

人工地盤における堆肥の効果的な施用方法に関する研究

多島 秀司¹・深川 良一²

¹正会員 立命館大学研究生 (〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1)
gr019023@se.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学理工学部教授 (〒525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1)

都市部の公園から派生する伐採残滓からなるヤードウエイストコンポストを、需要の増加が見込まれる都市内の人工地盤に還元する方法について検討を行った。農地還元であれば、従来どおり経験則に基づく施肥で十分な効果が期待できるが、乾燥しやすい環境下にある都市内の人工地盤へ施肥する場合、従来の知見だけでは十分な改良効果を期待することはできない。著者らは乾燥の程度を調べた上で、含水比低下に伴う堆肥の影響について調査を行った。その結果、堆肥を乾燥させると、膨軟性が低下することが分かった。そのため、乾燥させた堆肥を敷き均して施肥した場合の効果について、主として降雨の貯留効果の観点から、実験的検討を行った。

Key Words : *compost, artificial soil, seepage of rain water, out-flow discharge*

1. はじめに

(1) 背景

近年、リサイクル法の施行などの影響により、伐採木材や伐採残滓をチップ化し、堆肥化する試みが増えている。同時に、都市部ではヒートアイランド緩和対策として緑化がすすめられているため、地盤改良材としての堆肥の要求も高まることが予想される。

堀江らは、堆肥の農地への利用の限界があることから、都市内での利用の必要性についてまとめている¹⁾。また、著者らもこれまでに、堆肥の膨軟性に関する検討や、運搬コストの削減およびストックヤードの確保などの観点から、堆肥の圧縮に関する技術開発などを行うとともに、人工地盤への適用に関する検討を行ってきた。

人工地盤の中でも屋上緑化は荷重に対する制限があることに加え、乾燥しやすい環境下にあることから、これらの特徴を踏まえた上で堆肥を施用する必要がある。

そこで、本研究では都市域の人工地盤への堆肥の適用に関する検討を、土壌水分量および降雨時の貯留高の観点から行った。

なお、本研究のデータの一部は第32回環境システム研究論文発表会講演集²⁾で示したデータを用いている。

(2) 研究の流れ

人工地盤へ堆肥を施肥することを目的として、以下の調査を行った。

①人工地盤と土壌水分②含水比と堆肥の膨軟性③堆肥の施用方法の検討④堆肥の蒸発抑制効果⑤堆肥の貯留効果、についてである。

実験的な研究を行った結果、⑤の降雨時における貯留効果に関する改善効果が高いことが分かった。

また、屋上緑化の効果の一つに雨水の流出抑制効果があげられていることなどから、特に⑤の貯留効果について詳しく述べる。実験の流れを図-1のフローに示す。

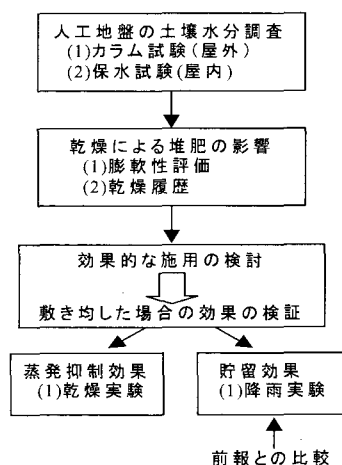


図-1 実験フロー

2. 人工地盤の特徴

(1) 実験目的

屋上緑化の場合、土壌層厚が10cm程度と薄いことから、土壌全体の水分量も少ない。そのため、植物の生育に必要な土壌水分量を維持して行くためには適切な土壌水分管理が必要となる。

また、自然の地盤と異なり、地下水からの供給がないことから、乾燥しやすい状態にある。

そこで、乾燥にともなう土壌水分の変化と、土壌水分の低下によって見込まれる植生への影響を検討するため、野外試験と室内試験を行った。

試験に用いた試料は関西圏の地表面を広く覆う、マサ土を用いた。本研究では滋賀県産のマサ土を使用し、以下の実験でも、マサ土を堆肥もしくはパーライトで改良した試料を用いた。

(2) 実験方法

a) カラム試験

2004年7月19日～24日に立命館大学びわこ草津キャンパス内の屋外で、人工地盤の地表面温度と土壌水分を調べる実験を行った。

直径20cmで、層厚10cmと20cmの2種類のカラムに熱電対を埋設し、屋外に静置し、温度および含水比の変化を測定した。含水比については7月24日、地表面温度の変化を計測後解体し、炉乾燥によって測定した。実験に用いた20cmカラムの略図を図-2に示す。

b) 保水性試験

夏期で実施した場合、乾燥に伴う含水比の低下が著しいため、テンシオメータによる測定領域を越えることが予想された。そこで、別途に保水性試験を行い、土壌水分特性曲線から野外に設置したカラムの水分状態と対応させ、水分恒数³⁾との比較を行なった。

土壌水分特性曲線を求めるための保水性試験はテンシオメータを用いて、体積含水率とサクシオン水頭との

関係を求め、(1)式に示すvan Genuchtenの式を用いてフィッティングを行なった。

$$S_e = \frac{1}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m} \quad (1)$$

(3) 結果と考察

a)の屋外試験の結果については、本研究と関連の深い、含水比変化の結果のみを示すものとする。

7月19日12時設置時点におけるカラム内のマサ土の含水比は、10cmカラム、20cmカラムともに、12%に調整した後、均質になるようカラムに詰め、解体するまでの1週間は真夏日が続き、5cm付近の含水比は4～5%にまで低下していることが図-3、図-4から確認できる。

この結果を保水性試験によって得られた土壌水分特性曲線に対応させ、pF値に対応する水分恒数との比較を行

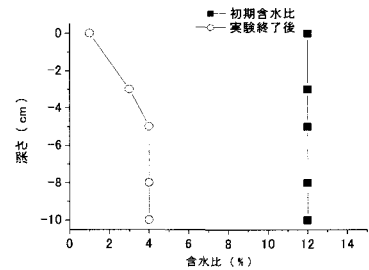


図-3 10cm カラムの含水比分布

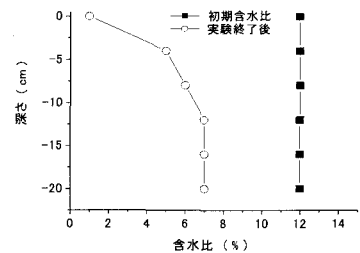


図-4 20cm カラムの含水比分布

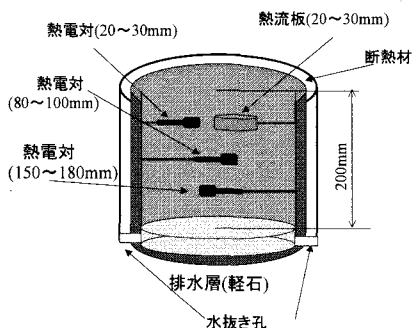


図-2 屋外に設置したカラムの概念図

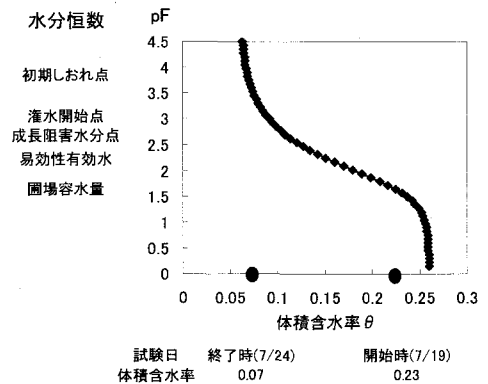


図-5 水分特性曲線と水分恒数

なった。図-5に示した体積含水率は屋上緑化などの低層の花壇を想定した10cmカラムの結果を体積含水率で示している。

7月19日に実験を開始したときの体積含水率は0.23で土壌水分特性曲線からそのときのpF値は1.5となる。pF値の1.5は水分恒数では圃場容水量に対応し、植物が水を吸収するのに容易な水分状態にあることを示している。

7月24日に実験を終了したときの体積含水率は0.07となり、そのときのpF値は3.6となる。灌水開始点を超え、初期しおれ点に近い値となり、植物の生育には適さない土壌水分量にまで低下していたことが分かる。

真夏日が続く環境下では、pF値が3.0より高くなることがあるため、灌水施設の設置や土壌改良などにより、保水性を高める必要があるものと考えられる。

3. 堆肥の膨軟性

人工地盤が乾燥しやすい環境にあり、植物の生育にとっては土壌水分が不足しやすい状況にあることを前章で、実験結果と水分恒数を比較することにより示した。

この章では乾燥による堆肥の影響について検討を行う。

堆肥は都市部の公園で発生した伐採残滓の利用を想定し、ヤードウエイストコンポストを用いた。堆肥は草津造園組合によるみどりんを試料として用いた。

(1) 堆肥の施用目的と施用方法

a) 施用目的

堆肥の施用目的として、窒素リンなどの栄養分の供給と、膨軟化による土壌物理性の改善効果、病害虫の抑制などが挙げられるが、通常は栄養分の供給と、土壌物理性の改善効果が主要な目的として挙げられる。特に人工地盤ではパーライトやバーミキュライトに代表される天然鉱物からなる無機系の改良材が用いられることが多く、植物の生育に適するよな改良が必要となることが多い。

b) 施用方法

施用方法については本研究では次の二通りの方法について検討する。①通常の農地のように土と混ぜて使用する方法、②敷き均しによる方法、である。

上記の2通りの施用方法について検討を行ったので、次章以下ではそれぞれの結果について考察を行う。

(2) 乾燥による膨軟化への影響

a) 膨軟性への影響

乾燥させた堆肥は質が低下する、ということが経験的に言われているが、定性的な議論が多く、定量的に示された例は少ない。特に、乾燥しやすい人工地盤においては乾燥に伴う膨軟性への影響を定量的に示す必要がある。

著者らは膨軟性の指標化に関する研究を行い、膨軟性が含水比に依存することを示した²⁾。本研究と関連の深い一部を抜粋して示す。

b) 実験方法

膨軟とは空気を多く含み、軟らかいことを言う。植生用の土が膨軟であれば、透水性にすぐれるだけでなく、適度な気相量が確保されるため、微生物が活性化しやすくなるとともに、根も張りやすくなる。

実験は土質試験で用いられる圧密試験機を用い、内径60mmのリングに25mm程度の高さで堆肥をつめ、作業時にかかる人の足の踏圧を目安とした78.5kN/m²の荷重を60分載荷し、堆肥の変位量について調査した。

なお、この実験では乾燥による影響を調べているため、試料は堆肥混合土ではなく、堆肥のみで調査している。実験方法の詳細については参考文献²⁾を参照されたい。

c) 結果と考察

図-6に、堆肥の含水比と、圧縮されることにより生じた変位量との関係を示す。含水比200%の堆肥で変位量が12mmとなっているのに対し、含水比30%まで乾燥させた堆肥では5mm程度しか変位していないことが分かる。変位量の多くは空気が抜けたことに起因するため、乾燥に伴い、膨軟性が低下していることが考えられる。

次に、この試料では210%がもっとも膨軟性に優れた含水比であると考えたことから、一度乾燥させた堆肥に水をふくませ、含水比を210%に調整した試料と、乾燥

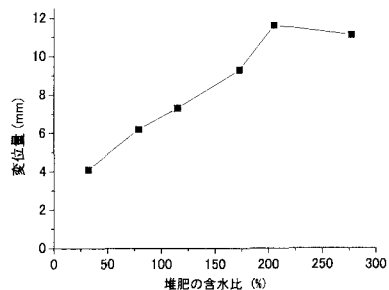


図-6 含水比と変位量との関係

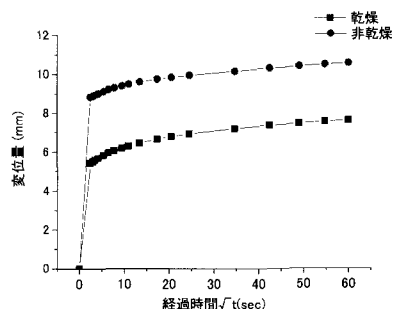


図-7 乾燥履歴による変位量の違い

させない試料との比較を図—7に示す。

図は圧密試験の結果の整理などで用いられる $\sqrt{t}$ 法によるもので、縦軸に変位量を横軸には載荷後の経過時間の平方根をとっている。

一度乾燥させ、含水比を10%程度にまで下げた試料に水を含ませ、再び210%にまでしても、変位量が低下している。この結果から乾燥履歴のある堆肥についても、膨軟性が低下していることが分かる。

また、一度乾燥させた試料の場合、圧縮させると搾り出される水の量が多かったことから、堆肥の保水性が低下しているものと考えられる。

4. 堆肥の施用方法に関する検討

これまでに人工地盤が乾燥しやすい状態にあること、また、乾燥した堆肥は膨軟性が低下することを示した。これらの特徴をふまえ、人工地盤への堆肥の施用方法について検討を行う。

(1) 栄養分の供給効果

栄養分の供給効果は混ぜて使用したほうが、根からの吸収が可能となるため、表面に敷き均すよりも効果が高いものと考えられる。乾燥による影響を調べるために、

(財) 林業科学技術振興所にCN比の分析を依頼したところ、乾燥していない堆肥が10.7%であったのに対し、乾燥させた堆肥は11.0%となった。堆肥を乾燥させてもCN比には大きな変化は見られなかったことから、乾燥しても栄養分の供給効果に関する影響は少ないものと考えられる。

(2) 混合して使用する場合の検討

前節(1)で示した結果から、堆肥を混合して人工地盤に施用した場合、栄養分の供給効果は期待できるが、膨軟性の改善効果が低下するため、中長期的には影響が生じるものと考えられる。

一度乾燥させて膨軟性が低下した堆肥は、降雨や植物の生長に伴う自重の増加や作業時の踏厚により、間隙が減少し、気相量が低下することが予想されるためである。

以上のことから、人工地盤へ堆肥を適用する場合は混合して使用するよりも、地表面に敷き均す方法が適するものと考えられる。

4. 敷き均した場合の改善効果

敷き均して使用することにより、土壤物理性の改善効果は期待できないが、以下に述べる効果が期待できる。

①栄養分の供給効果、②土壤の蒸発抑制効果、③降雨の

貯留効果である。この他、敷き均す場合は追肥しやすくなる。

人工地盤上で敷き均すと、乾燥し含水比低下が見込まれるため、以下の実験では実験室内で常温乾燥させ、含水比を10%程度にまで下げた試料を用いている。そのため、以下では特に断りの無い限り、堆肥は乾燥させた試料を表すものとする。

(1) 栄養分の供給効果

敷き均して使用する場合は植物の根が直接吸収することができないことから、混ぜて用いた場合ほどの効果や即効性は期待できない。

堆肥中の微生物による効果や、降雨によって栄養分が溶脱するなどの効果が期待できるが、その場合、即効性は期待できなくなる。

(2) 蒸発抑制効果

蒸発の防止を目的として堆肥を敷き均すことがある。マルチング材としての施肥であるが、ヒートアイランド緩和対策としては負の効果となる。そこで、どの程度の蒸発抑制効果が見込まれるのか、蒸発実験を行った。

a) 実験方法

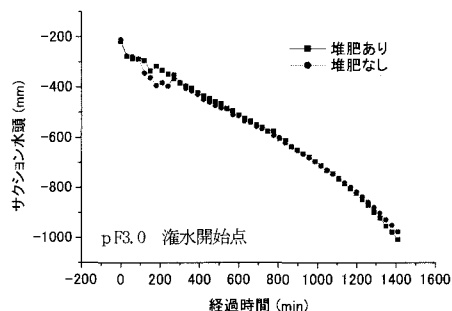
直径10cm、高さ12cmの円筒計のポットに含水比調整したマサ土を二つのポットに詰め、一方の表面には乾燥させた堆肥を10g敷き均し、一方には堆肥を敷かず、ハロゲンヒーターで表面が34度程度となるよう調整し、乾燥させた。乾燥密度はどちらも1.92である。

この試料の地表面から深さ5cmの位地にテンシオメーターを設置し、サクシヨン水頭の経時変化を測定した。

b) 結果と考察

実験はpF1.3～pF2.6までを目安に行った。図—8に結果を示す。pF値で1.6くらいまでは堆肥による蒸発抑制効果が確認できるが、それよりもpF値が高くなると、5cm付近のサクシヨン水頭はほぼ等しくなる。

この結果より、実際に人工地盤で施用した場合には、降雨直後で土壤水分量が多い時には効果が期待できるが、



図—8 堆肥の蒸発抑制効果

乾燥しpF値が1.6より高くなると、堆肥による蒸発抑制効果は低下するものと考えられる。

5. 堆肥の貯留効果

(1) 実験目的

これまでに堆肥の敷き均しによる栄養分の供給効果と、蒸発抑制効果に関する調査結果を述べた。

緑化用人工地盤の効果の一つに、降雨時の流出抑制効果があげられる。著者らはこれまでに主として屋上緑化を対象とした人工地盤の貯留効果に関する研究を行っている。

堆肥を敷き均して施用すると、窪地貯留だけでなく、堆肥の水分の吸収による貯留も期待できる。

著者らは前報⁹⁾において屋上緑化の貯留高とその評価方法に関する考察を述べた。その際、屋上緑化およびその検証実験に用いる土壌には適切な改良が必要であることを述べるとともに、期待できる貯留高を1~2mm程度とした。

この結果は都市の防災上、安全側から示した結果であり、王らの示した15mm⁹⁾に比べ低い値となっている。

そこで、本研究では堆肥の効果的な施肥を検討するにあたり、堆肥の施肥効果を過大に評価することを避けること、およびパーライトによる改良効果の検証を目的として、降雨実験を行った。

また、屋上緑化の場合、荷重に対する制限があるため、降雨による自重の増加についても把握する必要がある。そこで、堆肥による貯留効果を調べるにあたり、緑化基盤材として用いたパーライト改良土の雨水の貯留効果についてもあわせて検討を行う。

(2) 実験方法

前述のように、著者らが行った結果と王らの結果では貯留高が異なっている。この大きな原因として、王らが土が乾燥している状態で示した結果であるのに対し、著者らは圃場容水量を土の標準的な状態として設定したことにある。また、王らには芝があり、表面貯留が発生しやすい状態であったのに対し、端面処理によって表面貯留が発生しにくい状態にして実験を行っている。

また、緑化基盤材として使用したマサ土は礫質が多く含まれていたため、みずみちが形成され、貯留高が低下した可能性があるなど、貯留高が低く出やすい環境下で安全側の評価を行った。

本研究の場合、堆肥の施肥による貯留高の改善と、自重の増加量を調べることを目的としている。そのため、緑化基盤材の貯留高が通常の低層花壇よりも低いと、堆肥による改善効果を過大評価する可能性がある。

表-1 含水比の変化

試料	基盤材		堆肥	
	降雨前	降雨後	降雨前	降雨後
基盤材のみ	14	17		
堆肥44g施肥	15	18	9	130
堆肥80g施肥	15	18	9	127

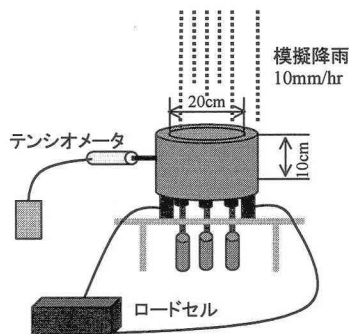


図-9 降雨時間概念図

そこで、緑化基盤材についても前報で示した値よりも高くなるよう、次のような変更を行った。

a) 緑化基盤材の調整

本研究では礫質の少ないシルト入りのマサ土にパーライトを2対1の割合で混入した試料で実験を行った。

含水比の初期状態は植物の生育に良好な水分状態がpF値で1.0~2.7であることから、pF値で1.5を目安に調整した。

なお、定水位透水試験を行い、マサ土が 4.2×10^3 、マサ土をパーライトで改良した改良土の透水係数は 4.9×10^3 である。

この試料を人工地盤を模擬し、排水層として軽石を2cm敷き詰めたカラムに、厚さ10cmで詰めた。カラムの底部は水が抜けやすくなるよう勾配をつけ、3箇所には水抜き穴を設置し、浸出水量を測定した。

b) 降雨実験

実験概要図を図-9に示す。㈱大起理化学工業製人工降雨装置DIK-6000を使用し、時間10mmの模擬降雨を3時間発生させ、質量変化とサクシオン水頭の変化を30秒間隔で計測した。降雨終了後、1時間静置したのち、解体し含水比を計測した。

実験は堆肥なし、堆肥44g、堆肥80gの3ケースで行った。

c) 貯留高の計算

貯留高の計算は降雨終了後1時間静置し、カラムを解体した際の含水比から得られるカラム内の水分量と、カラム作製時に調整した降雨前の含水比から得られる水分量との差から求めた。

含水比の測定位置は表面から1cm、5cm、9cmそれぞれ3ヶ所ずつ採取し、平均して求めた。

また、堆肥についても同様に降雨終了後、表面に残つ

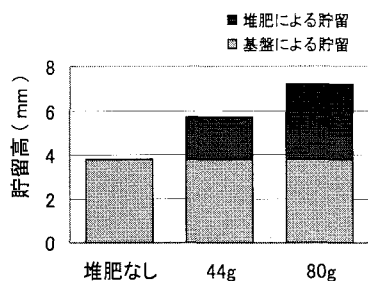


図-10 貯留高の比較

ている堆肥をスプーンで3箇所からすくいとり、含水比を測定した。

(3) 結果と考察

a) 貯留高の比較

含水比の変化を表-1に、その結果から計算された貯留高の比較を図-10に示す。

含水比については、9cmのところが高い傾向が見られたが、水平方向にはばらつきが少なく、水みちなどが形成されていなかったものと考えられる。

前報で示した結果などから考えると、人工地盤の貯留高は透水性が高く、かつ水みちなどによって水が抜けない、均質な砂質土の方が高いものと考えられる。

また、初期の含水比も前報では圃場揚水量を目安としたが、人工地盤が乾燥しやすいことから、pf2.1~2.3を目安に調整した。その結果、貯留高も高くなっている。

マサ土をパーライトで改良した緑化基盤材の貯留高は3.8mmとなり、前報の1.5mmに比べると高くなっているが、一般の浸透域の6mmや王らの結果に比べるとまだ低い。これは端面処理により、表面貯留が起りにくかったものと考えられる。次に、堆肥による貯留効果について検討してみる。

b) 堆肥による貯留効果

堆肥を表面に敷き均して施用した場合、蒸発抑制効果については確認できたものの、人工地盤のように乾燥しやすい状況下での高い効果は期待できない。

一方、降雨の貯留効果については44g施肥した場合で1.9mm、80g施肥した場合で3.4mmとなり、高い改良効果を示すことができた。44gは直径20cmのカラムに対し、直径18cmで薄くマサ土の表面が見えないくらいに敷き均した程度である。また、80gは直径18cmで、約1cm均等に盛り上がる程度である。

乾燥した堆肥を敷き均して用いたことにより、人工地盤の貯留高を一般の浸透域と同等にまで改良することができた。

c) 浸透特性

テンシオメーターにより、サククション水頭の変化を30

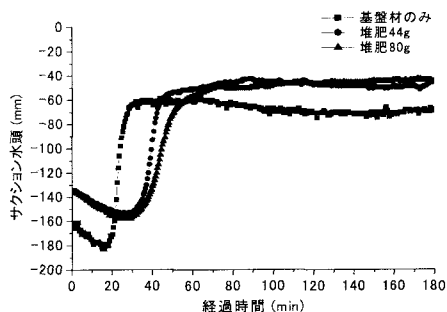


図-11 圧力水頭の変化

秒間隔で計測した結果を図-11に示す。

どの場合も、一度サククションが低下してから、上昇している。これは降雨が流下したことにより、テンシオメーターのポーラスカップとマサ土の改良土との粘着力が高まったためと考えられる。

その後は上昇に転じ、飽和に近付いた状態で一定値となる。

堆肥がない基盤材のみの場合は、やや含水比が低い状態で開始したにも関わらず、降雨開始後30分程度で一定になっている。

一方、堆肥を表面に施肥した場合、一定になるまでの時間が長くなっている。飽和に達するまでの時間が長くなり、降雨開始から流出が開始するまでの遅延効果を見込むことができる。また、堆肥がある場合、飽和付近で勾配に変化が見られる、パイリニアの傾向を示した。これは落ちてきた降雨を吸収するだけでなく、基盤材が飽和に近くなった状態で、降雨が浸透しにくくなった状態で、さらに吸収しているためと考えられる。

これらの結果から、堆肥による降雨の吸収により、人工地盤の貯留効果が高まっていることが確認できた。

また、薄く敷き均した場合と、厚く敷き均した場合を比較すると、降雨後の含水比が130%と127%であったことから、貯留高を高めるためには、多いほうが効果的であることがわかる。

荷重との関係に着目すると、薄く敷き均した場合でも、乾燥した状態では1.9mmの貯留効果が見込まれる。堆肥を一度乾燥させて水を含ませるなどして、含水比の変化を調べることで、見込まれる荷重の増分の目安が得られる。

d) 人工地盤への施肥

貯留高の改善効果に着目すると、一度乾燥させてしまった堆肥でも、敷き均して施肥することで、高い改良効果が期待できる。ただし、乾燥した堆肥は風雨によって飛散しやすいため、風に対する注意は必要である。

また、一度乾燥させた堆肥に水を含ませると、保水力が低下する。この性質から、蒸発によるヒートアイランド緩和効果や降雨終了後の緑化基盤材への水分の供給効

果などの副次的な効果も期待できる。

6. 結 論

人工地盤への堆肥の施用方法について、実験的な検討を行ってきた。

堆肥の施用方法に関しては圃場で施用されてきた経験則に基づき、定性的な議論が多かったように思える。しかしながら人工地盤は乾燥しやすく、また、荷重制限がある場合もあることから、定量的に効果を検証する必要がある。

人工地盤への施用効果に関し、得られた知見を以下にまとめる。

- ① 人工地盤は乾燥しやすく、夏期ではpF値が3.0を超える状態が生じやすい。そのため、漏水設備を設けるか、土壌改良などにより保水性および貯留効果を高める必要がある。
- ② 含水比の異なる堆肥に、踏圧程度の荷重をかけると、含水比の低い堆肥は変位量が少なくなる。この結果は乾燥させた堆肥は膨軟性が低下していることを示している。そのため、乾燥しやすい人工地盤で堆肥を施用する場合は、土壌物理性の改善効果の低下が見込まれる。
- ③ 堆肥を敷き均して使用する場合は、混ぜた場合ほどの土壌物理性の改善効果や、栄養分の供給効果は期待できないが、乾燥しやすい人工地盤には適した方法である。
- ④ 乾燥させた堆肥を敷き均して施肥することにより、2mm程度の貯留高の増加が見込まれる。

おわりに

堆肥の需要供給バランスと、屋上緑化などの人工地盤の普及などを考慮すると、堆肥の人工地盤への施用割合は高まるものと考えられる。リサイクルの促進などで堆肥化技術が高まり、供給量が増える一方、施用に関する研究は少ない。今後は効果的な施用方法や堆肥の需要などに関する研究も必要なものと思われる。

謝辞：本研究をすすめるにあたり、山梨大学金子栄廣先生のご助言を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 堀江典子, 萩原清子：有機性廃棄物の循環からみた都市内緑地のあり方に関する考察, 環境システム研究論文集, Vol.32, pp.101-109, 2004.
- 2) 多島秀司, 深川良一, 鳥崎麻衣：物理性に着目した堆肥の新指標に関する基礎的検討, 第32回環境システム研究論文発表会講演集, pp.577-584, 2004.
- 3) 藤原俊六郎, 安西徹郎, 小川吉雄, 加藤哲郎：土壌肥料用語事典, p56, 農文協, 2002.
- 4) 多島秀司, 深川良一, 荻原奈緒子, 湯浅まゆ：屋上緑化の雨水流出抑制効果とその評価に関する基礎的研究, 環境システム研究論文集, Vol.32, pp.173-182, 2004.
- 5) 王革, 梅干野晃, 何江, 堀口剛：屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験研究, 日本建築学会大会学術梗概集, pp.1527-1528, 1993.

Method of Using Compost for an Artificial Soil

Shuji TAJIMA, Ryuichi FUKAGAWA

An artificial soil is usually found in a dry state. The use of the artificial soil for paving and expanding over the artificial ground is much effective in the sense that the physical effect of improved soil in such situation decreases when compost dries. Authors have conducted the laboratory experiments on such effects, considering the compost was paved and expanded. As a result, the high influence was observed on the out-flow discharge.