



壁面緑化のための建築物緑化用培土を対象とした 保水性の測定による間隙径分布の評価

浅井俊光¹・藤川智紀¹・藤田茂²・牧隆³・森井浩之⁴・白井寛之⁴・金子貴徳¹

Assessing the pore size distribution of architectural greening soils and materials
for wall greening based on their physical properties

Toshimitsu ASAI¹, Tomonori FUJIKAWA¹, Shigeru FUJITA², Takashi MAKI³, Hiroyuki MORII⁴, Hiroyuki SHIRAI⁴
and Takanori KANEKO¹

1. はじめに

Abstract: Artificial lightweight and porous materials (i.e., architectural greening soils and materials) are often used in the rooftops and wall greening of buildings. It is important for the designers of the system to understand the physical properties of architectural greening soils and materials to save the amount of water and fertilizer used, which directly affects maintenance costs. The aims of this study were to assess the pore size distribution of architectural greening soils and materials for wall greening based on their physical properties. According to water retention measurements, rapid drainage will occur at particular matric potentials for certain architectural greening soils and materials. The pore size distributions of architectural greening soils and materials estimated from water retention curves suggested that the architectural greening soils and materials used in this study can be classified into two groups: (i) materials that include only relatively large pores with diameters from 0.001 to 0.01 cm, (ii) materials also include relatively small pores with diameters from 0.0002 to 0.001 cm. The classification of architectural greening soils and materials by pore size distribution could be affected by their manufacturing processes. The values of saturated hydraulic conductivity of the materials ranged from 10^0 to 10^{-2} cm s^{-1} . Furthermore, hydraulic conductivity tended to increase with total porosity of the architectural greening soils and materials except that whose pores were made by forming.

Key Words : artificial lightweight and porous materials, water retention, saturated hydraulic conductivity, pore size

都市におけるヒートアイランド現象の緩和や美しく潤いのある都市空間の形成、都市の低炭素化等の観点から、建物の屋上や壁面などを利用した緑化の取り組みが全国的に進められている(国土交通省, 2021)。これら屋上や壁面などの緑化は建築物緑化とも呼ばれ、都市部の環境改善効果の他にも建築物に対する効果、利用者への間接的効果、あるいは経済的効果なども着目されるようになり、年々施工事例が増えている(屋上開発研究会, 2014a)。

建築物緑化、特に屋上緑化の実施に当たっては、積載荷重や風荷重についての制約が大きく、排水・防水面においても建築構造物への影響がないように配慮する必要がある。このため、植物生育に必須となる土壌については、建築物密度の大きな土壌の代替として、専用に開発された多孔質で軽量の資材が用いられている(屋上開発研究会, 2014b)。建築物緑化に用いられる土壌の代替資材(以下、建築物緑化培土)には軽量であることも求められる一方で、植物体の支持の能力、さらに温度変化や日射、利用者による踏圧への耐久性や施工性の高さが求められる。さらに風食による周辺への飛散を最小限に抑えることも求められる。建築物の負担を考慮すると、降雨後速やかに屋上の水を排除するために建築物緑化培土に高い透水性や排水性が要求とされるが、灌水量や施肥量を削減する観点からは、植物にとって利用可能なポテンシャル領域での保水性や保肥性を併せ持つことが求められる。

建築物緑化の中でも、屋上緑化に用いられる建築物緑化培土については、前述の通り高い透水性、排水性、保水性、保肥性を有するだけでなく、さらに植栽環境に合わせ特定の性能を高めたもの、敢えて低く設定したものなどが開発されている。このように開発された屋上緑化用の建築物緑化培土については、性能や材料・用途によって、「自然土壌(黒土、真砂土、山砂、荒木田土など)、改

¹Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan. Corresponding author. 藤川智紀, 東京農業大学
²Ryokuka Giken Co., Ltd., 1-52-6 Oi, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0014, Japan.
³Daito Techno Green Inc., 1-2-3 Haramachida, Machida-shi, Tokyo 194-0013, Japan.
⁴Suntory Holdings Ltd., 2-3-3, Daiba, Minato-ku, Tokyo 135-8631, Japan.
2022年12月5日受稿 2023年6月15日受理

良土壌（黒土・真砂土とパーライトの混合土壌）、無機質系（真珠岩系パーライト、火山岩系混合土、気泡コンクリート系混合土壌、クリンカーアッシュ系混合土など）、有機質系（食物残渣系混合土、ココピート系土壌、ピートモス系土壌など）、底面灌水用（発泡煉石、ロックウール、化学繊維など）に類型化」（藤田, 2012）がなされている。

しかし、壁面緑化、特に壁面基盤型の壁面緑化については、屋上緑化に使用されてきた人工軽量培土のみではなく、繊維系や岩石系、多孔質の固化培土など、これまでの人工軽量培土とは大きく異なる原材料・製法で作成された建築物緑化培土の使用事例が急増している。壁面緑化工法の分類や登はん補助資材などについては、詳細な類型化がなされているものの、これらの壁面基盤型壁面緑化に用いられる建築物緑化培土について、同一の方法で複数の種類の建築物緑化培土の保水性や透水性の測定をおこない比較した例は極めて少ないため、これらの物理性と製法との関係に関する情報が不十分であり、類型化にも至っていない。

植物の生育と支持体の透水性や保水性の関係については古くより土壌物理学分野で研究されており（土壌物理研究会編, 1979）、土壌の透水性や保水性が土壌間隙に強く影響を受け、間隙の量を表す間隙率との関数となることが知られている（Whalley et al., 2012）。建築物緑化培土も土壌同様に間隙の大きさや量が透水性や保水性に強い影響を与えると予想されるが、建築物緑化培土内部の間隙は発泡や繊維の工業的な組み合わせなどによって作り出されるため、土粒子によって形成される土壌間隙とは大きさや形状、連続性などが異なる。建築物緑化培土の間隙径分布や間隙構造が保水性や透水性にどのような影響を与えるかを解明することができれば、より管理のコストや環境負荷の小さい建築物緑化培土を開発することが可能になる。

また透水性や保水性に代表される土壌物理性の測定法についても研究の歴史は古く、多くの物理性の測定法が確立されている（例えば、土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983）。しかし、建築物緑化培土の種類によっては、その形状や間隙特性によって現存の測定法により正確に物理性が測定できない可能性があり、測定のための試料の成型や測定法適用の検証が必要である。

そこで本研究は、壁面基盤型の緑化に用いられている複数の建築物緑化培土を対象として、土壌物理学分野で採用されている保水性の測定を適用し、製法の違いによる保水性及び間隙径分布に代表される間隙特性の違いを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 試料

本研究では建築物緑化培土を製法から大きく分けて分類① 間隙・多孔質系、分類② Si・岩石系、分類③ 石油・

多層系、分類④ 人工軽量培土の 4 種類に分類した。それぞれの分類から代表的な建築物緑化培土として、分類①のウレタン系樹脂を発泡させた固化培土（資材 A）および汚泥を原料とするセラミック系培土（資材 B）、分類②のロックウール（資材 C）、分類③のポリエステル繊維を成形した繊維マット（資材 D）、分類④の人工軽量培土とポリエステル繊維を混合成型した固化培土（資材 E）および屋上・壁面緑化で使用可能な粒状の人工軽量培土（資材 F）の 6 種類を選び、さらに対照試料として川砂（埼玉県大里郡産）（資材 G）の計 7 種類の資材を準備した。

各建築物緑化培土については、現場での使用方法に合わせ、測定用の試料を作成した。資材 A は業者によって 100 cm³ 定積コアサンプラー（内径 5.0 cm, 高さ 5.1 cm 以下、サンプラー）内に発泡剤の含まれた原料が充填され、サンプラー内で発泡、膨張することで製造された。資材 B は固く、サンプラーに隙間なく収まる形に成形することができなかったため、販売されている円柱型（直径 5.1 cm, 高さ 3.0 cm）の試料をサンプラーに充填せずに測定に供した。資材 C, D, E は市販されている板状の建築物緑化培土を刃物を用いてサンプラー断面と同じ形状に切り抜き、サンプラーの壁と試料の間隙ができないようにサンプラー内に充填した。資材 F は粒状（最大粒径 1.0 cm, D₅₀ 0.30 cm）であり、コンテナ型、受け皿ポケット型等に充填することで壁面緑化に使用されていることから、サンプラーに少量ずつ資材 F を入れて細い棒などで粒子を破壊しないように注意しながら突き固めることを繰り返し、現場での施工同様できるだけ最密となる様に充填した。それぞれの試料の特徴及び固相に関する物性値を Table 1 に示す。

2.2 測定

建築物緑化培土の保水性の指標として水分特性を測定した。土壌物理研究会編（1979）、宮崎・西村（2011）を参考に、水を 2～3 cm の深さに張ったバットに試料を浸し、その後徐々に水位を上げながら下方から 24 時間以上飽和した後、マトリックポテンシャルが 0.74, 1.7, 2.6 kPa（pF 0.88, 1.2, 1.4 に相当）の時の水分量を砂柱法で、3.9, 6.2, 9.8, 25, 62 kPa（pF 1.6, 1.8, 2.0, 2.4, 2.8）の時の水分量を多容量土壌 pF 測定器（DIK-3424, 大起理化学工業）による加圧板法で調整し、それぞれのポテンシャルで平衡に達した試料の質量を測定した。測定された試料の質量と全ての測定が終わった後に炉乾して測定した試料の質量の差から、各ポテンシャルにおける試料の水分量を算出し、水の密度および試料体積で除することで体積含水率を求めた。なお、資材 A および D については、加圧板法におけるいくつかのポテンシャルでの水分調整の前後で、試料に収縮が観察された。飽和時の初期の試料高さに対する低下高さの割合で求めた収縮率は、加圧板法終了時点でそれぞれ 8～12%（資材 A）および 14～18%（資材 D）であった。測定値にばらつきが見られた資材 A は 6 試料、その他の資材は 3 試

Table 1 建築物緑化培土の基本特性.
Properties of solid phase of architectural greening soils and materials.

資材名	分類	原料・製法	乾燥密度 (Mg m^{-3})	固相率 ¹⁾ (%)	資材密度 ²⁾ (Mg m^{-3})
資材 A	① 空隙・多孔質系	有機系資材を混入した ウレタン系樹脂を発泡	0.0935	4.1	2.3
資材 B	① 空隙・多孔質系	汚泥を成型し高温焼成	0.8896	30.5	2.92
資材 C	② Si・岩石系	ロックウール	0.0812	0.4	20 ³⁾
資材 D	③ 石油・多層系	ポリエステル繊維を成形	0.0646	2.9	2.3
資材 E	④ 人工軽量培土 (固化)	ピートモス・パーライト 系の人工軽量培土とポリ エステル繊維を混合成型	0.2390	11.5	2.09
資材 F	④ 人工軽量培土 (粒状)	火山灰土系人工軽量培土	0.4857	18.1	2.68
資材 G	比較試料 (川砂)	-	1.5001	55.5	2.72

1): 炉乾時の実容積から計算 15% 以下は実容積計の測定範囲を外れるため参考値

機器の出力が小数第一位のため、資材 A、資材 D の有効数字は 2 桁、資材 C は 1 桁

2): 炉乾時の試料質量を実容積の値で除して算出 3): いくつかのカタログ値では $2.5 \sim 3.0 \text{ Mg m}^{-3}$

料を測定に供した。また、固相率および保水性測定時の各ポテンシャルにおける体積含水率の確認のために、マトリックポテンシャルが 2.6, 6.2, 9.8, 62 kPa および炉乾後の試料の実容積を実容積計 (DIK-1150, 大起理化工業製) で測定した。実容積計では、サンプラーに充填した試料に対して、サンプラー内に含まれる固相と液相を合わせた部分の体積を測定して、サンプラー容積に対する割合を算出する。資材 B についてはサンプラーに充填されていないため、試料体積を測定して実容積を補正した。実容積計の測定範囲は校正作業をおこなう 30 ~ 80 % であるが、予備試験においても 15 % を下回る試料では測定精度が下がることが確認された。本研究についても 15 % 以下の実容積については参考値として扱うこととする。

建築物緑化培土の透水性の指標として、飽和透水係数を宮崎・西村 (2011) を参考に変水位法で測定した。変水位透水性ユニット (DIK-4051, 大起理化工業) を用いて、各試料につき 3 回測定し、水位変化に掛かる時間の平均値を求めた。なお、透水性が高く、変水位透水性ユニットに付属のスタンドパイプ (内径 0.65 cm) では給水が追いつかなかった資材 C, D, E については、内径の大きなスタンドパイプ (内径 5.0 cm) に変更して測定を行った。サンプラーに充填できなかった資材 B については測定をおこなわなかった。飽和透水係数の測定に用いた試料と水分特性の測定に用いた試料は同じであるが、資材 A については試料管理の都合で 6 試料から 3 試料のみ測定に供した。飽和透水係数の測定は、水分特性の測定の前実施した。

全ての実験は、空調により温度のみ約 20°C に管理された実験室内で実施した。実験期間は 2019 年 3 月 ~ 5 月である。

3. 結果および考察

3.1 建築物緑化培土の水分特性

砂柱法および加圧板法で得られた各試料の水分特性曲線を Fig. 1 に示す。なお、それぞれのグラフのマトリックポテンシャルが飽和時の体積含水率には、乾燥時の実容積 (固相率) を 100 から引いた飽和体積含水率の値を記入している。なお、資材 G は作業の不備により試料がこぼれたため、体積含水率を求めることができた 2 試料の測定値のみを記載している。

分類①の資材 A, B および分類②の資材 C, 分類③の資材 D, 対照試料の資材 G の水分特性曲線からは特定のマトリックポテンシャル (資材 A : 0.74 ~ 2.6 kPa, 資材 B : 0.74 kPa 以下, 資材 C : 0.74 ~ 1.7 kPa, 資材 D : 0.74 kPa 以下, 資材 G : 1.7 ~ 2.6 kPa) における体積含水率の急激な低下が確認された。分類④人工軽量培土の資材 E, F に関しては資材 F の 0.3 kPa 前後で他のポテンシャルに比べて体積含水率の大きな低下がみられたが、どちらの建築物緑化培土についても幅広い範囲で体積含水率の低下が生じていた。

試料間のばらつきに関して、ほとんどの建築物緑化培土で同一のマトリックポテンシャルに対して測定された体積含水率は近い値を示したのに対して、資材 A は 6 試料中 2 試料 (図中 Δ および \circ) の体積含水率が他の 4

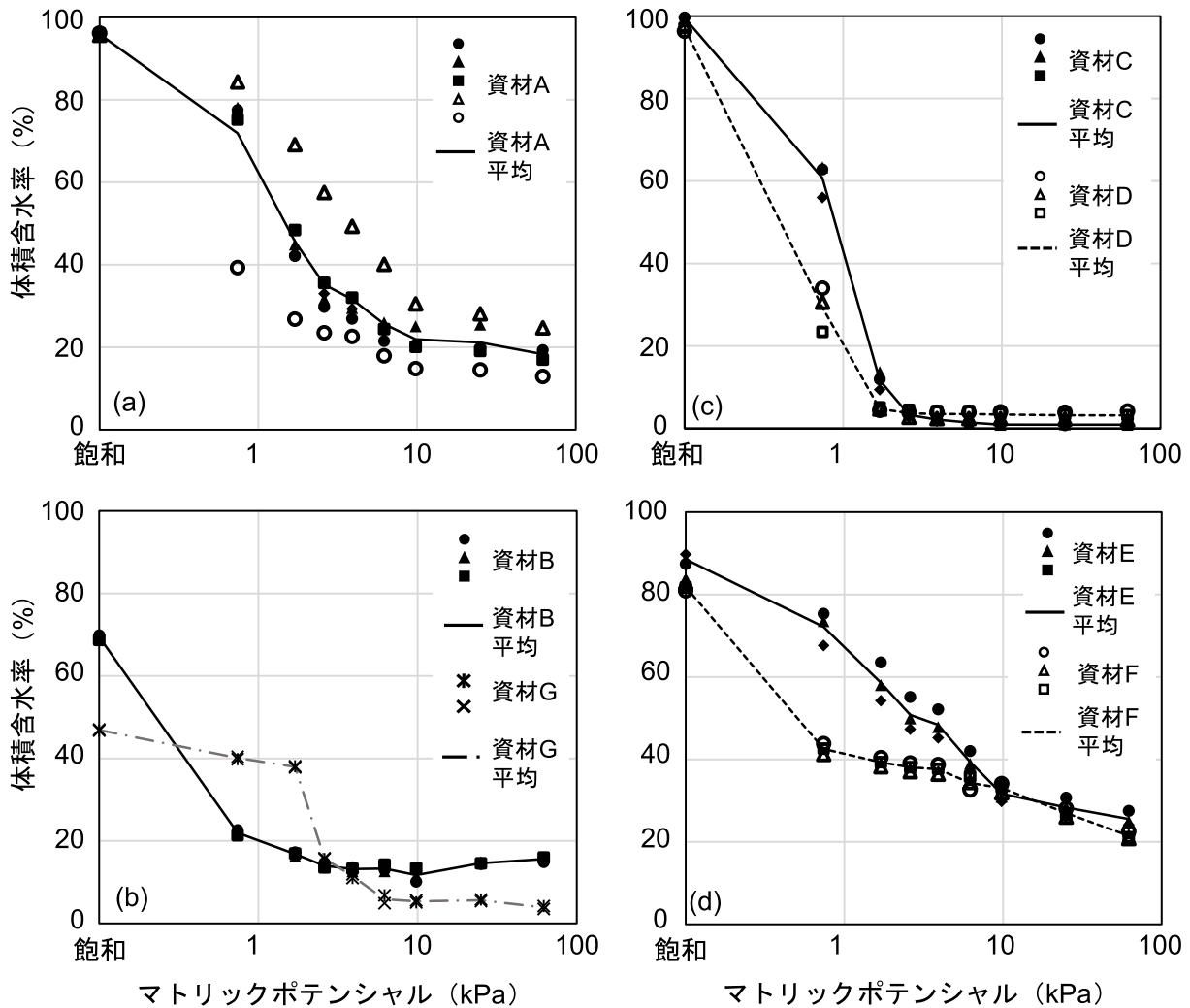


Fig. 1 建築物緑化培土の水分特性曲線. ((a) 資材 A, (b) 資材 B, G, (c) 資材 C, D, (d) 資材 E, F)
Water retention curves of architectural greening soils and materials.

試料とは大きく異なっていた。資材 A は本研究のために工場において製造された試料であるが、試料の到着時にいくつかの試料で収縮が観察された。一方、飽和後、目視では収縮や大きな隙間は観察されず、隙間なく一様にサンプラー内に充填された状態となり、飽和前の収縮の有無で水分特性にも特定の傾向は見られなかった。このことから他の試料と水分特性の異なった試料については、輸送時の振動や乾燥が原因と考えられる、目視で判別できない程度の間隙の変形が生じていたことが予想される。また、成型容器の底や壁による原料の拘束により、発泡によって生じる泡の大きさや空間的な分布に不均一性が生じ、保水性に影響を与えている可能性や充填時の若干の原料の投入量の差が影響する可能性も挙げられる。発泡により間隙を作り出す①間隙・多孔質系の建築物緑化培土においては、製造時の作業工程において試料間で間隙構造に違いが生じ、保水性及びそのばらつきに影響を与える可能性が示唆された。

また、資材 B については 10 kPa より乾燥した領域で体積含水率が上昇することがあった。加圧板法で排水す

る過程で間隙の収縮、変形が生じていた可能性が考えられる。

3.2 水分特性曲線から予想される建築物緑化培土の間隙径分布

多孔質体内の間隙に保持される水のマトリックポテンシャルは、間隙を構成する固体表面と水の接触角および水の表面張力によってもたらされると考えられる。土壌間隙を毛管で近似した場合、あるマトリックポテンシャル (H kPa) で保持される水は、間隙を毛管で近似した際の直径 (D cm, 以下、相当間隙径) と毛管上昇高さを表す以下の (1) 式によって表すことができる (宮崎ら, 2005)。

$$D = \frac{0.03}{H} \quad (1)$$

水分特性において隣接する測定値間のマトリックポテンシャルの体積含水率の差は、それぞれのマトリックポテンシャルに相当する相当間隙径の間の直径を有する間隙の体積の総和であるとみなせるため、藤川ら (2005)

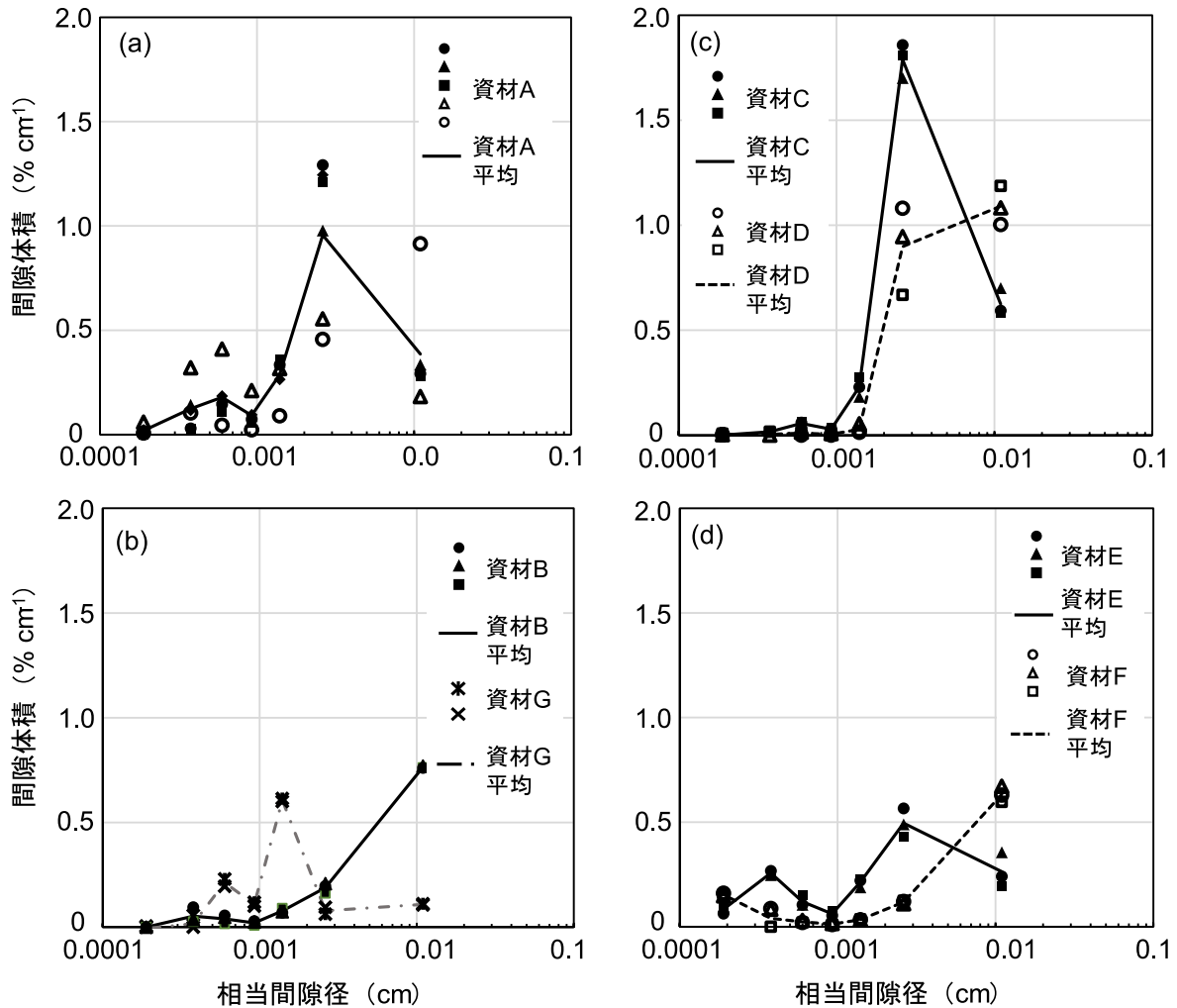


Fig. 2 建築物緑化培土の相当間隙径分布。(a) 資材 A, (b) 資材 B, G, (c) 資材 C, D, (d) 資材 E, F)
 Estimated pore size distributions of architectural greening soils and materials.

を参考に、以下の式 (2) によって相当間隙径 (d cm) とその間隙径変化における間隙体積の増分 ($P(d)$ % cm^{-1}) の関係を求めた。

$$P(d) = \frac{P_1 - P_2}{10^{(\log d_1 - \log d_2)}} = \frac{P_1 - P_2}{d_1/d_2} \quad (2)$$

ただし

$$d_1 = \frac{0.03}{H_1} \quad (3)$$

$$d_2 = \frac{0.03}{H_2} \quad (4)$$

$$d = 10^{\frac{\log d_1 + \log d_2}{2}} = \sqrt{d_1 \times d_2} \quad (5)$$

ここで、 H_1 と H_2 は隣接する 2 つのマトリックポテンシャル [kPa], d_1 と d_2 は H_1 と H_2 に対応する相当間隙径 [cm], P_1 と P_2 はそれぞれ H_1 と H_2 のときの体積含

水率 [%] である。なお、本研究では相当間隙径を対数表示することから、相当間隙径の差を商に置き換え、平均値は相乗平均を用いた。

各試料の水分特性曲線から計算された相当間隙径の分布を Fig. 2 に示す。どの試料においても相当間隙径が 0.009 cm 前後で間隙量が低下したが、この間隙径は砂柱法と加圧板法の境界に当たるマトリックポテンシャルに相当するものであり、測定法の変化が結果に影響した可能性があるため、建築物緑化培土の特性としては扱わないものとする。

今回対象としたすべての建築物緑化培土において、相当間隙径が 0.003 cm または 0.01 cm の間隙体積が最も大きくなっており、特に分類②の資材 C と分類③の資材 D は相当間隙径が 0.001 cm 以下の間隙がほとんどなかった。一方、分類①の資材 A, B と分類④の資材 E, F には相当間隙径が 0.0003 cm 前後の小さい間隙の存在が確認され、さらに資材 F は 0.001 cm より小さい領域で相当間隙径が小さくなると間隙体積が大きくなる傾向が見られた。今回の測定結果からは、分類② Si・岩石系お

よび分類③石油・多層系では比較的大きい間隙径の間隙のみが作り出されるのに対して、分類①間隙・多孔質系や分類④人工軽量培土の製造工程では小さな間隙も作り出されるという、製法と相当間隙径分布との関係性が示唆された。それぞれの分類に含まれる建築物緑化培土の種類は限られているため、結果を一般化するためにはさらに多くの建築物緑化培土についてデータを蓄積し、製法だけでなく原料が間隙径に影響を与える影響についても明らかにする必要がある。

3.3 実容積の測定による建築物緑化培土の間隙構造の評価

2.6, 6.2, 9.8, 62 kPa の試料の体積含水率に炉乾後の実容積（固相率）を加えた値と、実容積計を用いて測定されたその試料の実容積の関係を Fig. 3 に示す。

実容積計による実容積の測定では、測定対象となる試料を入れた試料室内に外部から空気を送り込み、送り込んだ空気の量と試料室内の気圧の変化から試料室内の気相部分の体積を求め、実容積を算出する。このため、試料内の全ての気相が試料室内の空気と連続しており、測定の過程で気相のどの部分の気圧も一様に上昇すれば、実容積の測定値と固相率に体積含水率を加えた値は同じ値になるはずである。多くの試料についてはデータがほぼ 1:1 の直線の上に乗ったが、資材 F では実容積計による測定値の方が計算値より大きくなる傾向がみられた。資材 F において固相率に体積含水率を加えた値より実容積が大きくなっていった理由として、実容積測定時の試料室内の圧力変化が間隙内で孤立した空気の気圧に影響を与えなかった可能性、例えば多孔質体である資材 F の内部に存在する一部の小さな間隙が飽和時に封入空気を含み、この間隙が固相と液相により閉塞されてしまっていることが考えられる。一方、資材 A や資材 B では実容積による測定値の方が固相率に体積含水率を加えた値より小さくなる傾向がみられた。このような建築物緑化培土については、炉乾時の乾燥によって小さな間隙が収縮、閉塞し、炉乾試料の実容積測定において圧力が伝達されずに間隙として認識されなかった可能性がある。軽量化や加工のしやすさを優先したために、変形しやすくなり排水や乾燥過程で間隙構造が変化するような建築物緑化培土については、乾燥過程において間隙が閉塞し、同じポテンシャルでも体積含水率が異なることも示唆される。

3.4 建築物緑化培土の透水性に与える間隙径の影響

各試料の固相率から計算した間隙率と飽和透水係数の関係を Fig. 4 に示す。なお、本研究では予備試験において資材 A の透水係数が小さかったために変水位法を採用し、統一した方法で比較するために全ての試料に対して変水位法を採用したが、宮崎ら (2011) によると $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ より大きい試料については定水位法が推奨されている。本研究では $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ より大きい飽和透水係数についても変水位法で測定しているため、測定値については参考値として、値の大小の傾向の

みを評価することとする。

各試料の飽和透水係数の測定結果から、透水性は資材 C (平均 $9.4 \times 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$)、資材 D ($8.3 \times 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$) が最も大きく、続いて資材 E ($1.5 \times 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$)、資材 F ($7.7 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$)、資材 G ($1.8 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$)、資材 A ($9.3 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$) の順となった。各資材の平均で比較すると間隙率の大きさの順番と飽和透水係数の大きさの順番が一致したが、資材 A に関しては、資材 E, F に比べて間隙率が大きいにも関わらず飽和透水係数は小さくなった。資材 A は資材 E, F に比べて相当間隙径が 0.001 cm 以上の比較的大きな間隙体積も大きく、間隙径分布からは飽和透水係数も大きくなると予想される。資

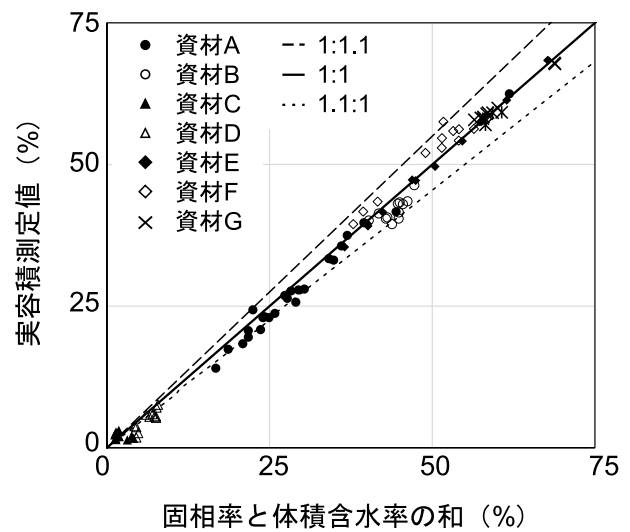


Fig. 3 建築物緑化培土の固相率と体積含水率の和と実容積測定値の関係。

Relationship between sum of volumetric solid and liquid contents of architectural greening soils and materials.

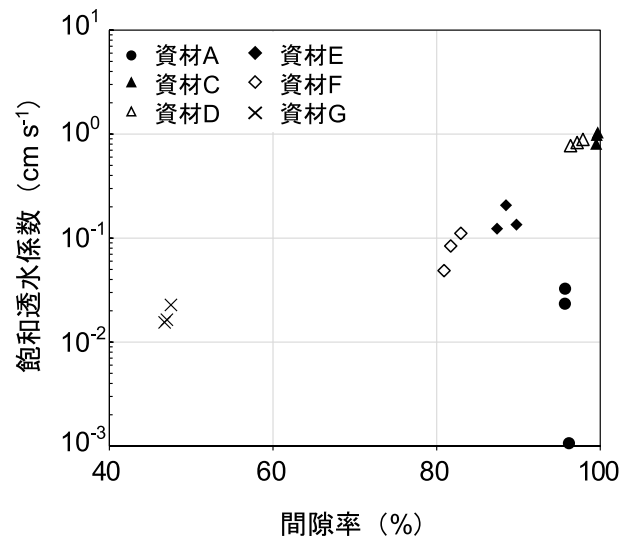


Fig. 4 建築物緑化培土の飽和透水係数。

Relationships between pore volume and saturated hydraulic conductivity of architectural greening soils and materials.

材 A の飽和透水係数が小さくなった理由としては、発泡によって資材 A に作られた間隙が球形に近く、また不均一に分布していたため、水移動の抵抗となる小さな径のポアネックが数多く存在した可能性や、間隙の屈曲度が他の建築物緑化培土内の間隙の屈曲度に比べて大きかった可能性が考えられる。また、資材 A で間隙径の小さかった試料 (Fig. 1 (a) および Fig. 2 (a) の Δ) は透水係数も小さく ($1.1 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$) になっていた。

一般の土壌においては間隙の形状が不均一なため、間隙を毛管として近似しハーゲン・ポアズイユ則を用いて間隙径から飽和流を説明することには限界があると報告されている (宮崎ら, 2005)。本研究で対象とした建築物緑化培土についても製法や原材料によって間隙径の分布や、間隙の連続性、分岐の状況、屈曲度が異なり、単純に間隙率や間隙径分布から飽和透水係数を予測することは難しいと考えられる。しかし、同様の製法であれば間隙の形状も近くなることが予想されるため、製法で同じ分類に入る建築物緑化培土に関しては、間隙率、相当間隙径の分布によって飽和透水係数の関係を予測できる可能性がある。

今回得られた建築物緑化培土の水分特性や透水性の情報を用いて緑化環境に応じた建築物緑化培土を選定する場合、例えば、屋内環境下の壁面で耐乾性の高くない観葉植物を植栽するのであれば小さな間隙が多く保水性の高い資材 B, E, F を採用することが提案される。また、灌水装置がある屋外壁面で草花を中心に植栽するのであれば大きな間隙が多く保水性は小さくても透水性の大きい資材 C, D を、耐乾性の異なる植物を混植するのであれば大小さまざまな間隙を含む資材 A を選定することも提案される。施工の予算や建築物緑化培土を固定する基礎部分の特性も考慮する必要があるが、水分特性曲線や飽和透水係数を参考に、それぞれの環境と緑化用植物の好む水分領域に応じた建築物緑化培土を選ぶことで、低コストで植物の良好な生育状態を維持することが期待される。

4. まとめ

本研究では壁面緑化用の建築物緑化培土を対象として、土壌物理学分野で用いられている手法を用いて保水性、透水性を測定し、建築物緑化培土の間隙径分布について検討した。

水分特性曲線からは、いくつかの建築物緑化培土は 0.3 ~ 3 kPa で急激に体積含水率が低下することが明らかになった。間隙を毛管と仮定することで得られた相当間隙径分布から、今回対象とした建築物緑化培土を、ほとんどの間隙の相対間隙径が 0.001 ~ 0.01 cm と比較的大きな間隙のみで構成されるグループと、0.0002 ~ 0.001 cm の小さな間隙を含むグループに分けることができた。製法による分類で同じ分類に入る建築物緑化培土は間隙径分布の特徴でも同じグループに入る傾向があり、製法

により間隙径分布に特徴が生じている可能性が示唆された。また、あるポテンシャルにおける実容積と、炉乾燥の試料の実容積と炉乾重から求められた固相率と体積含水率の和を比較したところ、建築物緑化培土の内部に外からの圧力の影響を受けない封入空気が存在する可能性や、乾燥により間隙が閉塞する可能性などが示された。建築物緑化培土の飽和透水係数は約 $10^0 \sim 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ の範囲であったが、発泡により間隙を作り出している建築物緑化培土を除き、飽和透水係数の大きさの順番は間隙率の大きさの順番と同じであった。

本研究で対象とした建築物緑化培土の製法と間隙径分布には一定の傾向がみられたが、その傾向が製法独自のものであるのか、また製法の過程の条件や原料によってどのように分布が変わるのかについては、今後さらに測定例を増やし確認する必要がある。また、本研究では間隙を毛管と近似した解析によって間隙径分布を予測したが、顕微鏡を用いた観察などによる間隙の実際の大きさとの比較や間隙の形状やネットワークが建築物緑化培土の物理性に与える影響について明らかにすることが今後の課題となる。

本研究では乾燥による間隙の変形が物理性に与える影響についても示唆されたが、現場における温度変化や紫外線、微生物活動による建築物緑化培土の劣化についても検証する必要がある。建築物緑化培土内部の水分量変化や水移動を正確に予測するためには、サクションが 3 kPa 以下の飽和に近い領域での詳しい水分特性の把握も今後の課題となる。

謝辞

本研究は令和元年 ~ 令和 2 年 東京農業大学共同研究各種壁面緑化用資材の保水・透水性評価試験の支援を受けた。

引用文献

- 土壌物理研究会編 (1979): 土壌の物理性と植物生育, pp. 151-205.
- 藤川智紀, 宮崎 毅, 古川原琢 (2005): 廃材ガラスカレットを用いた土壌の透水性改良技術に関する研究. 第 6 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 193-198.
- 藤田 茂 (2012): 日本一くわしい屋上・壁面緑化, pp. 301-328. エクスナレッジ, 東京.
- 国土交通省 (2021): 報道発表資料: 魅力的な屋上緑化・壁面緑化事例が増加しています ~ 令和 3 年 全国屋上・壁面緑化施工実績調査の結果 ~. https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000431.html (2022 年 11 月 11 日 確認)
- 宮崎 毅, 長谷川周一, 粕渕辰昭 (2005): 土壌物理学, pp. 18-53. 朝倉出版, 東京.
- 宮崎 毅, 西村拓 (2011): 土壌物理実験法, pp. 58-78. 東京大学出版会, 東京.

屋上開発研究会 (2014a): 新版 屋上緑化設計・施工ハンドブック, pp. 2–16. マルモ出版, 東京.

屋上開発研究会 (2014b): 新版 屋上緑化設計・施工ハンドブック, pp. 23–46. マルモ出版, 東京.

土の理工学性実験ガイド編集委員会 (1983): 土の理工学性実

験ガイド, pp. 72–82. 農業土木学会, 東京

Whalley, W.R., Matthews, G.P. and Ferraris, S. (2012) : The effect of compaction and shear deformation of saturated soil on hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 125: 23–29.

要 旨

建築物の屋上緑化や壁面緑化では多孔質で軽量の資材として、建築物緑化培土が用いられる。本研究では壁面緑化用の建築物緑化培土を対象として、水分特性から間隙径分布を評価することとした。測定の結果、いくつかの建築物緑化培土は、あるマトリックポテンシャルで急激に排水が生じることが確認された。水分特性曲線から推測される間隙径分布から、建築物緑化培土をほとんどの間隙の相対間隙径が 0.001 ~ 0.01 cm であり比較的大きな間隙のみで構成されるグループと、0.0002 ~ 0.001 cm の小さな間隙を含むグループに分けることができた。製法による分類で同じ分類に入る建築物緑化培土は間隙径分布の特徴でも同じグループに入る傾向があった。発泡により間隙を作り出している建築物緑化培土を除き、飽和透水係数の大きさの順番は間隙率の大きさの順番と同じであった。

キーワード：人工軽量培土，水分特性，飽和透水係数，間隙径