屋上緑化と屋根散水による熱的効果に関する実測研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THERMAL EFFECT OF GREEN ROOF AND ROOF SPRAYING

一瀬茂弘 — * 1 石川幸雄 — * 2
野本智子 — * 3 梅林 慶 — * 4
桐山大蔵 — * 5 羽津本好弘 — * 6

キーワード：
屋上緑化, 屋根散水, 散水量, 熱的効果

Keywords:
Green roof, Roof spraying, Spraying water rate, Thermal effect

Shigehiro ICHINOSE — * 1 Yukio ISHIKAWA — * 2
Tomoko NOMOTO — * 3 Kei UMEBAYASHI — * 4
Taizou KIRIYAMA — * 5 Yoshihiro HAZUMOTO — * 6

As global environmental problem has become a significant issue, we have already installed various energy saving method into our building services.

Especially, green roof and roof spraying have been watched keen interest, because they can reduce both heat load and carbon-dioxide emission from building services without using energy supply such as electricity.

Generally speaking, as building with green roof has water spraying equipment for tree maintenance, if we control water rate appropriately, we can expect a large heat load reduction effect which is brought by synergy effect of green roof and roof spraying.

1. はじめに

近年、環境負荷低減に対する関心が高まり、さまざまな省エネルギー技術や手法が建築物に取り入れられるようになった。この内、パッシブ手法に分類される屋上緑化と屋根散水は空調設備によらず、熱負荷を低減することができるため、建物からの二酸化炭素排出量を削減する有効な手法の一つである。一般に屋上緑化は単に植樹するだけでなく、景観に配慮した屋上庭園として設計されることが多い。ここで、樹木の維持保全のために必ず散水設備が設置されるが、屋根への散水量を適切に制御すれば、屋上緑化と屋根散水を組み合わせた熱負荷低減効果が期待できる。これまで、屋上緑化の実測結果に関しては天候や時系列による屋根上の温度変化¹⁾や熱流量²⁾に関する報告、および断熱を施した建物の屋根散水と緑化の熱的効果³⁾に関する報告がなされているが、いずれも散水量に着目した報告ではない。

そこで、本研究では、屋上に緑化部と敷砂利部からなる屋上庭園を有する建物を対象に、屋上庭園に屋根散水を適用することを目的として、各部位における散水量を変化させた場合の熱的効果を実測によって明らかにしたので報告する。

2. 実測の概要

2.1 実測を行った建物の概要

H 多目的ホールは体育館と会議室を中心とする地域開放型施設である(表-1)。今回、実測を行った屋上庭園は5階にあり、その下は体育館である。屋上庭園は地被植物と低木からなる緑化部と定間隔で設置された花崗岩のボーダー(厚120, 幅200)の間に化粧石(厚30)を敷き詰めた敷砂利部から構成される(図-1)。この内、緑化部には

表-1 H 多目的ホールの建物概要

項 目	概 要
用途・所在地	体育館および会議室ほか, 名古屋市東区東桜
構造・規模等	鉄骨鉄筋コンクリート造, 地下1階・地上6階, 延床面積 9,858 m ²
屋上庭園	600 m ² (緑化部 300 m ² , 敷砂利部 (北 120 m ² , 南 180 m ² 計 300 m ²))

注 A~C 点は温度計測点を示す。

図-1 屋上庭園平面図 (5 階平面図)

樹木の維持保全のための散水設備が設置されており、毎朝 6 時に定量の散水がなされている。

2.2 計測点と実測の概要

本研究では屋上緑化と屋根散水のある屋上庭園で、それぞれの熱的効果を把握し比較することが目的である。そこで、実測に当り緑化部と敷砂利部の全面に仮設の散水配管を 1m 間隔で敷設した(写真

*1 中部電力(株)土木建築部建築設備・エネルギー G 専門副長 (〒461-8680 名古屋市東区東新町1番地)

*2 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博

*3 中部電力(株)土木建築部建築設備・エネルギー G 副長

*4 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 博士前期課程

*5 中部電力(株)土木建築部建築設備・エネルギー G

*6 中部電力(株)土木建築部建築設備・エネルギー G グループ長

*1 Assistant Manager, Building Facilities Engineering Group, Civil and Architectural Dept., Chubu Electric Power Co., Inc.

*2 Prof., Div. of Architecture, Graduate School of Engineering, Mie Univ., Dr. Eng.

*3 Assistant Manager, Building Facilities Engineering Group, Civil and Architectural Dept., Chubu Electric Power Co., Inc.

*4 Graduate Student, Div. of Architecture, Graduate School of Engineering, Mie Univ.

*5 Research Engineer, Building Facilities Engineering Group, Civil and Architectural Dept., Chubu Electric Power Co., Inc.

*6 Manager, Building Facilities Engineering Group, Civil and Architectural Dept., Chubu Electric Power Co., Inc.

写真-1 散水配管の敷設状況

写真-2 緑化部の測定点(B点)

注 A点はスラブ上表面温度のみ。

図-2 測定点 (A点, C点)

図-3 測定点 (B点)

-1)。さらに、熱的効果を定量的に把握するため、図-1のA～Cに示す緑化部と敷砂利部の代表位置に熱電対による温度計測点を設けた。鉛直方向の計測点は図-2, 3(●点)に示す通りで、天井内設備のため入ることができなかったA点の天井裏空間を除き、室内外に温度計測点を設けた。この他、温湿度計、日射計、風向風速計を屋上庭園内部に、土中水分計をB点に設け、それぞれ5分間隔でデータを計測した。計測は平成19年7月3日から9月20日の間にかけ行い、計測期間中は石川⁴⁾による標準散水量を根拠として定めた表-2の各散水ケースに沿って、散水量を変化させた場合の熱的効果について計測した。

3. 実測結果

図-4に熱的効果の比較を行った各ケースの外気温と日射量の測定結果を示す。他のケースと比較してケース5の外気温がやや高く、ケース7の11時から14時までの日射量が少ないが、屋上緑化と屋根散水による熱的効果を比較するため、各ケースの代表日として日射量と外気温が概ね等しく、かつ前日に降雨が無かった日を抽出した。ただし、ケース3(19年8月25日)は前日の夜半まで降雨があった。また、各代表日のグラフには、熱的効果を最もよく表すと考えられる各測定点のスラブ上下の温度を記した。以下の図-5～12に各ケースの測定結果、表-3に各ケースの実測結果のまとめを示す。表-3では日中を8時～19時、夜間を0時～8時と19時～24時の時間帯として、図-1に示すA～C点のスラブ上の温度を相互に比較し、温度が低くなる時間帯が長い測定点を記した。

3.1 緑化部における散水の効果

ケース0から3は緑化部に朝6時に散水が行われる通常運用のケース0(図-5)と屋上庭園の全面に散水を行ったケース1(図-6)および緑化部は通常の運用に戻して敷砂利部のみに8時間散水したケース2(図-7)と5時間散水したケース3(図-8)を比較したものである。透水マット上(図-2, 3参照。以下、スラブ上と称する)の温度を比較すると、散水量を変化させているにも関わらず、いずれのケースも日中に敷砂利部A点、C点(以下、A点、C点と称する)の温度が緑化部B点(以下、B点と称する)よりも大きくなる時間帯が多く屋上緑化の

表-2 散水ケース

ケース	緑化部	敷砂利部(北)	敷砂利部(南)
0	20L/m ² ・h×0.5h	散水無し	散水無し
1	1.3 L/m ² ・h×8h ^{†1}	1.3 L/m ² ・h×8h	1.3 L/m ² ・h×8h
2	20L/m ² ・h×0.5h	1.3 L/m ² ・h×8h	同上
3	同上	1.3 L/m ² ・h×5h ^{†2}	1.3 L/m ² ・h×5h ^{†2}
4	同上	1.0 L/m ² ・h×8h	散水無し
5	同上	1.3 L/m ² ・h×8h	散水無し
6	同上	同上(敷砂利除去)	散水無し
7	同上	3.0 L/m ² ・h×8h	散水無し

注 ^{†1} 散水時間は8時～16時。
この他のケースでは緑化部は朝6時から30分の通常散水とした。
^{†2} 散水時間は10時～15時。
この他のケースでは敷砂利部は8時～16時の散水とした。

図-4 各ケースの外気温と日射量の測定結果

図-5 ケース0(19年7月28日)

効果が大きいことがわかった。夜間から朝方にかけてはB点よりもA点とC点の温度が低くなる時間帯がある。これは緑化部では客土の熱容量が大きいので、夜間でも日中の受熱日射が蓄熱されているが、敷砂利部では熱容量が小さく温度が下がりやすい上に散水による蒸発冷却効果と放射冷却効果によって、さらに温度が低下したことによる。特にケース3は前々日の雷雨による影響もあり、夜間にこの影響が著しく現れた。一方で、断熱材を除去したコンクリートスラブ下(図-2,3 参照。以下、スラブ下と称する)の温度は朝の一部の時間を除いて、B点の温度が低く緑化部が有利な結果となった。これら4ケースの計測期間中におけるB点の体積含水率は散水があるにも関わらず、約21%前後となり、スラブ上の温度にも大きな変化は見られなかった。このことは、緑化部では散水量に対して客土の容積が十分に大きいため、散水が熱的效果に与える影響は少ないことを示している。従って、屋上庭園の緑化部では、図-3に示すように客土の厚さが約600mm程度ならば、熱負荷の低減を考慮する場合でも、樹木の維持保全が可能な散水を行えば良いと考えられる。

図-6 ケース1(19年8月10日,以降A点を追加計測)

図-7 ケース2(19年8月6日)

図-8 ケース3(19年8月25日)

3.2 敷砂利部における散水の効果

ケース4から7は、緑化部は朝6時の通常散水とし、敷砂利部を散水部(図-1 参照。C点側)と非散水部(図-1 参照。A点側)に分割して、主にC点側の散水量を変化させることによって生じる熱的效果の違いを比較したものである。ケース4(図-9)では前述のケース2と比較してやや少ない1.0L/h・㎡とし、ケース5(図-10)では1.3L/h・㎡の散水量とした。スラブ上の温度を比較すると、ケース4では日中はほぼ同様な温度となったが、日射量が少なくなる15時以降はC点の温度が、A点の温度よりも低くなり散水による効果が確認できた。B点のスラブ上の温度と比較すると、A点は終日温度が高く熱的には緑化部が有利であったが、C点は3時から10時頃まではB点のスラブ上の温度よりも低い時間帯があり、前述のケース1,2と同様な傾向を示した。ケース5はH多目的ホールのある名古屋市で最高気温が39°Cとなった酷暑日のデータである。スラブ上の温度もA点およびC点は共に40°C近くまで上昇し、B点と比較すると夜間も敷砂利部が熱的に有利となる時間帯が無くなった。これは散水量を増やしているにも関わらず、酷暑日となったため十分な冷却効果を得ることができなかったためと考えられる。一方でスラブ下の温度を比較すると、終日B点の温度がC点の温度よりも約1°C低く緑化部が有利な結果となった。以上、スラブ上の温度からケース4と5は散水量の違いがあるにも関わらず、ほぼ同じ傾向を示し、明らかな差は確認できなかった。そこで、ケース6(図-11)では敷砂利を除去してケース5と同じ条件で散水したところ、スラブ上の温度は日中A点よりC点が約2°C低くなり、スラブ下の温度も散水を行っている時間帯はB点とほぼ同じ温度となり散水の効果が確認できた。さらにケース7(図-12)では敷砂利を元に戻して、散水量をケース6の約2倍の3.0L/h・㎡

図-9 ケース4(19年8月22日)

図-10 ケース5(19年8月16日)

としたところ、スラブ上の温度はA点よりC点が約1℃低くなり、スラブ下の温度もケース6と同様の傾向が確認できた。これらは、図-13に示す通り、ケース6では敷砂利を除去して散水することによって、直接スラブ上に蒸発冷却効果が作用したこと(図-13左)、次にケース7では散水量を増やすことによって、敷砂利の下にあるスラブ上まで水分が到達して、蒸発冷却効果が作用したことによる(図-13右)。従って、敷砂利部では散水による熱的效果を得るためには、少なくともスラブ上まで水分が到達する量の散水を行う必要がある。

図-11 ケース6(19年9月18日)

図-12 ケース7(19年9月5日)

図-13 ケース6とケース7における蒸発冷却効果(概念図)

3.3 敷砂利部のスラブ上の温度に関する考察

敷砂利部の散水部C点と非散水部A点のスラブ上の温度を比較すると、ケース5,7のように日中はC点の温度が高くなる傾向がみられた。この理由として、散水配管が屋根面の露出配管であるため(写真-1参照)、図-14に示す通り給水元から散水端に至るまでの日射の吸熱によって水温が上昇して、スラブ表面に顕熱を供給することになったことが考えられる。しかしながら、供給する水温が上がっても、この程度の散水量であれば供給顕熱よりも水の蒸発潜熱が大きいいためスラブ表面における蒸発冷却効果には大きな影響は無い。表-3より、ケース5,7のC点では、日中は水分による顕熱供給のため、A点が有利となる時間帯もあるが、夜間はA,B点よりも有利となり、散水

による熱的效果は明らかである。

表-3 各ケースのスラブ上温度の比較(まとめ)

ケース	日中			夜間		
	B, C 点	B, A 点	A, C 点	B, C 点	B, A 点	A, C 点
0	B	-	-	B	-	-
1	B	B	-	B	B	-
2	B	B	-	B	B	-
3	B	B	-	C	A	-
4	B	B	C	B=C	B	C
5	B	B	A	B	B	C
6	B	B	C	C	A	C
7	B	B	C=A	C	B	C

注 日中：8時～19時、夜間：0時～8時、19時～24時

図-14 散水配管の温度(19年8月15日)

4. 屋上緑化や屋根散水による熱的效果と散水量

モデルとした屋上庭園の下部は大規模な体育館であり、地域に開放されていることから利用状況も様ではない。計測期間中も体育館系統の空調機の処理熱量を計測したが、地域に開放されている施設のため、設定温度の統一が図れず熱負荷の評価には至らなかった。そこで前述の通り、熱的效果はスラブ上下の温度に最もよく現れるので、通常運用のケース0(図-15)と最も散水効果の現れたケース6(図-16)のスラブ上下の温度差を用いて検討した。

まず、B点は両ケース共に朝6時に散水する通常運用であるため、終日スラブ上の温度がスラブ下の温度よりも低く、スラブ上下の温度差(上-下)は一値となる。次にC点是非散水の場合(図-15)のスラブ上下の温度差は最高で約+6℃となり、日中から午前2時にかけて+値となった。しかし、ケース6(図-16)では、散水による蒸発冷却効果のため、日中ではスラブ上下の温度差は最大で約+4℃(+：熱取得)となったが、18時から翌朝の10時までは最大で約-4℃となり、熱的には大幅に改善されていることがわかった。

以上から、今回実測の対象とした屋上庭園の熱負荷低減を考慮した運用方法は、緑化部は前述の通り図-3に示す客土の厚さならば樹木の維持保全が可能な通常散水とし、敷砂利部は、図-2に示す敷砂利の厚さで、敷砂利の粒径が5mm～10mmの範囲であればケース6と同様な効果を得られる散水量とするのが良いと考えられる。

図-15 スラブ上下の温度差(上-下) (ケース 0)

図-16 スラブ上下の温度差(上-下) (ケース 6)

5. まとめ

本研究では緑化部と敷砂利部からなる屋上庭園に屋根散水を適用することを目的として、各部位における散水量を変化させた場合の熱的效果を明らかにした。以下にまとめを示す。

- (1) 緑化部は散水量に対して客土の容積が十分に大きいので、散水による蒸発冷却効果の及ぼす熱的影響の程度は少ない。
- (2) 敷砂利部は散水による熱的效果を最大限に得るため、敷砂利より下のスラブ面に到達する散水量とする必要がある。
- (3) 本実測で対象とした構造の屋上庭園において熱負荷低減を考慮

した散水設備の運用方法としては緑化部を通常散水とし、敷砂利部はケース 6 の効果を得ることができる散水量とするのが良いと考えられる。

参考文献

- 1) 橋本幸博：屋上緑化の熱的評価に関する研究 第 1 報 夏期実測による土壌下部及びウッドデッキ下部スラブ表面温度特性の検討, 空気調和・衛生工学会論文集, pp. 33~40, No. 120, 2007. 3
- 2) 橋本幸博：屋上緑化の熱的評価に関する研究 第 2 報 屋上緑化試験体による温度・熱流量の夏期比較実測結果の検討, 空気調和・衛生工学会論文集, pp. 47~53, No. 135, 2008. 6
- 3) 周南・高偉俊・西田勝・尾島俊雄：断熱を施した建物における屋根散水と緑化の熱的效果に関する検証研究, 日本建築学会技術報告集 第 19 号, pp. 215~220, 2004. 6
- 4) 石川幸雄：屋根散水における最適散水量に関する実験研究, 空気調和・衛生工学会論文集, pp. 17~27, No. 52, 1993. 6

[2008 年 10 月 6 日原稿受理 2008 年 12 月 25 日採用決定]