

暑熱環境下における建設作業員の体調管理のための 心拍数指標に関する基礎的研究

山田 昇 吾 赤川 宏 幸 笠井 泰 彰
飯塚 浩 二 森川 直 洋
(建築本部本部長室)

Basic Research on Indicator of Heart Rate for Managing Physical Conditions of Construction Workers in Hot Environment

Shogo Yamada Hiroyuki Akagawa Yasuaki Kasai
Koji Iizuka Naohiro Morikawa

Abstract

The dependencies of the heart rate of construction workers on WBGT, METs, age, and types of work were evaluated. The heart rates of workers and WBGT data were acquired at construction sites for three years by developing and operating a physical condition management system. The results are compared with the indicators of the heart rates of workers in hot environments recommended by the ISO. Weak age-dependencies of the heart rates of construction workers were also found. This result tended to be different from the indicators of the heart rate according to the ISO. As future developments, it will be important to develop general-purpose indicators and adjust them according to the circumstances specific to the construction site.

概 要

暑熱環境下における建設作業現場での熱中症災害のリスク低減を目指し、筆者らはこれまで、体調管理システムの開発、運用を通して、建設作業員の心拍数、及び作業環境のWBGTデータの取得を行ってきた。本報では、これまでに蓄積されたデータを基に、心拍数とWBGT、活動強度 (METs)、年齢、職種との関係、及びISOで示されている暑熱環境下における心拍数の指標との比較を行った。その結果、ISOが示す暑熱環境下での作業中止を促す心拍数の指標は高齢者ほど閾値が低くなるのに対して、実際の建設現場の作業員の心拍数は年齢に大きく依存しないことがわかった。つまり、ISOの指標を用いて熱中症の危険性を判定すると、高齢者では安全側に、若年層では危険側となり、実態とずれが生じる可能性を示唆した。今後の展開として、汎用的な指標の整備と共に、建設現場特有の個別事情に即したチューニングが重要となる。

1. はじめに

近年、職場における熱中症災害は増加傾向となっており、直近3か年における死傷者数は過去10年間の47%を占めている¹⁾ (Fig. 1)。特にFig. 2に示す通り、業種別の死傷者数の中で建設業の占める割合が最も多く、熱中症災害のリスク低減が急務の課題となっている。こうした中、筆者らは建設作業員向け体調管理システム「Envital®」を開発し、その運用を進めてきた²⁾。本システムは作業員の心拍数と、作業環境における熱環境の指標であるWBGT(湿球黒球温度)とをリアルタイムにモニタリングし、この2つの情報から、熱中症発症の危険度を総合的に判断することで、独自のアラートを発報する。技術の詳細については赤川ら²⁾を参照されたい。

本システムはアラート発報のアルゴリズムの一部において、国際標準化機構ISO³⁾や、米国政府労働衛生専門家会議ACGIH⁴⁾が示す、暑熱環境下における熱中症のリスクに関する心拍数の指標を応用している。ISOやACGIH

は、1分間の心拍数の最高値、及び持続心拍数について、年齢別に暑熱環境下で許容される指標を示しており、それらの指標はTable 1のようにまとめられる。指針では、暑熱環境下で、作業員の心拍数がこれら指標を超えた場

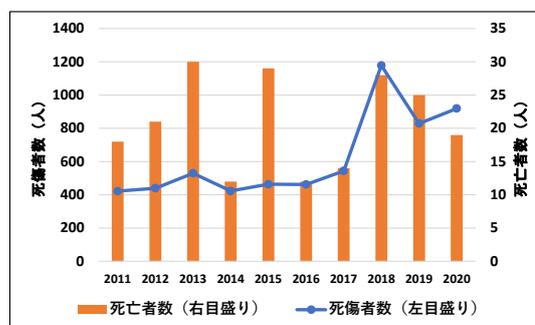


Fig. 1 職場における熱中症による死傷者数の推移¹⁾
Yearly Variations of the Number of Casualties
due to Heat Disorder in the Workplace

合、直ちに作業を中止するよう勧告している。

本報では、作業現場における熱中症災害低減を目的として、これまでに蓄積した心拍数データについて、作業現場のWBGT、作業員の身体の活動強度 (METs)、年齢、職種との関係について分析するとともに、ISOの指標との比較も行うことで、建設現場における心拍数の実情をみる。

2. 計測データ概要

2.1 心拍数, 及びWBGT

作業員の心拍数と作業現場のWBGTはEnvitalによって計測している。心拍数は作業員各人がリストバンド型心拍センサを手首に着用し、WBGTは各作業場所に通信型のWBGT計を設置し、計測している。なお、リストバンド型心拍センサでは脈拍数が計測されるが、本研究ではそれを心拍数としている。また、心拍数は20秒、WBGTは1分間隔でデータを取得しており、建設作業に従事している時間 (休憩時間を含む) のみに対して行っている。

本報では、以下特に断りのない限り2019年7月～9月の期間に計測したデータを用いて分析を進める。Table 2に分析に用いた現場、及び作業員の人数について示す。その他の計測条件などの詳細については赤川ら⁵⁾を参照されたい。

2.2 METs(代謝当量)

Envitalによる心拍数とWBGTの計測とは別に、身体活動の強度と、心拍数、WBGTとの関係を分析するため、Photo 1に示す活動量計を作業員の腰部に装着し、身体活動強度 (METs) を測定した。METsは代謝当量 (Metabolic Equivalents) の略で、運動による消費エネルギーの程度を表す指標である。METsは運動時の消費エネルギーを安静時の消費エネルギーで除して定義される無次元量 (比) であり、安静時における酸素摂取量3.5ml/kg/分を1として、ある動作をするときにその何倍のエネルギーを消費するかを示している。「METsを計測する」などの言い方で用いられるが、3METs, 4METsのようにエネルギー消費の程度を表す単位量としても用いられる。因みに、METs値3はウォーキング時、4はサイクリング時に相当する。本報では2019年に作業員16名に対して測定したMETsの値を用いる。

3. 分析結果

3.1 建設作業員の心拍数頻度分布

建設作業員の心拍数の実態を把握するために月別、年齢別、職種別に心拍数の出現頻度を調べた。

3.1.1 月別分布 Fig. 3に、計測期間中の全拠点を合わせた月別の心拍数頻度分布を示す。どの月も心拍数の平均値は94.8bpm～95.4bpm(毎分の心拍数, beats per minute)の範囲にあり、月による分布の差異は殆ど見られ

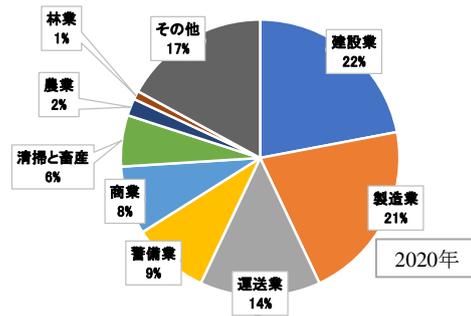


Fig. 2 熱中症による業種別死傷者数の割合¹⁾
Percentage of Casualties by Industry

Table 1 暑熱環境下での作業制限のための心拍数指標
Indicator of Heart Rate for Avoidance of Heat Related Illness

項目	心拍数の指標 (bpm)	出典
1分間の最高心拍数	185-0.65 × 年齢	ISO9886
持続心拍数	180-年齢 を数分間 超過する状態が継続	ACGIH ISO9886

Table 2 分析に用いたデータ数
Number of Data Used in the Analysis

現場	都道府県	データ取得者数
A	東京	123
B	東京	19
C	千葉	2
D	大阪	37
E	福井	21
F	兵庫	23
G	沖縄	84



Photo 1 活動量計
Activity Meter

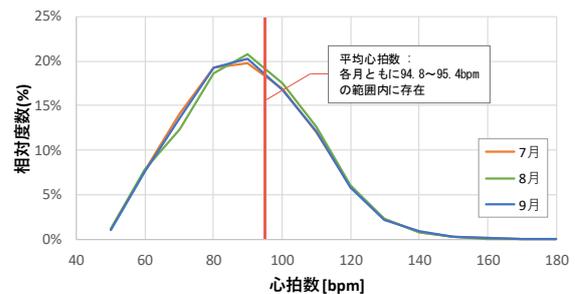


Fig. 3 月別の心拍数分布
Monthly Heart Rate Distribution

なかった。

3.1.2 年齢別分布 Fig. 4に年齢別の心拍数分布を、Table 3に分析に使用したデータの年齢別の人数を示す。平均心拍数が、20歳代は96.7bpm、30歳代は96.4bpm、40歳代は95.4bpm、50歳代は94.5bpm、60歳代は92.2bpmと、年齢が上がるにつれて減少傾向にある。一般的に、人間の最大心拍数は「220-年齢」という式で表され、健康運動分野においても幅広く用いられている。この最大心拍数の影響が年齢による平均心拍数の減少傾向の要因の一つとして考えられる。

3.1.3 職種別分布 Fig. 5に職種別の心拍数頻度分布を示す。Table 4に示すように、5つの職種について比較した。その結果、鳶工が高い心拍数になる割合が最も多いことが分かった。この要因として、今回調査した鳶工の平均年齢が34.8歳と、最も低いことが挙げられる。また、屋外かつ移動の多い職種のため、活動強度、及び作業環境のWBGTのいずれも高いものと推察できる。

また、年齢を考慮したとき、土工は配管工より10歳以上平均年齢が高いにも拘わらず、ピーク値における心拍数が10bpm高くなっている。これも屋外の日向など作業環境の暑さや、運動量の多い作業による活動強度が心拍数に影響を与えた結果と考えられる。

さらに、警備の心拍数分布をみると、ピーク値における相対度数が35%と他の職種と比べかなり高く、特徴的な頻度分布を示した。この一因として、警備は激しい運動が少ない分、心拍数が高い値になることは少ないが、暑熱環境下において立位の状態を長時間持続することにより、90bpm前後と安静時心拍数（一般的には60~70bpm）より高めめの値で日中の多くを過ごすという、警備特有の職種事情が考えられる。

3.2 心拍数と活動強度との関係

一般に心拍数は作業などで体を動かすと上昇する。そのため暑さと心拍数の変動との関係に着目するとき、実際の現場では活動強度による心拍数の変動を無視できず、純粋な心拍数とWBGTとの関係のみを他から分離して分析することは難しい。そこで、本節では、まず心拍数とMETsとの関係を整理することにした。作業中のMETsを測定するために、作業員には活動量計を腰に装着してもらった。

3.2.1 心拍数とMETsとの関係 Fig. 6に作業員16名のデータ全てについての、1分毎の心拍数とMETsとの関係を示す。相関係数の2乗（決定係数）は0.3と高くないものの、METsの値が増すと、心拍数も増加する傾向は認められる。

3.2.2 WBGT別に見た心拍数とMETsとの関係 3名の作業員を対象にMETsの計測期間中において、1日の最高WBGTが最も高い日、及び最も低い日の心拍数とMETsとの関係を比較する（Fig. 7）。その結果、職種に関係なく、各作業員ともに最高WBGTが高い日の方が低い日より心拍数が高い傾向にあった。また、最高WBGTが高い日で

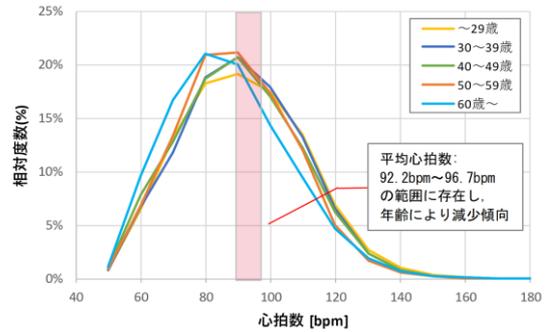


Fig. 4 年齢別の心拍数分布
Heart Rate Distribution by Age

Table 3 年齢別心拍数分布に用いたデータ人数
Number of Data Used
for Heart Rate Distribution by Age

年代	~29歳	30~39歳	40~49歳	50~59歳	60歳~
データ使用人数	63	69	65	44	26
備考	19歳4人含む				70歳代4人含む

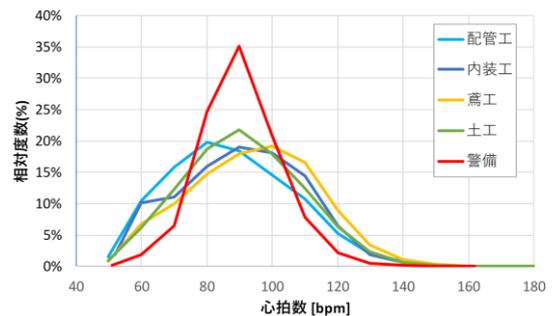


Fig. 5 職種別の心拍数分布
Heart Rate Distribution by Occupation

Table 4 心拍数分布に用いた職種別平均年齢と人数
Average Age and Number of Workers by Occupation
Used for Heart Rate Distribution

職種	鳶工	土工	配管工	警備	内装工
平均年齢 (歳)	34.8	52.6	40	55.7	36.1
人数 (人)	32	16	25	8	10

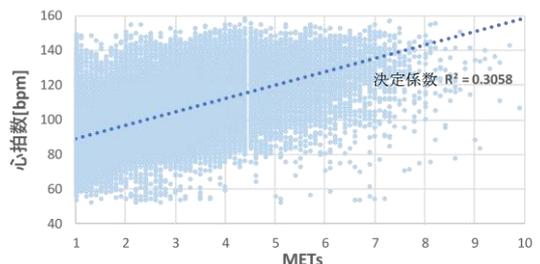


Fig. 6 心拍数とMETsの関係（作業員16名分）
Relationships between Heart Rate and METs

は、METsが低い値の時でも心拍数は高くなる傾向にあり、METsの値が高くなるにつれて最高WBGTが高い日と低い日との差異が減少する傾向にあった。これはつまり、WBGTが高いとMETsが低い時でも心拍数が下がり切らないこと、及びMETsの高い作業をする場合、心拍数の上昇へのWBGTの影響が減少することを示唆している。

3.3 心拍数とWBGTとの関係

建設現場における活動強度は、Table 5に示すように、METs値によって作業内容ごとに安静、低代謝率、中程度代謝率、高代謝率、極高代謝率の5つの代謝率区分に分け

Table 5 METsによる建設作業の代謝率区分⁶⁾
Metabolic Rate Classification of Construction Work by METs

代謝率区分	METs	作業内容例
安静	METs ≤ 1.12	安静時
低代謝率	1.12 < METs ≤ 2.23	組立て、軽い材料の仕分け、運転
中程度代謝率	2.23 < METs ≤ 3.44	釘打ち、しっくい塗り、軽量手押し車移動
高代謝率	3.44 < METs ≤ 4.47	シャベル作業、コンクリートブロック積み
極高代謝率	4.47 < METs	激しいシャベル使用、階段を上る、走る

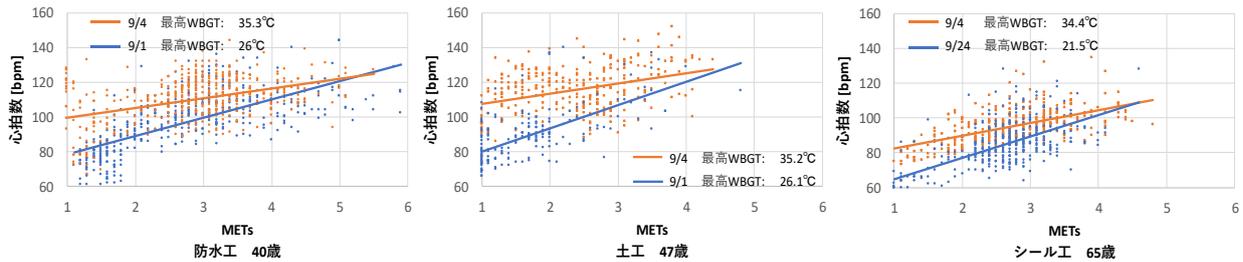


Fig. 7 日別にみた各作業員の心拍数とMETsの関係
Relationships between Heart Rate and METs for Three Selected Workers for Days of the Maximum and the Minimum WBGT

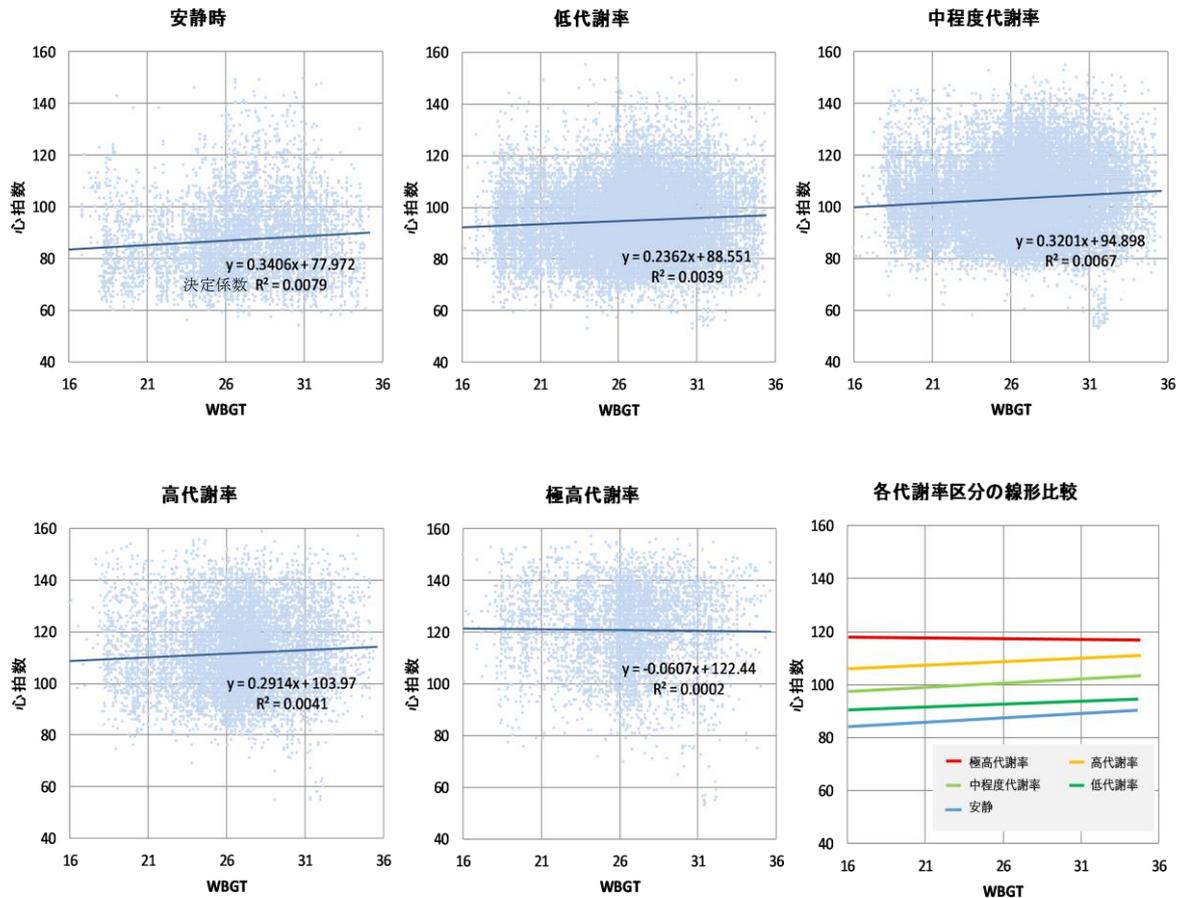


Fig. 8 代謝率区分別の心拍数とWBGTとの関係
Relationships between Heart Rate and WBGT by Metabolic Rate Classes

られる。心拍数に対する活動強度の影響を除くべく、作業員の活動状態を3.2節で計測したMETs値で区分した状態で、心拍数とWBGTとの関係を分析する。

Fig. 8に代謝率区分ごとに見た心拍数とWBGTとの関係を示す。極高代謝率を除く残りの全区分において、回帰直線の勾配が正であり、高WBGT側でばらつきが大きくなるものの、全体としてはWBGTが上がると心拍数も上がる傾向を示している。極高代謝率の区分では、こうした傾向が示されていないが、これはFig. 7で示したように、METsの高い状態で心拍数の上昇へのWBGTの影響が減少することが要因と考えられる。また、他の要因として、極高代謝率区分でのデータの母数の少なさと、活動量計による計測方法が挙げられる。実験で使用した活動量計は、身体の動きの加速度を計測し、それを活動度に変換する仕組みである。そのため、強い衝撃があるとMETs値が大きく出る傾向にあり、極高代謝区分として分類されるMETs値には、そうした衝撃の影響が含まれる可能性があると考えられる。

3.4 ISO指標と比較した建設現場の心拍数の実情

Table 1で示したように、ISO9886は暑熱環境下における作業中止の心拍数の指標を定めており、Envitalではこの指標を応用して独自の段階的なアラート基準（注意喚起）を設けている。本節では、2017年から2019年にかけて実際の作業現場で取得した全作業員の心拍数について、ISOの指標との比較を行う。Fig. 9に、年齢層別の、全作業員の心拍数の平均値、平均値+1SD(標準偏差)、平均値+2SD、平均値+3SD、及びISOによる1分間の最高心拍数と持続心拍数を示す。ちなみに、データの分布において、平均値+1SDより低い値は全体の84.2%を占め、+2SDでは97.8%、+3SDでは99.9%を占める。使用したデータの詳細をTable 6に示す。データが延べ3日間以上取得できたものを対象とし、2017年は238人、2018年は185人、2019年は309人で合計732人分のデータを使用した。

ISOの指標は、1分間の最高心拍数、持続心拍数ともに年齢が上がるにつれて値が下がるように傾斜がついている。これは、一般に年齢が上がると心拍数が上がりにくくなるという知見に基づくものである。持続心拍数は、数分間にわたってその心拍数を超過する状態が続くのは好ましくないという閾値であるため、1分間の最高心拍数に比べ指標の数値が低く、より年齢による影響を受ける

閾値となっている。

実際の建設現場における心拍数の年齢層別平均値を見ると、年齢の上昇に対して減少傾向になっているものの、年齢による心拍数の減少の割合はISOの指標と比べてかなり小さい。これは、一般の高齢者に比べ、建設現場で働く高齢者の方が体を動かす作業に慣れていると思われる。年齢による心拍数の差が現れにくいのが一因と考えられる。一方で若年層に着目すると、ISOの指標は20代では心拍数の平均値+3SDよりも高いことが分かる。

現場での検証においては、若年層で閾値以下でも体調不良を訴えた人がいた事例や、逆に高齢者層で閾値を超えているにもかかわらず、本人の体調に異常がみられなかった事例が散見された。このことを鑑みるに、ISOの指標を用いて熱中症の危険性を判定する場合、高齢者層では安全側に、若年層では危険側になり、実態とずれが生じる可能性がある。特に経験年数の浅い若年層は、自身で体調不良を自覚していながら我慢して作業を続けてしまう可能性もあるため、熱中症の判定にあたっては慎重な判断が必要となる。

以上のように、ISOの指標と実際の作業現場の心拍数の間には年齢による傾斜の考え方について差異が生じていることがわかった。

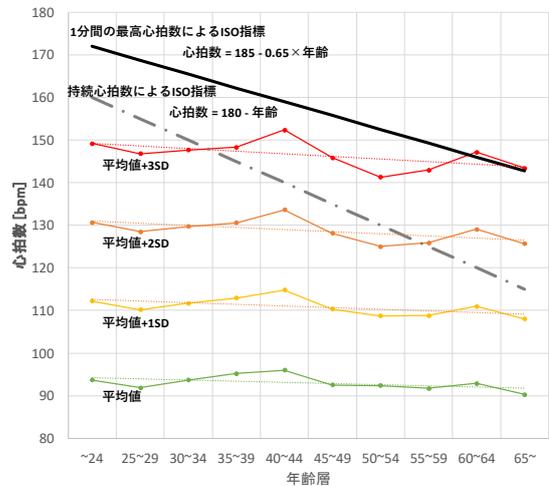


Fig. 9 心拍数の平均値+SDとISO指標との比較 Comparison of Average, and +1 to +3SD Values of Heart Rate with Indicator Recommended by ISO

Table 6 2017～2019年における年齢層別分析使用データ数（作業員数） Number of Data Used for Analysis by Age Group (Number of Workers) for the Period from 2017 to 2019

年齢	～24	25～29	30～34	35～39	40～44	45～49	50～54	55～59	60～64	65～	合計	
取得年度	2017	17	34	37	26	29	32	31	16	10	6	238
	2018	21	29	17	25	18	25	18	13	9	10	185
	2019	30	48	39	37	36	36	28	23	19	13	309
合計	68	111	93	88	83	93	77	52	38	29	732	

4. まとめ

本報では、暑熱環境下における建設作業現場での熱中症災害のリスク低減を目指し、筆者らがこれまで体調管理システムの開発、運用をしてきた中で取得した建設作業員の心拍数、作業環境のWBGT、及びMETsの各データを用いて、それらの関係について分析を行った。さらに、ISOの暑熱環境下における熱中症のリスクに関する、1分間の最高心拍数、持続心拍数の指標と実際の建設作業現場で働く作業員の年齢層別平均心拍数との比較を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) 職種別心拍数分布では、警備業において、ピーク値における相対度数が35%を占めていた。これは、他業種と比べて非常に大きく、分布がピーク値辺りに集中している。この特徴の一因として、警備は激しい運動が少ない分、心拍数が高い値になることは少ないが、暑熱環境下で立位の状態を長時間持続することにより、90bpm前後と安静時心拍数より高めの値で日中の多くを過ごすためと考えられる。
- 2) 心拍数とMETsとの関係をWBGT別に見たところ、職種に関係なく、各作業員ともに最高WBGTが高い日の方が、低い日より、心拍数が高い傾向にあった。また、最高WBGTが高い日ではMETsが低い時でも心拍数が高い傾向にあり、WBGTが高いと安静時でも心拍数が下がり切らないことが示唆された。
- 3) 代謝率区分別に心拍数とWBGTとの関係を見たところ、極高代謝率を除く全区分でWBGT値が上がると心拍数も上がる傾向を示した。極高代謝率で同様の傾向が見られなかった要因の一つとして、METsの高い状態で心拍数の上昇へのWBGTの影響が減少するからであると考えられる。
- 4) ISOが示す暑熱環境下での作業中止を促す心拍数の指標は高齢者ほど閾値が低くなるのに対して、実際

の建設現場の作業員の心拍数は年齢に大きく依存しないことがわかった。つまり、ISOの指標を用いて熱中症の危険性を判定すると、高齢者では安全側に、若年層では危険側となり、実態とずれが生じる可能性があることが分かった。

今後の展開として、汎用的な指標の整備と共に、経験の浅い若年層が我慢してしまう例や、暑熱環境に順化していない作業員のケア、心拍数分布の特徴の異なる職種への配慮など、建設現場特有の個別事情に即したチューニングが重要となる。

謝辞

(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 齊藤宏之 上席研究員、東京福祉大学 澤田晋一教授には、WBGTと生体情報の関係性についてご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省，“令和2年職場における熱中症による死傷災害の発生状況（確定値）”，2021-06-04，<https://www.mhlw.go.jp/content/11200000/000746739.pdf>，（閲覧日 2021-06-04）
- 2) 赤川，他：作業員向け体調管理システム「Envital®」の開発，大林組技術研究所報，No. 84，2020.12
- 3) ISO9886：Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements, pp. 18-20, 2004
- 4) ACGIH：Heat Stress and Strain TLV, p. 222, 2012
- 5) 赤川，他：暑熱環境下における建設作業員の心拍数の特徴に関する研究，大林組技術研究所報，No. 84，2020.12
- 6) JIS Z8504：人間工学－WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業員の熱ストレスの評価－暑熱環境, 1999