

(14) 道路舗装の熱環境に及ぼす影響

PAVEMENT EFFECT ON THE ATMOSPHERIC THERMAL ENVIRONMENT

浅枝 隆^{*}、グタン カ^{**}、北原正代^{***}

Takashi Asaeda, Vu Thanh Ca, Masayo Kitahara

ABSTRACT: The variability of surface heat flux depends strongly on the materials heat absorption and storage rates. During summer days, the temperature in the materials and long-wave radiation from the surface were measured together with surface long-wave radiation, atmospheric and solar radiation etc.. Among materials, asphalt slabs absorb highest radiation energy, and increase their temperature. Eventually, they radiate heat as high as 700W/m^2 higher than that of concrete slabs. In addition, the heat absorbed during daytime is released into the atmosphere. And the radiation energy is almost absorbed by absorber (e.g. water vapor and carbon dioxide) at lower atmosphere.

KEY WORD : Urban Environment, pavement, long wave radiation, Heat Island

1.はじめに

都市域のヒートアイランド現象はそれ自体深刻な問題であるが、地球の温暖化に伴って、一層深刻になることが予想される。

ヒートアイランドの原因には従来から、人工廃熱の増加、地表面の変化による地中含水量の低下、吸収熱量の変化、大気汚染物質の増加による温室効果等が考えられているが、このうち、地中含水量や吸収熱量は、クーラー等による人工廃熱量の増加などとともに、地球全体の温暖化の影響を直接受けることが予想される。それでは、まず、これらの熱量がどの程度の量であるかを見積ってみよう。

図-1は土地利用別に年平均の電気とガスの廃熱量を見積ったものである¹⁾。これをみると、業務地の熱量は 100W/m^2 近くになっているが、住宅地では 10W/m^2 程度以下であり、夏の日中の電力需要の増す時間帯でも数 10W/m^2 程度であると考えており、人工廃熱の目安となる値であるといえよう。

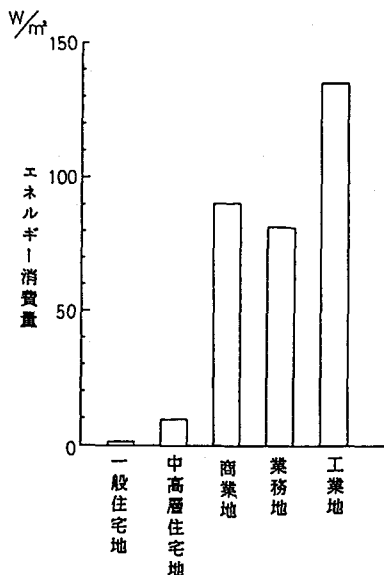


図-1 土地利用用途別発生熱量
(小川⁽¹⁾の結果を再整理)

*埼玉大学工学部建設基礎工学科 Department of Construction Engineering, Saitama Univ.

埼玉大学大学院 Post Graduate Student, Saitama Univ. *埼玉大学大学院 Graduate Student, Saitama Univ.

2. 舗装の加熱状況の実験

図-2は、猛暑といわれた1990年8月に測定されたアスファルト、コンクリート、砂利、砂、土による地表舗装の内部の温度分布である。当日の日中の気温は37度にも達し夜間でも30度を超えていた。このことから、温暖化による影響を予測するには適した条件といえよう。まず、図の(a)は日の出前の5:00の温度分布を示しているが、舗装の種類に係わらずほぼ気温と同じ温度を示し、しかも、上向きに多少低下していることから、この時間でさえも大気中に熱が放出されていることがわかる。次に、(b)の13:00の分布をみると、アスファルトの表面はなんと65度にまで達し、舗装内部に多量の熱を蓄えていることがわかる。コンクリートに蓄えている熱はアスファルトに比較して少なく、砂利や砂は熱伝導率が小さいために表面付近にだけ熱を蓄える。一方、湿った土の地面は、潜熱のために気温よりも低くなっており、舗装面との間に大きな差が出ているのがわかる。(c)の17:00にはアスファルトについていえば表面で45度程度にまで下がっており、13:00の分布との差がこの間に大気中に放出されたことになる。これは、ほぼ1.65MJにあたっている。また、20cmの深さの点では逆に温度が上昇しており、一部の熱はより深い方へ移動していったことを示している。しかし、日の出前の5:00での測定値との間には、まだ、5.35MJの差があり、これが、夜中に大気へ放出され、夜間の大気温度を上昇させることがわかる。

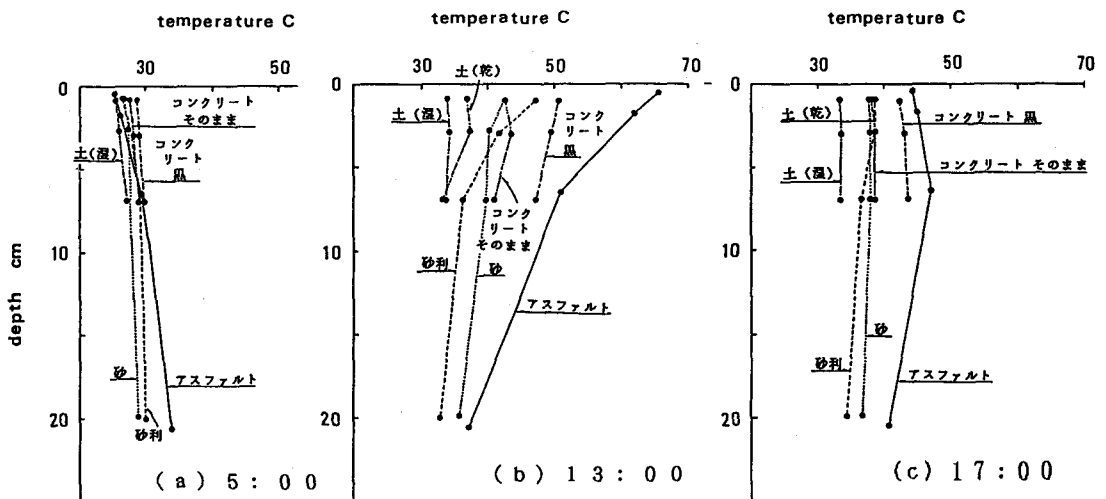


図-2 各種舗装内の温度分布

大気へ放出される熱は、おもに、顕熱と長波放射の形をとる。このうち、顕熱は直接大気を暖めることになるが、放射の方は、おもに大気に吸収された部分が大気を暖めるのに使用される。図-3は上記の測定の際に、舗装表面から観測された長波放射の量である。これをみると、アスファルト舗装はコンクリート舗装と比較しても日中では100W/m²程度多くの熱を放射しており、土の地面と比較すると150W/m²も多くの熱を出していることがわかる。一日で合計してみると、コンクリートとの間だけでも61MJ/m²多い量となる。これは、図-1に示される人為的な熱がだいたい数10W/m²であることを考えれば、極めて多い量であるといえよう。このように、舗装による蓄熱、放出過程の変化は非常に大きい量であることがわかる。

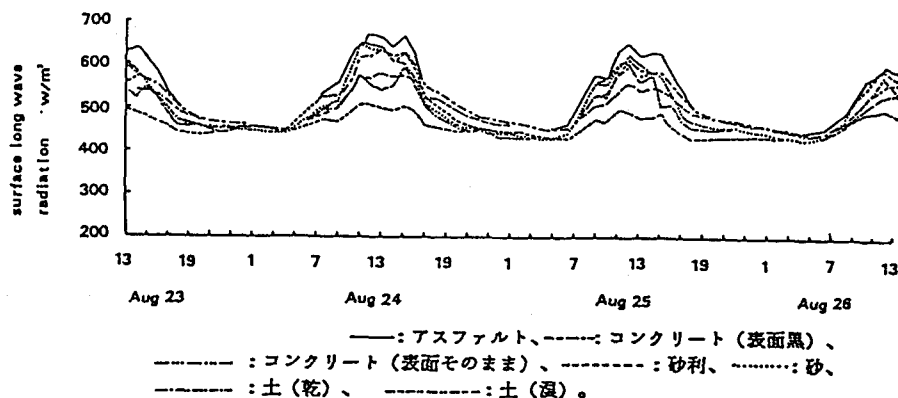


図-3 地面からの長波放射

それでは、このように大気に放射された熱がどの程度大気に吸収されるかを見積ってみよう。

図-4 は中緯度地域の夏の標準的な大気に対して、地表から放出された上向き長波放射が高さとともにどのように変わっていくかを平行大気で近似して、地表面温度をパラメータにして計算してみたものである³⁾。この減少率が高さの大気に吸収されたことになり、はじめの量との差が高さまでに吸収された量である。この図をみると数百メートルではほぼ半分程度の量が大気に吸収されてしまっており大気を加熱していることがわかる。もちろん、放射の吸収によって温度の上昇した大気自身の放射が増加するために大気の温度上昇にそのまま変換できるわけではないが、適当な目安と考えてよかろう。こうしを考慮して、アスファルト表面が60度に達し、土が35度だとすると、図の矢印で示される量だけの差ができることになる。この量も人為的な廃熱と比較して大きな量と言える。

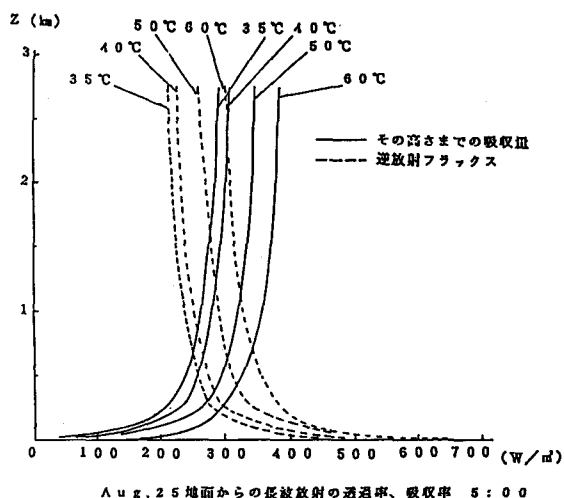


図-4 地面からの長波放射の各高さにおける強度、その高さまでの吸収量

3. 温暖化による影響

このように、地表の舗装が大気の加熱に極めて大きな役割を果たすとすれば、気温が上昇することによってそれがどのように変化するかを見積ってみることは必要であろう。ここでは、簡単のために1次元モデルを用いる。

舗装内の温度分布はほぼ熱伝導の方程式の解として次のように与えられる。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -\frac{1}{\kappa_1} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 0 < z < 1$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -\frac{1}{\kappa_2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 1 < z$$

ここで、簡単のため、舗装下の水分の蒸発を無視することにする。また、 z は地表面から下向きにとった座標軸、 1 は舗装幅、 T は舗装内温度分布である。 κ_1 は舗装の、 κ_2 はその下の地面の温度伝導率を表す。舗装下部とその下との間の地面との間は温度と熱フラックスについて連続させる。

地表面の境界条件としては、

$$-\kappa \frac{\partial T(0)}{\partial z} = S(1-\alpha) + R_n - H$$

S は日射、 α はアルベド、 R_n は長波放射フラックス収支、 H は顕熱輸送量である。十分乾いた舗装面からの潜熱輸送は無視できる。散乱光も含めた日射 S はKaufmannとWeatherred³⁾、HoffertとStorch⁴⁾の結果をまとめて、太陽高度 Z の関数として次のように与える。

$$S = (S_0 / r^2) \tau \cos Z \cdot (1 + \eta) (1 - 0.65n)$$

ここで、 S_0 は太陽定数、 n は雲量、 η は散乱光と直達光の比、 τ は大気の透過率、 r^2 は地球の軌道の楕円性による補正である。顕熱輸送量はバルク式で与え、

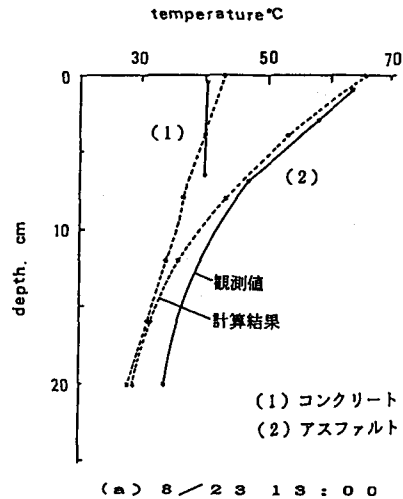
$$H = \rho_a c_p c_D U (T_s - T_a)$$

ここで、 ρ_a は空気密度、 c_p は定圧比熱、 c_D はバルク係数、 U は風速、 T_s 、 T_a は、それぞれ、地表と大気温度である。バルク係数等は従来提案されている値を用いることにする。長波放射フラックスは近似的に次式で与える。

$$R_n = T_a^4 \sigma \varepsilon_s (\varepsilon_a - 1 - 4(T_s - T_a) / T_a)$$

ここで、 σ はボルツマン定数、 ε_a 、 ε_s はそれぞれ大気および地面の射出率をあらわす。

これより求まる舗装内の温度分布と実験結果を比較したものが図-5である。これより、実験結果を十分再現できることがわかる。



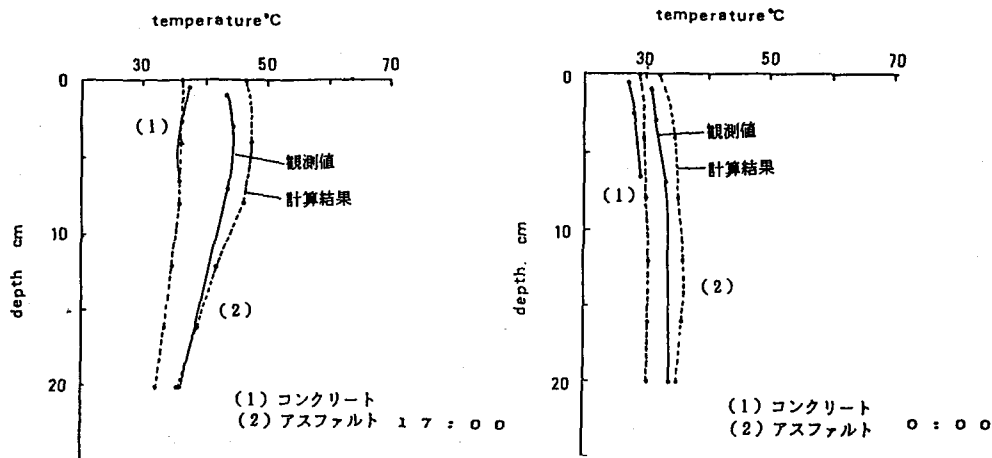


図-5 舗装内の温度分布とその計算結果

次に、図-6 にその時の地表面からの顕熱
輸送量と上向き長波放射量を示す。さらに、
同じ図に他の条件はそのままにしておいて、
気温だけを5度および10度上昇させてみた
結果を示す。気温と地表面との間の温度差は
小さくなるため顕熱輸送量は減少するが、長
波放射量は特に昼前と夕方とで大きくなるこ
とがわかる。先に示したように、こうして大
気中に放射された熱は比較的低い位置で多く
の部分が吸収されてしまうことから、この長
波放射の増加の影響は極めて大きいといえる
だろう。

4. まとめ

以上のように簡単な実験と計算で舗装によ
る大気の加熱効果の見積りを行ってみた。こ
の結果、都市域を舗装することによる蓄熱、放熱の過程の変化による大気の加熱率は人工的な廃熱に比較し
ても大きい量であることがわかった。

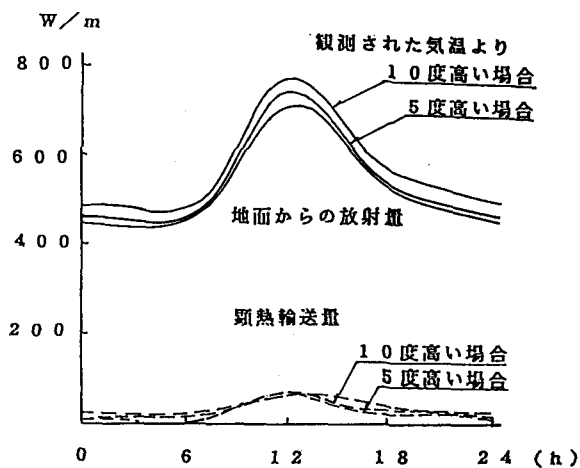


図-6 アスファルト表面からの熱放射量
についての計算結果

参 考 文 献

- 1) 小川考一、1989、環境要因からみた土地利用計画の評価手法に関する研究、日本大学修士論文。
- 2) Kimura, F. and Takahashi, S. 1991, Climate effects of land reclamation in Tokyo Bay - Numerical experiment, Energy and Building (in press).
- 3) Liou, Kuo-Nan, 1980, An introduction to Atmospheric radiation, Academic Press p.392.
- 4) Kaufmann, M.R. and Weathered, J.D. 1982, Determination of potential direct beam solar irradiance, U.S. Dept. of Agric. For. Serv., Fort Collins Co., Res. Rap. RM- 242.
- 5) Hoffert, M.I. and Storch, J. 1979, Scheme for computing surface fluxes from mean flow observations. Boundary-Layer Meteorol., 17, 429-442.