学位論文題名

建物近傍における拡散機構と都市大気乱流構造に
関する研究

学位論文内容の要旨

近年、都市域において高濃度の大气汚染物質を排出する施設が、高層マンション、事務所ビル、ホテルなど多くの人が居住する建物に隣接して建設されている。都市に居住する人々の生活環境を保全する観点から、大气汚染物質の移流、拡散するプロセスおよびその拡散機構に関わる大気の乱流の性質を知ることが必要であるが、こうした現象は十分に解明されていない。本研究は、都市域における建物近傍（建物高さの数倍以内の領域）の拡散機構と都市大気下層における乱流構造を解明することを目的とし野外観測と風洞実験を行った。本論文では、前半の第2章、3章で平坦地における建物近傍の現象を対象とし、後半の第4章、5章で複雑な都市域の現象を扱う。以下に本論文の要旨を述べる。

第2章では、野外の平坦地に単体の立方体建物モデルを設置し、幾何学的に単純な物体周囲の流れ場と拡散場の基本特性を検討した。その結果、建物と流れの相互作用により上流よりも小さな渦が建物背後の渦領域に生成されること、建物高さ H で無次元化した建物背後の渦領域の長さ(L_c/H)は、建物に対する流入角と上流の乱流強度の大きさに影響されること、など自然風における建物背後の流れ場の基本特性を示すとともに屋根面から放出したトレーサガスの建物近傍における拡散性状を示した。

第3章では、上流の大気の乱れの影響を系統的に調べるために風洞実験を行った。ここでは、上流の粗度を4種変化させ立方体建物モデル近傍の流れ場および拡散場へ与える影響の検討と野外観測との比較を行った。その結果、野外観測と同様に渦領域の長さ L_c/H は上流の乱流強度と流入角に大きく影響されること、野外観測データと風洞実験データにおいて流入角と上流の乱流強度を相似させた時、両者の L_c/H および地表面の最大濃度の出現位置とその値が一致することを示した。また、上流の乱流強度の変化は、屋根面の流れのパターンを変化させること、これら屋根面の流れの変化が、屋根面の濃度パターンのみならず地表面の最大濃度の出現位置に影響を与えることなどを明らかとした。

第4章では、建物が密集した都市域の拡散現象を検討するために、風洞にてモデル建物密度を変化させた時の流れ場および屋根面上に排出源がある場合の拡散場を測定した。その結果、建物密度の変化は、建物間の流れ場と屋根面の剥離の構造に変化をもたらすこと、屋根面上の拡散性状および地表面ピーク濃度の出現位置を変化させることなどを明らかとした。ま

た、屋根面濃度および地表面ピーク濃度は修正されたモデル式を用いて推定できることなどを示した。

第5章では、札幌市郊外の住宅地で行った野外観測結果について示した。都市キャノピー内外の流れ場の垂直乱流構造および組織的な乱流運動を明らかにすることを目的とし、超音波風速計をキャノピー内およびその上層の異なる高さ(5.4m、10.3m、18m、35mおよび45m)に設置し乱流観測を行った。その結果、変動風速の標準偏差 σ_u の垂直分布はキャノピー上でブロードなピークを持ち、 σ_v および σ_w は、ほぼ均一な分布となっていることを示した。レイノルズ応力の垂直分布は、キャノピー高さの1.5倍付近で弱いピークを示し、それ以上の高度ではゆっくりと減少すること、このレイノルズ応力の高い値を持つ層は、高速流体塊の下層への流入(sweep)および低速流体塊の上層へ噴出(ejection)する2つの特徴的な乱流運動によって形成されていることを明らかとした。更に、アンサンブル平均法によりこれらの組織運動に伴う流れ場と温度場の構造を示し、組織運動が起こした上昇流および下降流はキャノピー内外における熱の垂直輸送に重要な役割を担っていることを明らかとした。また、野外拡散実験において、屋根面および地表面の平均濃度の計測を行い、大気の流れ強度の大きさが広範に変化する状態の拡散特性を明らかとした。屋根面の瞬間濃度と速度変動との関係を明らかにするために、高応答性の濃度分析計と2台の超音波風速計を用いて計測を行った。その結果、屋根面の逆流と上流の組織運動の間には強い相関がみられ、また、屋根面中央から排出されたガスは、屋根面の逆流によって上流側に輸送されていることを明らかとした。これらは、上流の組織的運動が屋根面の拡散場に大きな影響を与えていることを表す。

以上、本研究では、野外実験および風洞実験により、上流の乱流強度の変化および建物密度の変化が建物近傍の拡散場に及ぼす影響を定量化し、建物近傍の基本的な拡散機構を明らかとした。また、実際の都市を対象とした野外観測を行い、従来の研究にて全く明らかにされてなかった都市キャノピーにおける組織運動の存在とその組織運動が屋根面の表面流れおよび拡散場に大きな影響を与えていることを示した。これら本研究で明らかとされた結果は、都市における建物近傍の拡散現象の理解および濃度を予測するための基礎を与えるものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 太 田 幸 雄

副 査 教 授 高 桑 哲 男

副 査 教 授 木 谷 勝

学 位 論 文 題 名

建物近傍における拡散機構と都市大気乱流構造に関する研究

近年、事務所ビルやホテル、高層マンション等、都市域において高濃度の大気汚染物質を排出する高層建築物が増加しており、このような高層建築物の密集する都市域における大気拡散機構の解明が、都市環境保全のための重要な課題のひとつとなってきた。

本論文は、この建築物近傍の大気拡散機構と都市大気乱流構造を、風洞実験および野外観測により解明しようとしたものであり、その主な結果は以下の点に要約される。

本研究では、まず野外の平坦地に単体の立方体建物モデルを設置して、その周囲の風の乱れの野外観測を行い、さらに建物モデル屋根面からトレーサーガスを放出することにより、汚染物質の野外拡散実験を行った。その結果、建物と風の相互作用により上流よりも小さな渦が建物背後の領域に形成されること、および建物高さで無次元化したこの建物背後の渦領域の長さは、建物に対する風の流入角と上流の乱流強度の大きさに影響されること等を示した。

次に、風洞実験により、単体の建物背後に生成される渦領域の挙動および汚染物質の拡散特性について検討した。風の流入角と上流の乱流強度の大きさを様々に変化させたところ、野外観測結果と同様に、建物背後の渦領域の長さは風の流入角と上流の乱流強度に大きく影響されること、および野外観測データと風洞実験データにおいて流入角と上流の乱流強度を相似させた時、両者の渦領域の長さ、および汚染物質の地表面への最大着地濃度の出現位置が一致すること等、単体建物周囲での風の乱れ及び拡散現象の基本特性を明らかとした。

次に、建物が密集した都市域における拡散現象を検討するために、風洞を用いて、モデル建物の密度を変化させた場合の流れ場の測定、および屋根面上に排出源がある場合の拡散実験を行った。その結果、建物密度の増加により、建物間の流れが変化し、建物間のキャビティーフローおよび建物上面を流れるスキミングフロー等の特有な流れが形成されること、この結果、建物密度が増加するほど建物高さでの汚染物質濃度が高くなること、および建物前面での濃度の鉛直分布がほぼ一様となる傾向を持つこと等を明らかとした。

本研究では、さらに札幌市郊外の住宅地において、都市キャノピー層（建物高さまでの大気層）の内外における風の観測（乱流構造の鉛直分布測定）および汚染物質の野外拡散実験を行った。その結果、主風向成分の変動の標準偏差 σ_u の鉛直分布はキャノピー層高さの1.5倍付近でピークを持つこと、一方主風向に対して水平方向直角および鉛直方向の標準偏差 σ_v および σ_w の鉛直分布はほぼ一様な分布となっていることを明らかにした。またレイノルズ応力の鉛直分布もキャノピー層高さの1.5倍付近でピークを示し、それ以上の高度ではゆっくりと減少すること、このレイノルズ応力の高い値を持つ層は、高速の流体塊の下層への流入（sweep）および低速の流体塊の上層への噴出（ejection）という組織化された二種類の乱流運動により形成されていることを明らかとした。さらに、アンサンブル平均法によりこれらの組織運動に伴う風の場合と温度場の構造を示し、組織化された上昇流および下降流は、都市キャノピー層内外における熱の鉛直輸送において重要な役割を担っていることを明らかにした。

また、野外拡散実験により、屋根面上において生じる高濃度現象が組織乱流により引き起こされた逆流によるものであることを明らかにし、上流での組織的な乱流運動が、都市大気境界層内の大気汚染物質の輸送拡散現象に大きな影響を与えていることを明らかとした。

これを要するに、本論文は、これまで不明であった建物近傍における大気拡散機構および都市大気境界層内における乱流構造の解明に関して多くの有用な知見を与えており、特に都市キャノピー層内外において組織的な乱流が存在し、この組織乱流が都市大気境界層内における熱および汚染物質の輸送拡散過程に決定的な影響を与えていることを初めて明らかにしたことは、大気環境工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。