

## 論文

砂防ダムコンクリート壁における多孔質緑化ブロックの表面温度低減効果<sup>\*1</sup>林 冬実<sup>\*2</sup> ・ 中尾登志雄<sup>\*3</sup>

林 冬実・中尾登志雄：砂防ダムコンクリート壁における多孔質緑化ブロックの表面温度低減効果 九州森林研究 61：34-39, 2008  
 砂防ダム壁面に貼られた多孔質緑化ブロックの表面温度の低減について、植物およびコンクリートと比較した。大幡第4砂防ダムの現地調査では、ブロックの表面温度はコンクリートや樹冠より低温で、気化熱消費により表面温度を低減していることが考えられた。学内実験において、ブロックは体積含水率が高いときの方が、コンクリートや芝生より低温になった。そこで、ブロックへ水供給が十分に行われるように工夫すると、コンクリートや芝生よりも低温を維持することができた。大幡第4砂防ダムにおいても沢水を利用した点滴灌水を行う等の工夫をすることで、現在よりも表面温度の低減の効果が期待できることが考えられた。  
 キーワード：多孔質緑化ブロック、表面温度、気化熱消費、体積含水率、水供給

## I. はじめに

砂防ダムの建設に伴う環境の変化として、林冠が開くことによる日射量の増加、コンクリート壁の新設による再放射熱の増加が考えられる。これらは気温の上昇を引き起こし、現地で生育する植物に様々なストレスを与えることが懸念される。今回の調査地である砂防ダムの建設地は、国立公園内の自然度の高い常緑広葉樹林で、レッドデータブック記載のラン科植物等が分布していることから各種保全対策が必要となった。そこで、伐採面をできるだけ小さくし林冠の開きを小さくすること、巨木の保全、緑化の際の在来種の使用等の自然環境に配慮した工事が行われた。そしてこれらの対策の一つとして、ダムのコンクリート壁面の一部に多孔質緑化ブロック（以下、ブロックと呼ぶ）が貼られた。このブロックは、基盤内で根の伸長が可能な孔隙の大きさを持っており、芝生の基盤材として利用されている。また、孔隙に水分を保持することができることから、ブロック単体でも孔隙内の水分の気化熱消費により表面温度を低減することができるので再放射熱を減少することができる（2）。そこでこのブロックの表面温度の低減について以下の3つの実験を行って検証した。1. 大幡砂防ダムの各材料の表面温度の測定、2. 長期間の各材料の表面温度の測定、3. 表面温度低減の改善方法の検討である。

## II. 材料と方法

## 1. 大幡第4砂防ダムにおける各材料の表面温度

調査地は、宮崎県高原町の大幡第4砂防ダムである。ブロック（大隅降下軽石、SG-6-1、ストーンワークス社製）は、主ダム壁面の下流側の上部に張られており（写真-1、図-1）、大きさは300mm（縦）×300mm（横）×60mm（厚み）である。表

面温度の測定箇所は、主ダム壁面のブロック部分とコンクリート部分、タブノキの樹冠の3箇所である。

測定日は2007年8月6日である。測定項目は表面温度と気象状況である。表面温度は10時30分、12時30分、14時30分の計3回の測定を行った。使用機器は非接触型の赤外放射温度計（TH7102型、NEC三栄会社製）で、コンパクトフラッシュメモリに熱画像を記録し、ソフト（TH71-701熱画像処理プログラム、NEC）を用いてパソコン上で表面温度の測定を行った。気象状況はウェザーステーション（3350WD2M、Spectrum社製）を用い、林冠の開いた場所に設置し、日射量、気温、湿度、風速、風向を10分ごとに測定した。

## 2. 長期間の各材料の表面温度

実験は宮崎大学校内で行った。実験材料は、1と同じ種類のブロック（300mm（縦）×200mm（横）×60mm（厚み））、ブロックの1面にコウライシバを貼ってあるもの（シラス緑化ブロック芝付、SG-6-4-1、ストーンワークス社製、以下芝生という、300mm（縦）×300mm（横）×60mm（厚み））、コンクリートの板である。コンクリートとブロックは日射や降雨を受ける面を1面のみにするため、残りの5面を発砲スチロールで覆った（以下、この1面を上面と呼ぶ）。なお、底面の発砲スチロールには排水用の穴を開けた。また、日没時の建物の影により受ける日射量に違いが生じる可能性があったので、測定時以外は発砲スチロールで上面にカバーをし、測定時間中のみカバーを開けた。芝生は5面を発砲スチロールで覆わず土壤中に埋め、上面のカバーをしなかった。

測定は2007年8月17日から同年8月23日にかけて行った。ただし8月15日の夜間に各材料を十分に灌水した。測定時間は11時から17時までで、1時間ごとに表面温度の測定を行い、表面温度の測定時にブロックのみ重量を計測した。気象状況の測定は、1と

<sup>\*1</sup> Hayashi, F. and Nakao, T.: Effects of porous blocks on surface temperature reduction of concrete wall of Sabo-Dam

<sup>\*2</sup> 宮崎大学大学院農学研究科 Grad. Sch. Agric., Univ. Miyazaki, Miyazaki 889-2192

<sup>\*3</sup> 宮崎大学農学部 Fac. Agric., Univ. of Miyazaki, Miyazaki 889-2192

同様に10分ごとに行い、例えば、12時台は12時から12時50分までというように1時間の平均値を使った(図-6)。表面温度は1と同様に撮影と解析を行った。重量は電子天秤(BJ12, Sartorius社製)を用いて測定し、この重量から蒸発速度(mm/h)と体積含水率(%)を算出した。それぞれの値は、以下の式により求めた。なお、 $T_A$ 時の重量を $G_A$ (g)、 $T_B$ 時の重量を $G_B$ (g)、( $T_A < T_B$ )、測定時のブロック内の水分量を水頭(mm)で表して、それぞれ $M_A$ 、 $M_B$ (mm)、絶乾重量を $M_s$ (g)、上面の面積を $T_s$ ( $\text{cm}^2$ )、体積を $V_s$ ( $\text{cm}^3$ )とした。ここで水の密度 $\rho_w$ は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とした。

$$M_A = \{(G_A - M_s) / (\rho_w \cdot T_s)\} \cdot 10$$

$$M_B = \{(G_B - M_s) / (\rho_w \cdot T_s)\} \cdot 10$$

$$\text{体積含水率}(\%) = (G_B - M_s) / V_s \cdot 100$$

$$\text{蒸発速度}(\text{mm}/\text{h}) = (M_A - M_B) / (T_B - T_A)$$

### 3. 表面温度低減の改善方法の検討

表面温度の低減を長く持続させるためにはブロックの保水量を多くする等の改善が必要となる。そこで、どのような改善が良いのか検討するための実験を宮崎大学校内で行った。改善方法として、まず、2と同種でサイズも同じブロックを水を張った容器に漬けることにした。ここで水深を決定するために、Thorntwaiteの以下の推定式を用いて8月の1日あたりの蒸発散能を算出した(5)。なお、PEは月蒸発散能(mm/月)、 $D_0$ は日照時間の比(日照時間の月平均値を12時間で除した値)、 $T_j$ は各月の平均気温( $^{\circ}\text{C}$ )で $D_0$ は理科年表(3)より東京の値を、 $T_j$ は宮崎気象台より宮崎市の値を用いた。

$$PE = 16 \cdot D_0 \cdot (10 \cdot T_j / J) \cdot a$$

$$J = \sum \{(T_j / 5) \cdot 1.514\}$$

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot J^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot J^2$$

$$+ 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot J + 0.49$$

上記の式より8月の1日の蒸発量を5mmとした。次に、宮崎気象台の過去3年分のデータを用いて、宮崎市の8月の最大無降雨日数の平均を15日と算出した。これらの値から水深を75mmにすることが望ましいと考えられたが、容器やブロックの高さから、11日分の55mmに決定した。これをH60とした。しかし、式に用いた日照時間は東京の値であり、宮崎市の日照時間はさらに長く

なることから、蒸発量も多くなることが予想された。そこで、ブロック内の水分量を増やすためにH60の厚みを200mmにし、同様に水深55mmの容器に漬けた。これをH200とした。さらに、水切れは水面と、蒸発面である上面との高さの差が大きくなることでも起こると考えられたので、サイズがH60と同じだが、その差を常に5mm(水深が常に55mm)で維持できるタイプのものを作った。これをC5とした。比較として、H60と同じサイズで何の改善もしていないブロックを無処理とし、2で用いた芝生、コンクリートの代わりに厚みがH60と同じインターロッキングブロック(以下、IRBとする)を用いた。これらの材料の上面はカバーをし、上面以外の面の状態は、芝生と同様にするために直接土壤中に埋めた(図-2)。

測定は2007年8月21日から同年9月3日にかけて行った。期間中8月25日の夜間に、容器に十分に貯水するように55mm以上の灌水を行った。熱画像の測定時間は14時で、測定機器と解析方法は1と同様である。気象状況は14時に測定されたものを使用した。ただし、8月20日に降雨があったのでグラフは8月20日から記載した。なお、8月26日の雨量は測定時間外であったため、宮崎気象台のデータを用いた。

## III. 結果と考察

### 1. 大幡砂防ダムにおける各材料の表面温度

測定日の日射量、気温、湿度を図-3、風速を図-4に示した。日射量は12時30分に $1031\text{W}/\text{m}^2$ で最大値を示し、その後は雲が出て $100\text{W}/\text{m}^2$ 以下で変化した。気温は12時40分に最高となり、湿度は12時40分に最低であった。雨量は0mmであった。風速は12時20分と12時40分で最大で、 $1.1\text{m}/\text{s}$ であった。

ダム等の表面温度の測定結果を図-5に、測定時の熱画像を写真-2に示した。10時30分の測定では樹冠、ブロック、コンクリートの順に低温だった。12時30分の測定では10時30分と比較し、樹冠とコンクリートは上昇したがブロックは低下し、最も低温になった。14時30分の測定では12時30分と比較し、全ての材料で低下した。また、樹冠とコンクリートは日射量の増減と同じ動きを示し、コンクリートは全ての測定時間において最も高温であった。

10時30分の気象は、日射量が小さく湿度が高く、風速が小さくことから、蒸発が起りにくい環境であったと考えられ(1)、

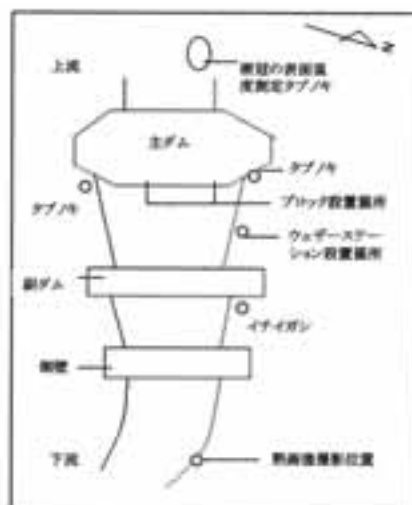


図-1. 調査地の見取り図



写真-1. 調査地の様子(斜線部がブロック設置箇所)

そのために10時30分はコンクリートと同程度の温度になったと考えられる。つまり、ブロックの表面温度の低下の主要原因は気化熱消費によるものと考えられる。次に、樹冠もブロックと同様に気化熱消費を行うが日射量の増減と同様の動きをした理由として、気化熱消費がブロックよりも小さかったこと、樹冠の構成要素である葉は、体積が小さいために暖まりやすく冷めやすかったこと、蒸散は葉の裏面で行われ(4)、表面温度の測定部位は表面だったことから表れにくかったことなどが考えられる。コンクリートは、気化熱消費量がブロックや樹冠に比べ非常に小さかった、もしくは起こらなかったことが考えられる。また、14時30分の測定で全ての材料の表面温度が低下したのは、日射量が小さかったためと考えられる。

2. 長期間の各材料の表面温度

測定日の日射量, 気温, 湿度を図-6に, 雨量を図-7に示し

た。日射量は12時台に最大となって, その後減少した。気温と湿度は13時台から15時台にかけて最高気温, 最低湿度を示した。雨量は20日の14時台から17時台に合計2.8mm, 22日の15時台に0.7mmであった。各材料の表面温度の測定結果を図-8に示した。17日の表面温度は3つの材料のなかでブロックが最も低温で, 次いで芝生, コンクリートの順であった。18日から20日の間では, 表面温度は芝生が最も低温で, 次いでブロック, コンクリートの順だった。ブロックの表面温度, 体積含水率, 蒸発速度の測定結果を図-9に示した。17日の10時は体積含水率が30.9%, 蒸発速度が0.62mm/hで, 20日の10時は体積含水率は11.8%, 蒸発速度は0.31mm/hであった。ブロックの蒸発速度は, 17日から20日にかけて次第に小さくなった。このとき表面温度は次第に上昇し, 体積含水率は減少した。表面温度と体積含水率, 表面温度と蒸発速度にはそれぞれ有意な負の相関, 体積含水率と蒸発速度には有

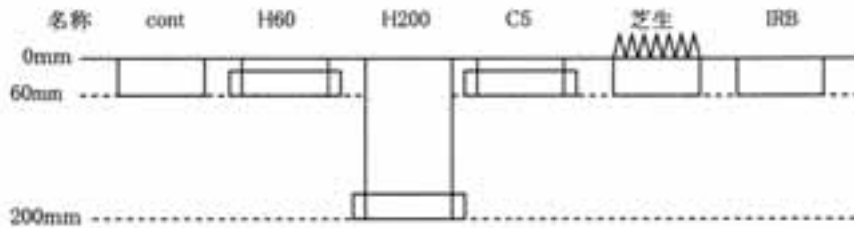


図-2. 実験3の断面図

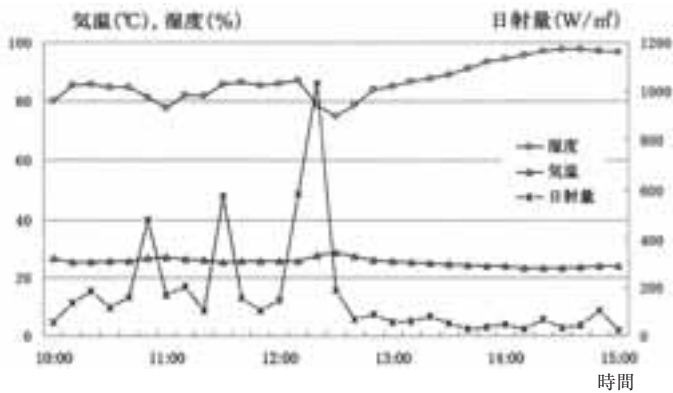


図-3. 2007年8月6日の日射量, 気温, 湿度

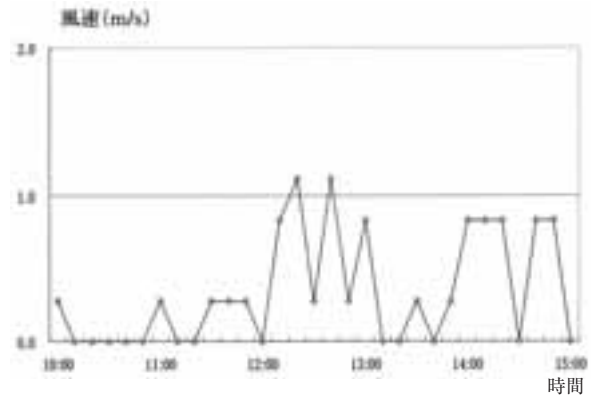


図-4. 2007年8月6日の風速

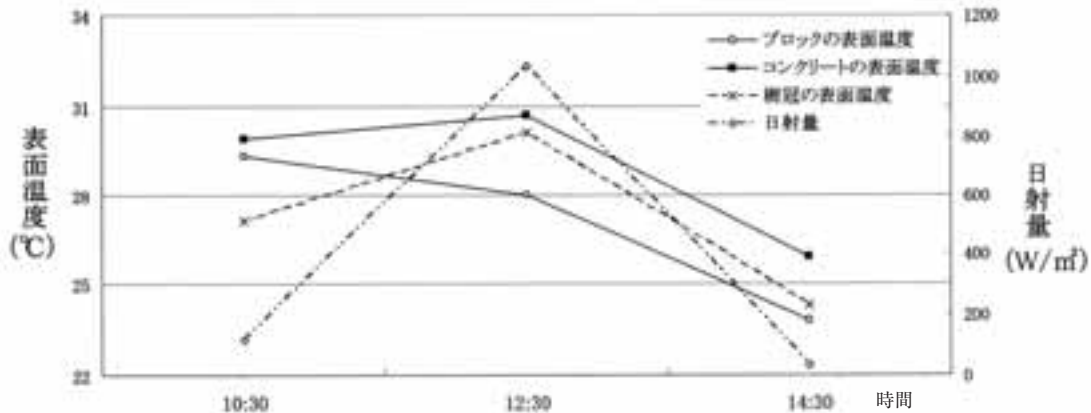


図-5. 各材料の表面温度と日射量

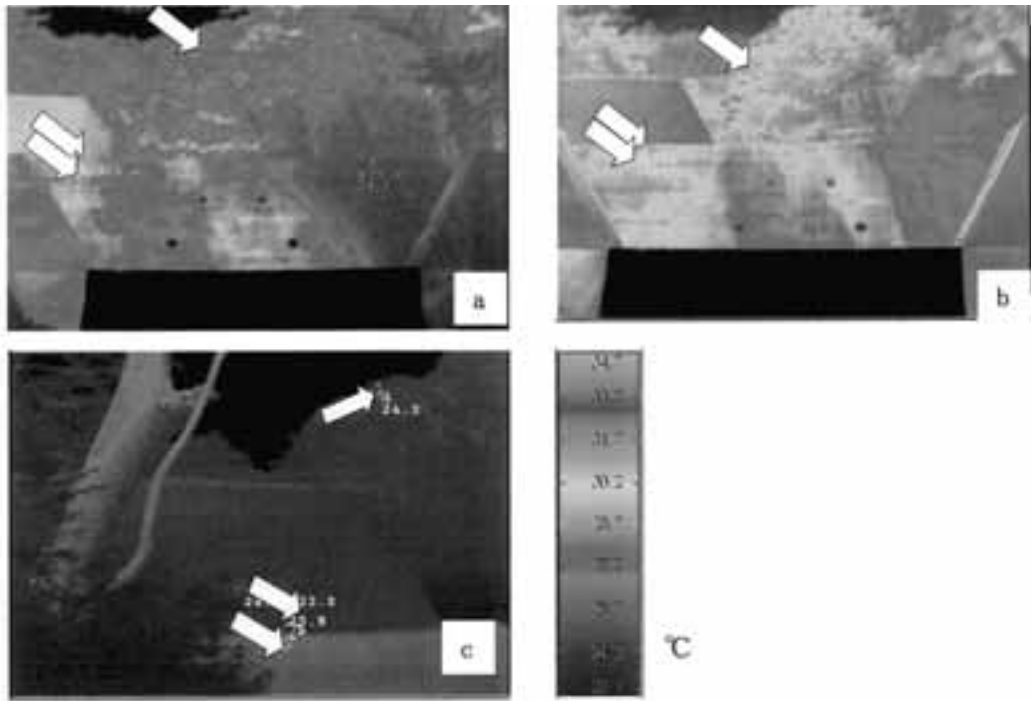


写真-2. 測定時の熱画像  
(a, b, cはそれぞれ10時30分, 12時30分, 14時30分の測定時の熱画像)  
凡例は全て同様である。

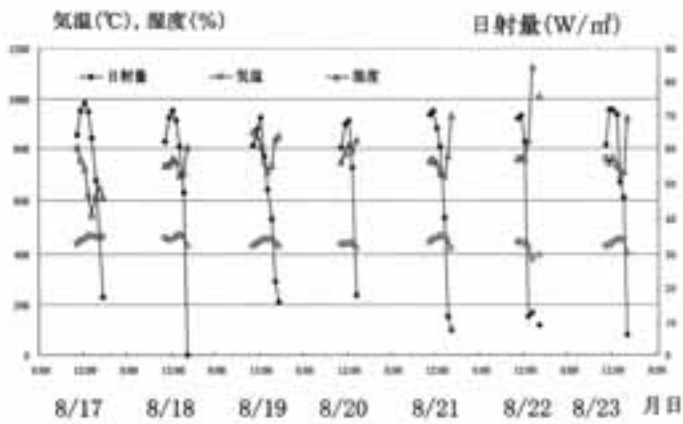


図-6. 測定期間の日射量, 気温, 湿度

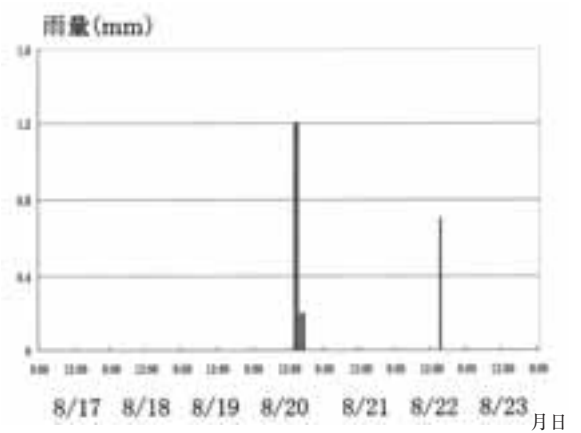


図-7. 測定期間の雨量

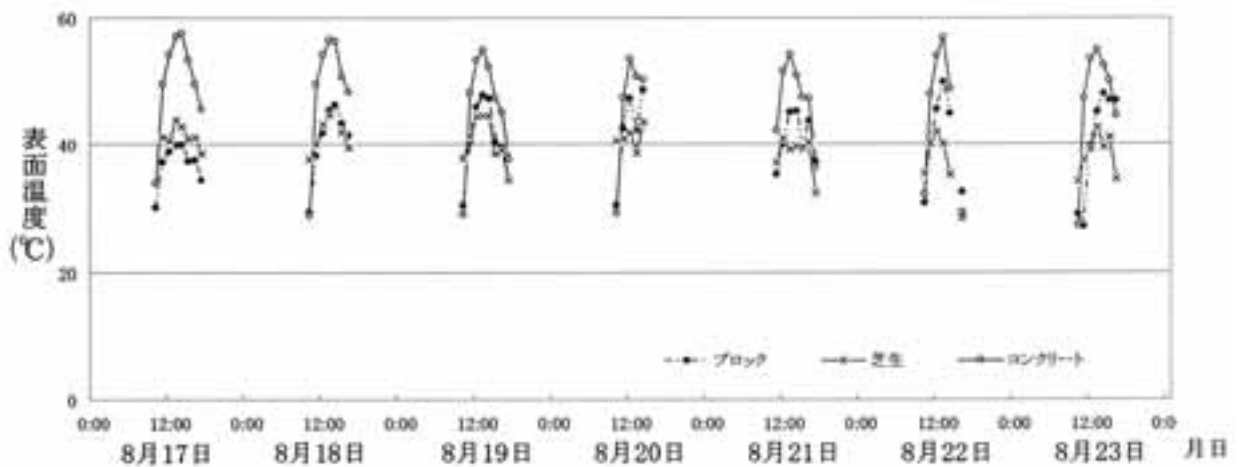


図-8. 各材料の表面温度

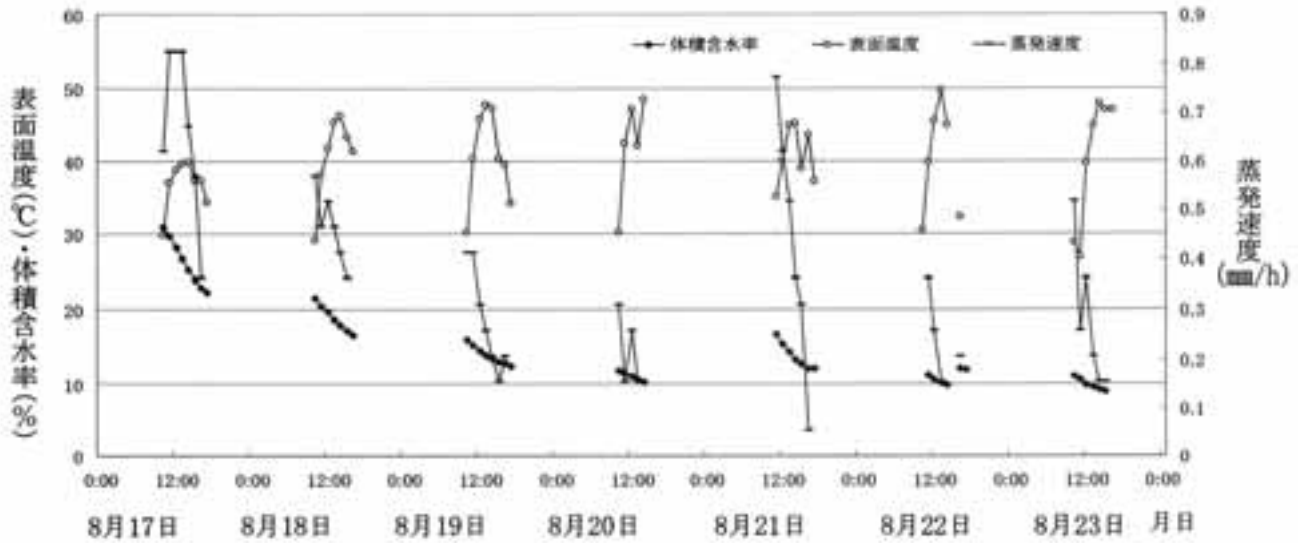


図-9. ブロックの表面温度, 体積含水率, 蒸散速度

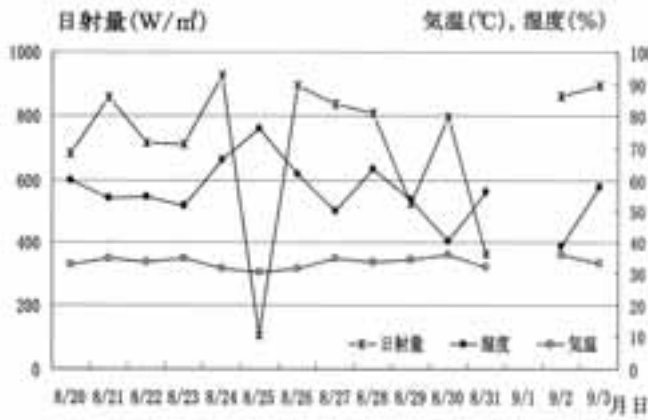


図-10. 測定期間の日射量, 気温, 湿度

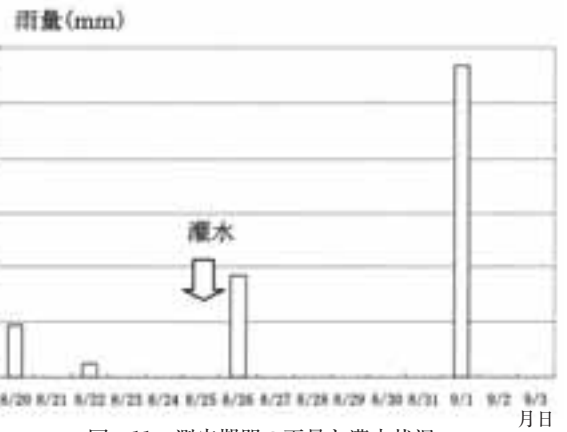


図-11. 測定期間の雨量と灌水状況

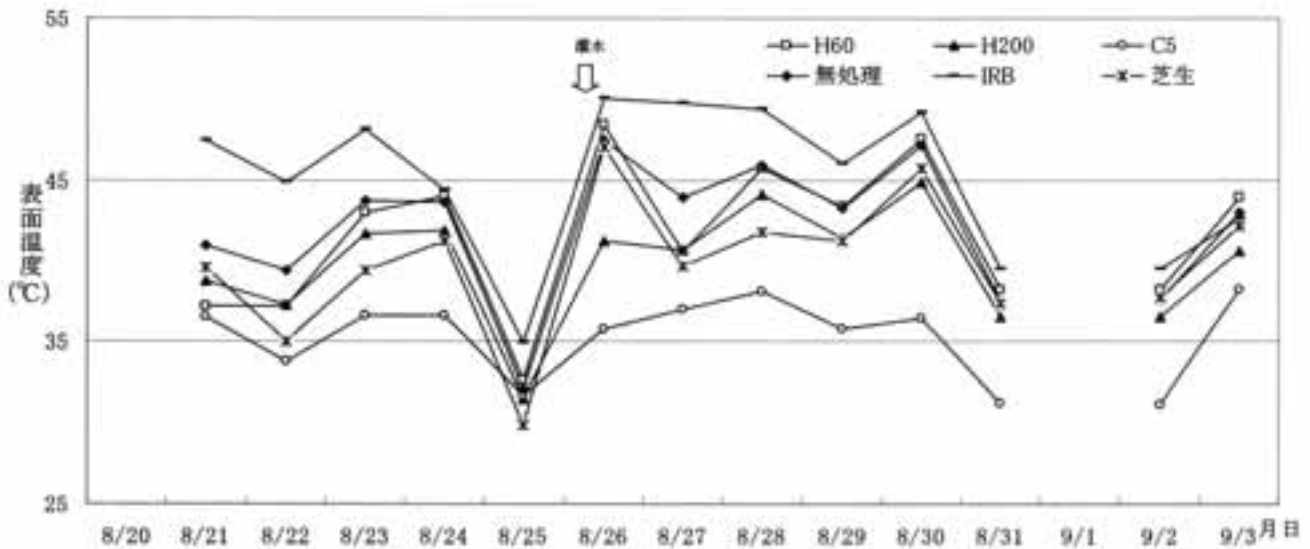


図-12. 各材料の表面温度

意な正の相関があった。ブロックの体積含水率の減少により蒸発速度が低下し、表面温度の低減が起こりにくくなり、芝生よりも高温になったと考えられる。つまり、体積含水率が高いほうが低水分張力域の水をより多く含んでいると考えられる。したがって、低水分張力域の水をより多く含んだ状態にすることで芝生より低温の状態を維持できることが推察された。またブロックの体積含水率は、降雨前の20日の14時に比べ、降雨後の21日の11時は10.2%から16.8%に増加し、蒸発速度は0.15mm/hから0.77mm/hに増加した。同様に22日の降雨でも、降雨前の14時に比べ降雨後の16時は、体積含水率は9.8%から12.5%に増加し、蒸発速度は0.15mm/hから0.2mm/hに増加した。このことから、降雨が給水の役割を果たし、ブロックの体積含水率や蒸発速度が増加したことが考えられる。

### 3. 表面温度低減の改善方法の検討

測定期間の日射量、気温、湿度を図-10に示し、雨量を図-11に示した。日射量は8月25日と8月31日に400W/m<sup>2</sup>以下であったが、その他の日は400W/m<sup>2</sup>以上であった。全ての測定日を通して、気温は30.4から36.1℃、湿度は38.9から72%であった。雨量は2007年8月20日の14時から18時までに2.8mm、8月26日の18時24時までに5.5mm、9月1日の10時から17時までに17mmであった。各材料の表面温度を図-12に示した。表面温度の平均値はC5が最も小さく、次いで小さい順に、H200、芝生、H60、無処理、IRBであった。C5の保水量は、水面下の55mmの部分に飽水状態として水頭で表すと、25.8mmであった。このことから、保水量を25.8mmで一定にすることで芝生よりも低温を維持できること、また、ブロックの保水量を大きくするほど表面温度が低温になることが分かった。これはブロック内の保水量を大きくすることで体積含水率が増加し、蒸発速度が増加するためと考えられる。しかし、気象等の影響で、保水量が大きい順に表面温度が低減しない日もあったので以下にそれを説明する。

まず、8月21日は、H60とH200の表面温度は芝生の表面温度よりも低温であった。これは、H60とH200は前日の20日の降雨により体積含水率が大きく、蒸発速度が大きかったためと考えられる。また、H60の表面温度がH200の表面温度よりも低温であった。このことからH60の方が蒸発速度が大きかったことが考えられる。この差は、H60と比較してH200の方が、ブロックの高さが大きいことから蒸発面まで水を吸い上げる速度が遅くなり、そのため蒸発速度が小さくなったことが考えられる。また、8月27日のH60表面温度もH200の表面温度よりも低温になっており、この原因も、高さの違いによる蒸発速度の違いによるものと思われる。

次に、8月25日は各材料の表面温度の差が小さくなった。これは、日射量が小さかったために各材料が受け取る日射量が小さくなり、したがって表面温度の上昇が小さくなり、また、蒸発速度が小さくなったと考えられる。このとき芝生の気孔からの蒸散速度は、日射が小さく湿度が大きいことから、小さかったと考えられる。しかし、芝生は最も低温だった。したがって、クチクラからの蒸発により表面温度が低減したと考えられる。

8月26日の各材料の表面温度は、24日と比較してH200とC5はわずかに低下したが、芝生とH60と無処理とIRBは上昇した。

このことから、25日の夜間に行った散水の効果は、芝生とH60と無処理とIRBでは小さかったと考えられる。芝生は水不足により一次的に気孔を閉じ、蒸散活動が小さくなり、表面温度が低下したことが考えられた。また、8月30日以降に芝生の表面温度がH200より高温になった原因も、同様に、水不足による気孔の閉鎖によるものと考えられる。

H60が無処理よりも高温になったのは、H60は土中の容器内に置かれており、下側および水平方向からの土壌水分の移動が制限されたためと考えられる。

H60の表面温度が芝生よりも低温になったのは、8月21日のみであった。また、降雨もしくは散水以降に表面温度が無処理より高温になる日は最大で4日目であった。以上のことから、55mmの水に漬けることによる11日間の改善効果はないが、約3日間の改善効果があると思われた。これはブロックの飽和時の水量が28mmで、1日の蒸発量は5mm以上であったためと考えられる。

以上のことから、大幡第4砂防ダムにおいても沢水を利用した点滴灌水を行う等の工夫をすることで、植物による緑化よりも表面温度の低減が期待できると考えられる。

## IV. まとめ

多孔質緑化ブロックの表面温度低減効果を、植物やコンクリートと比較した。それらの結果は以下のとおりであった。

(1) 大幡第4砂防ダムの現地測定では、日射量の増減に対し、樹冠やコンクリートは同様に増減したが、ブロックは減少し続けた。

(2) 学内における長期の測定では、ブロックは体積含水率が高いときコンクリートや芝生より低温になり、含水率が低くなるとコンクリートより低温であるが芝生より高温になった。これは気化熱として消費しやすい低水分域の水分が減少することが原因であると考えられた。

(3) 体積含水率を常に高く維持する工夫をすることで低水分域の水を十分に保持させたブロックは、常に芝生よりも低温を維持することができた。

## 引用文献

- (1) 近藤純正 (1994) 地表面付近の風と乱流. (水環境の気象学 - 地表面の水収支・熱収支 -. 近藤純正編, 324pp, 東京大学出版会, 東京). 93-125.
- (2) 近藤純正 (1994) 地表面の熱収支の基礎. (水環境の気象学 - 地表面の水収支・熱収支 -. 近藤純正編, 324pp, 東京大学出版会, 東京). 128-153.
- (3) 文部省国立天文台編 (2001) 理科年表 CD-ROM, 丸善株式会社, 東京.
- (4) 森川靖・丸山温 (1987) 生長と水 (樹木の生長と環境. 畑野健一・佐々木恵彦, 383pp, 養賢堂, 東京). 297-327.
- (5) Thornthwaite, C. W. (1948) Geogr.Rev. 38 : 55-94.  
(2007年11月19日受付; 2008年1月11日受理)