

5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測

片山, 忠久

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

林, 徹夫

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

塩月, 義隆

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

津々見, 伸広

九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻

他

<https://doi.org/10.15017/17160>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 11 (3), pp.313-319, 1989-12-01. 九州大学大学院総合理工学研究科

バージョン：

権利関係：

5種類の被覆材料による地表面熱収支の長期観測

林 徹夫*・片山 忠久*・塩月 義隆*

津々見 伸広**・堤 純一郎***

(平成元年8月31日 受理)

Consecutive Observation of Heat Balance on Ground Surfaces with Five Kinds of Covering Materials

Tetsuo HAYASHI, Tadahisa KATAYAMA, Yoshitaka SHIOTSUKI
Nobuhiro TSUTSUMI and Jun-ichiro TSUTSUMI

Heat balance on a ground surface is one of the greatest element in urban thermal environment. Ground surface samples are made of five covering materials. They are bare ground, lawn, concrete, asphalt and permeable asphalt. Temperature and heat flux on the surface, temperature in the soil and several meteorological elements are measured in and around these samples consecutively. The annual fluctuation of temperature in the soil, the heat balance and the evaporation on the surfaces and so on are examined in this paper.

Principal conclusions are as follows: (1) The daily average surface temperatures on the lawn and the bare ground are lower than those on the other artificial materials by 7-10°C in summer. (2) The soil temperatures at the depth of 80cm under the lawn and the bare ground are lower than those under the other materials by 3-5°C all year long. (3) The evaporation on the bare ground surface has great influence on the surface temperature. When it is large, the increase of the surface temperature by solar radiation is mitigated. (4) The impermeable materials can not keep precipitation. The cooling effect by evaporation on these surfaces are hardly found.

1. はじめに

著者等は夏季に高温となる舗装面の、ミクロには人体の温熱感覚¹⁾、マクロには市街地や都市スケールの気候²⁾に対する影響を数年来、実測調査してきた。また、表面での水分蒸発がある裸地や芝地などと、それのない舗装面の熱的特性の違いについても調べて来た³⁾。さらに、住宅等におけるパッシブクーリングの冷熱源として地盤を利用する方法も提案している⁴⁾。

これら、地表面および地盤内の伝熱特性と密接に関係する問題は、地盤内の大きな熱容量、表面での水分蒸発と地盤内の水分移動に伴う土壌物性値の変化、芝地や草地の季節による状態変化⁵⁾を含む地被材料の特性など、種々の要因の影響を受ける。

これらの要因の影響を明らかにするため、著者等は都市を構成する主な地被材料と考えられる5種類を実

際の地盤の上に作製し、その表面熱収支および地盤内伝熱特性の長期観測を行っている。類似の長期観測を成田ら⁶⁾がアスファルト舗装と土壌面について行っているが、供試体の寸法が限定されており、実在地盤での長期観測は測定例が少ないのが実情である。

本稿では、地被材料および測定概要、表面および地中温度の長期変動特性、水分蒸発の表面温度および地表面熱収支に及ぼす影響について報告する。

記号

AH: 水平面大気放射量	, W/m ²
CD: 伝導熱量(地中へ流入する場合を正)	, W/m ²
CV: 対流伝熱量	, W/m ²
EV: 蒸発潜熱量	, W/m ²
RU: 表面からの射出および反射放射量	, W/m ²
TH: 水平面全天日射量	, W/m ²
T: 供試体表面の絶対温度	, K
ε: 長波長放射率	
ρ: 日射(短波長)反射率	
σ: 黒体の放射定数	, 5.67×10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴

*熱エネルギーシステム工学専攻

**熱エネルギーシステム工学専攻修士課程

***東和大学工学部建設工学科

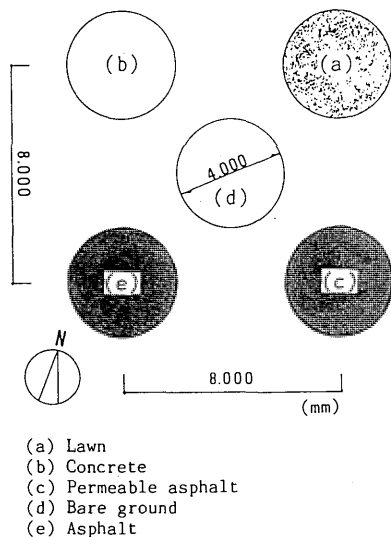


Fig. 1 Arrangement of ground covering materials.

2. 地表供試体と観測概要

九州大学筑紫地区の実在地盤上に芝地、裸地、コンクリート舗装、アスファルト舗装、透水性アスファルト舗装の計5種類の地被材料から成る地表供試体を作製した。供試体の配置を Fig. 1, 供試体およびその下部の断面を Fig. 2 に示す。各供試体は直径4mの円形で千鳥型に配置されている。芝は公園等に多用される高麗芝であり、裸地は地盤表面を整地したものである。舗装面の厚さは5cm, その下層は10cm厚の砂利で、いわゆる簡易舗装である。現在(1989年8月)、供試体の周囲は雑草の生えた草地の状態になっている。

各供試体には、表面から深さ5mmの位置に熱流測定用の熱流板、表面から深さ80cmまでに温度測定用の熱電対と電気抵抗測定用の電極を設置した。電極は電気抵抗値を用いて土壤の含水率を測定する目的で設置した。熱流および温度は、供試体に隣接する5階建建物の屋上での気象観測結果とともに1時間間隔で収録している。また、温度、含水率等の地盤内の3次元的な分布を調べるため、外周4種類の供試体の中間点(4箇所)にも Fig. 2 と同様な熱電対と電極を設置しているが継続的な測定は行っていない。

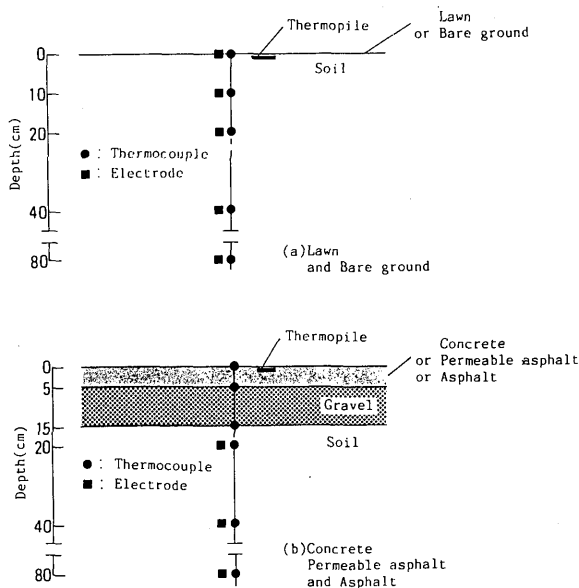


Fig. 2 Vertical section of the ground-underground and the measuring points.

供試体上には適宜、簡易(光電型)日射計とアダプター付き全波長放射収支計を下向きに設置し、表面の日射反射率および長波長放射率を測定する。また、赤外線放射カメラによる熱画像解析も随時行っている。

3. 地被材料の日射反射率と長波長放射率

供試体上の中央に日射計を下向きに取付け、供試体からの反射日射量を測定する。日射反射率は、表面からの反射日射量を、表面に入射する日射量、すなわち水平面全天日射量で除して求められる。

長波長放射率は供試体上に向下に設置したアダプター付き全波長放射収支計と供試体表面温度の測定値から求める。短波長放射(日射)の影響を除外するため夜間のデータのみを用いる。前述の放射収支計で得られる供試体表面からの放射量をRUとすれば、次式が成り立つ。

$$RU = (1 - \epsilon)AH + \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \tag{1}$$

右辺第1項は表面での反射、同第2項が表面からの射出を示す。式(1)を変形して長波放射率は次式である。

$$\epsilon = (RU - AH) / (\sigma \cdot T^4 - AH) \tag{2}$$

Table 1 Solar reflectivity and long-wave emissivity.

Ground surface samples	Reflectivity			Emissivity
	1987 Sep.	1988 Aug.~Nov.		
	Dry	Dry	Wet	
Lawn	0.34	0.31	0.25	0.93
Concrete	0.59	0.40	0.30	0.96
Permeable asphalt	0.05	0.11	0.07	0.99
Bare ground	0.32	0.33	0.25	0.96
Asphalt	0.07	0.12	0.09	0.98

芝地の場合、式(2)中の表面温度は芝の茎の表面温度を用いている。

日射反射率と長波長放射率の測定結果を Table 1 に示す。日射反射率は観測期間、表面の状況を区別して表示している。約1年の経時変化により、透水性アスファルトおよびアスファルト舗装の日射反射率は大きくなっている。劣化により表面の色が若干白っぽくなった為である。逆に、コンクリート舗装は灰色が黒ずんできたため、日射反射率が小さくなっている。また、日射反射率はいずれの地被材料とも、濡れた状態の方が乾燥した状態より小さくなっている。各地被材料の長波長放射率の値はほぼ1に近い数値である。

4. 表面および地盤内の温度変動

各供試体の表面温度の年間変動を Fig. 3 に示す。1987年8月～1988年10月の1年強の期間であるが、データロガーの障害による欠測が有る。表面温度日平均値の年間変動をみれば、芝地と裸地がほぼ等しい。また、透水性アスファルト舗装とアスファルト舗装の間にも大きな差はない。前者2種と後者2種の差は冬季には少ないが、日射量が大きくなる3月から4月にかけて徐々に広がり、夏季には透水性アスファルトとアスファルト舗装の方が、芝地と裸地に比べて7～10℃高くなる。コンクリート舗装の場合、冬季の間は裸地と芝地の変動とほとんど変わらないが、夏季においては裸地と芝地より約2～3℃高くなる。透水性アスファルトとアスファルト舗装では、夏季の表面温度の日平均値が40℃を越す場合もある。この両者の日最高値と日最低値の差、すなわち日較差は夏季には約45℃に達することもある。

地中80cmの温度日平均値の年変動を Fig. 4 に示す。地表面温度の変動と同様に、裸地と芝地、透水性アスファルト舗装とアスファルト舗装の日平均値の年

間変動はほぼ同じであるが、後者2種の方が常に3～5℃高くなっている。

前述の1年強の期間から冬春夏秋の代表月として2, 5, 8, 10月を選び、各深度の温度の月平均値、日最高月平均値および日最低月平均値を Fig. 5 に示す。各地被材料とも、深度が浅くなるにつれて変動幅が大きくなる。また、2月では地表に近いほど月平均値が低下する。一方、8月ではアスファルトおよびアスファルト舗装で最高温度の垂直方向の勾配が急である。

5. 地表面熱収支と降雨の影響

1988年5月15日～19日の芝地、裸地およびアスファルト舗装の温度変動を Fig. 6 に示す。5月15日に約11mmの降雨があり、その翌日から19日までは晴天が続いている。芝地とアスファルト舗装の表面温度は日射量にほぼ比例して変動するのに対して、裸地の表面温度は土壌内水分の減少で蒸発が抑制されるため、日毎に表面温度が上昇している。アスファルト舗装の表面温度の日較差を基準にして、各供試体表面温度の日較差の比率を求めると、透水性アスファルト舗装は約1.0、芝地は約0.7、コンクリート舗装は約0.6であり、この比率は4日間を通してほとんど変化しない。一方、裸地では降雨直後から土壌の乾燥が進むに従って、この比率が大きくなり、約0.5から約0.8に変化する。Fig. 6によれば、裸地およびアスファルト舗装の地中温度は16日からの晴天で徐々に上昇しているが、芝地の地中温度には際立った変化はみられない。植生の日射遮蔽効果、蒸散作用の影響と考えられる。

各供試体表面の熱収支をその成分毎に Fig. 7 に示す。ここで、短波長放射収量は $[(1-\rho) \cdot TH]$ 、長波長放射収量は $[\varepsilon \cdot AH - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4]$ として求め、伝導熱量 $[CD]$ は熱流計の指示値を使用する。これらの残差として(対流+蒸発)熱量、すなわち

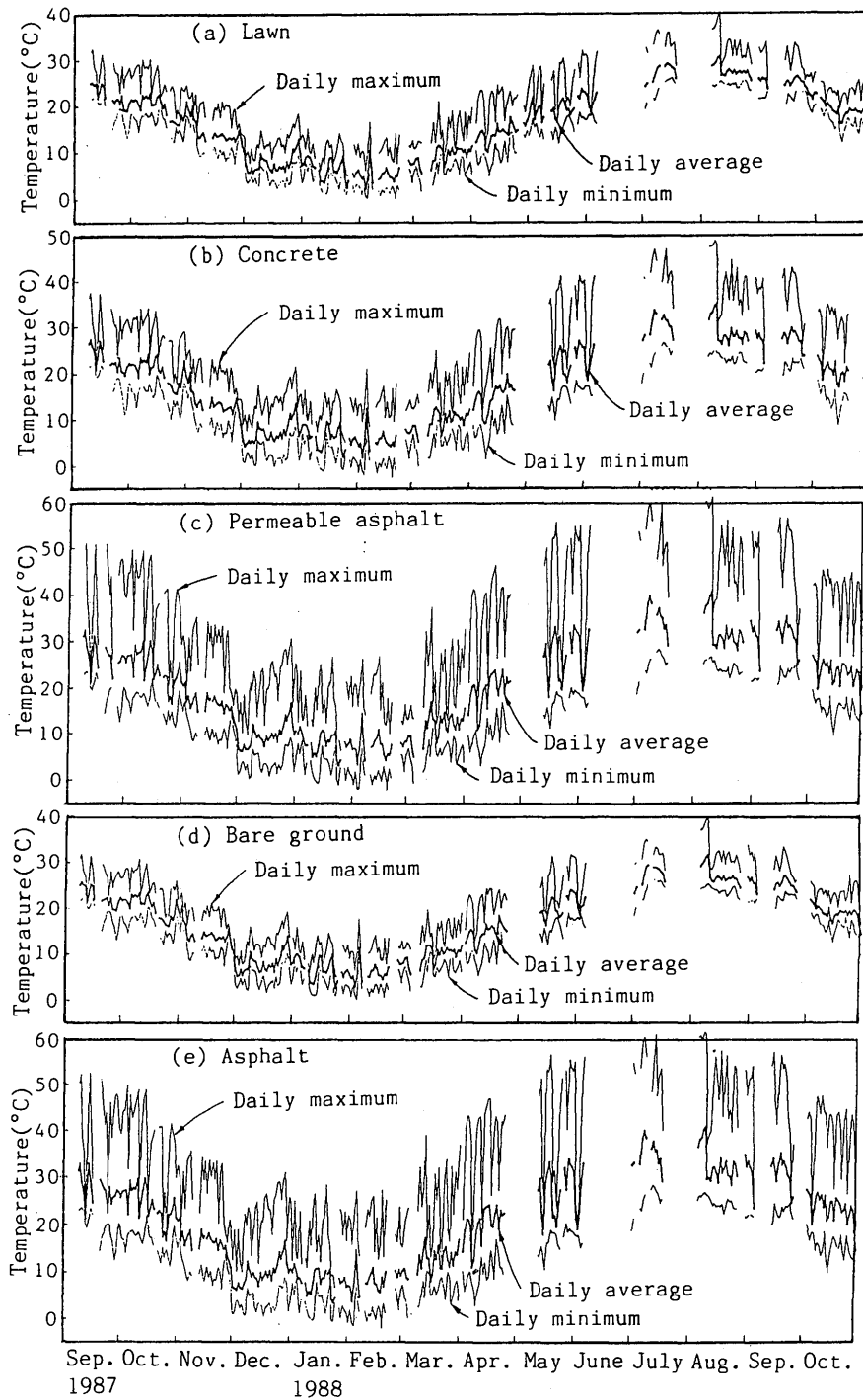


Fig. 3 Annual fluctuations of daily maximum, average and minimum temperatures of the ground surface.

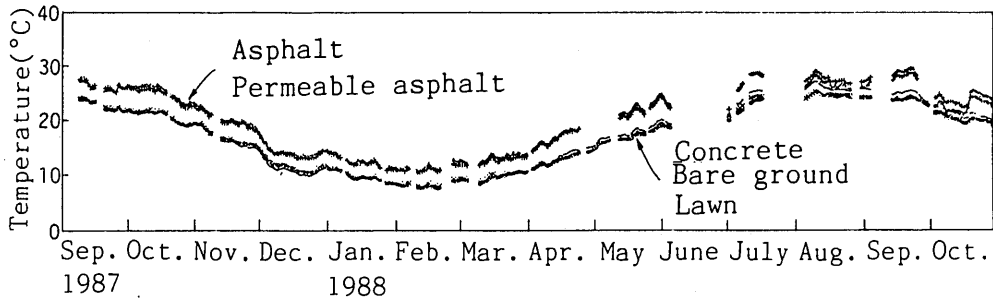


Fig. 4 Annual fluctuations of daily average temperatures at 80cm depth under the ground.

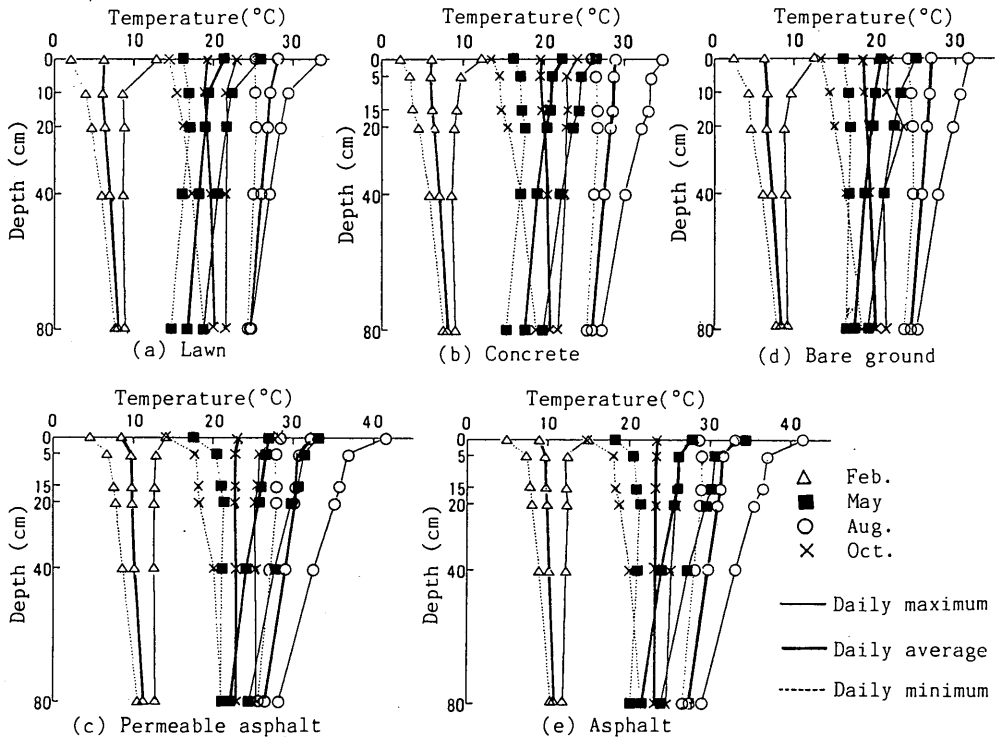


Fig. 5 Vertical distribution of monthly average temperatures; daily maximum, daily average and daily minimum temperatures.

[CV+EV] を算定した。Fig. 7 によれば、水分蒸発のないアスファルト舗装の地中への伝導熱量が他に較べて大きい。芝地は日射を受けて表面温度は上昇するものの、土壌内水分の蒸発や芝生の蒸散作用で、地中への伝導熱量が抑制されている。5月16日のアスファルト舗装の伝導熱量の最大値は約 $400\text{W}/\text{m}^2$ であり、

これを基準にすると芝地は38%、裸地は48%の比率になる。この比率は芝地の場合にはほとんど変化しないが、裸地では晴天が続くと日毎に増加する。また、裸地では(対流+蒸発)成分が日毎に減少しており、土壌の乾燥化の進行を示している。

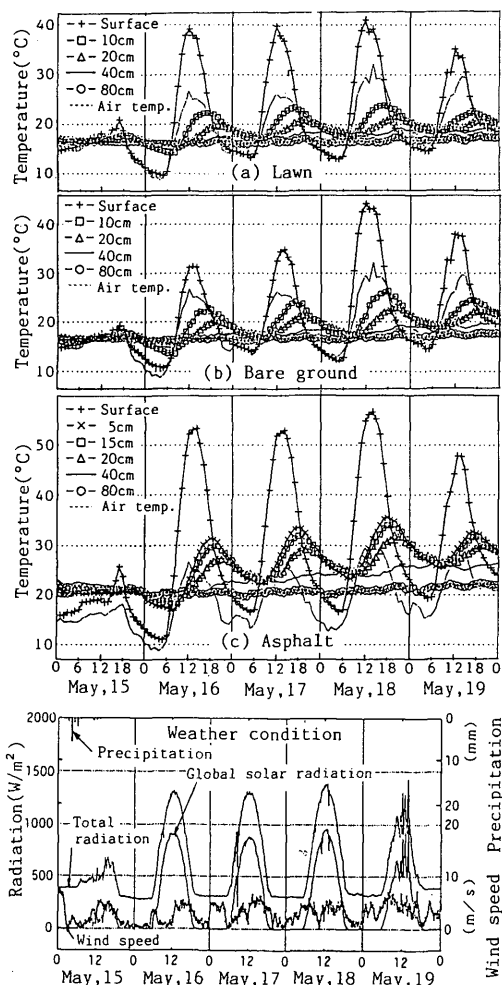


Fig. 6 Diurnal fluctuations of the ground surface and the underground temperatures.

6. 散水後の地表面温度の熱画像解析

夏季、早朝に降雨があった場合を想定した実験を行った。各地表供試体に対して約10mmの撒水を行った後、赤外線放射カメラで表面温度の変化を観測した。観測は1988年9月2日に行い、その経時変化を Fig. 8 に示す。(a)は、撒水前である6:00の熱画像である。夜明け直後にもかかわらず、既に透水性アスファルト及びアスファルト舗装の表面温度が、芝地や裸地に比べて約4℃高い。(b)は撒水後約15分、(c)は撒水後約5時間経過した熱画像である。また、(d)には30

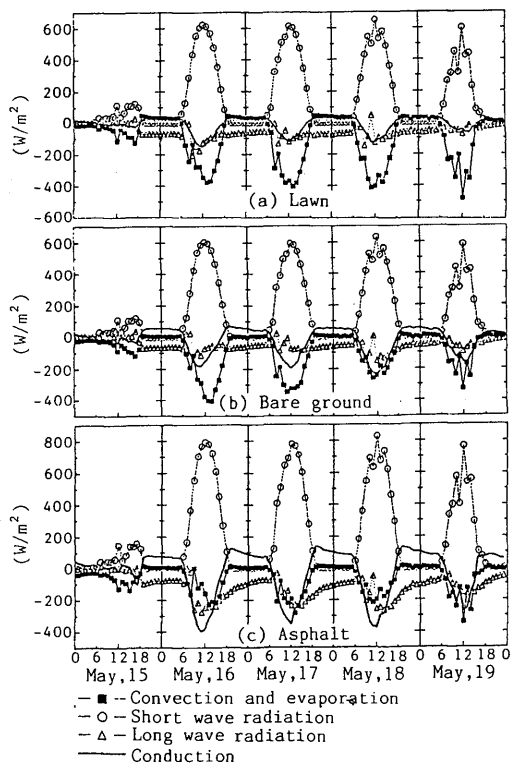
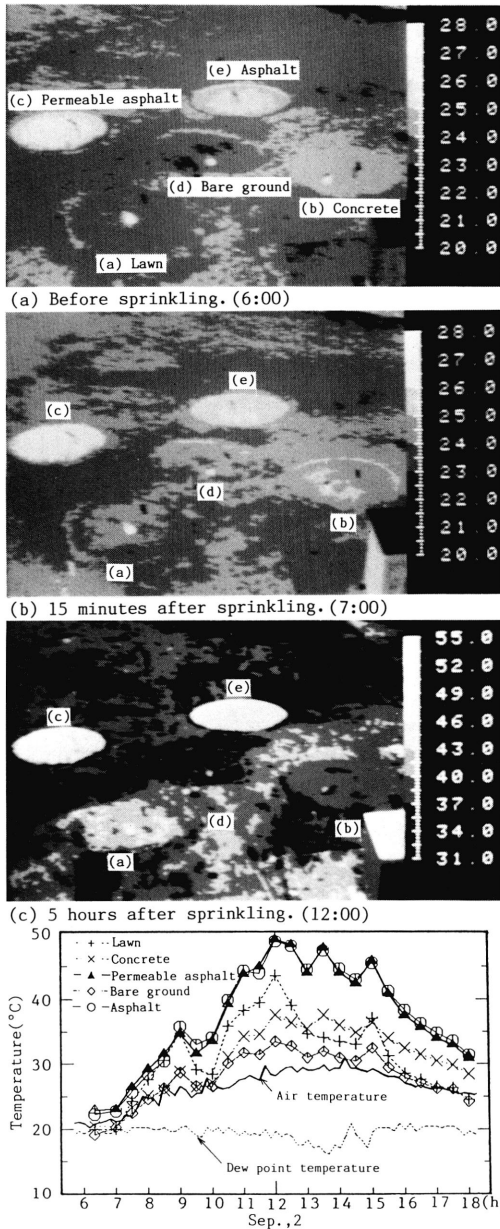


Fig. 7 Diurnal fluctuations of heat balance component at the ground surface.

分毎に赤外線放射温度計で測定した表面の平均温度(20点)の経時変化を示す。アスファルト舗装などの非透水性材料は降雨があっても、雨水の顕熱による一時的な温度低下の効果しか期待できない。一方、土壤に保水する裸地の表面温度は日射を受けた状態でも、水分蒸発が持続し低く保たれている。

7. まとめ

芝地、コンクリート舗装、透水性アスファルト舗装、裸地およびアスファルト舗装の5種類の地被材料から成る地表面供試体を実在地盤上に作製し、表面および地盤内の温度、熱流の測定を現在も継続している。また、表面の放射特性、土壤含水率等の測定も随時行っている。測定開始後、最初の1年はデータ集録装置の障害等で連続したデータが採取できず、2年目になって順調に経過しているのが現状である。年周期を含む変動を対象とした長期間の測定であり、今後更にデー



(d) Diurnal fluctuations of ground surface temperatures measured by infrared thermometer.

Fig. 8 Thermograms of the ground covering materials.

タの蓄積が必要と考えている。また、表面での水分蒸発、地盤内の水分移動など、今後の定量化がさらに必要である。

謝 辞

供試体の作製、実測に際し、張晴原君（当時本専攻大学院博士過程）の協力を受けた。また、(株)香椎造園永松陸雄氏からは芝生の提供を受けるとともに植栽上の指導を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。なお、本研究の一部は昭和63年度文部省科学研究費、一般研究（C）「水分移動を考慮した地表面・地盤内の伝熱解析に関する実験的研究」によることを付記する

参 考 文 献

- 1) 石井昭夫他4名：屋外気候環境における快適感に関する実験的研究，建築環境工学学術研究発表会資料，No. 3, pp. 79-86, 1987.6
- 2) 片山忠久他5名：水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究，日本建築学会計画系論文報告集，No. 372, pp. 21-29, 1987.2
- 3) 片山忠久他2名：Investigation on the Formation of Thermal Environment in an Urban Canyon —Influence of land covering materials and solar shading by a tree—，日本建築学会論文報告集，No. 372, pp. 30-43, 1987.2
- 4) 林 徹夫他3名：地盤冷熱利用と自然換気を利用した住宅のパッシブクーリング手法の検討，九州大学総合理工学研究科報告，第9巻第1号，pp. 73-78, 1987.7
- 5) 梅干野晃他1名：屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果，日本建築学会環境工学論文集，No. 5, pp. 133-140, 1983.11
- 6) 成田健一他2名：アスファルト舗装面における熱収支の実測—(試験体を用いた野外実験) 都市地表面における日射エネルギーの変換機構に関する研究・その1—，日本建築学会環境工学論文集，No. 5, pp. 127-132, 1983.11