

2021 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境
研究期間：2021 年度
課題番号：21212010
研究課題名（和文）：サーマルマネキンを用いた変動気流曝露時の人体局所気流と対流熱伝達率の測定
研究課題名（英文）：Measurement of Air Velocity and Convective Heat Transfer Coefficient for Local Body Part exposed to fluctuating flow using Thermal Manikin
研究代表者：桃井良尚
交付決定額（当該年度）：500,000 円

1. 研究の目的

人体表面の対流熱伝達率（以降、CHTC）については、古くから数多くの研究が行われている。近年数値サーマルマネキンによる CHTC の予測研究が見られ、村上・加藤・曾らは、対流・放射連成シミュレーションによる数値サーマルマネキンに関する研究を行っているが、形状が人体を完全に模擬しているとは言い難い。伊藤らは、数値解析用バーチャルマネキンを作成し、水平及び鉛直方向気流条件下での人体表面各部位の CHTC データベースを作成しているが、低風速条件下での CHTC データが十分でない。一方、気流感に関しては、窪田が気流の弁別閾や因子分析などの研究を行っている。変動風については梅宮らや飯野らが、局所気流の感知については本間らが研究を行っている。水谷らはサーマルマネキンの表面温度から部位別対熱量の算出している。しかし、いずれも周辺物理環境と人間の主観評価とを結びつけるに至っていない。本研究では、気流感が主に皮膚表面風速、皮膚表面の圧力及び対流熱伝達量によって生じると仮定し、サーマルマネキン実験及び CFD 解析によって得られるこれら「物理量」と被験者実験によって得られる人体各部位別の「気流感」との関係性を明らかにすることを最終目的としている。本研究では、まず第一段階として、定常気流曝露時の人体表面の風圧係数と対流熱伝達率をサーマルマネキンを用いて測定を行ない、人体表面での各物理量分布を把握することを目的とする。

2. 研究の方法

研究代表者らは、これまでサーマルマネキンの 3D 形状データから 3D プリンタを用いて人体形状を再現した風圧測定用人体模型を作成し、建物の風圧係数測定と同様の方法で人体模型表面に風圧測定口を設け、微差圧計（Validyne 製 DP45）を用いて人体各部位の風圧測定を行った。本研究では、東京工芸大学風工学研究センターのアクティブ制御マルチファン人工気候室にサーマルマネキンを椅座位で設置し、サーマルマネキンを対象に人体表面の CHTC 及び静圧の測定を行った。CHTC 測定では、サーマルマネキン表面に熱流センサ（江藤電機製 S11A）と輻射センサ（CAPTEC 製 RF-30）を設置し、各部位で熱流と表面温度を順次貼り替えながら測定した。風圧測定では、CHTC 測定と同じ測定点において風圧板を設置し微差圧計を用いてサーマルマネキン表面の静圧を測定した。サーマルマネキンの表面は 34℃で一定制御を行い、サーマルマネキンの正面に設置された 48 台の DC ファンをインバーター制御することにより一定様風速の気流を発生させた。室温は 26℃とし、風速は 0, 1.0, 2.0m/s の 3 条件とした。

3. 研究成果

本研究では、定常気流曝露時の人体皮膚表面の CHTC と静圧について測定実験を行った。本研究での測定結果と既往研究実験式との比較を行った結果、CHTC の局所測定値は石垣らの実験式に近く、CHTC の部位平均値は市原らの実験式に近くなった。特に、人体に気流が直接衝突する風上側では分布が大きく局所値と部位平均値で大きな差異が生じることがわかった。本研究と既往研究では、マネキン形状や測定点に若干の差異はあるものの、CHTC を局所で測定した値から算出するか、部位平均として算出するかという算出手法の違いが大きく影響したと考えられる。また実験結果と CFD 解析結果の比較については、両者は全体的な傾向は概ね一致しており、特に高風速条件ではよく一致する傾向が見られた。風圧係数については、風速 1m/s・発熱の条件において、風速 2m/s・発熱条件や非発熱条件に比べ、Neck, Back, B-Pelvis, Shoulder といった部位で値が負側にシフトする結果となった。これは、低風速条件では前方気流よりも人体発熱による熱上昇流が強いいため、熱上昇流の影響が顕著に現れたものと考えられる。

今後は、人体周辺気流の CFD 解析と PIV 測定を行うとともに被験者実験を行い、今回測定を行なった物理量との関係を明らかにしていく予定である。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

1. 水谷虹作, 桃井良尚, 宮本征一, 義江龍一郎: 定常気流曝露時における人体各部位の対流熱伝達率に関する研究, 第45回人間・生活環境系シンポジウム報告集, pp.19-22, 2021.12
2. 水谷虹作, 桃井良尚, 宮本征一, 義江龍一郎: CFD 解析による定常気流曝露時における人体各部位の対流熱伝達率の予測, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 A-21, 2022.3

[図書] (計 0 件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

桃井良尚 (福井大学・准教授)

(2) 研究分担者

1. 義江龍一郎 (東京工芸大学大学・教授)
2. 宮本征一 (摂南大学・教授)
3. 水谷虹作 (福井大学・大学院生)

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme

Measurement of Air Velocity and Convective Heat Transfer Coefficient for Local Body Part exposed to fluctuating flow using Thermal Manikin

Representative Researcher (Affiliation)

Yoshihisa MOMOI (University of Fukui)

Summary · Figures

Airflow is an important indoor environmental factor that affects thermal comfort. However, the human perception mechanism for airflow has not been clarified. Therefore, we assume that the airflow sensation is affected by the air velocity, pressure, and convection heat transfer on the skin surface. The purpose of this study is to clarify how the psychological quantity for the airflow are affected by those physical quantities. In this study, as a first step, detailed experiments of the wind pressure coefficient and convective heat transfer coefficient (CHTC) on the surface of the human body with the thermal manikin were conducted when exposed to steady airflow.

A thermal manikin (TM) was installed in the sitting position in the artificial climate chamber with the active control multi-fan at Wind Engineering Research Center of Tokyo Polytechnic University shown in Fig.1. The TM controlled the surface temperature constantly, and generated an airflow with a constant uniform air velocity by controlling the 48 DC fans installed in front of the TM with an inverter, and conducted the experiments under the experimental conditions shown in Table 1. Fig.2 shows the measurement points on the TM surface. A radiant heat flux sensor and two heat flux sensors were installed at each measurement point on the TM, and the heat flux and surface temperature of each part were sequentially replaced and measured. Static pressure taps were installed at the same measurement point as in the convection heat transfer coefficient measurement, and the wind pressure was measured.

As a result, the following findings were obtained.

- It was found that the difference between the body part averaged value and the local value is large at the body part where the airflow on the windward side directly collides with the surface of the human body (Fig.3).
- The variation in CHTC becomes large in parts with complicated shapes such as Hand, Shoulder, Leg, and Foot (Fig.3).
- The CHTC of the whole body calculated in this study are compared with the values in the previous studies. Both local and body part average CHTC values were obtained that were almost the same as in the previous studies (Fig.4).
- The CHTC values of the experiment and CFD simulation were generally in good agreement (Fig.4).
- In body parts such as Neck, Back, B-Pelvis, and Shoulder, there is a tendency for a large shift to the negative pressure side under 1.0m/s heating condition. This is considered to be the effect of the thermal plume due to the heat generated by the human body (Fig.5).

In the future, CFD analysis and PIV measurement of the airflow around the human body will be performed. The correlations of each physical quantity will be discussed. In addition, we plan to conduct subject experiments and clarify the relationship with the physical quantities measured this time.

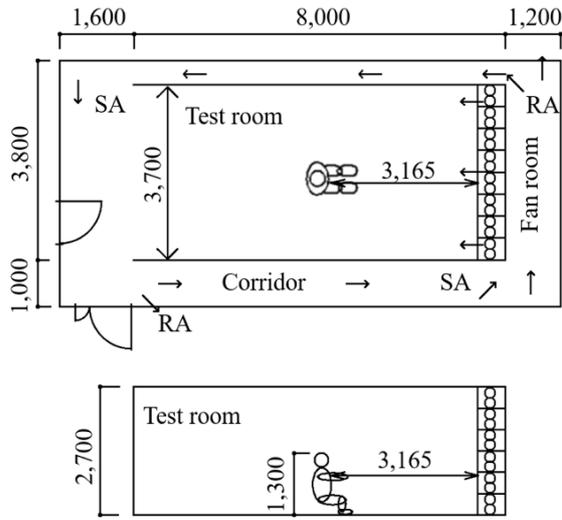


Fig.1 Schematic diagram of test room

Air flow Direction	Forward flow
Air flow Velocity	$U=0, 1.0, 2.0$ m/s
TM surface	34.0°C
Test room	26.0°C

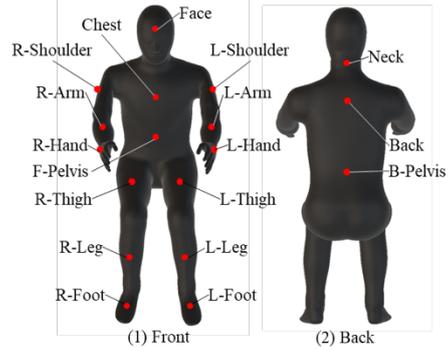


Fig.2 TM shape and measurement point

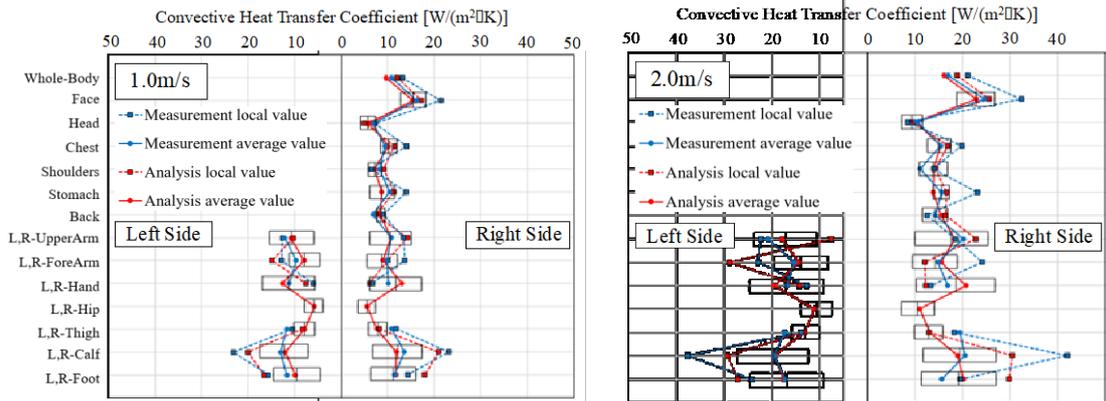


Fig.3 Comparison between measurement and CFD simulation for CHTC at each body part

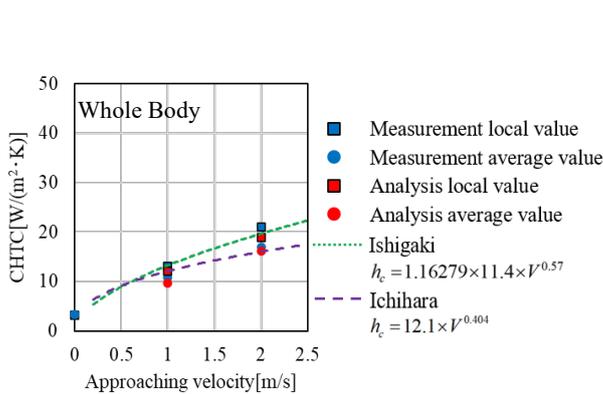


Fig.4 CHTC with approaching velocity of whole body

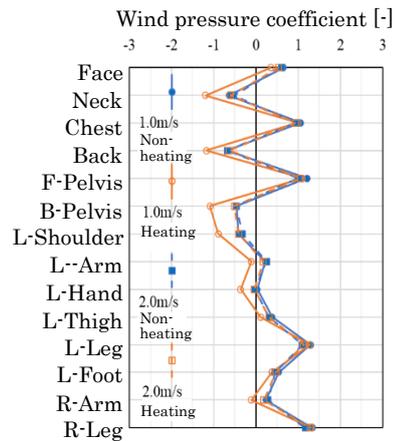


Fig.5 Wind pressure coefficient of TM surface