

底面灌水方式による屋上緑化システムの開発

薄層土壌の水分特性と置き換えポットによる植物の生育

杉本 英夫 赤川 宏幸 久保田 孝幸
小宮 英孝 辻 博和

Development of Rooftop Gardening System by Underground Irrigation with Textiles

The Characteristic of the Soil Moisture and Vegetation by a Pot

Hideo Sugimoto Hiroyuki Akagawa Takayuki Kubota
Hidetaka Komiya Hirokazu Tsuj

Abstract

The authors have developed a new rooftop re-vegetation system to provide a relaxation space and to control heating load. Underground irrigation using high function textiles on capillary, a technology used in rooftop gardening systems, was carried out on a 90m² model for one season to investigate the efficiency of moisture control, flowering and vegetation. The structure of irrigation system in the vegetation base consisted of two kinds of textiles that combined capillary action and permeability. The results of the investigation are as follows. (1) We cultivated a plant in a 5cm thickness of natural soil. (2) The new underground irrigation system efficiently distributed moisture up to 4m or more, and it maintained suitable moisture conditions for growth during rain or storm. (3) For cultivation in pots, generally good growth was achieved in the observation period. (4) To achieve light weight, we cultivated in thin soil layers and thus reduced the loading weight of the visitation base to 90kg/m² or less. (5) High capillary bricks were used to reduce garden temperature.

概 要

筆者らは、楽しい空間と熱負荷の低減に有効な屋上緑化技術の研究に取り組んでいる。そして、導水シートと排水シートを利用して特殊な構造を備えた新しい底面灌水方式を考案し、その採用による軽量の屋上緑化システムを開発した。本報告では、技術研究所環境研究センター屋上に新開発のシステムを造成して、約1年間の追跡調査を行い、その土壌水分の特性と栽培への効果を確認し、新しい屋上緑化方法としての適用可能性を明確に示した。その成果は、次の通りである。新規に開発した給排水システムによって、(1)自然の土壌で層厚5cmでも、植物を栽培できる。(2)点滴灌漑パイプの給水点から延長4m以上に渡り、植物に有効な水分を供給できる。そして、降水中でも適当な水分状態を維持できる。(3)置き換えシステム上では、一般的な植物のポット栽培でも、植物は枯れずに生育する。(4)土を薄く、少なくして栽培するので、緑化基盤の荷重を90kg/m²以下にできる。(5)高揚水性のレンガなどを土の代りに使うと、地温が気温と同程度以下になる。

1. はじめに

屋上に各種の植栽を施し、緑化空間を創出することは、人間にとって快適な空間を提供すると同時に、大気中に放出される熱を減少させるので、ヒートアイランド現象の緩和に大きく貢献する。

当社では、1989年から人工地盤の緑化¹⁾に係わり、軽量土壌や特殊環境の植生、熱的環境測定、省エネ効果など研究開発を進めてきた。1992年には、EPS混合による軽量の培土の製作や雨水を利用して灌漑管理を容易にして樹木まで栽培できるなどの様々な工夫を凝らし、本格的

的に手軽に屋上を緑化する「軽量コンテナシステム」²⁾を開発した。熱的特性についても解析プログラムを開発³⁾し、植生基盤による熱環境緩和を報告⁴⁾するなど、この分野で先端技術の研究開発を進めてきた。今回は、このノウハウを基に、打水効果で歩道面を冷やす技術「打水ペープ」⁵⁾の底面導水シートによる給水方式を発展させて、軽く、安く、手軽に緑化できる2つの緑化システム⁶⁾を開発した。基本型の薄層緑化システムと応用型の置き換えシステムである。本稿では、新しい屋上緑化システムの利点とその特性を中心に報告する。

ここでは、モデル試験体を製作し、土壌層厚5cmの地温および水分の分布、さらにはポット栽培による植物の開花期間などについて、夏季の観測を通じて得られた知見を述べる。

2. 屋上緑化システムの概要

2.1 薄層緑化システムと置き換えシステム

薄層緑化システム（以下薄層式）をFig.1とPhoto.1に例示する。具体例として、厚さ1cm程度の給排水構造の上に、畑土など自然の土を厚さ5cm程度に客土し、植栽するものである。このシステムには、新開発の給排水構造「底面導水シート方式」を採用している。

導水シートに排水機能を付加した方式により、均一に水を供給しつつ、植物の生育にとって大敵である湿り過ぎを防ぐことが可能となった。薄層化すると困難であった土壌水分の制御が可能になったため、土が5cmの厚さでも緑地の品質を維持できる。盛土5cmの条件では、畑などの自然の土でもシステム重量は1m²当たり60～90kgに軽量化される。自然の土を用いるので、在来の植物種や一般市場の品種に加え、種子からの緑化も可能とするので、多様な植物種の栽培ができるなど、薄層条件下の貧相な植栽イメージを変えることができる。

置き換えシステム（以下置換式）をFig.2とPhoto.1に例示する。「薄層緑化システム」の給水システム上に、土の代わりにブロックまたはチップ状レンガの地盤と鉢物植物を置くだけの簡易なシステムである。植木鉢などを利用し、季節毎、用途毎に植生を変更する。ガーディング感覚で手軽に四季折々の緑化を楽しむこともでき、マンションのバルコニーなど一般消費者向けにも用途拡大が期待される。このシステムでは、「打水ペープ」的な機能を複合化しているため、植栽の蒸散だけでなく、高揚水性のブロック状材料やチップ状レンガが十分に保水し、その水分が蒸発する際に気化熱を奪うことによって、表面温度を大幅に下げることができる。

2.2 底面導水シート方式の特性

Fig.3に底面灌水方式の給水イメージを例示する。システムの給排水は、給水部（導水パイプ）に点滴灌水パイプを使い、僅かな水を少しずつ導水シートに流し、点滴場所から延長5mまで配水する。導水シートは、毛細管現象で湿り気を帯びて水を含み、動水勾配で水が移動する。導水シートは、給水を止めると排水シートに接した面からの通気が容易となるので、土壌に空気を供給することも可能である。なお、動水勾配とは水を動かす力のことを示し、導水シートの綿網構造に起因する毛管力が、負圧として働き、濡れた所から乾いた方へ水を引っ張るため、平坦に置いた導水シートに水が拡散していくと考える。導水シートの水分は均一に分布して、部分的に水分が偏ることがないので、無駄なく灌水できる。また、底面に水を貯える方式のように、土壌の底面が過湿になる

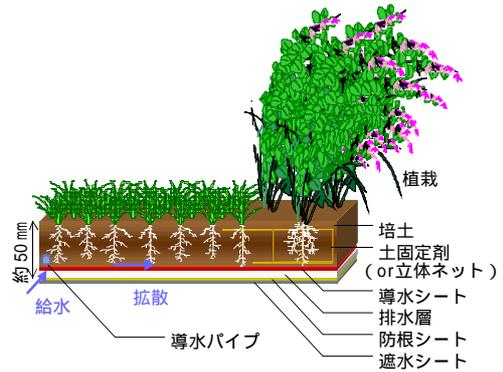


Fig.1 薄層緑化システム断面
Type of Soil Layer, Thickness 50mm

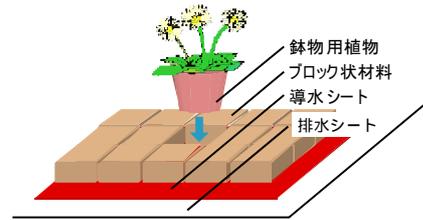


Fig.2 置換えシステム模式図
Type of Pot Transplantation with Brick



Photo.1 手前：薄層式 奥：置換式
Front Image: Type of Soil Layer
Back Image: Type of Pot Transplantation

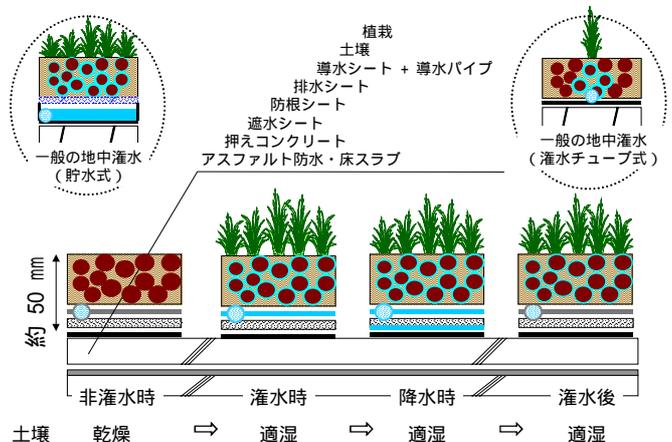


Fig.3 底面導水シート方式の特徴
Irrigation Images

のを防ぐ層を設けたり、常時貯水することがないので、緑化基盤の軽量化が可能となる。そして、タイマーと組合せた電磁弁の開閉操作で、灌水制御が容易である。

3. 実験概要

3.1 試験体の条件

試験体ケース1～ケース12における断面構造の土壤層から下の条件をTable.1に示す。設置場所は、大林組技術研究所（東京都清瀬市）環境研究センター屋上実験テラスである（Photo.2）。勾配は、1/100の緩い傾斜となっている。各試験体の大きさは、厚さ7cmの木枠に囲まれた7.5m²（1.5m×5m）とした。導水シートで配水する距離は、給水部（導水パイプ）から5mとした。

3.2 実験方法

目的：新屋上緑化システムに対する水分特性および熱的特性を明らかにし、従来技術との性能を比較する。

試験期間：薄層式は2001年7月から観測を開始した。4月初旬～7月中旬までの3ヶ月間、植栽後の生育状態を揃えるため、養生期間した。置換え式では、ポットを置いた時点から生育が衰退するまで観測を行った。ポットを置いた時期は、2001年4月、6月、9月の3回である。なお、気温、土壌水分、地温は、Table.2に示すように機器で測定した。

土壤について：薄層式は盛土厚5cmで、土壤の種類を関東地方の造園客土で一般的な黒ぼく土（火山灰風化土）とした。置換え式では、土壤に換えて基盤にはブロック状材料（ブロック方式）およびチップ状レンガを利用し、ポットの土壤には薄層式と同じ黒ぼく土を使用した。土を入れるポットには、容量0.3～12Lを利用した。また、ポットへの給水を円滑にする目的で、小さく切断した揚水布（20×150mm）をポット底面の穴から半分ほど差し込み、残り半分を穴から垂らす状態にした。ポットを設置する場合には、垂らした揚水布が敷設した導水シート面に接するようにした。なお、市販の植物をポットに移し替える時に、根についた土も一緒にした。

植物について：薄層式のケース1～ケース6では1.5m²の観察区を5区設けて、芝・草本・低木を植栽した。4月からは暖地型芝草のコウライシバを張芝し、草本のクローバー、パズフットトレフォイル、低木のヤマハギ、エニシダを播種から栽培した。また、7月からはケース7に寒地型芝草とセダムの栽培を実施した。寒地型芝草はケンタッキーブルーグラス、セダムはメキシコマンネングサとし、マット状の植物担体を各3.75m²（1.5×2.5m）張付けた。

置換え式では、クリサンセマム、日日草、アリッサム、セージ、ラベンダー、ケイトウ、パセリ、アイビー、ゴールドクレスト、ハーブ類などを栽培した。

灌水について：タイマー制御で管理した。灌水量は、2001年7月～10月の4ヶ月間について、試験体No. ケース

1～ケース6は4L/(m²・日)、ケース7～ケース12は10L/(m²・日)とした。11月はこの1/2の水量、12月～2月はこの1/4の水量で管理した。なお、肥料および刈込みは実施しなかった。

4. 結果と考察

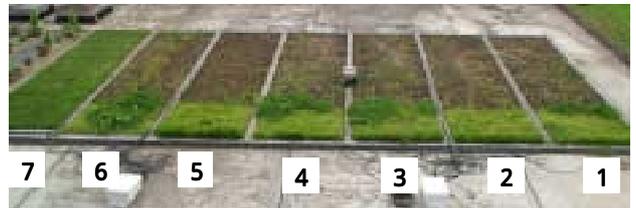
4.1 薄層緑化システムの特性

4.1.1 高気温時の土壌水分 高気温時の土壌水分を体積含水率で表し、給水部（導水パイプ）から4mの地点の測定値をFig.4に示す。基本型のケース3 導水シート+排水シート、ケース2 導水シート+保水材付き不織シート

Table.1 供試体の断面条件

Condition of Model

ケースNo.	試験区分	土壌層以下の断面に用いた資材					
		土固定		かんがい排水			スラブ保護
		土壌固定剤	立体ネット	導水パイプ	導水シート	排水シート	
1	対照区						
2	対照区						
3	基本システム						
4	基本システム						
5	対照区						
6	対照区			（多孔質チューブ）			
7	基本システム						
8	基本システム						
9	対照区						
10	基本システム						
11	対照区						
12	対照区						



薄層式



置換え式

Photo.2 試験体概観（2001年10月）

Image of Model

Table.2 機器計測 Measurement Items

測定	試験区分	ケース No.	条件	方式	測定間隔
土壌水分	薄層式	1,2,3,4,5,6,7	土壌内、深度2～3cm	TDR法	10分毎
	置換え式	8	ポット内、深度5cm	テンシオメータ法	10分毎
地温	薄層式	3,4	土壌内、深度1～2cm	熱電対温度計	10分毎
	置換え式	8,9	ポット内、深度5cm チップ状レンガ地盤内、深度1～2cm	熱電対温度計	10分毎
気温	百葉箱内		地上1m	バイメタル式	連続

ト、対照としてケース5 導水シートのみとを比較する。2001年7月27日～8月5日は、晴天日が続き土が乾燥しやすい状態であった。また、導水パイプから4mの地点は、エニシダを植栽し、発芽し生育していたが、個体が非常に小さいので、地面が露出している。太陽光が地表面に容易に達しているため、裸地の状態に近い状態であった。客土に利用した畑土（黒ぼく土）の植物の生育に適切な水分範囲は、自由水の吸引圧 pF 1.5～3.0（3～100kPa）の範囲に相当し、体積含水率で0.3～0.6 m^3/m^3 である⁷⁾。土は固相部分と間隙部分からなりたっていて、固相は鉱物や有機物などで構成されている。間隙部分には空気やガスの気相と土壤水分の液相が存在している。体積含水率は、土の間隙部分に占める水分の割合を示し、液相として土壤構造の特徴を量的に表す場合に利用する。

基本型のケース3は、0.3～0.5 m^3/m^3 で、植物が吸水できる状態である。これに対して、ケース5では、降水がないと急激に下がり、はじめて0.2 m^3/m^3 以下となり、土壌から吸水できない状態を示した。また、ケース2では、0.4 m^3/m^3 まで低下した。この時、観察によって、保水材付

き不織シートは湿っているが、上面の土は乾燥していることを確認した。つまり、保水材の力で水分を保持しているが、土は保水材から吸水できない状態となっていた。

以上のことから、導水シートは、排水シートを組合せる構造によって、土が乾燥しやすい条件で、土壌に適度に湿り気を帯びた水分を提供できることが分かった。

4.1.2 降水時の土壤水分 降水時の土壤水分を体積含水率で表し、導水パイプから4mの地点の測定値をFig.5に示す。2001年8月17日～8月27日は雷雨、台風、大雨があり、降水の合間に曇天が続く状態であった。

基本型のケース3は、0.3～0.6 m^3/m^3 を維持し、適度な水分状態を示した。台風時の8月21日～22日は一時的に0.7 m^3/m^3 を示したが、短時間で0.5 m^3/m^3 に低下した。これに対して、ケース5では、降水時に急激に高くなる。台風時に0.7～0.8 m^3/m^3 の飽和状態となり、土の空気が極めて少ない状態が長時間続いた。また、ケース2では、降水時に0.8 m^3/m^3 以上を示し、台風時に0.9 m^3/m^3 になった。なお、土の間隙量は約0.8 m^3/m^3 であることから、これを超えた分については、高分子吸水剤の影響を受けているためと考える。

以上のことから、導水シートと排水シートと組合せた構造は、降水中でも適度な水分状態を提供できることが分かった。

4.1.3 高気温時の地温 導水パイプから1m, 2.5m, 4m離れた地点の土壤の温度をFig.6に示す。地温は、最高値42で、最低値は24.5を示した。昼間と夜間の温度差は15以上あり、乾燥地のような激しい変動である。地温は気温より高く温度ストレスを受ける地盤であるが、コンクリートスラブ面より低い。

4.1.4 植物の生育 Photo.3に、基本型のケース3のウライシバの様子を示す。施工後5ヶ月の間に夏季を挟み、高温かつ乾燥する条件であったが、シバの被度は80%以上の水準で維持した。種から栽培した草本（クローバー、パズフットトレフォイル）と木本（エニシダ、ヤマハギ）も、順調に生長している。また、ケース7のケンタッキブルーグラスは、枯れることなく順調に生育し、美しい緑の芝地の状態を維持している。

4.2 置換えシステムの特性

4.2.1 高気温時の地温 ケース8 ブロック方式のポットの地温をFig.7、ケース9 チップ状レンガ地盤の地温をFig.8に示す。導水パイプから1m, 4m離れた地点の最高温度は、ケース8のポットで33、ケース9の地盤では33～35を示した。この地温は、気温よりやや高いが、薄層式に比べて低い。これより、置換え方式では、薄層式に比べて、熱負荷軽減の緩和にも役立つことが分かった。

また、ケース8のポットでは、測定地点による温度差はほとんどない。これは、ポットの土壤水分

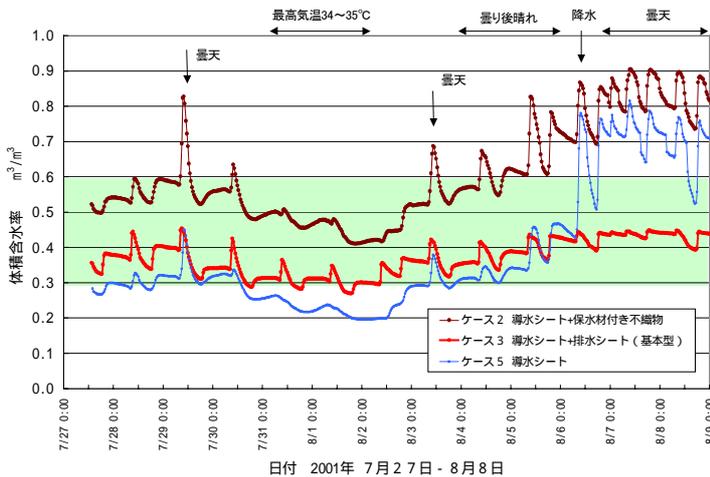


Fig.4 連続して晴天時が続いたときの土壤水分の経時変化
Soil Moisture on Dry Condition by TDR

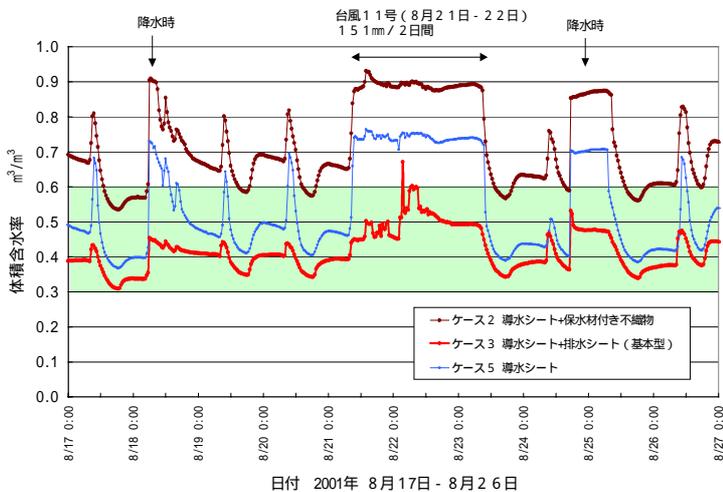


Fig.5 台風、雷雨が続いたときの土壤水分の経時変化
Soil Moisture on Wet Condition (Storm) by TDR

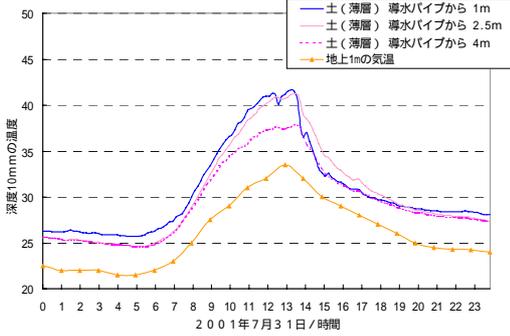


Fig.6 気温と薄層式の地温
Soil Temperature of Type of Soil Layer



Photo.4 チップ状レンガ方式
Image by Type of Brick Chip



Photo.5 右側：ブロック方式
Image by Type of Brick



Photo.3 薄層式の芝草の生育状態（2001年9月）
Condition of Turfgrass after Dry Season

がpF3以下の自由水を含む状態で管理できていたことから、導水シートによって、適当な水分がポットに供給されるためと判断した。

4.2.2 植物の栽培 チップ状レンガ方式をPhoto.4，ブロック方式をPhoto.5に例示する。Table.3に置換えポットの植物の生育結果を示す。

ブロック方式では、2001年4月、6月、9月の3回、ポットを置換えた。初回に栽培したクリサンセンマムは、4月～6月末まで開花し続けた。2回目に栽培したラベンダーは6月～9月まで開花した。そして、3回目に寄せ植え(混植)の材料に用いた所、その後も順調に生育し、冬季でも花を咲かせつづけている。3回目に栽培したアイビーとゴールドクレストは、順調に生育し、冬季でも美しい緑の葉を維持している。ポットは、紙製、プラスチック製、素焼きの陶器製を使用した。いずれのポット条件でも適切に給水できて、植物を栽培できることが分かった。

チップ状レンガ方式には、2001年6月からアイビーとゴールドクレストを中心に栽培し、夏～冬までその生育経過は順調である。緑の葉を楽しむ植物を利用することで、頻繁に置換えをしない低維持管理の栽培も可能であることが分かった。

5. まとめ

底面灌水方式を利用した緑化システムで水分特性や熱環境、栽培時の課題を検討するために、モデル試験体を

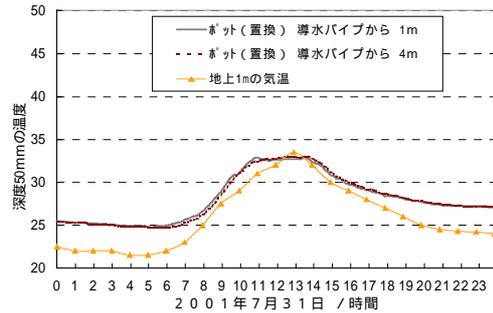


Fig.7 ブロック方式のポットの温度
Temperature of a Pot with Brick on 31 July
by Type of Pot Transplantation

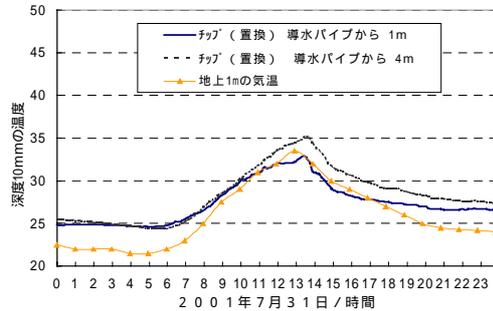


Fig.8 チップ状レンガ方式の地盤の温度
Temperature of Brick Chip on 31 July
by Type of Pot Transplantation

使用した実験を約1年間行った。次に結果を要約する。

- 1) 薄層緑化システムは、自然の土壌5cmの層厚で、コウライシバなど植物を栽培できる。
- 2) 当システムは、高気温で乾燥する条件でも、植物に適当な水分環境を維持できる。また、降水中の条件についても、土の間隙が飽和することなく、水溜まりが発生しないなど、良好な給排水性能を示した。
- 3) 当システムは、蒸散機能によりコンクリートスラブに比べ地温を下げる効果がある。揚水性の高いレンガなどを使う置換えシステムでは、地温が土の場合より低下して、気温と同程度を示す。

4) 置換えシステムでは、特殊な人工土壌を用いなくても、一般に購入できる園芸用のポットを利用して、植物を栽培できる。

以上より、植生に良好な生育環境を提供し、かつ屋上面の温度上昇を抑えることなどを確認した。

人工的な土壌では植生の永続性の点で課題があるとされ、多様な植物を栽培する場合には経験的に自然土壌の利用が適するといわれている。屋上緑化の分野で、自然土壌を使って軽量化できる緑化システムはほとんどなく、今回開発した底面灌水方式における薄層式で実現した土壌厚さ5cmの技術は、軽量化しつつ多様な植生を栽培する技術として非常に貴重である。

また、置換式で実施しているポット栽培では、特殊な植物や花を飾ることによる憩いの場の演出など、都市環境に必要な緑化環境を楽しく、かつ簡単に作ることが可能となる。

ところで、今回開発した緑化システムの成功は、1年程

度の試験の成果であり、楽しい緑化空間を実現するためには、新システムに適する植物種や栽培期間などの条件、長期間の耐久性など未知の課題がある。

今後は試験体による栽培観察を継続し、灌水メカニズムの解明を進めるとともに、実施例の調査を通じ、緑化システムを改良していきたい。

参考文献

- 1) 塩田, 喜田, 杉本: 軽量盛土による人工地盤上の緑化に関する研究, 日本緑化学会誌, 第17巻第4号, pp. 236~243, (1992)
- 2) 塩田, 杉本, 寺井: 屋上人工地盤緑地の造成技術, 建築の技術 施工 3月号, 彰国社, pp.98~101,(1995.3)
- 3) 三小田, 小宮, 他: 緑化による都市の熱環境改善に関する研究(その2), 大林組技術研究所報, No.50, (1995)
- 4) 三小田: 軽量盛土を用いた屋上芝生植栽の熱的緩和効果に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第2号, pp. 116~119, (1996)

- 5) 赤川, 小宮, 他: 湿潤舗装システム「打ち水ペーパー」の開発(その1), 大林組技術研究所報, No.58, (1999)
- 6) 杉本, 小宮, 他: 屋上緑化の技術の開発動向, Landscape & Greenery 2002, インタラクシオン・環境緑化新聞社, pp.50~52, (2001.11)
- 7) 杉本, 喜田, 他: 建設発生土の緑化利用に関する研究(その2), 大林組技術研究所報, No.50, (1995)

Tabel.3 置換えポットの植物の開花・生育期間
Flowering Time with a Pot

生育期間 (2001年)		開花期												ポット容量 L/個	ポットの材質														
仕様	植物名	栽培開始日	4月			5月			6月			7月				8月			9月			10月			11月			12月	
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
ブロック状材料	クササギ(白)	4/18	■																					0.6	紙ハルプ製				
	日々草(赤)	4/18	■																										
	アツム(白)	4/18	■																										
	ペチュニア	5/18				■																							
	サフィア	5/18				■																							
	ハッパツ 純一	6/25							■																				
	ランタナ	6/25							■			■			■			■			0.8	プラスチック製							
	ゲイトウ	6/25							■			■			■			■											
	ハッパツ	6/25							■												0.6	プラスチック製							
	マリゴ 赤	6/25							■																				
	マハダ	6/25							■			■			■			■			5	紙ハルプ製							
	ゴキウガ	6/29							■																				
	アヒメ	6/29							■			■			■			■			0.6	プラスチック製							
	ゴールドクレスト(寄せ植え1)	9/18										■			■			■											
	ランタナ(寄せ植え1)	9/18							■			■			■			■			5と10	紙ハルプ製							
	アヒメ(寄せ植え1)	9/18							■			■			■			■											
	センチュウ(寄せ植え2)	9/18										■			■			■			12	紙ハルプ製							
	ワイルドストロベリー(寄せ植え2)	9/18										■			■			■											
	クマハナ(寄せ植え2)	9/18										■			■			■			10	紙ハルプ製							
	タイム(寄せ植え2)	9/18										■			■			■											
ランタナ(寄せ植え3)	9/18										■			■			■			0.8	素焼陶器								
ブミヤ(寄せ植え3)	9/18										■			■			■												
クマハナ	9/18										■			■			■			0.8	素焼陶器								
リンドウ	9/18										■			■			■												
ペチュニア	9/18										■			■			■			0.8	素焼陶器								
ヒメ	10/26										■			■			■												
チップ状レンガ	アヒメ	6/29							■			■			■			■			0.3	紙ハルプ製							
	ゴールドクレスト(寄せ植えa)	6/29							■			■			■			■											
	アメリカブルー(寄せ植えa)	6/29							■			■			■			■											
	ブラッパリー	6/29							■			■			■			■											
	ワイルドストロベリー	7/2							■			■			■			■					0.8	プラスチック製					
ハッパツ	7/2							■			■			■			■												