

# LESと風洞実験による建物周辺、壁面の変動圧力場の解析

Numerical Prediction of Unsteady Pressure Field around Buildings by means of LES

村 上 周 三\*・日 比 一 喜\*\*・持 田 灯\*

Shuzo MURAKAMI, Kazuki HIBI and Akashi MOCHIDA

## 1 はじめに

本研究はLarge Eddy Simulation (以下LES) により街区周辺の乱流場の3次元解析を行い、特に建物壁面の変動圧力場と流れ場の諸量の関連に関する検討を行ったものである。

本報では従来の実験手法で不可能であった建物壁面の変動圧の多点同時測定<sup>1),2)</sup>とLESに基づく数値解析により流れ場の諸量と建物壁面の変動圧を関連づけて解析し、平均値を対象とした解析ではとらえられない、風圧力のピーク発生時の流れ場の空間構造を調べるとともに、Computer Graphics (CG) によるはく離渦の3次元構造の再構成を試みた結果を示す。

## 2 数値解析の概要

### 2.1 計算対象として用いた街区モデル

図1に示すような立方体で構成される均等な街区を計算対象とした。

### 2.2 基礎方程式

LESによる数値解析を行った。基礎方程式は文献<sup>3)</sup>を参照。

### 2.3 メッシュ分割

$52(x) \times 55(y) \times 45(z) = 128,700$ を用いた。

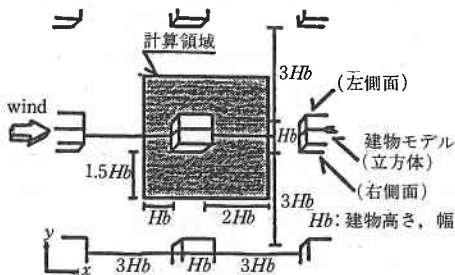


図1: 街区モデル (建物間隔  $3H_b$ )

### 2.4 差分スキーム

時間差分にはAdams-Bashforスキームを、空間差分には2次精度の中心差分。

### 2.5 境界条件

- (1) 流れ方向, 流れ直交方向の境界条件 流入, 流出面, 流れ直交方向の境界条件には周期境界条件を適用, 流れ方向に圧力損失  $\Delta \bar{P} / \rho < \overline{u_b} >^2 = 1.5 \times 10^{-5}$  を課している。
- (2) 地上面, 建物壁面の境界条件 壁関数 (指数1/2の power law) に基づく境界条件を使用。

## 3 風洞実験の概要

### 3.1 風洞実験模型の概要

幅2.4m, 高さ2.6mの風洞の測定部および助走路に1辺10cmの立方体模型を30cm間隔で流れと直交方向に6列, 流れ方向に47列配置し, 風上側より44列目に圧力測定用の模型を設置し, 模型壁面上の320点の測定点の変動圧を

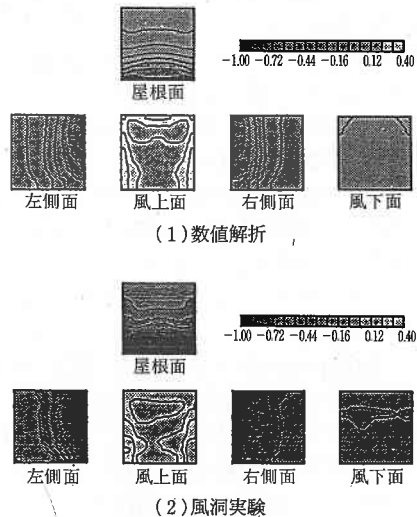


図2: 建物壁面の平均風圧係数  $\langle C_p \rangle$  の風洞実験と数値解析の比較

\*東京大学生産技術研究所 付属計測技術開発センター  
\*\*清水建設技術研究所 (元民間等共同研究員)

研究速報

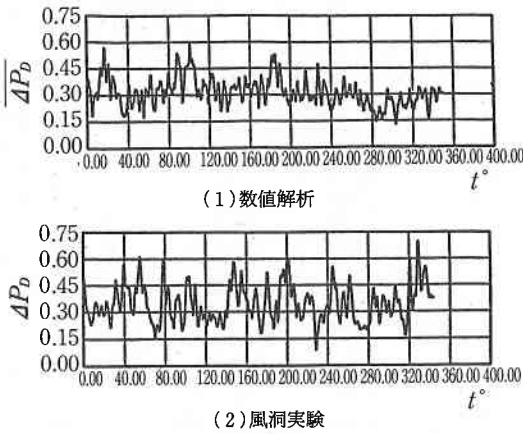


図3：前後差圧 $\Delta P_D$ の波形

〔本報における圧力の無次元化は $\rho \langle u_b \rangle^2$  (すなわち、建物高さの動圧の2倍)に基づいてなされているので注意されたい。〕

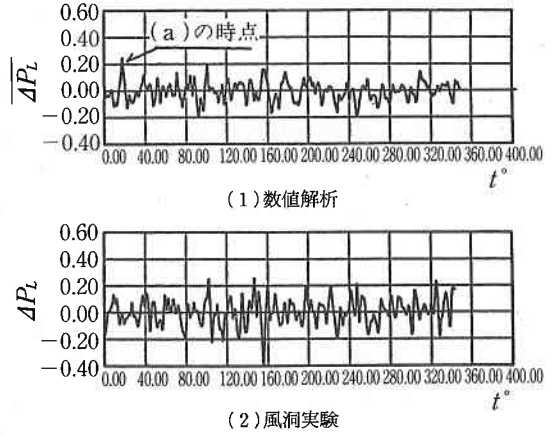


図4：側面差圧 $\Delta P_L$ の波形

サンプリング間隔1.5msで同時測定した。本研究で用いた多点圧力同時測定システムの詳細は文献<sup>1),2)</sup>を参照されたい。ここで模型高さ(10cm)と棟高風速(11.2m/s)によるレイノルズ数は $8 \times 10^4$ 。

4 数値解析と風洞実験の比較

4.1 建物壁面の平均風圧係数 $\langle C_F \rangle$ の風洞実験と数値解析の比較

図2に建物壁面の平均風圧係数 $\langle C_F \rangle$ の分布を示す。本計算では解が定常に達したと考えられる時点から無次元時間 $t^*$  ( $= t \langle u_b \rangle / H_b$ )で約350(約70万ステップ)計算が進むまでの間でデータをサンプリングし、以下に示す諸量を算出している。図2を見ると建物側面、屋根面の負圧の分布性状は計算と実験で非常によく一致している。

4.2 建物前後差圧 $\Delta P_D$ 、建物側面差圧 $\Delta P_L$ の時間変動およびスペクトル

図3に数値解析と風洞実験の建物前後差圧 $\Delta P_D$ の時間変動の波形を、図4に同じく建物側面差圧 $\Delta P_L$ の時間変動の波形を示す。前後差圧 $\Delta P_D$ の波形は実験、計算ともに低周波の変動が見られ、また間欠的に大きな値を示すピークが現れる傾向があるが、側面差圧 $\Delta P_L$ においてはこのような傾向は顕著ではない。また、図5に数値解析と風洞実験の $\Delta P_D$ の時間変動のスペクトルを、図6に同じく $\Delta P_L$ の時間変動のスペクトルを示す。 $\Delta P_D$ 、 $\Delta P_L$ のスペクトルともに計算と実験は良く対応している。また、図5、図6の実験結果を比べると、 $\Delta P_D$ のスペクトルに比べて $\Delta P_L$ のスペクトルの方がやや狭帯域となっているが、計算においてもこの傾向はよく再現されている。これは、

$\Delta P_D$ の場合、建物風上側の流入風の影響を直接受けやすく、このためスペクトルが広帯域となるが、 $\Delta P_L$ は建物自体により励起される渦の影響が卓越し、スペクトルがやや狭帯域となるものと考えられる。

5 数値解析によるはく離渦の非定常変動

図7はLESの結果から作成した建物壁面とその周辺の圧力分布を示す連続画像の中から、図4(1)に示した(a)時点( $\Delta P_L$ の正のピークが発生する時点)の前後の特徴的圧力分布を示す3時点を選び表示したものである。図7(2)が(a)時点に対応している。風上からみて左側面の負の圧力が弱まり(図7①)、反対側の負の圧力領域が形成され、図7②で負圧の絶対値が最大となり、その後徐々に消滅して行く(図7③)経過がよく観察される。右側面で発生する負圧の渦の発生から消滅まで( $\Delta P_L$ の変動の半周期)無次元時間で約5である。図6の $\Delta P_L$ のスペクトルを見るとピークは実験、計算ともに無次元周波数( $n \cdot H_b / \langle u_b \rangle$ )で約0.1程度にあり、図7の結果とおおむね対応している。

6 はく離渦の3次元構造のコンピュータグラフィックスによる再構成

はく離渦の3次元的な構造を把握するために、等圧力面をCGを用いて再構成することを試みた。ここでは建物側面の負圧に特に注目し、 $\bar{p} / \rho \langle u_b \rangle^2 = -0.2$ の等圧力面をサーフェスレンダリングの技法により表示し、はく離渦の時間変化を観察した。図8に建物周辺のはく離渦の3次元構造の時間変化を示す。(1)の時点では、はく離した建物後流の渦が明確に観察される。(2)の時点では建物左側面の渦が大きく成長し、(3)の時点では、この渦がやや減衰して行くと共に再び後流のはく離した渦が大きくなって行く過程がよく観察できる。

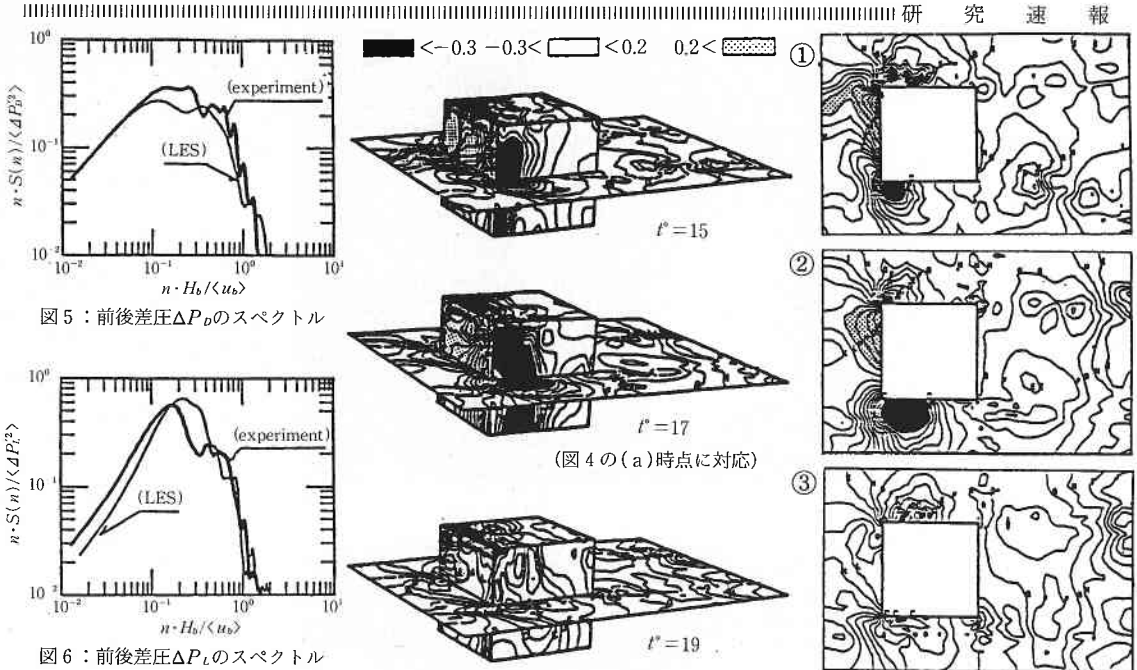


図 5 : 前後差圧 $\Delta P_D$ のスペクトル

図 6 : 前後差圧 $\Delta P_L$ のスペクトル

(1) 建物表面圧 $\bar{P}_w$ と流れ場の圧力 $\bar{P}$ の 3 次元表示 (2) 流れ場の圧力 $\bar{P}$ の水平面分布  
( $Z = Hb / 2$  における高さ)

図 7 : 建物側面のはく離渦の時間変動

7 結 論

1.  $\Delta P_D$ の時間変動は、 $\Delta P_L$ の時間変動に比べて低周波の変動が卓越する。この傾向はスペクトルの帯域が $\Delta P_D$ の方が広いことによっても確認される。これは $\Delta P_D$ は、広帯域のスペクトルを持つ流入風の影響を直接受けているが、 $\Delta P_L$ のスペクトルは建物自体により発生する渦成分の影響が支配的であることを示している。
2. 数値解析の $\Delta \bar{P}_L$ の最大値を示す時点の前後の流れ場の圧力をCGの手法を用いて詳細に観察することにより、側面のはく離渦の成長、消滅の性状や風速ベクトルとの関連性を示すことができた。
3. サーフェスレンダリングの技法を用いた表示法によるはく離渦の 3 次元構造の再構成の可能性を示した。

(1990年11月22日受理)

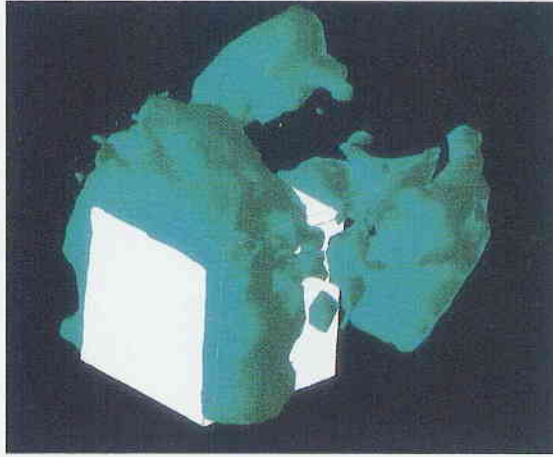
参 考 文 献

- 1) 藤井邦雄, 日比一喜, 大築民夫, 上田宏, 建物模型の非定常風圧力の測定, 日本風工学会誌, Vol. 31, 1987. 3
- 2) 藤井邦雄, 日比一喜, 上田宏, 多点圧力同時測定システムを用いた角柱表面の変動圧の可視化, 流れの可視化, Vol. 7, No. 26, 1987. 7
- 3) 村上周三, 日比一喜, 持田灯, Large Eddy Simulation

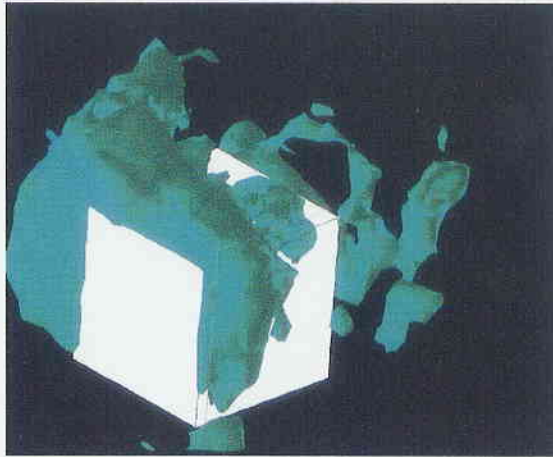
による街区周辺の流れ場の解析, 生産研究, 第40巻1号, 1988. 1

記号

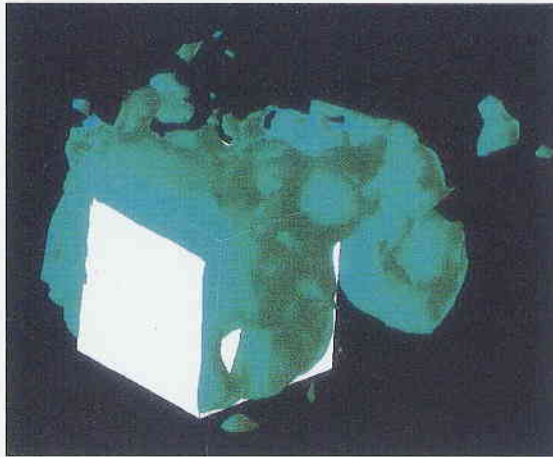
- $x, y, z$ : 主流方向, 横方向, 高さ方向の空間座標
- $u, v, w$ : 風速の  $x, y, z$  成分
- $\langle f \rangle$ : 変数  $f$  の時間平均 (またはアンサンブル平均),
- $\bar{f}$ : 変数  $f$  の格子平均 (ここではfilteringによる空間平均)
- $f'$ : 平均からのずれ,  $f' = \bar{f} - \langle f \rangle$ ,
- (実験では $f' = f - \langle f \rangle$ ),  $H_b$ : 建物高さ,
- $u_b$ : 建物上流, 建物高さ ( $1H_b$ ) における風速  $u$  成分,
- $\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ : スカラー風速,
- $P$ : 圧力 ( $P_0$ 基準),  $P_w$ : 壁面圧力 ( $P_0$ 基準)
- $P_0$ : 基準圧力 (上空静圧, LESでは $z = 6H_b$ , 実験では $z = 17H_b$  における静圧. ただし, 上空では高さの差による静圧変化はほとんどない.)
- $C_p$ : 風圧係数 (壁面各点の瞬時値),
- ( $C_p = P_w / (\rho \langle u_b \rangle^2 / 2)$ ,  $\rho$ : 空気密度)
- $\Delta P_D$ : 建物前後差圧 (瞬時の面内平均値の差, 風上側壁面-風下側壁面,  $\rho \langle u_b \rangle^2$ で無次元化),
- $\Delta P_L$ : 建物側面差圧 (瞬時の面内平均値の差, 左側壁面-右側壁面,  $\rho \langle u_b \rangle^2$ で無次元化),
- $t^*$ : 無次元時間,  $t^* = t \langle u_b \rangle / H_b$
- 諸量の無次元化は建物高さ  $H_b$  と棟高風速  $\langle u_b \rangle$  および空気密度  $\rho$  で行っている。



(1)  $t^* = 80$



(2)  $t^* = 85$



(3)  $t^* = 90$

図8：はく離渦の3次元構造