

建物アスペクト比の変化に伴う都市キャノピー流れの変化に関する数値実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○岩堂哲也

愛媛大学大学院 正会員 森脇亮

1 背景・目的

近年，都市内における大気汚染やヒートアイランドに対する関心が高まる中で，建物周りの風の流れに関する知識の必要性が高まっている．しかしあらゆる形状の都市において乱流構造を体系的に捉えパターン化することは非常に困難であり，接地境界層内における都市キャノピーの位置づけは未だに曖昧である．森脇ら¹⁾が行った都市スケールモデルと水田キャノピー上での乱流の同期観測によれば，建物のアスペクト比が大きくなるにつれ，都市キャノピー上の乱流構造は植生キャノピー乱流に類似してくるということが明らかになった．しかし，建物が細くなるにつれて都市キャノピー内外の乱流組織構造や物質輸送過程がどのように変化するのかということに関しては依然不明な点が多い．そこで本研究では，LES を実行することでアスペクト比の増加に伴う乱流構造の変化について検討する．これにより都市と植生間における粗度形状の近似がもたらす乱流特性の変化を系統的に解明する．

2 解析方法

計算モデルには大規模並列 LES モデル（コード名 PALM）を用いる．今回はアスペクト比（ H/W ）が 0.5, 1.0, 2.0, 3.3 の建物をそれぞれ整列配置した 4 種の都市モデルにおいて比較を行う．具体的な計算領域を表-1 に，建物配置例と幾何記号の詳細を図-1 に示す．4 種の都市モデルは全ケースにおいて建物高さ（ $H = 10$ m），領域高さ（ $N_z = 60$ m），そして建蔽率（ $\lambda_p = 0.25$ ）を統一しており，アスペクト比のみが異なっている．境界条件は x , y 方向ともに周期境界， z 方向は上下とも壁面で下部底面は no-slip 条件，上部壁面は slip 条件と設定した．また x 方向に主流風の初期条件として 5 ms^{-1} の風を与え，その後は領域全体に圧力勾配 0.004 Pa m^{-1} を与えた．計算時間は 7200 秒とし，最後の 5400 秒間における時間平均値と 3600 秒間の時系列データを用いて比較した．時系列データは図-1 中の奇数番号にあたる建物間（gap）と偶数番号にあたる交差点（cross section）にそれぞれ Y 方向に等間隔に 3 か所ずつ，合計 6 か所に抽出点を設定した．

3 結果と考察

アスペクト比と抵抗係数 C_d の関係を，図-2 に示す．抵抗係数（ $C_d = u_*^2/u^2$ ）は，個々の粗度要素の影響が十分に無視できる建物高さの 2 倍で算出したものを比較した．図-2 より，アスペクト比が大きくなるにつれ，抵抗係数が大きくなることが分かる．この原因として，通路での通風性の低下が挙げられる．地上 1 m での xy 断面における瞬間流れをベクトル表示したものを図-2 に示す．アスペクト比 1.0 の時は通路におけるベクトルの多くが主流方向を向いている（図-2a）．しかし，アスペクト比が 3.3 の時は gap から cross section に向かう流れが生じるようになり，通路を横断

表-1 4 種類の都市モデルの設定

アスペクト比	0.5	1.0	2.0	3.3
W (m)	20	10	5	3
N_x (m)	320	160	160	144
N_y (m)	160	80	80	72
建物数(x)	8	8	16	24
建物数(y)	4	4	8	12

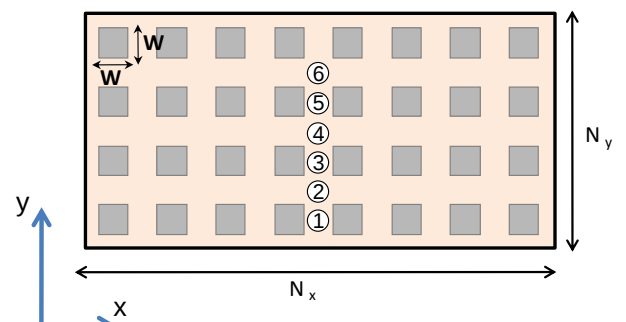
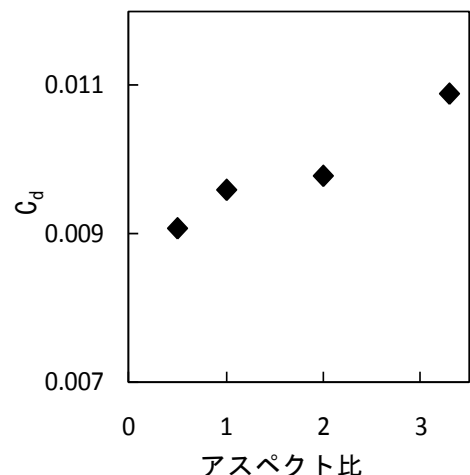


図-1 幾何記号と時系列データ抽出点位置の詳細

図-2 抵抗係数 C_d の比較

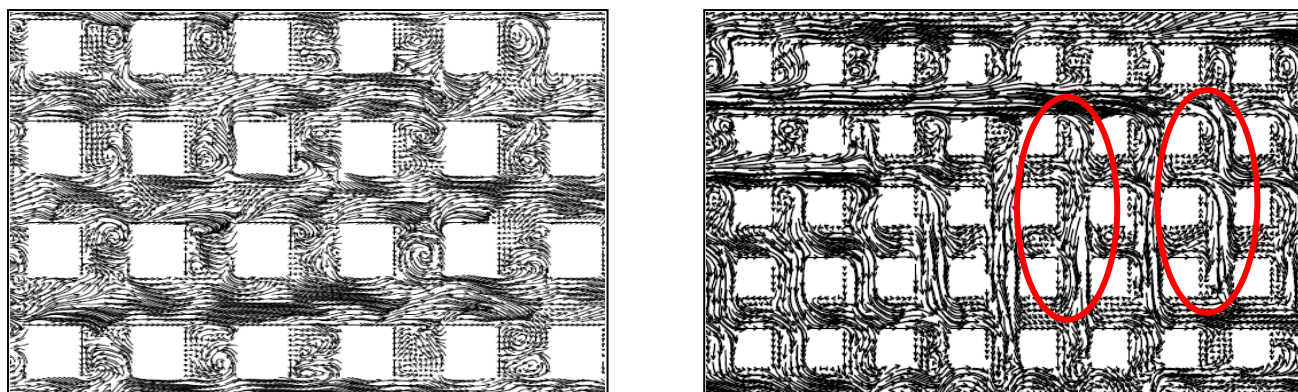


図-3 地上 1 m での瞬間風速ベクトル分布
 〈(a)アスペクト比 1.0 , (b)アスペクト比 3.3 〉

する横断流(赤円部分)が確認された(図-2b). また図は割愛するが、横断流の発生頻度はアスペクト比の増加に伴って高まることも確認された. これは通路断面のアスペクト比が大きくなったため、通路の流れが左右の建物の影響を受け易くなることで安定して風が通り抜けることができないことを表している.

そしてこれは効率的に運動量を輸送する場所の変化も示唆している. u と w の速度変動成分を $u'w'$ 平面上にプロットした時に、各象限に含まれる $\overline{(u'w')_i}$ を全四象限に含まれる $\overline{u'w'}$ で無次元化した値を S_i とする. S_2 は低速上昇運動である ejection モードを、 S_4 は高速下降運動である sweep モードを表す. そして cross section と gap のそれぞれで算出した $|S_2 + S_4|/(S_1 + S_3)$ の大きさを S_{cs} , S_{gap} とし、 S_{cs}/S_{gap} を図-4 に示す. 建物高さ($Z=H$)において、アスペクト比 0.5 と 1.0 の時は S_{cs}/S_{gap} が 0.5 程度であるのに対し、2.0 と 3.3 の時は、 S_{cs}/S_{gap} は 2~3 の値をとっている. これは、アスペクト比の増加に伴い運動量を輸送する場所が gap から cross section へと推移していることを表す. 横断流により通路での主流風速が低下することで通路上におけるキャノピー内外の速度差は大きくなる. これより cross section の建物高さ付近では大きな風速勾配が生じ、通路上での運動量輸送に寄与する乱れの割合は gap に比べて増加したと考えられる.

次に、各アスペクト比における ejection と sweep の関係を図-5 に示す. $1.5H$ の高度では、アスペクト比が 1.0 から 3.3 へと大きくなるにつれて、sweep が卓越してきているのが分かる. 森脇¹⁾らの観測でもアスペクト比 3.3 の時の S_4/S_2 比が水田と類する結果を示しており、また植生キャノピーの上空では sweep が卓越する(Shaw²⁾ら)

という主張があることから、アスペクト比が大きくなることによって、都市キャノピー内外の乱流組織構造は植生に類似してくるということが示唆される.

参考文献

- 1) 森脇亮, 藤井恵人, 藤森祥文, 2010: 都市スケールモデルおよび水田上の境界層乱流の類似性に対する建物アスペクト比の影響, 土木学会水工学論文集, 54, 295-300.
- 2) Shaw, R.H. Tavanger, J. Ward, D.P., 1983: Structure of the Reynolds stress in canopy layer., J. Clim. Applied Meteorol, 22,1922-1931.

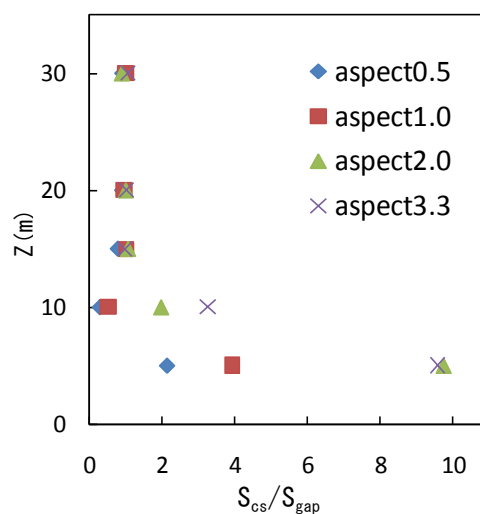


図-4 S_{cs}/S_{gap} の比較

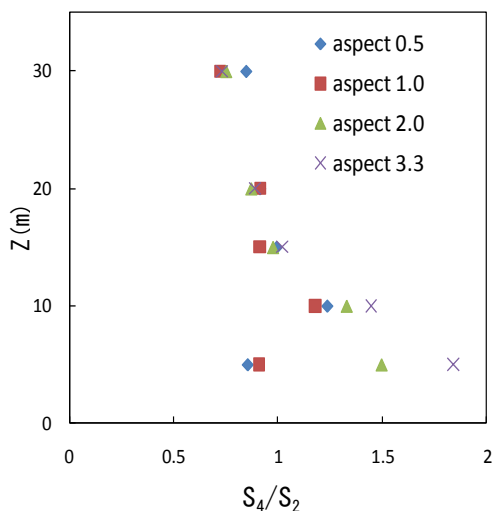


図-5 S_4/S_2 の比較