

揚水性セラミックボードによる多機能緑化壁システムの研究開発

— 熱環境の低減効果と植物の生育 —

久保田 孝 幸 杉 本 英 夫
小 宮 英 孝

Research and Development of Multipurpose Greening Wall Using Ceramics with Capillary

— Evaluation of Cooling Efficiency and Vegetation by a Ceramic Board —

Takayuki Kubota Hideo Sugimoto
Hidetaka Komiya

Abstract

A multipurpose greening wall for various positions has recently been developed in order to reduce the outside air temperature in summer and to improve the urban landscape. In this wall system, plants are cultivated on high capillary ceramic boards. These boards suck up and spread water efficiently, wet the whole surface and irrigate the plant. This wall model was built to investigate the efficiency of cooling and vegetation growth in summer. The results of the investigation are as follows. (1) For the wall facing west, the surface temperature of a wet ceramic wall due to high capillary is 14 degrees lower than that of a dry concrete wall. (2) With this system, the air temperature near the wall was a little bit lower than normal air temperature. (3) The boards could distribute water up to 40cm or higher and maintain suitable water conditions for good growth.

概 要

都市の温度を冷却するとともに、緑化により都市景観の向上を目的として、様々な壁面に適した、多機能緑化壁システムを開発した。多機能緑化壁システムは、揚水性に優れた「おこし」状の多孔質セラミックのボードに植栽されており、植物へはボードの下端面より毛細管により植物やボード全体に給水され、適切な水分状態を保つことができる。また、ボードの表面が適度な水分を帯び、凸凹していることでツタなどの登はん性植物が定着しやすくなっている。この多機能緑化壁システムの試験体を作成し、ヒートアイランド現象及び植物の生育が問題となる夏季を中心にシステムの特長について測定して効果を確認した。その成果は、次の通りである。新規に開発した、多機能緑化壁システムにより、(1) 湿潤した壁の表面では、乾燥したコンクリートの壁に比べて西面で最高14℃程度低かった。(2) 壁の周辺の微気候が改善され、わずかだが気温などの低下が見られた。(3) セラミックボードが40cm以上揚水し、ボード内の植物に適切な水分状態を保つことができた。

1. はじめに

近年、都市部のヒートアイランド現象が話題となっており、その対策として屋上緑化や保水性舗装などの法制化と施工が進められている。しかし、都心部では、屋上や車道のような水平面だけでなく、建築物の外壁に加え、車道や鉄道の高架部の防音壁や擁壁のように主に熱容量の大きいコンクリートがむき出しとなっている垂直面が数多く見受けられる。これらはヒートアイランド現象を増進するだけでなく、都市の美観上も問題となっている。

筆者等は積極的に都市の温度を冷却するとともに、緑化により都市景観の向上を目的として、様々な壁面に適した、多機能緑化壁システムを開発した。

本報告では、多機能緑化壁システムに適した多孔質セラミックボードを用いて試験体を製作し、夏季における熱環境の改善効果、及び植物の生育状況についての結果を報告する。

2. 多機能緑化壁システムの概要

多機能緑化壁システムの基本断面をFig. 1に示す。本システムは、揚水性に優れた多孔質状のボードを用いて、防音、吸音、緑化、ヒートアイランド現象の抑制の機能を複合した壁面を作ることができる。つまり、ボードを連続させて防音壁として利用しながら、揚水した水が表面より蒸発することで、周囲の微気候を改善することだけでなく、緑化により壁の美観を向上させる。また、ボード表面を多孔質とすることで、緑化部だけでなく吸音効果も有する多機能な緑化壁である。

今回のシステムでは、揚水性ボードに軽量のセラミックス製品を用いた。ボードは「おこし」状となっているとともに、揚水性に優れた毛管現象の働く連続空隙を有していることで、吸音性、蒸発効率、植物の定着性を高めている。また、ボードの優れた揚水性により、ボード下部の支持部に備えた水盤構造の水を効率的に利用できる

ため、雨水利用あるいは灌水装置を簡素化することも可能になるとともに、植物の生育に必要な水を、ボードの毛細管に保持された水から供給することも可能としている。

3. 実験概要

3.1 試験体の概要

3.1.1 試験体の構成 大林組技術研究所(東京都清瀬市)の環境研究センター屋上実験テラス(4階)にPhoto 1のような試験体を設置した。試験体は450mm角で40mm厚のボードが東西南北各面に3段×6列設置できているようになっている。

給水は、各段に対して点滴パイプで灌水して、余剰な水を水受けで貯水する構造にしている。また、Photo 2のように植物は、培養土を入れた不織布の袋とともに、ボードの中央部にあけたφ100mmの穴にいれる。固定用の器具は使わず、袋を穴の断面に密接するように詰めて固定する。ボードの厚さによる植物の生育の影響を見るため、一部2枚重ねて設置した。

3.1.2 多孔質セラミックボードの性能 本システムに用いている揚水性ボードは、スラグを利用したセラミックスで、連続空隙を有する多孔質な構造の「おこし」状となっている。スラグは粉状に粉碎したものを別のセラミックスの骨材にコーティングし粒状にしたものを焼成している。この骨材を変えることで重さや強度を変えられる。独立気泡を持つ焼成品を骨材に利用する軽量タイプと粒状のスラグを骨材とする高強度タイプの2種類の製品がある。ボードの特性をTable 1に示す。両タイプともに50%程度の保水率を有する。

3.2 実験方法

多機能緑化壁システムの各性能を確認するため上記の試験体において2002年8~9月に観測を行なった。

3.2.1 熱環境改善効果の実験 多機能緑化壁システムの熱環境改善効果を明らかにするため、Table 2に示す内容の測定を行なった。また壁周辺の測定状況をFig. 2に示す。

3.2.2 ボードの揚水能力及び蒸発量の測定 Fig. 3のような装置を屋外に置き、測定対象体を含む装置全体の総重量を測定して、蒸発量を求めた。同時に、揚水高さ、表面温度も測定した。揚水高さは、ボードの底部2cmを浸水させ、水が浸潤していく高さを経時的に計測した。

3.2.3 植物の生育状況 2001年7月から、観察を開始

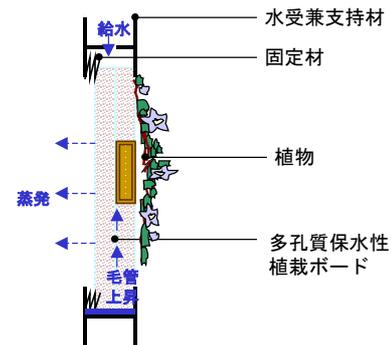


Fig. 1 多機能緑化壁システム断面図
Vertical Sectional View of Multipurpose Greening Wall



Photo 1 多機能緑化壁システム試験体
Model of Multipurpose Greening Wall



Photo 2 試験体の植物
Plants in Model

Table 2 測定項目
Item of Measurement

測定項目	測定器
気温・相対湿度	高分子式湿度温度センサー(ラジエーションシールド) 精度±0.3℃, ±5%RH
風向・風速	風速センサー 0~45m/s, 精度0.1m/s 風向センサー 0~360°, ±4°
黒球温度	グローブ球(φ15cm), 温度センサー 精度±0.3℃
表面温度	放射温度計(ε=0.95)
土中温度	温度センサー 精度±0.3℃
土中水分	電極式水分率計 精度±2~5%

Table 1 多孔質セラミックボードの特性
Property of Ceramics Board

試料名	寸法 (mm)	重量 (kg)	見掛け気孔率 (%)	見掛け比重 (-)	かさ比重 (-)	圧縮強度 (kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)	吸水率 (%)	保水率 (%)
軽量タイプ	450*450*40	16.2	69.9	1.66	0.41	8.4	7.6	140	57.7
高強度タイプ	450*450*30	36.9	53.1	2.39	1.05	41.9	25.2	47	49.9

※JIS R 2205「耐火レンガの見掛け気孔率・吸水率・比重の試験方法」、JIS R 2213「耐火レンガの曲げ強さの試験方法」、JIS R 2206「耐火レンガの圧縮強さの試験方法」による

した。植物は、ツタ、セダム、多年草、低木など、壁面で利用される種類で、園芸店で購入しやすいヘデラ、メキシコマンネングサ、ツルマサキ、タイム、クローバー、ミニバラなどを栽培した。生育観察中に、培土の温度及び水分状態を測定した。生育状況は、伸長量と葉色からTable 3のように総合的に4段階で評価した。

4. 結果と考察

4.1 夏季熱環境の低減効果

ここでは、夏季に暑熱環境の厳しい南面、西面の結果を中心に述べる。それぞれの面に給水し湿潤させ、植栽を施した揚水性ボードと、給水も植栽もせず乾燥した揚水性ボード（土壌を入れた不織布の袋は設置）、および乾燥したコンクリート板(厚さ4cm)をそれぞれ設置して、比較評価した。

4.1.1 測定日の概況 測定開始数日前から晴天が連続した条件であった、8月8、9日と28、29日を中心に検討した。一般気象データは、気温はアメダス(所沢)、相対湿度等は東京管区気象台の測定値を用いた。

それぞれの気象状況は以下の通りである。8月8、9日は日中を通して晴天で気温は30℃を超えており、また屋上では南風が非常に強かった。8月28日はやや曇り気味であったが、29日は日中晴天であった。また気温は両日も30℃を超えており、風も8月8、9日と比べて強くなかった。

4.1.2 表面温度の低減効果 南面と西面における8月28、29日の結果をFig. 4, Fig. 5に示す。

建物及び試験体が少し東側に振れており、実際には南面は南南東、西面は西北西を向いていることと、垂直面であることから、南面では9~11時頃、西面では14~16時頃に表面温度は最高になる。また、湿潤したボードと、乾燥したボードや建物のコンクリート外壁との差は西面で最大となる。また、日中を通して両面の湿潤部分は、気温より5℃程度は低い状態となっている。建物の壁面との差は8月29日の16時の西側において気温35℃のとき、湿潤したボード28.9℃、建物のコンクリート外壁42.7℃と最大となり、約14℃であった。南面での表面温度差は同日の13時頃に10℃であった。

また、Fig. 6に8月8日の西面のサーモカメラによる熱画像を示す。日中はもちろんであるが、夕方は湿潤したボードが気温より低くなっているにもかかわらず、後ろのコンクリートの外壁が蓄熱して温度が高いままであることが良く分かる。

4.1.3 気温低減効果 8月8日の南面の裏側(北側)における壁体付近の温湿度をFig. 7に示す。南面の湿潤部分と乾燥部分の穴の裏側(北側)15cm離れた位置において高さ0.95mでの気温を測定し比較した。壁体の面積も小さいため大きな差は見られなかったが、日当たりが同じ条件の時には湿潤したボード側が常時低く、乾燥したボード側と比較して最大で0.8℃の差が生じた。

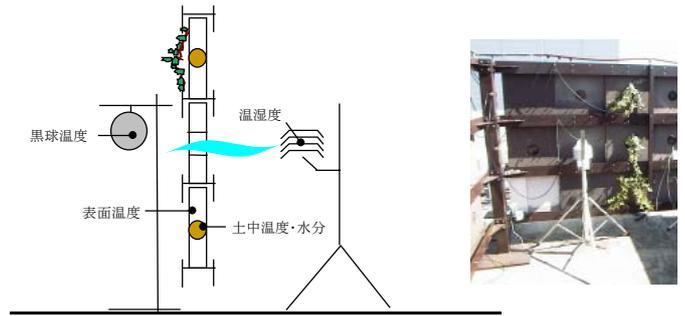


Fig. 2 壁周辺の気象の測定
Measurement of Micro-Climat near the Wall

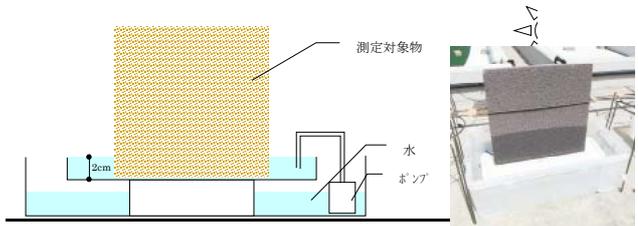


Fig. 3 ボードの揚水能力と蒸発量の測定
Measurement of Capillary and Evaporation

Table 3 植物の生育状況評価区分
Classification of Growth in Vegetation

階級	評価区分	備考
++	伸長量、葉色ともに良好	
+	伸長量、葉色ともに普通以上	
-	伸長量、葉色のどちらかが普通以下	葉色の退色
--	伸長量、葉色ともに普通以下	枯死を含む

※興水の「丘陵地における樹力活力度の判定基準」¹⁾を参考に作成

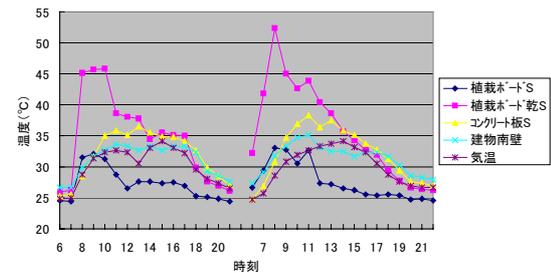


Fig. 4 南面の表面温度の経時変化 (2002年8月28, 29日)
South Surface Temperature

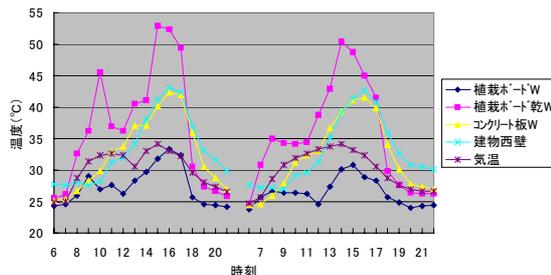


Fig. 5 西面の表面温度の経時変化 (2002年8月28, 29日)
West Surface Temperature

4.1.4 黒球温度低減効果 体感温度の簡易な指標として、南面と西面の湿潤部分と乾燥部分のそれぞれ中央付近の、壁から15cm高さ100cmにおいて黒球温度を測定した。グローブ球に対する壁面の形態係数を大きくするため、近接させて設置した。Fig. 8に8月8日の南面での結果を示す。大きな差は見られなかったが、日当たりが同じ条件時では、両面とも湿潤したボードでの値が低かった。乾燥したボードと比較した最大の差は、南面の昼過ぎに2.7℃の差が生じた。また、西面では、15時頃に最大1.6℃の差が生じた。

4.2 多孔質セラミックボードの揚水性能

4.2.1 揚水高さスピード Fig. 9に揚水高さの経時変化を示す。室内における実験（下部2cmを浸水、気温15.6℃、相対湿度77.2%）では1分で6cm、10分で15cm、60分で28cm、240分でボードの上端の45cmに達した。

夏季晴天日の屋外においては、日中は時折上端から数cmは表面が乾燥する場合があるが、夕方には上端まで湿潤状態に戻っていた。

4.2.2 水分蒸発量 多機能緑化壁システムへの水の供給量の参考とするため、夏季晴天日の屋外において、450mm角、40mm厚のボード単体の蒸発量を測定した。

夏季の1日の蒸発量について、Fig. 10に日照時間との相関を示す。南北に向けた試験体の方が、東西向きに比べ蒸発量が若干大きかった。それぞれの面の蒸発量は、
南北向き：1.7～2.2L/枚・day (8.4～10.9L/m²・day)
東西向き：1.6～1.9L/枚・day (7.9～9.4L/m²・day)
となった。夏季の水面や湿潤した水平面の蒸発量(約5L/m²・day)の約2倍の値だが、表と裏の両面の合計値であるためだと考えられる。夏季の灌水は表面積当り最大で5L/m²・dayが必要となる。

4.3 植物の生育状況

4.3.1 土中温度 多機能緑化壁システムにおける植物の生育環境を調べるため、植物のない試験体を作成し、湿潤状態と乾燥状態の土中温度を測定した。8月8日の南面と西面での土中温度をFig. 11に示す。南面の土中の温度は、乾燥したものが早朝は湿潤したものと変わらないものの、気温の上昇とともに日中32℃近くまで上昇するのに対して、湿潤したボードに固定した土は25～27℃に安定していた。西面では裏面が東向きのため、早朝に太陽高度が低い時30℃近くまで上がるものの、湿潤した土はすぐに下がり一定となる。しかし、乾燥した土は日中もやや高く28℃程度となるが、南面ほどには高くならな

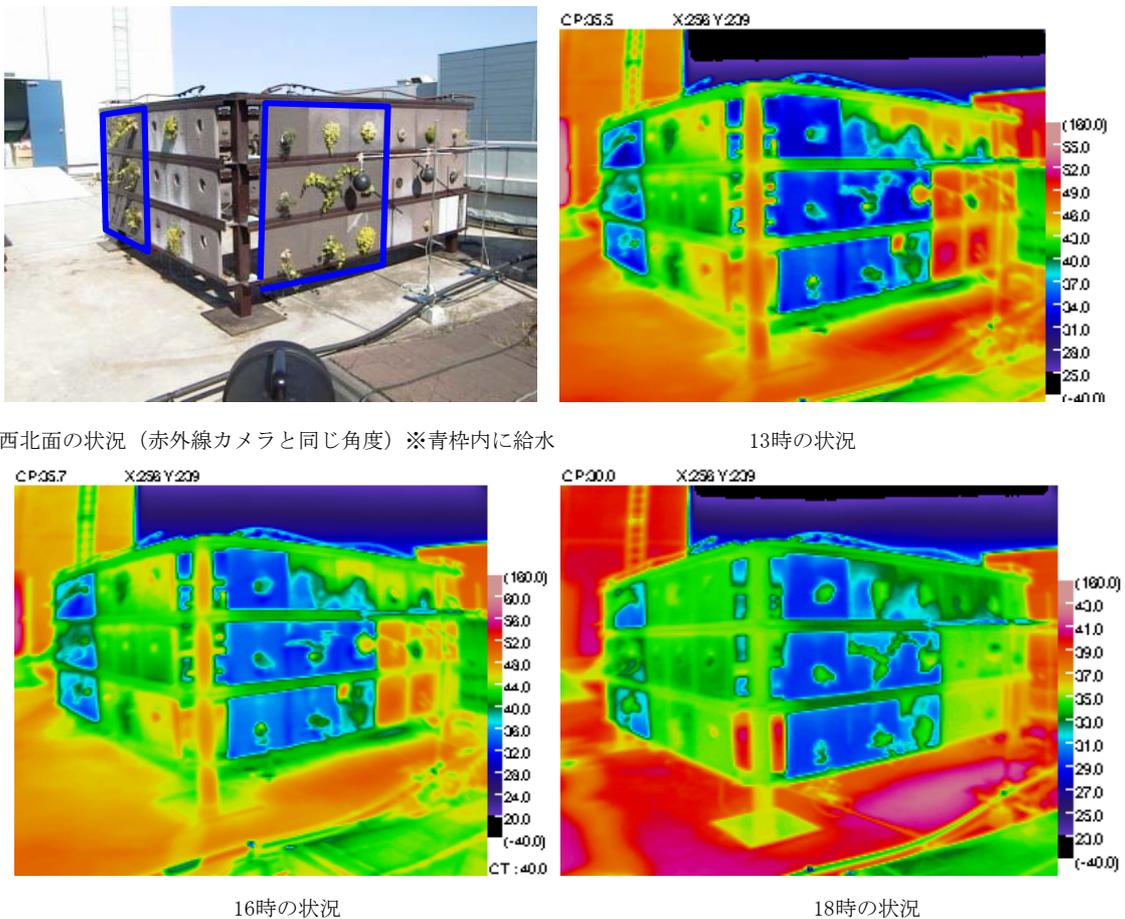


Fig. 6 夏季日中の熱画像の一例(2002.8.8 16:00)

An Example of Thermal Image of Model in Summer Daytime

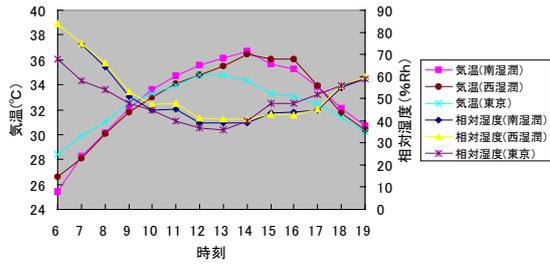


Fig. 7 壁体付近の温湿度 (2002. 8. 8)

Air Temperature and Humidity near the Wall

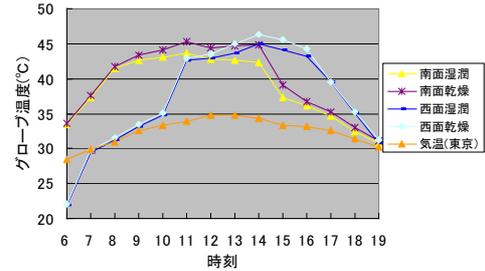


Fig. 8 壁体付近の黒球温度 (2002. 8. 8)

Globe Temperature near the Wall

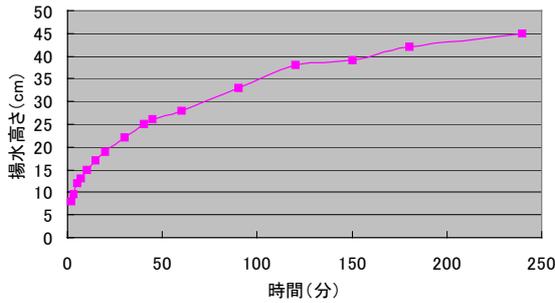


Fig. 9 セラミックボードの揚水速度

Capillary Speed of the Ceramics Boards

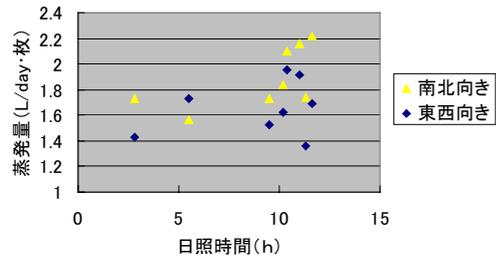


Fig. 10 夏季におけるボードの蒸発量と日照時間

Relation between Quantity of Evaporation Released from a Board and Daylight Hours

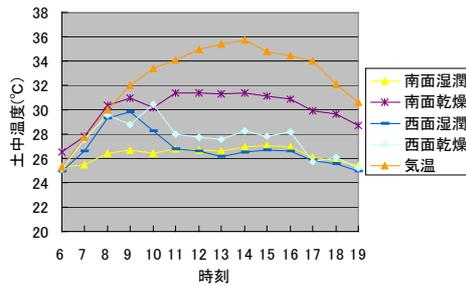


Fig. 11 試験体の土中の温度 (2002. 8. 8)

Temperature of Soils in this System

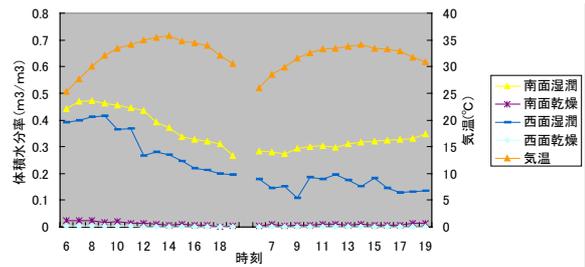


Fig. 12 試験体の土中の体積水分率 (2002. 8. 8, 9)

Soil Moisture in this System

Table 4 植物の生育

Results of Flowering

植物名	性状	生育状況*					備考	生育期間
		東	西	南	北			
セイヨウキツタ(ヘデラ、アビバー)	ウキ科常緑蔓性低木	++	++	++	++		どの方角でも生育可能	01.7~03.5
メキシコマンネングサ(セダム)	ベンケイ科常緑多年草		+	+	+		無灌水でも生育可能	01.7~03.5
タイム(コモンタイム)	シソ科常緑低木		+				成長しすぎず生育	01.7~03.5
バラ(ミニバラ)	バラ科落葉低木(耐寒性)	+	+	-	+		夏季南側で生育不良	01.7~03.5
ブラキカム(ヒメコスモス)	マ科多年草	++					次々と花を咲かせている	02.6~03.5
ツルマサキ(エオニマス)	シキ科多年草	++	+	++			成長しボード表面に固着	02.6~03.5
シロツメクサ(クローバー)	マ科常緑多年草			--	-		乾燥の少ない所で生育可能	02.6~03.5

※ Table 3参照、無印は生育機会なし

い。

4.3.2 土中水分量 上記と同様、植栽の生育環境を調べるため、同じ土の中のの湿り具合をみた。また、体積含水率を測定し比較した。8月8, 9日の結果をFig. 12に示す。

夏季において、乾燥したボードに固定した培養土は、雨が降らないと数日で乾燥するのに対し、湿潤したボードに固定した培養土は、経時的な変化はあるものの、ボードが水を供給するため、乾燥せず、また過湿にもならない適度な湿潤状態を保っていた。また、体積含水率も

0.2~0.4m³/m³と安定していた。

4.3.3 植物種と適性 これまでに本システムにおいて育成した植物と生育結果についてTable 4にまとめた。また、夏季における生育の状況の一部をPhoto 3に示す。

わずか数百グラムの培養土しかないが、成長するにつれて根は不織布を突き抜けて、ボードの空隙に根を張ってくる。壁面に定着性のあるヘデラ、ツルマサキは壁面に付着し、順調に生育した。しかし、ヘデラは風が弱い場所では定着したが、風が強い場所では定着できなかった。ブラキカム、タイム、ミニバラなども方角の限定は



東面



西面



たくさんの花をつけたブラキカム



固着したヘデラ



固着したツルマサキ



ボードに根を伸ばした状況

Photo 3 植物の生育状況

Condition of Plants

あるが順調に生育した。多くの植物がPhoto 3のように不織布を突き抜けて、ボード内部に根を張っていく様子が観察された。また、ボードを2枚重ねた部分の植物は一枚のところよりも生育が良く、2枚のボードのわずかな隙間が根を張りやすい空間となっていることと、表面積に比した体積が大きくなり、気象などによる変化を和らげるためだと考えられる。また、実験期間後、5月の晴天日に灌水を3日間止めて観察した結果、生き残ったのは、セダムとボードを2枚重ねた部分のヘデラであった。特に、セダムは、実験期間を通して、雨水のみでも生育できることを確認した。ヘデラは枯死に近い状態であり、回復が遅れた。

5. まとめ

揚水性能の高い多孔質セラミックボードを用いた多機能緑化壁システムの試験体を作成し、夏季の熱環境低減効果及び、植物の生育について観測した。

熱環境改善効果としては、表面温度が建物の外壁と比較して、西面で最大14℃、南面で最大10℃低くなること、

また、いずれも気温よりも低い状態となり、壁体付近のグローブ温度も乾燥した壁体と比べて南面で最大2.7℃低くなることがわかった。また、ボード単体(450mm角で40mm厚)での水分蒸発量は両面から蒸発していることもあるが7.9~10.9L/m²・dayと高い値を示した。

また、植物の生育環境については、夏季においてもボード下面からの給水のみでボード中央の培養土は適度な湿潤状態に保たれ、しかも土の温度も日中を通して25~27℃で安定していた。植物種としては、耐寒性や耐暑性のあるヘデラ、セダム、ブラキカム、ツルマサキなどが適していることがわかった。

今後の課題としては、道路や軌道の防音遮音壁など適用箇所に応じた設置方法、給水方法について検討するとともに、防音などのシステムとしての性能についても調べていく必要がある。

参考文献

- 1) 松井, 武内他編: 丘陵地の自然環境 —その特性と保全—, 古今書院, (1990)