

緑化用人工地盤の流出抑制効果の推定

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)
E-mail: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)

屋上緑化に代表される緑化用の人工地盤は、低層で排水層を有するため、水が抜けやすく乾燥しやすい。また、土質や締固め方法などによっても透水性が異なるため、緑化用の人工地盤の透水性・保水性を把握するには数理モデル化によるシミュレートが有効である。著者らは流出遅延効果を調べるための、人工地盤の数理モデル化を行った。人工地盤の場合、排水層からの浸出水も直接流出成分とみなすことができるため、雨水の浸透挙動を把握するには、飽和に達するまでの時間を調べるのが有効である。

実験結果より、浸透流方程式に外挿する不飽和透水係数は浸潤過程によって得られる値を外層すると、実験値に近づくことが確認された。

Key Words : *infiltraton, artificial soil,numerical simulations, unsaturated hydraulic conductivity*

1. はじめに

ヒートアイランド緩和対策の一つとして、地表面被覆の改善が挙げられている。

特に、緑化は蒸発散による大気のコールド効果や、二酸化炭素の固定などが期待できるため、具体的な施策として位置付けられている。

ヒートアイランド現象が顕著な都市部を緑化する場合、比較的低コストで、短期間で緑化が可能なおことから人工地盤による緑化が注目されている。その中でも、屋上緑化は一部の都市で既に条例化されているため、今後その重要性は高まるものと考えられる。

著者らはこれまでに、屋上緑化の流出抑制効果に関し、貯留効果について研究を行ってきた。

その中で、人工地盤の貯留効果に影響を与える要因について調べてみた。結果を表-1に示す。

また、それらの項目は設計などに反映させることも可能である。

表-1に示したように、雨水の貯留効果は土質や花壇の構造、施工および管理方法などによって異なる。

表-1 人工地盤と土壌水分の関係

選択項目	選択例	地盤への影響	土壌水分への影響
土 質	自然土壌	物性値	透水性・保水性
	改良土壌 人工土壌		
構 造	土壌厚さ	貯留効果	貯留量
	排水層	排水性	貯留量・流出量
	冠水深(縁の構造)	浸透能	流出量・浸透性
施工・維持	締固め(鎮圧)	密 度	透水性・保水性
	散水・降雨量	含水比(飽和度)	透水性・保水性

ってくる。

このような場合、どのような構造にするのか、あるいは、どの程度の流出抑制効果や蒸発による打ち水効果が期待できるのかを実験的に求めるより、数理モデル化によってシミュレートした方が効率が良い。

特に、土壌水分は流出抑制だけでなく、蒸発散の推定などにも関連するため、重要性は高いものと考えられる。そこで、屋上緑化のように薄く、排水層を有する構造の人工地盤を対象とした、雨水の浸透に関する数理モデル化に関する検討を行った。

2. 不飽和透水係数の推定

(1) 土壌水分特性曲線

人工地盤は水が抜けやすく、乾燥しやすい状態にあることは既に述べた。そのため、人工地盤の場合、通常は不飽和状態にあるものと考えられる。

不飽和土は水を保持しようとする性質を持ち、この性質は土の含水比状態に依存する。土粒子表面の吸着力と土粒子間の表面張力により、土が水をひきつける作用をサクシオン水頭といい、水分量に依存する。

保水性試験により得られた水分量とサクシオン水頭の関係は水分特性曲線によって示され、その外形を図-1に示す。

保水性試験には測定領域によって使い分けがあるが、サクシオン水頭の比較的低い砂質土の場合、土柱法、水頭差法、吸引法などが多く用いられる。本研究でパラメータ引用した宇野らの試験¹⁾は吸引法によって測定している。

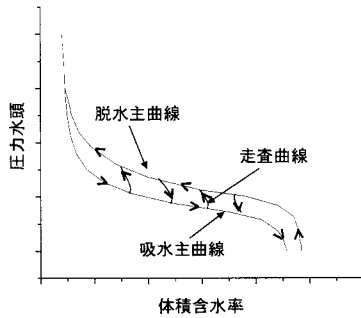


図-1 水分特性曲線の外形

図-1 に示したように、体積含水率とサクシヨン水頭との関係は非線形性を有する。体積含水率とサクシヨン水頭との関係を関数表示するための式は多く存在し、代表的な式として Brooks and Corey²⁾、van Genuchten³⁾式などが挙げられる。

本研究では、適合性が高いことで知られ、一般に広く用いられている van Genuchten 式を用いた。(1)式に示す。

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

ここに、 $m = 1 - \frac{1}{n}$ である。

宇野らの実測結果を用い、(1)式を有効飽和度との関係に書き直した(2)式に、非線形最小二乗法を用いてフィッティングを行い、パラメータ α および n を同定する。

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |ah|^n\right)^m} \quad (2)$$

ここに、 $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ 、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残留体積含水率である。

入力値を表-2、表-3、表-4 に示す。

(2) 不飽和透水係数

不飽和状態の場合、飽和状態に比べ透水性が低下する。この透水係数を不飽和透水係数といい、飽和透水係数との比をとり、比透水係数として表されることが多い。

不飽和透水係数は直接計測することが困難であるため、通常は推定式により求められる。これまでに

多くの推定式が提案されているが、前節で示した水分特性曲線を基に推定する方法が多い。本研究では(2)式との関係上、ここでも van Genuchten の方法を用いる。(3)式に示す。

$$k(h) = k_s S_e^{1/2} \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^n \right\}^2 \quad (3)$$

ここに、 $k(h)$ は不飽和透水係数である。

(3) ヒステリシスの導入

土壌水分とサクシヨン水頭の関係においては、図-1 に示したように、脱水過程と湿潤過程で同一の曲線をとらないヒステリシス現象が見られる。ところが、浸透流解析などで土壌のヒステリシスを考慮することは少ない。これには様々な原因が考えられるが、まず本研究と最も関連の深い地下水流出との関係から考察してみる。

自然の地盤を対象とする研究の場合、降雨の浸透現象は一過程であり、表面流出および地下水流出量を求めることが多い。降雨の浸透が安定し、地中で平衡に達した後ゆっくりと流下し、地下水となって流出する過程をモデル化する場合などが、一過程として扱われる例である。この様な場合、浸透流は水分特性曲線における脱水過程にのみ対応するため、ヒステリシスを考慮する必要はない。もしくはこのような場合、より簡易な飽和土壌として仮定される場合もある。

また、植物との関係においては、植物の根が土壌中の自由水を吸うことができる領域があり、これは土の脱水過程によって決まる。このような理由から、通常水分特性曲線を求める保水性試験では、簡易な脱水過程により評価され、浸潤過程まで計測されることは少ないものと思われる。そのため、浸潤過程まで示したデータも少なく、結果的に考慮されなくなる。

このような理由からヒステリシスが無視されることが多いものと推察される。

ところが人工地盤の場合、層厚が薄く排水層を通じて浸出水として流出することから、ヒステリシスの影響を無視すると誤差の発生要因となる。

特に大きな影響が見込まれるのが、流出の遅延効果を数値計算する場合である。人工地盤では自然地盤において地下水に該当する排水層からの浸出水も、短時間で流出が始まるため、直接流出成分として扱うのが適当と思われる。降雨開始から流出が始まるまでの過程を土壌水分特性曲線にあてはめると、浸

表-2 浸潤過程における入力値

サクシヨン水頭	20.0	30.0	32.5	36.5	44.0	51.0
体積含水率	0.335	0.27	0.22	0.17	0.125	0.1

表-3 脱水過程における入力値

サクシヨン水頭	19.0	35.0	42.0	49.0	50.5	52.5	58.0	65.0
体積含水率	0.37	0.36	0.33	0.295	0.22	0.155	0.115	0.08

表-4 α と n の入力値

	α	n
脱水過程	0.0196	11.58
浸潤過程	0.0305	4.489

潤過程に対応する。そのため自然地盤と同じように、脱水過程によって得られる不飽和透水係数を用いて計算すると、流出時間は早くなり、流出量も多くなることが見込まれるためである。

(4) 既往の研究との比較

ここでヒステリシス現象に着目した既往の文献を示す。盛谷ら⁴⁾は雨水の不飽和浸透と地下水涵養との関係について、ヒステリシスを考慮してモデル化し、実験値との比較を行っている。粟生田ら⁵⁾は作物成長や肥料の地下水への拡散などの観点から、圃場における土壌水分の動態の分析にヒステリシスを導入している。また、藤縄⁶⁾は有機塩素系化合物や石油系炭化水素による土壌汚染を評価などの観点から、ヒステリシスと走査曲線に関する研究を行い、実験値と比較し走査曲線の適合性について検討を行っている。いずれの場合も脱水曲線と浸潤曲線との間に無数存在する走査曲線を用いている。

上記の例を含め、ヒステリシスを考慮する場合、地下水面の浅いケースを想定した研究が多くなっている。上記に示した文献でも、盛谷、粟生田らの実験では室内実験ということもあり、地下水面を100cm～50cmに設定している。地下水面の浅いところに降雨による水の供給があると、自然の地盤では重力による脱水と毛管力による地下水の上昇が繰り返して生じている。このような現象において水分特性曲線との対応を考慮したのが走査曲線である。乾燥、湿潤を繰り返すため、乾燥曲線と湿潤曲線の間に無数の経路、走査曲線が存在する。従来のヒステリシスを考慮した研究では、この走査曲線の適合性および走査曲線の推定法などを主な論旨としてきた。

一方、人工地盤と水分特性曲線との対応は地下水からの供給がないため、浸潤～流出のみのきわめてシンプルな経路となっている。そのため、本研究では浸潤過程と脱水過程について検討を行い、走査曲線については紹介に留める。

3. 浸透流解析

(1) 支配方程式

三次元の飽和－不飽和領域の浸透流方程式は(4)式で示される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial \psi}{\partial z} + k_z \right) = (C_a + \alpha S_s) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (4)$$

ここに、 k_x, k_y, k_z は x, y, z 方向の透水係数、 C_a は比水分容量、 S_s は比貯留係数、 α は飽和領域では1、不飽和領域では0となる係数、 ψ は圧力水頭、 t は時間を示す。

(4)式を Galerkin 法によって離散化し、有限要素法を用いて解析的に解いた。なお、(4)式の誘導および有限要素法による定式化については、既に多くの学術書に記されているため、結果のみ記した。

(2) 初期条件および境界条件

含水比調整を浸潤法で行ったため、浸潤過程における水分特性曲線と、初期含水比の関係から求めた体積含水比から圧力水頭を決定した。含水比11%、体積含水率とした実験の場合、 $\phi = -35\text{cm}$ となる。

境界条件は、浸出面には大気圧を与え、地表面には降雨強度を与えた。すなわち、

$$\text{大気面では } \frac{\partial \phi}{\partial z} = 1 - \frac{r(t)}{k_z} \quad \text{となる。}$$

$$\text{また、浸出面では } \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{となる。}$$

4. 降雨実験

(1) 実験概要

降雨装置は株式会社理化学工業の DIK-6000 を用いた。この実験では解析値との比較およびパラメータ引用などの関係上、資料には豊浦砂を用いている。

また、透水性および保水性は試料の密度に依存するため、パラメータ引用の関係から乾燥密度を規定し、実験を行った。

管理基準値は宇野らの結果における間隙率0.383に対応する乾燥密度 $\rho_d = 1.63$ とした。

図-2に示したように、サンケイ理化(株)製マイクロテンシオメーターを表層から5cmの位地に挿入し、30秒毎にサクシオン水頭の変化を計測し、解析値との比較を行った。

実験の概要図を図-2、図-3に示す。

降雨強度は20mm/hrとし、2時間継続させた。前章で行った実験の場合、排水層内部で水が溜まるなど一部に問題があった。また、冠水深を持たない構造にして前章で行ったように端面処理を行うと、凹地損失がなく、貯留高を過小評価する可能性がある。そこで本章の実験では冠水深を持つような構造にして実験を行った。

下記に示す実験1～実験3を行った。

実験1：最適含水比付近を初期状態とした場合

(基本ケース)

実験2：含水比を下げ、乾燥した状態で行った場合

実験3：排水層を持たない場合の浸透特性の調査

人工地盤は乾燥しやすい状態にあるが、植生の生育との関係上、圃場容水量を目安に土壌水分量を管理することが多い。そのため、本研究では実験1で行った初期体積含水率20%の場合を基本条件とする。

5. 結果と考察

(1) 降雨実験

a) 質量変化

前章同様、降雨開始後の質量の経時変化を図-4に示す。図は初期の体積含水率が20%(実験1)と初期の体積含水率が10%(実験2)をそれぞれ示している。2時間降雨を与え、その後は静置し浸出水量を

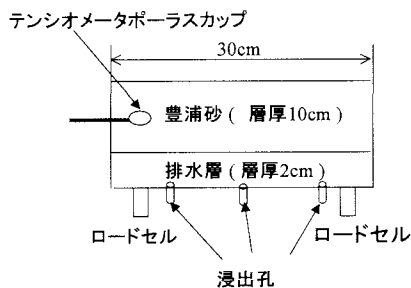


図-2 模擬地盤の構造

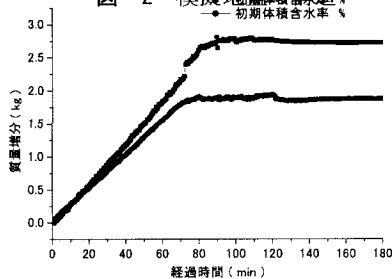


図-4 豊浦砂の貯留効果

計測したが、降雨終了とともにサクシオン圧によって水分は保持されたため、降雨終了後5分以降の浸出水は測定されなかった。

実験1と実験2の結果に対する比較を行う。質量の増加速度を見ると、実験2の方が高くなっている。これは、降雨強度を大雨注意報の発令の目安となる時間20mmで調整したが、流量調整や人工降雨装置の精度および設置位置との関係により、実測値ではそれぞれ2時間平均18.5mmと19.5mmの降雨強度となったためである。

次に貯留高に着目してみると、実験1で20mm、実験2で31mmとなった。同じ豊浦砂で、かつ乾燥密度が等しくなるよう調整した試料を用いた場合であっても、乾いた状態で測定した場合と、湿った状態で測定した場合とでは貯留高で11mmもの差が生じる。

ここで得られた貯留高は一般の浸透域に比べ高い値となっている。これは透水性のよい豊浦砂を用いたことと、均等に詰められたため、マクロポーアによる流れが発生していなかったためと考えられる。

このような場合、個々のケースで実験的に流出量を求めるよりも、数理モデルによってケーススタディを行う方が効果的である。そこで、人工地盤の数理モデル化を行い、実験値との比較とシミュレーションを試みた。

b) 流出遅延効果

浸出水量と時間との関係を図-5に示す。時間20mmの強い雨に対し、70分間の遅延効果が確認された。植生がなく砂だけの場合であっても、高い流出抑制効果が期待できる。しかし、飽和に達したあ

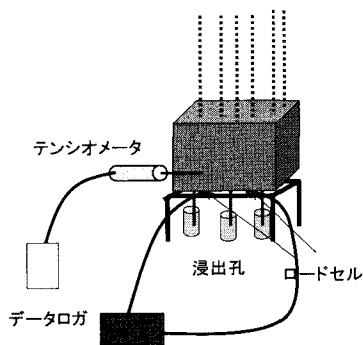


図-3 実験概要図

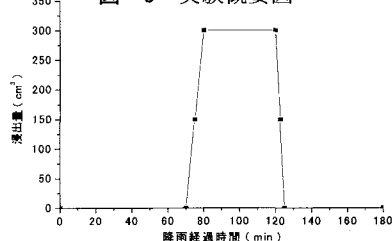


図-5 浸出水のハイドログラフ

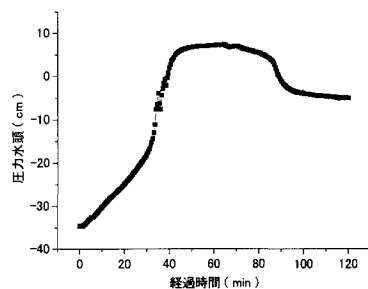


図-6 排水層がない場合の圧力水頭

とは、流入した降雨が急激に浸出水となって排出されるので、降雨開始時点における土壌水分量(体積含水率)を把握し、飽和に達するまでの時間を予測することが防災上重要である。

c) 排水層の影響について

人工地盤の場合、根腐れ防止の観点から排水層が設置される。街路樹など、一般の低層花壇では礫質のものが敷かれることが多い。屋上緑化の場合は、軽量化の観点から近年様々なタイプのものが開発されている。本研究では代表的な材料である粒径10mm程度の軽石を排水層として敷きならした。粒径が大きく、間隙が大きいことからこの層ではほとんど毛管圧は生じなかった。

図-6に排水層を設置せずに降雨実験を行った結果を示す。降雨開始後早い時間からサクシオンが立ち上がっているが、これは水だけでなく、空気も抜けにくいため、雨水の浸透が封入空気によって阻害されているためと考えられる。また、排水層がない場合、一度正圧にまで達した後、水が抜けている様子がわかる。これは排水孔付近で毛管力が生じたためと考えられる。

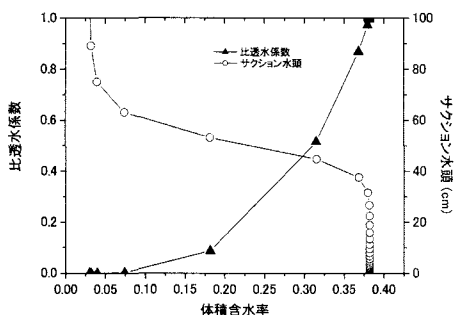


図-7 不飽和透水係数(脱水過程)

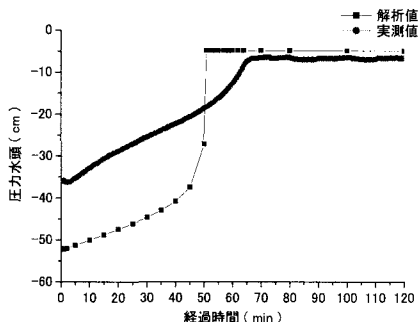


図-9 脱水過程

このように排水層がある場合とない場合とでは同じ資料を用いた場合であっても、降雨の浸透特性は異なる。この結果より、排水層に透水性の高い素材を用いた場合であっても、毛管力が生ずるような場合は今回行った実験結果が示すように、浸透特性に影響が生じる可能性がある。そのため、降雨実験および浸透流解析を行う場合は、排水層の素材についても保水性試験の対象とすることが望ましい。

(2) 不飽和透水係数の推定

表-2～表-4 に示した値を(2)式に外挿し、水分特性曲線のフィッティングを行い、(3)式により不飽和透水係数を計算した。脱水過程を図-7 に浸潤過程を図-8 に示す。図に示したように、脱水過程のサクション水頭は吸水過程に比べ高い値となっている。この値をそれぞれ(4)式に外挿した。

脱水過程の不飽和透水係数の方が高いため、飽和に達するまでの時間を比較すると、脱水過程の方が早くなることが予想される。次節に、解析値との比較について述べる。

(3) 解析値との比較

a) 実験 1

表面から 5cm の位置に挿入したテンシオメータより得られた圧力水頭の実測値と、対応する接点における圧力水頭の解析値とを比較した。図-9 に脱水過程における比較結果を、図-10 に浸潤過程における比較結果を示す。

比較において、解析値の圧力水頭の初期値は実測した体積含水率に対応する圧力水頭を図-7 図-8

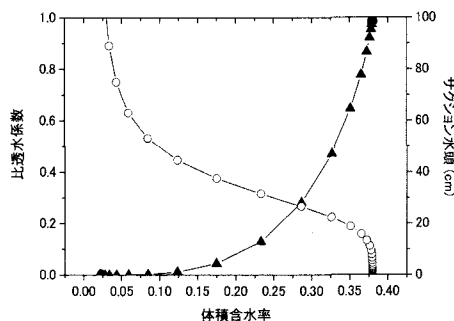


図-8 不飽和透水係数(浸潤過程)

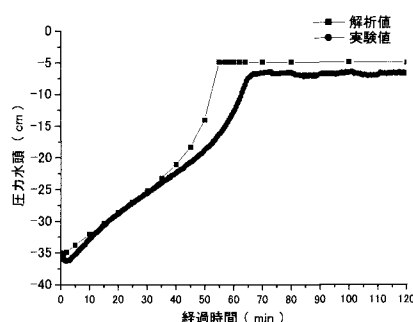


図-10 浸潤過程

から求めた。

図-9 に示したように、脱水過程によって得られた比透水係数を用いた解析結果は、飽和に達するまでの時間が実測値に比べ 20 分程度早く、誤差が大きい。

一方、浸潤過程から得られた比透水係数を用いた図-10 に示した結果では 40 分までは解析値と実測値がよくあっている。降雨開始から 40 分以降の解析値では圧力水頭の低下が急激に低下する。これは図-8 で示した比透水係数が飽和透水係数に急速に近づくためである。

浸潤過程における解析値の飽和に達する時間は、実測値にくらべ 10 分程度早くなった。これは(2)式におけるパラメータの同定に起因するものと考えられる。

本研究で用いた宇野らの結果の場合、保水試験を吸引法によって行っている。吸引法で浸潤過程を測定する場合、試料の毛管圧力で試料に水を吸わせるため、空気浸入値との関係上飽和させることが難しく、実験誤差が生じやすい。図-1 において浸潤主曲線と脱水主曲線の飽和付近での値で浸潤主曲線の体積含水率が低くなっているのはそのためである。

一方、実験では降雨は重力によって流下するため、浸入空気と置換されやすく、保水試験のときよりも体積含水率が高くなったものと考えられる。そのため、この部分をより近づけるためには、(2)式でパラメータを同定する際の飽和体積含水率を高めに設定することが、有効であると考えられる。

なお、既往のヒステリシスを考慮したモデルのように、走査曲線から求めた比透水係数で計算すると、

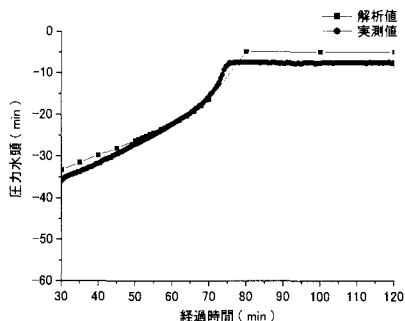


図-11 実験値と解析値との比較(実験2)

飽和に達するまでの時間は浸潤過程から求めた場合に比べ早くなる。

b) 実験2

実験2の結果を図-11に示す。開始から30分くらいまではテンシオメータのポーラスカップと、豊浦砂との密着性が悪く、テンシオメータの値が不安定となっていたため、降雨開始後30分以降の結果を示した。

傾向としては実験1と同様に飽和度が高く、圧力水頭の低い領域で実験値と離れて行くが、飽和に達するまでの解析値と実測値の差は5分となり、実験1のときより近い値を示した。

実験1、実験2ともに図-8を(4)式に外挿した。前項a)では流出開始時間をより実測値に近づける補正方法として、(2)式に外挿する飽和体積含水率を高めに行うことを提案した。実験2でも同様の傾向を示したことから、補正方法としては妥当なものと考えられる。しかしながら、飽和体積含水率を低めに設定したほうが流出開始が早まるため、防災上安全側の解析となることから、飽和体積含水率を0.38とした図-8の結果により、次節のシミュレーションを行った。

(4) 人工地盤の流出シミュレーション

これまでの実験と解析によって得られた数値モデルを用い、モデル降雨を発生させ、シミュレーションを行った。

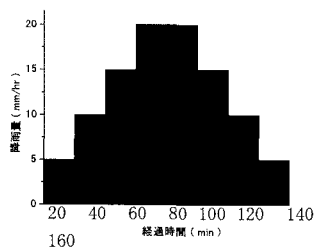


図-12 モデル降雨

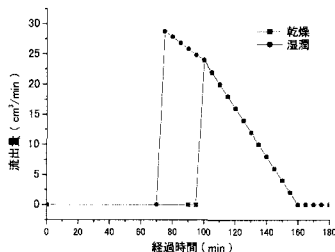


図-13 浸出水量
(層厚10cmとした場合)

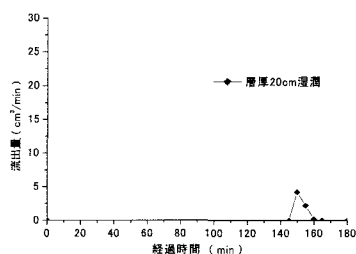


図-14 浸出水量
(層厚20cmとした場合)

本研究で用いた30cm×30cmのライシメーターを実際の屋上で使用した場合を想定し、どの程度流出の遅延効果があるのか、シミュレーションを行った。

図-12に発生させたモデル降雨のハイトグラフを示す。

図-13は初期体積含水率20%、初期圧力水頭-35cmとした場合(浸潤)と初期体積含水率10%、初期圧力水頭-45cmとした場合の結果を示した。

図-13からも分かるように、流出の遅延効果は初期体積含水率をどのように設定するかによって大きく異なってくる。初期の人工地盤の多くが植生用であることを考慮すると、圃場容水量に設定することが妥当であると考えられる。本研究で用いた豊浦砂の場合、20~30%程度となるが、乾燥の影響を考え、20%を基本条件とした。

図-14に層厚20cmとして行った計算結果を示す。貯留高が高くなり、遅延効果も向上していることが確認できる。

人工地盤で流出抑制を扱ったこれまでの研究では、実験的に貯留高を求めた物が多く、層厚や降雨開始時点の体積含水率まで言及した例は少なかった。

しかしながら、数値モデル化することにより、初期含水比の違いによる影響や層厚の違いによる影響を明確に示すことができた。

6. 結論

人工地盤の数値モデル化を目的として、豊浦砂による実験を行った。文献値による水分特性曲線の同定および不飽和透水係数の推定を行い、得られた結果を浸透流解析における支配方程式に外挿し、実験値と解析値の比較を行った。得られた知見を実験方法および解析方法の観点からまとめる。

- ① 人工地盤の貯留高は降雨開始時点の水分状態によって大きく異なる。そのため、解析および実証実験では初期含水比の設定理由について、言及することが望ましい。
- ② 人工地盤の水分特性を評価する場合、土壌のみを評価対象とするのではなく、排水層についても考慮する必要がある。その場合、テンシオメ

一タによる圧力水頭の計測が効果的である。

- ③ 豊浦砂のように透水性が高く均質に詰めやすい試料を用いると、比較的高い貯留高が見込まれ、流出遅延効果も高まる。
- ④ 人工地盤が降雨によって飽和に達すると、浸出水は急激に排出される。そのため、他の貯留施設などと組み合わせることが洪水対策には効果的である。
- ⑤ 人工地盤における水分特性のパラメータ同定および負飽和透水係数の推定には、保水性試験における浸潤過程の結果を用いると、浸透流解析において実験値に近い値を示す。ただし、体積含水率が高く飽和に近い状態では、浸入空気圧の関係で、実験値と解析値で誤差が生じやすくなる。
- ⑥ 人工地盤の水分特性を調べる場合、同じ種類の土を用いた場合でも、計測時の水分状態、層厚、密度などによって結果が異なる。そのため、土質、構造などを変化させた数値実験が効果的である。

おわりに

人工地盤の重要性が高まる一方、その評価方法は確立されていない。そのため実証実験などを行っても結果の一般性、妥当性を論じることが困難であった。本研究結果を用いることにより、比較対象用の裸地における降雨量と浸出水量を調べることで、実験値と解析値の比較が可能となった。

しかしながら、水分特性を調べる保水試験では、簡易な脱水過程のみで評価されることが多い。数値

解析を行うことを前提として、浸潤過程まで実施することが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 宇野尚雄, 神谷浩二, 田中宏路: 「空気圧入法」と「水分法」による砂の間隙径分布, 土木学会論文集, No. 603/III-44, pp. 35-44, 1998
- 2) Brooks, R.H. and Corey, A.T.: Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 92, No. 1R2, pp. 61-88, 1966.
- 3) Van Genuchten, M.Th.: A closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, pp. 892-898, 1980.
- 4) 盛谷明弘, 安藤義久, 高橋裕: ヒステリシスを考慮した雨水の不飽和浸透による地下水涵養機構に関する研究, 水文・水資源学会誌, 第3巻, 1号, pp. 37-42, 1990.
- 5) 栗生田忠雄, 吉田昭治, 中野俊郎, 山田秋夫: ヒステリシスを考慮した砂質土への降雨浸潤の基礎的研究, 農業土木学会論文集, 第175号, pp. 35-44, 1992.
- 6) 藤縄克之: 土壌水分特性曲線および不飽和透水係数のヒステリシス表現, 地下水学会誌, 第39巻, 第45号, pp. 299-312, 1997.

MODELLING OF ARTIFICIAL SOIL

Shuji TAJIMA, Ryoichi FUKAGAWA

There are some factors that influence the infiltration characteristic of the artificial soil. Therefore, in order to examine the outflow controlling effect, it is worthwhile to conduct numerical simulations rather than laboratory experiments. We tried to model mathematically the process in this study. Results indicate that the unsaturated hydraulic conductivity can be achieved by the absorption process and it has been understood that accuracy of model improves simultaneously.