合は Fig. 1 d) に示すように主流に直角方向に足場面の長さが長い場合である。

上流側足場面の風力係数についてみると、最大値は 1.57 で、Case 2 の中央部分が横に拡大されたと同様なパターンで、周辺部分の分布の状態は大同小異である。側面の足場面のそれもほぼ同一のパターンとなっている。

6) Case 6 の場合の前面足場面の表裏面の風圧係数及び風力係数を Fig. 25 に示す。前にも触れたように、屋根スラブの存在によって旋回流が阻害されるため、屋根スラブより上の足場裏面に強い負の風力を生じており、Case 1 と比較して、屋根面の存在の有無によってかなりの差が生ずることがわかる。このことから、建築工事現場で、建築物の種類によっては、過渡的に Case 6 に近い状態になる場合も予想され、注意が必要となる。

Fig. 25(d) は実大実験を行って得られた足場面の風力係数である。この結果と、Fig. 25(c) と比較すると、高精度な結果が得難い屋外実大実験という点を考慮すれば、両者きわめてよく一致しているものとみてよいであろう。



## 5. 結 語

Fig. 1 に示すような寸法比の異なる 6 種類の建物とその足場面に作用する風圧力等について、2 方程式モデルを用い、三次元数値解析を行った結果、次のような結果を得た。

1) Fig. 6~8, Fig. 11, 12 に示すように建物や足場面まわりの風速分布図や速度増強率の分布図が得られた。

2) 足場面と建物の壁との間の狭隘な空間についても空気の流れを考慮に入れ解析した。この空間部分の空気の流速分布は Fig. 10 のような流れとなっていることがわかった。

3) Fig. 6~8 から見られるように上流側足場面中央部分で強い旋回流が生じていることがわかる。 $Y=0$  の鉛直面上の剥離点の高さ  $Z_{sp}$  は本計算例のアスペクト比の範囲内では一様にほぼ 0.865 程度となり、 $Z_{sp}$  は足場面の高さ  $Z_s$  に対しては 74.2% の高さにある。

また、同上の速度ベクトル図から、後流部分での  $Y=0$  の軸上での再付着位置は Table 2 に示す結果となった。

4) Case 1~Case 6 の足場面に作用する風圧力、風力係数等の分布図を Fig. 18, 19, 21, 22, 24, 25 にそれぞれ示した。

これらの計算結果と、風洞実験及び実大実験結果とを比較検討した結果、ほぼ同程度の風力係数となることが確かめられた。また、上流側足場面外側、同裏面及び側面の外側で隅角部に近い部分には、Fig. 19 等に示すような大きな風圧力が作用することが確かめられた。

5) Case 1 から Case 5 までのモデルは、いずれも前面に直角に風が作用する場合であった。足場面等の仮設構造物についての文献 3) の設計用風力係数の妥当性については風向をも変えた場合の計算が完了してから考察されるべきであるが、本報の計算結果から判断される範囲では実用上十分なものと思われる。

6) Case 6 のように屋根スラブと柱、梁のみの建物はあまり実体として存在する例はきわめて少ないが、建設の途中において、過渡的に実現する場合がある。足場面裏側の屋根スラブの上の部分に強い負の風力を生ずるので注意が必要である。

## 6. 謝 辞

本数値解析を進めるに当り、鹿島建設技術研究所中村修氏ほか多くの方々から文献等の情報の提供及び多くの

助言を賜った。ここに深く謝意を表します。

## 7. 付 記

本数値解析には産業安全研究所電子計算機システム FACOM M-150F を利用し、FORTRAN 77 及び等高解析プログラムパッケージ CONPAS によって行なった。(昭和 58 年 12 月 14 日受付)

### 参 考 文 献

- 1) 森 宣制, 木下鈞一, 小川勝教, 河尻義正: 強風に対する足場等の安全対策, 産業安全研究所特別研究報告 RIIS-SRR-81-1, 1981
- 2) 吉田正邦, 真田早敏, 本郷 剛, 中村 修: 建設足場に設置された養生シート及び防音パネルに作用する風荷重に関する実験的研究, 鹿島建設技術研究所年報, 第 28 号, 1980
- 3) 仮設工業会: 風荷重に対する鋼管足場等の安全技術指針と解説, 1981
- 4) 木下鈞一, 河尻義正: 強風を受ける仮設構造物についての研究(その 2), 足場面に作用する風荷重の実測, 第 12 回安全工学シンポジウム, 1982
- 5) 木下鈞一, 河尻義正: 仮設構造物に対する風荷重についての研究, 日本風工学会年次研究発表会梗概集, 1983
- 6) 木下鈞一: 防音パネル, 養生シートに作用する風荷重についての三次元数値解析, 日本建築学会北陸大会学術講演梗概集, 1983
- 7) B. E. Launder, D. B. Spalding, Numerical model of turbulence, Academic Press, 1972
- 8) F. H. Harlow, P. I. Nakayama Transport of Turbulence Energy Decay Rate, Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-3854
- 9) 坂本雄三他: 2 方程式モデルによる乱流の 3 次元数値解法, 日本建築学会関東大会学術講演梗概集, 1975
- 10) 例えば, 北島裕行他: 高層建築物周辺の風の立体的流れ性状について, 日本建築学会中国大会学術講演梗概集, 1977
- 11) 例えば, 田中成治他: 測定高さによる強風区域の相違について, 日本建築学会関東大会学術講演梗概集, 1976
- 12) 坂本雄三, 松尾 陽: 2 方程式モデルによる乱流境界層の数値実験, 日本建築学会東海大会学術講演梗概集, 1976
- 13) 遠藤清尊他: 建物周辺の気流分布と濃度分布に関

する風洞実験と数値解析, 日本建築学会東海大会  
学術講演梗概集, 1976

14) H. SCHLICHTING : Boundary Layer Theory,

McGraw Hill, 1968

15) P. J. ROACHE Computational fluid dynamics,  
高橋亮一他訳, 構造計画研究所, 1976

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-32-2

---

昭和 59 年 2 月 10 日 発行

発行所 労働省産業安全研究所

〒 108 東京都港区芝 5 丁目 35 番 1 号

電話 (03) 453-8441(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

UDC 69.057.6, 624.042.4, 533.6.011, 517.946, 518.12

建築工事用足場の養生シート, 防音パネルに作用する  
風圧力についての三次元数値解析 (第一報)

木下 鈞一

労働省産業安全研究所研究報告

RIIS-RR-32-2 (1984)

本報では, 建築工事用足場の風荷重を6種類のモデルについて数値解析を行った。数値解では, 乱流量については2方程式モデルを用い, 三次元非圧縮性乱流の場合の偏微分方程式をMAC法によって解いた。風力係数を風洞実験結果と比較するとかなりよく似た値が得られた。(表2, 図25, 参15)



UDC 69.057.6, 624.042.4, 533.6.011, 517.946, 518.12

A three-dimensional computational analysis of the wind loads on canvas or panel covered over the scaffold structure around tall building.

by Kinichi KINOSHITA

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-RR-32-2 (1984)

A numerical analysis has been conducted to predict wind loads on the canvases or panels which are put up over a wide range on the outside of scaffold structures. In this paper, six geometries of scaffold structures were taken as models, and the MAC method was employed to solve a set of governing equations for the 3-D incompressible turbulent flows. The results show that both computational and experimental values of the coefficient of wind load are nearly the same.

(2 Tables, 25 Illus, 15 Refs)

