

ストリートキャニオン内の壁・道路の温度分布

Temperature Distribution of Walls and Ground Surface
in Street Canyon

VU THANH CA*, 浅枝隆**, 柴原千浩***, 藤野毅*, 中村考一****, 村上雅博*****

By VU Thanh Ca, Takashi ASAEDA, Chihiro SHIBAHARA

Takeshi FUJINO, Kouichi NAKAMURA and Masahiro MURAKAMI

Studies were carried out to investigate the influence of the pavement material and aspect ratio on the wall and ground surface temperature inside a North-South oriented street canyon through the computation of radiation flux. It was found that walls and pavement in a street canyon with small aspect ratio received more solar and infrared radiation due to large sky view-factor and higher temperature of the surrounding surfaces compared with a case of large aspect ratio. Thus, surface temperature of the wall and pavement were also higher. And the surface temperature of the asphalt pavement was higher than that of the concrete one, and infrared radiation emitted from the pavement surface caused the wall temperature in the former higher than in the latter.

Keywords: Street Canyon, Aspect Ratio, Wall Temperature, View-Factor

1. はじめに

都市域におけるヒートアイランド現象は、ますます深刻の度を高めている。地球規模の温暖化にともない都市域の気温はますます上昇しており、一説によれば、21世紀初頭には夏場の最高気温は40度を越えるとも言われている。このような現象は、日中のみならず夜間において熱帯夜を引き起こし、生活環境を悪化させるものである。したがって、ヒートアイランド現象には早急に対策を投じる必要がある。

温暖化の原因には実に様々な要素が挙げられるが、建物・道路などの人工構造物による影響は見逃すことのできない要素である。^{1)~6)} しかしながら、現実問題としてこのような構造物は、快適な生活をおくる上で必要なものであり一概に否定することはできない。したがって、構造物あるいはその配置について、熱環境を考慮する必要がある。当然、その際には熱という物理量を対象とする以上、物理的な考察を取り組んだ

* 学生員 工修 埼玉大学大学院

** 正会員 工博 埼玉大学助教授 工学部建設工学科

*** 学生員 埼玉大学大学院

(〒338 浦和市下大久保255)

**** 正会員 横浜市役所 下水道局

(〒231 横浜市中区真砂町2-22)

***** 正会員 工博 (株)日本工営中央研究所 開発研究部参事

(〒300 茨城県稲敷郡基崎町高崎2304)

ものでなければならない。

身近な例を挙げて考えてみよう。真夏の日に町中で暑さを感じる場合、その熱の流入経路は大きく分けて二つになる。その一つは、日射や大気から直接受ける熱である。これらは、本来非常に大きなスケールでの気象条件により決定されるものであるが、ストリートキャニオンの底の部分にいる人々にとっては、建物の配置による影響すなわち陰による影響を大きく受けている。もう一つは、建物の壁面、あるいは道路や駐車場の舗装から伝わってくる”むっ”とする暑さである。この実体は、熱せられた壁面や地面から放出される赤外放射であり、その熱量は、壁面あるいは地表面の絶対温度の4乗に比例する値である。さらに熱せられた壁面、地表面は顕熱輸送やこの赤外放射が大気に吸収されることにより、キャニオン内の大気を加熱することになる。したがって、人間の主たる生活圏であるストリートキャニオン内の熱環境を検討する場合においては、キャニオンを構成するビルの壁面・地面の温度を見積もることが必要となる。

本研究では、こうした概念の下に、二次元のストリートキャニオンを考え、いくつかの条件を変化させた場合の建物の壁面および地表面の温度を見積もり、その過程について検討したものである。

2. 現地観測

現地観測は、神奈川県横浜市関内で行った。観測地点は高さ15～40mほどのオフィスビルが立ち並びキャニオンを形成している。ストリートは北に対して30°西向きに偏っている。東西方向のストリートに比べ南北方向のストリートは窓が少ない。一例を挙げると、歩道を含むストリートの幅は13mでアスファルト舗装、建物の高さは西壁、東壁共に約35mでコンクリートである。また窓はほぼ存在していない。観測日は1993年8月12日、13日共に晴れ、14日曇り、8月28日晴れ、9月5日晴れ後曇り、9月16日、17日共に曇り、10月9日快晴、10月10日曇りである。

3. 解析方法

さて、キャニオン内の壁面・地面が受ける熱は、波長0.15～3 μmの日射およびその反射と、波長3～100 μmの大気や地面建物の壁面などからの赤外放射の放射によるものと、大気を通して伝わる顕熱が挙げられる。今回は、主に放射の観点から壁面および地面の温度を見積もるため、裸地などで存在する潜熱輸送の効果は扱わないことにした。壁面はコンクリートとし、地面はアスファルトとコンクリートの二種類を考え、熱伝導率および日射に対する反射率（アルベド）の影響を検討した。季節は特にヒートアイランドが問題となる8月とした。また緯度は横浜に合わせ35°26'Nとした。また、キャニオンの幾何学的特性（アスペクト比）による影響が明確に現れるように気温・湿度・風速については一定とした。また、建物による陰の効果を検討するために、南北方向のキャニオンを考え建物の高さは30mとした。なお、解析にはVu(1993)のモデル⁶⁾を用いた。支配方程式は(1)となる。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、 ρ は壁面あるいは地面の部材の密度、 C は比熱、 K は熱伝導率を表す。境界条件は式(2)、(3)となる。

$$-K \frac{\partial T}{\partial z} = S_{dir}(1-\alpha) + S_{dif}(1-\alpha) + L_{sky} + L_{wall} + L_{road} - L_{up} - H \quad (Z=0) \quad (2)$$

$$T = T_0 \quad (Z=Z_0) \quad (3)$$

ここで、 S_{dir} は日射の直達光、 S_{dif} は日射の散乱光、 α はアルベド、 L_{sky} は大気放射、 L_{wall} は向かい

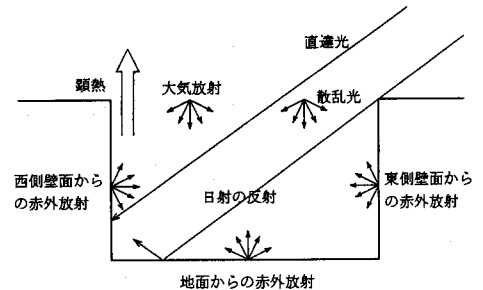


図-1 キャニオン内の熱収支模式図

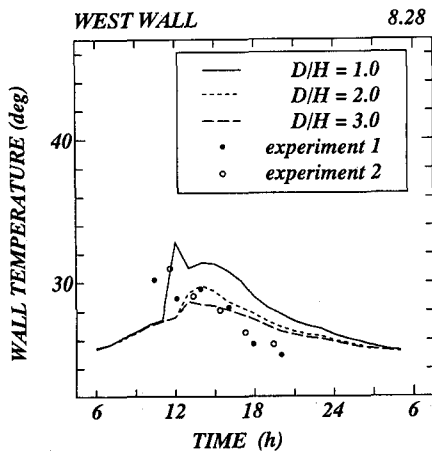


図-2 (a) 壁面温度の解析値と実測値の比較
1993.8.28

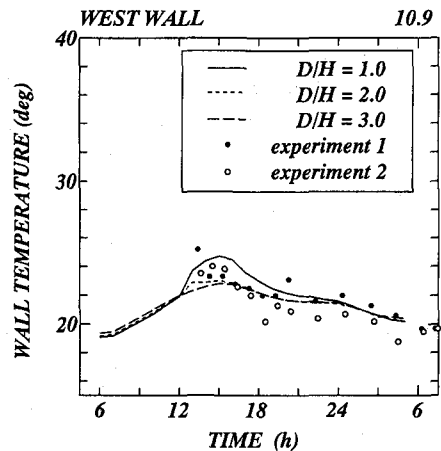


図-2 (b) 壁面温度の観測値と実測値の比較
1993.10.9

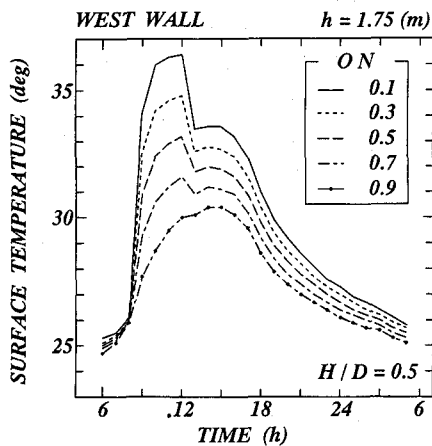


図-3 (a) 雲量別西側壁面温度の日変化
 $H/D=0.5$ のとき

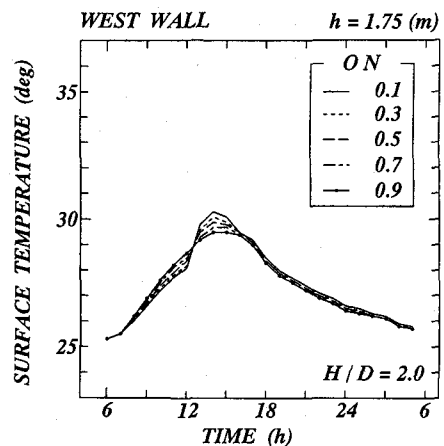


図-3 (b) 雲量別西側壁面温度の日変化
 $H/D=2.0$ のとき

側の壁面からの赤外放射、 L_{rad} は地面からの赤外放射、 L_a は自らが放出する赤外放射、 H は顕熱を表す。なお、壁面については室外表面を $z=0$ とし室内方向に z 軸をとり室内表面を $z=z_0$ とした。地面については地表面を $z=0$ とし鉛直下向きに z 軸をとり地下3mを $z=z_0$ とした。また、 $z=z_0$ では一日を通して $T=T_0$ で温度一定とした。ここでキャニオン内の熱収支分布の模式図を図-1に示す。

まずこのモデルの妥当性を示すために、1993年10月に横浜市で観測した実測値とこのモデルを用いた解析値を壁面の温度として、図-2 (a)、(b)に示す。この図より、このモデルの解析値の信頼性は高いと考えられる。

4. 放射量の違いが及ぼす効果

4・1 日射量の効果

まず、日射の効果を見ることにする。ここでは雲量を0.1~0.9まで変化させそれぞれについて計算を行った。その結果を地上から高さ1.75mの位置の壁面の温度として一日の時間変化を図-3 (a)、(b)に示す。まず、 $H/D=0.5$ の場合は、キャニオンの下層まで日射が直達するため、雲量すなわち日射の変化による影響が顕著に現れる。日射量が最も多い雲量0.1のとき壁面は最も高温となり、雲量0.3, 0.5, ...と雲量が大きくなるにしたがって、一次関数的に壁面の温度が低くなる。西壁の場合は正午になると日射の直達成分の

供給がなくなるため、急激に温度が低下する。一方、キャニオン下層の日照時間が1時間未満である $H/D=2.0$ の場合は、雲量によって生じる温度差は 1°C 未満となり、その影響はほとんどみられない。また、日射の直達成分があたる以前の時間帯では、雲量の大きい場合は壁面は高温である。これは、雲が多いほど大気からの下向き赤外放射量が多くなるからである。

これらのことから、日射が壁面の温度決定に与える影響は大きく、また壁面に入射する日射量は H/D に支配されるところが大きいといえる。

4・2 アスペクト比の効果

アスペクト比(H/D)は、壁面に入射する日射ばかりでなく大気からの赤外放射、向かい側の壁面からの赤外放射、および地面からの赤外放射の比率も決定するものである。そこで、 H/D の効果を見ることにする。まず、日射量が多い雲量0.1のときについて、 H/D の値を0.5から3.0まで変化させてそれぞれについて計算を行った。その結果を地上からの高さ1.75mの位置の西側壁面の温度として図-4に示す。この温度は $H/D=0.5$ のとき最も高温となり、 H/D が大きくなるほど低くなっている。これは次のような理由による。 H/D の値が小さい場合は、西側の壁が早い時間から日射を受けるので日照時間が長い。さらに、太陽高度が低いほど壁面のアルベドが小さいので、加熱率が高いためである。また H/D の値が1.0以下の場合は、11時にピークを持ち12時付近で極小値をとり、その後数時間は再び温度が上昇する。これは、日射の直達成分がなくなる(入射角 $=0$)のために一時的に急激な温度低下が生じる。しかし、その後は東側の壁面が日射の直達成分を受け温まり、その壁からの赤外放射を受けるため、図-5に示すように急激に壁面の温度上昇が起こる。次に東側壁面の温度についても西側壁面と同じ理由から、 $H/D=0.5$ のとき最も高温となり、 H/D の値が小さい順に1.0, 1.5, ... のときとなっている。 H/D が1.0以下の場合は12時を過ぎると壁面温度は急速に上昇し、ピークを過ぎると急激に冷却される。これは次のような理由による。12時以前には主に暖められた西側壁面からの赤外放射により熱せられるが、12時を過ぎると東側壁面に直接日射の直達成分が入射し、その結果壁面の温度は上昇する。ところが太陽高度が低くなり向かい側(西側)の壁の陰に入り日射の直達成分の供給がなくなると、今度は赤外放射として熱を放出し温度は急激に低下するのである。

次に、より具体的に、 H/D の値と壁面の温度の関係についてみることにする。風速を 0.5m/s 、雲量を0.1としてアスペクト比を0.5~3.0で変化させて計算した。建物の高さは30mとした。まず最初に、朝の7時について、地上から1.75m、9.75m、19.75m、29.75mの各点の壁面の温度を図-6(a)に示す。まず1.75mの高さについては H/D が大きくなるにつれて温度も上昇する。これは H/D の値が大きくなるにしたがって、天空率が小さくなり壁面から受ける赤外放射量が多くなるためである。(表-1参照)9.75mの高さについては逆に壁面温度は低下する。これは天空率が小さくなり壁面からの赤外放射量は増加するが、地面の見込み角が小さくなるために地面から受ける赤外放射量は減少するためにその差引きで負になってしまうからである。19.75mの高さについては H/D が1.0以上になると日射の直達成分が供給されなくなる。したがって H/D が1.0以上で急激に壁面の温度が低下するのである。次に、同様に日中の12時について図-6(b)に示す。1.75mについては H/D が1.0、9.75mについては H/D が1.5付近で日射の直達成分を受けなくなる。したがって、それぞれ急速に温度が低下するのである。また H/D が2.0以上で、1.75mが9.75mよりも高温になる。これは、1.75mは地面からの赤外放射量が大きいためである。最後に、19時について図-6(c)に示す。29.5mを例外として、 H/D が大きいほど壁面温度は低下し、しかも地面から高い点ほど低下の度合いが大きい。これは、 H/D の値が大きくなると、地面の見込み角は高い点ほど小さくなる。したがって、地面からの赤外放射量が非常に少なくなるからである。

5. 地表面の物性の違いによる効果

次に、地表面の条件の違いが壁面の温度に及ぼす影響をみることにする。地面がアスファルト舗装の場合

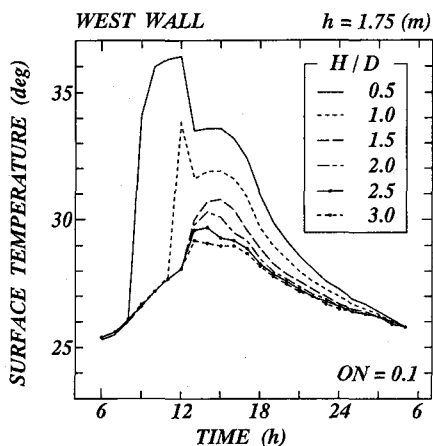


図-4 アスペクト比別西側壁面温度の日変化

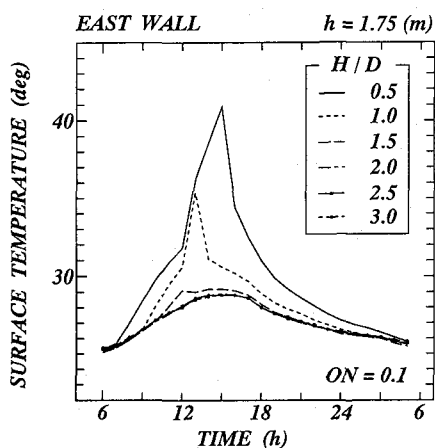
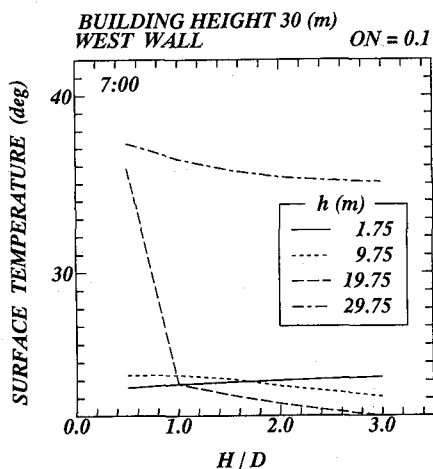
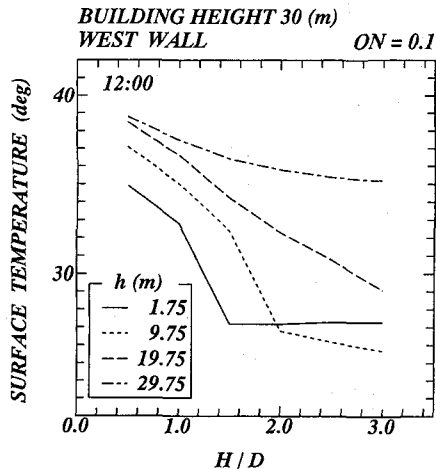


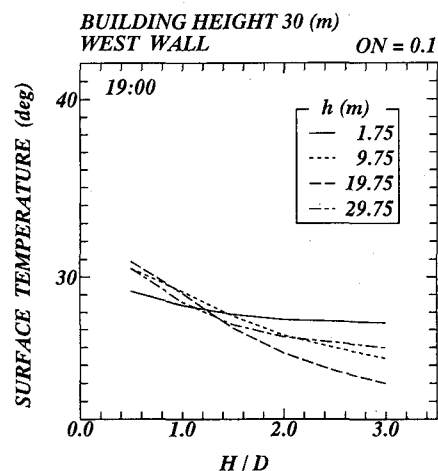
図-5 アスペクト比別東側壁面温度の日変化



(a) 7:00



(b) 12:00



(c) 19:00

図-6 アスペクト比と壁面温度の関係

表-1 高さ、アスペクト比ごとの
赤外放射の分布

h(m)	FROM ATMOSPHERE			FROM WALL			FROM GROUND		
	H/D=0.5	H/D=1.0	H/D=2.0	H/D=0.5	H/D=1.0	H/D=2.0	H/D=0.5	H/D=1.0	H/D=2.0
7:00									
29.75	228.9	226.7	222.3	129.2	159.3	171.5	143.6	75.3	24.3
19.75	162.9	125.3	86.9	171.5	242.4	294.3	171.9	111.8	46.2
9.75	126.1	87.5	64.0	170.9	241.9	294.6	201.6	165.0	102.6
1.75	106.7	73.7	59.2	139.8	183.5	214.0	225.8	216.6	198.4

(単位: W/m^2)

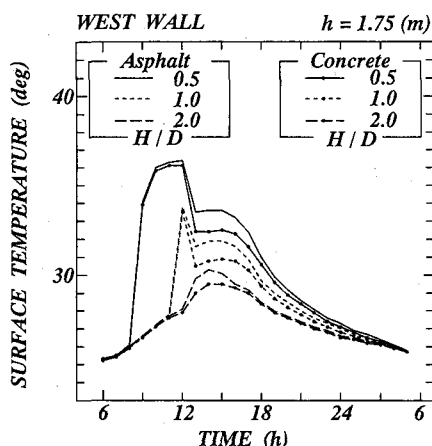


図-7 地面がアスファルト舗装の場合とコンクリート舗装の場合の壁面温度の比較

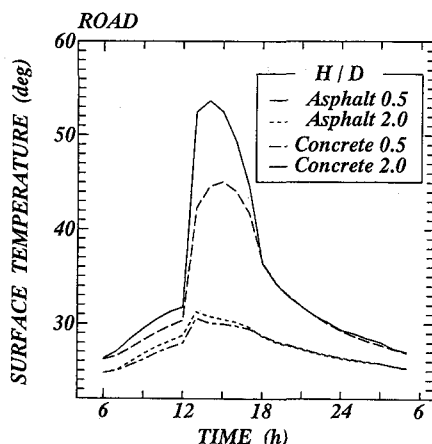


図-8 地表面温度の日変化

と、コンクリート舗装の場合との比較を行うために、地表面の熱伝導率とアルベドを変更して計算を行った。その結果を、壁面の温度の一日の変化として図-7に示す。アスファルト舗装の場合と比較してコンクリート舗装の場合は、正午から18時位までの間で壁面の温度が1℃ほど低くなっている。またH/Dの値が小さいほど顕著に表されている。これは次の理由による。図-8に示すようにH/Dが1.0より小さいときは、コンクリート舗装の地面の温度は、アスファルト舗装の場合より8℃ほど低い。したがって、道路からの赤外放射量が少なくなるため、壁面の温度は低下するのである。一方、H/Dが2.0と大きい場合は、地面自体が日射の直達成分を受ける時間が少ないため地面が温まらないのである。

6. まとめ

ストリートキャニオン内の壁面や地面の温度を見積もる際には、キャニオンのアスペクト比と天空率(VIEW-FACTOR)は重要な役割を担う。アスペクト比が低いキャニオンの壁面は、日中に日射の直達成分を供給されるので高温となる。一方、アスペクト比の高いキャニオンでは日中は、正午付近の数時間を除いては壁面は日射の直達成分を供給されないので低温となる。しかし、このようなキャニオンは天空率が非常に小さいため、夜間になると熱が逃げず、比較的高いままである。また、高温になった壁面は自ら赤外放射として熱を放出する。壁面が受ける赤外放射は、大気からのもの、向かい側の壁面からのもの、地面からのものである。そしてこれらのVIEW-FACTORを含めた熱バランスにより壁面の温度が決定されるのである。

参考文献

- 1) T. Asaeda and Vu Thanh Ca : The Subsurface Transport of Heat and Moisture and its Effect on the Environment: A Numerical Model, Boundary-Layer Meteorology, vol. 65, pp. 159-179, 1993.
- 2) T. Asaeda, Vu Thanh Ca and Steven Armfield : Natural Convection in a Street Canyon, Proceedings of Australian Natural Convection Workshop, (in press).
- 3) T. Katayama, A. Morikawa, S. Masuda : Investigation on the Formation of Thermal Environment in an Urban Canyon, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 372, pp. 30-41, 1987.
- 4) A. Yoshida, K. Tominaga, S. Watatani : Field Measurement on Energy Balance of an Urban Canyon in the Summer Season, Energy and Buildings, Vol. 15-16, pp. 417-423, 1990/91.
- 5) Vu Thanh Ca and T. Asaeda : Coupling of Vapor and Heat Transport Underground in Normal Meteorological Conditions: A Numerical Model, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要, 第47巻, pp. 1194-1195, 1992.