遮熱性舗装上における人体への影響に関する各種検証結果

路面温度上昇抑制舗装研究会　正会員　○村上　浩
豊橋技術科学大学　島﨑　康弘
路面温度上昇抑制舗装研究会　正会員　岩間　将彦

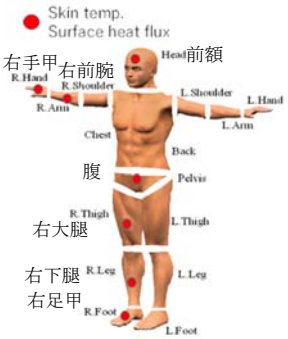
１．はじめに

本報で取り上げる遮熱性舗装は、2020 年のマラソンコースにおいて国土交通省および東京都が整備を進めている舗装である。本技術は、太陽光のうち近赤外線を反射することにより、路面温度の上昇を抑制する舗装である。ここで、反射された赤外線がその上で行動する人体へどのような影響がなされるのかについて、科学的な検証がこれまでなされていない。今回は、東京都土木技術・人材育成センターの駐車場において、人体への影響に関する２つの検証を行った。その結果、それぞれの知見が得られたため、これを報告するものである。

２．被験者実験概要

２．１．人体熱負荷量の測定

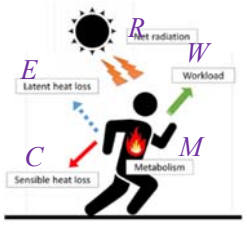
人体生理量として、Hardy-Dubois の平均皮膚温算出に倣った人体皮膚表面温度 7 点(前額，前腕，手甲，腹，大腿，下腿，足甲；**図－１**参照)、深部温度(2017；耳内、2018；直腸内)、心拍数を 1 分毎に測定した。発汗量の推察に用いるために、実験前後に体重、衣服重量を精密体重計にて測定した。熱収支式における蓄熱項を人体根の熱負荷と考え、人体熱収支は**式－１**で算出した。イメージ図を**図－２**に示す。



図－１　皮膚表面測定位置

$$F_{load} = M - W \pm R + E \pm C \qquad \text{式－１)}$$

ここで、F_{load}：人体熱負荷量、M：代謝量、W：外部への仕事量（今回は立位のため 0)、R：正味ふく射量、E：潜熱損失量，C：顕熱損失量（単位は全て W/m^2）



図－２　人体熱収支

環境物理量として，舗装表面温度，気温・湿度，風速，放射量，黒球温度の測定を東京都が実施した結果を貸与していただき計算に用いた。

２．２．サーモグラフィ解析による衣服表面温度の測定

２．１の測定を行っている際に、サーモグラフィカメラによって、被験者を撮影した。撮影は 10 分間隔で実施し、撮影画像を付属の解析ソフトによって、ライン解析を実施した。対象とする部位において、無作為の線分を引きその中の温度を 70 点自動で計測、平均値を出す手法である。解析対象は、頭、胸、太もも、脛、足の甲の 5 部位とした。なお、2 台のカメラを使用していたことから、器差を測定し、最終解析においては、器差（約 1℃(30℃付近)等）を反映して比較、検討することとした。

２．３．実験対象路面と実験の概要

実験対象路面は、遮熱性舗装（明度 40 相当）と排水性舗装（低騒音舗装）とした。2017 年の被験者は 3 名、2018 年の被験者は 15 名として実施した。2017 年は被験者が少なかったため、20 分測定後、約 1 時間の休憩をはさみ、遮熱性舗装と排水性舗装上に立位した。2018 年は 15 名の被験者を 6 ブロックに分け、同一時間に 2 日にわたって立位した。これは、休憩をはさむことで前回対象とした路面からの影響がないと考えていたが、当該影響を完全に除外するために、1 名の被験者は 1 回の測定としたものである。全被験者の平均年齢は 22.6 歳(2017)、23.5 歳(2018)、平均身長は 166.3 cm(2017,2018)，平均体重は 57.2kg(2017)、60.9 kg(2018)、平均 BMI は 20.6(2017)、22.0（2018）であり、平均的な日本人の体型の被験者群となった。なお、本実験プロトコルは，ヒトおよびその関連領域研究における倫理規定を定めたヘルシンキ宣言に準拠したものである。なお、2017 年は 8 月 1 日（晴天)、2018 年は 7 月 25,26 日（両日とも曇天）であった。

キーワード：遮熱性舗装、人体熱負荷量、サーモグラフィ、反射熱、近赤外線、マラソン
連絡先：埼玉県さいたま市西区三橋 6-70　㈱NIPPO 技術企画室 TEL 048-624-0095 FAX 048-622-3028

© Japan Society of Civil Engineers

３．実験結果

３．１．人体熱負荷量の測定結果

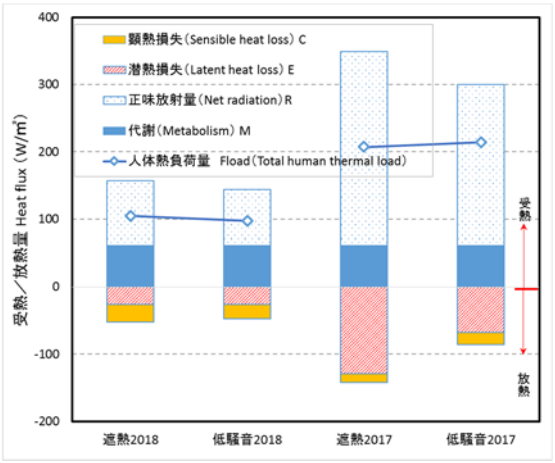
2017 年、2018 年の人体熱負荷量を平均した結果を**表－１**および**図－３**に示す。なお、2 回の測定方法に多少違いがあることから、同じ立位条件として、対象路面に立ってから 10 分経過後から 10 分間の平均値としている。

2017 年の晴天時には、遮熱性舗装 207 (W/m^2)＜排水性舗装 214(W/m^2)であったが、曇天時には遮熱性舗装 105 (W/m^2)＞排水性舗装 97(W/m^2)と数値的には逆転する結果となった。しかし、それぞれの差異は全体の熱負荷量に対して、晴天時で 4%、曇天時でも 8%しかなく、これらの測定結果から見れば、遮熱性舗装と低騒音舗装とにおける人体熱負荷量には差異がないといえる結果である。

本結果は、日射量の差異（2017；晴天、2018；曇天）、によって、路面温度が異なる（2017；6.3℃差、2018；0.5～1.0℃）ことに起因しているものと考える。

表－１　人体熱負荷量の平均値

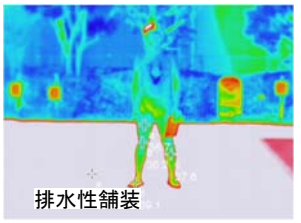
舗装種別	遮熱性舗装		排水性舗装	
測定年度	2018	2017	2018	2017
代謝（Metabolism） M	61	61	61	61
正味放射量（Net radiation） R	96	288	83	239
潜熱損失（Latent heat loss） E	26	129	26	68
顕熱損失（Sensible heat loss） C	26	13	21	18
人体熱負荷量 F_{load} (Total human thermal load)	105	207	97	214



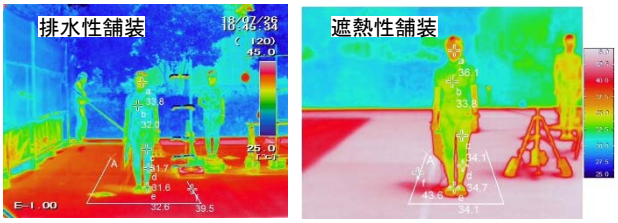
図－３　人体熱収支

３．２．サーモグラフィ撮影による解析結果

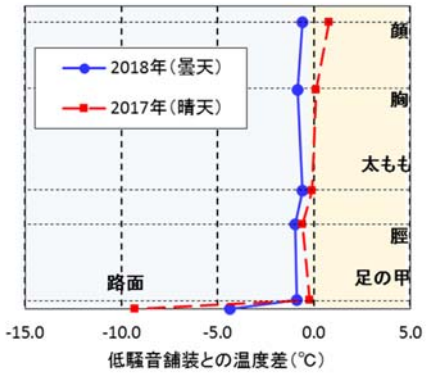
図－４、**図－５**にサーモグラフィの撮影画像（例）を示す。また、**図－６**に対象者全員の平均値をとり、排水性舗装からの差分をグラフ化した。2017 年においては、晴天であったことから、人体へ太陽から直接日射が到達した結果、全体として腰から上の温度は撮影時の日射に影響された結果となっている。一方、腰から下については、路面温度が 9℃違うことから、当該影響による温度差が出ているものと考える。一方、2018 年においては、曇天であったことから、路面表面温度の差が全身へ影響しているとも考えられる。人体熱負荷量で用いた 1cm 下の舗装温度とは異なり、ここでは、舗装表面の温度を直接測定しており、4℃の差が出ていた。これらの結果から、表面においては温度差がある路面からの熱による差異のみ、つまり、遮熱性舗装の熱反射特性による差異と考えられる。ただし、本測定結果としては、その温度差は 2 回とも約 1℃であり、アスリートなどへの影響は大差がないといえる。なお、過去の報告[1)]ではもう少し差のある結果となっていることから、さらなる検証が必要といえる。



図－４　サーモグラフィ撮影画像（2017 年）



図－５　サーモグラフィ撮影画像（2018 年）



図－６　衣服表面温度差

４．おわりに

遮熱性舗装の熱反射による人体への影響を 2 種類の方法で検証した。サーモグラフィ、熱負荷量ともに遮熱性舗装と排水性舗装とでは大きな差異がない結果となった。一方、熱負荷量の検討結果において、曇天の 2018 年に熱負荷が大きく減じている（約 100W/m^2）ことから、緑陰などにより太陽からの直達日射をさえぎることがアスリートへは最大の熱負荷軽減策と考えられる。共同研究において様々なご指導をいただいた東京都の関係各位にこの場を借りて謝意を表します。

参考文献：1)西岡、平岡、村上、「遮熱性舗装上の熱反射特性に関する検証」、第 32 回日本道路会議論文集 3P27、2017.10.

© Japan Society of Civil Engineers