

街路の風環境変化による熱環境改善に関する研究

創造理工学専攻 環境都市コース 6164070023-7 武部 敬輔
(指導教員 近本智行)

1. はじめに

本研究では、航空測量から解析モデル形状データや遠赤外線データを得ることによって、市街地を対象とする総合的な解析システムを構築し、ヒートアイランド緩和のためのまちづくり支援を目指している。これまでもヒートアイランド緩和に向けた対策技術の研究は数多くなされているが、さまざまな要因が複雑に絡み合う問題だけに、都市の排熱量抑制や潜熱除去量の増加、被覆の改善などの対策の実施による改善効果は顕れにくく、さまざまな視点からの取り組みが重要となっている。本研究では、街区デザインによる風環境変化が歩行者の温熱環境の緩和に及ぼす影響に着目した。

CFD (コンピューターによる流体解析) を用いて検証するにあたって、どのような条件で計算精度が確保されるか検証する必要がある。そこで本報ではまず等温場における風洞実験を用いて CFD の精度及びメッシュ依存性の確認を行い、熱を含んだ CFD による都市環境解析で樹木及び風向きが温熱環境に与える影響について検討した。

2. 風洞を用いた CFD の精度検証

2.1 風洞実験の概要

表 1 の要領で実施した。代表建物高さ (0.06m) と代表風速 (5.7m/s) により求めたレイノルズ数は、約 23,000 である。実験模型は対象地区の西側が風上になるように風洞内に設置した。風速の測定にはサーミスタ風速計 (日本カノマックス, MODEL 6542) を使用し、地上付近となる高さ 3.0m 地点の風速を測定した^{註1)}。なお、測定ポイントは 61 点である。図 1 に風洞実験模型^{註2)} を示す。

表 1 風洞実験概要

縮尺	1/500
測定部	幅 2.4m×高さ 1.8m×長さ 13.7m
ターンテーブル	直径 1.6m (実スケール 800m)
境界層厚さ	1.0m (実スケール 500m)
流入気流	べき指数 0.25 (1/4 乗則)
上空風速	5.7m/s (ターンテーブルの風上側 高さ 1.0m)

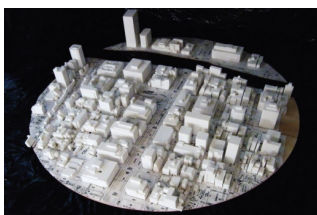


図 1 風洞実験模型

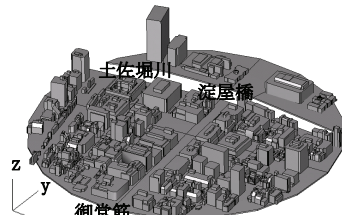


図 2 解析モデル鳥瞰図

2.2 CFD による計算概要

CFD 解析は航空機によるレーザー測量から得られた都市形状データ (図 2) を用いて実施した^{文 1)}。解析対象は風洞実験を行った御堂筋周辺街区 (直径 800m)、流入風向は西である。また流入風は風洞実験結果をもとに高さ 500m で 5.7m/s とした 1/4 べき乗則を設定した。本研究では、メッシュ分割数の違いが解析結果に及ぼす影響について 3つのケースを設定し (表 2)、標準 k-ε モデルと LK モデル^{文 2)} を用いた場合の両方の計算を行い、乱流モデルの取扱いの違いが及ぼす影響についても検討した。以上を考慮して 4つの解析ケース (表 3) とする。

表 2 メッシュ分割数詳細

	最小メッシュ幅	メッシュ分割数
A	1.5m	612(x)×559(y)×87(z)=29,763,396
B	2.0m	499(x)×443(y)×75(z)=16,579,275
C	2.5m	400(x)×352(y)×63(z)=8,870,400

*西側に 800m、東側に 1600m の助走空間を設けた

表 3 解析ケース

	乱流モデル	メッシュ分割
Case1	LK モデル	A
Case2	LK モデル	B
Case3	標準 k-ε モデル	B
Case4	LK モデル	C

2.3 風洞実験と CFD との比較結果

(1) 比較概要

風洞実験の測定地点を図 3 に示す。本研究の対象地域である御堂筋周辺街区は、高層建物が比較的少なく、建物高さ 50m 以下の建物が密集している地域である。測定地点はクールスポット形成やダウンドラフト発生の可能

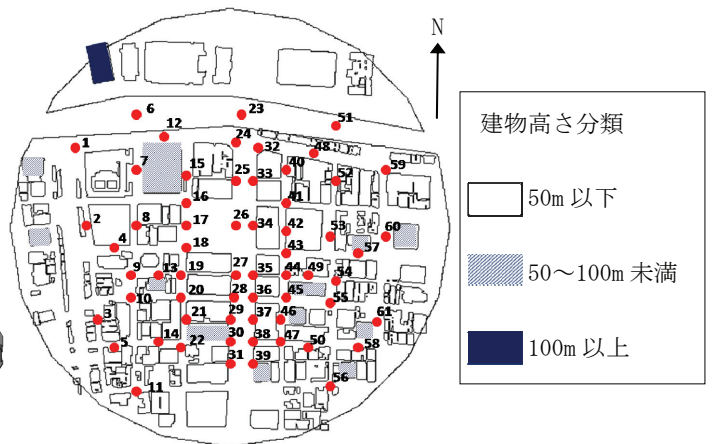


図 3 測定地点

性のある地点を選択した。クールスポットは建物間の隙間を通過する高風速の風の通り道を意図し、ダウンドラフトは中高層ビルの上部から吹きおろしてくる風を意図している。上空風速 5.7m/s を基準とした風速比によって風洞実験と CFD との比較を測定点毎に行った。

(2) メッシュ分割の違いによる影響 (Case1, 2, 4 を比較)

図 4 に解析結果 (風速分布) を、図 5 に測定点毎の風速比の結果を示す。多少のばらつきはあるものの、全てのケースで概ね傾向は一致している (図 5)。Case4 のばらつきの程度は他のケースに比べ大きい。また、図 4 より、街区内の流れ場の様子は概ね一致しているが、メッシュ分割数が少ないケース (Case4) では、建物間を通り抜ける風の様子が観測されない (図 4 の点線で囲んだ領域)、また、建物の後流の複雑な流れ場が再現されない (図 4 の一点鎖線で囲んだ領域) など、詳細な部分で計算の精度に問題の可能性がある。以上のことから、Case4 のメッシュ分割数では不十分であると考える。

(3) 乱流モデルの違いによる影響 (Case2, 3 を比較)

ここで、CFD 解析に標準 $k-\epsilon$ モデルと LK モデルを用いた場合の計算結果を比較する。結果より流れ場の傾向は一致しているが、Case3 では前述の街路を流れて御堂筋に流れ込む気流が (図 4 の点線で囲んだ領域) 再現されていない反面、Case2 では再現されており、等方型の渦粘性モデルに基づいた標準 $k-\epsilon$ モデルの衝突流れに対する適応の限界が認められる。



図 4 解析結果 (スカラー風速分布、地上 3.0m)

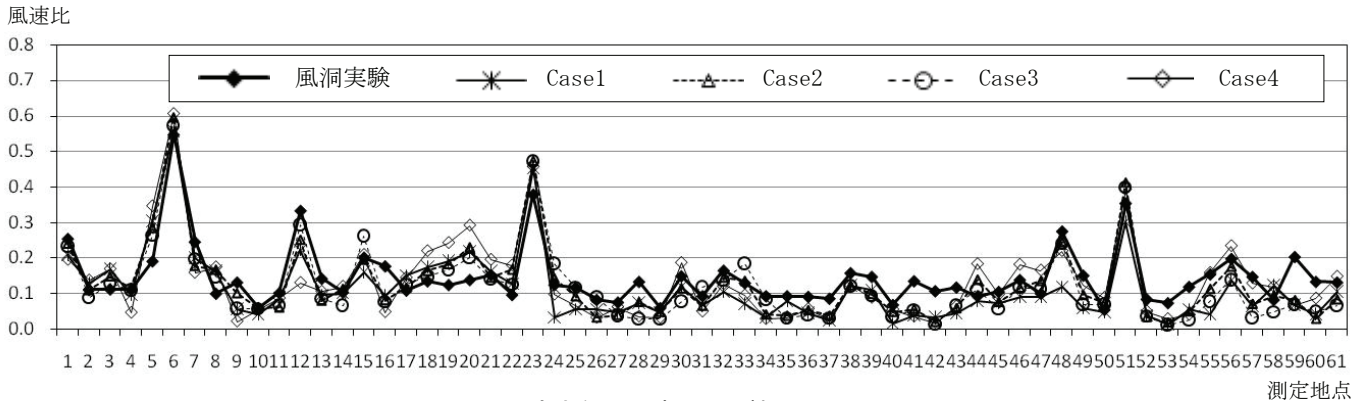


図 5 測定点毎の風速比の比較 (地上 3.0m)

2.4 まとめ

大阪御堂筋を対象とした風洞実験と CFD との結果比較を行った。また、粗メッシュから細メッシュへと解析を実施し、メッシュ依存性の確認を行った。以下に得られた知見を記す。

- 1) 航空機によるレーザー測量から得られた都市形状データを用いてメッシュ分割を適切に行い、CFD 解析を実施することで、建物形状を概ね正確に再現することができ、その計算精度も確保されることが確認された。今後は、Case1 を軸としたメッシュ分割を用いて、解析を実施することとする。
- 2) 標準 $k-\epsilon$ モデルと LK モデルを用いて解析した結果、高層ビルが建ち並ぶ場所と比較して、低中層建物が密集している大阪・御堂筋周辺街区においては、これらの違いによる影響は小さいものの一部の箇所では、衝突流れに対する LK モデルの適応の可能性が確認された。本研究では、ヒートアイランド対策として、建物間の風のぬける隙間によるクールスポット形成や建物上部に衝突した吹きおろしの気流の利用 (建物高さの規制緩和により、今後、御堂筋沿いにも 100m 以上の建物が建つ) に着目していることにより、今後の解析には LK モデルを用いることとする。

3. 熱を含んだCFDによる都市環境解析

3.1 樹木が温熱環境に与える影響

(1) 解析概要

CFD 解析は、航空機によるレーザー測量から得られた都市形状データ、航空機による遠赤外線測定から得られた遠赤外線データを用いて実施した。計算概要を表 4 に示す。計算対象日時は 2006 年 8 月 10 日 12:00 である。風向きは西とした。初期条件は大阪管区气象台の測定値（気温：33.6℃）を用いた。地表面温度及び壁面温度は実測値を参考に、屋上面温度は航空熱画像値を参考に設定した^{文1)}。空調排熱は建物用途別の排熱量原単位^{文3)}を用いて算出した。対象街区の各建物の延床面積を建物現況データ（大阪市都市計画局）から得て、建物の延床面積当りの排熱量を算出した。排熱位置は航空写真より判別した。交通排熱は航空写真から得た交通量をもとに、車種別・速度別の排熱量原単位^{文3)}を用いて算出した。交通排熱は対象街区の大通りのみ与え小路には与えていない。

また、街路樹の流体力学的影響及び蒸発散による熱収支への影響を検討するために表 5 に示す3つの解析ケースを設定した。流体力学的抵抗は樹冠部に対し、蒸発散に伴う吸熱は全天日射量の約 3 割を潜熱輸送量として与えた^{文4)}。

表 4 計算概要

項目	設定条件
解領域	800m(x)×800m(y)×200m(z) *西側に800m、東側に1600mの助走空間を設けた
メッシュ分割	621(x)×580(y)×90(z)=32,416,200
乱流モデル	LKモデル
流入境界	高さ47mで4.1m/sとした1/4べき乗則
側面境界	free slip
流出境界	自由流出
地表面、壁境界	風速:一般化対数則、熱:温度境界条件(対数則)
移流項スキーム	一次風上

表 5 解析ケース

	樹木の取扱い	設定条件
Case1	抵抗及び蒸発散とも考慮なし	—
Case2	抵抗は考慮し、蒸発散は考慮なし	緑被率:0.8
Case3	抵抗及び蒸発散とも考慮する	抵抗係数:0.5 ^{文5)} 葉面積密度:0.4m ² /m ³

(2) 解析結果

解析結果を図 6 に示す。Case2 では、Case1 と比べて循環風の中心が地上より離れていることが確認でき、地表レベルの風速が 0.1~1.7m/s 減少する。これは街路樹の樹冠によって上空からの吹きおろしの風が遮られたためであると考えられ、樹木の風速低減効果を示せたと言える。また Case3 では、Case1 と比べて地表レベルの気温が 0.1~0.6℃低下しており、樹木の蒸発散を考慮することによる温熱環境の緩和効果を示せたと考える。したがって今後の計算には Case3 の解析条件を用いることとする。

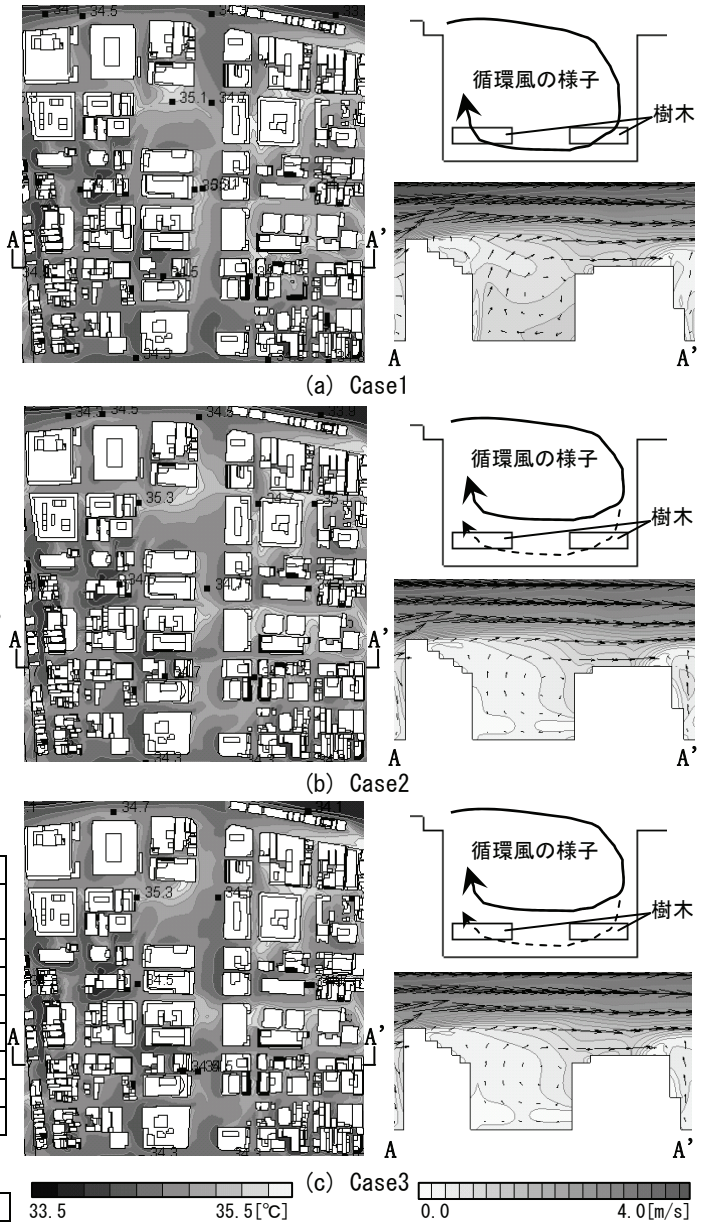


図 6 解析結果
(左:温度分布図、地上3.0m 右:風速分布+風速ベクトル断面図)

3.2 風向きが温熱環境に与える影響

(1) 解析概要

3.1 の Case3 と同様の解析条件で、風向及び街路の風環境変化が熱環境に与える影響を検討するため表 6 に示す 8 つのケースを設定した。図 7 に対策モデル詳細を示す。

表 6 解析ケース

Case	解析モデル	風向き
1-1	現状モデル	西
1-2		東
1-3		南
1-4		北
2-1	対策モデル ①建物高さを高くしてダウンドラフトを利用 (風向きを考慮して東西交互に高くする) ②風の道を確保	西
2-2		東
2-3		南
2-4		北

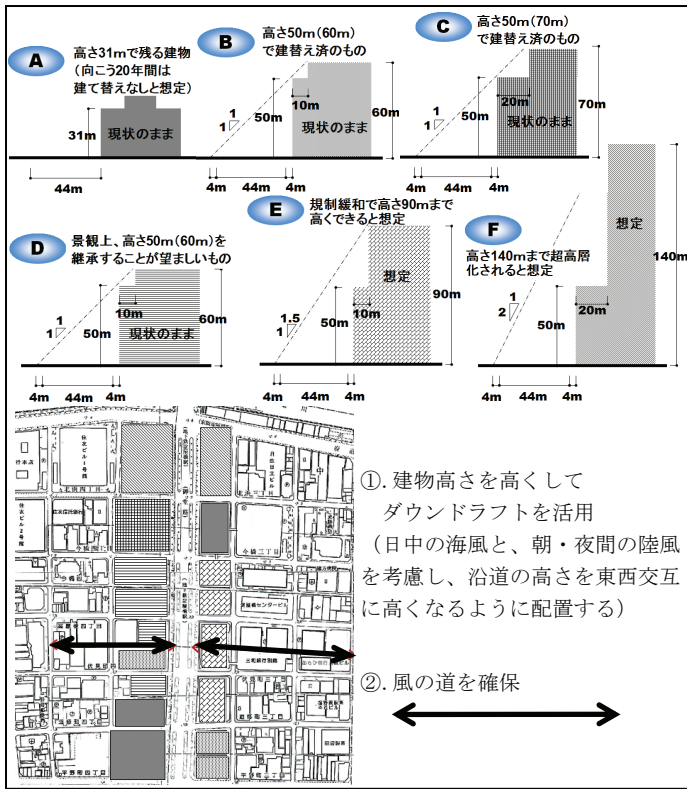


図7 対策内容詳細文⁶⁾

(2) 解析結果

大阪の風の特徴として西及び北北東の頻度が大きいことから、風向きが西及び北のケースの結果を図8~9に示す。風速結果の比較は風洞実験の測定地点(図3)毎に行った。西風の場合、対策モデルでは現状モデルと比べて上空の強い風が地上まで吹きおり、風上側の気温は0.2~0.9℃低下する。一方、風下側の気温が0.2~0.8℃上昇するという弊害も確認された。風の道を確保することで、西から東向きに吹く風が促進され、隙間を設けた箇所であら流速速度が1.5m/s上昇し、気温は0.4℃低下する。風環境および温熱環境の改善効果は、東風の場合と同様に御堂筋と直交する東西道路上及び御堂筋と直交する箇所において確認できた。北風の場合、対策モデルでは現状モデルと比べて風向に沿った街路の風通しが改善され、街路内の気温は低下する。風環境および温熱環境の改善効果は、南風の場合と同様に風向に沿った御堂筋上及び御堂筋の両隣の南北道路において確認できた。

4. まとめ

街区形状により風環境を変化させることは、街路内の熱環境変化につながり、ダウンドラフトの活用やクールスポットの形成など効果的な対策につなげることが可能と考えられる。また建物高さの変更により上空の冷気流を地上付近にまで効果的に引き込むためには、一様な建物高さにするのではなく、建物高さにばらつきをもたせることが効果的であると考える。

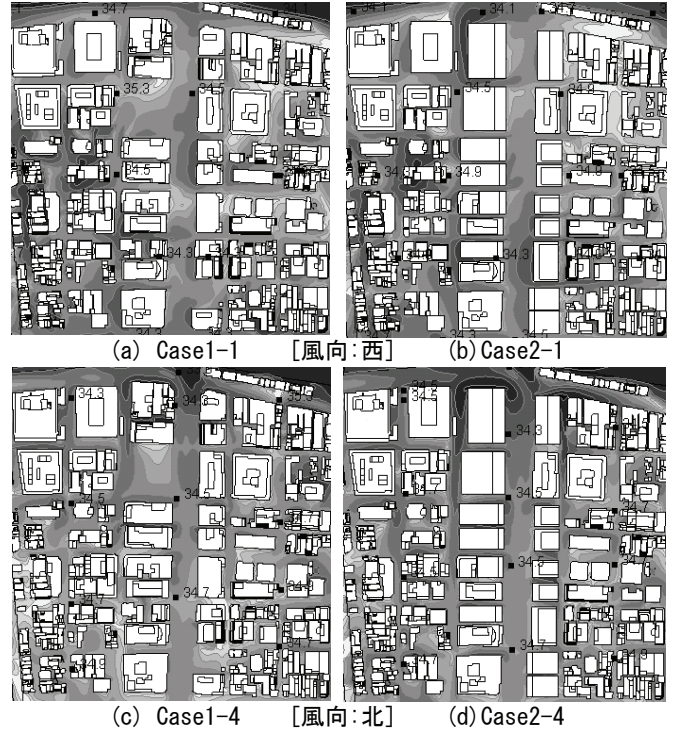


図8 解析結果(温度分布図、地上高さ3.0m)

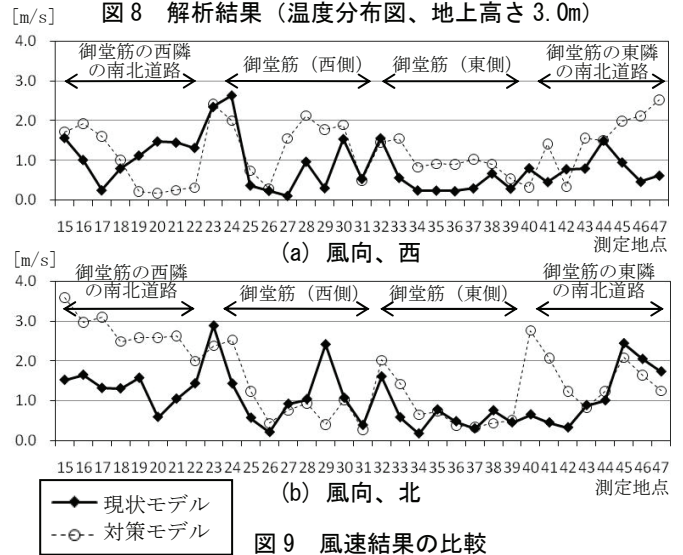


図9 風速結果の比較

注1) 使用した風速計のプロープの大きさにより、地上高さ3.0m地点の風速を測定した。注2) 航空機によるレーザー測量から得られた都市形状データに基づき作成した。

参考文献

文1) 武部敬輔、近本智行：ヒートアイランド緩和による歩行者環境の改善に関する研究(その2)大阪御堂筋を対象とした街区デザインと被験者実測、CFD解析による検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(仙台)、p.2305-2308、2007.9
 文2) B. E. Launder and M. Kato: Modeling flow-induced oscillations in turbulent flow around a square cylinder, ASME Fluid Engineering conference, 1993
 文3) 国土交通省・環境省：平成15年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書、pp.41-45 pp.74、2004.
 文4) 吉田篤正：街路樹からの蒸散量の見積もりに関する基礎研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)D-1、p.661-662、2007.8
 文5) 田部充朗ら：特性の異なる都市キャニオンの温熱環境実測とシミュレーションによる環境改善策の提案に関する研究、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、p.119-126、2007.3
 文6) 熱環境配慮街区デザインWG研究報告書、空気調和・衛生工学会近畿支部 都市平熱化委員会 熱環境配慮街区デザインWG、2007.3