

1. 保水性舗装、遮熱性舗装及び低騒音舗装の試験体による室内放湿量測定

Chamber Measurement of Evaporation for Water-absorptive Pavement , Solar Heat-blocking Pavement and Low Noise Pavement

技術支援課 田村 哲也、時吉 賢、○小作 好明、上野 真誉、狭間 博

1. はじめに

東京都では、ヒートアイランド対策の一つとして、遮熱性舗装や保水性舗装を施工しており、東京都土木技術支援・人材育成センターでは、以前から遮熱性舗装や保水性舗装の道路での観測を実施している。しかし、実際の道路では、風や日射などの気象条件が日によって異なってしまうため、気象条件を揃えて比較することが困難であった。そこで、気象条件を同じにできる室内で保水性舗装と遮熱性舗装の試験体について主に放湿量の測定を実施し、比較検討を行った。ここでの放湿量とは、降雨により舗装に水分が含まれた場合、舗装に含まれる水分量の減り方を指しており、熱収支でいうところの潜熱輸送量に対応するものである。日射によって舗装の温度が上昇するが、舗装からの熱が大気を温める顕熱ではなく、水分が気化する際の潜熱に配分されることで顕熱が抑制されることを利用した舗装が保水性舗装である。一方、日射のうち、近赤外領域の放射を散乱、反射して舗装温度の上昇を抑制し顕熱を少なくする舗装が遮熱性舗装である。低騒音舗装や遮熱性舗装は保水材を含まないため、水分を保ちにくい、ある程度の水分を保持することは確かである。低騒音舗装、保水性舗装、遮熱性舗装の試験体について室内測定を行い比較したのでここで報告する。

2. 室内測定

表-1 に室内測定における照射と散水のイメージを示す。ここでいう吸湿試験、放湿試験、照射放湿試験、

照射散水試験は、一般に使用される試験名称ではなく、室内測定の仕様を区別するために、本報告で使用している便宜的な試験名称である。室内測定における照射は日射に対応するものであり、室内測定では人工的に照射ビームランプ（以下、照射ランプという。）を使用した。また、散水は降雨に対応し、室内測定では降水量5mm相当の散水を行った。

表-1 に示す照射放湿試験は5日間降雨がない状況で、そのうち3日間の晴天となることを想定している。

また、照射散水試験は降雨後、2日間晴天が続き3日目に降雨がある場合を想定している。

なお、放湿試験は、照射や散水によって放湿量が変化するので、ベースとなる放湿量を把握するために行った。また、吸湿試験は、乾燥状態の試験体を5日間(120時間)放置する試験である。これは、乾燥した試験体が空気から水分を吸湿して水分量が増えることが考えられるため、どの程度の変動があるのかを確認するために行ったものである。

表-1 室内測定の照射と散水のイメージ

	初期状態	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	条件
吸湿試験	乾燥	—	—	—	—	—	気温 約30℃
放湿試験	 表乾						
照射放湿試験	 表乾						相対湿度 約75%
照射散水試験	 表乾						

3. 試験体

室内測定に使用した試験体について表-2 に示す。試験体は、いずれの舗装でも 20cm×20cm×20cm の立方体である。4 層の舗装体をアスファルト乳剤で接着して試験体を製作した。表層部（試験体上部）の空隙率は、低騒音舗装で 20.3%、保水性舗装は 2 層構造で 21.6%と 22.0%、遮熱舗装は 20.1%である。基層部（試験体下部）は粗粒度アスファルトコンクリートであり、その空隙率は、3.5~3.8%である。

表-2 試験体

試験体	種別	最大粒径	厚さ	密度 g/cm ³	空隙率
低騒音舗装 20×20×20cm	ポーラス	13mm	5cm	1.995	20.3%
	粗粒度	20mm	15cm 5cm×3層	2.428 ~2.436	3.5% ~3.8%
保水性舗装 20×20×20cm 保水材75%浸透	ポーラス	13mm	4cm	1.983	21.6%
	ポーラス	20mm	6cm	1.982	22.0%
遮熱性舗装 20×20×20cm 表面に遮熱材塗布	粗粒度	20mm	10cm 5cm×2層	2.428 ~2.436	3.5% ~3.8%
	ポーラス	13mm	5cm	2.000	20.1%
	粗粒度	20mm	15cm 5cm×3層	2.428 ~2.436	3.5% ~3.8%

4. 測定項目

試験体に対する測定項目を表-3、測定の模式図を図-1、測定機器の配置状況を写真-1、熱流計・温度計設置状況を写真-2 に示す。測定記録間隔は 1 分とし、データ整理の際に 10 分平均または 30 分平均にした。

温湿度計は測定環境把握のために設置した。恒温恒湿室内の四隅と試験体に乗せた状態で測定した。

放湿量は各舗装の試験体の重量を電子天秤で測定し、重量の減少分を放湿量としている。この重量減少分から潜熱輸送量を算出した。

試験体上面の表面温度は放射温度計で測定した。照射ランプを真上に設置して照射する必要があるため、直上に測定機器を設置できないことと、接触式の温度計を使用すると、照射ランプを点灯した際、温度センサ自体が熱を受けてしまい、試験体表面の温度を測定できないことから、斜め方向から表面温度を測定できる放射温度計を使用した。

恒温恒湿室内の気温や相対湿度はほぼ一定であるが、天井や壁面からの放射エネルギー（長波放射）があるため、空気からの熱の出入りの他に長波による熱の出

入りがあある。そこで長短波放射計を用いて長波放射量を測定した。なお、室内であるため、短波放射量（日射に相当）は測定されなかった。

試験体は断熱材によって完全に断熱できないため、ある程度の熱の移動がある。そこで、熱流計を使用して試験体の側面と底面からの熱の出入りを測定した。ただし、熱流計は接着しただけなので測定値の信頼性は低いものである。また、その際の温度を記録するためとモールド型温度計も設置した。

表-3 測定項目

器機名称	台数	測定項目	備考
電子天秤	3	放湿量	潜熱量を算出
長短波放射計	1	長波放射	恒温恒湿室内の長波測定
温湿度計	7	気温	恒温恒湿室と試験体上面の気温測定
温度計 モールド型	9	試験体温度	試験体側面と底面の温度測定
放射温度計	3	表面温度	試験体の表面温度測定
熱流計	9	熱流	試験体底面と側面の熱流測定
照射ランプ	3	—	試験体加熱
全天日射計	1	全天日射量	照射ランプのエネルギー量測定

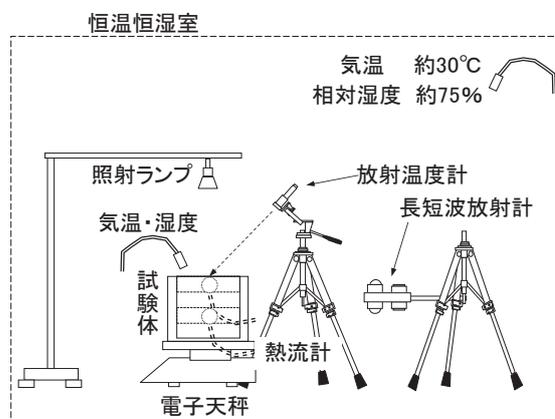


図-1 測定模式図



写真-1 測定機器配置状況（例 散水照射試験）

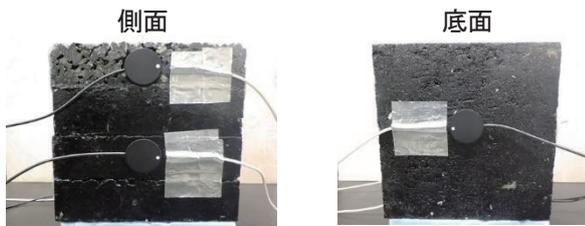


写真-2 熱流計・温度計設置状況
(例 低騒音舗装試験体)

5. ランプ照射の設定

各試験体の上面から照射ランプまでの高さや照射時間について設定をした。

写真-3 に照射ランプの高さ設定の様子を示す。照射ランプは個別の機器によって照射エネルギーに差異が生じる場合があるので、表-4 に示すように各試験体の上面から照射ランプまでの高さを変えて全天日射計で測定した。本試験では照射量が約 1700W/m²となる高さとし、低騒音舗装の試験体では高さ 34cm、保水性舗装と遮熱性舗装の試験体では、高さ 35cm で照射することとした。

照射ランプの照射時間は、低騒音舗装の試験体の表面温度が 60℃を超える時間として設定した。図-2 に照射ランプの照射時間と放射温度計で測定した表面温度を示す。照射開始から 130 分から 140 分の間で 60℃を超えた。今回の照射試験では、少し長めで切りのよい 150 分 (2.5 時間) を照射時間とした。



写真-3 照射ランプの高さ設定の様子

表-4 照射ランプ高さの設定

ランプ	高さ	34cm	35cm	36cm	37cm	38cm
低騒音用	W/m ²	1690	1561	1427	1388	1150
保水性用	W/m ²	1871	1704	1598	1522	1458
遮熱性用	W/m ²	1869	1656	1533	1459	1387

表の値は全天日射計で測定した35分間の平均値



写真-4 照射ランプの照射時間設定の様子

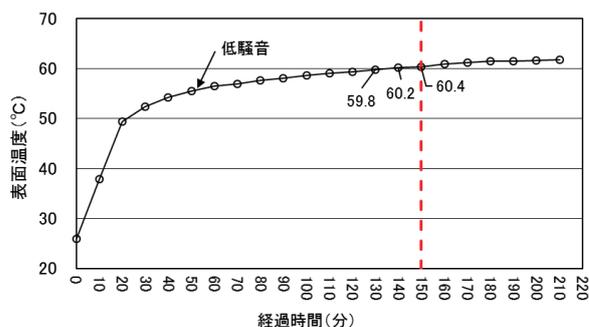


図-2 照射ランプ照射時間の設定

6. 測定値の算出

室内測定においては大気を温める顕熱については直接的に測定をすることができないため、熱収支から顕熱を求めることとした。図-3 に熱収支の概念図を示し、次式に熱収支式を示す。

熱収支式

$$(S - \text{ref}S) + (L_{\text{下向}} - L_{\text{上向}}) = H + \iota E + G \quad \equiv R_n$$

ここに

- S : 照射量 (下向日射に相当)
- refS : 照射量の反射量 (上向日射に相当)、
- ref : アルベド (日射量の反射率)
- L_{下向} : 下向長波 (下向赤外、大気放射に相当)
- L_{上向} : 上向長波 (上向赤外、地表面放射に相当)
- H : 顕熱 (顕熱によって空気が温まる)
- ιE : 潜熱 (気化熱によって熱が奪われる)
- G : 熱伝導
- R_n : 正味放射

である。

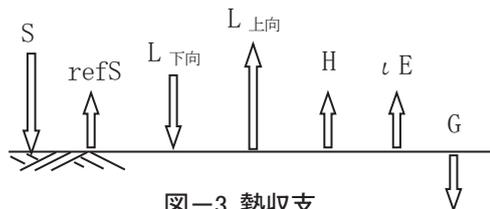


図-3 熱収支

顕熱Hは、

$$H = S - \text{ref}S + L_{\text{下向}} - L_{\text{上向}} - \iota E - G$$

として、照射量 S、反射量 refS、下向長波 L_{下向}、上向長波 L_{上向}、潜熱量 ιE 、熱伝導 G から算出する。

(1) 照射量 S

照射量 S は、表-4 に示す照射ランプの放射量（低騒音舗装 1690W/m²、保水性舗装 1704W/m²、遮熱性舗装 1656W/m²）を 150 分（2.5 時間）照射したものとし、照射量 S とした。

(2) 反射量 refS

反射量 refS の反射率に相当するアルベド ref は、実際の道路での観測値を参考に低騒音舗装では 0.044²⁾、保水性舗装では 0.16³⁾、遮熱性舗装では 0.22²⁾ とし、反射量 refS とした。

(3) 下向長波 L_{下向}

下向長波 L_{下向} は、長短波放射計での測定値とした。

(4) 上向長波 L_{上向}

上向長波 L_{上向} は、 $L_{上向} = \epsilon \sigma T^4$ として放射温度計での表面温度測定値から算出した。測定する際に用いた放射率 ϵ は 0.95 とした。なお、ステファン・ボルツマン定数 σ は、 $5.67 \times 10^{-8} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$ である。

(5) 潜熱量 ιE

潜熱量 ιE は、気化熱 ι と電子天秤での重量測定値から単位時間当たりの重量減少量から算出した。

(6) 熱伝導 G

熱伝導 G は、舗装の試験体に単位時間に蓄熱した値と試験体から放出した熱流の値の合計値である。試験体に蓄熱する熱量 $\rho c \Delta t$ (ρ : 密度、 c : 比熱、 Δt : 温度変化) は、温度変化と設定した熱容量から算出した。表-5 に密度 ρ 、比熱 c 、熱容量 ρc の設定値を示す。試験体の密度は試験体作成時の密度とした。空隙がある舗装体の比熱は以前の測定値⁴⁾を参考に 0.82 ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、空隙が少ない粗粒度の比熱は、0.85 ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) とした。試験体の温度 t について、上面は放射温度計で測定し、表層部、基層部、底面には温度計を貼り付けて測定した。表層部の温度は上面と基層部の温度の平均値を、基層部の温度は基層部と底面の平均値とし、蓄熱を算出するための温度変化とした。図-5 と図-6 に放射温度計と試験体に接着した温度計による測定例を示す。図-6 では、上面に照射しているため、時間がずれながら上部から下部に温度

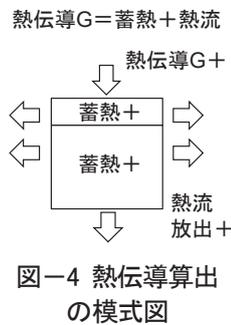


図-4 熱伝導算出の模式図

が上昇し、照射終了から温度が下降していることが分かる。

熱流は熱流計の測定値から算出した。図-7 に測定例を示す。底面からの熱の放出が多いことが分かる。

熱伝導 G は、舗装体の蓄熱と熱流の値を合算して算出した。

表-5 密度、比熱、熱容量の設定値

	低騒音	保水性	遮熱性	粗粒度
密度 ρ (g/cm^3)	1.995	1.982	2.000	2.432
比熱 c ($\text{J}/\text{g} \cdot \text{K}$)	0.82	0.82	0.82	0.85
熱容量 ρc ($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot \text{K}$)	1.636	1.625	1.640	2.067

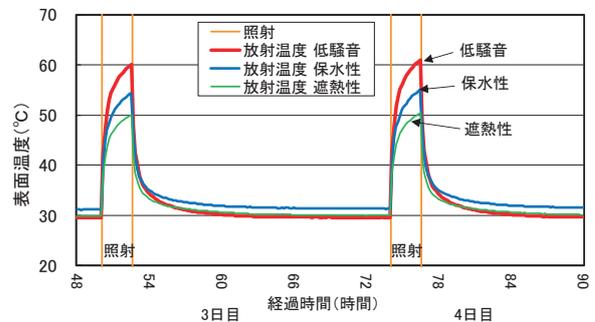


図-5 放射温度計の測定例(照射放湿試験)

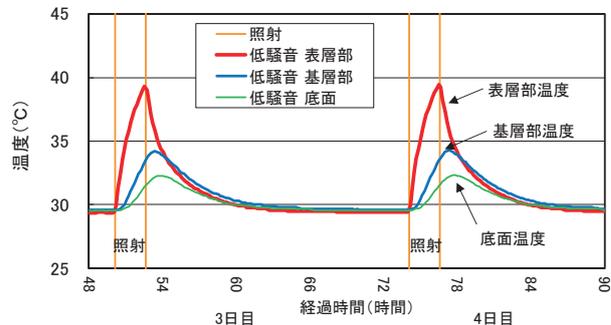


図-6 接着した温度計の測定例(照射放湿試験)

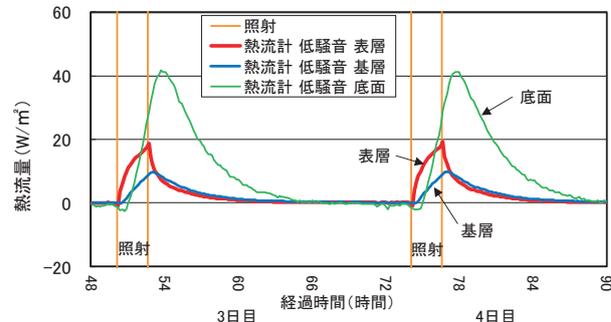


図-7 接着した熱流計の測定例(照射放湿試験)

7. 放湿試験

放湿試験は、試験体を表乾状態として気温約 30℃、相対湿度約 75%の恒温恒湿室内で放湿状態にして 120

時間（5日間）、電子天秤で重量を測定した。表乾状態の試験体は20℃の水に5時間浸水した後、試験体表面の水を拭き取ったものを使用した。

図-8に電子天秤で測定した重量の測定結果を示す。低騒音舗装と遮熱性舗装では母材の構成が同じなので放湿量の時刻変化はほとんど同じように推移するが、保水性舗装では水分を含んでいるため、水分が蒸発して重量が減少している。なお、表乾状態で重量を測定した際、測定開始時に測定値が安定しないため、測定開始から2時間後の電子天秤の重量を0とした。

図-9に重量の減少量から放湿量を算出した結果を示す。また、放湿試験の放湿量から近似曲線を求めた。近似曲線は表乾状態直後では二次関数とし、時間経過後は対数関数とした。

図-10に放湿量から潜熱輸送量を算出した結果を示す。放湿勾配から潜熱輸送量の換算は気化熱 ι の式¹⁾を $\iota = 2.50 \times 10^6 - 2.4 \times 10^3 \times T(\text{℃}) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $T = 30\text{℃}$ として $\iota = 2.428 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ の値を用いた。測定の初期には急速に放湿し、時間とともに放湿量が低下していくが、120時間後も放湿を続けている様子が分かる。潜熱輸送量は、時間当たりの微小な重量変化（微分に相当）によって算出するため、変動やばらつきが伴ってしまう。そのため、潜熱輸送量はマイナスの値（マイナスの値になることは凝結することを意味するが、凝結していないと思われる。）をとらないはずであるが、平均的な熱量を考慮するため、そのままの値を表示している。ばらつきや変動があつて値の傾向を読み取りにくいので、見やすくするために近似曲線を微分して得られる潜熱輸送量の近似曲線を表示した（図-11）。

8. 照射放湿試験

図-12に照射放湿試験における電子天秤で測定した重量の測定結果を示す。また、図-13に潜熱輸送量を示す。試験体に照射を行うことによって水分の蒸発が促進されていることがわかる。なお、遮熱性舗装の試験体で重量の変化が著しいときがあるが、原因は不明であり、値はそのままとしている。

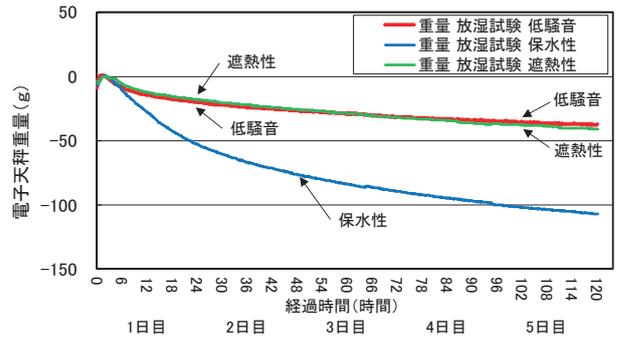


図-8 電子天秤重量測定量(放湿試験)

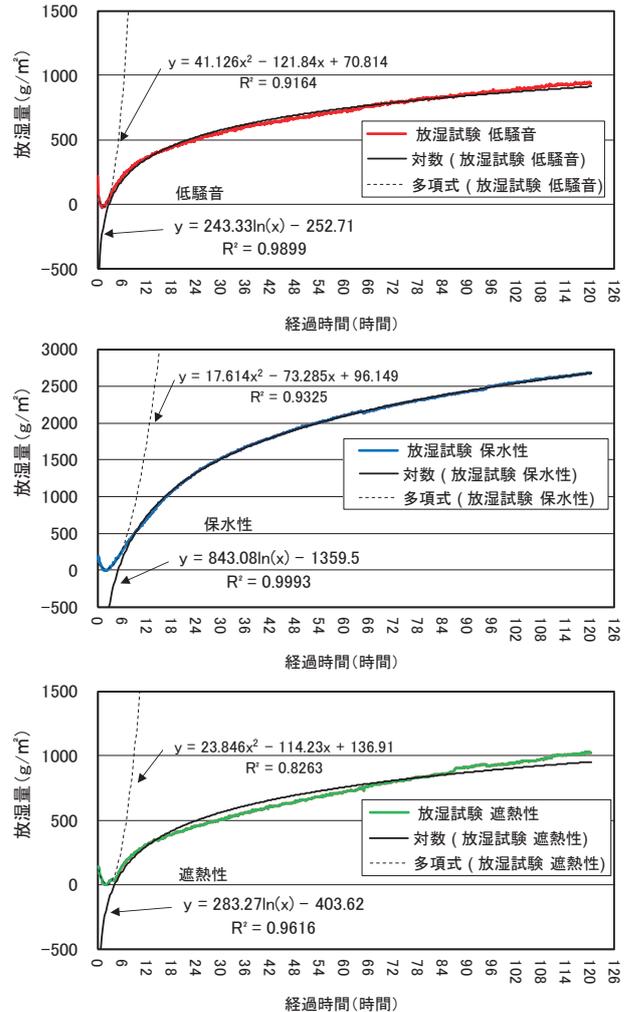


図-9 放湿量(放湿試験)

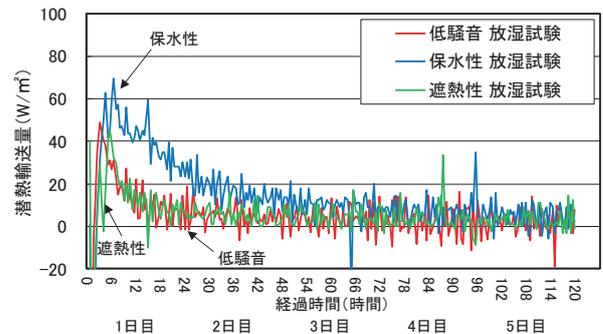


図-10 潜熱輸送量(放湿試験)

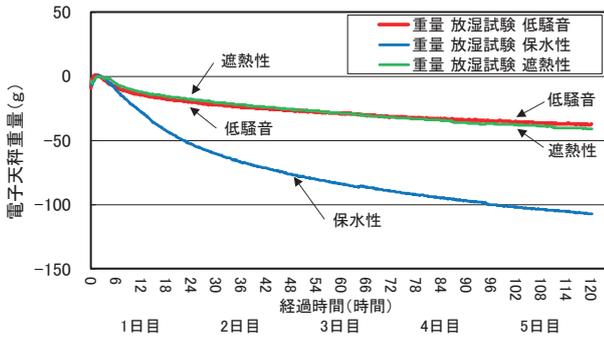


図-8 電子天秤重量測定量(放湿試験)再掲

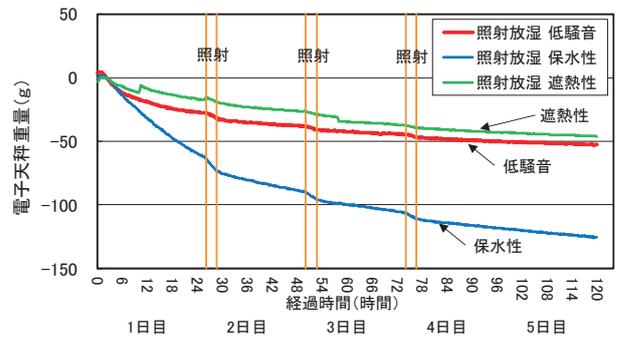


図-12 電子天秤重量測定量(照射放湿試験)

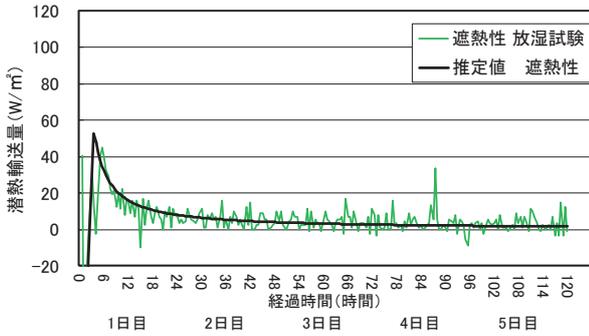
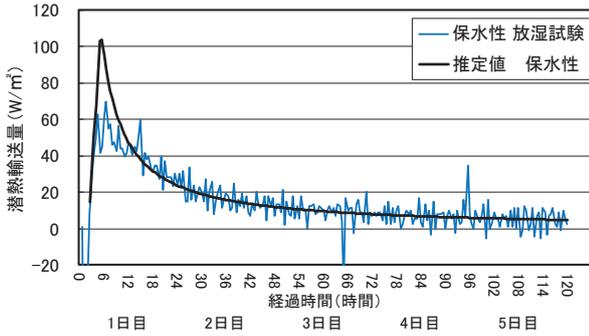
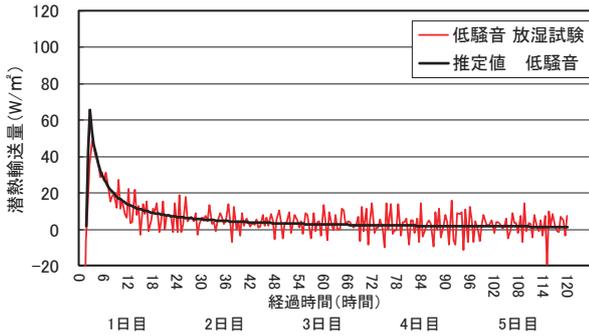


図-11 潜熱輸送量(放湿試験)

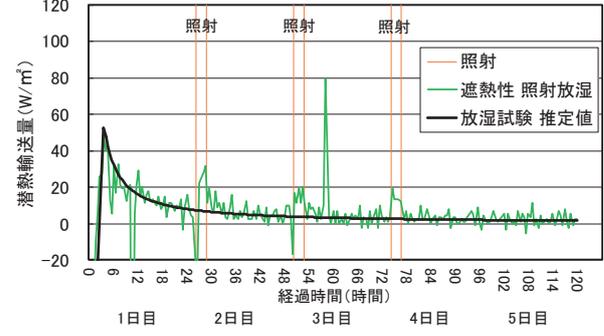
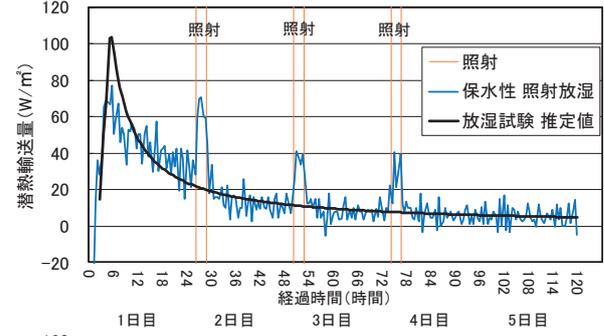
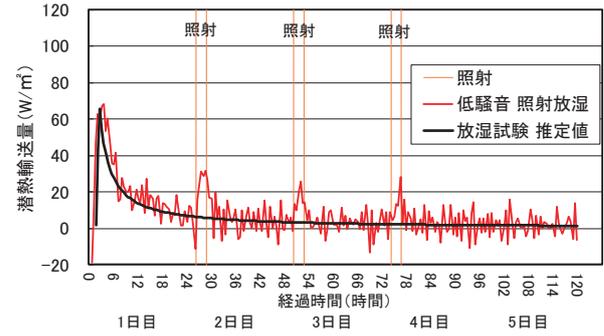


図-13 潜熱輸送量(照射放湿試験)

9. 散水照射試験

図-14 に散水照射試験における電子天秤で測定した重量の測定結果を示す。

低騒音舗装と遮熱性舗装の試験体では、散水した後、表乾状態よりも重くなっている。このことから表乾状態より余分な水を含んでしまったということがわかり、水溜まりができていたのと同じような状態になっている。夜間に降雨があり、翌日まで水溜まりのままの状態と解釈できる。

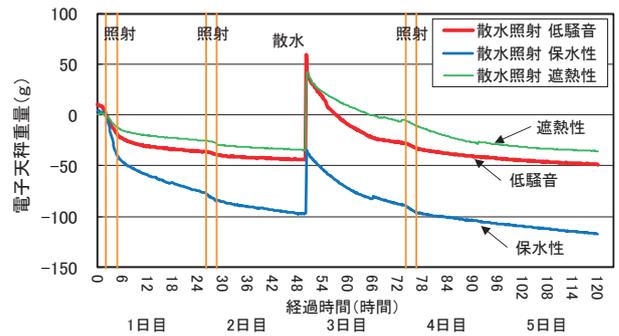


図-14 電子天秤重量測定量(散水照射試験)

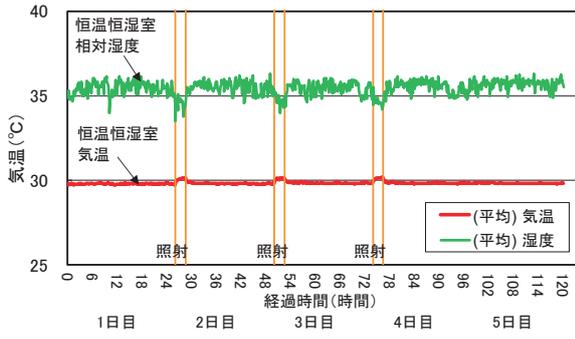


図-15 室内気温と相対湿度(照射放湿試験)

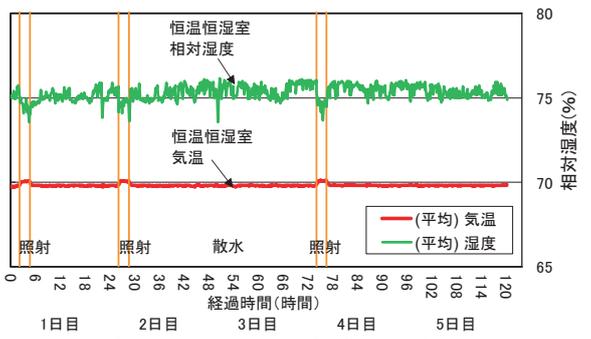


図-20 室内気温と相対湿度(散水照射試験)

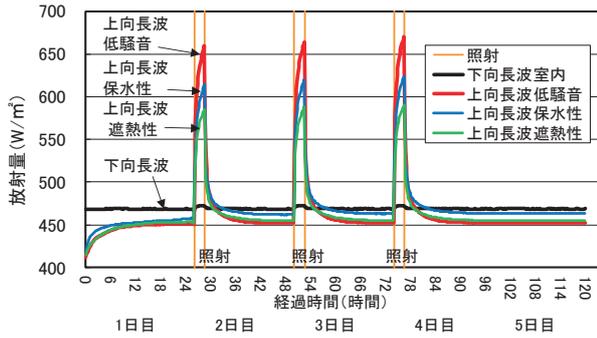


図-16 下向長波と上向長波(照射放湿試験)

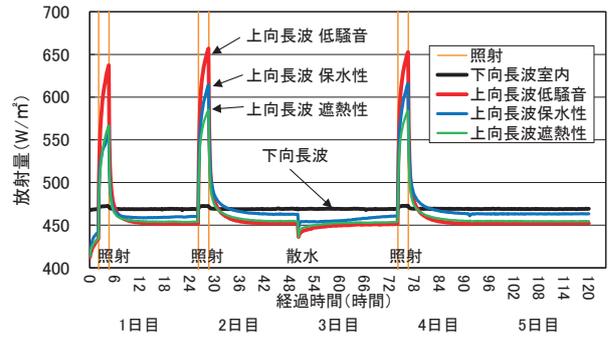


図-21 下向長波と上向長波(散水照射試験)

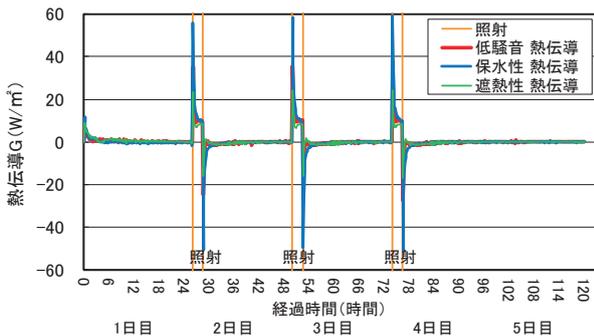


図-17 熱伝導(照射放湿試験)

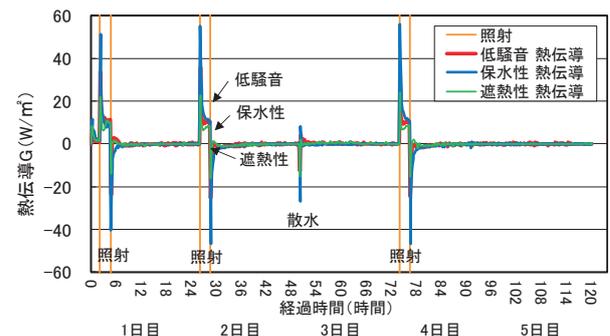


図-22 熱伝導(散水照射試験)

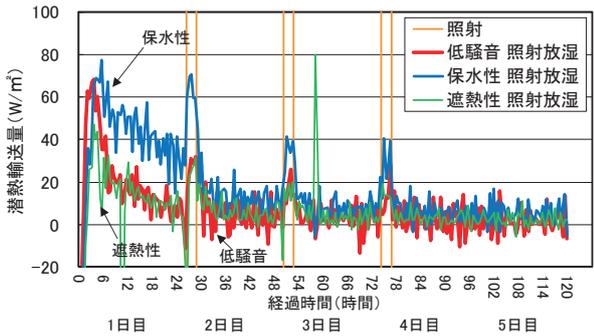


図-18 潜熱輸送量(照射放湿試験)

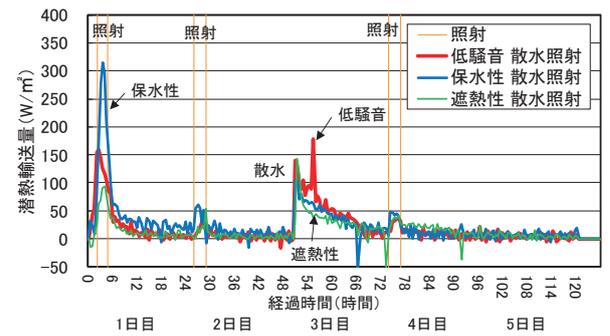


図-23 潜熱輸送量(散水照射試験)

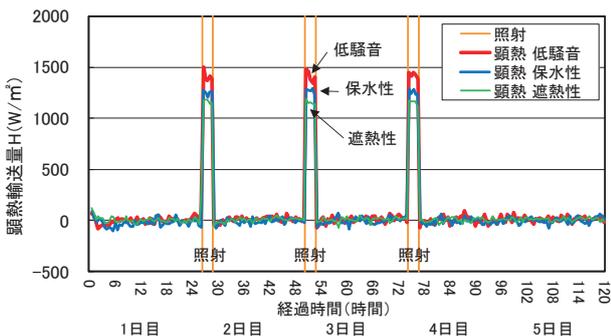


図-19 顕熱輸送量(照射放湿試験)

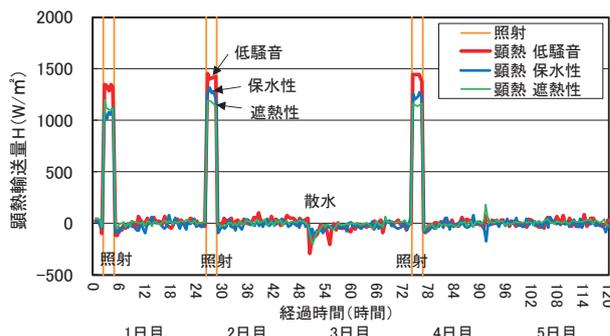


図-24 顕熱輸送量(散水照射試験)

表一六 低騒音舗装試験体の熱収支(照射放湿試験)

低騒音	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 放湿	0.00	0.00	40.49	38.65	1.84	0.17	1.65	0.02
2日目 照射	15.21	0.67	40.53	41.16	13.92	13.20	0.66	0.06
3日目 照射	15.21	0.67	40.54	41.23	13.85	13.38	0.41	0.06
4日目 照射	15.21	0.67	40.54	41.30	13.78	13.39	0.33	0.06

表一七 保水性舗装試験体の熱収支(照射放湿試験)

保水性	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 放湿	0.00	0.00	40.49	39.06	1.43	-2.42	3.86	-0.01
2日目 照射	15.34	2.45	40.53	41.45	11.96	10.31	1.60	0.05
3日目 照射	15.34	2.45	40.54	41.63	11.79	10.76	0.98	0.05
4日目 照射	15.34	2.45	40.54	41.71	11.71	10.91	0.75	0.05

表一八 遮熱性舗装試験体の熱収支(照射放湿試験)

遮熱性	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 放湿	0.00	0.00	40.49	38.71	1.77	0.79	0.95	0.04
2日目 照射	14.90	3.28	40.53	40.66	11.50	10.81	0.64	0.04
3日目 照射	14.90	3.28	40.54	40.73	11.44	10.73	0.66	0.04
4日目 照射	14.90	3.28	40.54	40.76	11.41	11.00	0.36	0.04

表一九 低騒音舗装試験体の熱収支(散水照射試験)

低騒音	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 照射	15.21	0.67	40.54	40.68	14.40	12.10	2.20	0.10
2日目 照射	15.21	0.67	40.55	41.09	14.00	13.47	0.46	0.06
3日目 散水	0.00	0.00	40.52	38.79	1.73	-2.59	4.27	0.01
4日目 照射	15.21	0.67	40.56	41.03	14.07	13.08	0.93	0.06

表一〇 保水性舗装試験体の熱収支(散水照射試験)

保水性	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 照射	15.34	2.45	40.54	40.53	12.89	8.18	4.66	0.06
2日目 照射	15.34	2.45	40.55	41.52	11.91	10.61	1.24	0.05
3日目 散水	0.00	0.00	40.52	39.45	1.08	-2.17	3.23	-0.01
4日目 照射	15.34	2.45	40.56	41.58	11.86	10.63	1.17	0.06

表一一 遮熱性舗装試験体の熱収支(散水照射試験)

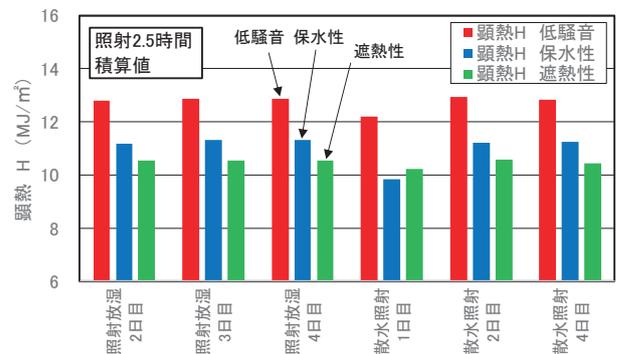
遮熱性	照射量 S	反射量 refS	下向長波 L _{下向}	上向長波 L _{上向}	正味放射 Rn	顕熱 H	潜熱 εE	熱伝導 G
24時間積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
1日目 表乾 照射	14.90	3.28	40.54	40.18	11.98	10.37	1.54	0.08
2日目 照射	14.90	3.28	40.55	40.64	11.53	10.90	0.58	0.05
3日目 散水	0.00	0.00	40.52	39.02	1.50	-1.45	2.89	0.01
4日目 照射	14.90	3.28	40.56	40.63	11.56	10.03	1.47	0.06

10. 測定結果

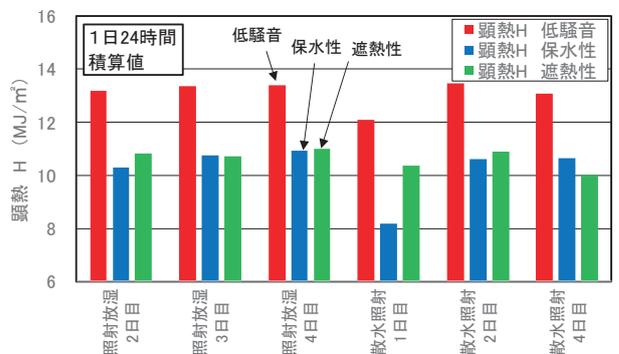
図一15から図一24に照射放湿試験と散水照射試験の測定結果を示す。また、表一6から表一11に熱量の積算値を示す。

11. 各舗装における顕熱比較

顕熱は大気を温める熱量であるため、顕熱が多いほど気温を上昇させる効果がある。そのため、算出した顕熱を比較することで、各舗装の比較を行う。図一25に顕熱の照射2.5時間積算値(昼間に相当)と図一26に顕熱の1日積算値(昼夜間に相当)を示す。照射2.5時間積算値(昼間に相当)の場合、顕熱は、低騒音舗装、保水性舗装、遮熱性舗装の順になっており、遮熱性舗装の顕熱削減量が最も高いことが分かる。しかし、1日積算値(昼夜間に相当)では保水性舗装と遮熱性舗装の顕熱削減量は同程度になっており、遮熱性舗装は照射(日射の相当)がある時に顕熱削減効果があり、保水性舗装では照射(日射の相当)がない時に顕熱削減効果があることになる。



図一25 顕熱の比較(照射2.5時間積算 昼相当)



図一26 顕熱の比較(1日積算 昼夜相当)

表一12に照射放湿試験における顕熱の1日積算値を示し、表一13に散水照射試験における顕熱の1日積算値を示す。なお、顕熱の値でマイナスの値になる場合があるが、試験体に水を多く含む時であり、室内の空

気から試験体に向けて熱が供給されていると解釈できる。表-12 と表-13 において低騒音舗装の顕熱を100%として保水性舗装と遮熱性舗装の顕熱の割合を見ると、降雨後2日以降については77%~82%となっており、保水性舗装と遮熱性舗装の顕熱の削減割合は概ね2割程度となった。また、保水性舗装と遮熱性舗装との顕熱比較では、試験条件によって大小が異なるが、ほぼ同程度になった。

表-12 顕熱の比較(照射放湿試験 1日積算値)

顕熱 H	低騒音	保水性	遮熱性	低騒音	保水性	遮熱性
24時間 積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	%	%
1日目 表乾 放湿	0.17	-2.42	0.79	-	-	-
2日目 照射	13.20	10.31	10.81	100%	78%	82%
3日目 照射	13.38	10.76	10.73	100%	80%	80%
4日目 照射	13.39	10.91	11.00	100%	81%	82%

表-13 顕熱の比較(散水照射試験 1日積算)

顕熱 H	低騒音	保水性	遮熱性	低騒音	保水性	遮熱性
24時間 積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	%	%
1日目 表乾 照射	12.10	8.18	10.37	100%	68%	86%
2日目 照射	13.47	10.61	10.90	100%	79%	81%
3日目 散水	-2.59	-2.17	-1.45	-	-	-
4日目 照射	13.08	10.63	10.03	100%	81%	77%

12. 各舗装における潜熱比較

図-27 に潜熱の1日積算値を示す。また、表-14 に照射放湿試験における潜熱の1日積算値、表-15 に散水照射試験における潜熱の1日積算値を示す。

低騒音舗装や遮熱性舗装が全く水分を含まないということではなく、時間の経過とともに試験体の重量が減少していくことから、水分が残っている。保水性舗装のように保水材がないことから、残存し得る水分が少なく、保水性舗装に対して、低騒音舗装と遮熱性舗装の潜熱の値は概ね半分以下となった。

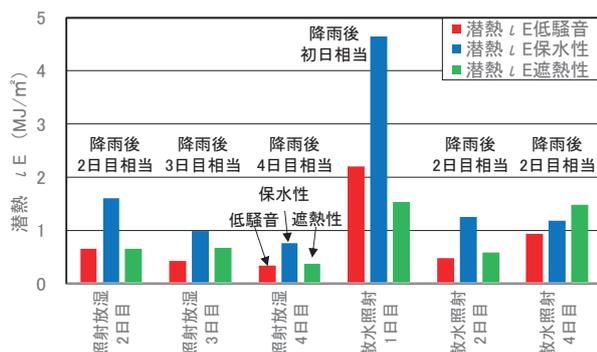


図-27 潜熱の比較(1日積算)

ただし、散水照射試験の3日以降は途中散水により低騒音舗装と遮熱性舗装では水溜まり状態での潜熱である。水溜まりのような状態になった場合は、十分に水を含んでいることと同じになるため、低騒音舗装と遮熱性舗装でも潜熱が多くなる。

表-14 潜熱の比較(照射放湿試験 1日積算)

潜熱 E	低騒音	保水性	遮熱性	低騒音	保水性	遮熱性
24時間 積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	%	%
1日目 表乾 放湿	1.65	3.86	0.95	43%	100%	25%
2日目 照射	0.66	1.60	0.64	41%	100%	40%
3日目 照射	0.41	0.98	0.66	42%	100%	67%
4日目 照射	0.33	0.75	0.36	44%	100%	49%

表-15 潜熱の比較(散水照射試験 1日積算)

潜熱 E	低騒音	保水性	遮熱性	低騒音	保水性	遮熱性
24時間 積算	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	%	%
1日目 表乾 照射	2.20	4.66	1.54	47%	100%	33%
2日目 照射	0.46	1.24	0.58	37%	100%	47%
3日目 散水	4.27	3.23	2.89	132%	100%	89%
4日目 照射	0.93	1.17	1.47	79%	100%	125%

13. 測定誤差について

図-28 に放湿試験における電子天秤で測定した重量の測定結果、図-29 に潜熱輸送量を示す。吸湿試験は、試験体が周囲の空気から吸湿するかどうかの確認のために行った。また、放湿しないと想定される条件の下で、潜熱輸送量を算出するとき、測定値の変動幅を確認する目的でも実施した。吸湿試験は各試験体を24時間約60℃の乾燥機に入れから常温に戻し、恒温恒湿室で測定を行っている。低騒音舗装の重量が時間の経過とともに増加しているが、遮熱性舗装や保水性舗装がそのようになっていないことから、吸湿して重量が増加しているとは思われず、測定上の誤差と考えられる。

次に潜熱輸送量は、水分が気化して蒸発した場合がプラスになり、凝結して液化した場合がマイナスの値になるが、試験体の重量が概ね20kgであるのに対して、重量の変化量は1g未満であり、電子天秤を使って重量を測定しているため、測定中に僅かながら重量が増加することがある。そのため、潜熱輸送量がマイナスの値になることがある。

図-30 に30分平均で整理した潜熱輸送量の測定値の頻度を示す。また、表-16 に測定値の変動幅を示す。いずれの舗装でも30分値で95%の範囲に入る値は、

±15 (W/m²)である。今回の試験では、この程度の誤差が含まれている測定値であることに留意する必要がある。顕熱の算出の場合、潜熱の測定値から算出しているため、潜熱の変動に応じて顕熱も変動して算出するため、顕熱も同じように誤差を含んでいる。

14. まとめ

① 3種類の舗装（低騒音舗装、保水性舗装、遮熱性舗装）について、製作した20cm×20cm×20cmの試験体を用いて恒温恒湿室（気温約30℃、相対湿度約75%）で電子天秤による重量測定を行い、放湿量の測定を行った。気象条件の想定を晴天が続く場合と、途中で降雨がある場合を想定した。試験初期状態の表乾状態は降雨後を想定しており、試験途中での散水も降雨を想定している。日射については、ビームランプによる照射によって晴天を模している。

② 放湿試験によってベースとなる潜熱輸送量の近似曲線が得られた。

③ 保水性舗装だけではなく、低騒音舗装と遮熱性舗装でも、ある程度の水分を含み、放湿することを確認した。また、水溜まりのような状態になると、潜熱が多くなることを確認した。保水性舗装に対して、低騒音舗装と遮熱性舗装の潜熱の値は概ね半分以下となった。

④ 顕熱を潜熱の値から熱収支で間接的に算出した結果、1日積算値で比較すると、低騒音舗装の試験体に対して保水性舗装と遮熱性舗装の試験体では顕熱削減割合は概ね2割程度となった。また、保水性舗装と遮熱性舗装について顕熱1日積算値の比較では同程度となった。

⑤ 周囲の空気から吸湿するかどうかの確認と測定値の変動幅確認を目的として、乾燥した試験体を放置して重量を測定した結果、吸湿は確認できなかった。また、測定値の誤差変動幅を評価した。

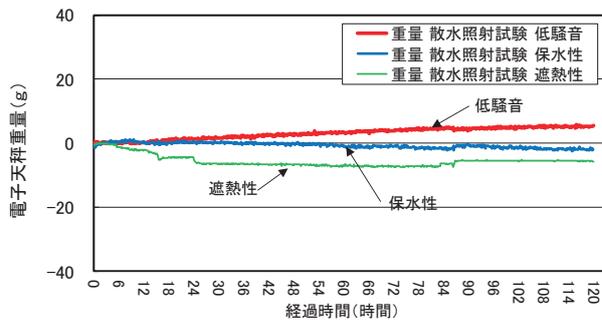


図-28 電子天秤重量測定量(吸湿試験)

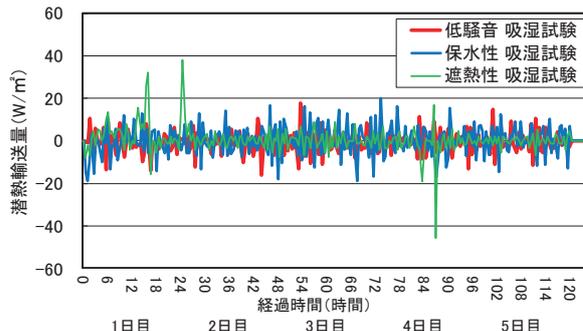


図-29 潜熱輸送量(吸湿試験、30分値)

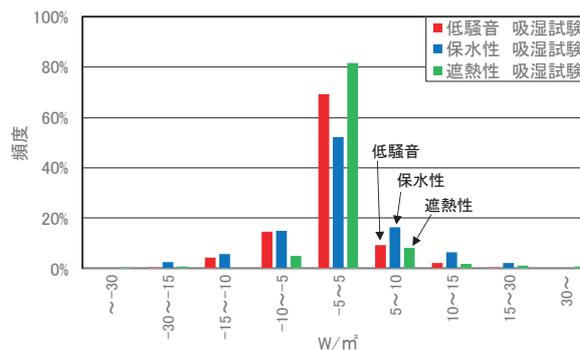


図-30 測定値の頻度
(吸湿試験、潜熱輸送量、30分値)

表-16 測定値変動幅の割合(30分値)

潜熱輸送量 測定値の範囲	吸湿試験		
	低騒音	保水性	遮熱性
±30W/m ²	100.0%	100.0%	98.8%
±15W/m ²	99.2%	95.4%	96.7%
±10W/m ²	92.9%	83.3%	95.0%
±5W/m ²	69.2%	52.1%	81.7%

参 考 文 献

- 1) 近藤純正(1994)：水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支-、朝倉書店
- 2) 小作好明、山本憲之(2012)、遮熱性舗装における顕熱と気温の観測、平 24.都土木技術支援・人材育成センター年報、57-64
- 3) 小作好明、廣島 実、松村真人、中村正明(2004)、保水性舗装を施工した汐留地区における観測及び測定結果、平 16.都土木技術研究所年報、291-302
- 4) 小作好明、廣島 実(2005)、保水性舗装の比熱・熱伝導率・放湿性の測定、平 17. 都土木技術研究所年報、233-238
- 5) 日本規格協会(2014)、調湿建材の吸放湿性試験方法—第1部 湿度応答法—湿度変動による吸放湿性試験方法 JIS A 1470-1