

緑地の降雨の浸透能を必要な精度で簡便に 推定できる手法の検討

住宅・都市研究グループ 上席研究員 戸田 克稔

I はじめに

緑地が有する雨水貯留浸透機能を活かして流域治水を推進するには、降雨が単位時間に地表面から土壌中に浸透していく量（以下、降雨の浸透能）を、必要な精度で簡便に測定または推定できる手法が必要となる。この降雨の浸透能を比較的精度高く測定できる機器としては散水型浸透計があるが、機器が比較的大きいこと、一回の測定で使用する水量が多いこと等により簡便には行えない。一方、土壌表層の簡便な透水係数測定法として近年注目されているものに、METER社製の携帯型ミニディスクインフィルトローメータ（以下、インフィルトローメータ）があるが、降雨の浸透能の推定精度は明らかになっていない。

そこで、本研究では、インフィルトローメータによる降雨の浸透能の推定精度を検証するために、本装置を用いて算定した現場飽和透水係数と散水型浸透計を用いて算定した最大浸透能の関係を分析した。

II 研究の方法

横浜市の寺家特別緑地保全地区内の林地（A₀層有り、日常利用無し）（以下、寺林）、三ッ沢公園内の林地（A₀層無し、日常利用有り）（以下、三林）及び芝生地（日常利用有り）（以下、三芝）において、2地区ずつ集水枠（鉛直投影1 m×1 m）を設置し、2021年11月25日から12月20日にかけて実験等を行った。



写真1 散水型浸透計



写真2 インフィルトローメータ

写真1の散水型浸透計（高さ約2 m）を用いた実験は、各地区とも3パターンの散水強度で実施した。各実験では、集水枠からの流出強度が定常状態になってからの5分間における散水強度と流出強度の差分から浸透強度（終期浸透能）を算定した。また、その結果を田中らが提案している次式¹⁾(1)にフィッティングさせて、地区ごとに最大浸透能 FIR_{max} を算定した。

$$FIR = FIR_{max} \times \tanh(R/FIR_{max}) \quad (1)$$

（ FIR ：終期浸透能（mm/h）、 FIR_{max} ：最大浸透能（mm/h）、 R ：降雨強度（mm/h））

写真2のインフィルトローメータ（全長32.7 cm、-0.5～-7.0 cmH₂Oの範囲の負の圧力水頭を負荷可能）を用いた実験は、各地区とも集水枠内の5ポイントで、それぞれ3パターンの圧力水頭で実施した。各実験での測定時間は10分間とし、30秒間隔で下部チャンパー内の水面の高さを記録した。その結果をもとに、ポイントごとに、算定法1と算定法2でそれぞれ現場飽和透水係数を算定した。

算定法1では、設定した圧力水頭ごとに、METER社提供のExcelのシートに圧力水頭と土性、10分間の測定結果を入力し、自動計算で不飽和透水係数を算定する。その上で、設定した3パターンの圧力水頭と不飽和透水係数の関係をグラフ上にプロットし、Gardnerの仮定に基づく次式¹⁾(2)にフィッティングさせて現場飽和透水係数 k_{fs} を算定する。

$$k_{wu}(h) = k_{fs} \times \exp(ah) \quad (2)$$

（ $k_{wu}(h)$ ：不飽和透水係数（cm/s）、 k_{fs} ：現場飽和透水係数（cm/s）、 a ：パラメータ係数、 h ：圧力水頭（cmH₂O））

また、算定法2は、小川らが提案している次式³⁾(3)を用いる方法である。具体的には、3パターンの圧力水頭 h で定常流量 Q (cm³/s) を計測し、その結果をもとに圧力水頭 h と定常流量 $\log_e(Q/t)$ の関係をグラフ上にプロットして回帰直線を引く。本回帰直線の傾きから a を、切片から $\log_e(Q/t)$ を求め、それらを次式(3)に代入し現場飽和透水係数 k_{fs} を算定する。

$$k_{fs} = \frac{\exp\{\log_e(Q/t)\}}{\pi R^2 + \frac{4R}{a}} \quad (3)$$

（ k_{fs} ：現場飽和透水係数（cm/s）、 a ：パラメータ係数、 R ：透水ディスクの半径（cm））

III 結果と考察

III-1 散水型浸透計を用いた実験の結果

最大浸透能は、寺林Aは388 mm/h (1.1E-02 cm/s)、寺林Bは629 mm/h (1.7E-02 cm/s) と、森林地域の落葉広葉樹林と同

等の高い値となった一方で、三林は両地区とも、その10分の1以下の低い値となった。寺林Bが特に高かったのは、A層の表面に確認された直径1～3 cm程度の複数のマクロポアが要因の一つとして考えられる。また、三林が寺林に比べて低かったのは、A₀層が無くかつ日常的な踏圧等による土壌の圧縮等が要因と考えられる。三芝Aは20 mm/h (5.6E-04 cm/s)、三芝Bは36 mm/h (1.0E-03 cm/s)となったが、都立7公園の芝生地(囲地内を除く)において最大散水強度を100 mm/hとした時の終期浸透能が1～65 mm/h内外との報告もあり²⁾、都市公園内の一的な芝生地(囲地内を除く)と同程度の値と考えられる。

III-2 インフィルトロメータを用いた実験の結果

III-2-1 算定法間の比較

現場飽和透水係数(5ポイントの中央値)は、図1のとおり、算定法1に比べ算定法2の方が、全体的に約2～4倍程度高い値となった。その要因としては、算定法1で使用されている土性によって決まっているパラメータを関東ローム土等にそのまま適用することが妥当でないこと等が考えられる。よって今後、それらの妥当性等について調査していく必要がある。

III-2-2 地区間の比較

両算定法とも、寺林Bを除けば、最大浸透能の高い地区ほど現場飽和透水係数が高くなる傾向が見られた。最大浸透能が最も高かった寺林Bの現場飽和透水係数が最も高い値とならなかったのは、測定にマクロポアの影響を受けるインフィルトロメータを用いたことにより、現場飽和透水係数が過小に評価されたと考えられる。また、両算定法とも、寺林Aの現場飽和透水係数が最も高かったが、2番目に高かった三芝Bの1.7倍程度であり、両地区の最大浸透能の差が10倍程あったことに比べると差が小さい。これは、寺林Aにも地表面からは見えないマクロポアが地表面下において、その結果として現場飽和透水係数が過小に評価されたとも考えられる。

III-3 最大浸透能と現場飽和透水係数の関係

現場飽和透水係数(5ポイントの中央値)を説明変数、最大浸透能を目的変数とする線形単回帰分析を行った。結果、両算定法とも、危険率5%で有意な回帰式は得られなかったが、マ

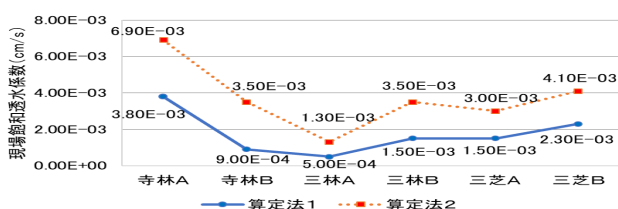


図1 現場飽和透水係数の算定結果

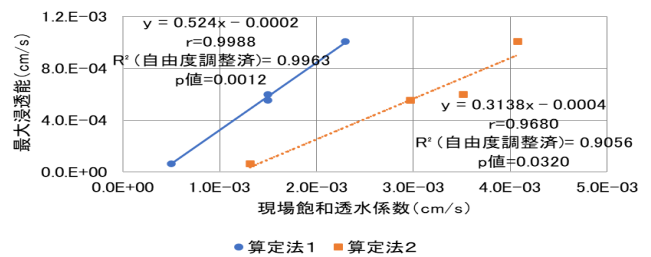


図2 最大浸透能と現場飽和透水係数の関係(寺林除く)

クロポアが目視で確認された寺林Bを除いた場合には、両算定法とも、係数は危険率5%で有意と判定され自由度調整済決定係数は0.7超と良く適合していた。また、寺林を除いた三林と三芝のみの場合には、図2のとおり、両算定法とも、係数は危険率5%で有意と判定され自由度調整済決定係数は0.9超と上記よりも良く適合していた。よって今後、さらにデータを蓄積し精査していく必要はあるが、インフィルトロメータを用いて算定した現場飽和透水係数から最大浸透能を推定する場合、寺林のようにマクロポアがごく普通に存在する緑地での推定精度は安定しないものの、マクロポアが無い緑地であれば、良好な精度で推定できる可能性があると考えられる。

IV まとめ

マクロポアが無い緑地であれば、インフィルトロメータを用いて算定した現場飽和透水係数から最大浸透能を良好な精度で推定できる可能性があることが分かった。この成果を社会実装に繋げていくには、さらにデータを蓄積し精査していく必要がある。このほか、現場飽和透水係数の2つの算定法間で算定結果に大きな差があることも分かった。今後、その要因等についても調査していく必要がある。

引用文献

- 1) Gardner, W. R. (1958) Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table, Soil Sci., 85: 228-232
- 2) 北野茂夫 (1999) 都市公園の表層浸透特性、平成11年東京都土木技術研究所年報、77-88
- 3) 小川大輝、酒匂一成、伊藤真一 (2020) 携帯型ミニディスクインフィルトロメータから算定される現場透水係数の精度向上に関する検討、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要、2-003 5-6
- 4) 田中茂信、時岡利和 (2007) 現地散水実験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、III-405