

保水性舗装路盤中の水分移動特性に関する基礎的研究

法政大学 学生会員 ○遠藤 智嗣

法政大学 学生会員 大山 理

法政大学 国際会員 草深 守人

法政大学 正会員 橋本 保

1. はじめに

近年、都市中心部におけるヒートアイランド現象が深刻な環境問題となってきた。ヒートアイランド現象の原因として、都市化による建築物やアスファルト舗装などの地表面被覆の人工化、ビルの空調や自動車の排熱など人工排熱による熱収支変化が挙げられる。本研究では、保水性舗装の路面温度低減効果の持続性を向上するために、路盤内部の水分保持及び水分移動に着目し、不飽和状態にある路盤材料の水分特性を実験的に明らかにすることとした。

2. 吸引法による路盤材のカラム試験

使用した路盤材料は、比較基準とする天然材料の豊浦標準砂と川砂に加えて、リサイクル材の珉殻炭、焼却灰、P S 灰（ペーパースラッジ）、浄水場発生土である。カラム試験は、内径 50 mm、高さ 51 mm の試験容器を用いて日本地盤工学会規準 JGS-0151 に従って表 1 に示す初期条件の下で吸水過程と排水過程で実施した。

表 1 吸引法によるカラム試験の初期条件

試料名	初期含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	間隙比
標準砂	2.74	1.461	0.814
焼却灰	8.76	1.294	1.047
PS 灰	9.40	1.031	1.775
浄水場発生土	4.50	0.704	1.824
珉殻炭	7.69	0.409	4.133

3. 保水性試験結果と考察

(1) 水分特性曲線と不飽和透水係数

吸引法によって測定されたマトリックポテンシャル ψ と体積含水率 θ の間に下式の van Genuchten モデルを仮定し、最小自乗近似によって水分特性曲線を決定した。

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

ここで、 S_e は下式で定義する有効飽和度、 α は限界毛管水頭 ψ_{cr} の逆数、 n と m は定数であり、それぞれ下式で定義されている。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad \alpha = \frac{1}{\psi}, \quad m = 1 - \frac{1}{n}$$

ここに、 θ_r は水が液体として移動できなくなる最小の体積含水率、 θ_s は飽和時の体積含水率である。

式(1)のモデルに対する不飽和透水係数 k_r と体積含水率 θ の関係式は次式で与えられている。

$$k(\theta) = \left[1 - \left(1 - S_e(\theta)^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (2)$$

図 1 は式(1)と式(2)に従って決定した各試料の水分特性曲線と不飽和透水係数の浸潤過程を示したものである。図中の透水係数は、不飽和透水係数を飽和透水係数で除すことによって無次元化した比透水係数を示す。図 1 に示したように van Genuchten モデルは、材料中のマトリックポテンシャルを体積含水率との関係で実験値を十分に表現できることが分かる。このことから、直接計測できない不飽和土中の透水係数は、このモデルを基礎とする式(2)に従って推定した透水係数を実験値と仮定し、各材料に含まれる水分の蒸発の議論を進めることとする。

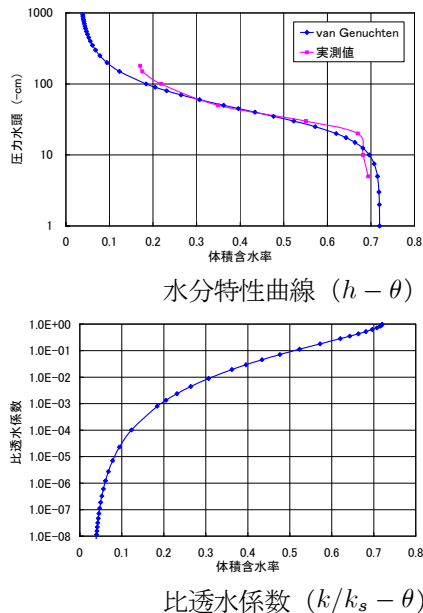


図 1 珉殻炭の水分特性（浸潤過程）

(2) 定常上向き水分移動と最大可能蒸発速度

ここでは、不飽和な鉛直土カラム内を鉛直上向きに流れる水分の定常流れを考えることによって、地表面

キーワード 保水 舗装 路盤 水分特性

連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町3丁目7-2 法政大学工学研究科建設工学専攻 042-387-6291

での最大蒸発量を試算・考察する. 一般的にはこのような問題は非定常過程であるが, 長期間にわたって日蒸発要求量がほぼ一定のとき, 地下水面から裸地表面に向けてほぼ定常な上向きの水分移動を仮定する.

ここでは, van Genuchten モデルを仮定することによって求めた透水係数 $K(h)$ をマトリックポテンシャル h について陽に積分可能な次式の関数で置き換えることができるとする.

$$K(h) = \frac{K_s}{1 + (h/a)^N} \quad (3)$$

ここで, K_s は飽和透水係数, $N > 0$ と $a < 0$ は上式の関数の形状を決定する定数である.

一方, 水分フラックス J_w とポテンシャル h の勾配は Buckingham-Darcy 則によって次式で関係付けられている.

$$J_w = -K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \quad (4)$$

ここで, 水分移動が定常状態であることから, h は z のみの関数 $h = h(z)$ である. 今, 地下水面が地表面 ($z = 0$) の下方 $z = -L$ の位置にあるとき, 地下水面上部における最大可能蒸発速度 E を定常状態であることから $J_w = E$ とする. ここでは詳細は避けるが, 式(4)は式(3)を代入することにより, 最大可能蒸発速度が次式で与えられる.

$$E = K_s \left(\frac{-a\pi}{LN \sin(\pi/N)} \right)^N \quad (5)$$

以上のように, 最大可能蒸発速度 E は, 地表面から地下水面までの距離 L の関数として与えられる. 具体的に式(5)に従って今回の実験で使用した各材料の最大可能蒸発速度を計算するために, 図1に示した $k-\theta$ 関係を実験値と仮定し, 式(3)より式中の定数 a, N を決定した. 図2は, 定数 a, N を用いて計算された各試料の最大可能蒸発速度 E であり, 地表面における水分の蒸発あるいは上向きの定常水分流れについては以下のような性質を持つことが予想される.

- ① 間隙径の大きい粗粒土ほど, 広い間隙径分布をもつ細粒土に比べ大きな N 値をもつ. そのため, 地表面と地下水面との距離が大きいとき, 粗粒土は上向きの水の流れに対して, 細粒土よりも大きな抵抗を示すと考えられる.
- ② 地表面に向かう上向きの流れは粗粒土よりも細粒土で大きい.

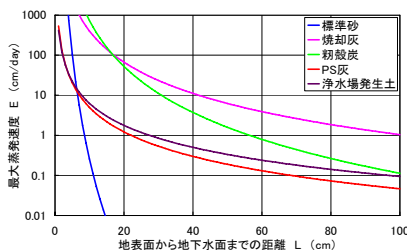


図2 各試料の最大可能蒸発速度

4. 保水性舗装の設計方法

保水性舗装の設計では, 舗装表面で目標とする温度低下量を達成するために路盤層から表層までの材料の選定と, 各層の厚さをどのようにして決定するかが最大のポイントとなる.

舗装表面で温度を潜熱により ΔT 低下させるために必要な水分フラックスを E とし, 舗装体を構成する各層の水分フラックスを表層から下層路盤に向かって $J_{w1}, J_{w2}, \dots$ とする. このとき, これらの水分フラックスは常に以下の関係になければならない.

$$E < J_{w1} < J_{w2} < J_{w3} \dots \quad (6)$$

したがって, 舗装体各層に使用する材料が選定されれば, 各層の厚さ $D_1, D_2, D_3, \dots$ は, 上式の間関係を満足するように図3から簡単に設定することができる.

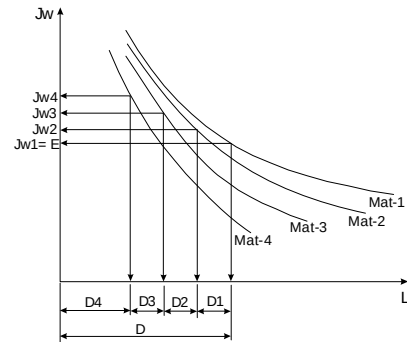


図3 舗装体構成層の材料と各層厚の決定

5. 結論と今後の課題

(1) リサイクル材の水分移動特性

- ① van Genuchten モデルは, 材料中のマトリックポテンシャルを体積含水率との関係で実験値を十分に表現できる.
- ② 直接計測できない不飽和土中の透水係数は, 体積含水率の関数として van Genuchten によって示された透水係数関数によって十分表現できる.
- ③ 保水性試験に用いたリサイクル材は, 保水性の面からは良質な材料であることを示したが, これらの材料はいずれも支持力が低く, 単独での使用は困難である.

(2) 保水性舗装の設計方法

- ① 舗装表面温度低下の目標値を達成するための蒸発量 E を決定した後, 舗装体を構成する各層の水分フラックスを表層から下層路盤に向かって設定すると同時に, 各層に使用する材料を適切に選定する方法を示した.
- ② 実際の舗装構造の設計では, 要求される材料の支持力特性と水分特性を単一材料で同時に満足することは困難であることから, それぞれの特性を持った複数の材料を混合・調整することが重要であり, 配合設計法について, 今後の検討が重要課題である.