

建物周辺気流の数値シミュレーションの診断システム ——差分スキーム, メッシュ分割, 境界条件に関する検討——

Diagnostic System for Simulation of Air Flow around Building

——Study on Difference Scheme, Mesh Dividing System and Boundary Conditions——

村 上 周 三*・持 田 灯*・大和田 淳*・林 吉彦*
Shuzo MURAKAMI, Akashi MOCHIDA, Jun OOWADA and Yoshihiko HAYASHI

建物周辺気流の数値シミュレーションの診断システムの開発を目的として行った一連の数値実験の結果について報告する。建物周辺気流の診断システムを確立するためには、各種計算条件の相違が建物隅角部の剥離のパターンに及ぼす影響について把握しておくことが極めて重要であると考えられる。本稿では $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルを基礎とする数値シミュレーションにおいて、特にこの剥離のパターンに大きな影響を及ぼすと考えられる諸条件に着目し、これらを変化させ行った一連の数値実験の結果について述べる。

1. はじめに

診断システムとは数値シミュレーションにおいて前提とした条件と与えられる結果との因果関係を明らかにし、誤差の評価を中心として結果の妥当性を判断するシステムのことであり、すでに室内気流の分野ではこのシステムに関する多くの検討が行われている^{1,2)}。数値シミュレーションが建物周辺気流の予測手法として実用化されるためには、建物近傍の気流分布や壁面の風圧分布が精度よく予測されることが必要であり、そのためには建物隅角部の剥離のパターンがシミュレーションにおいて正しく再現されなくてはならない³⁾。本稿では、 $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルによる数値シミュレーションにおいて隅角部の剥離に大きな影響を持つと考えられる諸条件に着目し、これらが予測結果に及ぼす影響について風洞実験との対応を踏まえつつ検討する。

2. 風洞実験概要

一辺 20 cm の立方体模型を用いた。風洞内基準風速は約 6 m/s, Re 数 ($Ub \cdot Hb/\nu$) は約 7×10^4 である。風速測定にはタンデム型熱線風速計, 風圧測定にはキャパシタンスマノメーターを使用。乱流統計量は、風速計の出力を 100 Hz のローパスフィルターを通し、サンプリング間隔 5 ms で A/D 変換し、得られた 6000 個のデータより算出した。

3. 数値シミュレーションの概要

3.1 計算種類 (表 2)

表 1 に示す $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルにより立方体モデ

ル周辺の流れ場を MAC 法のアルゴリズムを用いて解析した。表 2 の phase 1 (case 1) の計算条件が筆者らが

記 号	
U_i : 風速の 3 成分	ϵ : k の散逸
i (または x, U): 主流方向	ν_t : 渦動粘性係数
j (または y, V): 横方向,	$\nu_t = k^{1/2} \cdot l = C_D k^2 / \epsilon$
k (または z, W): 鉛直方向	P : 圧力
Hb : 建物高さ, 風洞実験では 20 cm	C_D : 風圧係数
Ub : 建物高さにおける風速	$C_D = (P - P_0) / (\frac{1}{2} \rho U b^2)$
k : 乱流エネルギー	P_0 : 基準静圧
l : 乱れの長さスケール	suffix n : 法線方向
(風洞実験では	l : 接線方向
$l = C_D^{1/4} U \int R \tau d\tau$)	

表 1 基礎方程式

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial X_j} = -\frac{\partial}{\partial X_i} \left\{ \frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k \right\} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left\{ \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \right\} \tag{2}$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k U_j}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left\{ \frac{\nu_t}{\sigma_1} \frac{\partial k}{\partial X_j} \right\} + \nu_t S - \epsilon \tag{3}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \epsilon U_j}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial X_j} \left\{ \frac{\nu_t}{\sigma_2} \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right\} + C_1 \frac{\epsilon}{k} \nu_t S - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \tag{4}$$

$$\nu_t = k^{1/2} l = \left\{ C_D \frac{k^2}{\epsilon} \right\} \tag{5}$$

ただし $S = \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right\} \frac{\partial U_i}{\partial X_j}$,

$$\sigma_1 = 1.0, \quad \sigma_2 = 1.3,$$

$$C_D = 0.09, \quad C_1 = 1.59, \quad C_2 = 2.0$$

* 東京大学生産技術研究所 付属計測技術開発センター

従来しばしば用いた条件であり³⁻⁶⁾、ここでは、これを基本タイプと呼ぶ。そして phase 2 ~ phase 6 まで数値実験を行い、各種の計算条件の変化が数値解に与える影響を検討した。なお、これ以後示す U 、 k 、 ν_t 等の量はすべて建物高さ Hb と高さ z における流入側の風速 U_b で無次元化されている。

3.2 基本タイプ (phase 1) の数値シミュレーションの概要

境界条件を表 3 に示す。流入側境界条件は図 1 の風洞

表 3 基本タイプの境界条件

流入面	<ul style="list-style-type: none"> $U(z)$, $k(z)$, $l(z)$: 風洞実験値 $\nu_t(z) = k(z)^{1/2} \cdot l(z)$ (図 1 参照) $\epsilon(z) = C_D k(z)^{3/2} / l(z)$ $V(z) = 0$, $W(z) = 0$
流出面側面 上空面	<ul style="list-style-type: none"> 境界外の圧力 $P = 0$ U_t, k, ϵ: free slip
地上面	<ul style="list-style-type: none"> $U_t \propto z^{1/4}$, $U_n = 0$, k: free slip $\epsilon_{z=\frac{h}{2}} = C_D k^{3/2} z^{-\frac{h}{2}} / l$, $l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h$^{注6)}
建物壁面	<ul style="list-style-type: none"> $U_t \propto z^{1/2}$, $U_n = 0$, k: free slip $\epsilon_{z=\frac{h}{2}} = C_D k^{3/2} z^{-\frac{h}{2}} / l$, $l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h$

注 6) h : メッシュサイズ

実験値を使用した。メッシュ分割は図 2 (1) に示す Mesh No.1 を使用した。Mesh No.1 は $15.7Hb(x) \times 9.7Hb(y) \times 5.2Hb(z)$ の計算領域を持つ。時間差分は Adams-Bashforth, 空間差分は、スカラーの移流項のみ 1 次精度の風上差分を用いたほかは 2 次精度の中心差分を使用した。

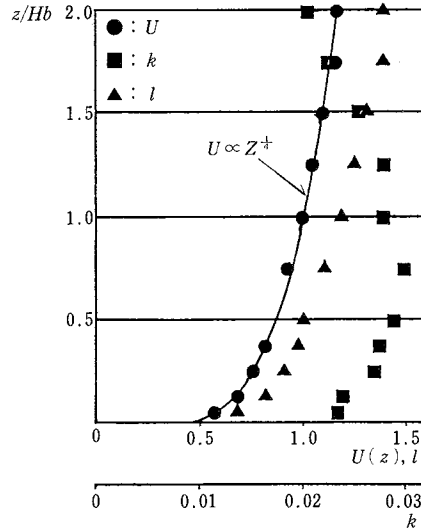


図 1 流入側境界条件

(風洞実験値, U , k , l は U_b , Hb で無次元化。以下同じ)

表 2 計算種類

Phase	case No.	スカラー輸送方程式中の移流項の差分スキーム	メッシュ分割 ^{注2)}	壁面の ϵ の境界条件に用いる l の値 ^{注3)}	建物隅角部の境界条件 ^{注4)}	上空面, 側面の境界条件	備考
Phase 1	case 1	1 次精度の風上差分	Mesh No.1	$l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h$; $h = Hb/6$	type 1	自由流出 ^{注5)}	基本タイプ
Phase 2	case 2	中心差分 ^{注1)}	"	"	"	"	スカラー輸送方程式中の移流項の差分スキームの検討
	case 3	QUICK スキーム	"	"	"	"	
Phase 3	case 4	"	Mesh No.2	$l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h$; $h = Hb/24$	"	"	メッシュ分割の検討
Phase 4	case 5	"	Mesh No.1	$l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h'$; $h' = Hb/24$	"	"	壁面の ϵ の境界条件の検討
Phase 5	case 6	"	"	$l = \frac{1}{2} C_D^{1/4} \kappa h$; $h = Hb/6$	type 2	"	建物隅角部の境界条件の検討
	case 7	"	"	"	type 3	"	
Phase 6	case 8	"	"	"	type 1	free slip	上空面, 側面の境界条件の検討

注 1) ただし、 k 、 ϵ の移流項に中心差分を適用した結果 k の値が負となった領域 (風下壁面の両端) には部分的に風上差分を適用

注 2) 図 2 参照 メッシュ No.1: $(45(x) \times 37(y) \times 21(z))$ メッシュ No.2: $(50(x) \times 49(y) \times 28(z))$

注 3) h : 壁面上第一セルのメッシュサイズ メッシュ No.1: $h = Hb/6$ メッシュ No.2: $h = Hb/24$

注 4) 図 13 参照

注 5) 境界外の圧力 $P = 0$: U_t , k , ϵ は free slip : $U_n \neq 0$, (free slip では $U_n = 0$)

4. 各種計算条件の変更に対する検討

4.1 スカラーの輸送方程式中の移流項差分スキームに関する検討 (phase 2)

ここではスカラーの輸送方程式の移流項に1次精度の風上差分を用いた場合 (case 1) と、図3に示す2次精度である中心差分 (case 2), QUICK スキーム (case 3) を用いた場合の結果を比較する。QUICK スキームは風上側の重み付けによる数値粘性を含んでいる。しかし、筆者らの検討 (文献1, 第9報, 第10報参照) によれば $k-\epsilon$ 型2方程式モデルでは渦動粘性係数 ν_t の値が比較的大きく計算されるので、QUICK スキームの数値粘性

の影響はほとんど問題とはならないことが明らかにされている。ただし、このことは、LES や直接シミュレーションにおいてもそのままでははまるとは限らないので注意を要する。たとえば三宅, 梶島らによる3次精度風上差分を用いた直接シミュレーションにおいては、その数値粘性により生ずるエネルギードレインのため、乱流エネルギーの収支が一致しないという結果が報告されている^{7,8)}。また、今回の中心差分の計算 (case 2) では、建物風下壁面の両端で負の k が発生してしまうためこの領域に限り1次精度の風上差分を用いている。

(1) 平均風速ベクトル (図4)

1次精度の風上差分の結果 (case 1, 図4(2)) では、建物の風上側隅角部前方の上向きのベクトルが風洞実験よりも大きく、また、wake の大きさが風洞実験よりも大きくなっている。QUICK スキームを適用した場合の結果 (case 3, 図4(3)) では、1次精度の風上差分に比べ wake の大きさは小さくなり、風洞実験に近づく傾向にある。また、ここには示さないが中心差分 (case 2) の平均風速ベクトルも QUICK スキームの結果とほとんど同じであり、両者の差は非常に小さい。このことは図6の地上面風圧係数の分布において中心差分 (-□-) や QUICK スキーム (-▽-) の結果が風上差分 (-○-) の結果に比べ、実験値 (-●-) との対応が向上することからも裏付けられる。

(2) k の分布 (図5)

1次精度の風上差分の結果 (case 1, 図5(2)) は wake 内の k が風洞実験よりも小さくなっており、この部分の ν_t も風洞実験よりも小さくなっていると予想される。1次精度の風上差分の結果で wake 内の k が小さい値を示すのは、剥離のパターンが風洞実験と異なり、再付着が再現されないために剥離に伴う大きな乱れが上空

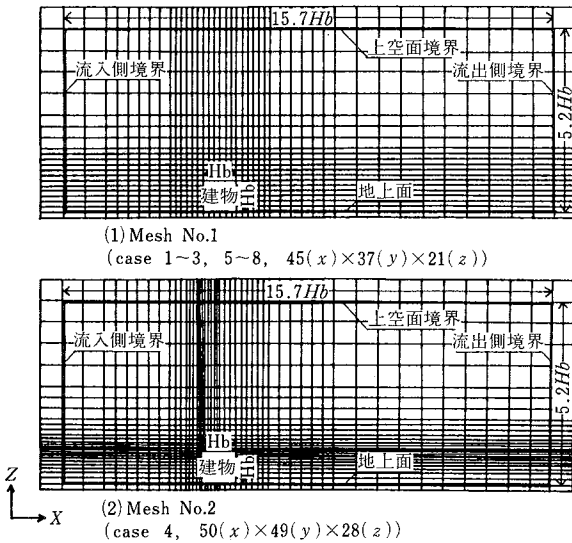
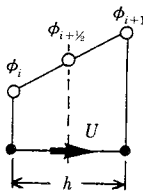
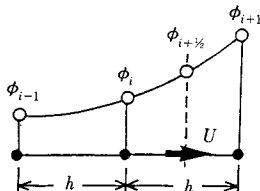


図2 メッシュ分割 (鉛直断面)

(1) 中心差分



(2) QUICKスキーム (Uが正の場合)



(Staggered gridを使用, ϕ の定義点の中間に) U の定義点が位置する

$$-\left(\frac{\partial U\phi}{\partial X}\right)_i \approx \frac{-(U\phi)_{i+1/2} + (U\phi)_{i-1/2}}{h} \approx \frac{-U_{i+1/2}\left(\frac{\phi_{i+1} + \phi_i}{2}\right) + U_{i-1/2}\left(\frac{\phi_i + \phi_{i-1}}{2}\right)}{h}$$

$$= -U \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial X}\right) + \frac{1}{6} \phi''' h^2 + \dots \right]$$

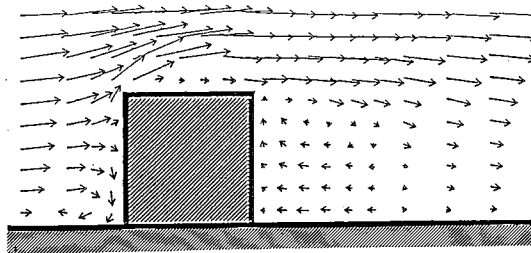
$$-\left(\frac{\partial U\phi}{\partial X}\right)_i \approx \frac{-(U\phi)_{i+1/2} + (U\phi)_{i-1/2}}{h}$$

$$\approx \frac{-U_{i+1/2}\left(\frac{3\phi_{i+1} + 6\phi_i - \phi_{i-1}}{8}\right) + U_{i-1/2}\left(\frac{3\phi_i + 6\phi_{i-1} - \phi_{i-2}}{8}\right)}{h}$$

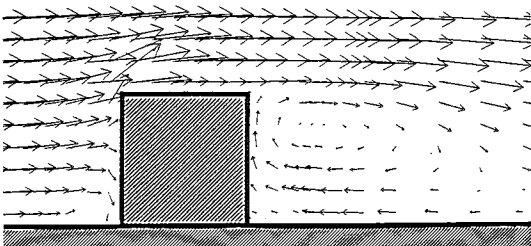
$$= -U \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial X}\right) + \frac{1}{24} \phi''' h^2 + \dots \right]$$

※ここでアンダーラインを付した項は打ち切り誤差項を示す

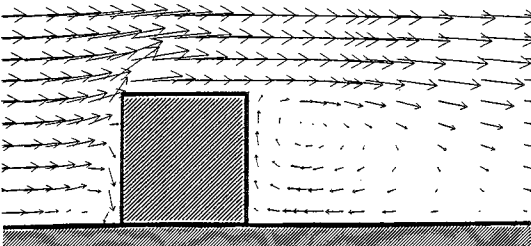
図3 MAC法におけるスカラー移流項の差分スキーム (ここでは U を一定として打ち切り誤差の評価を行った)



(1) 風洞実験 ($Re=7 \times 10^4$)



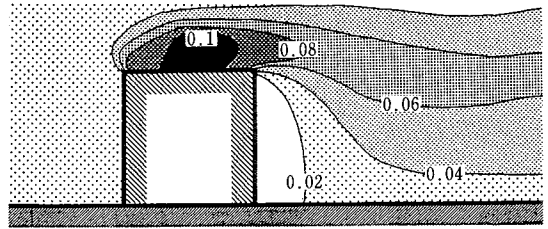
(2) case 1 (基本タイプ)



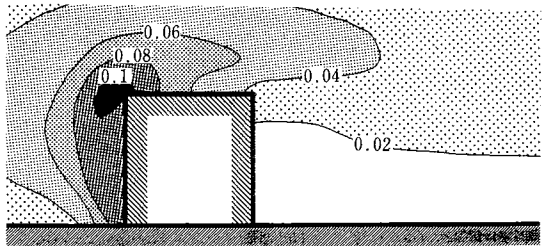
(3) case 3 (QUICKスキーム)

図4 風速ベクトルの比較

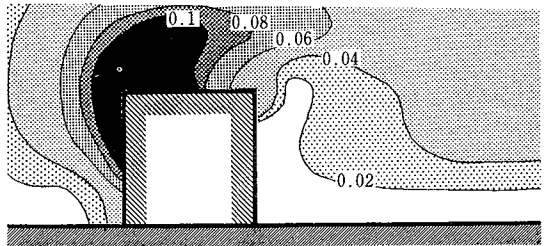
(建物中心軸上鉛直断面, phase 1, 2)



(1) 風洞実験 ($Re=7 \times 10^4$)



(2) case 1 (基本タイプ)



(3) case 3 (QUICKスキーム)

図5 k の分布の比較

(建物中心軸上鉛直断面, phase 1, 2)

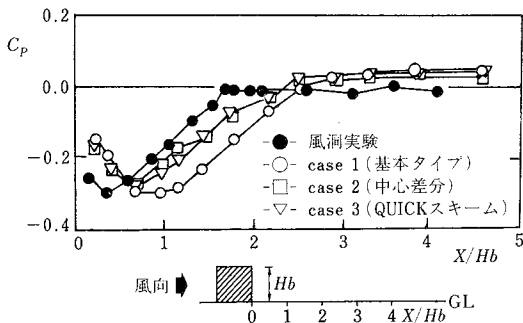


図6 差分スキームを変化させた場合の床面風圧係数の比較 (phase 2)

に移流され wake 内には供給されにくいことが原因と考えられる。これに対して QUICK スキームの結果 (case 3, 図 5 (3)) では風上側隅角部周辺や wake 内の k がやや大きく評価される傾向にある。

(3) 建物直上高さにおける k , ν_t の分布 (図 7)

図 7 (1) の k の分布を比較すると、中心差分 (-□-)

や QUICK スキーム (-▽-) の k の分布は風上差分 (-○-) の結果に比べ建物風上側隅角部付近で鋭いピークが存在している。これに対応して、図 7 (2) の ν_t の値も建物風上側隅角部で風上差分よりも格段に大きくなっている。このため中心差分や QUICK スキームでは風上差分の場合に比べこの領域での拡散が促進される結果となり、建物直前の風速値の急激な上昇が緩和され全体の流れのパターンは風洞実験値にかなり近づく傾向にある。なお、中心差分の k の分布には QUICK スキームの結果よりもさらに鋭いピークが現れているが (図 7 (1)), ν_t の分布においてはその差異は小さい (図 7 (2))。

(4) wake 内の k , U の分布 (図 8)

wake 内の U の鉛直方向分布を図 8 (1) に k の鉛直分布を図 8 (2) に示す。 U の分布、 k の分布ともに中心差分 (-□-) と QUICK スキーム (-▽-) の差は小さい。また、 U の分布では両者ともに 1 次精度風上差分 (-○-) に比べその絶対値が小さくなり、実験値 (-●-) に近づく傾向にある。また、 k の分布でも中心差分 (-□-) や QUICK スキーム (-▽-) の結果は実験値 (-●-) に近付

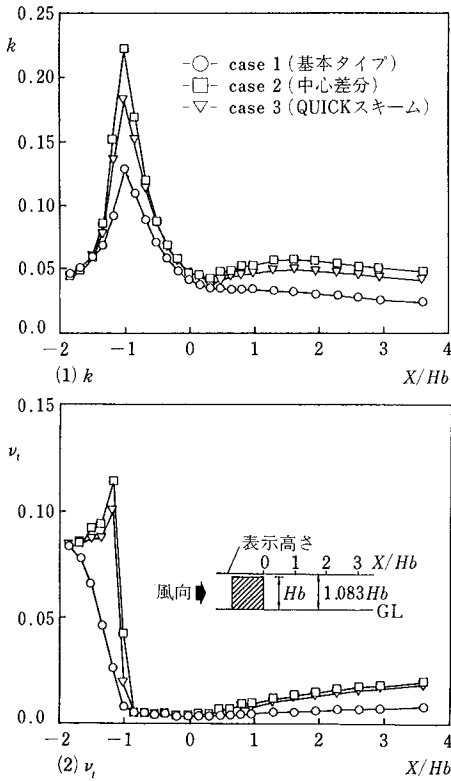


図7 差分スキームを変化させた場合の k , ν_t の分布の比較 ($z=1.083 Hb$, phase 2)

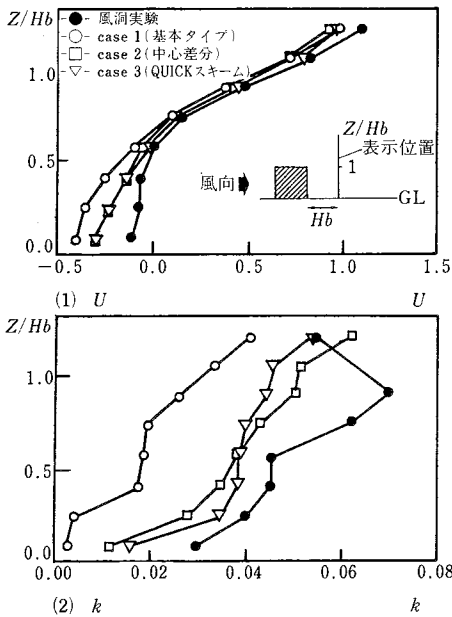


図8 差分スキームを変化させた場合の U , k の分布の比較 (phase 2)

いている。 U が小さくなるのは中心差分や QUICK スキームの場合、1次精度の風上差分の結果に比べて隅角部近傍の k , ν_t を大きく、隅角部前方の上昇流を弱く評価するため、隅角部で生産された k の多くが wake 内に移流され、結果として wake 内の ν_t が大きくなり拡散が促進されたためと思われる。

以上のようにスカラーの移流項の差分スキームはスカラーの分布のみならず、平均風速の分布にも大きな影響を及ぼすので、少なくとも2次精度のスキームを用いることが望ましいと判断される。

4.2 建物近傍のメッシュ分割の粗密に関する検討 (phase 3)

(1) 平均風速ベクトル (図9(3), 図10(2))

Mesh No.1を用いた計算 (case 1, 図9(2), 図4(2))では側面における逆流や、屋根面への再付着が再現されていない。しかし、建物近傍のメッシュサイズが Mesh No.1の1/4となっている Mesh No.2の結果 (case 4, 図9(3), 図10(2))では建物の側面や屋上面における逆流や再付着を良く再現しており、風洞実験の結果とかなりよく一致している。

(2) 建物壁面の C_p の比較 (図11)

Mesh No.1の結果 (case 1, \circ)は、風洞実験 (\bullet)よりも建物風上側の正圧を大きめに、また、側面、屋上面の負圧を小さめに評価する傾向にある。これに対して、Mesh No.2の結果 (case 4, ∇)では、建物風上側面の正圧、側面や屋上面の負圧ともかなり良く実験値と一致している。このことより建物近傍のメッシュ分割を細かくすれば、 $k-\epsilon$ 型2方程式モデルにより建物周辺の気流分布のみならず壁面風圧の分布もかなり精度よく予測しうることがわかる。

4.3 建物壁面上の ϵ の境界条件に用いる l に関する検討 (phase 4)

通例、壁面に接するセルの ϵ の値は、境界条件として表3に示すように $\epsilon \sim k^{3/2}/l$ より与えられることが多い。また、このときの l は $l \sim \kappa h$ (κ :カルマン定数, h :メッシュサイズ)より定義されるのが一般的である。この定義に従えば l は建物に隣接するセルの幅に比例し、この結果 ϵ の境界条件はメッシュサイズに大きく依存することになる。したがって、前節で示したメッシュ分割を細かくすることによる予測精度の向上の原因としては、メッシュの分解能が向上し建物近傍のシャープな速度勾配が捉えられたことと、 l の値が小さくなり境界条件として与えられる ϵ の値が変化したことの2点が考えられる。ここでは、この2点がおのおの解に及ぼす影響の程度を調べるため、粗いメッシュ (Mesh No.1)を用いた計算において l の値のみ細かいメッシュ (Mesh No.2)と一致させた場合 (case 5)の結果と細かいメッシュ (Mesh No.2)の結果 (case 4)を比較する。

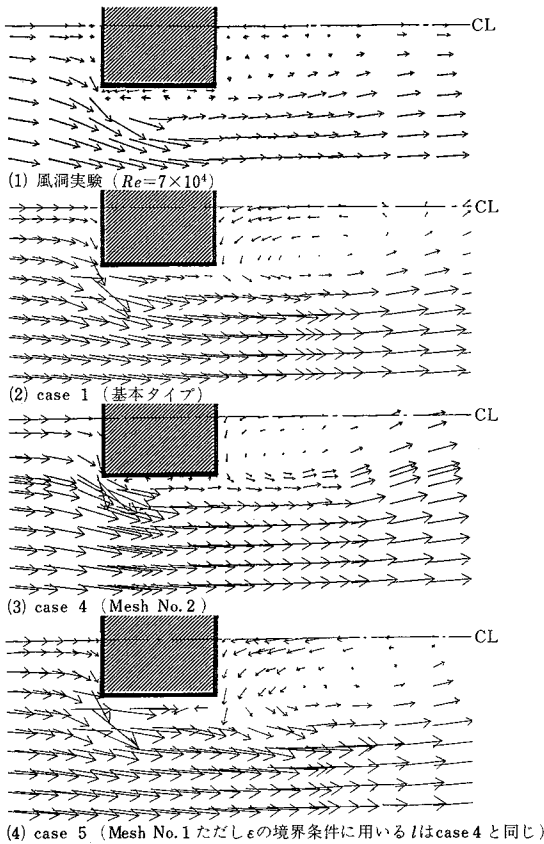


図 9 風速ベクトルの比較
(水平断面 ($z = Hb/2$), phase 3, 4)

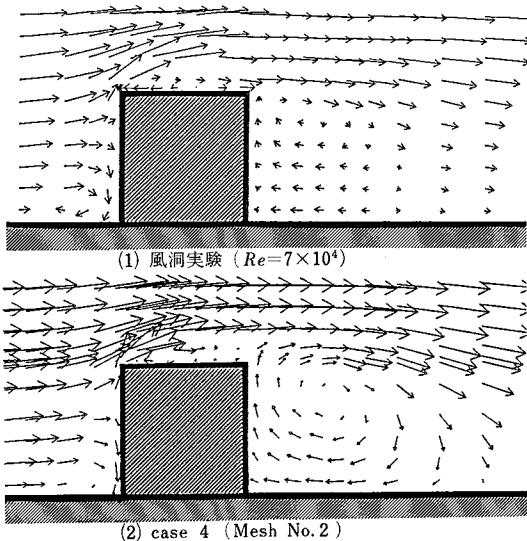


図 10 風速ベクトルの比較
(建物中心軸上鉛直断面, phase 3)

(1) 建物に接するセルの k と ν_t の主流方向分布 (図 12)

メッシュ分割が異なるため、スカラー量の定義点位置が違うので、case 4 と case 5 を直接比較することはできないが、case 4 (—▽—), case 5 (—□—) ともに建物側面付近 (X/Hb で $-1 \sim 0$ の位置) の k や ν_t の値が小さくなっており、この付近の運動量拡散が基本タイプ (—○—) と比べて小さくなっているものと考えられる。これは l の値が基本タイプに比べて小さく与えられたために、壁面に接するセルの ϵ が大きくなった結果と考えられる。

(2) 平均風速ベクトル (図 9 (4))

粗いメッシュ (Mesh No. 1) を用いても l の値を小さくすれば基本タイプ (case 1) では存在しなかった建物付近の逆流が部分的に現れている。しかし、風洞実験との対応は細かいメッシュの結果 (case 4) ほど良くない。このことは、建物近傍の複雑な流れを再現するためには建物壁面における ϵ の境界条件が重要な役割を果たしており、これに対する十分な配慮が必要であることを示しているとともに、建物周辺気流の計算においては、建物近傍のメッシュの分解能を細かくしてシャープな速度勾配を正しく捉えることが極めて重要であることも示唆している。

4.4 建物風上側隅角部の Re 応力の与え方に関する検討 (phase 5)

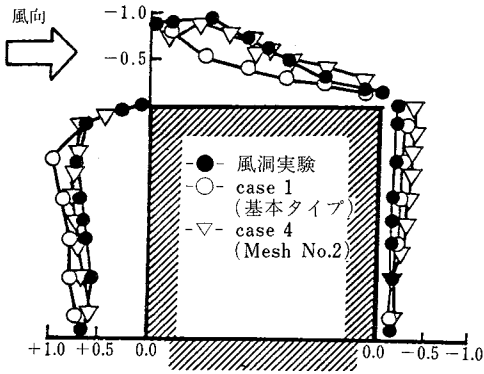
staggerd grid では、壁面において Re 応力 ($= \nu_t \cdot \partial U_i / \partial X_j$) 等の値が必要になるので何らかの工夫が必要とされるが、これは特に風上側出隅の隅角部で重要になる。ここでは隅角部の Re 応力 ($= -\bar{u}_i \bar{u}_j = \nu_t \cdot \partial U_i / \partial X_j$ 等) の与え方に関して図 13 に示す 3 種類の境界条件を用いた計算を行い、結果を比較検討する。type 1 (case 1) は隅角部に位置する C 点の ν_t の値として周囲 4 点の平均値を用いる方法であり、筆者らは従来この方法を採用することが多かった。type 2 (case 6) は C 点の Re 応力を 0 と置くというものであり、type 3 (case 7) は C 点の Re 応力をその風上側の値と等しくするものである。

(1) 建物側面付近の U 成分の主流方向分布 (図 14)

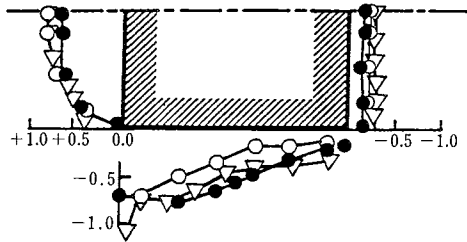
type 2 (case 6, —□—) や type 3 (case 7, —▽—) の結果は type 1 の場合 (case 1, —○—) よりも建物側面の風速値が小さくなり、実験値 (—●—) に近づく傾向にある。

(2) 平均風速ベクトル (図 15 (3))

type 3 の結果は wake 内のベクトルの長さが type 1 (図 15 (2)) よりも短くなっており、隅角部の境界条件の影響が建物後流にまで及んでいることがわかる。また、ここでは結果は示さないが、type 2 の結果も type 3 と同様の傾向である。今回の結果では、剥離流の状況に大きく影響を及ぼすと考えられる V_1 を計算する場合の隅角部における Re 応力の勾配の絶対値が type 2, type 3 では type 1 よりも多少大きめに評価されており、結

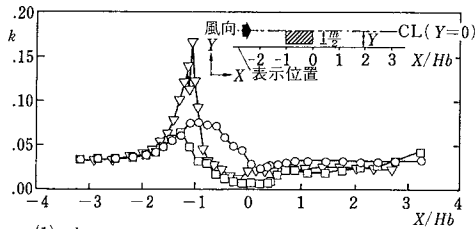


(1) 鉛直断面 (建物中心軸上)

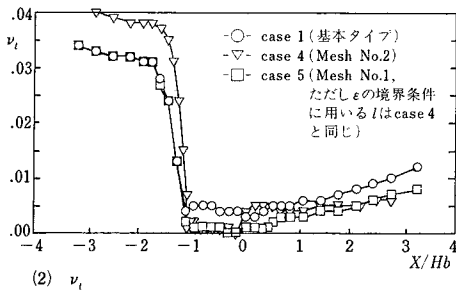


(2) 水平断面 (Z = Hb/2)

図 11 メッシュ分割を変化させた場合の風圧係数の比較 (phase 3)



(1) k



(2) nu_t

図 12 メッシュ分割および ε の境界条件を変化させた場合の k, nu_t の比較 (phase 3, 4)

(メッシュ分割によりスカラー量の定義位置が異なるため case 1, case 5 では Y=0.583 Hb, case 4 では Y=0.521 Hb の位置における分布)

果として V₁ の絶対値を小さめに評価する傾向にある。type 2, type 3 が同様の結果となったのはこのためであると考えられる。このように建物周辺気流の計算では、隅角部の境界条件の多少の相違が建物側面付近や wake 内の気流分布に比較的大きな影響を与えるので、そのモデル化には十分注意する必要がある。

4.5 計算領域の上空面, 側面境界条件に関する検討 (phase 6)

図 16 に C_p の比較を示す。free slip の結果 (case 8, -□-) は、自由流出 (case 1, -○-) よりも側面の負圧を小さく、また、背面の負圧を多少大きく評価している。これは側面の条件を自由流出から free slip に変更したため、横 (y) 方向の速度成分 (V) が抑制され、建物側面の剥離流や wake の横方向の発達が阻害され主流方向へ引き伸ばされたためと予想される。このことから壁面風圧を正しく予測するためには自由流出の境界条件を用いるほうが問題が少ないと判断される。

• type 1

C 点において

$$(-\overline{u'v'})_C = \left\{ v_t \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right\}_C$$

$$(v_t)_C = \frac{1}{4} (v_{t1} + v_{t2} + v_{t3} + v_{t4}) \quad \text{ただし, } v_{t1} = v_{t3}$$

• type 2

$$(-\overline{u'v'})_C = 0$$

• type 3

U₁ を計算する場合には、

$$(-\overline{u'v'})_C = (-\overline{u'v'})_A$$

V₁ を計算する場合には、

$$(-\overline{u'v'})_C = (-\overline{u'v'})_B$$

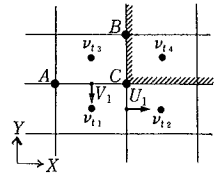


図 13 建物隅角部における Re 応力の与え方

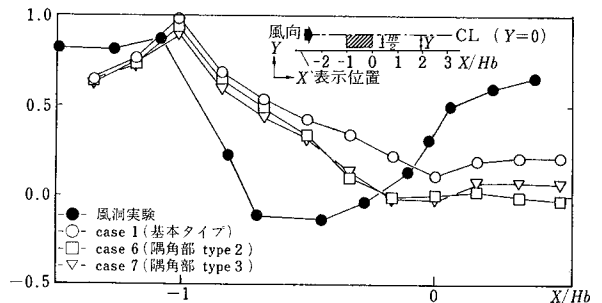


図 14 建物隅角部の境界条件を変化させた場合の U の分布の比較 (Y=0.583 Hb, phase 5)

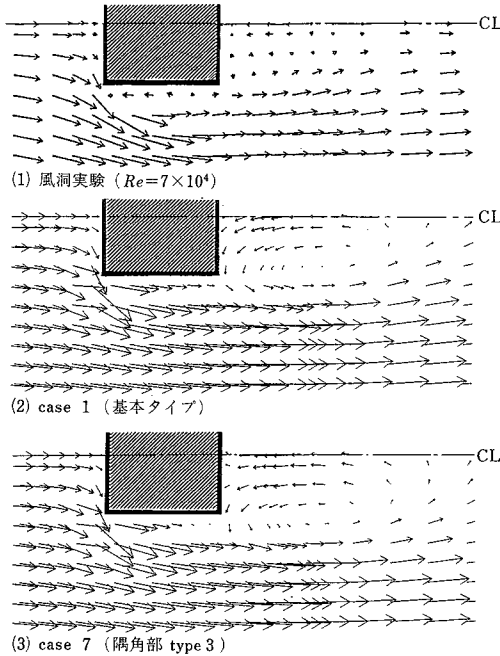


図 15 風速ベクトルの比較 (水平断面 ($z = Hb/2$), phase 5)

5. 結 論

$k - \epsilon$ 型 2 方程式モデルによる建物周辺気流の予測結果に及ぼす諸条件の影響を検討し、以下の結論を得た。

- (1) 建物周辺のメッシュ分割を細かくした計算の結果では、気流分布、圧力分布ともかなり正確に予測されている。すなわち、建物周辺気流の計算では、建物近傍のメッシュ分割を細かく設定し、この付近の大きな速度勾配を正しく捉えることが極めて重要であるといえる。
- (2) 壁面における ϵ の境界条件は、解に大きな影響を与えるので、十分な配慮が必要である。
- (3) スカラー輸送方程式の移流項に 1 次精度の風上差分スキームを使用した場合、その影響は k 、 ϵ の分布のみならず平均風速分布にまでも及んでおり、計算結果は改善される傾向にある。したがってスカラーの移流項に関しても少なくとも 2 次精度のスキームを用いたほうが良いと判断される。
- (4) 建物隅角部の境界条件の多少の相違が建物周りの流れに及ぼす影響は比較的大きく、そのモデル化には十分注意する必要がある。
- (5) 今回の計算では計算領域をかなり広くとっているが、上空面、側面を自由流出から free slip に変更すると、風圧係数の分布には好ましくない変化が認められた。したがって、通常の計算では上空面や側面の境界は自由流出の条件を採用したほうが安全である。

(1986 年 9 月 19 日受理)

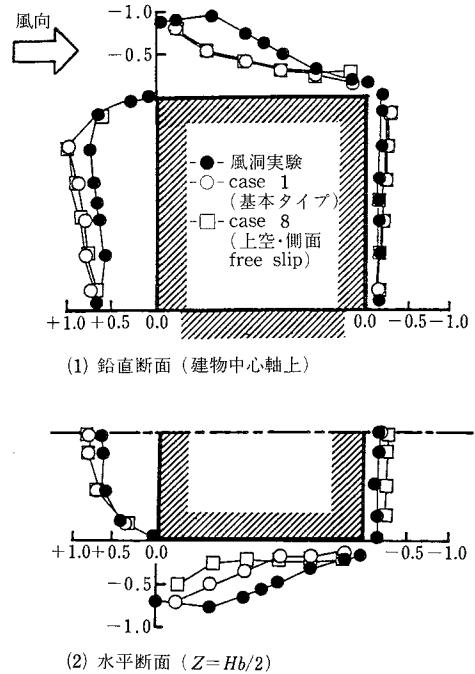


図 16 上空面、側面の境界条件を変化させた場合の風圧係数の比較 (phase 6)

参 考 文 献

- 1) 村上, 加藤, 須山: 「乱流数値シミュレーションの診断システムに関する研究」(第 2 報~第 10 報) 日本建築学会関東支部研究報告集, 1985, 7, 1986, 7 日本建築学会大会梗概集, 1985, 10, 1986, 8 および空気調和・衛生工学会学術論文集, 1985, 9, 1986, 10
- 2) 村上, 加藤, 須山: 「吹き出し吸い込みを持つ室内気流の 3 次元数値解析」, 日本流体力学会誌「ながれ」4 巻別冊, 1985
- 3) 持田, 村上, 日比: 「建物周辺気流の数値予測」(第 5 報), 日本建築学会大会梗概集, 1986
- 4) 村上, 持田, 林: 「建物周辺気流の数値予測」(第 6 報), 日本建築学会大会梗概集, 1986
- 5) 村上, 持田, 日比: 「建物周辺気流の数値解析」生産研究 Vol.35, No.8, 昭和 58 年 8 月
- 6) 村上: 「風工学における乱流の数値シミュレーション」, 日本風工学会誌, 第 20 号, pp 51~pp 79, 1984
- 7) 三宅, 梶島: 「LES による回転流路の乱流の解析」, 第 1 回生研 NST シンポジウム proceeding 昭和 61 年 2 月
- 8) 三宅, 梶島, 尾花: 「遷移レイノルズ数域の平板間クエット流れの直接シミュレーション」, 日本機械学会論文集, 52 巻, 482 号, B 編, 昭和 61 年 10 月
- 9) 村上, 持田, 大和田, 村上: 「建物周辺気流の数値シミュレーションの診断システムに関する研究(1)」, 日本風工学シンポジウム, 1986.12