

学位論文題名

定常通風場を対象とした
建築空間の気流動に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

エネルギー問題と環境問題の見地から、室内環境調整に向けたパッシブ手法の重要性は今後ますます大きくなると考えられる。その一手法である通風は外界変動に伴った大きなむらと変動に特徴があり、その特性を生かした環境設計が求められているが、そのむらと変動の解析手法や研究の視点が定まっているわけではない。本論文は、基礎的研究の段階として定常通風場に焦点を絞り、通風環境における空間的なむらに着目し、ガスをトレーサーとして用いた数値実験(CFD解析)からむらを定量的に解析し、通風空間のモデル化やマクロモデルに向けた適用とその課題について取り組んでいる。

本論文の構成は、研究の背景と目的を述べた第1章、むらのモデル化の有用性にふれた第2章、有効混合容積を用いて通風空間の分析を試みた第3章とパルス法による通風輪道の同定法を検討した第4章、温度むらのある空間の通風性状把握に取り組んだ第5章、そして、3, 4, 5章を受けてマクロモデル解析への展開を採った第6章、最後に全体をまとめた第7章、の全7章からなる。

第1章では、本研究の背景として環境問題に対するパッシブ手法の意義、パッシブクーリング手法の特徴、通風の計画・設計に及ぼす外界変動の諸影響について検討を加えるとともに、研究の目的が、定量的な定常通風場の性状把握と通風空間のモデル化によるマクロモデル解析への展開にあることを記している。

第2章では、温度、気流速、空気質のむらに関する既往の研究を概観し、建築空間、特に夏の環境調整と「むら」の関係を探るとともに、室内の「むら」のモデル化の有用性を明らかにしている。

第3章では、有効混合容積の概念を用いて定常通風場をモデル化し、ガスをトレーサーとした数値実験を行い、通風空間の性状把握を行っている。有効混合容積は、トレーサーガスを用いた換気量測定において、瞬時一様拡散の仮定が成立する仮想領域であり、室内の実容積における混合状況を表している。開口間を結ぶ領域1、室内の領域1以外の領域である領域2、室外に定義した仮想領域3(領域1, 2, 3を併せて領域L)にモデル化し、流入口におけるステップアップ入力に対する濃度の経時変化に対応させて、時々刻々の容積を解析している。その結果、①流入した空気が室内をすっぽ抜ける度合いが高いほど、領域1の容積 V_1 が小さく(領域Lの容積 V_L が大きくなり、空間内で流入空気の混合される度合いが高くなると V_1 , V_L がともに実容積に近づくこと、

② V_1 , V_L は経時的に変化し、空間の濃度変化はその容積 V_L の影響を受けること、③ V_1 , V_L は流入速度より、流入角度に大きな影響を受けること、④局所空気齢 $\bar{t}_p$ の分布から得られる容積 V_{1t} は、経時的に変化する V_1 の時間平均値を示し、平均空気交換効率 η の逆数は V_L の実容積に対する比の時間平均値となること、を明らかにした。また、有効混合容積をもとにモデル化した領域の容積 V_1 , V_L は定常通風場の性状を表す指標として有効であることを確認した。

第4章では、トレーサーガスのパルス入力による数値実験から、流入口から流出口への一続きの経路としてみなすことができる通風輪道の領域同定法を検討している。室内のある点において、1)通風の時間スケールに則って、2)流入口から到達した空気が、3)スムーズに流出口から排気される、という3条件を満たすとき、その点は通風輪道の領域に属していると考えた。流入口のパルス入力に対するガスの移動混合拡散の過程から、通風の時間スケールと壁面への衝突時刻を検討し、開口からの「到達のしやすさを表す領域A'」を示した。また、空間要素におけるガス量のパルス入力の応答を援用し、空間に移流混合拡散したガスの「流出のしやすさを表す領域B'」、さらに、「通風輪道を表す領域C'」を提示した。これらの領域が通風輪道の特性と概容を表していること、領域同定法の有用なることを明らかにした。

第5章では、温度むらのある実大規模の空間を対象に、ガスをトレーサーとした数値実験を行い、領域1, Lの時間平均した容積 $\underline{V}_1$, $\underline{V}_L$ 、通風輪道を表す領域C'を求め、設定温度差3条件、流入角度3条件、計9ケースの定常通風場の性状を把握している。その結果、① $\underline{V}_1$, $\underline{V}_L$ は、温度むらより流入角度に大きく影響を受け、流入角度が大きくなると $\underline{V}_1$, $\underline{V}_L$ が実容積に近づき、室内の混合の度合いが大きくなること、②外界条件に応じ、通風輪道を表す領域C'を3種のパターンに類型化できること、③室内の混合状況を表す $\underline{V}_1$ と通風の経路を表す領域C'の容積 $\underline{V}_C$ は物理的な特性が異なっていること、を明らかにした。

第6章では、前章までの通風場の気流動性状に基づいて、建築空間に対応したマクロモデルを提示している。通風空間を流入開口と流出開口を結ぶ主流領域とその周辺領域の2流域に分割し、外界と主流領域、主流領域と周辺領域の間に移流拡散混合を考えた2ゾーンモデルを提案し、領域と領域間の交換換気量、外界の変動に向けた対応について検討を加えた。その結果、①外界条件の変化に対応した定常平均流モデルを分割時間毎の収束与条件として逐次的な非定常解析に向けた適用が可能であること、②通風輪道を表す領域C'を主流領域に対応させた場合、領域C'は流入空気の混合状況を反映していないため、解析した濃度の経時変化にズレが生じること、③時間平均した領域1の容積 $\underline{V}_1$ を主流領域の相当容積に対応させた場合、2ゾーンモデルで求めた主流領域、周辺領域の濃度は、CFD解析から得られた領域平均濃度にはほぼ一致すること、④室内の混合の度合いが高くなると、室内を1ゾーンモデルで考えることができること、を明らかにした。本2ゾーンモデルは、周辺領域と周壁の対流熱伝達の関係、周壁相互の放射熱伝達を連成しなければならないという熱系の課題が残されているが、空気系の検討において、室内のむらをマクロに扱いながら通風空間の空気・熱環境の数値解析を可能にする見通しを得た。

第7章では、全体のまとめを行っており、本研究の成果と今後の課題を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 教 授 持 田 徹
副 査 教 授 窪 田 英 樹
副 査 助 教 授 羽 山 広 文

学 位 論 文 題 名

定常通風場を対象とした

建築空間の気流動に関する基礎的研究

省エネルギーや環境保全に関わって、室内環境調整に向けたパッシブ手法は重要性を増してきている。通風は古くから行われている身近なパッシブ手法の一つであるが、今なお外界変動に伴ったむらと変動の解析手法や研究の視点が定まっている訳ではない。

本論文は、基礎的研究の一環として定常通風場に焦点を絞り、通風環境における空間的なむらに着目し、ガスをトレーサーとして用いた数値実験(CFD)からむらを定量的に解析し、通風空間のモデル化やマクロモデルに向けた適用とその課題に取り組んでいる。

本論文の構成は、研究の背景と目的を述べた第 1 章、むらのモデル化の有用性にふれた第 2 章、有効混合容積を用いて空間分析を試みた第 3 章、パルス法による通風輪道の同定法を検討した第 4 章、温度むらのある空間の通風性状把握に取り組んだ第 5 章、マクロモデル解析への展開を試みた第 6 章、最後に全体をまとめた第 7 章、の全 7 章から成る。

本論文の研究の成果は以下の 4 点にまとめることが出来る。

(1) ガスをトレーサーとした数値実験から、有効混合容積の概念を用いて定常通風場を有効混合容積とおぼしき領域 1、実容積と有効混合容積差で定義される領域 2、室外に定義した仮想領域 3(領域 1, 2, 3 を併せて領域 L)の 3 領域にモデル化し、その結果、①流入した空気が室内をすっぽ抜ける度合いが高いほど領域 1 の容積 V_1 が小さくなり、空間内で流入空気の混合される程度が高くなると、 V_1 と V_L とともに実容積に近づくこと、② V_1 , V_L は経時的に変化し、すっぽ抜ける空間の濃度変化はその容積 V_L の影響を受けること、③ V_1 , V_L は流入速度より、流入角度に大きな影響を受けること、④局所空気齢 τ_p の分布から得られる容積 $V_{1\tau}$ は、経時的に変化する V_1 の時間的平均値を示し、平均空気交換効率 η の逆数は V_L の実容積に対する比となること、を明らかにした。

(2) トレーサーガスのパルス入力による数値実験から、流入口から流出口への一続き

の経路として見なすことができる通風輪道の領域同定法を検討し、①流入入口のパルス入力による通風の時間スケールと壁面への衝突時刻、開口からの「到達のしやすさを表す領域 A'」、空間要素のパルス入力による応答から、開口に向けて「流出のしやすさを表す領域 B'」と「通風輪道を表す領域 C'」を提示し、②これらの領域が通風輪道の特性と概容を表していることや③領域同定法の有用なることを明らかにした。

(3) 温度むらのある実大規模空間を対象に数値実験を行い、領域1, Lの時間平均した容積 V_1 , V_L 、通風輪道を表す領域C'を求め、設定温度差3条件、流入角度3条件、計9ケースの定常通風場の性状把握から、①温度むらよりも流入角度の影響が大きい V_1 , V_L は、流入角度が大きくなると実容積に近づき、室内の混合の度合いが大きくなること、②外界の条件に応じ、通風輪道を表す領域C'を3種のパターンに類型化できること、③室内の混合状況を表す V_1 と通風の経路を表す領域C'の容積 V_C は物理的な特性が異なっていること、を明らかにした。

(4) 通風場のマクロモデルとして、流入開口部と流出開口部を結ぶ主流領域とその周辺領域の2流域に通風空間を分割し、外界と主流領域、主流領域と周辺領域2の間に移流混合拡散を考えた2ゾーンモデルを提案し、①外界条件の変化に対応した定常平均流モデルを分割時間毎の収束条件、即ち空気系を別途に逐次的な境界条件とし、通風空間を構成する各壁熱流を非定常とする熱環境解析に向けた適用が可能であること、②通風輪道を表す領域C'を主流領域に対応させた場合、領域C'は流入空気の混合状況を反映していないため、濃度の経時変化にズレが生じること、③時間平均した領域1の容積 V_1 を主流領域の相当容積に対応させた場合、主流領域、周辺領域の濃度は、CFD解析結果から得られた領域平均濃度にほぼ一致すること、④室内の混合の度合いが高くなると、室内を1ゾーンモデルで考えることができること、を明らかにした。

これを要するに著者は、夏期の室内環境調整に欠かせないパッシブ手法の提案に直結する通風空間の空気・熱環境のマクロ的な数値解析を可能にするための基礎的な新知見を得たものであり、建築環境学、建築計画学に対して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。