

廃棄物利用による屋上緑化基盤材の実用化に向けた検討

日大生産工 ○高橋 岩仁

1. はじめに

近年、地球温暖化や都市域でのヒートアイランド現象に起因する、気象変化、ゲリラ豪雨が大きな問題となっている。この原因として都市化による地表面の熱特性変化、つまり植物などの有機質系地表面からコンクリートやアスファルトなどの無機質系地表面への変化による高温化と蓄熱量の増加が挙げられる。現在、これらの対策として、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、屋上面や壁面に緑化スペースを設け、それぞれに適した施工法が推進されている。なお、新築構造物に対する屋上緑化の施工に関しては、初期段階から考慮して設計されているので積載荷重などに対する問題はないが、既存構造物に対しては、大幅な軽量化や灌水、排水の処理設備などが必要とされる。このため、人工軽量土壌などを用いて施工を行っているが、土壌や施工費などの初期投資額の負担などの問題がある。

一方、社会経済の発展に伴い、排出される廃棄物の発生量が毎年増大している。環境意識の高揚や処理・リサイクル技術の向上により、廃棄物の適正処理および減量化・再資源化技術など進歩しているが、廃棄物量の増大により、さらなる有効利用が求められている。

本研究は、廃棄物の有効利用を観点におき、複数の廃棄物を利用した屋上緑化基盤材の適応可能性について検討を行った。基盤材として用いた試料は、上水汚泥とコンポスト化した下水汚泥（以後、コンポスト汚泥と記す）を主原料とし、これに土壌改良材として木炭、木材チップ、スギ皮さらに軽石を配合した。なお、これらの廃棄物を用いた法面緑化工法については、既に報告（大沢ほか、1999；2003）されているが、制約の厳しい居住環境である屋上緑化への適応はまだされていない。そこで本報告では、土壌改良材などを変化させて、生育状態の視的観察、排水の水質、積載荷重、さらに対費用効果などから上水汚泥、コンポスト汚泥などの廃棄物を用いた屋上緑化における基盤材としての適応可能性、またその特性について検討を行った。

表1 上水汚泥およびコンポスト汚泥の物性データ

	上水汚泥	コンポスト汚泥
有機物量	40%～45%	60%～65%
含水率	35%～40%	25%～30%
窒素	0.5%未満	2%～2.3%
りん酸	0.4%	2%～2.5%
カリウム	1.5%	0.5%未満
pH	6.5～7.0	7.5～7.8
有姿重量	900g/L内外	350g/L内外

表2 配合比（体積比）

	上水汚泥	コンポスト汚泥	土壌改良材	
Case1	4	4	木炭	2
Case2	4	4	木材チップ	2
Case3	4	4	スギ皮	2
Case4	4	4	軽石	2

2. 実験条件および方法

2. 1 使用試料

今回、屋上緑化の基盤材として用いた試料は、廃棄物の有効利用を観点に置き、上水汚泥とコンポスト汚泥（下水汚泥）を主原料とし、それに土壌改良材として木炭、木材チップ、スギ皮および軽石を配合した。表1に上水汚泥およびコンポスト汚泥の物性データを示す。

上水汚泥とは、浄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たものである。コンポスト汚泥よりも有機物量が少なく、また窒素、リン酸も5分の1程度の含有であるが、長期的にみると初期状態での養分過多が起きず、植物の生育に合わせて、遅効的に養分供給ができ、基盤材の養分の安定性が保たれる。コンポスト汚泥とは、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。木炭は、建設廃材（道路工事などから排出される生の木材）および間伐材（主にスギ）を原料とし、900～1000℃の炉内で7時間炭

**Examination on the Practical Use of Basic Material
for Rooftop Planting with Wastes
Iwahito TAKAHASHI**

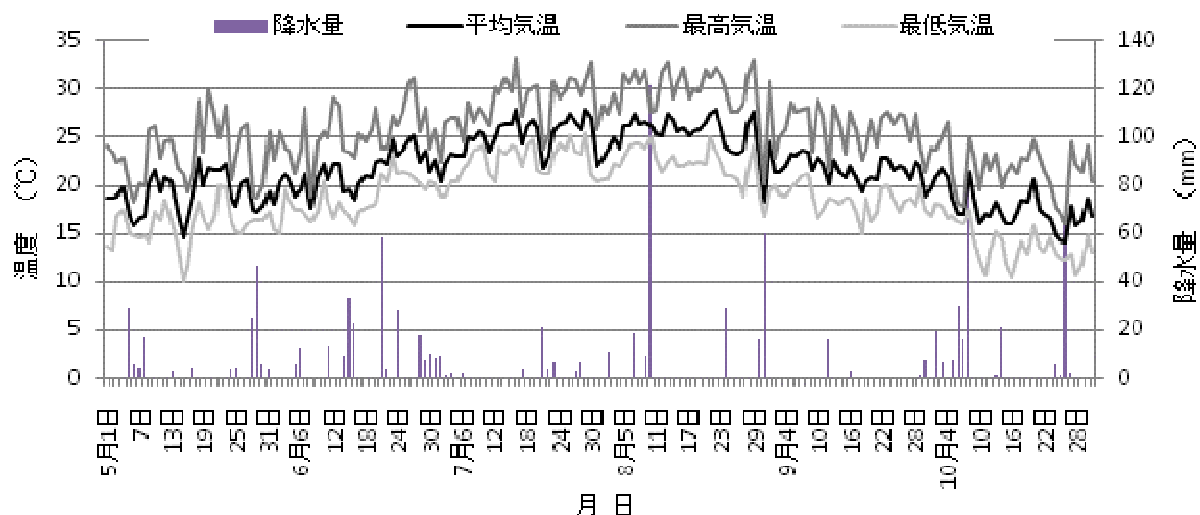


図1 実験現場周辺の気象状況（2009年5月1日～10月31日）

化させたものである。形状は施工しやすい顆粒状（粒径：1.5mm 以下）のものを使用した。構造的特徴から生育に適した保水性、排水性に富み、土壌含水率を維持できるといえる。木材チップは、上記の木炭を炭化させる前の状態（長さ：5mm 以下、太さ：1mm 以下）であり、繊維質で土壌のつなぎ材として期待できる。しかし、腐敗する際に土壌中の窒素を必要とするため、植物が窒素飢餓を起こす可能性がある。なお、建設廃材（建設発生木材）は建設廃棄物の中で、有効利用率68%と他のものと比較して低く、さらなる有効利用が求められている廃棄物である。スギ皮は、スギの木材としての利用の際に排出される廃棄物であり、綿状の繊維質であるため、木材チップとの効果を比較検討した。軽石は、火山から噴出された溶岩が急激に冷えて生成された多孔質な物質であり、これを粉砕（粒径：15mm 以下）して使用し、木炭との効果を比較検討した。

2. 1 基盤材配合比（体積比）

表2に今回検討した基盤材の配合比（体積比）を示す。

配合方法は、上水汚泥とコンポスト汚泥を4対4とし、それに土壌改良材として木炭、木材チップ、軽石、スギ皮をそれぞれ2割混入させた。なお、上水汚泥とコンポスト汚泥を4対4にした理由としては、既存の法面緑化で得られた最適配合比によるものである。また、全Caseに基盤材の飛散防止、雨滴衝撃による浸食防止、さらに基盤材相互の粘着力を高めることを目的とし、法面緑化工でもその効果が確認されているトビ粉を植物性粘着材として1m³当たり15kg混入した。なお、トビ粉とはコンニャク製造時に排出される純植物性の飛翔廃棄物であり、栄養価が高く、肥料効果も期待される。

2. 2 緑化方法

緑化方法は、2009年5月21日に9mm厚の木枠に100mm厚の基盤材を入れ、その上にコウライシバ（*Zoysia tenuifolia*）のソッドを張った。木枠の大きさは780mm×590mmとし、底部には水はけ用の孔（φ15mm）を72個/m²開け、さらに、水はけを良好にするために、コンクリート面と木枠設置部分の間にヤシ殻マットを敷いた。

なお、屋上緑化を行う際に、維持・管理が問題となる。本研究では、出来る限りメンテナンスフリーで行える基盤材を検討すべく、灌水は芝が根付き安定状態となる3週間は毎日散水したが、その後は降雨のみとし、また、施肥や刈り込みも行わなかった。

2. 3 実験項目および方法

実験は、各Caseの視的観測、降雨実験、降雨前後の土壌含水率、降雨実験後の水質測定、土壌重量の測定、さらに費用対効果について検討を行った。まず、視的観測は、季節変化に伴う生育状態を定期的に観測し、生育に適した土壌改良材を検討した。降雨実験は、基盤材上部から水を散水させ、基盤材透過後の水を100ml間隔で1000mlまで透過時間を計測した。なお、時間降雨量は集中豪雨を想定した80mm/hとし、積算散水量は5Lとした。土壌含水率は、基盤材から試料を採取し、110℃の恒温乾燥炉に入れ、一定質量になるまで乾燥させて（本実験では24時間）求めた。水質測定は、降雨実験後に透水した水の水質検査をpH（水素イオン濃度）、SS（浮遊物質質量）、濁度の項目で測定し、排水への影響を検討した。土壌重量の測定は、屋上緑化を施工する際に重要な総荷重を算出するため、芝生および木枠も含めて測定した。

3. 実験結果および検討

3. 1 視的観測による検討

図1に2009年5月1日から10月31日までの実験現場周辺の気象状況を示す。なお、写真は紙面の都合上、特徴ある日を選定した。

施工日（5月21日）の基盤材の状態はCase毎に特徴が見られた。まず、Case1は全体的に木炭の影響で黒みがかっており、Case3はスギ皮の影響で赤みを帯びていた。また、Case2、Case4はそれぞれ、表面に木材チップ、軽石が確認された。施工から約1カ月後では、各Caseとも良好な生育であり、差異は見られず、根付けもしっかりしていた。なお、草丈は全Caseとも平均して9cmであった。しかし、施工約2カ月後には、全Caseとも一部枯れたことを示す変色が見られた。これは、図1からも分かる通り、7月に入ってから降雨量が少なく、生育に必要な水分の不足によるものといえる。Caseごとに比較すると、Case1、3は黄色に留まっていたが、Case2、4は枯死状態といえる変色が目立ち、葉もやせ細っていた。さらに施工約3カ月後には、全Caseとも全面的に枯死状態といえる朽葉色となった。これは、この時期の猛暑と降雨量の不足によるものといえる。しかし、施工約4カ月後では、各CASEによって差がみられ、Case1、4は部分的ではあるが植生が回復したといえる緑色が表れ、Case2、3は全面的に枯れた状態となった。この状態は施工約5カ月後も同じであり、Case1、4は緑色の部分が増加した。このCase1、4の生育の回復は、図1からも気温低下によるものと考えられ、また、Case2、3では、生の木材などを土壤改良材として用いた場合、腐敗の際に窒素を消費し、窒素飢餓により葉が黄化するといわれており、今回もこの症状が両Caseとも表れたものと推測される。

以上、視的観測の結果から、灌水を降雨のみとした状態で全体を通して最も良好な生育が見られたのは、土壤改良材を木炭としたCase1であった。また、生の木材などは、土壤改良材としては不適であり、さらに最終的にCase4も生育が回復したことから、生育に必要な環境条件が整えば、Case4も良好に生育されるといえる。

3. 2 降雨実験による検討

降雨実験は前日までの降雨量などを考慮して行った。図2に透水時間測定結果、表3に実験前と実験1時間後の土壌含水率測定結果および降雨実験後の水質検査の結果を示す。

まず、透水時間測定結果を見ると、Case4の透水時間が他のCaseに比べ長く、1000mlにも達しなかった。これは表3の結果からもわかる通り、Case4の実験前

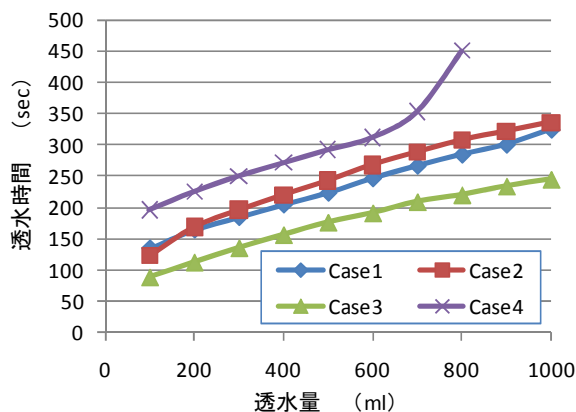


図2 透水時間測定（9月7日）

表3 降雨実験前後の土壌含水率および降雨実験後の水質検査

	土壌含水率		水質検査		
	実験前	実験後	pH	ss (mg/L)	濁度
Case1	37%	44%	7.0	18	11
Case2	34%	41%	7.0	18	10
Case3	35%	41%	7.2	17	10
Case4	23%	39%	7.1	15	10

の含水率が低く、乾燥した基盤が多量の水分を吸収したためといえる。また、実験後の含水率の結果も他のCaseに比べ低いことから、Case4は保水性が低いといえ、このことは視的観測の結果と一致する。Case1、2は同様な傾向を示し、300sec付近で1000ml透水された。Case3は透水時間がCase1、2に比べ短く、250secで1000ml透水した。これは、この時期のCase3の生育が最も悪く、根の持つ保水効果が少なかったものと推測される。

水質検査の結果は、まずpHの結果から見ると、全Caseとも7付近とほぼ中性を示した。これは、表1の上水汚泥とコンポスト汚泥の理化学分析値からも分かる通り、基盤材自体がほぼ中性を示しているためといえる。また、SSおよび濁度においても、ほとんど差がなかった。なお、環境省が定める一律排水基準の生活環境項目において、pHは5.8～8.6（海域以外、海域では5.0～9.0）、SSは200mg/L以下となっており、今回の結果は、十分この基準を満足している。しかし、SS、濁度の流出が最も多いのは、写真1における基盤材造成初期段階であると考えられるが、今回、その時点での測定は行っていない。今後、実際に施工するに当たって、初期状態から経時的に排水の水質を測定する必要がある。

3. 3 積載荷重による検討

積載荷重は屋上緑化を行う上で重要な項目である。特に、降雨時は水分を含み荷重が大きくなるため、ここでは、降雨実験直後の水分を十分に含んでいる総重量を測定し、積載荷重を算出した。

その結果、Case1から4の積載荷重はそれぞれ、58kgf/m²、55kgf/m²、50kgf/m²、70kgf/m²となった。最も荷重が高かったのは、土壌改良材に軽石を用いたCase4であり、他のCaseはほとんど差がなかった。なお、芝などによる平面的緑化では、上載荷重が100kgf/m²以下が望ましいといわれており、今回用いた基盤材はこの条件を満足しており、施工後、芝が生育した後でも積載荷重は問題ないといえる。

4. 費用対効果

実用化を図る上では費用対効果について考察する必要がある。そこで、本緑化基盤材を用いた屋上緑化に掛かる費用について概算的ではあるが検討を行った。なお、今回は生育状態が最も良好であった土壌改良材に木炭を用いたCase1について検討した。まず、コンポスト汚泥の原料である下水汚泥は廃棄物であり、当然のことながら、処理を行うのに費用がかかる。現在、焼却、熔融などで減量化して、埋立地の延命を図っているが、そこには莫大なお金が投資されている。また、セメント化や緑農地利用もされているが、その割合は67%（平成16年度：下水道協会調べ）に留まっている。本研究で用いたコンポスト汚泥は、資料提供頂いた会社の試算表によると、運搬費、人件費、脱臭設備またコンポスト化の燃料費などを換算して1m³当たり7500円程度で製造されている。これに処分収益を加味すると、むしろ800円程度のプラスとなる。上水汚泥は、浄水処理過程から排出された汚泥を特別な加工をせず用いているため、費用としては1m³当たり2000円程度である。木炭は、間伐材や建設廃材を用いているため、原価は掛らないが、これをチップ化、さらに炭化させるのに、1m³当たり14000円程度掛る。これらを今回の配合比で用いた場合、1m³当たり3600円程度となる。これに販売経費などを加味しても5000円程度と試算できる。現在、市販されている用土は1L当たり25円～150円と用途に合わせて幅広いが、1m³で換算すると安くても25000円、高いものだと15万円となる。また、施工費は、屋上表面の防水加工など必要となるが、排水の水質には問題がないことから、水処理設備は必要なく、また、出来る限り灌水は降雨のみと考えているため、散水設備も必要ないことから、初期設備費はほとんどかからないといえ、費用対効果はかなり高いといえる。

4. まとめ

本研究は、廃棄物を屋上緑化の基盤材として有効利用することを目的とし、土壌改良材などを変化させ、屋上緑化に適した基盤材の検討を行い、以下の知見を得た。

- 1) 施工約1カ月までは各Caseとも良好な生育が見られたが、夏季の猛暑と降雨量の低下により水分が不足し、施工約3カ月後には全Caseとも枯死している箇所が確認された。しかし、その後の降雨と気温低下により一部生育が回復した。また、観測期間を通して最も生育状態が良好であったのは、土壌改良材に木炭を用いたCase1であった。
- 2) 生の木材を土壌改良材として使用したCase2、Case3は窒素飢餓を起こしたと考えられ、生育の回復は見られなかった。
- 3) 降雨実験前の結果から、Case4の保水性は低いといえる。そのため、降雨実験では、乾燥した基盤が多く水分を吸収し、透水時間が他のCaseに比べ長く、最終的には1000mlに到達しなかった。
- 4) Case3の透水時間は他のCaseに比べ早く、これはこの時期Case3の生育が最も悪く、根の持つ保水性が低かったためといえる。
- 5) 降雨実験後の水質検査の結果から、全Caseとも排水の水質は問題ないといえる。
- 6) 各基盤材の降雨実験後の積載荷重は、Case4のみ70kgf/m²と高いが、他のCaseは50～58kgf/m²程度であり、平面的屋上緑化の条件としては問題ないといえる。
- 7) 廃棄物を基盤材として用いることにより、費用対効果は大きいといえる。

以上の結果より、廃棄物を用いた屋上緑化の基盤材としての有効利用の可能性を示した。特に、今回用いた土壌改良材の中では、木炭が良好であるといえる。しかし、施工直後の排水の水質検査、夏季の気温上昇や水分不足による枯死の問題など、考慮する点も挙げられ、今後、実用化に向けて、さらに長期的な観測や検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 大木高公・大木宜章・石田哲朗・高橋岩仁(2007) 複数の廃棄物を混合した緑化基盤材の施工事例から見た再資源化への取り組み、土と基礎、Vol. 55, No. 10, 17～19
- 2) 大沢吉範・大木宜章・石田哲朗・関根宏・保坂成司(2003) 現場試験による上水汚泥を用いたのり面緑化基盤材の実用化への検討、土木学会論文集, No. 734/ VII-27, 119～128