

高保水性コンクリートパネルを用いた屋外輻射 冷房実験と解析

山田 宏之¹・田中 明則²・日根 隆夫²・奥田 芳雄³・一柳 隆治⁴・
原 昌久⁵・羽田 雄一⁵

¹ 和歌山大学准教授 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)
E-mail: hyamada@sys.wakayama-u.ac.jp

² 株式会社森生テクノ (〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-5)
E-mail: sinsei_tecno@yahoo.co.jp

³ 有限会社エコプロ (〒661-0033 兵庫県尼崎市武庫之荘3-4-1-112)
E-mail: ecopro@hcc1.bai.ne.jp

⁴ 東洋紡 S T C 株式会社 (〒530-0004 大阪府大阪市北区堂島浜2-2-8)
E-mail: TAKAHARU_ICHIRYU@stc.toyobo.co.jp

⁵ 関西電力株式会社電力技術研究所環境技術研究センター (〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台1-7)
E-mail: hara.masahisa@a4.kepco.co.jp, hada.yuuichi@b3.kepco.co.jp

本研究は、新しく開発した建築用保水性コンクリートパネルを用いて、人体と保水板との間の放射収支差を利用した屋外輻射冷房装置を試作し、屋外の半解放空間の温熱環境改善効果の実測と解析、また実際に被験者を対象とした体感アンケート調査を実施し、屋外暑熱環境改善資材としての有効性を検証することを目的として実施した。2007年、2008年の夏季晴天日における実測結果から、①相対湿度が100%に近い時間帯を除き、昼夜を問わず表面温度が気温よりも低くなる。②夏季日中の最高気温時前後には、表面温度が気温よりも最大で5~6℃程度低下する。③盛夏の晴天日においても表面温度が30℃を超えることは稀で、人体表面を放射収支差によって冷却することが可能である。④3方向の壁面と床面を保水パネルで覆うことによって、夏季晴天時のPMVを1.0~1.5程度低下させることができる。⑤アンケート調査の結果、100%の人が対照区との温度差を感じると回答した。⑥体感温度は個人差が大きく、1.5℃から10.0℃程度の温度差を感じていた、などが明らかになった。

Key Words : temperature, radiant cooling, thermal environment, PMV, water contain board

1. はじめに

東京都や大阪府など大都市を中心に、さまざまなヒートアイランド対策が取られるようになってきている¹⁾。そのような対策の一つに道路路面の透水化、保水化があげられるが、現在までに多数の舗装資材が開発され、その効果が解析されている^{2) 3)}。建築物においては、屋上緑化や高反射塗料等の研究・開発が進められているが、保水性資材を建物表面に設置するような事例はまだ数少ない^{2) 4)}。

現在作られている透水性、保水性のコンクリートブロックは歩道面などの舗装用に開発されたものがほとんどであり、耐久性には優れるが、建築物屋上や壁面に設置するには重過ぎる上に、適切な固定方法に乏しいという問題点があげられる。そこで、建築物表面に設置するのに適する軽量性と加工性の良さ、また高い含水率を同時に実現するための新しい保水性コンクリートパネルの開発を行った^{5) 6)}。

本研究は、この新しく開発した保水性コンクリ

ートパネルを用いて、コンクリートパネルからの水分蒸発に伴う強い低温発現特性⁶⁾に着目し、壁面からの冷熱輻射を利用して人間の体感温度を下げるのが可能であるのか、という点について、温熱環境指標であるPMV値や平均輻射温度等の測定と同時に、不特定多数の被験者による体感アンケートを実施して検証を行った。

一般に物体表面から半球空間に向けて放出される全放射エネルギーBは、

$$B = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

ただし、 ε : 射出率、 σ : Stefan-Boltzmann定数、 T : 絶対温度 (K)

と表される⁷⁾。更に、熱力学第2法則により、放射されたエネルギーは必ず高温の物体から低温の物体へと移動する。従って、高温の物体と低温の物体が向き合って置かれている場合、互いに放出される放射エネルギーの差分が低温側の温度上昇に使われ、高温側はエネルギー消費によって温度が下がる。ここで、人体と周辺環境との放射収支を考えた場合に、

周囲の表面温度が人体表面よりも低温である時には、人体表面から熱エネルギーが奪われ、皮膚温を下げる働きをすることになり、これを冷房に応用したものが輻射冷房（Radiant Cooling）である⁸⁾。輻射を応用した空調機は今のところ暖房機が主であり、冷房に使われている事例は少ない⁸⁾。日本国内では、大規模な屋内空間向けに開発された天井面冷房機器が実用化されているが^{10) 11)}、まだ施工事例は少ない。更に、これを屋外環境の温熱環境改善のために応用した事例は皆無である。

本研究では、保水性コンクリートパネル表面からの水の蒸発に伴う低温化を利用して、屋外輻射冷房実現の可能性を探る。

2. 研究方法

(1) 実験場所および実験装置

実験は、2007年の予備実験と2008年の本実験の2段階に分けて実施した。2007年の実験は、和歌山大学システム工学部B棟屋上に、写真-1のような体感実験装置を設置して行った。1室の内寸は幅約1800mm、奥行約1500mm、高さ約2200mmである。2008年の実験は、兵庫県西宮市内にある鳴尾浜臨海公園、リゾ鳴尾浜屋外プールのプールサイドで行った。当該地に図-1および写真-2に示すような体感実験装置を設置した。1室の内寸は幅約1900mm、奥行約1900mm、高さ約2000mmである。いずれも同一構造の空間を2部屋作り、実験区の壁面3方と床面に保水性コンクリートパネルを貼り、対照区は同一内寸でベニヤ板張りとした。屋根にはヨシズを設置し、実験空間内への日射の侵入を防いだ。また、実験棟はいずれも北向きに設置しており、実験空間内への直射日光の入射は無い状態にした。

実験に使用した保水板は、数種類の鉱物性の原料とモルタルで製造した。乾燥時の密度は $0.8 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ 、最大体積含水率は約40%の、軽量で保水性の高い資材である^{5) 6)}。日射計を用いて実測した湿潤時の反射率は約40%である。熱伝導率は、乾燥状態で 0.138 W/mK 、水分飽和状態で 0.598 W/mK である。比熱は、乾燥状態で 0.86 J/gK 、水分飽和状態で

2.61 J/gKである。なお、湿潤状態での比熱測定は困難であったため、乾燥時の比熱と最大含水量から計算で求めている。実験棟壁面には、アルミニウム金枠の中に設置して並べ、2007年の実験時には手で散水し、2008年の実験時には植栽用の灌水パイプを設置し、自動タイマーで水道水の給水を行った。給水は1日1回とし、午前4時に行った。

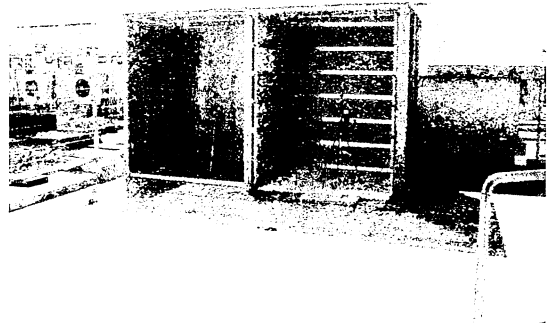


写真-1 2007年の予備実験に使用した実験棟



写真-2 2008年の本実験に使用した実験棟と周辺環境

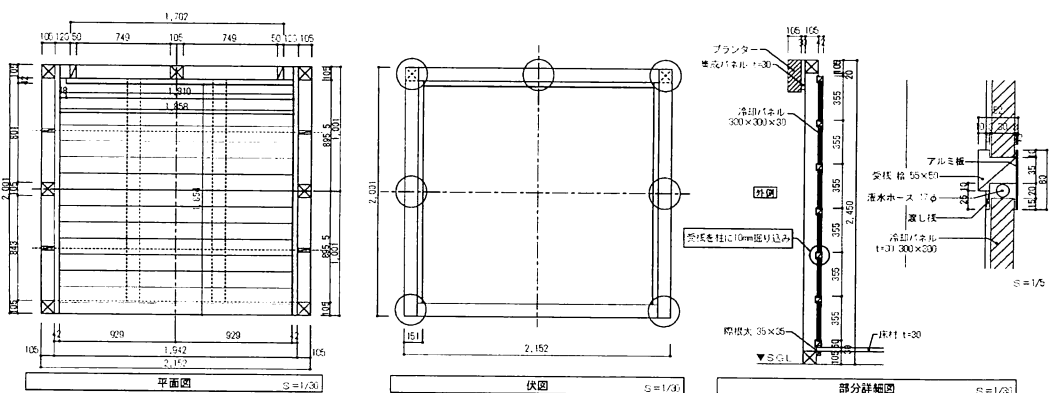


図-1 2008年の実験棟の概略構造図

給水量に関しては事前に実験を行って、保水性コンクリートパネル全体に水が行き渡る量が確保できるように散水時間で調整した。パネル表面の色の变化と触感により、全てのパネルに水が行き渡ることが確認できる。2008年の実験中の散水量は、約28kg/m²・日である。

(2) 測定項目

試験区の室内側の保水性コンクリートパネル表面、対照区の室内側のベニヤ板表面にサーミスタセンサを設置し、自記温度計で10分間隔で温度変化を測定した。試験区には日射の影響が無いため、センサーに覆い等は行っていない。

2室にはPMV計（京都電子工業(株)：AM-101）を設置し、内部のPMV、平均輻射温度、室温の変化を測定した。

測定は全て床面上1.1mの位置で、1分間隔で行った。なお、PMV計算時の着衣量は0.5clo（夏場の薄着）、代謝量は1.0met（着席での安静状態を想定）とした。これはアンケート調査に合わせたものではなく、夏季の一般的条件として設定した。

PMV（Predicted Mean Vote：予測平均申告）とは、温熱感に関する快適性を表す指数であり、1970年にデンマーク工科大学のFangerにより発表された⁹⁾。現在では、中庸な温熱環境を表す指標としてISOに規定されている世界標準指標である⁸⁾。PMV値を計算することにより、温度環境に関する6要素（空気温度、平均輻射温度、気流、湿度、着衣量、代謝量）の全てを勘案した温熱感を求めることができる。PMV値は-3～+3までの数値で示され、+3は「暑い」、+2は「暖かい」を示す。PMV=0で、人間内部の熱生産と環境との熱損失が等しく熱的平衡状態となり、暑くも寒くもない温冷感となる。

測定期間中の2008年9月4日には実験装置全体のサーモグラフィ画像の撮影（NEC三栄：TH5104）を行い、各コンクリートパネル表面温度の均一性と、温度センサーの示度と大きな差が無いことを検証した。

外的気象要素としては、気温および相対湿度の測定を行った。これらの測定項目を表-1に示す。

その他気象要素に関しては、西側約13kmに位置する神戸海洋気象台のデータを参照した。

(3) アンケート調査

2007年の調査では、和歌山大学の学生20名を対象に、実際に体感実験装置の中に入ってもらい、温度差の体感についての聞き取りを行った。調査は2007年9月20日に実施した。

2008年の調査では、リゾ鳴尾浜屋外プールの利用者を対象に、同様の方法で聞き取り調査を行った。調査は、2008年8月25日、9月4日、15日の3回行った。

いずれの調査に関しても設問は2問のみであり、問1：対照区と比べて温度差を感じるか、問2：感じる場合は、何度くらいの差に感じるか、について聞いた。

(4) 実験期間

2007年の実験は、2007年9月20日から9月22日まで行った。2008年の実験は2008年8月16日から9月30日まで行った。PMV、平均輻射温度の測定は2007年9月20日、21日、22日、2008年8月15日、25日、9月4日、15日の7回行った。

表-1 測定項目および測定機器

測定項目	測定場所	使用機器
気温	調査地内の地上1.5m地点	DATA-mini 3641(日置電機(株))
相対湿度	調査地内の地上1.5m地点	DATA-mini 3641(日置電機(株))
表面温度	実験区、対照区の壁面中央	DATA-mini 3633(日置電機(株))
PMV	実験区、対照区の壁面中央地上1.1m地点	AM-101(京都電子工業(株))
平均輻射温度	実験区、対照区の壁面中央地上1.1m地点	AM-101(京都電子工業(株))
室温	実験区、対照区の壁面中央地上1.1m地点	AM-101(京都電子工業(株))
室内相対湿度	実験区、対照区の壁面中央地上1.1m地点	AM-101(京都電子工業(株))
室内風速	実験区、対照区の壁面中央地上1.1m地点	AM-101(京都電子工業(株))

3. 結果および考察

(1) 予備実験の結果

3日間の調査のうち、PMV差が最も顕著に現れた2007年9月20日9時50分から13時24分までの測定結果を図-2に、室温、平均輻射温度の測定結果を図-3に示す。なお、計測に用いたAM-101は、風速が強い状態では過大な平均輻射温度を示す事が指摘されているため¹³⁾、以下の解析においては風速0.5m/sを超える時間の測定値は除いて解析した。

PMVは対照区と比較して1.5程度低下した。室温にも0.5～1.0℃程度の差が生じるが、それよりも平均輻射温度差の方が顕著に現れた。

3月21日、22日に関しては、保水パネルの水分不足により実験区と対照区との差は小さくなったものの、常に実験区の方が低温の傾向を示し続けた。

次に、9月20日の保水板表面温度と対照区のベニヤ板表面温度を比較した結果を図-4に示す。保水板表面は常に気温よりも低温であり、温度差は夜間よりも日中に大きくなる。最大温度差は10時30分に出現し、6.8℃気温よりも低温を示した。

体感に関するヒアリングの結果では、ほぼ全ての被験者が温度差を感じ、概ね3～5℃程度の温度差と回答した。

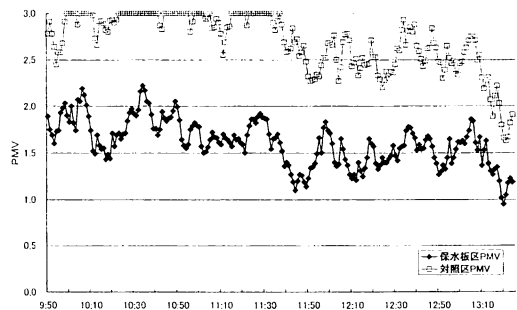


図-2 PMVの比較（2007年9月20日）

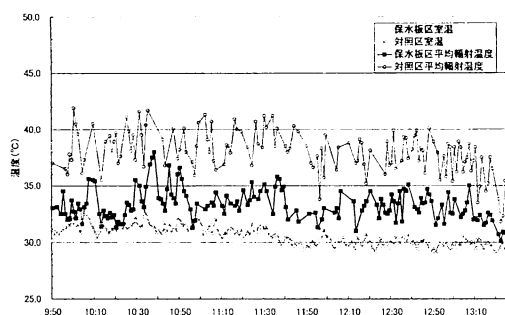


図-3 平均輻射温度と室温の比較 (2007年9月20日)

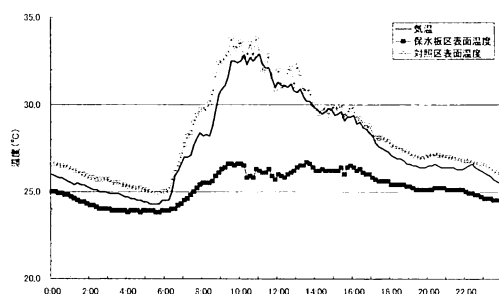


図-4 表面温度変化の比較 (2007年9月20日)

以上の結果から、保水性コンクリートパネルを用いた屋外輻射冷房は十分に実現可能性があると判断したが、保水パネルに手動で散水を行っただけでは十分に含水量を維持する事が出来ず、徐々に効果が低下するという結果となった。そこで、長期間に渡る実測データによって効果の再現性を確認するために装置を改良して、以下に示す2008年の本実験を行った。

(2) PMVの比較

a) 2008年8月15日の測定結果

8月15日の神戸海洋気象台の測定データによれば、日中の天候は曇りないし薄曇であったが、11時から18時まででは全て日照時間が1.0 (100%) であった。最高気温は32.6℃、最高気温時の相対湿度は58%であった。

PMVの測定は13時45分から17時15分まで行った。PMV値の測定結果を図-5に、室温および平均輻射温度の測定結果を図-6に示す。

この日は非常に蒸し暑く、保水パネル区、対照区ともに測定開始からしばらくの間はPMVの上限値である3 (暑い) の状態が続いた。その後、気温の低下と共に両部屋での差が観測されるようになり、16時30分前後にはPMVで1.2程度の差異が生じた。

PMV値は-2～2の間、気温は10～30℃の範囲、平均輻射温度は10～40℃の範囲で用いることが推奨さ

れている¹⁴⁾。この日の測定範囲では、この条件を満たさない時間帯が長く、計算したPMV値はPMVが想定する本来の温熱環境を示していない可能性が高いが^{15) 16)}、本論では、人間の体感とは切り離して、2室の熱環境差を比較するための一つの客観的指標として扱う。

図-6で示す平均輻射温度の差異は明確であり、日中の暑い時間帯では、4.0～5.0℃程度の差が常に生じていた。室温も1.5～2.0℃程度の差を示したが、パネルの影響は室温よりも平均輻射温度に対して、より強く現れているものと考えられる。

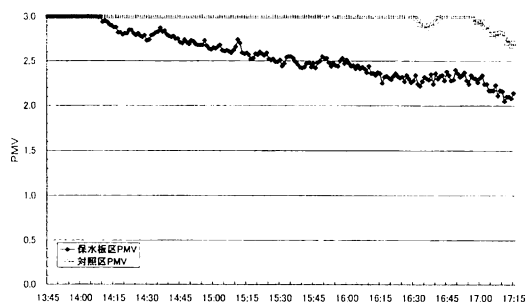


図-5 PMVの比較 (2008年8月15日)

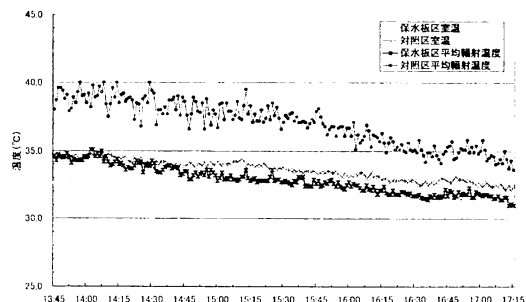


図-6 平均輻射温度と室温の比較 (2008年8月15日)

b) 2008年8月25日の測定結果

8月25日の神戸海洋気象台の測定データによれば、日中の天候は晴れ後曇であった。14時以降は日照時間が0となった。最高気温は28.6℃、最高気温時の相対湿度は53%であった。最高気温が30℃に達せず、かつ日射も弱いので、午後からは肌寒く感じられた。

PMVの測定は9時45分から14時45分まで行った。PMV値の測定結果を図-7に、室温および平均輻射温度の測定結果を図-8に示す。対照区では11時50分前後にPMVが2.5を超える値を示したが、同時間帯の保水パネル区のPMVは1.5前後であり、約1.0の差異が生じた。14時過ぎからは、保水パネル区のPMVがマイナスを示すことも多くなり、夏季の薄着では肌寒さを強く感じるような状態となった。このように暑熱とは言い難い状態であっても、保水パ

ネル区と対照区のPMV差は生じている。しかし、その差は正午の時間帯よりも小さくなっている。

図-8のように、室温、平均輻射温度も常に保水板区の方が小さな値を示し、温度差は平均輻射温度の方が大きいという、8月15日と同様の結果となった。

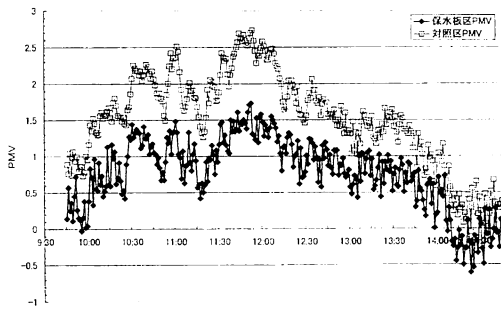


図-7 PMVの比較 (2008年8月25日)

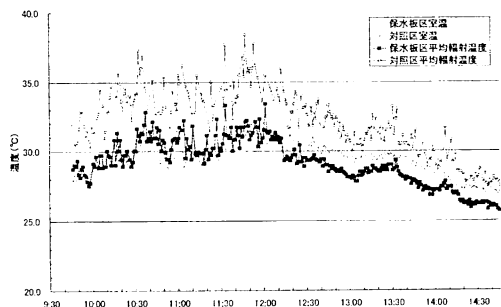


図-8 平均輻射温度と室温の比較 (2008年8月25日)

c)2008年9月4日の測定結果

9月4日の神戸海洋気象台の測定データによれば、日中の天候は曇り時々晴れであった。測定時間中の日照時間は0.5~0.9 (50~90%)となった。最高気温は30.3℃、最高気温時の相対湿度は59%であった。PMVの測定は9時45分から16時15分まで行った。

PMV値の測定結果を図-9に、室温および平均輻射温度の測定結果を図-10に示す。測定開始直後にはPMVの差は僅かであったが、気温の上昇と共に差が広がり、13時から15時頃までは1.0~1.5の差が生じた。その後、日照の減少、気温の低下とともにPMV差は縮小していった。

室温、平均輻射温度も常に保水板区の方が小さな値を示し、温度差は平均輻射温度の方が大きいという、8月15日、25日と同様の結果となった。

d)2008年9月15日の測定結果

9月15日の神戸海洋気象台の測定データによれば、日中の天候は曇り後雨であった。9時以降の日照時間は0であった。最高気温は26.4℃、最高気温時の相対湿度は58%であった。

PMVの測定は10時00分から14時00分まで行った。PMV値の測定結果を図-11に、室温および平均輻射温度の測定結果を図-12に示す。気温が低く日照もほとんど無いために、両室のPMV差は小さくなり、全測定時間で0.2~0.5程度の差しか示さなかった。室温、平均輻射温度の差も、他の測定日と比べると小さいが、それでも常に保水パネル区の方が低温を示し、これは晴天の他の測定日と同様の傾向である。

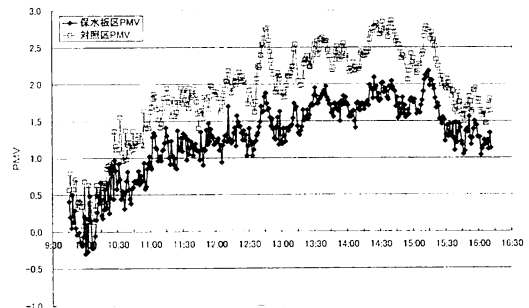


図-9 PMVの比較 (2008年9月4日)

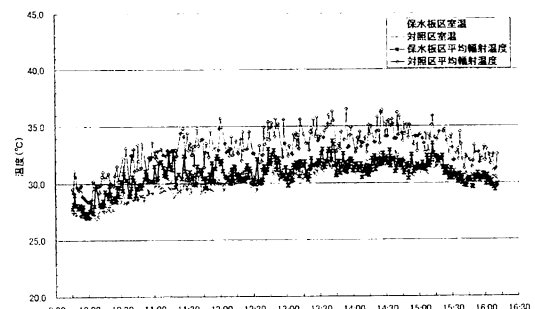


図-10 平均輻射温度と室温の比較 (2008年9月4日)

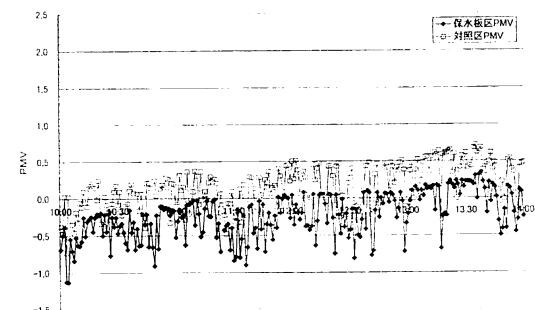


図-11 PMVの比較 (2008年9月15日)

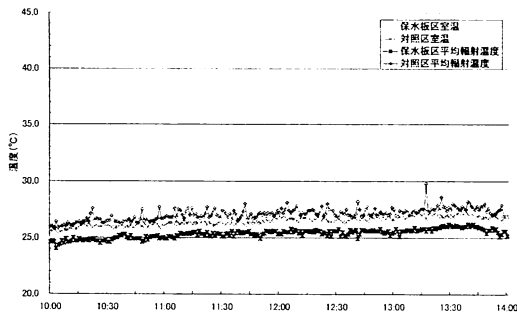


図-12 平均輻射温度と室温の比較 (2008年9月15日)

(3) パネル面温度の変化特性

2008年8月16～31日までの気温、保水パネル表面温度、ベニヤ板表面温度（対照区）の変化を比較したものを図-13に示す。

対照区のベニヤ板は、午後から裏面が直射日光に晒されるため、非常に高温となる。高温のピークは14時前後に現れ、晴天時には気温よりも10℃以上高温となる。日没後は、ほぼ気温と等値となるが、良く晴れた日には気温よりも低温となる。これは前面開口部及び裏面からの放射冷却の影響によるものと考えられる。

一方、保水パネルはほとんど全ての時間帯で気温よりも低温である。表面温度が気温と等値あるいは高温となる時間帯は、降雨中など相対湿度がほぼ100%の時間帯に限られる。湿度100%では蒸発は生じないので、潜熱による熱の移動は無く、空気からの伝導によってのみ温度変化が生じるためである。午後から裏面が直射日光に晒されるという条件は対照区と同一であるが、晴天日の日中には、保水パネル表面は気温よりも3.0～6.0℃程度低温であり、十分な空気冷却の効果を有すると言える。晴天日の夜間においても気温よりも低温な状態が続くので、ヒートアイランド対策資材としての効果も有すると判断できる。

保水パネル表面温度が30℃を超えることは稀で、8月の全測定期間中の積算で250分（1.1%）しかなかった。最高温度は31.6℃であった。また、対照区の表面温度が30℃を超えたのは延べ7040分（30.6%）であった。露出した人間の肌表面温度を実測すると概ね32～33℃程度であるので、この輻射冷房パネルは、ほとんど全ての時間帯で人体皮膚表面に対して冷熱面となり、放射収支差によって熱を奪うことが可能である。

2008年9月1～30日までの気温、保水パネル表面温度、ベニヤ板表面温度（対照区）の傾向は8月と同じであるが、保水パネルとベニヤ板の温度差は一段と大きくなり、15℃以上の差を度々示した。これは秋に入って相対湿度が低下して蒸発が盛んになったこと、太陽高度が低下して、裏面への日射の影響が強まったことなどが重なって生じたものと考えられる。

次に、保水性パネルの温度変化特性が良く現れた事例と考えられる、2008年8月31日の24時間の変化を解析する。気温および相対湿度の測定結果は図-14に、壁面温度の測定結果を図-15に示す。

対照区のベニヤ板表面は14時10分に47.2℃の最高温度を記録した。その際の保水パネルの表面温度は31.3℃であり、温度差は15.9℃に達した。保水パネルと気温との差は5.7℃であった。なお、8月31日の保水パネルと気温との最大差は12時40分に生じ、気温が35.3℃に対して保水パネル表面温度は29.1℃であり、6.2℃の差となった。

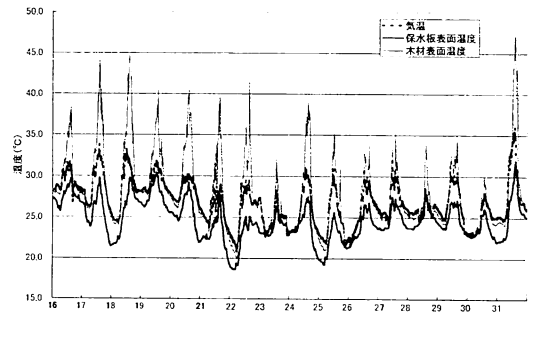


図-13 表面温度変化の比較 (2008年8月16～31日)

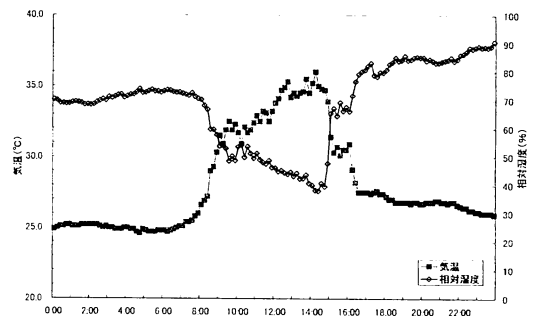


図-14 気温と相対湿度の変化 (2008年8月31日)

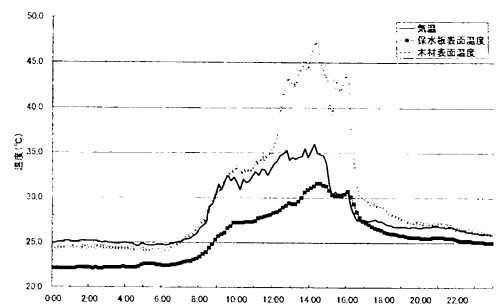


図-15 気温と表面温度変化の比較 (2008年8月31日)

以上の解析から、パネルと気温の温度差は相対湿度と密接な関係があることが示唆されたので、8月16日から31日までのデータから毎正時のデータのみを抽出し、それを温度上昇、下降の顕著な時間帯を除いた夜間（20時から4時）と昼間（10時から14時）に分けて、相対湿度と温度差（気温－パネル面温度）の関連性を調べた結果が図-16である。夜間、昼間ともに相対湿度との相関は高く、特に夜間に関しては決定係数が0.95以上となり、十分な精度で温度差が予測できる回帰式が得られた。回帰係数から、相対湿度が10%低下する度に、パネル面温度が0.92℃低下すると計算される。無通風時の乾湿計用湿度表¹²⁾から計算すると、20～30℃で中庸な湿度環境下で相対湿度10%の変化量に対する乾湿計差は、1.1～1.6℃程度となる。従ってこのパネルは、乾湿計で想定される、湿り面の理論上の最大蒸発量に対して、58～84%の蒸発を行っていると評価できる。

昼間の方がばらつきが大きく、かつ回帰式の傾き、切片ともに夜間とは異なる。これは昼間においては夜間よりも温度変化が激しく、かつ周囲からの放射の影響等によっても表面温度の変化が生じるためと考えられる。これに関しては今後、放射強度、絶対湿度差、飽差等との関連性を調べていくことにより、より詳細な特性が明らかになるものと考えられる。

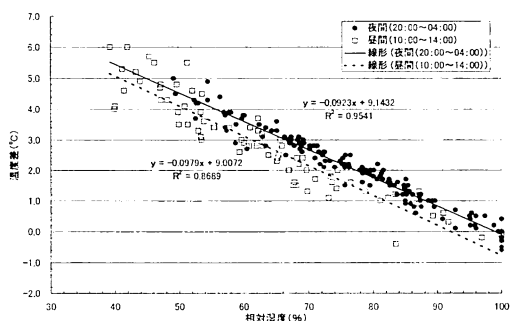


図-16 温度差（気温－パネル温度）と相対湿度の関係



写真-3 表面温度分布（2008年9月4日 12:30）

次に2008年9月4日12時30分に撮影したサーモグラフィ画像を写真-3に示す。放射率は0.95に設定して画像の作成を行った。保水パネル区内は様に低温化しており、温度のムラは少ない。写真-3の中で、壁面に平行な帯状の高温域が見えるが、これは保水

パネルの固定に用いたアルミニウム板の表面反射の影響によるもので、正確な温度を示していない。実際にはアルミニウム板は保水パネルとほぼ同じ温度となっていた。対照区のベニヤ板は、裏面からの日射の影響を受けて温度差が激しく、直射日光に当たる奥側の壁が顕著に高温化していることが分かる。

(4) アンケート調査結果

有効回答数は68件であった。うち男性は38人、女性は30人であった。年齢は4歳から67歳まで幅広い年齢層に渡る。温度差に関しては68名中、68名（100%）が対照区と比べて「冷たい」あるいは「温度差を感じる」と回答しており、100%の割合で体感温度に差が生じているという結果になった。感じる温度差は1.5℃から10.0℃まで大きくばらついており、個人差が大きい。

次に、アンケート実施時のPMV差、室温差、平均輻射温度差、壁温度差と、回答者が答えた体感温度差との関係を調べたが、いずれの相関分析結果から、有意な関連性は認められなかった。アンケート実施日別、男女別、年齢層別に相関分析を行っても統計的に有意な関連性は見出せなかったが、その中では、図-17のように平均輻射温度差との関連性が最も強く現れていた。これに関しては今後の検証が必要であるが、輻射冷房の最も特徴的な現象である、平均輻射温度の顕著な低減効果に体感が影響されている可能性は高いと考えられる。なお、今回の調査では、プールサイドでのアンケートという性格上、着衣量や肌の濡れ方が統一されていないなどの問題点があるため、今後調査条件を整えた上で、より厳密な検証調査を実施する必要がある。

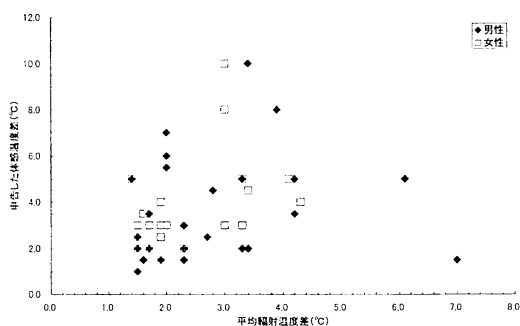


図-17 平均輻射温度差と体感温度差の関係

4. まとめ

以上の調査により、本実験に使用した保水性コンクリートパネルは、湿らせた状態で通気の良い日陰地に設置するという条件下で、以下のような特性を有することが分かった。

- ①相対湿度が100%に近い時間帯を除き、昼夜を問わず表面温度が気温よりも低くなる。
- ②夏季日中の最高気温時前後には、表面温度が気温

よりも最大で5~6℃程度低下する。

③盛夏の晴天日においても表面温度が30℃を超えることは稀で、人体表面を放射収支差によって冷却することが可能である。

④3方向の壁面と床面を保水パネルで覆うことによって、夏季晴天時のPMVを1.0~1.5程度低下させることができる。

⑤アンケート調査の結果、100%の人が対照区との温度差を感じると回答した。

⑥体感温度は個人差が大きく、1.5℃から10.0℃程度の温度差を感じていた。

これらの結果から、本実験に使用した保水性コンクリートパネルを用いて屋外輻射冷房として機能させることは可能であり、本実験のように、4方向を全てパネルで覆った場合にはPMVを1.0~1.5程度低下させ、温熱快適性を向上させることが可能になると考えられる。現実的には、これだけ多くの冷却面を有する屋外空間を造成することは困難であり、同等の効果が得られるのは限定された場所になるが、保水パネルの被覆面積が小さくても、一定の効果は得られる可能性がある。

体感には個人差が大きいが、水と僅かな電力のみを使用した、エネルギー使用量の小さな、効果の穏やかな冷房装置として活用できることが期待される。

また、降雨時などを除いて常に大気温度よりも低温であるという特性を生かして、都心部のヒートアイランド軽減装置としても有効に活用できるものと考えられる。

謝辞：本研究のために実験場所の提供並びに調査協力をいただいた、鳴尾浜臨海公園南区指定管理者、共同事業体鳴尾ウォーターワールドの皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 東京都環境局：ヒートアイランド対策ガイドライン、pp.11-20, 2005.
- 2) 萩原伸治他：保水性建材の蒸発性能に関する実験、日

本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.637-638, 2005.

- 3) 三坂育正, 成田健一：保水性舗装による都市暑熱環境緩和に関する研究—その 2—, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.639-640, 2005.
- 4) 唐沢明彦, 土田 保：建築物の熱環境に及ぼす軽量ポーラスコンクリート屋上緑化システムの効果, 日本緑化工学会誌 27 (1), pp.205-208, 2001.
- 5) 山田宏之他：軽量高保水性外装資材を用いた建物遮熱性の実証的研究, 環境システム研究論文集 Vol.34, pp.479-485, 2006.
- 6) 山田宏之他：高保水性外装資材による省エネルギー効果の実物大建物実験と解析, 環境システム研究論文集 Vol.36, pp.419-425, 2008.
- 7) Berry F.A. : Handbook of Meteorology, McGraw-Hill Book, pp.284-290, 1945.
- 8) American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering : ASHRAE HAND BOOK, pp.242-243, pp.491-499, 1995.
- 9) Fanger, P.O. : Thermal Comfort. Robert E.. Krieger Publishing Company, pp.1-85, 1982.
- 10) アオキ住建機材販売 (株) HP :
< <http://radiant-cooling.yukadanbou.co.jp/> > (2009.3.20 参照)
- 11) (株) トヨックスHP :
< <http://www.toyox.co.jp/fukusha/fukusha04.html> > (2009.3.20 参照)
- 12) 東京天文台：理科年表 第 48 冊, 丸善, pp.気 197-198, 1974.
- 13) 一ノ瀬俊明他：都市空間情報基盤不足地域における熱環境評価の試み, 環境システム研究論文集 Vol.35, pp.147-154, 2007.
- 14) 田中辰明：国際規格 ISO7730-適度な温熱環境・PMV と PDD 指標の決定と熱的快適条件の明細, 空気調和・衛生工学 61-3, pp.53-58, 1987.
- 15) 山田宏之：各種温熱環境指数を用いた夏季緑陰の温熱環境評価, ランドスケープ研究, 59(5), pp.65-68, 1996.
- 16) 山田宏之他：異なる地表面状態の屋外空間における夏季暑熱環境の評価, ランドスケープ研究 63-5, pp.543-546, 2000

EXPERIMENT AND ANALYSIS OF THE RADIANT COOLING EFFECT OF THE WATER HOLDING PROPERTY MATERIALS ON THE WALL

Hiroyuki YAMADA, Akinori TANAKA, Takao HINE, Yoshio OKUDA,
Takaharu ICHIRYU, Masahisa HARA and Yuuichi HADA

In this research, the outdoor radiant-cooling wall using the radiation flux difference between a human body and a water contain board was made as an experiment, and the outdoor survey and analysis of the improvement effect of thermal environment in half-release room were conducted. Next, the physical feeling questionnaire for a user was carried out. Those results were combined and the validity as cooling materials of outdoor summer heat environment was verified. The survey results of the summer in 2007 and 2008 showed the following.

1. Except for a time zone with the relative humidity near 100%, surface temperature becomes lower than air temperature all day and night.
2. Surface temperature falls about 5-6 degrees C from air temperature at the time of the maximum

temperature of summer daytime.

3. It is rare that surface temperature exceeds 30 degrees C also in the fine weather day of midsummer, and it is possible to cool the human body surface according to a radiation flux difference.

4. By covering the surface of a floor and the wall of three directions by a water contain board, at the time of summer fine weather PMV can be reduced about 1.0-1.5.

5. It was answered that 100% of people felt a difference of temperature with a contrast division room.

6. Individual difference of the effective temperature was large and the 1.5 to about 10.0 degrees C difference of temperature was felt.