

論文 日射に代えて赤外線を照射した場合のコンクリート表面の温度上昇

地濃 茂雄*

要旨: 室内温熱環境の視点から, 夏季, 日射を受ける躯体コンクリート表面の温度上昇に注目し, その抑制対策を探るための基礎的実験を行なった。まず夏季の躯体コンクリートの表面温度を計測し, 表面の温度上昇を確認した。次いで実験室レベルでの日射代替装置を試作し, その装置を用いて上記, 温度上昇の抑制を意図し作成した各種パネル(密度 2.20~0.57g/cm³)の抑制効果を比較し, 抑制効果の程度はパネルの密度に支配されることを見出した。また, 躯体コンクリートとパネルとの間に空気層を設けることや遮熱塗料をパネル面に塗布することなどで, コンクリート表面の温度上昇を抑制できることの可能性も明らかにした。

キーワード: 日射, 躯体コンクリートの表面温度, 室内温熱環境, 日射代替装置, パネル

1. はじめに

近年, コンクリート構造物の建設や地球温暖化などの諸要因により, 都市空間や室内空間の温熱環境の悪化が指摘されている^{1), 2)}。

こうしたことから, 屋上緑化工法の提案^{3), 4)} やその基盤となるポーラスコンクリート等の研究^{5), 6), 7)} もみられる。

本研究は室内温熱環境の視点から, 夏季, 日射を受ける躯体コンクリート表面の温度上昇に注目し, その抑制対策の糸口を探ることを目的として実験検討したものである。

すなわち, 実建物の日射を受ける躯体コンクリート表面の温度の経時変化を把握し, それに基づき実験室レベルでの日射代替装置を試作し, この装置を用いてコンクリート表面の温度上昇の抑制に関する 2, 3 の試行的な実験を行った。

ここで検討するデータは相対的なものであり, 室内温熱環境の改善への糸口の一つとして位置づけている。

以下, その経過と結果について述べる。

2. RC建物のコンクリート表面温度の実態

夏季の真夏日において, 躯体コンクリート表面の温度を放射温度計を用いて測定した。

測定結果の一部を図-1に示す。

これは屋外階段踊り場の仕上げのないコンクリートスラブでの結果である。

日射を受けた面の温度の経時変化は外気温のそれよりも高い温度を履歴し, 最高温度は13時頃には65°Cにも達している。

また日射を受けない裏側の面も, 40°C程度の温度履歴が観察される。

こうした現象は, 図-2に示した壁厚24cmの外壁面と内壁面(打放しコンクリートの車庫)の測定結果からもうかがえる。

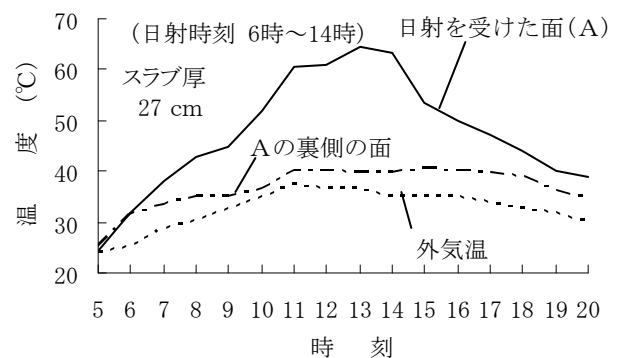


図-1 実態調査結果の一例(スラブ)

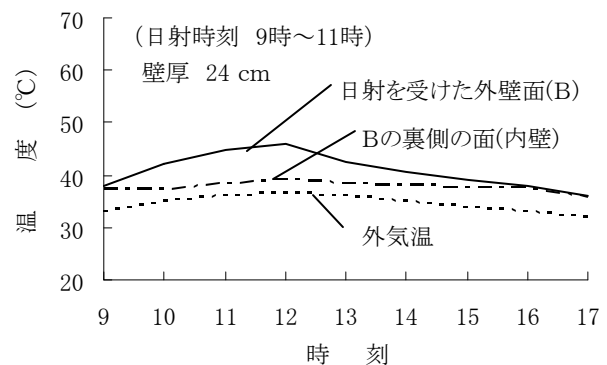


図-2 実態調査結果の一例(壁)

つまり, 日射熱の一部を吸収し躯体のコンクリート温度が上昇する。この熱による室内側への放熱が室内の温度を高めるものと考えられる。

3. 日射代替装置の検討

3.1 基本構想

前章の結果から考えると, 室内温熱環境の改善を図るための材料・工法の開発を行なうには, 日射代替装置が不可欠であろう。

* 新潟工科大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

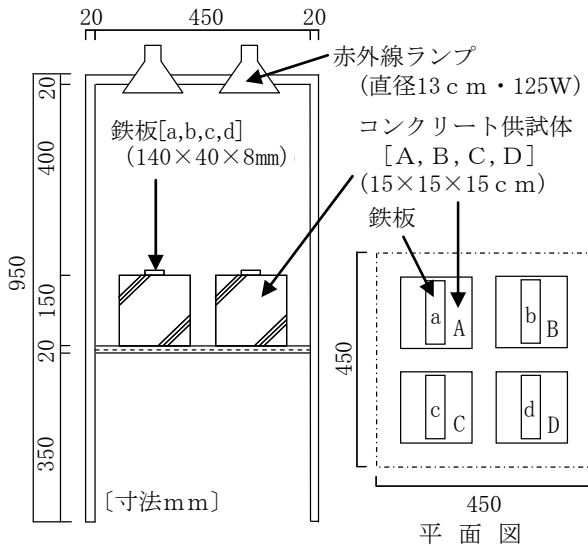


図-3 日射代替装置の試作(赤外線ランプの固定)

つまり、改善のための材料や工法の開発において、実建物サイズで実験研究することは容易ではなく、また夏季という限定された期間で、かつ日射の変動も多くなることが予想され合理的ではない。

そこで、実験室レベルで簡易に取り扱うことのできるコンクリート供試体(15×15×15 cm)表面に日射に類似する熱を均一に負荷し、また4つの供試体を同時に照射できるものを試作の基本構想とした。

いわば、この装置によってコンクリート供試体表面の温度上昇が相対的に評価できるものであれば良しとした。

3.2 日射代替装置の試作

前章の図-1、図-2の結果に基づき、コンクリート供試体表面温度の最高値が60℃程度となるような照射熱をコンクリート供試体に負荷することを考えた。

すなわち、一つの供試体に直径13 cm・125 Wの赤外線ランプ1個を図-3に示す架台に取り付けて、照射することとした。この場合、本装置によって4つの供試体の一面面に均一かつ同一の照射熱を与える必要がある。

そこでまず、コンクリート供試体上面に鉄板(図-3のa, b, c, d)を載せ、鉄板表面温度の経時変化が同一になるようにランプを架台に固定した。

鉄板表面温度の経時変化の結果を図-4に示す。

鉄板(a, b, c, d)間に最高2℃程度の差がみられる。これは照射距離(ランプ表面からコンクリート供試体表面までの距離)40 cmの場合の結果である。

この温度のばらつきを小さくするための照射距離を考えた。その結果を図-5に示す。

20 cmとした場合、照射120分後表面温度は57℃に達し、かつ供試体間の温度差は1℃となった。これより、照射距離は20 cmが適当であると判断した。

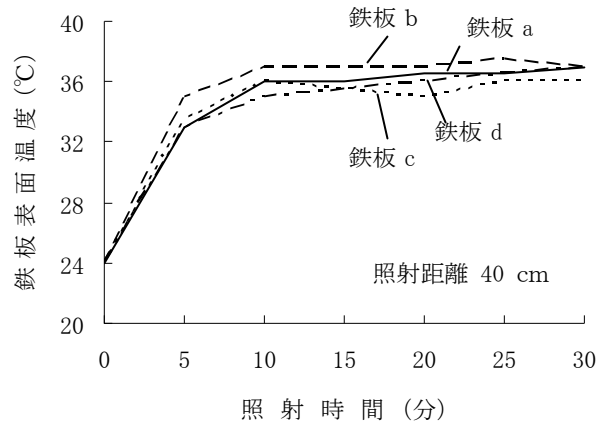


図-4 鉄板表面温度の経時変化

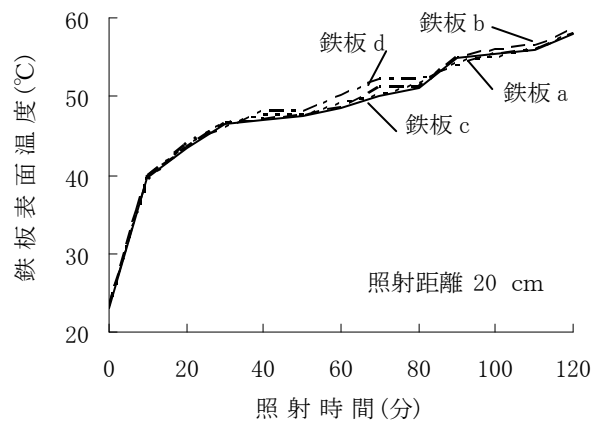


図-5 鉄板表面温度の経時変化

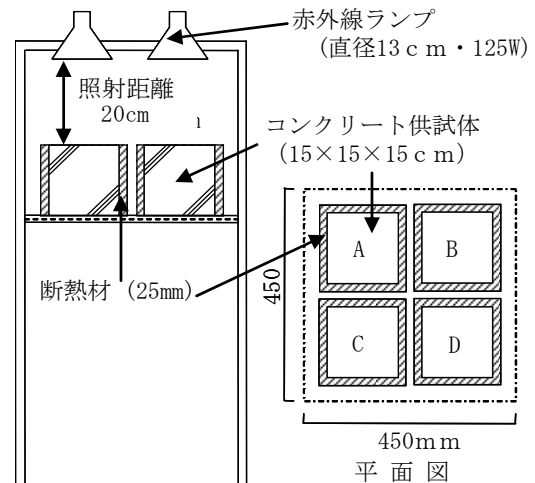


図-6 コンクリート供試体表面の温度測定の概要

コンクリート供試体表面の温度測定の概要を図-6に示す。すなわち、躯体コンクリート内の熱移動を考慮して、図中に示すようにコンクリート供試体の側面4面を、厚さ25 mmの発泡スチロール板(断熱材)で覆い、照射を受ける表面、その裏側面および室内の温度の経時変化を熱電対を用いて測定することとした。

表-1 コンクリート表面の温度上昇の抑制を意図し試作したパネル

パネル	使用材料 および 調合の概要	密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
S	川砂 (F.M. 2.71 密度 2.60g/cm ³) セメント:砂 1:2.2 水セメント比 50%	2.20	40
K10	川砂利 (15~5mm F.M. 6.20 密度 2.60g/cm ³) 高性減水剤使用 水セメント比 25% 目標空隙率 10%	2.17	25
K20	材料および水セメント比は(同上) ただし目標空隙率 20%	1.92	12
K30	材料および水セメント比は(同上) ただし目標空隙率 30%	1.74	8
G25	川砂 (F.M. 2.71 密度 2.60g/cm ³) ガラスカレット (F.M. 4.05 密度 2.40g/cm ³) 水セメント比 50% 川砂の容積に対する代替率 25%	2.07	33
G50	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 50%	2.06	34
G75	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 75%	2.02	30
G100	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 100%	1.98	32
T25	川砂 (同上) タイヤチップ (F.M. 4.92 密度 1.05g/cm ³) 水セメント比 50% 川砂の容積に対する代替率 25%	1.92	20
T50	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 50%	1.95	10
T75	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 75%	1.52	8
T100	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 100%	1.38	4
P25	川砂 (同上) ペットボトルチップ (F.M. 5.40 密度 0.96g/cm ³) 水セメント比 50% 川砂の容積に対する代替率 25%	1.89	21
P50	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 50%	1.31	7
P75	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 75%	0.77	0.8
P100	材料および水セメント比は(同上) ただし川砂の容積に対する代替率 100%	0.57	0.3

[共通] セメントは普通セメント(密度 3.14g/cm³) パネルは気中生材齢 28日

4. コンクリート表面の温度上昇の抑制に関する2,3の試行的実験

4.1 基本構想

室内温熱環境の改善を図るために屋上に植栽する材料・工法も広く普及しているが、本研究では日射を受ける躯体コンクリート表面にセメント硬化体パネルを設置することで温度上昇を抑制できるものと考えた。

すなわち、物質や材料の熱的特性⁸⁾を鑑み、密度の小さいパネルを供すること、また、躯体コンクリートとパネルとの間に空気層を設けること、パネル面に遮熱塗料を塗布すること、パネルに散水すること、こうした材料・工法からコンクリート表面の温度上昇を抑制できることを期待した。

なお、パネルの作成には、産業廃棄物の再利用も考慮して細骨材としての材料を選定することとした。

4.2 実験概要

基本構想に基づき、実験した項目の概要を図-7に示す。

コンクリート供試体は、一般的な躯体コンクリートに類似させた普通コンクリート(密度 2.3g/cm³, 圧縮強度 21N/mm²)である。

図中のパネルSとは川砂モルタルで、各種パネルとはポーラスコンクリート、産業廃棄物を加工したガラスカレット

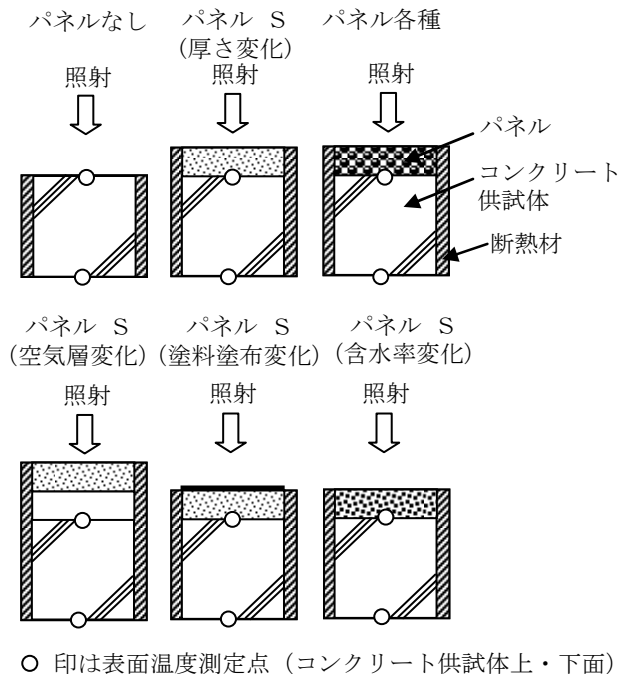


図-7 実験項目の概要

ト、タイヤチップ、ペットボトルチップを細骨材として試作したパネルである。

特に、ポーラスコンクリートは空隙率を変えたもの、ガ

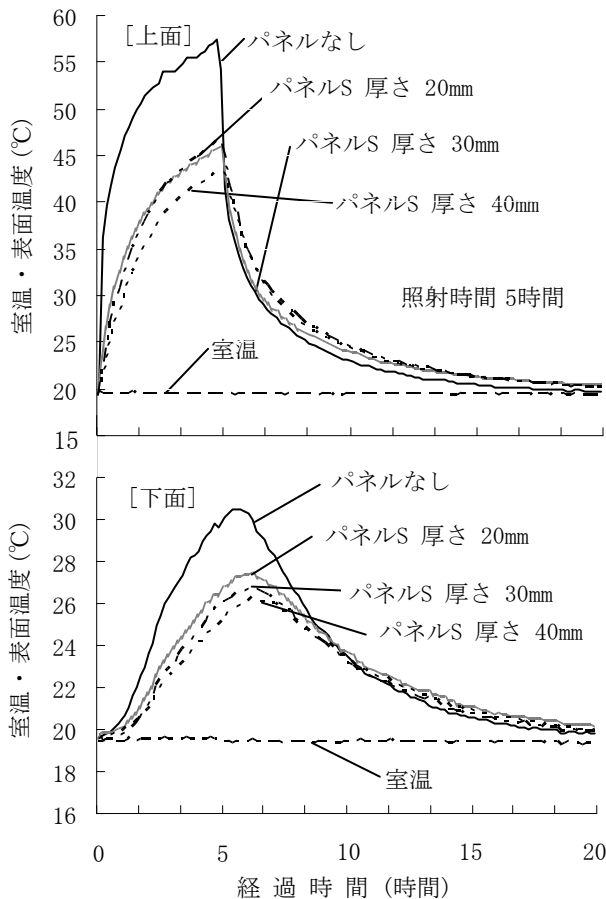


図-8 コンクリート供試体上・下面の温度の経時変化

ラスカレット、タイヤチップ、ペットボトルチップを用いたモルタルでは、川砂の容積に対する代替率を変化させて、パネルの密度を広範囲なものとした。

コンクリート表面の温度上昇の抑制を意図し試作したパネルの使用材料および調合の概要、品質を表-1に示す。

このほか、コンクリート供試体とパネルSとの間に空気層を設けた場合、パネルS表面に既製品の遮熱塗料[合成樹脂(黒、白)、アクリルシリコン(黒、白)、アクリルポリオール(黒、白)]を塗布した場合、散水を想定して、パネルSの含水率を変化させた場合の実験も行った。

いずれも、恒温室内(室温 20°C±1°C)でコンクリート供試体表面の温度の経時変化を測定した。

なお、照射時間を5時間とし、その後は室内に放置して温度計測を継続した。

4.3 実験結果と検討

(1) パネル厚さからの検討

まず、パネルなしとパネルSの厚さ20mm、30mm、40mmについて実験した。

経時変化の概況を図-8に示す。

概してパネルの厚さによる抑制効果が認められる。

以下の実験ではパネル厚さ40mmとして、また抑制効果を検討するにはコンクリート供試体下面の温度が室内温度に影響を与えるものと考え、以下の実験結果では、その

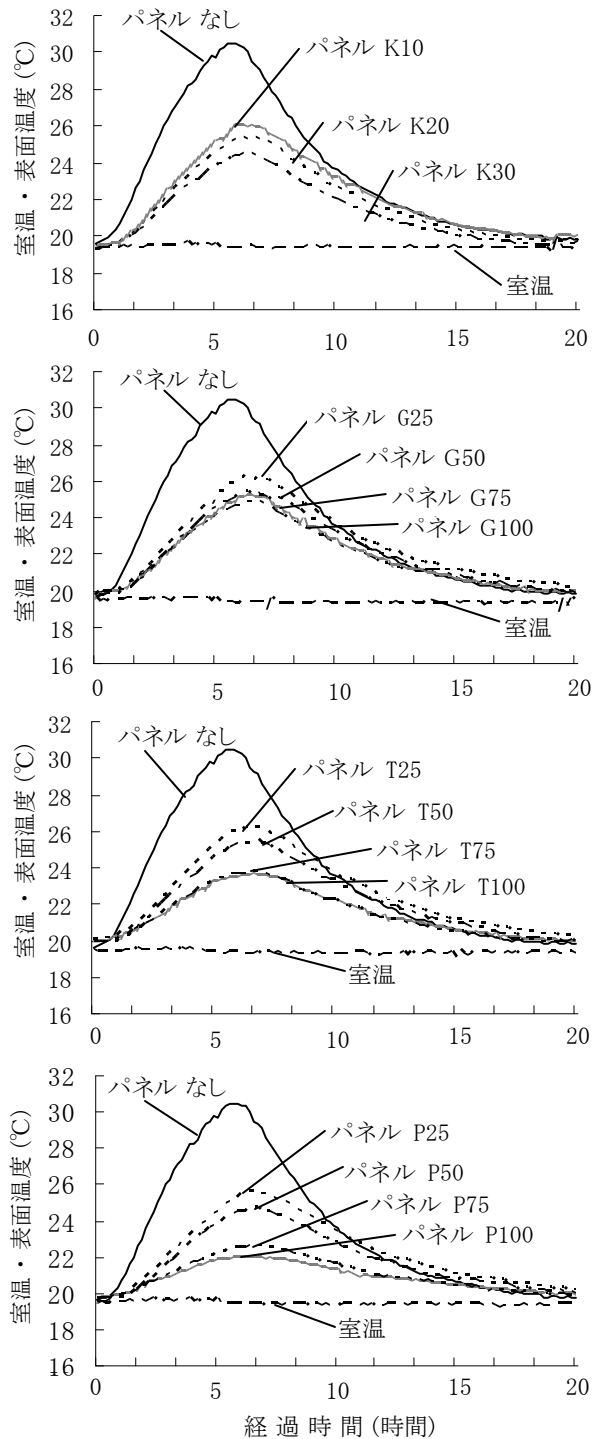


図-9 コンクリート供試体下面の温度の経時変化

下面の温度の経時変化を記載することとした。

(2) 各種パネルからの検討

測定結果を図-9に示す。

パネルを設置することで、いずれも、パネルなしの高温履歴に比べて小さく、抑制効果が図れることがわかる。

相対的にみて、ポーラスコンクリートでは、空隙率が大きいものほど、またその他のパネルでは、川砂の代替率が大きいものほど抑制効果が大きい。こうしたことの詳細な検討は、後の4.4で述べることにした。

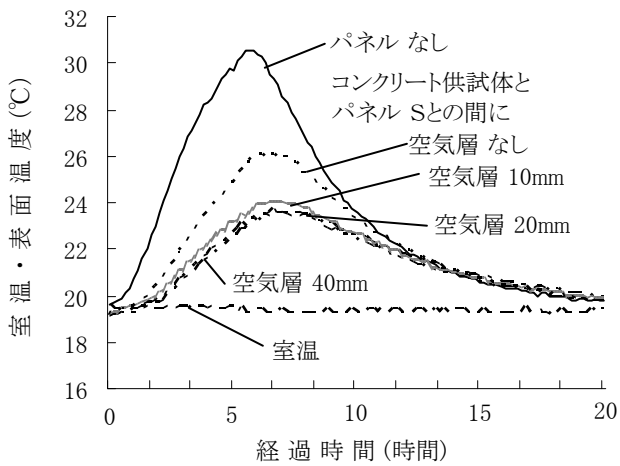


図-10 コンクリート供試体下面の温度の経時変化

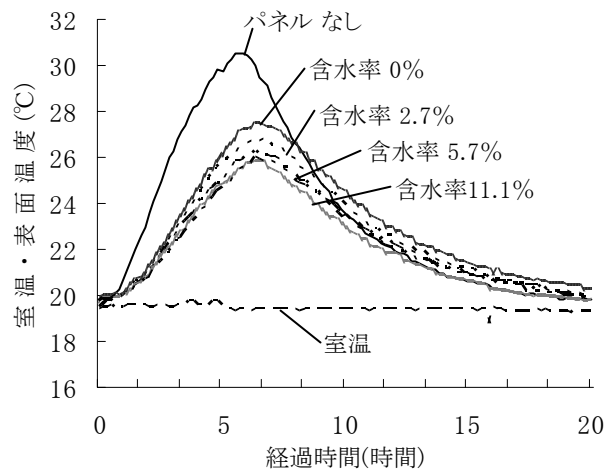


図-12 コンクリート供試体下面の温度の経時変化

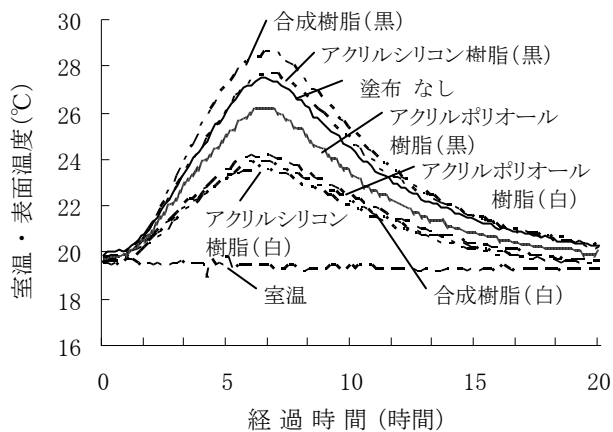


図-11 コンクリート供試体下面の温度の経時変化

(3) 空気層からの検討

測定結果を図-10 に示す。

空気層を設けることで抑制効果が認められる。ただし、空気層 20mm と 40mm との間には大差はみられない。

(4) 遮熱塗料からの検討

測定結果を図-11 に示す。

実験に供した合成樹脂(黒)やアクリルシリコン樹脂(黒)を塗布したものは、塗布なしのものに比べ、高い温度を履歴している。

これに対して、(白)の各種樹脂では抑制効果が認められ、概して明度にも影響されていることがわかる。

(5) 含水率からの検討

測定結果を図-12 に示す。

含水率が大きいものほど、抑制効果があり、気化熱によるものと考えられる。

4.4 抑制効果の比較と定性的傾向

抑制効果を比較するための一指標として、コンクリート供試体下面の最高温度のほか、コンクリート供試体下面の温度の経時変化曲線と室温の経時変化曲線に囲まれる面積(積分値)から検討した。

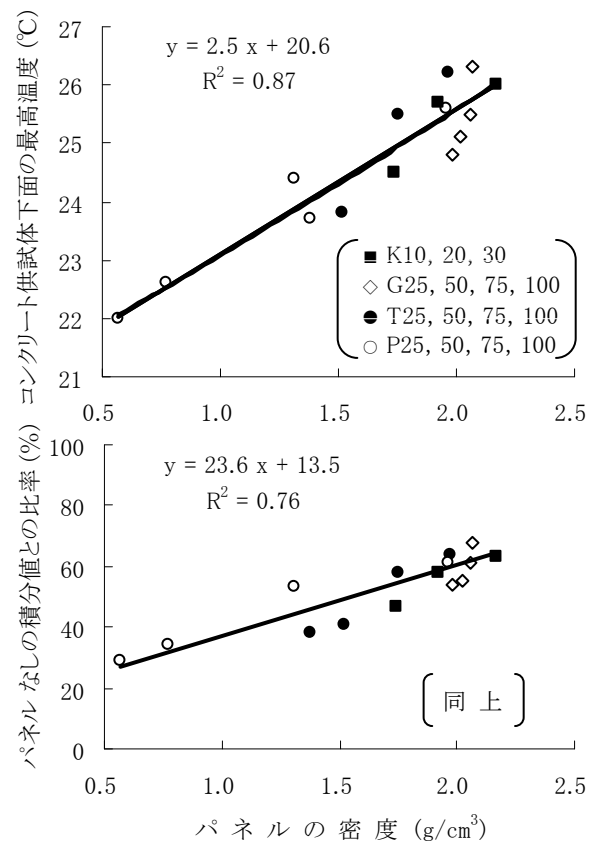


図-13 パネルの密度からみた抑制効果の定性的傾向

パネルの密度と両者との関係の結果を図-13 に示す。

いずれも相関性が認められ、パネルの密度に抑制効果の程度が支配されていることがわかる

同様に遮熱塗料の抑制効果を比較した結果を表-2 に示し、含水の抑制効果の結果を表-3 に示す。

こうした一指標によって、相対的に抑制効果の程度の評価が可能となる。

よって、試作した日射代替装置とその手法により、躯体コンクリート表面の温度上昇を抑制するための材料・工法の開発への糸口がつかめるものと考えられる。

表-2 抑制効果の比較 (パネルSに遮熱塗料)

樹脂	コンクリート 供試体下面の 最高温度(℃)	パネルなしの 積分值との 比較(%)
塗布なし	27.5	76.8
合成(黒)	28.6	92.8
アクリルシリコン(黒)	27.3	80.1
アクリルポリオール(黒)	26.1	63.1
合成(白)	24.2	46.7
アクリルシリコン(白)	23.7	43.4
アクリルポリオール(白)	24.0	49.9

表-3 含水と遮熱効果 (パネルS)

含水率(%)	コンクリート 供試体下面の 最高温度(℃)	パネルなしの 積分值との 比較(%)
0	27.5	76.8
2.7	26.9	72.4
5.7	26.0	63.4
11.1	25.8	60.2

含水率0%は、パネルSを乾燥器で絶験

5. まとめ

室内温熱環境の視点から、夏季、日射を受ける躯体コンクリート表面の温度上昇に注目し、その抑制対策の糸口を探ることを目的とした本実験研究の結果をまとめると以下のようなになる。

(1) 夏季の躯体コンクリート表面の温度を計測し、日射を受けた面とその裏側面のコンクリート表面の温度上昇を確認した。

(2) 上述の現象と実態に基づいて、赤外線照射によって、コンクリート表面の温度上昇が容易に把握できる実験室レベルの装置を試作した。

(3) 温度上昇の抑制対策の一つとして、躯体コンクリート表面にパネルを設置することの考えの下に、上述の装置を用い、コンクリート表面の温度上昇の抑制を意図し試作したポーラスコンクリートパネル、また産業廃棄物の再利用の観点から、細骨材として選定したガラスカレット、タイヤチップ、ペットボトルチップを混入したモルタルパネルにおいて、その抑制効果を比較し、抑制効果の程度はパネルの密度に支配される定性的傾向を見出した。

(4) 上述のほか、コンクリートとパネルとの間に空気層を設ける場合やパネルに遮熱塗料を塗布する場合、また、パネルに含水させる場合の抑制効果も確認した。

(5) 抑制効果を比較するための一指標として、コンクリート下面の温度の最高値や下面の温度の経時変化曲線と室温の経時変化曲線に囲まれる面積(積分值)も検討に値する。

実験を進めるにあたり、石田勇司君・後藤大亮君・本田優

太君・井上健太郎君・菊地奨君(新潟工科大学地濃研究室卒業研究生)の協力を得た。

ここに付記して謝辞を表す。

参考文献

- 1) 齋藤武雄 著：ヒートアイランド・灼熱化する巨大都市，講談社，1997
- 2) 尾島俊雄 著：ヒートアイランド，東洋経済新報社，2002
- 3) 堀口 剛：多孔質基盤を持つ屋上植栽システムの開発とその熱環境調整効果，東京工業大学博士論文，pp.1-176，1997.3
- 4) 玉井元治ほか：連続空隙を有するポーラスコンクリートを用いた緑化に関する研究，コンクリート工学年次論文集，vol15，No.1，pp.37-42，1993.9
- 5) 柳橋邦生ほか：緑化コンクリートの研究および施工，コンクリート工学年次論文集，vol16，No.1，pp.871-876，1994.9
- 6) 松川徹ほか：連続空隙を有する緑化コンクリートの配合と空隙に関する研究，自然緩急との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集，pp.25-30，1995.11
- 7) 吉森和人ほか：植生ポーラスコンクリートの製造と耐久性に関する実験的研究，自然緩急との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集，pp.39-46，1995.11
- 8) 三浦昌生 著：建築環境工学，森北出版，2006