



# アスファルト舗装工事における 熱中症発生ゼロを目指して

—中温化混合物の活用や空調服の着用による熱中症予防への取り組み—

前田道路(株) 技術研究所

//

前田建設工業(株) ICI 総合センター

平野 麻衣子

高橋 知

齋藤 知弥

## 1 はじめに

近年の気候温暖化に伴い、夏季の労働環境はますます過酷なものとなっている。厚生労働省によると、建設業は労働災害としての熱中症発生数が多く、過去5年以上にわたり死亡災害の最多業種となっている<sup>1)</sup>。特に、アスファルト舗装工事においては、高温の加熱アスファルト混合物（以下、合材）を舗設するため、作業員の熱中症リスクが高いと推測される。さらに今後、作業員の高齢化が進む中、熱中症対策は必須である。

低炭素アスファルト混合物として注目されている中温化混合物は、舗設時の温度を通常の合材より10～30℃低減できる。したがって、中温化混合物の適用を拡大することで、アスファルト舗装工事における作業員の熱中症予防に寄与する可能性が考えられる。

また、建設業では熱中症対策としてファン付き作業服（以下、空調服）を導入する事例が増加しており、当社でも2021年より空調服を導入している。しかしながら、空調服の効果について実環境下で検証した事例は多くない。

そこで筆者らは、合材を試験施工した作業員の心拍数を比較することで、中温化混合物の活用や

空調服着用の有効性を検証した。さらに、当社で発生した熱中症事例から、空調服の着用による効果を評価した。

本論文では、中温化混合物の活用や空調服の着用によるアスファルト舗装工事の熱中症予防への取り組みについて報告する。

## 2 熱中症について

熱中症は、暑熱環境や運動により臓器の温度である深部体温が上昇することで発症する。したがって、深部体温から熱中症リスクを評価できるが、深部体温を直接計測することは困難である。一方で、比較的容易に計測可能な心拍数は深部体温と相関して上昇するため、ISO等では心拍数を指標として熱中症リスクを評価するガイドラインを提示している。そこで本論文では、心拍数を指標として作業員の熱中症リスクを評価した。

## 3 試験施工での検証

### 3-1 検証方法

本検証では、舗設に関与した作業員の心拍数を

比較することで中温化混合物の活用や空調服の着用による熱中症リスクへの影響を評価した。作業員は、ミツフジ(株)が開発したシャツ型のウェアラブルIoTソリューション hamon®を着用して作業を行った。また、空調服は(株)サンエス製を使用した。

なお、本検証はヘルシンキ宣言に則り、作業員に対し説明を行い、同意を得た後に実施した。また、猛暑日の舗装工事となることから、作業量や休憩量に十分配慮した。

### 3-2 解析方法

hamon®では、RR間隔(QRS波から次のQRS波の間隔/心室の興奮周期)を取得している(図-1)。この取得したRR間隔から、式-1を用いて1心拍ごとの瞬時心拍数(beats per minute : bpm)を算出した。

今回の検証で得られた瞬時心拍数はデータ数が膨大であり、人間の安静時の正常値として考えられる心拍数を大幅に下回るような極端な外れ値が含まれていたため、連続する10心拍ごとの中央値を抽出して解析データとした。また、評価対象は合材到着から30分間とし、作業前休憩時(室内)の心拍平均値を基準とした作業中の心拍変化量(bpm)を比較することとした。この心拍変化量(bpm)が小さいほど、熱中症リスクが低いと考えられる。

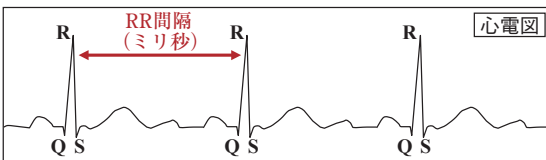


図-1 RR間隔について

$$\text{瞬時心拍数 (bpm)} = 60,000 / \text{RR間隔 (ミリ秒)} \dots\dots \text{(式-1)}$$

### 3-3 試験施工概要

前田道路(株)テクノセンター構内にて、2021年8月に機械施工および人力施工を行った。本検証の解析では、160±5℃の合材を空調服を着用せずに舗設した場合を「160℃」と記し、中温化技術を活用した130±5℃の中温化混合物を空調服を着用せずに舗設した場合を「130℃」と記す。また、160±5℃の合材を空調服を着用して舗設した場

合を「160℃空調服」と記す。

### (1) 機械施工

機械施工条件を表-1に、合材温度や空調服着用の有無および作業員配置等の検証条件を表-2に示す。各作業員は3日間同じ作業内容となるように配置した。また、データ欠損のある作業員fは解析対象外とした。

表-1 機械施工条件

施工日	2021年8月4日、5日、6日
施工規模	(77m <sup>2</sup> × 2回) / 日
施工機械	国産 AF、CR、TR
合材種類	密粒度アスファルト混合物 (13)

[AF: アスファルトフィニッシャー CR: コンバインドローラ  
TR: タイヤローラ]

表-2 検証条件 (機械施工)

施工日	8月4日	8月5日	8月6日	
合材温度(℃)	160 ± 5	130 ± 5	160 ± 5	
空調服	(-)	(-)	(+)	
作業内容	作業員 a	CR/TR	CR/TR	CR/TR
	作業員 b	レーキ	レーキ	レーキ
	作業員 c	スコップ	スコップ	スコップ
	作業員 d	AF	AF	AF
	作業員 e	レーキ	レーキ	レーキ
	作業員 f	スコップ	データなし	スコップ

### (2) 人力施工

人力施工条件を表-3に、合材温度や空調服着用の有無および作業員配置等の検証条件を表-4に示す。機械施工での検証と同様に、各作業員は6日間同じ作業内容となるように配置し、データ欠損のある作業員aおよびeは解析対象外とした。

表-3 人力施工条件

施工日	2021年8月9日、10日、11日、24日、25日、26日
施工規模	(70m <sup>2</sup> ) / 日
人工施工機械	BH、CR、振動プレート
合材種類	密粒度アスファルト混合物 (13)

[BH: バックホウ、CR: コンバインドローラ]

表-4 検証条件 (人力施工)

施工日	8月9日	8月10日	8月11日	8月24日	8月25日	8月26日
合材温度(℃)	160 ± 5	130 ± 5	160 ± 5	160 ± 5	130 ± 5	160 ± 5
空調服	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)
作業内容	作業員 a	BH	BH	BH	BH	データなし
	作業員 b	振動プレート	振動プレート	振動プレート	振動プレート	振動プレート
	作業員 c	スコップ/CR	スコップ/CR	スコップ/CR	スコップ/CR	スコップ/CR
	作業員 d	レーキ	レーキ	レーキ	レーキ	レーキ
	作業員 e	レーキ	レーキ	レーキ	データなし	データなし
	作業員 f	スコップ	スコップ	スコップ	スコップ	スコップ

### 3-4 機械施工での結果

心拍数は暑熱環境にも影響を受けるため、各施工日の暑熱環境を湿球黒球温度 WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) で比較した。合材到着後30分間の WBGT の分布を箱ひげ図として図-2に示す。統計的有意差が認められなかった施工日、すなわち似通った暑熱環境であったと言える施工日は4日(160℃)と5日(130℃)であった。次に、合材到着後30分間の心拍変化量の分布を箱ひげ図として図-3に示す。以下では、中温化混合物の活用と空調服の着用に分けて考察する。

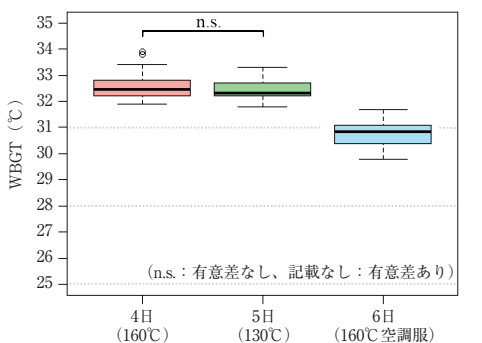


図-2 機械施工日の WBGT

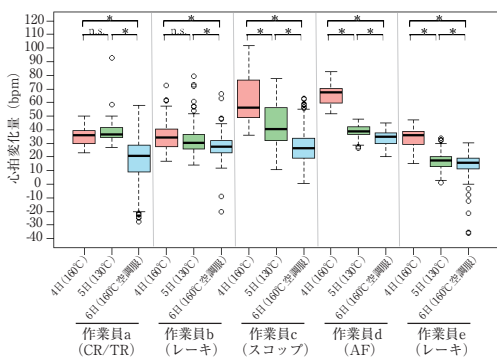


図-3 機械施工日の心拍変化量

#### (1) 中温化混合物の活用による効果

まず、中温化混合物の活用による効果を評価する。図-3より、WBGTが同程度であった4日(160℃)と5日(130℃)の心拍変化量を比較すると、作業員 a と b では有意差は認められなかったが、その他の作業員では5日(130℃)の方が有意に心拍変化量は小さく、作業員 d ではその中央値

が約30bpm小さかった。

次に、5日(130℃)と6日(160℃空調服)で比較すると、6日(160℃空調服)の方が WBGT が有意に低かったこともあり、心拍変化量も小さい結果となった。一方で、作業員 d や e では、統計的には有意差は認められたが、図-4に示すように5日(130℃)の心拍変化量は6日(160℃空調服)の心拍変化量と顕著な差がなく、5日(130℃)の心拍上昇が大きく抑制されている可能性が示された。

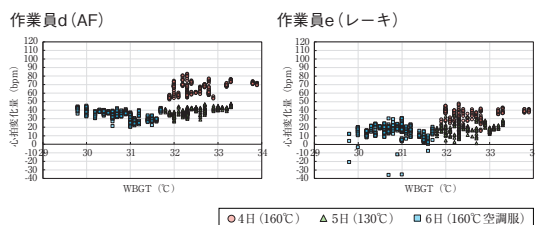


図-4 WBGT と心拍変化量との散布図 (機械施工)

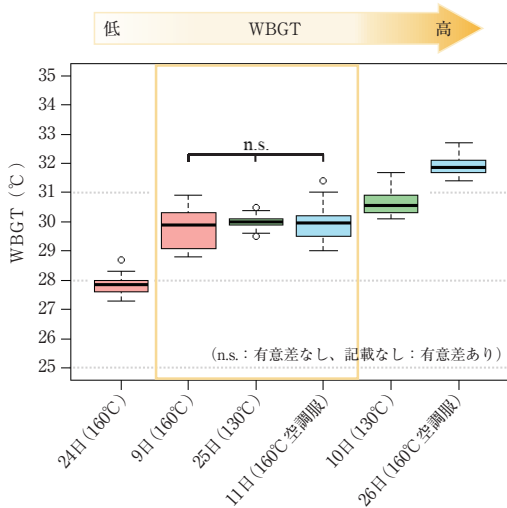
これらの結果から、中温化混合物を活用することで、WBGT 31℃以上の厳しい暑熱環境下で機械施工する作業員の心拍上昇を抑えることができ、熱中症リスクの低減につながる可能性が示されたと言える。

#### (2) 空調服着用による効果

次に、空調服の着用による効果について、4日(160℃)と6日(160℃空調服)を比較する。図-3に示すように、6日(160℃空調服)の方が、すべての作業員で有意に心拍変化量が小さい結果となった。しかしながら、6日(160℃空調服)の WBGT は4日(160℃)の WBGT よりも有意に低かったため(図-2)、この結果が空調服の着用による効果であるとは言い切れない。したがって、今回の検証では、空調服の着用による効果は評価できなかった。

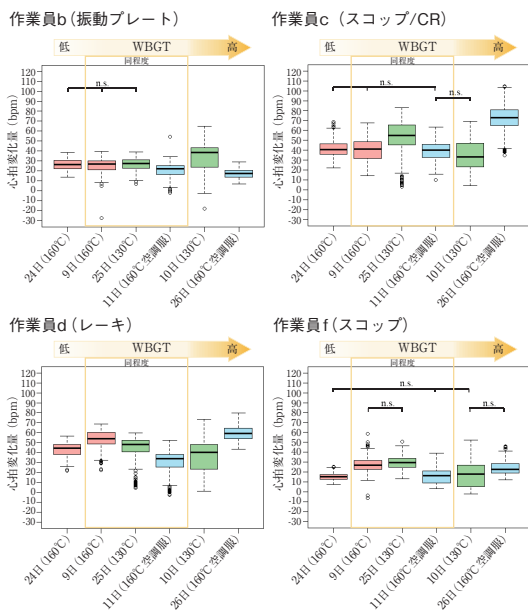
### 3-5 人力施工での結果

人力施工日の WBGT を図-5に示す。似通った暑熱環境であったと言える施工日は9日(160℃)、25日(130℃)、11日(160℃空調服)であった。次に、作業員ごとの心拍変化量を図-6に示す。以下では、中温化混合物の活用と空調服の着用に分けて考察する。



[Kruskal-Wallis検定およびBonferroni法の多重比較、有意水準5%]

図-5 人力施工日のWBGT



(n.s.: 有意差なし, 記載なし: 有意差あり)

[Kruskal-Wallis検定およびBonferroni法の多重比較、有意水準5%]

図-6 人力施工日の心拍変化量

### (1) 中温化混合物の活用による効果

まず、中温化混合物の活用による効果を評価する。図-6より、WBGTが同程度であった9日(160℃)と25日(130℃)の心拍変化量を比較すると、作業員dでは25日(130℃)の方が小さい一方、作業員bとfでは同程度、作業員cでは25日(130℃)の方が大きい結果となり、機械施工日のような心拍上昇抑制効果は得られなかった。

この理由として、機械施工日の方がWBGTが約2℃高く、効果が得られやすかった可能性が考えられる。また、25日(130℃)と9日(160℃)および11日(160℃空調服)のWBGTには統計的有意差は認められなかったが、図-7に示すように、9日(160℃)や11日(160℃空調服)の方がその分布が広がっており、25日(130℃)よりもWBGTが低い時間が多く存在していたことが分かる。これにより、9日(160℃)や11日(160℃空調服)の心拍上昇が抑制された可能性が考えられる。

一方で、25日(130℃)は24日(160℃)よりもWBGTが高いにもかかわらず、作業員bやdでは心拍変化量に顕著な差がなく、中温化混合物の活用により心拍上昇が抑制されている傾向が見られた。さらに、10日(130℃)は24日(160℃)や9日(160℃)よりもWBGTが明らかに高かったが、作業員b以外では心拍変化量が同等以下であった。

これらの結果から、人力施工条件でも、中温化混合物の活用による熱中症リスク低減への寄与が示唆されたと言える。

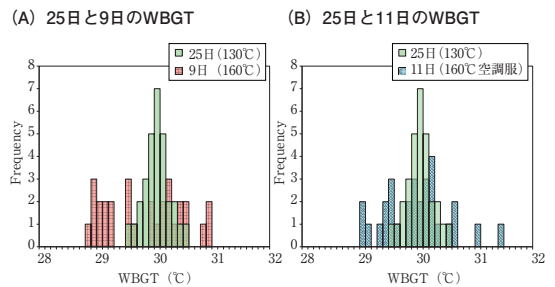


図-7 WBGTのヒストグラム

### (2) 空調服着用による効果

次に、空調服の着用による効果を評価する。図-6より、WBGTが同程度であった9日(160℃)と11日(160℃空調服)の心拍変化量を比較すると、作業員cでは同程度であったが、その他の作業員では11日(160℃空調服)の方が有意に小さかった。さらに、最もWBGTが高かった26日(160℃空調服)においても、心拍変化量は抑えられている傾向が見られた。

また、図-8に示すように、空調服を着用することで、WBGTが約2℃低い暑熱環境下で空調服

を着用せずに舗設した場合と同程度まで心拍上昇が抑制される傾向があると言える。

これらの結果から、空調服を着用することで人力施工中の作業員の熱中症リスク低減につながる可能性が示されたと言える。

(A)24日(160℃)vs11日(160℃空調服) (B)9日(160℃)vs26日(160℃空調服)

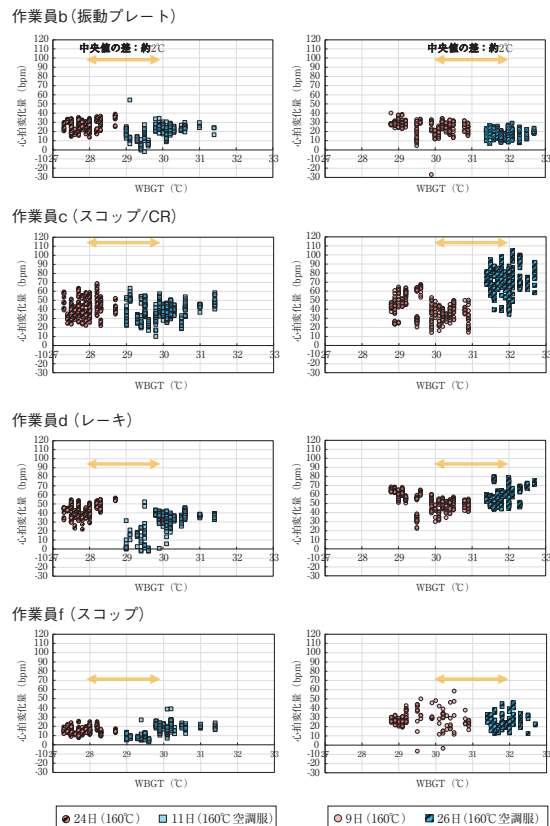


図-8 WBGTと心拍変化量との散布図(人力施工)

## 4 熱中症事例での検証

### 4-1 検証方法

本検証では、2018年から2022年に当社で発生した熱中症事例から、発生状況、発生日のWBGT、救急車要請の有無や自覚症状の重症度への空調服着用による影響について解析した。なお、中温化混合物の効果については、舗設した合材の種類を追跡できず、今回は検証できなかった。

### 4-2 熱中症発生状況

2018年から2022年に当社で発生した熱中症件数を図-9に示す。なお、当社の発生数には治療

を必要としない軽度な事例も含むが、厚生労働省発表の建設業における死傷者数には軽傷者は含まず、死亡者および休業4日以上業務上疾病者のみの数である<sup>1)</sup>。

図-9より、始業前の体調は良好であった発生件数は、建設業での発生件数と同様な推移であることが分かった。一方で、始業前から体調に違和感があった発生件数には同様な傾向は見られなかった。始業前から体調に違和感があった事例には、様々な要因が影響していると考えられるため、以下の解析では対象外とした。

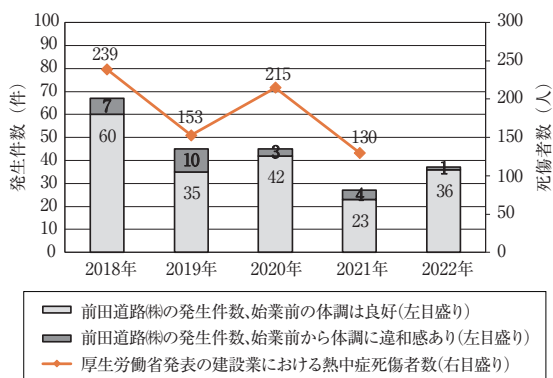


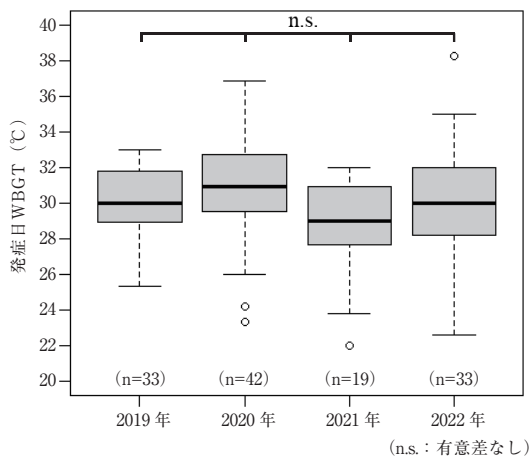
図-9 当社の熱中症発生状況

### 4-3 熱中症発生日のWBGT

当社では、2019年より現場にて10時と14時のWBGTを測定している。そこで、熱中症の発症が午前の場合は10時のWBGTを、午後の場合は14時のWBGTを発生日の代表値(以下、発症日WBGT)として、各年の発症日WBGTを比較した(図-10)。なお、発症日WBGTが不明な事例は除外した。2019年から2022年すべてにおいて統計的有意差は認められなかったが、各年の発症日WBGTの中央値は、始業前の体調は良好であった発生件数(図-9)と似通った推移であると言える。このことから、発生件数が多い年は、発症日WBGTが高い傾向にあることが分かる。一般的に、WBGTが高いほど熱中症になりやすいと言われているため、当社においてもこのような傾向が見られたと考えられる。

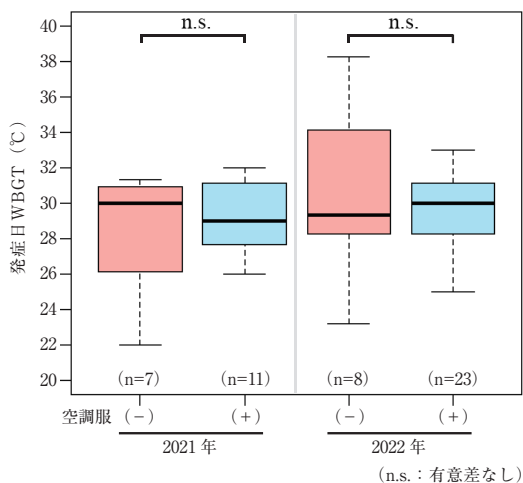
次に、空調服を導入した2021年以降の熱中症事例について、空調服着用の有無に分けて発症日

WBGTを比較した(図-11)。なお、空調服着用の有無が不明な事例は除外した。どちらの年も、空調服着用の有無による発症日 WBGTの差は見られなかった。



[Kruskal-Wallis検定およびBonferroni法の多重比較、有意水準5%]

図-10 発症日 WBGT



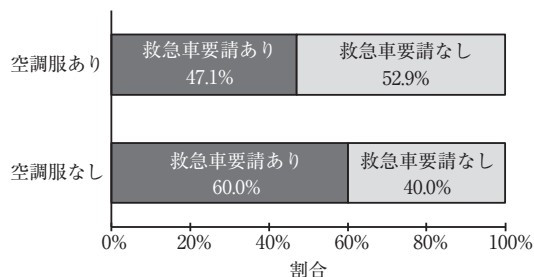
[Wilcoxon順位和検定、有意水準5%]

図-11 空調服着用の有無別の発症日 WBGT

#### 4-4 空調服着用による重症度への影響

空調服を着用することで、発症時の救急車要請の有無および自覚症状の重症度に違いが生じるかを検証した(図-12)。なお、自覚症状の重症度は、日本救急医学会の「熱中症診断ガイドライン2015」<sup>2)</sup>を参考に、頭痛や吐き気の症状がある場合は中等症以上、めまいや立ち眩みなどは軽症とした。図-12より、空調服を着用していた場合の方が救急車を要請した事例が少ない一方で、自覚

#### (A) 救急車要請の有無



#### (B) 自覚症状の重症度

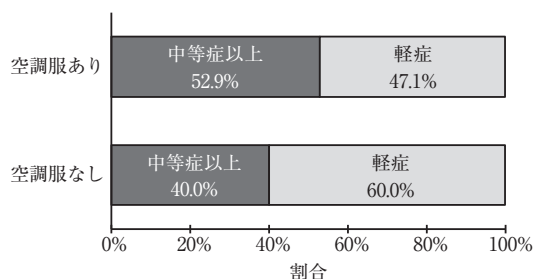


図-12 空調服着用による重症度への影響

症状は中等症以上である事例が多いことが分かった。

次に、救急車要請の有無や自覚症状の重症度に対して、年齢、発症日 WBGT、空調服着用の有無のうち、どの要因が最も強く影響しているかを検証するために、ロジスティック回帰分析を行った。解析には統計ソフトRを使用し、有意水準は5%とした。また、質的変数である救急車要請の有無、自覚症状の重症度、空調服着用の有無は、表-5に示すようにダミー変数化し、量的変数である年齢、発症日 WBGTはそのままの値を使用した。

年齢、発症日 WBGT、空調服着用の有無を説明変数とし、救急車要請の有無を目的変数とした場合の結果を表-6に、自覚症状の重症度を目的変数とした場合の結果を表-7に示す。どちらの目的変数に対しても、すべての要因において統計的には有意ではなかったが、年齢、発症日 WBGTのオッズ比はどちらも1前後であったのに対して、空調服ありのオッズ比は、救急車要請の有無では0.54、自覚症状の重症度では1.76という結果となった。

この結果から、救急車要請の有無や自覚症状の

重症度に対して、年齢、発症日 WBGT、空調服着用の有無のうち、空調服着用の有無が最も影響する可能性が示されたと言える。

以上の結果から、空調服を着用することで、救急車の要請はしない一方で、自覚症状は重症になりやすい傾向にあることが示唆された。この理由として、空調服を着用することで、体調のわずかな変化に気づきがたくなる、あるいは空調服を着用しているから大丈夫だろうという心理的要因が影響していると考えられる。

表－5 質的変数のダミー変数化

	1	0
救急車要請の有無	有	無
自覚症状の重症度	中等症以上	軽症
空調服着用の有無	有	無

表－6 救急車要請の有無を目的変数としたロジスティック回帰分析結果

	係数	オッズ比	オッズ比の95%信頼区間	P値
年齢	0.02	1.02	0.98 - 1.07	0.27
発症日 WBGT	0.02	1.02	0.83 - 1.25	0.89
空調服あり	-0.61	0.54	0.15 - 1.92	0.34

表－7 自覚症状の重症度を目的変数としたロジスティック回帰分析結果

	係数	オッズ比	オッズ比の95%信頼区間	P値
年齢	-0.01	0.99	0.94 - 1.03	0.52
発症日 WBGT	0.03	1.03	0.84 - 1.26	0.80
空調服あり	0.57	1.76	0.50 - 6.18	0.37

## 5 まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

### <中温化混合物の活用による効果>

- ① 試験施工での検証結果より、通常の合材と比較して中温化混合物を使用することで、機械施工、人力施工ともに作業員の心拍上昇を抑制できる可能性が示された。
- ② 当社の熱中症事例での検証では、中温化混合物の適用有無を判断できず、今回はその効果を検証できなかった。今後は合材の種類に

ついても追跡し、解析したいと考える。

### <空調服着用による効果>

- ③ 試験施工での検証結果より、空調服を着用することで人力施工中の作業員の心拍上昇を抑制できる可能性が示された。一方で、機械施工では WBGT に有意な差が生じたため検証できなかった。
- ④ 当社の熱中症事例での検証結果より、空調服を着用していた場合、発症時の対応として救急車を要請しない傾向が見られた。一方で、発症者の自覚症状は、空調服を着用していた場合の方が重症度が高い傾向が見られた。

③、④の結果から、空調服を着用することで、作業員の負荷は小さくなる一方、体調のわずかな変化に気づきがたくなる、あるいは心理的安心感から基本的な熱中症対策がおろそかになる懸念が示されたと言える。

なお、試験施工での検証については、実環境下のため各施工日間で作業負荷が一定であったとは言いきれない。そのため、今後は事例を増やし、更なる検証を重ねたいと考える。

## 6 おわりに

水分、塩分の補給や作業量、休憩量の適切な管理等の基本的な対策に加えて、中温化混合物の積極的な活用や空調服の着用により、アスファルト舗装工事の熱中症予防につながると期待される。今後は、中温化混合物だけでなく常温混合物による効果や空調服と保冷剤を併用した場合の効果についても検証していき、労働災害としての熱中症を防ぎたいと考える。

### 【参考文献】

- 1) 厚生労働省：令和3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）
- 2) 日本救急医学会：熱中症診断ガイドライン 2015