

# 廃棄物利用による屋上緑化基盤材としての評価

日大生産工 ○高橋 岩仁 大木 宜章

## 1. 序文

都市化の進行に伴い、コンクリートやアスファルトなどの無機質系構造物が地表面に占める割合が高くなり、ヒートアイランド現象など熱環境へ与える問題が懸念されている。この対策として、緑化が注目されており、特に、わが国の都市部のように緑化可能面積が少ない地域では、屋上緑化は有効な手段である。現在、各企業や研究所で数多くの屋上緑化の施工事例が報告されており、また東京都の自然保護条例に代表されるように法の整備も進んでいる。しかし、屋上緑化の施工技術は確立されておらず、環境に配慮した新しい施工技術が望まれている。

本研究は、このような背景から上・下水汚泥、建設廃材などの廃棄物を有効利用した屋上緑化の施工技術の確立を目的とし、これらの廃棄物の配合比などを変化させ、従来行ってきた熱環境測定などから、屋上緑化基盤材としての有用性を評価した。

## 2. 実験条件および方法

### 2. 1 使用材料

写真-1に実験に使用した使用材料を示す。緑化基盤材は、コンポスト化した下水汚泥（以後、コンポスト）、上水汚泥（以後、上水）、炭を混合して用いた。

コンポストとは、衛生面、安全面、肥効性などを満足させるため、下水汚泥を好気性発酵処理したものであり、栄養価が非常に高く肥料として最適である。上水汚泥は、上水処理過程で発生する発生土であり、泥状のものを乾燥し、粒状化して利用した。コンポスト汚泥よりも養分が少ないが、長期的に見るとコンポスト汚泥の活性を促し、基盤材料の安定材となる。炭は、間伐材を原料とし、



コンポスト汚泥 上水汚泥 炭

写真-1 使用材料

表-1 材料の配合比

|                   | コンポスト | 上水 | 炭 |
|-------------------|-------|----|---|
| CASE1<br>(100mm厚) | 4     | 4  | 2 |
| CASE2<br>(100mm厚) | 4     | 2  | 4 |
| CASE3<br>(50mm厚)  | 5     | 0  | 5 |

形状は施工しやすいチップ状のものを使用した。構造的な特徴から植生に適した疎水性、保水性に富み、土壌含水率を維持できるといえる。

### 2. 2 施工方法

施工方法は、厚さ9mmの木材で作成した木枠に基板材料を混合させて100mm厚となるように入れ、その上にコウライシバ (*Zoysia tenuifolia*) を芝付けし、モデルボックス屋上面に設置した。また、木枠底部には水はけ用の孔 (φ10mm) を72個/m<sup>2</sup>開けた。

表-1に基板材料の配合比を示す。配合比は、CASE1では既存の法面緑化で最適であったコンポスト、上水、炭を4:4:2とし、CASE2では比重の大きい上水を減らした、4:2:4を、CASE3では予備実験の結果から生育が良好であった5:0:5とし、軽量化を図るべく50mm厚に抑えたものである。なお、CASE3ではモデルボックス自体からの伝導熱を抑制すべく、底部にキャスターを付けて底上げをした。

## Examination of Waste as Vegetation Basement Material for Rooftop Planting

Iwahito TAKAHASHI and Takaaki OHOKI

## 2. 3 実験方法および測定項目

写真-2に実験で使用したモデルボックスを示す。このモデルボックスの寸法は、外寸で横幅900mm、高さ1500mm、奥行き1800mmであり、屋上部分はコンクリート（熱伝導率： $1.6\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、比熱： $840\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、最大厚：140mm）を主体とし、壁面は断熱効果に優れたALCパネル（熱伝導率： $0.17\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、比熱： $1047\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、厚：50mm）を用いた。なお、骨組みには鋼材を使用し、屋上表面は1.5mmのFRP塗布防水加工を施した。

実験は校内にモデルボックスを2体設置し、緑化の有無による熱環境への影響を1時間置きに24時間連続で測定した。測定項目は、外気温・風速・風向・モデルボックス室内温度・長波および短波放射量の6項目とした。ここでは、夏期および冬期の測定で得られたモデルボックス内温度、長波および短波放射収支量を中心に検討を行った。なお、放射量の測定は $0.3\sim 3\mu\text{m}$ 域の短波放射量（可視光）と $5\sim 50\mu\text{m}$ 域の長波放射量（赤外放射）を下向きおよび上向き放射として測定することが可能な長短波放射計（英弘精機製）を用いた。



緑化有り

緑化無し

写真-2 モデルボックス



CASE1

CASE2

CASE3

写真-3 測定時の芝の状況（夏期）

## 3. 実験結果

### 3. 1 夏期実験結果

#### 3. 1. 1 測定基本条件（夏期）

写真-3に夏期測定時（施工2カ月後）における芝の状況を、表-2に測定日の外気温を示す。

写真より、CASE1が最も緑色が強く、また草丈も高いことが分かる。なお、測定は当日の気象条件を考慮し晴天日に行い、それぞれの日照時間は10.5から11時間であった。また、平均風速は1m/sを下回ったため考慮しないものとした。なお、各基盤材の含水率はCASE1で37%、CASE2は21%、CASE3では36%であった。

#### 3. 1. 2 室内温度（夏期）

図-1に各CASEにおける緑化有無の室内温度差（=無－有）を示す。

これより、CASE1、2は同様の傾向を示し、午前中は緑化有の室温が高く、午後の気温が上昇する時間帯は、緑化無が高くなった。これは、基盤材が断熱材となり、室内への伝熱を抑制したものといえる。なお、これら2つのCASEに生まれた差は

表-2 測定日の外気温（夏期）

|       | Ave.<br>(°C) | Max<br>(°C) | Min<br>(°C) |
|-------|--------------|-------------|-------------|
| CASE1 | 26.6         | 36.7        | 20.7        |
| CASE2 | 31.9         | 39.5        | 27.8        |
| CASE3 | 31.2         | 37.3        | 27.7        |

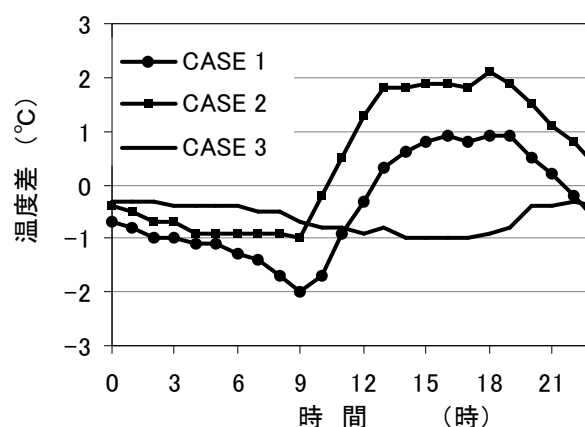


図-1 室内温度差（夏期）

測定日の気象条件，さらに初期含水率の相違によるものと考えられる。一方，CASE3は大きな変化は見られず，常に緑化有りの温度が高い結果となった。これは，緑化基盤とモデルボックスが接地していないため，熱が内部へ移動した結果と考えられる。

### 3. 1. 3 長波および短波放射収支量（夏期）

#### 《短波放射収支量》

短波放射収支量とは，下向き短波放射量から上向き短波放射量を引いた値である。

紙面の都合上，結果は載せていないが，緑化有無に関係なく，全ての屋上面においてアルベド（反射能）はほぼ同値を示し，短波放射による熱の影響は同等であった。

#### 《長波放射収支量》

図-2に各CASEにおける緑化有無の長波放射収支量差(=無－有)を示す。なお，長波放射収支量は下向きを正，上向きを負としているため，低ければ低いほど大気へ赤外線を放射していることを示している。また，このグラフは緑化無から緑化有の値を引いているため，値が低いほど緑化有の放射量が抑制されており，屋上緑化の観点からは良好であるといえる。

これより，CASE1, 2ともに日中に差が見られ，大気への熱放射の抑制が確認された。特に，CASE1の差が顕著であり，最大で110W/m<sup>2</sup>の差が生じた。これに対してCASE3はほとんど差が見られなかった。この各CASEの差は，測定日気象条件および初期含水率によるものと考えられる。したがって，夏期の熱環境緩和効果へ与える効果としてはCASE1が最適であるといえる。

### 3. 2 冬期実験結果

#### 3. 2. 1 測定日基本条件（冬期）

写真-4に測定時（施工6か月後）における芝の状況を，表-3に測定日の外気温を示す。

写真より，全体的に冬枯れを起こし，変色していることが分かる。草丈を見ると，CASE1が最も高く，また植生密度が高いといえる。また，CASE3は冬枯れが著しく，屋上緑化に適さないといえる。なお，測定は，夏期同様に当日の気象条件を考慮し晴天日に行い，それぞれの日照時間は約9時間であった。また，各基盤材の含水率

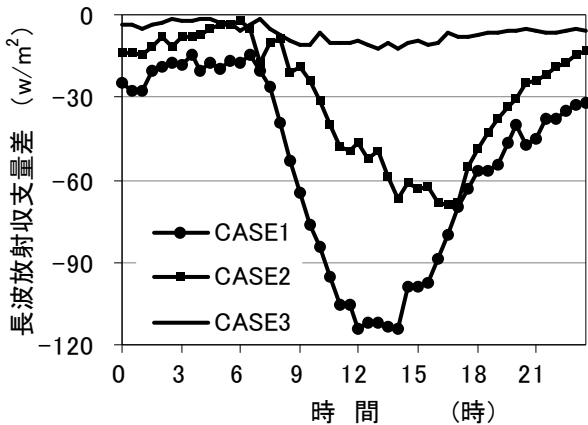


図-2 長波放射収支量差（夏期）



写真-4 測定時の芝の状況（冬期）

表-3 測定日の外気温（冬期）

|       | Ave.<br>(°C) | Max<br>(°C) | Min<br>(°C) |
|-------|--------------|-------------|-------------|
| CASE1 | 12.2         | 20.6        | 4.0         |
| CASE2 | 6.2          | 13.7        | 1.3         |
| CASE3 | 5.2          | 11.0        | 2.1         |

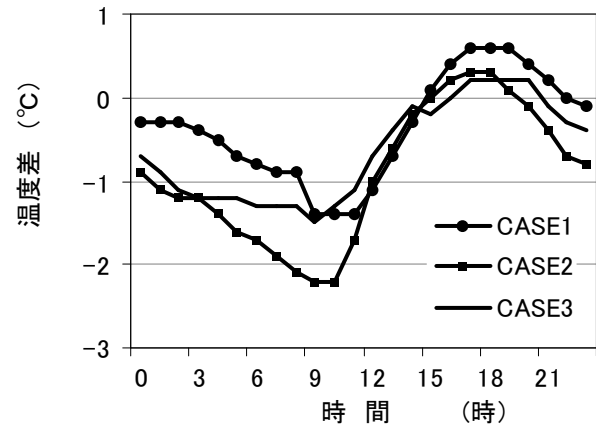


図-3 室内温度差（冬期）

はCASE1で57%, CASE2で57%, CASE3で60%となり, ほとんど相違は見られなかった。

### 3. 2. 2 室内温度 (冬期)

図-3に緑化有無の室内温度差(=無-有)を示す。

これより, 全体的に深夜から正午過ぎの気温が低い時間帯は, 緑化有が高い結果となり, 屋上緑化の保温効果が確認された。この中でも特に, CASE2の差が大きく, 9時で最大2℃以上の差を生じた。これは, 含水率も他のCASEとほとんど差がないことから, 測定日の気象条件の差によるものと考えられる。

### 3. 2. 3 長波および短波放射量 (冬期)

#### 《短波放射収支量》

短波放射収支量は, 夏期と異なり緑化面は芝が枯れたことにより, 表面が白黄色化していることから, 緑化有のアルベドが高くなり, 緑化有の短波放射量による蓄熱は, 若干ではあるが緑化無に比べ抑えられた。

#### 《長波放射収支量》

図-4に各CASEの緑化有無における長波放射収支量差(=無-有)を示す。

これより, 全CASEにおいて, 深夜から朝までの差は小さく, また緑化有の放射量が緑化無より高い時間帯もあった。これは, 気温低下により, 緑化無のコンクリート表面が著しく低下したためといえる。しかし, 9時過ぎから緑化無の放射量が高くなり, 冬期においても夏期同様に日中の緑化による大気への熱放射が抑制された。この中で特に, CASE2の差が大きく表れた理由としては, 測定日気象条件の差と考えられる。

## 4. まとめ

本研究では, 複数の廃棄物を屋上緑化基盤材として有効利用することを目的とし, その有用性を植生状態および熱環境の観点から評価し, 以下の知見を得た。

- 1) 夏期および冬期とも, 視的観測による植生はCASE1が最も良く, 草丈, 植生密度は高かった。また, CASE3は草丈が低く, 冬枯れも著しかったことから, この基盤材料では基盤厚50mmは屋上緑化に適さないといえる。
- 2) 緑化有は, 夏期に日中の室内温度の上昇を

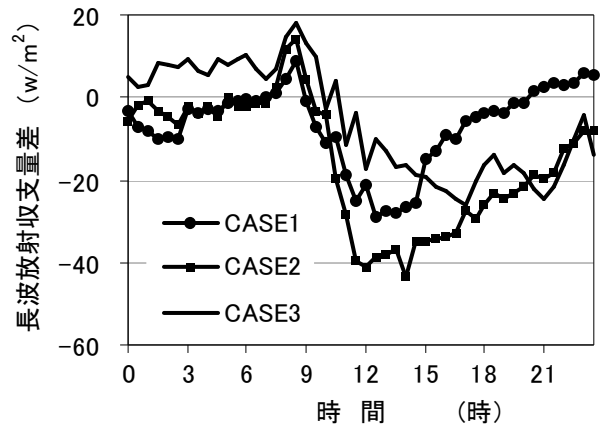


図-4 長波放射収支量差 (冬期)

抑え, 冬期に室内温度が高くなる結果となった。これより, 屋上緑化の気温が高い時期の断熱効果, 低い時期の保温効果が確認された。

- 3) 夏期のアルベドは, 全屋上面ともほぼ同様な値であったが, 冬期では, 緑化表面が白黄色化するため, 緑化有の方が高い値を示した。
- 4) 夏期の長波放射収支量は, 常に緑化無からの長波放射が高く, 屋上緑化による大気への熱放射を抑制できたといえる。特に, 初期含水率の高いCASE1の値が顕著であった。これは, 植生の蒸散作用により熱が使われたことに起因している。
- 5) 冬期の長波放射収支量においても, ほぼ緑化無からの放射であったが, 夏期と異なり緑化有の放射量が高い時間帯も見られた。これは, 気温低下により, 緑化無のコンクリート表面が著しく温度低下したためであるといえる。

以上の結果より, 屋上緑化による夏期の室内温度緩和効果, 冬期の室内保温効果が確認され, さらに, 大気への熱放射の抑制も図れた。なお, 今回の測定では, 芝の草丈が高く, 夏期における上向き長波放射の差が大きいことから, コンポスト, 上水, 炭が4:4:2の配合によるCASE1の結果が良好と考えられる。

今後, 植生状態を継続的に観測し, さらに配合比などを変化させ, 環境に配慮した屋上緑化の施工方法を確立する。