

11. スカイグリーン工法に関する熱的效果に関する研究 (その1 屋外測定実験と熱抵抗試験・風洞実験)

恩村 定幸

要 旨

本報告は、当社が都市緑化推進のために開発したスカイグリーン工法が、建物にどのような熱的效果をもたらすかについて研究した結果を述べるものである。これまで文献に出ていない芝生の熱抵抗、湿気抵抗などの物性値を推定するため屋外測定実験を行った結果、芝生の熱抵抗は $0.30\sim0.40\text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ 、湿気抵抗は $0.15\sim0.20\text{ m}^2\text{hmmHg}/\text{kg}$ であると推定でき、本工法の熱的效果が非常に高いことも確認できた。さらに、これらのより正確な値と、計算に使用する熱伝達率、日射吸収率、輻射係数などの物性値を得るため、熱抵抗試験と風洞実験を行ったが、その結果、本工法による時の日射吸収率として0.8の値を得た。

キーワード

熱的效果／熱抵抗／湿気抵抗／屋外測定実験／日射吸収率／熱伝達率／輻射係数／熱抵抗試験／風洞実験

目 次

1. はじめに
2. 屋外測定実験
3. 熱抵抗試験と風洞実験
4. ま と め
5. あとがき

11. RESEARCH ON THE HEAT EFFECT OF THE SKY GREEN METHOD (part1.Field observation tests,heat resistance tests, wind-tunnel tests)

Sadayuki Onmura

Abstract

This paper examines the heat effects of the Sky Green construction method on buildings. The method was developed by ASANUMA CORPORATION as a means of increasing the amount of vegetation within cities. Outdoor monitoring tests were conducted to determine the specific thermal resistance and specific water vapor resistance of the lawn. Information on such matters has been seldom included in papers up until now. The results of the outdoor monitoring tests showed that the specific thermal resistance of the lawn was around $0.30\sim0.40\text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$, while the specific water vapor resistance was $0.15\sim0.20\text{ m}^2\text{hmmHg}/\text{kg}$, meaning that the heat effect of the Sky Green method was very high indeed. We also conducted heat resistance and wind tunnel tests to obtain more accurate values and such physical values as the heat-transfer coefficient, the absorption of solar radiation coefficient and the emissivity. The results of these tests showed that an absorption coefficient of solar radiation of 0.8 could be obtained when using the Sky Green construction method.

1 はじめに

スカイグリーン工法は都市緑化を推進するために当社がこれまでに開発してきたものであるが、本工法の構成部材である不織布が高い断熱性能を有すること、また、水分の蒸発が常時行われることから、本工法は建物に対してかなりの熱的效果を持つのではないかと考え、本研究を行うこととした。

この熱的效果の大きさを知るには、実際の建物において、本工法を施工した場合と施工しない場合に分け、室内温度を測定し、相互を比較する方法が一番良いとされるが、空調によって室内温度が影響を受けると、計測機器の建物への設置が困難であること等から、一般には数値計算を行って、熱的效果を知る方法がとられている。しかし、数値計算を行うためには、計算に必要な種々の物性値が必要であり、これまで様々の建築材料については、物性値が測定され公表されているが、植栽にかかわる物性値については、まだ明確な数値が公表されるまでには到っていない。今回、その計算に必要な物性値を得るため、また、本工法が実際に熱的效果を有することを確認するために屋外測定実験を行った。実験で得られたデータから、筆者が独自に考案した解析モデルを使って、芝の熱抵抗、湿気抵抗を推定することができた。しかし、さらに厳密な計算を行うためには、諸元のより正確な値と熱伝導率、

芝面の日射吸収率などの物性値を必要とすることがわかり、その物性値を知るため財団法人日本建築総合試験所に依頼して、熱抵抗試験と風洞実験を行った。

本報告では、技研屋上で行った測定実験の概要とその結果、および熱抵抗試験、風洞実験の結果についてその概要を述べる。

なお、本研究の一部は日本建築学会大会1992年度にて発表を行っている。

2 屋外測定実験

2.1 実験概要

(1) 測定日時 平成3年8月8日～

(2) 設置したスカイグリーンの大きさ

4 m × 9 m 厚さ 8 cm + 芝長さ約 3 cm

(3) 測定項目

a) 屋上スラブの表面温度の測定 2点

1点はスカイグリーン工法を施した場所、もう1点は同工法を施していない場所である。2点とも梁や壁のない場所を選択した。

b) スカイグリーン（不織布内）の温度の測定 3点

数層に重ねられた不織布の上層、中層、下層の3点について温度測定を行った。各点共、端部2カ所、中央1カ所、計3カ所について測定を行った。

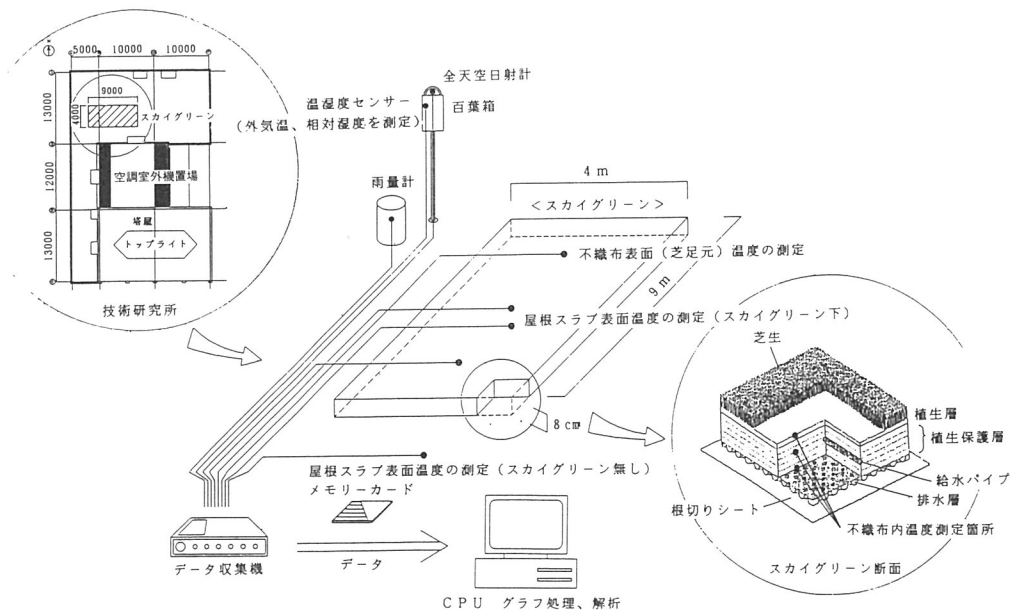


図-1 測定概要図

c) 気温・湿度

屋上に百葉箱を設置し、箱内の気温と湿度を測定した。

d) 日射量・雨量

日射量は全天空型日射計を用いて直達日射量、および天空輻射量の合計を測定した。雨量は雨量計にて測定した。

(4) 測定場所・測定条件

測定は、鉄筋コンクリート造2階建の当社技術研究所(大阪)の屋上で行った。屋根スラブは厚さ15cmの鉄筋コンクリートの上にアスファルト防水を行い、その上に厚さ8cmの押さえコンクリート(無筋)を打設した構造となっており、室内外に断熱材はない。

測定は30分毎に行ったが、その測定値は瞬時値である。測定場所の周囲には高層の建物はなく、日影や反射等による影響は無視できる状況下で測定を行った。

その測定概要図を図-1に示す。

2.2 数値計算

不織布、コンクリートについては、下記に示す1次元熱伝導の方程式を解析に用いた。

$$\begin{aligned} a &: \text{温度伝導率 (m}^2/\text{h)} \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} &= a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \\ \theta &: \text{温度 (}^\circ\text{C)} \\ t &: \text{時間 (h)} \\ x &: \text{距離 (m)} \end{aligned}$$

本工法の解析モデルを図-2に、その境界条件を次に示す。

$$\begin{aligned} H_s &= \alpha_o(\theta_o - \theta_{su}) + A_s J - Q_{su} \\ [Q_{su} &= \epsilon_w \sigma_o T_o^4 (0.474 - 0.075\sqrt{f})] \\ H_s &= \frac{1}{R_s}(\theta_{su} - \theta_w) \\ H &= H_s - RQ_w \\ [Q_w &= \frac{1}{R_{ss} + \frac{1}{\alpha_o'}}(X_w - X_o)] \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} H_s &: \text{芝内の熱流 (kcal/m}^2\text{h)} \\ H &: \text{不織布への流入熱流 (kcal/m}^2\text{h)} \\ \alpha_o &: \text{外気側熱伝達率 (kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C)} \\ A_s &: \text{日射吸収率} \\ J &: \text{日射量 (kcal/m}^2\text{h)} \\ Q_{su} &: \text{輻射による熱損失 (kcal/m}^2\text{h)} \\ \sigma_o &: \text{輻射定数 (4.88 \times 10^{-8} kcal/m}^2\text{hK}^4) \\ \epsilon_w &: \text{輻射係数 (輻射率 \times 雲量係数)} \\ f &: \text{外気の水蒸気圧 (mmHg)} \end{aligned}$$

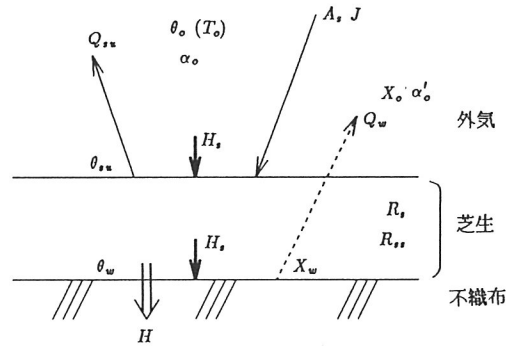


図-2 解析モデル(スカイグリーン)

$$\begin{aligned} Q_w &: \text{水分蒸発による熱損失 (kcal/m}^2\text{h)} \\ \alpha_o' &: \text{外気側湿気伝達率 (kg/m}^2\text{hmmHg)} \\ X_w &: \text{不織布表面の絶対湿度 (kg/kg')} \\ X_o &: \text{外気の絶対湿度 (kg/kg')} \\ R &: \text{蒸発の潜熱 (580 kcal/kg)} \\ R_s &: \text{芝の熱抵抗 (m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal)} \\ R_{ss} &: \text{芝の湿気抵抗 (m}^2\text{hmmHg/kg)} \\ \theta_o &: \text{外気温 (}^\circ\text{C)} \\ T_o &: \text{外気の絶対温度 (K)} \\ \theta_{su} &: \text{芝の表面温度 (}^\circ\text{C)} \\ \theta_w &: \text{不織布の表面温度 (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

前式には、芝生の熱抵抗(R_s)、湿気抵抗(R_{ss})といった未知の物性値の他に芝面の日射吸収率(A_s)、輻射係数(ϵ_w)および、芝生表面の境界での熱伝達率(α_o)といった不確定な項が含まれているため、以下の方法によって解析を行った。

①スカイグリーンを施していない屋根スラブの外気側表面温度を不確定項 A_s 、 ϵ_w 、 α_o を独立変数として計算し、測定値と計算値とを比較して適当な A_s 、 ϵ_w 、 α_o の値を決定する。

②コンクリート面での A_s 、 ϵ_w 、 α_o の値と芝生表面での A_s 、 ϵ_w 、 α_o の値は同じであると仮定した。これらの値を用い、スカイグリーンを施した屋根スラブの外気側表面温度を未知なる物性値 R_s 、 R_{ss} を独立変数として計算し、測定値と計算値とを比較して適切な R_s 、 R_{ss} の値を推定する。

なお、測定値と計算値との比較は晴天日と曇天日について行った。不織布表面の絶対湿度(X_w)は表面が十分に湿っているため不織布表面温度(θ_{su})の1次直線に近似して計算を行った。

計算に使用した諸定数を次に列記する。

$$\alpha_I = 8, \lambda_s = 1.4, \lambda_h = 0.35$$

$$a_s = 0.00303, a_h = 2.89 \times 10^{-4}$$

$$\Delta z = 0.01(m), \Delta t = 1/120(h)$$

$$X_w = \theta_{sx} \times A + B \text{に近似}$$

$$(A, B \text{は定数で } A = 0.001648, B = -0.02113)$$

λ_h, a_h はそれぞれ不織布の熱伝導率、温度伝導率であり、不織布の熱伝導率 λ_h は財団法人日本建築総合試験所に依頼して測定を行った。また、計算に用いた気温、日射量、湿度の測定値を図-3(a)(H3.8.12-晴天日)、図-3(b)(H3.8.20-曇天日)に示す。

2.3 測定結果と計算結果およびその考察

(1) スカイグリーンを施した場合の効果

図-4(a)に晴天日(H3.8.12)、図-4(b)に曇天日(H3.8.20)のスカイグリーンを施した場合と施していない場合の屋根スラブの外表面温度とスカイグリーンの不織布の表面温度の測定値を示す。スカイグリーンを施した場合の屋根スラブの外表面温度は、施していない場合と比べて晴天日で最大約28℃、曇天日で最大約13℃低い。この表面温度の低下は、夏季においては熱

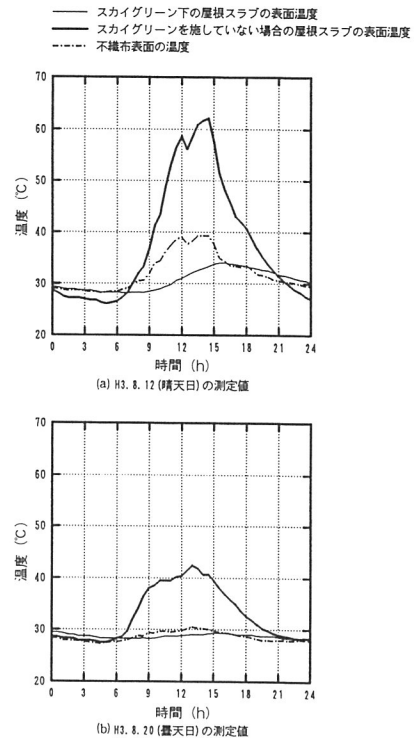


図-4 スカイグリーンの有無に対する表面温度の比較 (スカイグリーンの効果)

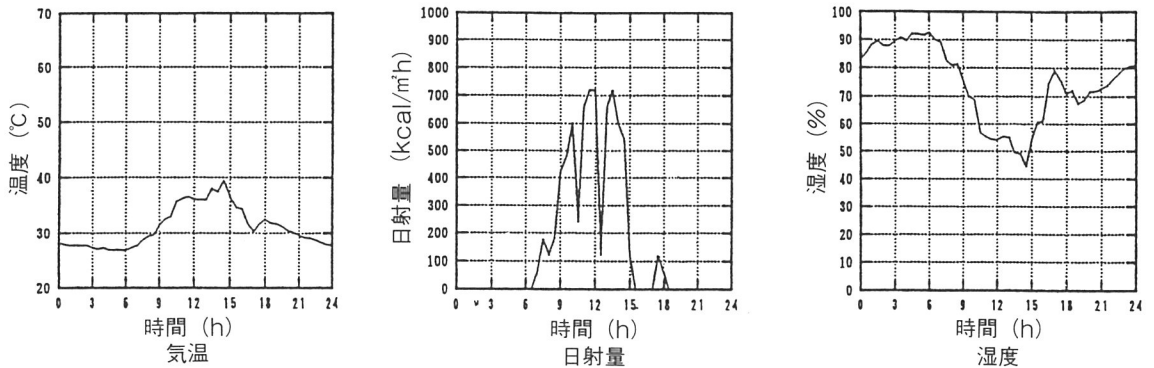


図-3(a) 外気条件の測定値 (H3.8.12-晴天日)

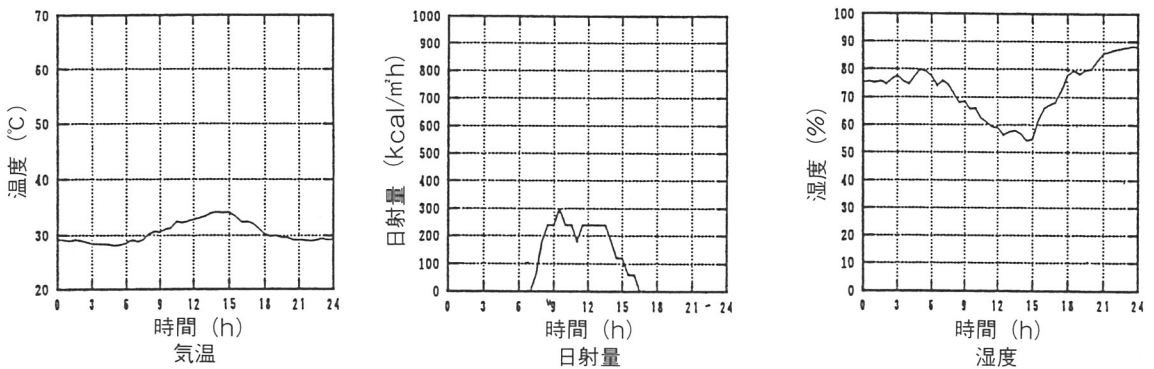


図-3(b) 外気条件の測定値 (H3.8.20-曇天日)

負荷の低減、および室内環境を良好なものにすると予測できる。また、不織布表面の温度もかなり低いことから、スカイグリーンを施すことによって夏季の強烈な太陽光線から躯体を保護し、また、スラブへの熱の焼け込みが防止できるといえる。これらの効果は、不織布自体が持つ断熱性もあるが、水分蒸発にともなう冷却作用が大きく影響しているものと考ええる。さらに、熱的效果の大きさの程度を知るために、一般的な断熱工法を行った場合のスラブの外表面の温度変化を計算した。図-5(a)に内断熱工法と比較したものを、図-5(b)に外断熱工法と比較したものを示す。これらの図から本工法は、一般的な断熱工法と比較して、躯体保護、焼け込み防止についてはかなり高い効果があることがわかった。

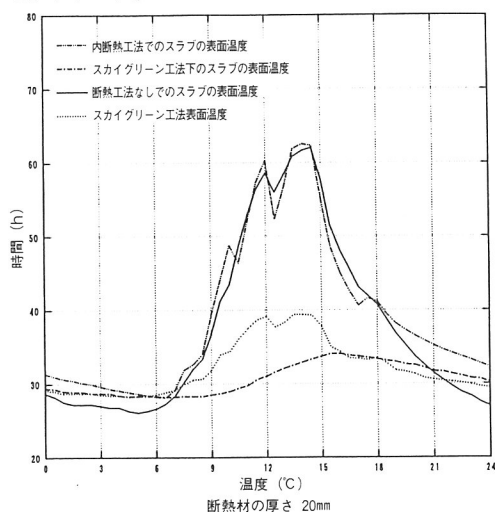


図-5(a) スカイグリーン工法と内断熱工法の比較

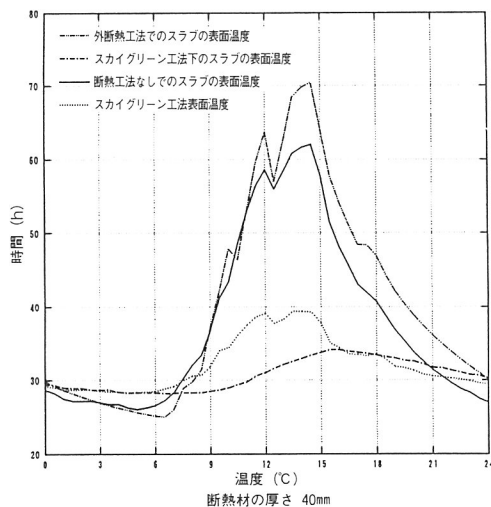


図-5(b) スカイグリーン工法と外断熱工法の比較

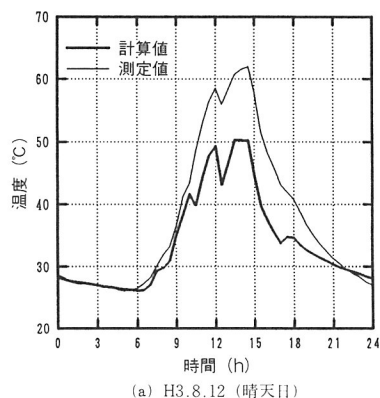
(2) 測定値と計算値の比較—スカイグリーンを施していない場合 (A_s , ε_w , α_o の値の決定)

図-6(a)に晴天日 (H3.8.12)、図-6(b)に曇天日 (H3.8.20) のスカイグリーンを施していない部分の屋根スラブ表面温度の測定値と独立変数の値に標準値 ($A_s=0.8$, $\varepsilon_w=0.8$, $\alpha_o=20\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$) を用いて計算した場合の計算値を比較したものを示す。

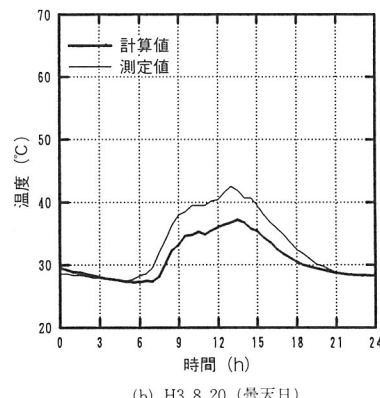
測定値と計算値との差は、晴天日で約 $4.13^\circ\text{C}/\text{h}$ 、曇天日で約 $2.12^\circ\text{C}/\text{h}$ ときわめて大きい。

そこで、測定値と計算値の差が最小となるように独立変数の値を変えて計算を行った。表-1(a)に晴天日、表-1(b)に曇天日についての計算結果を示す。表-1(a)(b)より、晴天日では $A_s=0.95$, $\varepsilon_w=0.90$, $\alpha_o=10\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ の時、差は $1.57^\circ\text{C}/\text{h}$ 、曇天日では $A_s=0.95$, $\varepsilon_w=0.60$, $\alpha_o=10\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ の時、差は $1.09^\circ\text{C}/\text{h}$ で最小となる。

この数値を用いて計算した計算値と測定値を比較したものを図-7(a) (晴天日)、図-7(b) (曇天日) に



(a) H3.8.12 (晴天日)



(b) H3.8.20 (曇天日)

図-6 スカイグリーンを施していない部分の屋根スラブについて独立変数に標準値を用いた場合での計算値と測定値の比較

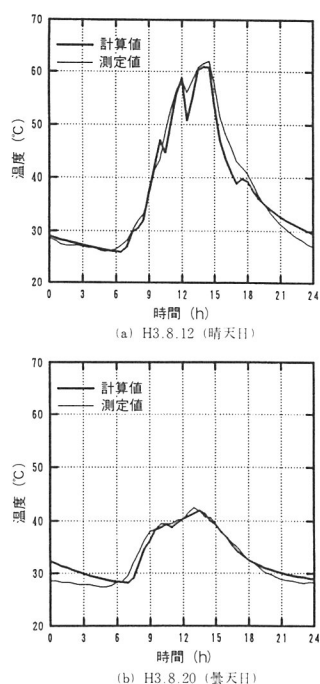
示す。天候により輻射係数に違いがあるのは、雲量の差によるものと考えられる。

(3) 測定値と計算値の比較—スカイグリーンを施した場合 (R_s 、 R_{ss} の値の決定)

図－8(a)に晴天日 (H3.8.12)、図－8(b)に曇天日 (H3.8.20)のスカイグリーンの不織布の表面温度の測定値と芝の熱抵抗 (R_s)、湿気抵抗 (R_{ss})がない (=0)と仮定して計算した場合の計算値を比較したものを示す。

測定値と計算値との差は、晴天日で約 $3.18^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、曇天日で約 $1.59^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ときわめて大きい。

そこで、測定値と計算値の差が最小となるよう R_s 、 R_{ss} の値をかえて計算を行った。表－2(a)に晴天日、表－2(b)に曇天日についての計算結果を示す。表－2(a)(b)より、晴天日では $R_s=0.30\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ 、 $R_{ss}=0.20\text{m}^2\text{mmHg}/\text{kg}$ のとき差は約 $0.64^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、曇天日では $R_s=0.40\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ 、 $R_{ss}=0.15\text{m}^2\text{mmHg}/\text{kg}$ のとき差は約 $0.23^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で最小となる。したがって R_s は $0.3\sim 0.4\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ 、 R_{ss} は $0.15\sim 0.25\text{m}^2\text{mmHg}/\text{kg}$ であると推定できる。



図－7 スカイグリーンを施していない部分の屋根スラブについて
独立変数に最適と思われる値を用いた場合での計算値と測定値の比較

表－1 A_s 、 ε_w 、 α_o を独立変数として計算したときの計算値と測定値との差
(日累計/24h)

(a) 晴天日

日射吸収率 (A_s)	輻射係数 (ε_w)	熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$) (α_o)					
		20	18	16	14	12	10
0.95	1.0	3.46	3.17	2.84	2.40	2.05	1.61
	0.9	3.33	3.04	2.71	2.34	1.96	1.57
	0.8	3.24	2.94	2.63	2.29	1.93	1.58
0.90	1.0	3.77	3.50	3.10	2.82	2.41	1.95
	0.9	3.64	3.36	3.04	2.67	2.28	1.88
	0.8	3.53	3.25	2.93	2.59	2.22	1.85
0.85	1.0	4.08	3.84	3.55	3.21	2.81	2.37
	0.9	3.94	3.68	3.39	3.04	2.65	2.23
	0.8	3.82	3.57	3.27	2.93	2.50	2.18

単位 ($^{\circ}\text{C}$)

(b) 曇天日

日射吸収率 (A_s)	輻射係数 (ε_w)	熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$) (α_o)					
		20	18	16	14	12	10
0.95	0.7	1.65	1.56	1.46	1.34	1.22	1.11
	0.6	1.59	1.50	1.40	1.29	1.18	1.09
	0.5	1.55	1.46	1.36	1.25	1.15	1.18
0.90	0.7	1.78	1.70	1.60	1.50	1.39	1.27
	0.6	1.72	1.64	1.54	1.44	1.34	1.23
	0.5	1.67	1.59	1.50	1.40	1.30	1.22
0.85	0.7	1.91	1.83	1.75	1.66	1.56	1.44
	0.6	1.85	1.78	1.69	1.60	1.50	1.39
	0.5	1.80	1.72	1.64	1.54	1.45	1.37

単位 ($^{\circ}\text{C}$)

図-9(a)に晴天日 (H3.8.12)、図-9(b)に曇天日 (H3.8.20) のスカイグリーンの不織布の表面温度の測定値と $R_s=0.35$ 、 $R_{ss}=0.20$ として計算した場合

の計算値を比較したものを示す。それぞれ差は $1.00^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 未満である。

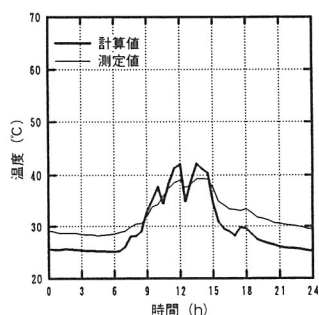
表-2 R_s 、 R_{ss} を独立変数として計算した時の計算値と測定値との差 (日累計/24h)

(a) 晴天日 $[A_s=0.95 \quad \varepsilon_w=0.90 \quad \alpha_o=10.0\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}]$					
芝の湿気抵抗 ($\text{mfhmmHg}/\text{kg}$) (R_{ss})	芝の熱抵抗 ($\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$) (R_s)				
	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.15	1.00	1.07	1.37	1.63	1.84
0.20	0.91	0.70	0.81	1.07	1.30
0.25	1.07	0.75	0.64	0.74	0.94
0.30	1.26	0.88	0.71	0.69	0.80
0.35	1.47	1.03	0.81	0.75	0.81

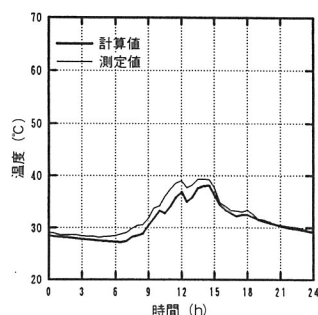
単位 ($^{\circ}\text{C}$)

(b) 曇天日 $[A_s=0.95 \quad \varepsilon_w=0.60 \quad \alpha_o=10.0\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}]$					
芝の湿気抵抗 ($\text{mfhmmHg}/\text{kg}$) (R_{ss})	芝の熱抵抗 ($\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$) (R_s)				
	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60
0.10	0.89	0.77	0.87	0.95	1.08
0.15	0.25	0.23	0.31	0.40	0.53
0.20	0.50	0.39	0.29	0.25	0.34
0.25	0.80	0.68	0.57	0.48	0.35
0.30	1.06	0.93	0.82	0.72	0.56

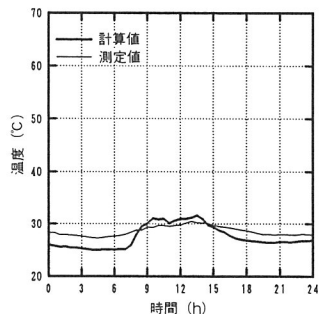
単位 ($^{\circ}\text{C}$)



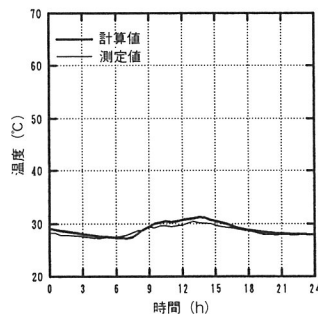
(a) H3.8.12 (晴天日)



(a) H3.8.12 (晴天日)



(b) H3.8.20 (曇天日)



(b) H3.8.20 (曇天日)

図-8 スカイグリーンを施した部分の屋根スラブについて、 R_s 、 R_{ss} を無視 (= 0) として計算した場合での計算値と測定値の比較

図-9 スカイグリーンを施した部分の屋根スラブについて、 $R_s=0.35$ 、 $R_{ss}=0.20$ として計算した場合での計算値と測定値の比較

(4) 独立変数が測定値と計算値との差に及ぼす影響についての考察

晴天日 (H3.8.12) での熱伝達率の影響度を図-10に、日射吸収率の影響度を図-11に、輻射係数の影響度を図-12に示す。図より輻射係数に比べて、熱伝達率や日射吸収率が測定値と計算値との差に及ぼす影響が大きいことがわかる。

晴天日では、熱伝達率 $2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ の変化に対して約 0.34°C/h 、日射吸収率 0.1 の変化に対して約 0.65

$^\circ\text{C/h}$ 、輻射係数 0.1 の変化に対して約 0.11°C/h ずつ測定値と計算値との差に影響している。曇天日についても同様に計算すると、熱伝達率 $2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ の変化に対して約 0.09°C/h 、日射吸収率 0.1 の変化に対して約 0.28°C/h 、輻射係数 0.1 の変化に対して約 0.05°C/h ずつ測定値と計算値との差に影響している。

以上から、日射吸収率や熱伝達率の値に関しては、仮定上の数値よりもさらに正確な値が必要であるといえる。

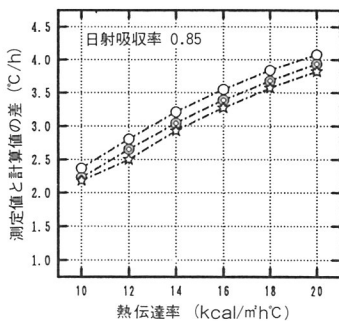
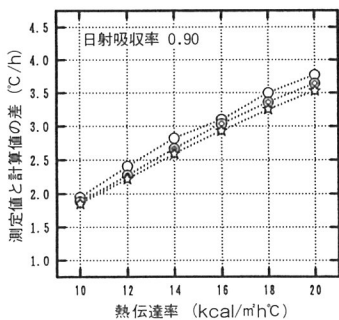
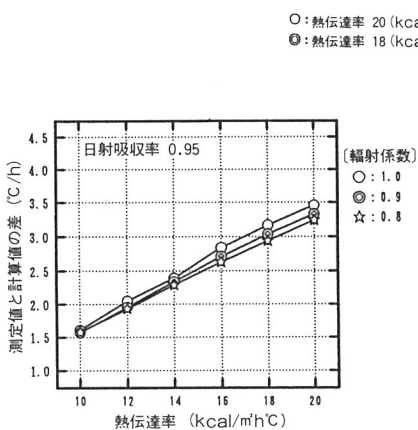


図-10 熱伝達率の影響度

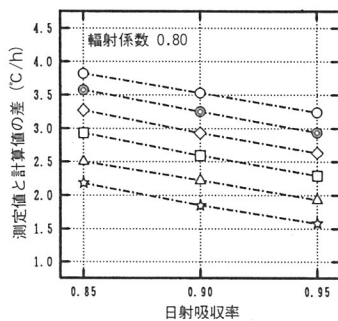
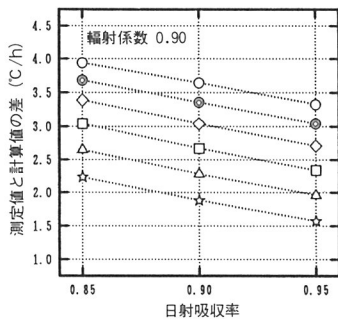
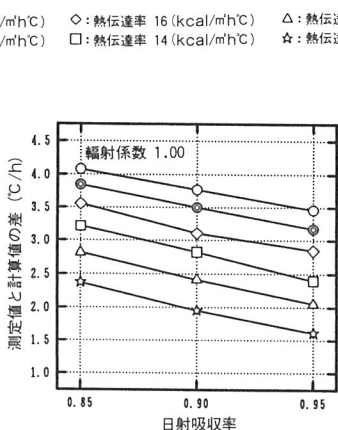


図-11 日射吸収率の影響度

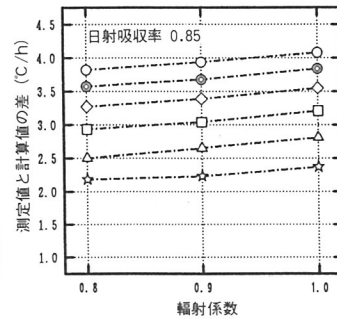
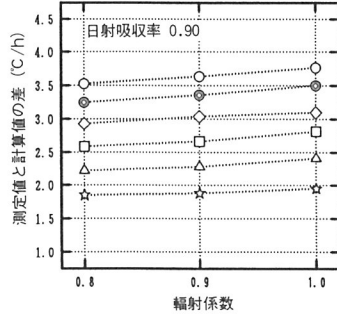
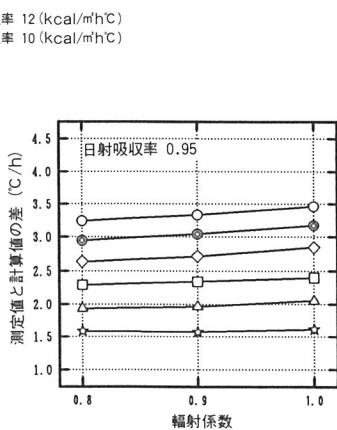


図-12 輻射係数の影響度

3 熱抵抗試験と風洞実験

前項の解析より、スカイグリーン工法の熱的効果を知るには、芝面の正確な日射吸収率や熱伝達率の値が必要であることがわかった。また前項で得た芝の熱抵抗および湿気抵抗は仮定の上での推定値に過ぎず、不織布の熱伝達率についても物性値として定義できるまでにはいたっていない。そこで、それらを解明するために、(財)日本建築総合試験所に依頼して熱抵抗試験と風洞実験を行った。

3.1 試験目的

(1) 熱抵抗試験

不織布の熱伝達率を調べるために行う。熱伝達率は含水率によって変化するため、試験体を十分に湿らした状態（湿潤状態）と若干乾燥させた状態（気乾状態）の2種の試験体について、熱抵抗試験装置を用いて試験を行った。

(2) 風洞実験

芝面の熱伝達率を調べるために行う。熱伝達率は風速によって変化し、また、芝面・内の熱の移動の形態を考えるうえで日射や水分蒸発が影響するため、上記の試験と同様に湿潤状態と気乾状態の2種の試験体を用いて、日射がある場合と無い場合の場合について、風速を3段階に変えて実験を行った。

3.2 試験概要

(1) 試験体

熱抵抗試験に用いた試験体の大きさを図-13に、風洞実験に用いた試験体の大きさを図-14に示す。いずれも芝長は約3cmで、湿潤状態と気乾状態にある2体を試験体として採用した。湿潤状態の試験体には試験中常に水分を補給し、気乾状態の試験体には水分を与えずに試験を行った。試験の途中で、芝が枯れるなどの突発的な事故に対処するため試験体は余分に作製し、試験前での試験体の養生は、適度な散水と1日4～5時間の日射を与えるなどして試験に影響がでないよう細心の注意をはらって行った。

(2) 試験装置

恒温・恒湿室（20℃,60%）内で、JIS A 1420「住宅用断熱材の断熱性能試験方法」に規定されている熱抵抗試験装置を用いた。試験装置の構造と寸法を図-15に示す。風洞実験は恒温・恒湿となるように空調を制御できる室内に図-16に示すような簡易風洞を作製して実験を行った。仮想日射は、赤外線照射装置を用

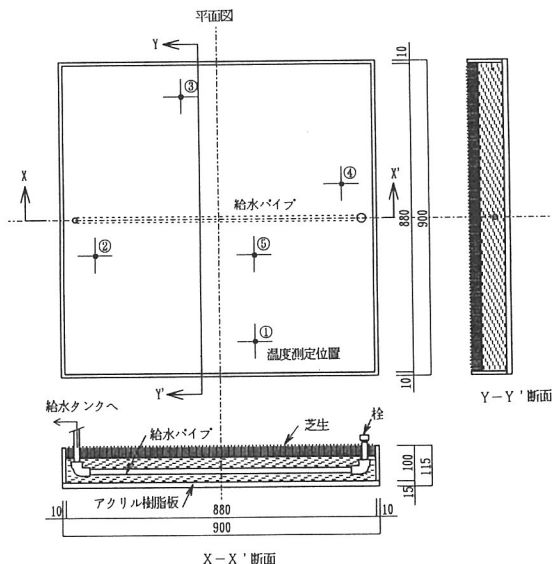


図-13 熱抵抗試験に用いた試験体

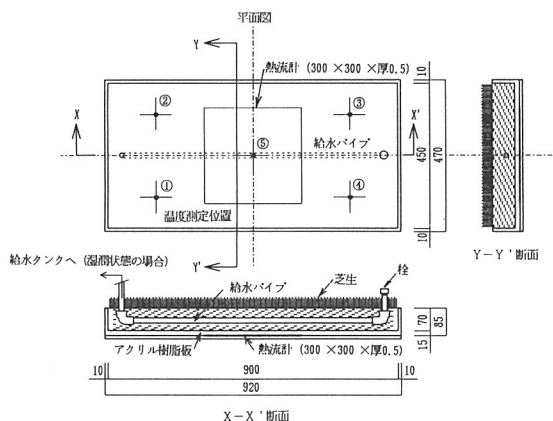


図-14 風洞実験に用いた試験体

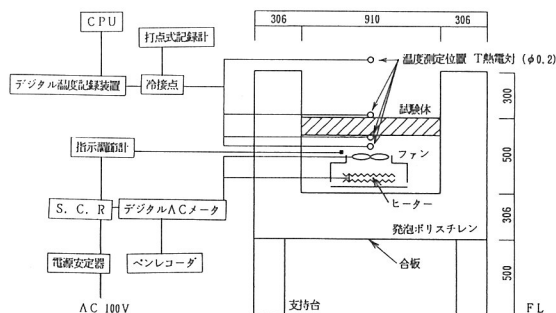


図-15 熱抵抗試験に用いた試験装置

いて与え、風はファンを用いた。風速の変化は電圧で操作し、整流板を通すことで風洞内の風が乱流になることを防いだ。試験体下部のヒーターは、日射を与えない場合の熱供給源として用い、日射を与える場合は使用しない。風洞内を黒色塗装しているのは、反射光や輻射の影響を小さくするためである。

(3) 試験方法

①熱抵抗試験

試験装置の試験体を水平に設置し、加熱側（加熱箱内）の空気温度が一定になるよう電圧調節が可能なヒーターによって加熱した。熱流の向きは上向きである。温度と熱流の測定は、試験体各部の温度および、通過熱流量が定常に達するまで1時間ビッチで行った。試験体各部の温度測定位置は図-13に示すように平面位置に5カ所（①～⑤）で、各位置の断面方向について5カ所（A～E）の計25点とし、測定はT熱電対（銅-コンスタン、 $\phi 0.2$ ）を用いた。断面方向についての温度測定位置を図-17に示す。なお、試験体表面の風速は約 0.3m/s の自然対流である。

②風洞実験

風洞内に湿潤状態の試験体と気乾状態の試験体を風向きと平行に並べ、日射を与えた状態で、風速 1m/s の風を送り、試験体各部の温度および通過熱流量が定

常に達するまで1時間ビッチで温度と熱流の測定を行った。その後、順次風速を 2m/s 、 5m/s と変えてそれぞれの風速に対して上記と同様に測定を行った。この際、試験体下部の加熱箱内のヒーターを使用せず、熱流は下向きである。日射を与えない場合は、加熱箱内のヒーターを熱供給源とするため、熱流は上向きである。この場合も上記と同様に、風速を変えて定常になるまで測定を行う。試験体各部の温度測定位置は図-14に示すように平面位置に5カ所（①～⑤）で、各位置の断面方向については、熱抵抗試験の場合と同様に図-17に示す5カ所の計25点とする。恒温・恒湿室でないため室内の温・湿度の制御は、風洞内の空気温度と湿度の測定結果によって随時調節を行った。温度測定には、T熱電対を、湿度測定には、高分子湿度センサーおよびアスマン通風乾湿球湿度計を用いた。また、芝面の日射吸収率を知るため、日射量の測定とそれともなう反射量の測定を日射計を用いて行った。この際、反射量の測定では光源が近いので、影の影響が多少みられたので、当社技術研究所屋上での実測も行った。

いずれの試験においても、おおよその水分の蒸発量を知るため、試験前の重量と試験後の重量および、試験中の給水量（湿潤状態の試験体のみ）を測定した。

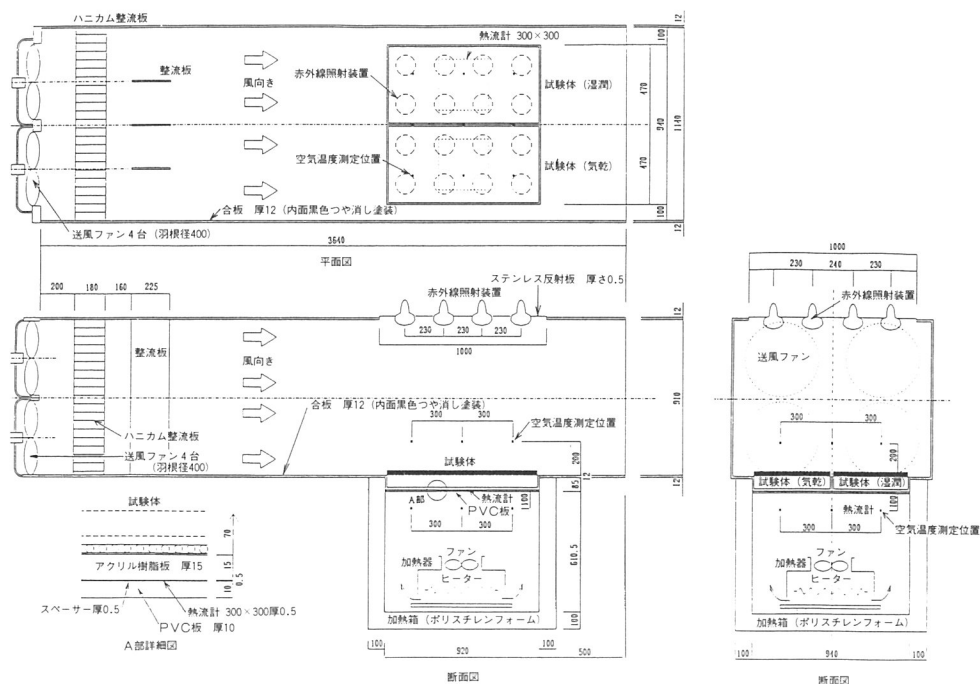
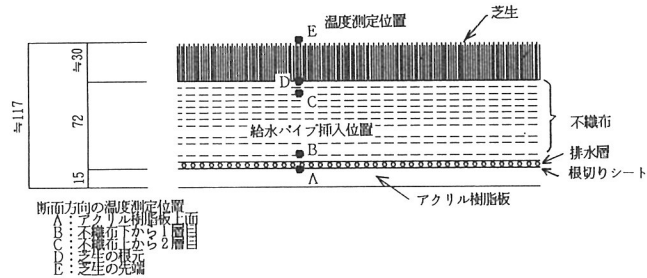


図-16 風洞実験に用いた試験装置

3.3 試験結果

表－3 に蒸発量についての測定結果を、図－18に風洞内での日射量と反射量の測定結果を、図－19に屋外での日射量と反射量の実測結果を示す。芝面の日射吸収率は風洞実験で用いた芝面で0.7873、屋外測定実験

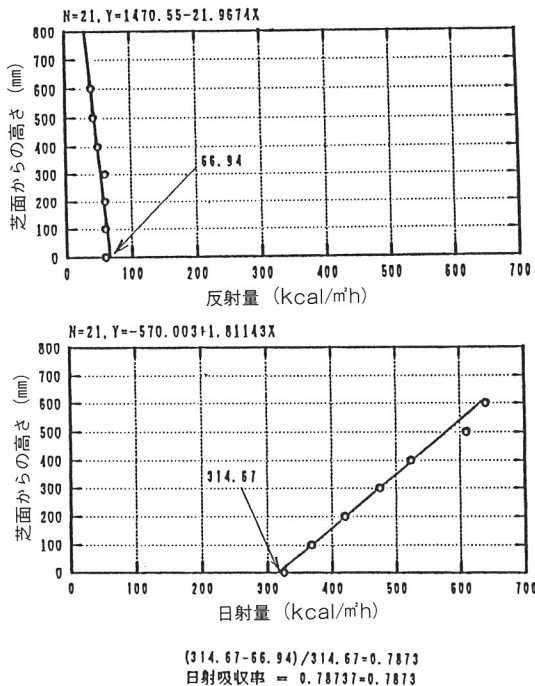
での芝面で0.7857である。この結果、本工法での芝面の日射吸収率の値として0.8という値を使用するのが妥当であり、コンクリートの日射吸収率(0.6～0.7)と比較すると、太陽光の反射による照り返し熱の緩和にも本工法は効果があると考えられる。図－20に熱抵抗



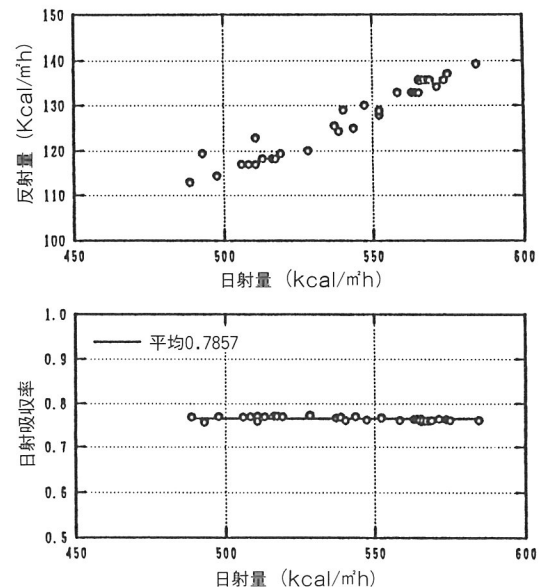
図－17 温度測定位置（断面）

表－3 試験体の重量と給水量、蒸発量

試験項目	試験条件	質量 (kg)		給水量 (kg)	蒸発量 (kg)	測定時間(h)	蒸発量 (g/h)
		測定直前	測定直後				
熱抵抗試験	気乾状態	29.344	29.387	—	1.957	47	41.64
	湿潤状態	39.633	40.007	1.309	0.965	47	20.53
風洞実験	日射なし	気乾状態	17.425	14.372	—	67	42.88
		湿潤状態	21.980	19.720	0.996	67	48.6
	日射あり	気乾状態	17.376	12.092	—	46	114.87
		湿潤状態	22.111	17.645	1.365	46	126.76



図－18 風洞内での日射量と反射量の測定結果



図－19 屋外での日射量と反射量の測定結果

試験の結果を、図-21(a)(b)(c)(d)(e)に風洞実験の結果を示す。図-21(a)は試験条件が日射なし風速1m/sでの測定結果で、図-21(b)は日射なし風速2m/s、図-21(c)は日射なし風速5m/s、図-21(d)は日射あり風速1m/s、図-21(e)は日射あり風速2m/sでの測定結果である。日射あり風速5m/sでの実験は、芝の損傷がはげしくなったため行ななかった。そのため測定結果は得られていない。図より、いずれの実験もほぼ定常となっており、定常下の各部の温度および通過熱流量が得られたといえる。

以上得られた測定結果のから、不織布の含水率による熱伝導率の変化や、芝面での風速による熱伝達率の変化、芝内の熱移動の形態、それにかかわる芝の熱抵抗、湿気抵抗といった物性値を解明していくのだが、現在解析の途中で報告できるまでには到っていない。これらの物性値の解析結果と、それを用いて計算して得られる本工法の熱的效果は次回に報告する予定である。

4 まとめ

- ① 屋外測定実験の結果、スカイグリーン工法は夏季においては、熱的效果が大きいことがわかった。また、芝表面の温度変化、本工法施工下スラブの表面の温度変化から、太陽熱がスラブに焼け込むのを防ぎ、躯体保護に適しており、その効果は、一般的な断熱工法と比較して非常に大きいことがわかった。
- ② あらゆる条件下で、スカイグリーンの効果が数値計算で得られるよう、それにかかわる物性値を屋外測定実験のデータを用いて解析し、以下のことがわかった。
 - ・芝の熱抵抗は $0.30 \sim 0.40 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C} / \text{kcal}$ 、湿気抵抗は $0.15 \sim 0.20 \text{ m}^2 \text{ h mmHg} / \text{kg}$ である。
 - ・芝面の日射吸収率、熱伝達率が計算結果に与える影響は大きく、正確値が必要である。
- ③ ②の結果より、芝面の日射吸収率、熱伝達率の正確な値を得るため熱抵抗試験と風洞実験を行った。その結果、芝面の日射吸収率は0.8であり、太陽光の反射による照り返し熱は、コンクリートスラブと比較した場合かなり緩和できることがわかった。その他の物性値については、現在解析中である。

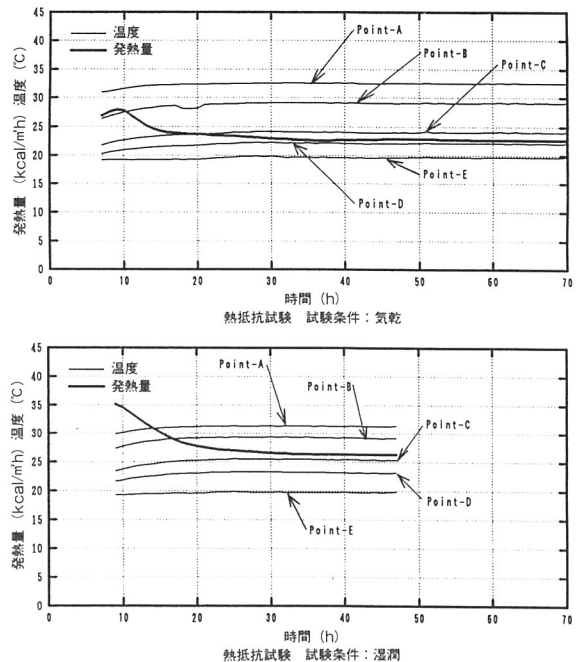


図-20 熱抵抗試験の測定結果

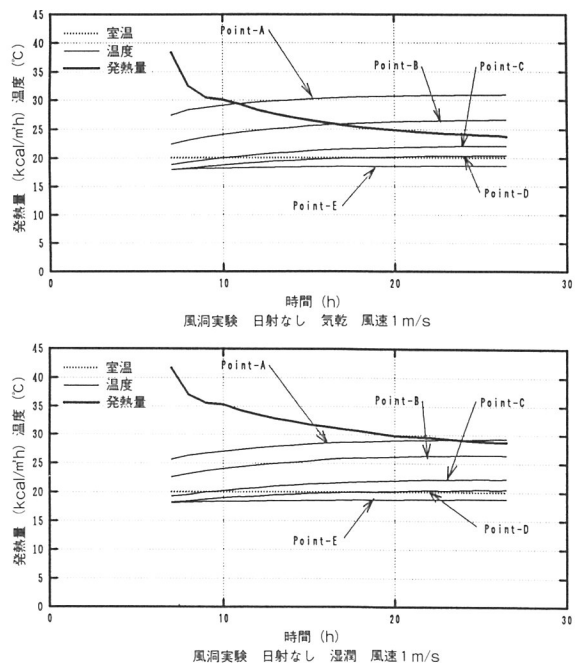


図-21(a) 風洞実験の測定結果
(日射なし、風速1m/s)

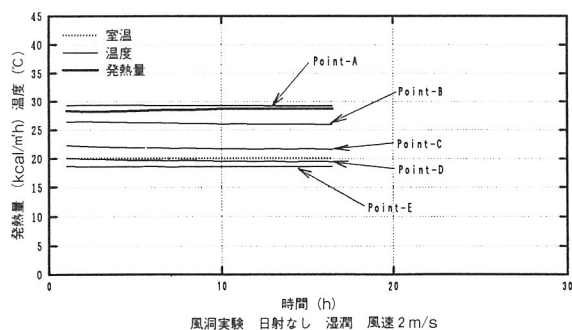
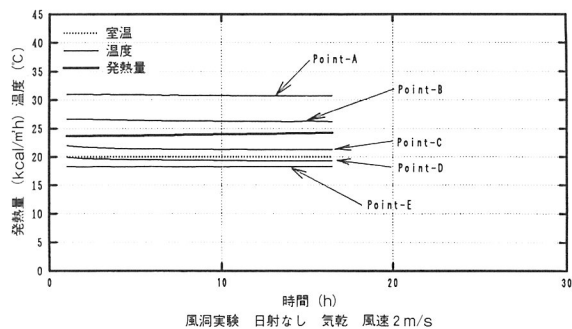


図-21(b) 風洞実験の測定結果
(日射なし、風速2m/s)

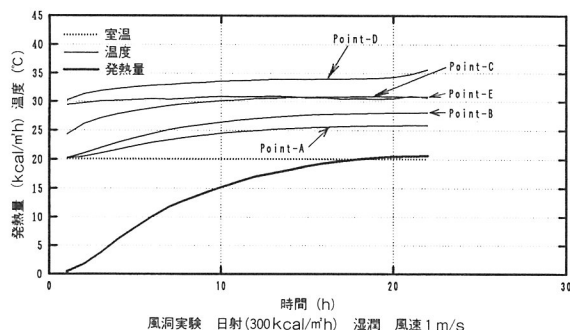
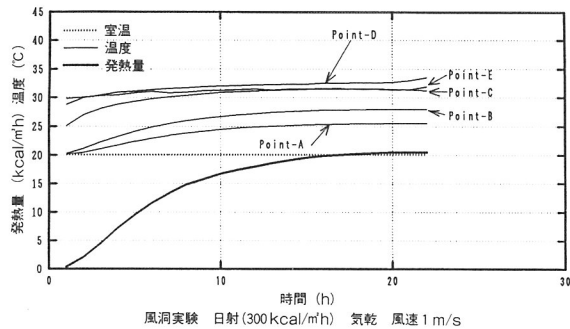


図-21(d) 風洞実験の測定結果
(日射あり、風速1m/s)

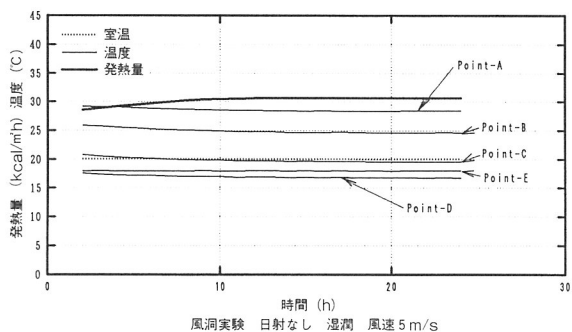
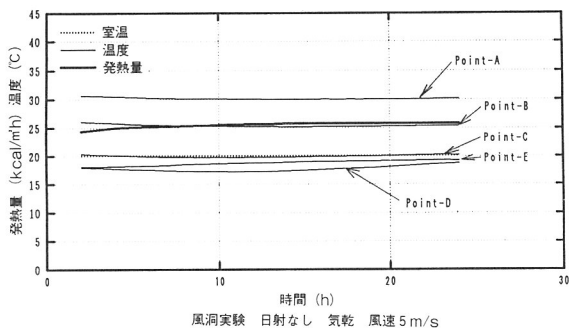


図-21(c) 風洞実験の測定結果
(日射なし、風速5m/s)

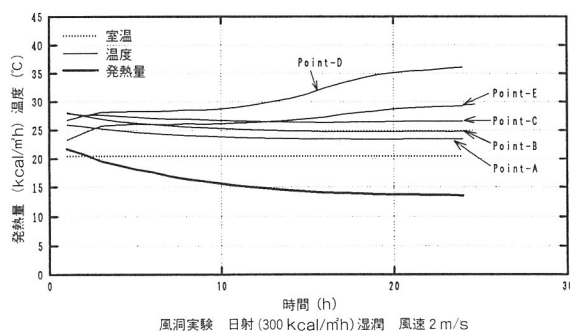
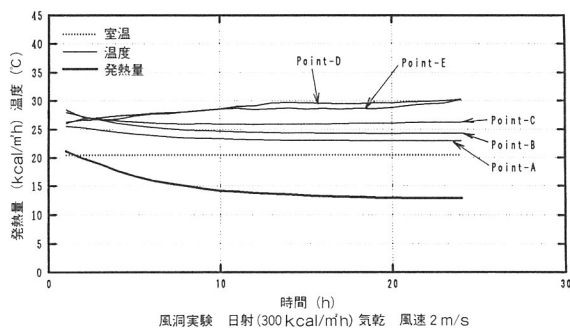


図-21(e) 風洞実験の測定結果
(日射あり、風速2m/s)

5 あとがき

本研究を進めていくにあたって、ご教授いただいた神戸大学松本衛教授および、京都大学鉾井修一助教授に深く感謝いたします。また各実験に協力援助していただいた伊藤忠商事(株)、(株)荏原製作所、呉羽テック(株)、(株)日比谷アメニス各位にお礼を申しあげるとともに、熱抵抗試験、風洞実験を行うにあたってご指導いただいた(株)日本建築総合試験所の熱試験室の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 鉾井修一：湿った建築壁体の熱的特性に関する基礎的研究（博士論文 1986）
- 2) 恩村定幸 他：屋上芝生植栽による冷却効果に関する研究－その1
日本建築学会大会学術講演梗概集
(1992,pp767-pp768 D環境)