

インフィルトロメータを用いた都市内緑地の現場透水係数の算定方法に関する一考察

東京都立大学院 都市環境科学研究科 学生会員 ○平林 空
 東京都立大学院 都市環境科学研究科 正会員 屋井 裕幸
 東京都立大学院 都市環境科学研究科 正会員 今村 能之
 東京都立大学院 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄
 東京都立大学院 都市環境科学研究科 学生会員 村上 遼
 (公社) 雨水貯留浸透技術協会 正会員 益田 宗則

1. はじめに

近年、都市化や気候変動、人口構造の変化に伴い治水対策は従来の対策では、実質的な治水安全度を確保することが難しく、流域治水への転換が求められている。特に、人口構造の変化により社会基盤構造物の維持管理に対して人的・経済的コストの増加、都市化による不浸透域の拡大、地球温暖化によって極端な気象現象が頻発していることへの対応が課題である。こうした背景から、これまで主流であったグレーインフラと称されるような社会基盤構造物に加えて自然の力・機能を用いたグリーンインフラを活用することも重要であると考えられる。例えば、治水のためグリーンインフラとして都市内緑地などを活用できれば、大雨の時にだけ利用される貯留施設などより、常時かつ多目的利用ができ、雨水をその場で処理し、省資源や生活環境改善にも寄与できるといえる。しかしながら、現場での雨水浸透・保水能力評価のための調査には、時間と費用が掛かることに加えて、植生や斜面勾配、土壌特性などの様々な要因を加味しなければならない。特に、都市公園などに利用されている緑地での雨水浸透能力は、踏圧の影響を受けやすいという特徴がある。保水能力は表層土壌の浸透能や透水性に大きく支配されるが、ほとんどの都市内緑地において、前述した要因などから表層の透水係数の評価や保水能力の定量化が進んでいないのが現状である。

以上を踏まえ、本研究では、まず現場での浸透能力に着目することにした。表層土壌の透水係数を簡便に計測する方法のひとつとして、北米で広く普及している携帯型ミニディスクインフィルトロメータ（負圧浸潤計）に着目し、日本の土壌に対する適用性について検討を行った。インフィルトロメータ法では、北米の土性（USDA）によって予め決められた特性値（パラメータ）を用いて透水係数が算定されるので、本特性値が日本の土性にも適用可能であるかが重要となる。

2. 計測方法および使用データ

現場浸透能力における試験方法の代表的なものには、①ボアホール法、②散水試験、③（携帯型ミニディスク）インフィルトロメータ法がある。各計測法を各項目でまとめたものを表-1に示す。

インフィルトロメータ法が、他の2法に比べて簡便かつ低コストであり計測時間も非常に短い。本計測方法は、Philip (1957~1958) の浸透理論に基づく近似式(1)を用いるものである。なお、経過時間を t とし、30秒ごとに計測した積算浸潤高 $f(t)$ (cm) と \sqrt{t} との関係プロットしたものを式(1)にフィッティングし、透水係数に関する係数 C_1 を求め、土性に因る（疑似飽和）透水係数 k を式(2)で得る。また、パラメータ A は、式(3)に土性によって既に決まっている α と n (表-2 参照) と測定時のサクション h とミニディスクの半径 r ($=2.25$ cm) の各値を代入することで求められる。ただし、表-2 の A はサクションが -1 cm の場合を例に示したものである。

表-1 透水係数等に関わる現場試験方法

試験法	計測項目	計測時間 ※準備時間も含む		費用 (円/箇所) ※機具・水の準備費も含む	必要な水の量 (水の計測あたり)	計測人数 (人)	計測状況
		(個/日)	(分/個)				
ボアホール法	地盤の透水係数	2	60~120	100,000~150,000	1㎡	3~	穴さえ掘ればどこでも計測可能
散水試験	表層の浸透能	2	30	200,000	1㎡	3~	10°以上の傾斜を要する
インフィルトロメータ法	表層の透水係数	15~25	15~20 ※日視	60,000 ※初期費用のみ	500ml	1~	器具を置く面の植生・雑草に影響を受け易い

$$f(t) = C_1 t + C_2 t^{\frac{1}{2}} \quad (1) \quad k \text{ (cm/sec)} = \frac{C_1}{A} \quad (2)$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp [2.92(n - 1.9)ah]}{(ar)^{0.91}} \quad (n \geq 1.9), \quad \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp [7.5(n - 1.9)ah]}{(ar)^{0.91}} \quad (n < 1.9) \quad (3)$$

次に、こうした土性に因らないで飽和透水係数を求める方法として、小川ら(2020)が式(4)を提案している¹⁾。最低3つ以上の異なるサクション値 h_i で積算浸潤量 Q_i を実測し、サクション値と定常状態の浸潤量 $\log_e(Q_i/t)$ をプロットし回帰直線を引く。その回帰直線の傾き a と切片 $\log_e(Q_{h=0}/t)$ を式(4)に代入して（現場）飽和透水係数 k_{fs} を得る。

$$k_{fs} = \frac{\exp [\log_e (\frac{Q_{h=0}}{t})]}{\pi r^2 + \frac{4r}{a}} \quad (4)$$

インフィルトロメータでの計測は図-1 に示す①豊洲公園（東京都江東区）、②寺家ふるさと村（神奈川県横浜市）、③三ツ沢公園（神奈川県横浜市）の3地点で約130のデータを収集した。（表-3 参照）なお、①および②、③の共同研究が未発表のため、②、③のうち共同研究と並行して自ら実施したデータを用いて検討を行った。土性について、簡易な判定方法である指頭法により測定場所の土性を表-2 の Sandy clay loam と仮定した。

3. インフィルトロメータ法を用いた計測結果と考察

本研究では、②特別保全緑地内の樹林地と③都市公園内の芝生地・林地の3種類の土地利用形態の飽和透水係数を算出した場合の結果を用いて考察を行う。ただし、③の都市公園内の芝生地および林地は、踏圧の影響を受けている。一方、樹林地で中低草木が繁茂し、踏圧の影響を受けていない。斜面勾配は、樹林地で約20~22°、芝生地で9°、林地で10~16°とそれぞれ異なる。（表-3 参照）

式(2)と式(4)により得られた飽和透水係数を、図-2 に示す。概ね、式(2)と式(4)が等価となる45度線近くに各地点の値が集中したが、図-2 に示す芝生地のGで式(4)の値が明らかに大きな値をとり45度線から外れた。図-3 に各サクシオンと定常浸潤量 $\log_e(Q_i/t)$ の関係を示す。全地点で寄与率 R^2 を表示し、全ての芝生地では、式(4)に代入する勾配 a と切片 $\log_e(Q_{h=0}/t)$ を表す回帰式も表示した。45度線から大きく外れたGを除いた場合、 R^2 の値から芝生地、林地、樹林地の順で斜面勾配が大きい程データのばらつきがあると判った。

図-2 から式(2)、式(4)の両算定方法で飽和透水係数の大きな乖離はみられなかった。すなわち異なる斜面勾配や土地利用形態、踏圧の影響を加味しても、インフィルトロメータを用いた両算定方法で概ね同一の結果が得られることが判った。但し、45度線から外れた芝生地のGでは、図-3 に示すようにサクシオン-1cmの値が異常値をとったために、回帰式の傾き a と切片 $\log_e(Q_{h=0}/t)$ に大きく影響したと想定される。以上から、土性によらない算定方法である式(4)では、異常値を出すデータに結果が大きく左右され、飽和透水係数が過大もしくは過小評価され易いといえる。そのため、サクシオンの範囲を大きくとる、同地点で調査地点を増やすなどして異常データの棄却を行い、精度を高める必要がある。また、本試験では簡易的な判定法で土性を仮定したため、土壌分析による土性の確認も必要であると考えられる。加えて、実際の土壌の圧力水頭値とインフィルトロメータにおけるサクシオン値については検討が必要である。

表-2 土性によるパラメータ

土性区分 (USDA)	r[cm] = 2.25		A
	α	n	h = -1 [cmH ₂ O]
sand	0.145	2.68	2.40
loamy sand	0.124	2.28	2.79
sandy loam	0.075	1.89	3.89
loam	0.036	1.56	5.72
silt	0.016	1.37	8.18
silt loam	0.02	1.41	7.37
sandy clay loam	0.059	1.48	3.52
clay loam	0.019	1.31	6.11
silty clay loam	0.01	1.23	8.09
sandy clay	0.027	1.23	3.57
silty clay	0.005	1.09	6.17
clay	0.008	1.09	4.10

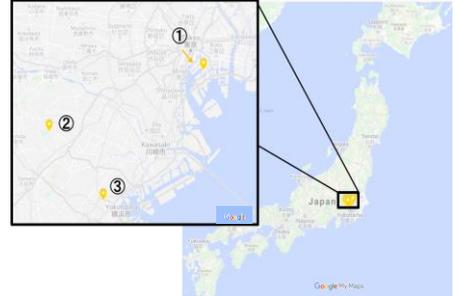


図-1 計測地点

表-3 各地点の特徴とデータ数

場所	土壌	斜面勾配	土地利用形態	観測データ数
①	関東ローム	ほぼ平坦	芝生地	69
②		19.60°~22.00°	樹林地	43
③		芝生: 8.70° ~ 8.75° 林地: 10.45° ~ 15.95°	芝生地・林地	19

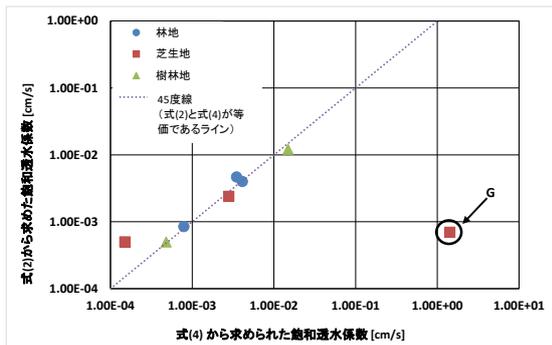


図-2 両計算法による飽和透水係数の比較

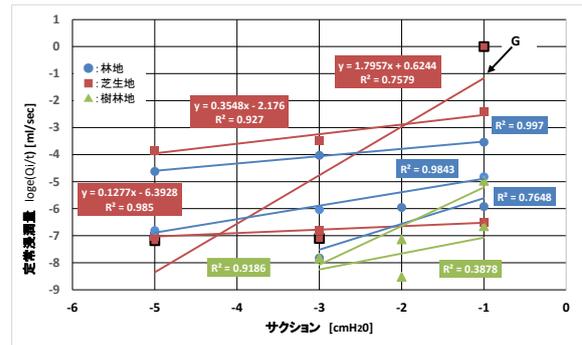


図-3 各地点のサクシオンと定常浸潤量での回帰直線

4. むすび

今回仮定した条件では、理論値を用いる式(4)の値と、推定した土性によるパラメータを用いた式(2)の飽和透水係数が概ね一致した。

なお、豊洲(①)の試験は(公財)都市緑化機構のグリーンビジネスマネジメント共同研究会、横浜(③、④)の試験は(国研)建築研究所、大都市都市公園機能実態共同調査の一環で行っているが未発表であるため、公表後には残りのデータについても検討を行い、インフィルトロメータの日本の土壌への最適算定法を確立したい。

参考文献

1) 小川 大輝, 酒匂 一成, 伊藤 真一: 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, 2020.