

都市気候の緩和に配慮した建物の屋根面処理の方法とその効果

ーレビューおよび数値計算による一考察ー

豊橋技術科学大学

五来 英一

豊橋技術科学大学 正会員

北田 敏廣

1. はじめに

都市気候の緩和、特に夏季の高温の緩和を目的として、建物の壁面や屋根の材料を工夫すること、これらを緑化することが試みられている。本研究は、これらに関する既往の研究を広範にレビューし知見を整理するとともに、筆者等の数値モデルを用いて改めて屋根面の構成材料等が大气に与える影響を調べたものである。モデルは鉛直1次元の運動量、熱、乱れの輸送方程式系の数値解を求めることからなる。

2. 既存の研究

夏季における屋根表面の熱的問題は、室内への影響（屋根表面で太陽放射エネルギーの熱貫流率を極力防止する）と屋外への影響（太陽放射の反射および表面温度の上昇による長波放射の防止）である。その解決策の一つとして近年ハット・コート¹⁾建築の考え方や手法が取り入れられつつあるが、データの蓄積や体系的整理が十分とは言えない。よって特に屋根構成材料特性と屋根面緑化に関する既存の研究のレビューを行った。

2.1 構成材料特性

建物や都市のアルベドが大气へ与える影響についてはよく知られている。また、建物の外表面温度、室内温度、冷房負荷に対する高反射材料の効果を検討するための実測やシミュレーションもいくつかおこなわれている。さらに建物自体の蓄熱特性についても数値計算等による検討が行われている。しかし、これらは構成材料の物質特性はもちろん換気や気候、さらに建物の形状や使用状態に大きく左右されるために同一条件での各種パラメータに対する総合的な評価が必要だと考えられる²⁾。

2.2 屋根面緑化

屋上植栽を想定した試験体による屋外暴露実験³⁾や、実際の屋上緑化建物での観測⁴⁾が行われ、外気側、室内側温度の低減効果や、蒸発散量と外界気象要素の関係など植生の熱的效果が報告されている。植生の種類としては、樹木等の立体的植栽に比べその効果が把握しやすいことから芝の様な平面的植栽、特に日本では一般的な高麗芝が多い。植生の状態（種類や密度、生育度など）や土壌の種類や含水率、さらに気候条件による影響等に関してデータの蓄積ができるまでには至っていない。一方、植生場における熱挙動は非常に複雑な現象であり、植生の成長過程に伴う熱と水分移動を考慮したモデル化は現在の段階では困難である。そのため簡略化されたモデルがいくつか提案されているが（葉群層の等価熱抵抗を用いたモデル⁵⁾や芝生を含む葉・空気層を考慮したモデル⁶⁾、熱水分同時移動モデル⁶⁾、蒸発効率を用いた熱収支モデルなど）、各パラメータの信頼性などに問題が残されている。

2.3 屋上被土

蒸発特性を検討するために人工気象室での実験や試験体による屋外暴露実験、実際の屋上被土建物での実測等が報告されている。しかし、屋上緑化に比べその数は少ない。土壌のモデル化においては、植栽の蒸発量の略算手法として飽和度を用いる方法や都市の大气シミュレーションでよく見られる蒸発比を用いる方法、飽和度、蒸発比を変動させる方法がある⁷⁾。問題点として、熱水分同時移動解析の問題や水分移動を表す物性値が詳細に把握されていないこと、室系モデルとの連成から簡易なモデルが望ましいことが挙げられる。

3. 数値モデル⁸⁾

屋根特性が都市大气に与える影響の基礎的検討を目的に、鉛直1次元の数値計算を行った。モデルの概要を図1に示す。大气下部境界条件として最下層4m以下で接地層を仮定し、屋根表面で下を示す熱収支式を用いて表面温度 T_s を計算した。

$$(1-\alpha)K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} - Q_o - \left(1 + \frac{1}{B}\right)Q_s = 0$$

4. 結果と考察

本研究では、アルベド、熱伝導率、容積比熱、風速、断熱材の位置、被土および緑化の効果について検討を行った。屋根断面を表1に、断面構

成材料の各物性値を表2に示す。計算時間は、太陽放射のデータに基づき1985年5月12日午前7時から48時間分（2日間）行った。計算ス

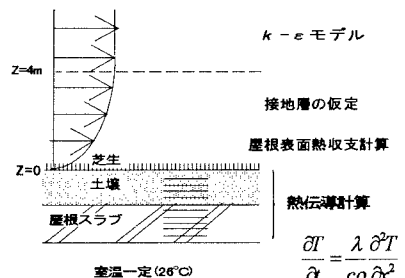


図1 モデルの概要

テップは3秒で、屋根部分の格子間隔は0.01mとした。初期条件として、地衡風は $u_g=10\text{m/sec}$ 、 $v_g=0\text{m/sec}$ で与え、地表面温位は288kとし、上方に5.5k/kmの一定割合で上昇させ、相対湿度は鉛直方向に様に70%とした。また室内温度は26°Cで一定とした。以下に示す結果は、すべて2日目のものである。

まず、スラブのみの場合を対象としてアルベド、熱伝導率、容積比熱、風速それぞれの検討を行った。コンクリートのアルベドのみを0.2から0.8まで変化させた場合の外気温の時間変化を図2.aに示す。アルベドが大きいほど、高温化が見られ、建物からの高反射の影響が現れている。同様に熱伝導率を1/2から2倍まで変化させた場合(図2.b)、熱伝導率が大きいほど外気温が低い。これは、大きな熱伝導率のために建物内部により多くの熱が吸収された為と考えられる。また容積比熱についても1/2~2倍まで変化させた場合(図2.c)、容積比熱の増加とともに最高気温が低くなる傾向があるが、明け方には低い方が気温が高い。これは日中に貯えられた熱が夜間の間に放出された結果と考えられる。さらに地衡風についても10m/sから2m/sまでそれぞれ変化させて計算をおこなった(図2.d)。その結果風速が強いほど気温が低下するというごく当然の結果となった。

次に断熱材の位置(外断熱、内断熱)が大气に与える影響について検討を行った(図2.e)。その結果、日中の気温は外断熱の方がやや高くなるが、明け方には外断熱の方がわずかに低くなる。

最後に被土および芝生植栽を想定した屋根について計算を行った(図2.f)。スラブのみの場合と比べ被土、植栽と次第に1日の温度変化が滑らかになり、高温化の抑制効果が大きくなる。

表1 屋根断面構成

屋根形式	材料(外気側より)(厚さ[mm])
スラブのみ	普通コンクリート(150)
内断熱	軽量コンクリート(30)、普通コンクリート(150)、断熱材(50)
外断熱	軽量コンクリート(30)、断熱材(50)、普通コンクリート(150)
被土屋根	土壌(200)、普通コンクリート(200):B=1.0
芝生屋根	土壌(200)、普通コンクリート(200):B=0.3

表2 各材料の物性値

材質	熱伝導率[W/mK]	容積比熱[kJ/m³K]
普通コンクリート	1.63	2010
軽量コンクリート	0.524	1871
断熱材	0.047	23
土壌	0.672	1680

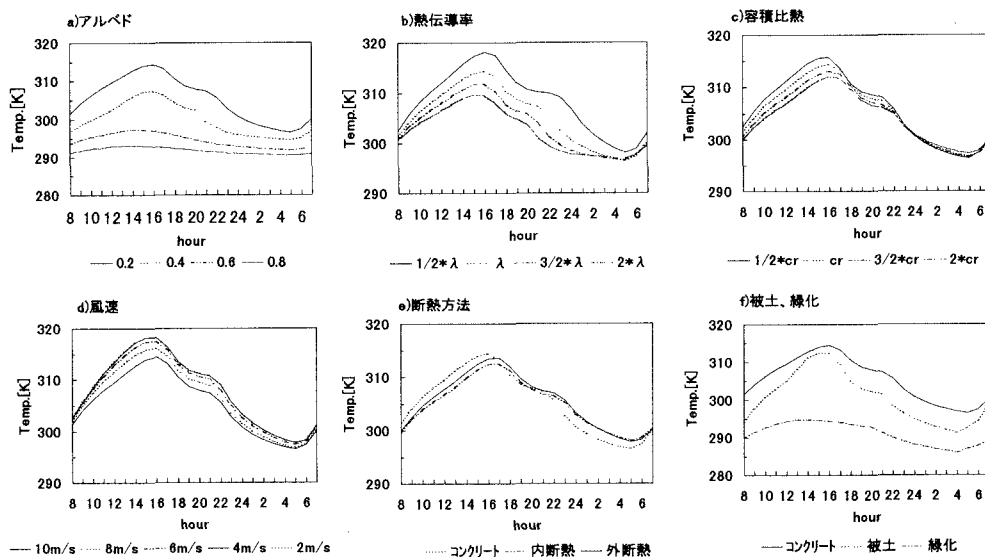


図2 各パラメータを変化させた場合の外気温の日変化

5.結論 建物の屋根面が都市大気を与える影響を検討する第1ステップとして $k-\epsilon$ 乱流大気モデルと建物屋根面の熱伝導方程式を用いて、各パラメータの感度解析を行った。その結果、構成材料特性と土壌、植生それぞれによる都市熱環境への影響を確認することができた。今後は、都市気候からみた屋根面処理の影響を定量的に検討できるよう植物、土壌からの蒸発散効果の考慮や各種パラメータのより良い選択について進めていく予定である。

参考文献 1)Griggs,E.I.,Shipp,P.H,1988:The impact of surface reflectance on the thermal performance of roof : an experimental study,ASHRAE Trans,94(2),1626-1642 2)石原ら、1996: 屋上植栽の熱的特性と水分収支に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文集、484,17-24 3)野島ら、1995: 屋上緑化による夏季の建築物及び都市の熱負荷の軽減効果の実証的研究、日本緑化工学会誌、20(3),168-176 4)何ら、1993: 屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験研究(その10)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1529-1530 5)石原ら、1995: パッシブ手法による夏季の省エネルギー効果に関する研究、空気調和・衛生工学会論文誌 57,63-71 6)尾村ら、1997: 屋上芝生植栽による蒸発冷却効果に関する研究(その6)、日本建築学会学術講演梗概集 D-2,303-304 7)谷本ら、1997: 屋上被土からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、492,23-29 8)玉来、岡村、北田、1997: 土木学会中部支部平成8年度研究発表会講演梗概集、381-382