

人の生理応答を考慮した人体熱負荷による保水性舗装の有効性評価

大成ロテック (株) 南関東支社 正会員 ○上堂 蘭 研太
 同上 技術部 正会員 青木 政樹
 岡山県立大学 情報工学部 島崎 康弘
 同上 新田 順平

1. はじめに

わが国の都市部では、ヒートアイランド現象に伴う熱中症の発症数増加への対策として、保水性舗装や遮熱性舗装などの路面温度上昇抑制舗装が開発・実用化されている¹⁾。しかし、これらの舗装の効果は、気温や湿度、路面温度などの環境物理量から評価されている場合が多く、ヒトに対する負荷を直接的に評価した指標は未だ少ない。そこで筆者らは、環境物理量に加えて舗装上のヒトの体温や発汗量、代謝量などの人体生理量から算出される「人体熱負荷量²⁾」を用いて定量的な人体の温熱状態を評価することで、路面温度上昇抑制舗装の有効性を直接的に表現できると考えた。本報では、保水性ブロック舗装（以下、保水性舗装）と密粒度アスファルト舗装（以下、密粒舗装）を用いて温度、湿度、日射量などを一定にした室内で保水性舗装の暑熱環境の改善効果を評価した結果を報告する。

2. 実験概要

本実験では、任意の気候条件に設定可能な人工気象室内に1×2mの保水性舗装と密粒舗装を構築し、メタルハライドランプにて舗装面を暖め、そのときの舗装周辺の環境物理量とヒトの生理反応を測定した。本実験の概念と測定状況を図-1に、使用した舗装材料の概要を表-1に示す。なお、試験室内の環境条件は日本における夏季の晴天を想定し、気温35℃、相対湿度50%、日射量900W/m²に設定した。また、被験者は健康な成人男性7名とした。また、被験者は熱物性が既知の衣服を着用し、代謝の変動をなくすため食事後2時間以上経過してから、実験直前にスポーツドリンク200mlを摂取した後、舗装体中央に30分間立位静止状態で実験を行った。

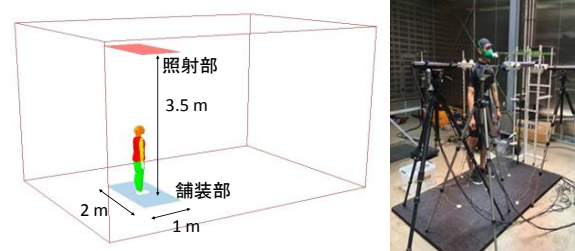


図-1 実験の概念と測定状況

表-1 舗装材料の概要

舗装名称	密粒	保水性
舗装材料	密粒度アスファルト混合物(13)	保水性ブロック
舗装体厚さ(m)	0.04	0.09 (ブロック0.06, 敷砂0.03)
色	黒	白
日射反射率(%)	8.5	25.0
最大保水量(kg/m ²)		8.76

2-1. 人体熱負荷量

人体の温熱状態は、人体と外環境との熱交換による熱量の収支で決定される。人体の熱収支は、主に気温、湿度、放射、気流、代謝量、着衣量の影響を受けるが、このときヒトは、人体への入力・出力される熱量の差によって、熱く感じたり、涼しく感じたりする。この熱収支の量を人体熱負荷量 F_{load} とし、式(1)により定義した。

$$F_{load} = M - W + R_{net} - C - E \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 M :代謝量[W/m²](体表面積、O₂摂取量、CO₂生産量から算出)、 W :機械的仕事量[W/m²](運動量)、 R_{net} :正味ふく射量[W/m²](人体が授受したふく射量)、 C :顕熱損失量[W/m²](平均皮膚温と気温の差による損失熱、呼吸による熱交換)、 E :潜熱損失量[W/m²](発汗、呼吸による損失熱、不感蒸泄)。

人体熱負荷量の算出に必要な物理環境量と人体生理量の測定項目と測定方法を、それぞれ表-2、3に示す。

キーワード 人体熱負荷量、代謝量、正味ふく射量、顕熱損失量、潜熱損失量、人体心理量

連絡先 〒135-0043 東京都江東区塩浜 2-7-20 大成ロテック(株) 南関東支社 TEL 03-3640-1461

2-2. 人体心理量

各舗装上で人の温熱感覚は、被験者に対する心理申告のアンケートにて行った。具体的には、被験者は2分毎に図-2に示す心理申告用紙の湿冷感、湿潤感、快適感について、該当する箇所へ縦線を記入し、これをASHRAE Handbookの指標に基づき、線型スケールに変換して測定結果とした。なお、湿冷感は一側へシフトすると暑く、湿潤感は一側へシフトすると湿っぽく、快適感は一側へシフトすると快適に感じていることを表している。

3. 実験結果と考察

3-1. 人体熱負荷量

表-4に、各舗装での人体熱負荷量の算出結果を示す。人体熱負荷量は、密粒舗装が199 W/m²、保水性舗装が186 W/m²であった。これらの結果に対し、等分散を仮定した2標本によるt検定を行ったところ、保水性舗装が有意に小さく(有意水準5%)なったことから、保水性舗装は人体の負荷が密粒舗装に比べ小さいと言える。この結果は、主に代謝量の差によるもので、本実験では無風に近い状態であったことから、顕熱損失量(皮膚温度)および潜熱損失量(発汗量)にほとんど差が認められなかった。

3-2. 人体心理量

表-5に心理申告のアンケート結果を示す。表から、実験30分間を通して保水性舗装は涼しく、快適であることが確認できた(有意水準5%)。一方、保水性舗装と密粒舗装の湿潤感には、有意差がなかったことから、保水性舗装は密粒舗装と比較して蒸し暑さが変わらないことがわかった。

4. まとめ

“人体熱負荷量”を用いて保水性舗装を評価した結果、夏季日中の暑熱環境下において、保水性舗装は密粒舗装に比べ生理的な反応と心理的な感覚の両面で快適であることがわかった。このことは、保水性舗装をヒトの歩行空間を中心とした整備が有効であることを示している。

なお、今回の実験では、立位静止状態で人体の生理反応を測定したが、人体熱負荷量は運動状態の評価も可能であることから、今後は夏季日中の運動環境下での測定を行って、保水性舗装の効果の範囲を確認したいと考えている。

【参考文献】

1)「環境省、熱中症予防サイト 熱中症環境保健マニュアル」〈http://www.wbgt.env.go.jp/heatstroke_manual.php〉
2) Yasuhiro SHIMAZAKI, Atsumasa YOSHIDA, Ryota SUZUKI, Takeshi KAWABATA, Daiki IMAI, and Shinichi KINOSHITA, Application of human thermal load into unsteady condition for improvement of outdoor thermal comfort, Building and Environment, Vol. 46, Issue 8, pp.1716-1724, 2011

表-2 物理量測定項目と方法

項目	測定方法	頻度
ふく射量 (長短波放射量)	・6方位(高さ1.5m)	1分毎
温湿度	・高さ方向5点(0, 0.35, 0.5, 1.0, 1.5m)	
平均風速	・1点(高さ1.5m)	
路面温度	・舗装中央と中央から0.5m離れた4点	

表-3 人体生理量の測定項目と方法

項目	測定方法	頻度
体温	・皮膚温7点(前額, 上腕, 手甲, 腹, 大腿, 下腿, 足甲の平均) ・深部温(直腸)	1分毎
発汗量	・7点(前額, 上腕, 手甲, 腹, 大腿, 下腿, 足甲の平均) ・実験前後の体重, 衣服重量変化	
心拍数	・心拍計	
代謝量	・呼吸時のO ₂ 摂取量とCO ₂ 生産量から推定	20秒毎

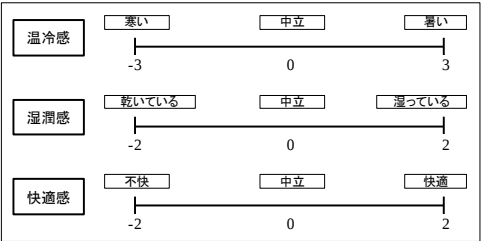


図-2 心理申告用紙

表-4 人体熱負荷量の算出結果

	密粒	保水性
人体熱負荷量F(総量) (W/m ²)	199	186
内		
代謝量M (W/m ²)	92.7	83.0
正味ふく射量R (W/m ²)	136.4	134.6
顕熱損失量C (W/m ²)	2.6	2.9
潜熱損失量E (W/m ²)	27.9	28.5

表-5 各心理量の時間平均値

	密粒	保水性
温冷感	1.32	0.81
湿潤感	0.03	-0.1
快適感	-0.88	-0.41