

Indoor Hygrothermal Environment of Naturally Ventilated Residential Buildings in Tropical Climate Regions in Indonesia

ムハツマド, イクバル

<https://hdl.handle.net/2324/7157284>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : ムハマド イクバル

論 文 名 : Indoor Hygrothermal Environment of Naturally Ventilated Residential Buildings in Tropical Climate Regions in Indonesia

(熱帯気候に属するインドネシアの住宅において室内熱環境へ及ぼす自然換気の影響)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

インドネシアは、2 億 7 千万人を超える世界第 4 位の人口規模を有し、赤道直下の地域に東西 5,110km, 南北 1,900km の広範囲に亘って 1 万 7 千を超える島嶼が連なる世界最大の群島国家である。気候は熱帯雨林気候とサバンナ気候に属し、乾季 (4~9 月頃) と雨季 (10~3 月頃) に分かれる。ただし、季節変化はわずかで、しかも近年の地球温暖化は両季節の違いをさらに曖昧にしており、多くの地域が通年に亘り蒸し暑い高温高湿な環境である。同国は 1997 年の経済危機以降、貧困緩和政策を進めているが貧困線をわずかに上回る人口層が多く、経済・社会的要因に対して脆弱で、エネルギーインフラの未整備な地域が多い。例えば、パプア州と東ヌサトゥンガラ州の系統電源網配下の世帯割合はいずれの地域も約 60% と低い電化率である。特に、小さな島々において電力が不足しており、深刻なエネルギー貧弱性と経済的な理由から国民の多くが自然状態 (非空調環境) での生活を余儀なくされている。

そこで、生活にともなう内部発熱・発湿による室内環境の悪化を防ぐため、一般にインドネシアの住宅は開口部にルーバーを設置し、外部風圧を利用した常時換気 (通気によるパッシブ・クーリング) により室内温湿度を維持している。しかし、インドネシアの建築基準には、断熱・遮熱や開口面積等の熱環境要因に関する規定がなく、通気効果は自然の成り行きに任せたもので、パッシブ・クーリングを理論的・効果的に計画しているとは言い難い。本研究の目的は、熱帯気候に属するインドネシアの住宅において自然換気が室内熱環境へ及ぼす影響を明らかにし、設計に活かせる建築熱性能基準を示すことである。

なお、インドネシアは鉱山資源、エネルギー資源、植物資源が豊富であり、これから人口ボーナス期のピークに入ることから経済成長が見込まれており、室内空調等の生活環境の向上によりエネルギー需要が急増すると予想される。近い将来に生活由来のエネルギー消費量の増加が確実なことから、建築の省エネルギー化を目標として、パッシブ&アクティブ・クーリング等の環境設計に対応した建築熱性能基準を策定する必要がある。

本研究では、インドネシアの住宅を対象として、自然換気が室内熱環境へ及ぼす影響とその環境要因について検討した。まず、現地の建物調査と居住者へのアンケート調査を実施し、一般的な生活環境、および建物と熱的快適性に関する居住者意識を把握した。次に、通気量のパラメータとなる開口部の流量係数と風圧係数を実建物での実験と CFD により推定した。また、それらの係数を使用して、屋外風から室内の通気経路と通気量を解析する Network Air Flow モデルを開発し、建築熱環境解析ソフトと連成することで自然換気を考慮した室内温湿度の非定常解析法を確立した。さら

に、インドネシアの実住宅を対象に、計算値と測定値を比較して数値シミュレーションの高い精度を検証し、各地域におけるパラメータ感度解析により外壁・屋根の断熱・遮熱や開口面積が室内温湿度や空調負荷に及ぼす影響について明らかにした。

本論文は5章より構成される。第1章では、研究背景、研究目的、論文構成について述べた。

第2章では、インドネシア・アチェ州に建設された間取りと開口面積が異なる2タイプの戸建住宅115棟を対象に、現地において居住者250名へ温熱快適性や気流感に関するアンケート調査を実施した。対象住宅はインドネシアの建築基準を満たす一般的な仕様で、断熱施工のない低価格の漆喰レンガ構造である。住宅タイプ1は、床面積33.0m²、床面積に対する窓開口率16.5%（外壁面積に対する開口率7.4%）で、民間企業によって100棟以上が建設されている。住宅タイプ2は、床面積39.8m²、床面積に対する窓開口率9.1%（外壁面積に対する開口率5.6%）で、2004年12月にインドネシアで発生した地震・津波災害の後に、国際的社会課題に取り組む非政府組織NGOによって10万棟以上が建設された復興住宅である。温冷感指標にASHRAE Scaleを用いたアンケート結果は、住宅タイプ1は「熱的中立41%」、住宅タイプ2は「暑い46%」がそれぞれ最多申告値となった。一方、気流感の最多申告値は、住宅タイプ1は「丁度よい41%」、住宅タイプ2は「静止31%」となった。通気量が温冷感に大きく影響することが推測され、建築基準に準拠した開口設置では、必ずしも居住者の温熱快適性を満足できないことが示唆された。

第3章では、自然換気が室内熱環境へ及ぼす影響について解析するため、外気の風向・風速や建物内外の温度差に応じて室内の通気経路と通気量を予測するNetwork Air Flowモデル(NAF)を開発し、建築熱環境解析ソフト(THERB for HAM)と連成することで自然換気を考慮した室内温湿度の非定常解析法を確立した。また、隣棟の影響を受ける実建物でのフィールド実験と数値実験により、NAFの計算に必要な流量係数(ルーバー等の開口形状により異なる値)と風圧係数(屋外風の時間変動により変化する値)を推定した。フィールド実験には開口前後の気流速度・微差圧・温度測定、および二酸化炭素濃度を一定に保つように室内へのCO₂放出量をリアルタイムに調整するトレーサーガス一定濃度法を活用し、数値実験には数値流体力学CFDを使用した。測定値と計算値は、流量係数と風圧係数のいずれもよく一致しており推定方法の妥当性が検証された。なお、風圧係数データ管理プログラム(国立研究開発法人建築研究所Cp-X)の結果とも照合し、大略であればCp-Xを使用して簡易的に風圧係数を算出可能なことを確認した。さらに、THERB for HAMにNAF機能を追加した“THERB with NAF”を開発し、フィールド実験結果と比較して本ツールの高い計算精度を実証した。

第4章では、先ずインドネシアの典型的なルーバー開口付き住宅(2008年までに10万棟以上建設)を対象に、ロークスマウエ市において室内温湿度の実測と計算を行った。THERB with NAF(CFDで推定した流量係数と風圧係数を入力)による計算値は測定値をよく捕捉しており、インドネシアの気象条件化でも一連の解析法により実現象を精度よく再現できることを検証した。次に、インドネシアの13地域において、自然換気による室内熱環境への影響、および屋根・天井・外壁の断熱補強による通気の向上効果について検討した。その結果、①断熱施工のない既存住宅ではルーバー開口面積を大きく変更しても室内温湿度はほとんど変化しないこと、②建物外被の断熱性能が向上した場合はルーバー開口面積(無断熱面積)を大きくすると却って室内温度が上昇すること、③断熱と通気の相乗効果により自然室温2°C以上の低下、および年間冷房負荷23%以上(13地域の平均値)の削減が可能なこと、④パッシブ&アクティブ・クーリング効果を向上するには断熱性能に応じてルーバー開口面積を設定する必要があること、などを明らかにした。

第5章では、各章で得られた知見を要約して総括とし、今後の課題について整理した。