

加熱アスファルト混合物の温度と熱中症リスクの関係についての一考察

前田道路(株)技術研究所 正会員 ○小田 猛  
前田道路(株)技術研究所 正会員 畠山 慶吾  
前田建設工業(株)ICI 総合センター 正会員 齋藤 知弥

1. はじめに

近年, 猛暑日の増加により建設現場における熱中症リスクが増大しており, 特にアスファルト舗装工事においては 150℃程度の加熱アスファルト混合物 (以下, 加熱混合物) を施工するため, 熱中症リスクが高いことが推測される. この対策の一つに施工温度を約 30℃低減可能な中温化技術が挙げられるが, その効果は感覚的には感じられるものの, 定量的な評価には至っていない. 熱中症リスクの評価としては WBGT が一般的に用いられており, この値を低減することが熱中症リスクの軽減になる.

本報は, 舗装工事の熱中症対策として期待が持てる中温化技術の定量的な評価として, 混合物温度が WBGT に与える影響についての検証結果を報告するものである.

2. 屋外での WBGT 測定

WBGT は(1)式で算出される. 日射や照り返しを感知する黒球温度で加熱混合物の輻射熱を評価できる.

$$WBGT = \text{湿球温度} \times 0.7 + \text{黒球温度} \times 0.2 + \text{乾球温度} \times 0.1 \dots (1)$$

(1)式からわかるように WBGT は自然的要素の影響が大きく, 気象の変化により値が変わってしまうことが懸念される. 図-1 は屋外で WBGT を測定した一例である. なお, 測定機は舗装表面から上方 1mの高さに設置した. 経過時間とともに加熱混合物の内部温度が低下し, それとともに黒球温度も低下していることがわかる. 一方, WBGT に着目すると, 横ばいの傾向を示している. これは, 黒球温度が低下した効果を打ち消しあうように乾球温度や湿球温度などの自然的要素が変化したことを示している. また, 黒球温度は 14 時 50 分から約 10 分間で日射量の影響を受け一時的に大きく上昇し, それに伴い WBGT も上昇していることがわかる. さらに, 別の日に同一作業を再度測定したところ再現性の低い結果となり, 屋外では加熱混合物の温度に着目した評価が困難であることがわかった.

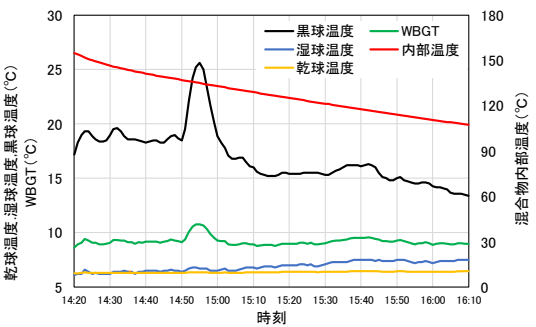


図-1 屋外 WBGT 測定結果



写真-1 人工気象実験室

3. 人工気象実験室での実験概要

上記の結果を踏まえ, 夏期の気象条件を再現できる人工気象実験室で, 加熱混合物の WBGT の測定を行った. 人工気象実験室の室内状況を写真-1 に, 実験概要を表-1 に示す. 実験は, 人工気象室外で型枠に加熱混合物を敷きならした後, 室内に搬入し, WBGT を測定する手順で行った.

実験時の気象条件の設定にあたり, 気象庁ホームページに掲載されている東京都の 2018 年から 2020 年の 7, 8 月の気温, 相対湿度, 日射量データを抜粋して整理したところ, 気温と相対湿度のデータに相関が認められた (図-2). また, 気温と日射にも相関が認められたため, 気温 35℃, 30℃, 25℃に対する相対湿度, 日射量を近似式から求め, 実験条件を表-2 のように設定した. なお,

キーワード: 熱中症, 中温化技術, WBGT, 人工気象実験室

連絡先: 〒300-4111 茨城県土浦市大畑 208 前田道路(株)技術研究所 TEL 029-833-4311 FAX 029-833-4312

表-1 実験概要

| 項目    | 内容                                                  |
|-------|-----------------------------------------------------|
| 場所    | 前田建設工業(株)ICI総合センター内人工気象実験室                          |
| 供試体寸法 | 2m×2m(厚さ7cm)                                        |
| 測定項目  | 混合物内部温度, WBGT, 乾球温度, 湿球温度, 黒球温度<br>人工気象実験室の気温, 相対湿度 |

条件 3 の日射量は日射装置の設定の下限値(500W/m<sup>2</sup>)以下であったため日射量 0 とした. その他, 風速は空気循環のみとし, 降雨量も 0 とした.

4. 測定結果

(1) 実験精度の確認

実験は, 加熱混合物の内部温度が 110℃を下回るまで行い, 連続的にデータを計測した. 計測したデータの内, 一般的な加熱混合物の評価を 140~150℃程度で行い, そこから 30℃程度下がった 110~120℃程度を中温化混合物の施工温度として捉え評価を行った. 測定状況を写真-2 に示す. 本検証は, 人工気象実験室の温度, 相対湿度および日射量を事前に設定するが, 供試体の搬入, 測定機器の設置作業および作業員退出等の際に実験室の扉を二度開閉するため, 設定値が安定した後に測定開始となる. そのため, 測定開始時点で評価温度を下回らないような混合物温度で敷きならし作業を行った.

図-3は実験条件1で3回測定した結果を示したものであり, 扉の開閉により一時的に乾球温度や黒球温度の変動が見られたが, すぐに安定し, 非常に高い再現性が確認できた. 実験条件 2, 3 についても同様な傾向が確認でき, 精度良く実験できていることが確認できた.

(2) 加熱混合物温度の WBGT への影響

加熱混合物の施工温度の差が WBGT に与える影響を把握するため, 内部温度が 150℃の時を基準に 30℃下がった時のデータを選択して効果を検証した. また, 内部温度が 150℃時点の乾球温度や黒球温度が安定していない場合は安定した時の温度を基準とし, そこから 30℃下がった時のデータを使用した.

実験結果を表-3 に示す. 結果一覧より, 夏期環境下を想定した条件においては加熱混合物の内部温度 30℃の差が WBGT に与える影響は 0.3℃であることがわかった.

5. おわりに

今回の実験は, 再現性も良く, 室内温度, 湿度が制御された人工気象室内で実験を行ったことから, 正確な WBGT を計測したと考えている. 一方, 中温化技術の効果は WBGT で 0.3℃と, 想定していたよりも低い結果となった. このことは現場での感覚と若干異なるように感じられるため, 今後は現場に即した新たな指標を見出す必要があると考える. また, 人体の心拍数や発汗状態などの観点とあわせて検討することで, 幅広い視点から加熱混合物の温度と熱中症リスクの関係を明らかにしたいと考える.

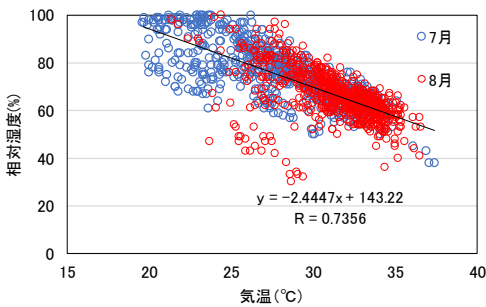


図-2 東京都の気象データ

表-2 設定気象条件

| 実験条件 | 気温 (°C) | 相対湿度 (%) | 日射量 (W/m <sup>2</sup> ) | 風速(m/s) |
|------|---------|----------|-------------------------|---------|
| 1    | 35      | 58       | 770                     | 0       |
| 2    | 30      | 70       | 526                     |         |
| 3    | 25      | 82       | 282※→0                  |         |

※日射量の設定下限値:500(W/m<sup>2</sup>)

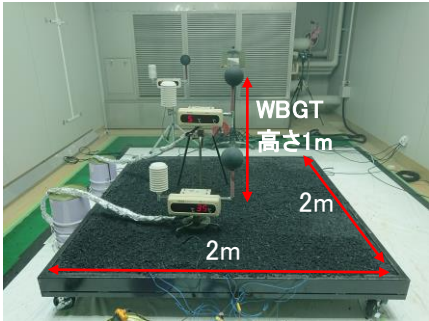


写真-2 測定状況

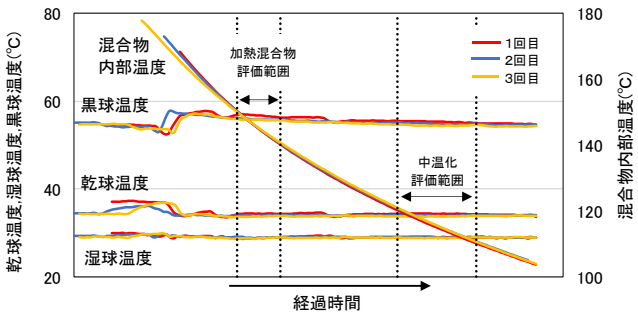


図-3 測定精度

表-3 実験結果一覧

| 実験条件 | No. | 内部温度(°C) |       |           | WBGT(°C) |           | 黒球温度(°C) |           |
|------|-----|----------|-------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|      |     | -        | 測定値   | 温度差<br>平均 | 測定値      | 温度差<br>平均 | 測定値      | 温度差<br>平均 |
| 条件 1 | 1   | 基準       | 141.0 | 29.9      | 35.0     | 0.3       | 56.4     | 1.1       |
|      |     | 基準-30℃   | 111.0 |           | 34.7     |           | 55.2     |           |
|      | 2   | 基準       | 149.8 |           | 35.0     |           | 56.1     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 119.8 |           | 34.8     |           | 55.1     |           |
|      | 3   | 基準       | 149.8 |           | 34.8     |           | 55.6     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 120.1 |           | 34.5     |           | 54.4     |           |
| 条件 2 | 1   | 基準       | 149.6 | 29.7      | 30.9     | 0.3       | 47.1     | 1.5       |
|      |     | 基準-30℃   | 120.0 |           | 30.6     |           | 45.5     |           |
|      | 2   | 基準       | 149.8 |           | 30.6     |           | 46.5     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 120.1 |           | 30.4     |           | 45.3     |           |
|      | 3   | 基準       | 147.7 |           | 30.7     |           | 46.7     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 118.0 |           | 30.3     |           | 45.1     |           |
| 条件 3 | 1   | 基準       | 150.3 | 30.1      | 24.8     | 0.3       | 29.3     | 1.6       |
|      |     | 基準-30℃   | 119.9 |           | 24.5     |           | 27.8     |           |
|      | 2   | 基準       | 150.1 |           | 24.6     |           | 29.3     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 120.0 |           | 24.3     |           | 27.5     |           |
|      | 3   | 基準       | 149.7 |           | 24.8     |           | 29.5     |           |
|      |     | 基準-30℃   | 119.9 |           | 24.5     |           | 27.9     |           |