

蒸暑地域沖縄におけるRC造屋根の温熱環境に関する研究：新屋根素材炭酸カルシウムと水冷効果の比較実験

伊是名, 久 / 朴, 賛弼 / IZENA, Hisashi / PARK, Chanpil

(出版者 / Publisher)

法政大学理工学部・生命科学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学理工学部・生命科学部・デザイン工学部研究集報 / 法政大学理工学部・生命科学部・デザイン工学部研究集報

(巻 / Volume)

48

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2012-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00009004>

蒸暑地域沖縄におけるRC造屋根の温熱環境に関する研究

- 新屋根素材炭酸カルシウムと水冷効果の比較実験 -

STUDY A THERMAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT BY SOLAR INSULATING
OF THE RC CONSTRUCTION ROOF IN OKINAWA ON HOT AND HUMID AREA
Comparison between new roof material calcium carbonate and water-cooled effect experiment

朴賛弼* 伊是名久**
Chanpil PARK*, Hisashi IZENA**

The purpose of this study is to find out the effect of thermal environmental improvement by solar insulating on the RC construction in Okinawa. Insulating paint becomes the insulating material of the temperature. The paint is a wall surface and the roof surface, setting is simple. It could be proposed as a good system which improved the indoor thermal environment on the existent houses. I compare the water save the cooling effect of the roof this time with the sprinkling. I want to clarify the effect. Water save, and there is a large number of presentation of the results of the study about the sprinkling effect. It is revealed that I lower load of the heat on the roof of the building.

The paint which I used together with heat cover block from this experiment is effective. Water save and the sprinkling are heat cover block and about the same performance the water which they expected by water-cooled action. It became clear by this experiment. Water has enough, and calcium carbonate which is new material is a weak point of the sprinklings. It is the root materials that can overcome hygiene and maintenance.

Keywords: RC construction, puddle, Sprinkling, Carbonic acid calcium pellet, Tin, Insulating paint,
Flat roof, Thermal environmental improvement, Insulating material roof

RC造、水貯め、散水、炭酸カルシウムペレット、トタン、塗料、陸屋根、温熱環境改善、遮熱屋根

1. はじめに

沖縄では90%がRC造でありながら陸屋根が多い。このRC造住宅は、屋根から受ける強い日射によって日中はコンクリートに蓄熱し、夜間にそれを放射して室内気温、特に天井裏気温の上昇を招き、温熱環境を劣悪なものにしている。躯体の鉄筋コンクリートを沖縄の風土にいかにより合わせるかという点をメインテーマに置き、提案をしたい。すなわち、「遮熱」が大きなカギである。本研究では日射遮熱屋根の比較実験を行い、建物にかかる負荷をどの程度改善できるかを追及したものである。

前回の研究論文¹⁾では2010年6月10日から同年9月30日までに、同じ屋根の上に、「屋上緑化」、「ブロック塗料」、「ブロック炭酸カルシウム」、「ソーラーパネル」、「塗料」、「無設置」の実験を行い、遮熱材の効果について明確にした。前回の実験では「ブロック炭酸カルシウム」と「塗料」が遮熱効果を得たことから注目し、今回は屋根の冷却効果となる水貯めや散水と比較しその効果を明らかにしたい。水貯めや散水効果については多数の研究発表があり、暑い地域での建物の屋根には熱の負荷を小さくすることが明らかになっている。しかし、水貯めには衛生問題、散水は水やりのメンテナンス

問題など課題が多く、実用化されていないのが現実である。そこで、考えたのが新素材である炭酸カルシウムペレットブロック²⁾である。炭酸カルシウムペレットは沖縄の浄水場の施設で硬度低減処理の段階に排出される副産物で、主成分は炭酸カルシウムである。これは水冷効果の素材である水の問題を解決できる水の代わりに屋根材として期待できる。

その他に、塗料と空気層の効果も注目した。前回の実験では「ソーラーパネル」は表面温度が高いが、空気層があることか

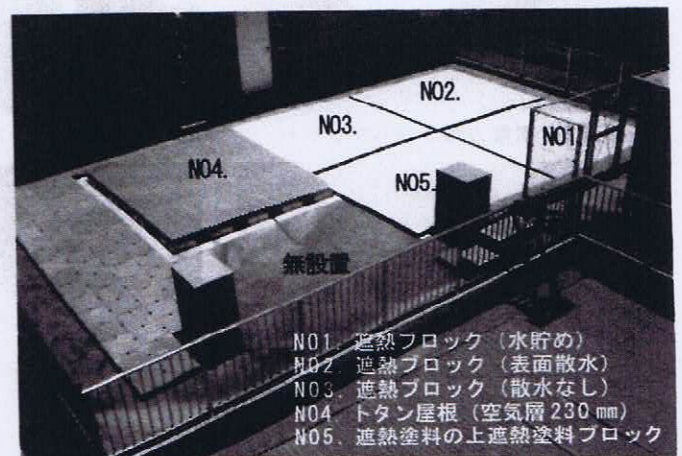


写真1. 遮熱屋根の実験（沖縄県糸満市）

* 法政大学デザイン工学部建築学科

** 株式会社伊是名ブロック工業代表取締役

ら屋根表面温度ではいい結果となっている。また、遮熱塗料も案の定のいい結果であった。このような前回の実験を踏まえて、「ソーラーパネル」の代わりに手軽いトタン屋根にした。なお、その下には遮熱塗料を塗布した。

本研究は日射遮熱によって実験対象の室内温熱環境をどの程度改善できるかを実験によって明らかにすることである。また本研究の結果による室内環境の改善が実証されることにより、冷房機器の使用にかかるエネルギー量の節約や二酸化炭素の削減へとつながる。

2. 実験概要

2-1. 温度測定

実験は沖縄では暑くて日射量が多い2011年6月10日から2011年9月30日の期間に行われた。本実験は沖縄県糸満市にあるRC造の陸屋根の1階の屋根にて行われた。同じ屋根に無設置、遮熱ブロック（遮蔽ブロック上炭酸カルシウムペレット）の下に水貯め、遮熱ブロックの（遮蔽ブロック上炭酸カルシウムペレット）上に表面散水、遮熱ブロック（遮蔽ブロック上炭酸カルシウムペレット）表面散水なし、トタン屋根の下には空気層 230 mm、遮熱塗料の上に表層遮熱塗料ブロックを分けて設置した。以上実験項目を水貯め、散水、遮熱、トタン、塗料と呼ぶ。温度測定は熱電対型デジタル温度記録計（横河電機製 DAQ STATION）を使用した。

各実験体に対して垂直温熱負荷を知るために、測定ポイント

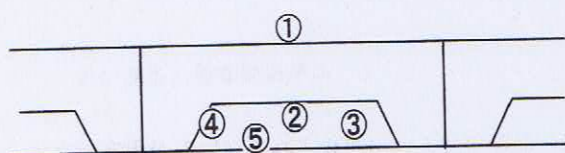


図1. 測定ポイント

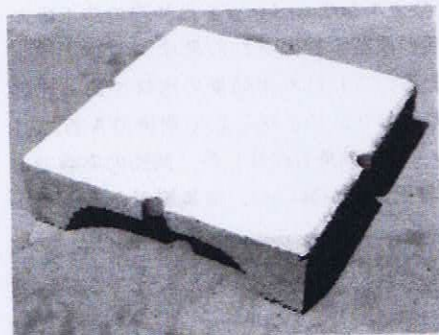


写真2. 炭酸カルシウムペレット

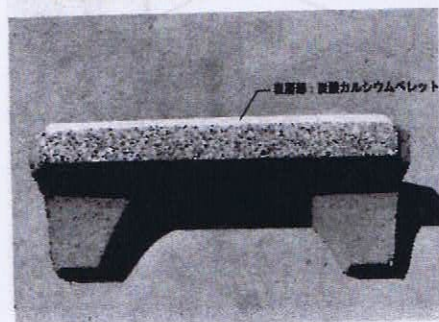


写真3. 炭酸カルシウムペレット断面

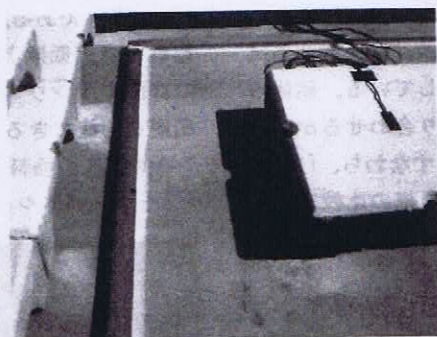


写真4. 水貯め実験



写真5. 散水の様子



写真6. 水量計



写真7. トタンの下空気層 230 mm

トは試験体表面温度、試験体裏面温度、空気層温度、ブロックの足温度、屋根表面温度にした。実験場所の西側に百葉箱を設置し、外気温とグローブ温度を測定した。

3. 各試験体における 14 時の散布図の比較

3-1. 試験体表面温度

夏場の約100日間の14時における屋根表面温度の平均は無設置が43.5℃、水貯め37.5℃で、散水38.3℃、遮熱37.2℃、トタン40.2℃、塗料36.1℃であった。遮熱と塗料が散水より表面温度が低いのは興味深い。

図2は外気温を基準にして、各試験体の表面温度を引いた温度差を表す。各試験体は同じ回帰直線になっている。回帰直線の傾きは塗料、遮熱・水貯め、散水、トタン、無設置という順に小さくなっている。すなわち、外気温との差が小さく、屋根には熱の負荷が少ないことである。

日射量が多い25 (MJ/m²・day) の時に外気温との差は水貯め6.2℃で、散水7.5℃、遮熱6.2℃、トタン9.5℃、塗料5.0℃であった。この結果では塗料が一番いい結果となった。

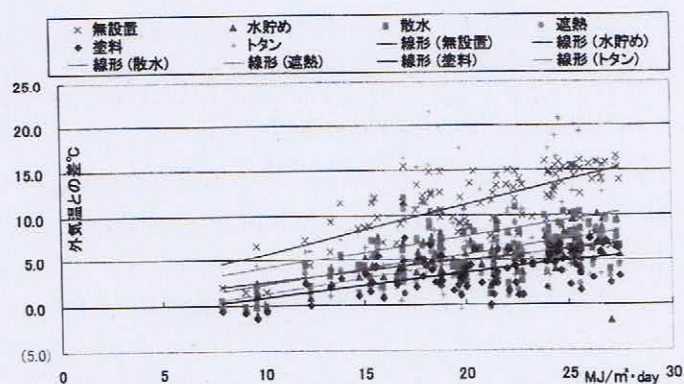


図2. 14 時の屋根表面温度散布図

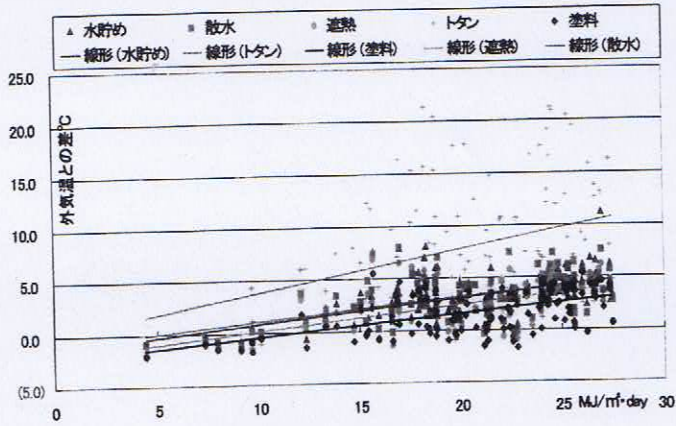


図3. 14時の試験体表面温度散布図

3-2. 試験体表面温度

試験体表面温度の平均は水貯め 35.6℃で、散水 35.7℃、遮熱 34.9℃、トタン 40.3℃、塗料 34.1℃であった。トタンを除いて各試験体は表面温度より低くなっているが、トタンだけむしろ 0.1℃高くなっている。図3から各試験体は同じ回帰直線になっている中で、トタンだけ勾配が大きくなっている。これは、他の試験体は遮熱ブロックの厚みによる熱抵抗を表す。回帰直線の傾きは塗料、遮熱、水貯め・散水、トタンという順に小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は水貯め 3.2℃で、散水 3.3℃、遮熱 2.6℃、トタン 8.0℃、塗料 1.7℃であった。

3-3. 空気層温度

空気層温度の平均は水貯め 33.0℃で、散水 32.5℃、遮熱 33.0℃、トタン 32.8℃、塗料 32.3℃であった。トタンは試験体表面温度が高かったが、空気層では約 7℃も低くなっている。そして、空気層では各試験体の温度の高低差が 0.7℃しかないことは空気層の遮熱効果がよくわかる。図4から各試験体はほぼ同じ回帰直線になっている。この中でも回帰直線の傾きは塗料、散水、トタン、遮熱・水貯めという順に小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は水貯め 0.7℃で、散水 0.2℃、遮熱 0.7℃、トタン 0.5℃、塗料 0.0℃であった。

3-4. 試験体足温度

試験体足温度の平均は水貯め 31.5℃で、散水 31.8℃、遮熱

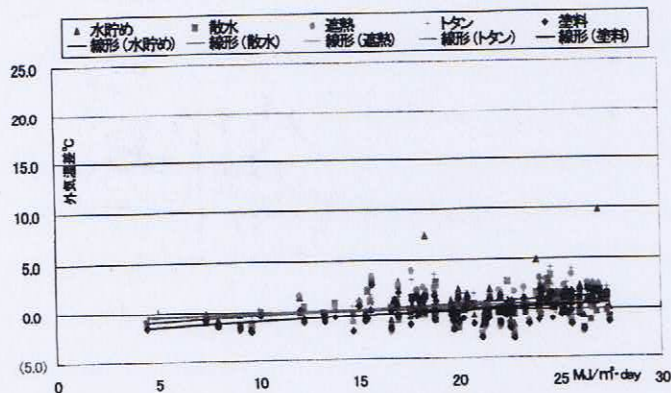


図4. 14時の空気層温度の散布図

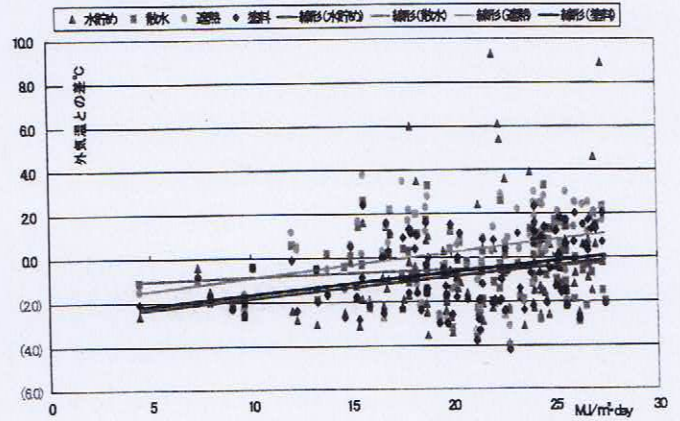


図5. 14時の試験体足温度散布図

32.6℃、塗料 31.7℃であった。足の測定は、トタンは他の試験体と条件が違うため除いた。ここでは水貯めが一番低く、遮熱が一番高くなっているが、その差はわずか 1.1℃である。やはり水からの影響であろうが、屋根表面に遮熱塗料を塗布した結果も悪くはない。水貯めより 0.2℃高いが、散水より 0.1℃低い。

図5から各試験体は同じ回帰直線になっている中で、傾きは水貯め、散水、塗料、遮熱という順に小さくなっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は水貯め -0.2℃で、散水 -0.2℃、塗料 -0.1℃、遮熱 +0.9℃であった。このデータからは同じブロックでも炭酸カルシウムの遮熱ブロックが熱伝導が一番大きいことで、今後熱伝導を抑えればもっと低くすることが可能である。

3-5. 屋根スラブ表面温度

屋根表面温度の平均は無設置は 43.9℃、水貯め 30.9℃で、散水 31.4℃、遮熱 31.5℃、トタン 31.9℃、塗料 31.1℃であった。一番良い結果になったのは水貯めで、一番高くなったのはトタンであるが、その差はわずか 1℃である。しかし、遮熱屋根の有無によって屋根表面温度は 12℃～13℃の差があることは温熱環境から見てかなり大きい。図6から無設置を除いて各試験体はほぼ同じ回帰直線で外気温の下向きになっている。日射量が多い 25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は水貯め -1.5℃で、散水 -0.9℃、遮熱 -0.9℃、トタン -0.5℃、塗料 -1.3℃であった。

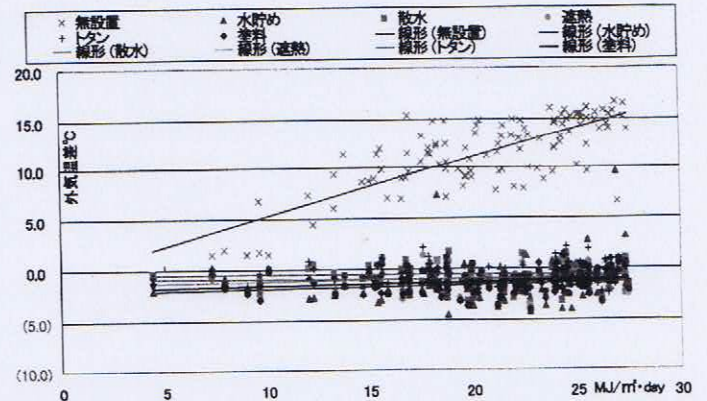


図6. 14時の屋根表面温度散布図

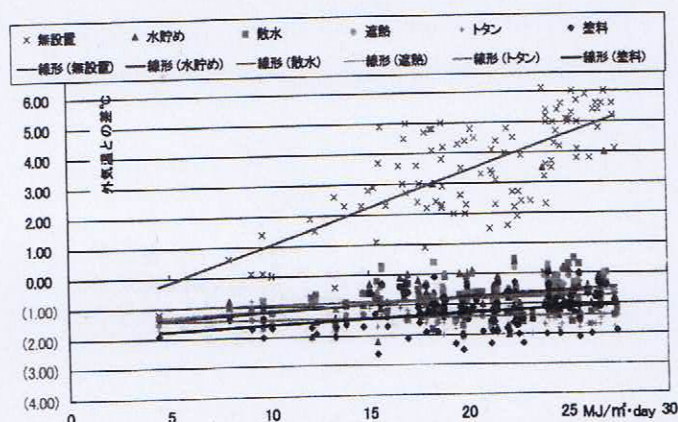


図7. 20時の試験体表面温度散布図

4. 各試験体における 20 時の散布図の比較

4-1. 試験体表面温度

図7は20時における各試験体表面温度の比較である。最も外気温との温度差が大きかったのは無設置である。日射量が多い25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の場合、無設置は外気温より+4.6℃高くなっている。一方、水貯め-0.5℃、遮熱-0.6℃、散水-0.7℃、塗料-1.1℃、トタン-1.3℃低くなっている。この結果から日没でも無設置と各試験体の表面温度は約5℃以上の差が出た。この5℃の高温は熱量が多い無設置のRC造にはタイムラグ (time lag) が長くなり放熱が続き、室内温熱環境を悪化するもとになる。一方、他の試験体は外気温とその差が小さく、RC造のタイムラグが短くなる。放熱が少なくなり、室内温熱環境を良くすると思われる。

この時間帯ではトタンが一番良い結果になっている。これは空気層によってトタン材が早く冷めたことである。次は塗料で、水貯めと散水、遮熱はほぼ同じである。

4-2. 試験体裏面温度

図8から各試験体はすべて表面温度と同じく外気温より低くなっている。日射量が多い25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の場合、水貯め・遮熱-0.5℃、散水-0.6℃、塗料-0.9℃、トタン-1.5℃低くなっている。

やはり裏面温度は試験体表面温度とほぼ同じになっていることが明らかであるが、トタンが一番低く、次は塗料である。

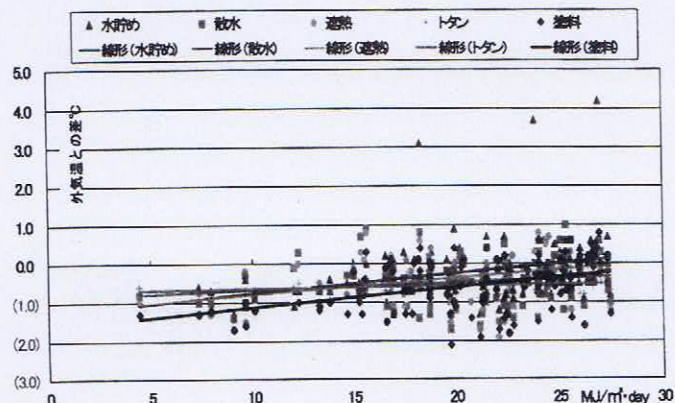


図9. 20時の試験体空気層温度散布図

そして、水貯めと散水、遮熱はほぼ同じになっている。

4-3. 空気層温度

図9から日中一番高温である時間帯でも空気層はそれほど温度差が少ない。14時においても日射量が多い25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との温度差が最も大きかったのは0.7℃高い水貯めと遮熱となった。次はトタンが0.5℃、散水0.2℃、塗料が0℃の順に外気温との温度差は少なくなっていく。しかし、20時の日射量が25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の場合、水貯めは外気温と等しい。他の試験体は外気温との温度差をマイナスに保っている。その温度差は遮熱-0.2℃、散水・塗料-0.4℃、トタン-0.5℃となっている。

4-4. 試験体足温度

試験体足温度の平均は水貯め29.3℃で、散水29.6℃、遮熱30.3℃、塗料30.3℃であった。ここでは14時と同じく水貯めが一番低く、遮熱が一番高くなっているが、その差はわずか1.0℃である。図10から各試験体は同じ回帰直線になっている中で、傾きは水貯め、散水、塗料、遮熱という順に小さくなっている。日射量が多い25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は水貯め-1.1℃で、散水-0.8℃、塗料-0.2℃、遮熱+0.1℃であった。このデータからは14時と全く同じ結果となっていることから炭酸カルシウムの遮熱ブロックの熱伝導である。

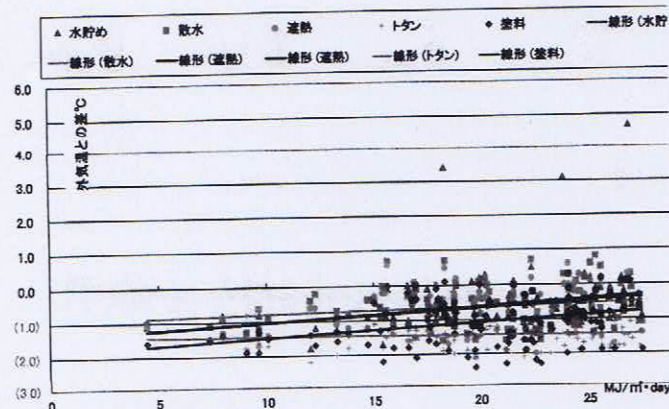


図8. 20時の試験体裏面温度散布図

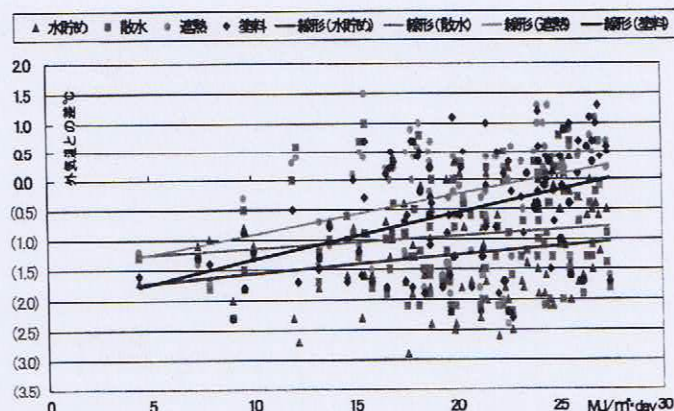


図10. 20時の試験体足温度散布図

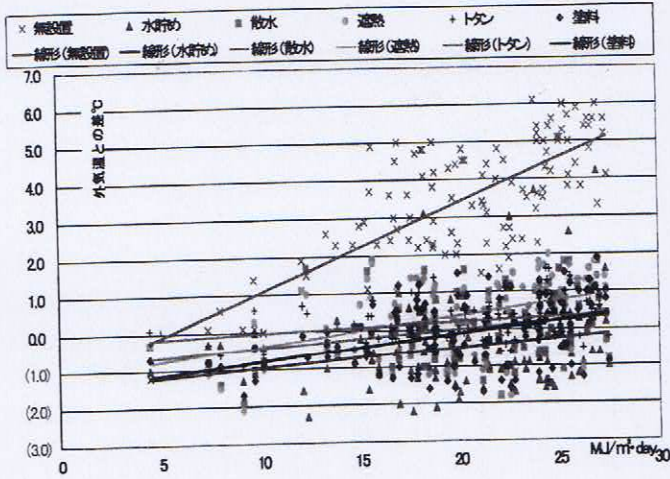


図11. 20時の屋根表面温度散布図

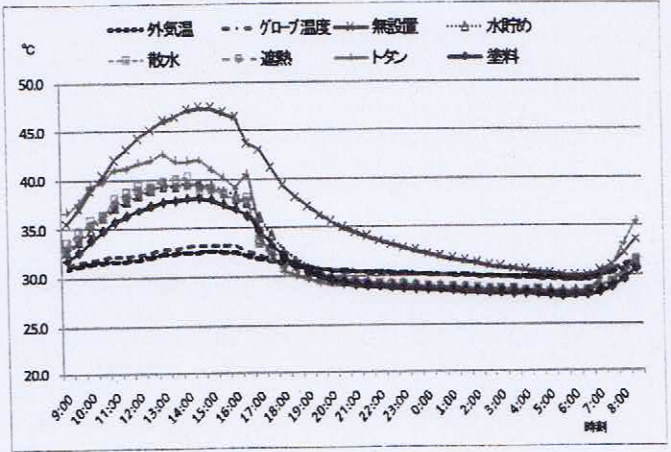


図12. 一日中の試験体表面平均温度の変化

4-5. 屋根スラブ表面温度

屋根表面温度の平均は無設置は34.1℃、水貯め30.1℃で、散水30.6℃、遮熱31.0℃、トタン30.8℃、塗料30.5℃であった。一番良い結果になったのは水貯めで、一番高くなったのは遮熱であるが、その差はわずか0.9℃である。しかし、遮熱屋根の有無によって日没後も屋根表面温度は3℃～4℃の差があることは温熱環境から見て大きい。図11から日射量が多い25 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) の時に外気温との差は無設置+4.5℃、水貯め-0.2℃で、散水+0.2℃、遮熱+0.7℃、トタン+0.3℃、塗料+0.2℃であった。これは、すべての試験体は図6の14時より高くなっていることは、コンクリートの熱容量が大きいタイムラグ (time lag) の影響である。14時の場合、すべての試験体は外気温より低い。

5. 日射量が多い日の24時間の各試験体温度変化

実験期間中に日射量が多い日 (日射量が $25\text{MJ}/\text{m}^2$ 以上) を記録した日の中で各試験体の温度変化を15日間の時間別平均温度をそれぞれ24時間のグラフにした。

5-1. 試験体表面温度

図12からは14時の外気温32.5℃、グローブ温度33.2℃であった。このときの無設置は最も高温で、47.1℃を測定した。その他、トタン41.8℃、散水40.2℃、水貯め39.5℃、遮熱39.4℃、塗料38.0℃になっている。無設置の場合、外気温より約15℃高いが、各試験体の表面温度は約9℃～5.5℃高くなっている。従って、設置と無設置の表面温度差は約6℃～9.5℃である。

無設置は一日中外気温より高くなっている一方、すべての試験体は半日以上外気温より低くなっている。低くなっている時間帯は夕方18時から翌朝の9時までである。その時間はトタンと水貯めが13時間30分、遮熱が14時間、散水と塗料が14時間30分である。朝の5時30分が最低気温を記録しているが、外気温が29.5℃に対して、無設置が29.9℃、水貯め28.2℃、散水と遮熱28.1℃、トタン27.9℃、塗料27.7℃になっている。一番低温である塗料は外気温より1.8℃、無設置より2.2℃低くなっている。水貯め、散水と遮熱はその差は0.1℃でほぼ同じ結果になっている。

5-2. 試験体裏面温度

図13からは14時の裏面温度のトタンは41.7℃、水貯め37.0℃、散水36.4℃、遮熱36.1℃、塗料35.5℃になっている。また、24時間の平均温度の場合、トタンは33.0℃、水貯め31.6℃、散水31.1℃、遮熱31.2℃、塗料30.8℃になっている。

外気温より低くなっている時間はトタンと水貯めが13時間30分、遮熱、散水と塗料が14時間30分である。ここではトタンだけ表面温度との差が0.1℃しかないが、他の試験体は2.5℃から3.8℃低くなっている。散水が一番温度差があり、次は-3.5℃遮熱である。散水の場合は水をかけると蒸発によって裏面まで利いてると思うが、水貯めの場合、貯まった水がすでに高温になって裏面温度を予想以上に下げることが出来なかったと思われる。水冷をしない炭酸カルシウムの場合には散水とほぼ互角の効果があった。ここでは、遮熱炭酸カルシウムのペレットが表面温度が強い日射熱から水冷効果とほぼ同じ効果があることが明らかになった。

5-3. 空気層温度

図14から14時における各試験体の空気層温度は水貯め33.5℃、遮熱33.4℃、塗料33.1℃、トタン33.0℃、散水32.0℃の順に小さくなっている。空気層では水貯めが最高温になり、最低温は散水になっている。その差はわずか1.5℃である。

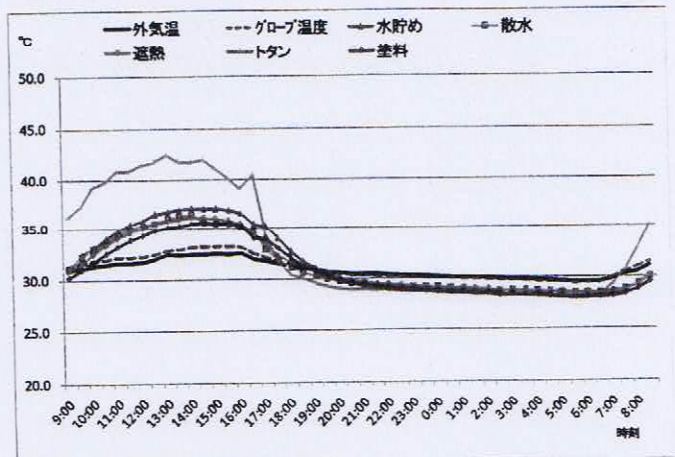


図13. 一日中の裏面平均温度の変化

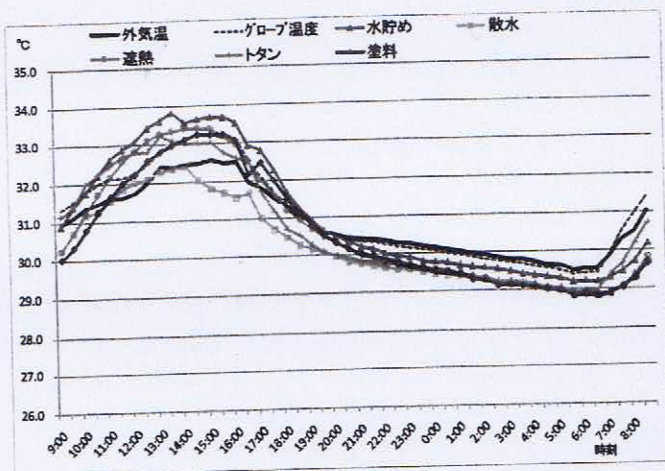


図 14. 一日中の空気層平均温度の変化

すべての試験体は半日以上外気温より低くなっている。その時間は水貯めが 13 時間、トタンが 15 時間 30 分、塗料が 16 時間、遮熱が 16 時間 30 分、散水が 22 時間になっている。空気層温度では散水が一番低温で、外気温よりも低い時間帯が一番長いことから一番いい結果が出た。

朝の 5 時 30 分が最低気温を記録しているが、外気温が 29.5℃に対して、水貯め 29.2℃、散水と遮熱、トタン 28.9℃、塗料 28.8℃になっている。それぞれの温度差は多くてもわずか 0.4℃しかない。これは 14 時のときと同じ差である。

5-3. 屋根スラブ表面温度

図 15 からは 14 時の無設置は最も高温で、47.1℃を測定した。その他、トタン 31.9℃、遮熱 31.8℃、水貯め 31.6℃、塗料 31.5℃、散水 31.3℃になっている。無設置の場合、外気温より約 15℃高いが、各試験体の屋根表面温度は約 0.6℃～1.2℃低くなっている。従って、設置と無設置の表面温度差は約 16℃以下である。無設置は一日中外気温より高くなっている一方、すべての試験体は外気温より低くなっている。一日中の平均温度は外気温が 30.8℃、グローブ温度 31.0℃、無設置が 36.7℃、トタン 30.8℃、遮熱 30.7℃、水貯めと塗料 30.6℃、散水 30.1℃になっている。グラフでをみてもよくわかるように無設置だけ外気温よりかなり高くなっているのがよくわかる。各試験体は外気温よりやや低くなってほぼ同じ波形になっている。

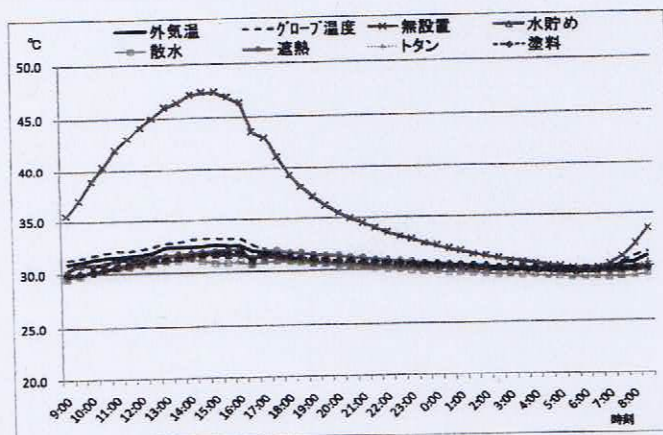


図 15. 一日中の屋根表面平均温度の変化

表 1. 14 時における温熱環境の総合評価 (°C)

	試験体表面		試験体裏		空気層		屋根表面		総合
	25 MJ	平均	25 MJ	平均	25 MJ	平均	25 MJ	平均	
水貯め	6.2	5.2	4.2	3.2	1.15	0.7	-1.35	-1.5	17.8
散水	7.5	5.9	4.2	3.3	0.45	0.2	-1	-0.9	19.65
遮熱	6.2	4.9	3.6	2.6	1.1	0.7	-0.75	-0.9	17.45
トタン	9.5	7.9	9.7	8	0.7	0.5	-0.5	-0.5	35.3
塗料	5	3.7	2.6	1.7	0.4	0	-1.15	-1.3	10.95

表 2. 20 時における温熱環境の総合評価 (°C)

	試験体表面		試験体裏		空気層		屋根表面		総合
	25 MJ	平均	25 MJ	平均	25 MJ	平均	25 MJ	平均	
水貯め	-0.5	-0.75	-0.5	-0.59	0	-0.23	-0.3	-0.46	-3.33
散水	-0.7	-0.82	-0.6	-0.61	-0.4	-0.48	0.2	0.03	-3.38
遮熱	-0.6	-0.79	-0.5	-0.62	-0.2	-0.35	0.7	0.42	-1.94
トタン	-1.3	-1.4	-1.5	-1.44	-0.5	-0.56	0.3	0.23	-6.17
塗料	-1.1	-1.26	-0.9	-1.04	-0.4	-0.58	0.2	-0.07	-5.15

8. まとめ

以上のように各試験体における効果を表 1、表 2 に示す。本論では 14 時、20 時における各試験体表面温度、裏面温度、空気層温度、屋根スラブ表面温度など垂直関係の温度を評価した。評価の方式は 14 時と 20 時における日射量が多い 25 (MJ/m²・day) のときに外気温を基準にして、各試験体の垂直測定ポイント温度を引いた温度差と 25 (MJ/m²・day) 以上の 15 日間の平均温度を全部合わせた数値で評価した。数値が小さいほど温熱環境に優れていることになる。

実験結果では温熱効果は塗料が一番よく、遮熱 (炭酸カルシウムペレット)、水貯め、散水、トタン順の結果となった。また、外気温より低くなる時間は散水、遮熱 (炭酸カルシウムペレット)・塗料、トタン、水貯め順に長くなっている。この実験からは遮熱ブロックと併用した塗料が有効であることと水冷作用で期待した水貯めと散水は遮熱ブロックとほぼ同じ性能であることが明らかになった。これは、新素材である炭酸カルシウムペレットは水貯めや散水の弱点である衛生とメンテナンスを克服できる新屋根材として貢献できると思われる。

以上の結果から遮蔽材の表面に炭酸カルシウム素材や遮熱塗料を塗布し、空気層を持つ遮蔽材と併用することで優れた温熱環境改善に期待できることが明らかになった。最後に本研究で省エネルギーと二酸化炭素の削減へ役に立つことが出来れば幸いである。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご理解をいただき、協力して下さった (株) 伊是名ブロック工業の大城吉隆さん、屋富祖信尊さん、(株) オウ・ティ・ケイの渡真利泰雄社長には御協力頂きましたことを末尾ながら記して謝意を申し上げます。

【注 1】法政大学工学部研究集報第 46 号「沖縄における R/C 造屋根の日射遮熱に関する研究 - 遮蔽材と遮熱塗料の効果について -」

【注 2】コンクリート製の遮熱ブロックの表層部分に、炭酸カルシウムペレットとホワイトセメントに酸化チタンを混合し、約 10mm の厚さで圧着し、ブロック表面の色が艶消しの淡色ホワイトなので、表面もコンクリート面に比べ熱くならず、光沢が少ないため、まぶしさも抑えられている。また、曲げ強度が高く、耐候性に優れているため、ブロック表面の経年劣化による遮熱性能の低下が抑えられる。サイズは 390 mm × 390 mm × 100 mm。重量は 15 kg ± 1 kg。空気層は 65 mm。