

緑地が有する雨水浸透能力に関する既存研究の整理

金 甫炫・大石智弘・松本 浩

1. はじめに

国土強靱化年次計画2020においては、氾濫を防ぐため、しみこませる、ためる対策をグリーンインフラ関係施策と併せて推進することとされた。

また、令和3年に公布された特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律でも、雨水の貯留浸透機能を有する都市部の緑地の保全は、氾濫をできるだけ防ぐための対策の一つとされ、特別緑地保全地区の指定要件として雨水貯留浸透地帯が明確化された。このように、緑地は、浸水被害対策の一つとして注目されているが、下水道施設等と違い、その機能が定量的に示されていない。

国土交通省国土技術政策総合研究所緑化生態研究室では、緑地の雨水貯留浸透機能を含めた多様な機能(効果)の評価について、国内外の事例調査を踏まえ国内で活用可能な評価手法の研究に取り組んできた。

本稿は、緑地が有する雨水浸透能力を示す指標である最終浸透能について、関連する既存研究の

最終浸透能の算出手法や影響する要因等を整理し、既存研究結果の活用方法について検討を行った内容を報告する。

2. 調査内容

2.1 調査対象

緑地における浸透能力の実測方法は、散水型浸透能試験、冠水型浸透能試験、流水型浸透能試験等がある。流水型浸透能試験は、丘陵地や斜面の上端から水を流下させる方法であり、公園緑地等、勾配の少ない場所での実測には向いていない。

そのため、本研究では、散水型浸透能試験や冠水型浸透能試験を行った既存研究の中で、降雨後時間の経過とともに一定値に安定した時の浸透能力を示す最終浸透能を算出したものを対象とした。

さらに、実測方法や土地被覆毎(樹林、農地、芝生等)の結果の違いが検討できるように、実測方法が明記されており、表土や土壌を乱していない状態で、土地被覆毎に実測を行ったものを選定した(表-1)。

表-1 調査対象既存研究リスト

番号	文献名	著者・発行元	発行年	実測方法
①	都市河川流域の表層浸透特性	守田優・安藤義久・和泉清：第32回水理講演会論文集、59-64	1988	散水型 冠水型
②	都市緑地における種組成の変異が雨水涵養機能に与える影響に関する研究 -新宿区おとめ山公園を対象として-	吉田葵・林誠二・石川幹子：都市計画論文集Vol.48 No.3、1011-1016	2013	散水型
③	流域地表面の浸透能測定法の相互比較	高橋裕・安藤義久・盛谷明弘：水利科学29(1)、35-44	1985	散水型 冠水型
④	ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(1)散水型浸透計による野外実験	湯川典子・恩田裕一：日林誌77(3)、224-231	1995	散水型
⑤	振動ノズル式降雨実験装置を用いた荒廃ヒノキ人工林における浸透能の野外測定	加藤弘亮・恩田裕一・伊藤俊・南光一樹：水文水資源学会誌第21巻第6号、439-448	2008	散水型
⑥	都市域の浸透能と地形・土質・土地利用との対応関係	安藤義久：水工学論文集第35巻、123-128	1991	散水型
⑦	荒廃したヒノキ人工林における浸透能測定法の検討	恩田裕一・辻村真貴・野々田稔郎・竹中千里：水文水資源学会誌第18巻第6号、688-694	2005	散水型
⑧	林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)-森林状態の差異が地表流下、浸透および侵食に及ぼす影響-	村井宏・岩崎勇作：林試研報Bull.Gov.For.Exp.Sta.No.274、23-84	1975	散水型 冠水型
⑨	熊本地下涵養域の林地、畑地における浸透能力について	吉井貴紀・市川勉：東海大学紀要産業工学部1、67-73	2008	冠水型
⑩	圃場整備に伴う水田浸透量の変化	前川俊清、丸山利輔：農業土木学会誌51巻10号、951-957	1983	冠水型
⑪	関東ローム丘陵・台地における土地利用別の浸透能	安藤義久・菅明芳・岡本哲夫・浅羽晴夫：水利科学、第26巻、第5号、1-23	1982	冠水型
⑫	水土保全に配慮した林業を ~浸透能のはなし~	阿部友幸：光珠内季報No.181、1-4	2017	冠水型
⑬ 参考	現地散水試験による流出・浸透特性の把握手法に関する検討	田中茂信・時岡利和：土木学会第62回年次学術講演会、5-6	2007	散水型

2.2 実測方法

表-1の既存研究で使用された実測装置の規格、散水（冠水）条件、実測結果を用いて最終浸透能を算出した方法を表-2に整理した。

散水型浸透能試験は、2m程度の高さから散水し、地面に設置した1m程度の枠から流出した水の量を実測する方法であり、散水装置の高さや、散水する時間や量等がそれぞれ異なる。

冠水型浸透能試験は、円筒を地面に打ち込み水を冠水し、その水位の減りを計測する方法である。シングルリング法、ダブルリング法等があるが、算出方法はそれぞれ異なる。

これらの方法は、横浸透等は殆ど考慮しないため、調査箇所周辺の土壌が乾燥し、空隙が多い場合は、他より浸透能が高くなる可能性がある。

3. 調査結果と考察

3.1 実測条件と最終浸透能

各文献で示している土地被覆毎の最終浸透能を表-3に整理した。

実測方法では、散水型浸透能試験に比べて冠水型浸透能試験による最終浸透能の計測結果の方が、実測値が大きく、バラツキも大きかった。そのため、方法が異なる結果の使用は注意が必要である。

土壌条件では、透水性が高いとされるローム土壌での実測結果のほうが、他の土壌条件での結果より高いことが確認できた。

地形条件では、文献⑩において、冠水後、丘陵地の樹林地が350～1,000mm/h、台地が680～1,900mm/hであり、台地の最終浸透能が大きい。これに対し、文献⑥では、散水後、丘陵地の運動場が5～8mm/hで、低地・台地が0～7mm/hで、台地の最終浸透能が小さい結果となった。これは、運動場の低地・台地は、山地より踏み固められやすい環境であることが原因として考えられる。

散水時間では、1時間以下が多い。しかし、文献①において、散水3時間後、最終浸透能より浸透能が小さくなることが確認できた。つまり、長時間継続する降雨時における最終浸透能は、実測結果と異なる可能性がある。そして、樹林地では、林内で生じる大きな雨滴衝撃の影響もあるため、これらの条件を踏まえて調査することが望ましい。

3.2 土地被覆毎の最終浸透能

樹林地では、散水時間等の条件によって結果が大きく異なるが、落葉広葉樹林での最終浸透能が最も大きい。最終浸透能が小さくなる原因は、下層植生やリター層（堆積した葉等）が発達していないこと、地表が裸地化したこと、過剰に落葉が堆積し菌糸が厚く発達したこと等が考えられる。

公園や庭の裸地での浸透能23～85mm/hに比べて、運動場や盛土等での浸透能は0～10mm/hと小さく、このように浸透能が小さい土地は、降雨強度が変化しても最終浸透能がほぼ一定であった。

表-2 各文献での実測方法と浸透能の算出方法

番号	実測方法	規格	散水（冠水）条件	浸透能算出方法
①	散水型	高2.22m×幅3.5m	中央集中型波形、30～100mm/hの範囲で20分毎に変化	降雨20分間のうち浸透能が定常となる後半10分間の浸透能を計測
	冠水型	直径30cm、45cmの二重円筒、マリオットタンク	計測1時間、冠水深10cm ダブルリング法	最初の10分間は1分ごとに計測し、残り50分は5分ごとに計測
②	散水型	高2m×縦1m×横1m	160mm/h(継続時間2時間)と240mm/h(同30分間)2回繰り返す	計測結果を文献⑩の方法で補正し、最終浸透能を推定
③	散水型	高1.4m×幅0.6m	降雨強度の記載なし 計測時間1時間	定常状態になった時点の浸透能を11回計測
	冠水型	①同様	①同様	①同様
④	散水型	縦1m×横1m	平均散水時間26分（400-500mm/h程度、10分ほどで一定値に漸近）	計測終了前5分間の平均値を最終浸透能
⑤	散水型	高2.15m×縦1m×横1m	散水時間20～25分（180mm/h程度）	②同様
⑥	散水型	縦1m×横1m	散水時間1時間、40-50mm/hr	散水開始60分後の浸透能を計測
⑦	散水型	高12mのやぐらの2m上にスプリンクラー設置	人工降雨実験を4回実施 ・65分間41mm/h散水 ・47分間45mm/h散水 ・26分間45mm/h散水 ・34分間35.7mm/h散水	林冠上から散水を実施、浸透能を計測（ポラスカップを用いた簡易採水法）
⑧	散水型	幅1m×斜面長1.5m	平均降雨強度180mm/h 散水時間記載なし	12回の実験結果を平均して算出 具体的評価方法は記載なし
⑨	冠水型	二重円筒	正圧冠水試験 ダブルリング法	浸透する高さの変化を計測、水位低下曲線で十分時間経過した時点が最終浸透能
⑩	冠水型	直径15cmの漏水量迅速測定器	正圧冠水試験	1筆の水田浸透量は、30箇所の地点を測定した平均値
⑪	冠水型	①同様	①同様	①同様
⑫	冠水型	直径30cmの金属円筒	正圧冠水式透水試験	180分間に数十回、水面の高さを計測 具体的評価方法は記載なし

畑や果樹園では、耕起が行われている農地の最終浸透能の結果が41~426mm/hで、遊休農地の7~203mm/hより高かった。

耕起しないことで浸透能力が低下したことが推測できるが、冠水型浸透能試験結果のみであるため、さらなる検証が必要と考えられる。

水田では、水を張って耕作を行う特性上、田面の保水力を維持する必要があるため、最終浸透能の結果が0~1.7 mm/hで小さかった。

水田は、運動場や盛土等と同様に小さい浸透能を有するが、両方とも雨水を貯めこむ貯留機能を取り入れ評価することも可能である。

表-3 土地被覆毎の最終浸透能と考察

土地被覆	最終浸透能 mm/h	実測回数	文献	実測エリアの土質・地形と実測結果に対する考察		
林	63~65	1回	①	・ローム・丘陵地での実測、降雨波形が100mm/hであり、最終浸透能が小さい。 ・散水後3時間経過時点では、最終浸透能より浸透能が小さくなる。		
落葉広葉樹林	散水	215~230	4回	②	・ローム・台地での実測、透水性が高いとされるローム土壌での計測結果である。 ・使用した散水型降雨浸透計は、林内で生じる大きな雨滴衝撃の影響を再現できず、浸透能が過大評価になっている可能性がある。	
	冠水	60~1,400 439~797 350 ~1,900	7回 5回 5回	① ⑨ ⑩	・ローム・丘陵地での実測、冠水型による計測値は、散水型を大きく上回る。 ・ローム・丘陵地での実測、透水性が高いローム土壌での計測結果である。 ・黒土とローム・丘陵地と台地での実測、 <u>丘陵地(350~1,000 mm/h)より台地(680~1,900 mm/h)での実測結果が大きい。</u>	
樹林地	常緑広葉樹	散水	144 平均83 中央72	1回 11回	② ③	・ローム・台地での実測、同様に実施した落葉樹林と比べ下層植生やリター層が発達しないことが、最終浸透能が小さくなる要因と考えられる。 ・ローム・台地での実測、降雨強度の条件が記載されていない。
	冠水	平均186 中央94	11回	③	・実測結果は、50~400 mm/hであるが、平均・中央値で結果を示している。	
針葉樹林	散水	149~418	10回	④	・花崗岩と中生古生層・山地での実測、下層植生及びリターの量と最終浸透能が正の相関を示す。	
	散水	39~466	7回	⑤	・結晶片岩・堆積岩互層、砂岩泥岩互層、花崗岩・山地での実測、地表が裸地化したヒノキ林では、雨滴の影響で浸透能が39 mm/hまで低下する。	
		26~34 125	4回 12回	⑦ ⑧	・花崗岩・山地での実測、降雨条件35~45mm/hでの結果である。 ・火山灰・山地のサンプリング実測、結果を平均して最終浸透能を算出。	
	冠水	232~640 307~422	3回 90回	⑨ ⑫	・ローム・丘陵地での実測、足元に高50cm程度の笹が繁茂した箇所は640 mm/h。 ・火山噴火・山地での実測、堆積物で構成される土壌での結果あり、過剰に落葉が堆積したことによる菌糸の発達を実測結果のバラツキの原因。	
草地・芝地	散水	18~23	6回	①	・ローム・丘陵地での実測、草地のような比較的浸透能が小さい土地は、降雨強度が変化しても最終浸透能はほぼ一定である。	
	冠水	芝4~210 草93~294	7回 10回	① ①	・ローム・丘陵地の多摩地区で実測、同じ土地被覆条件でも大きなバラツキを示す。 ・ローム・台地の公園で実測、同じ調査範囲3m×3m内でも大きなバラツキを示す。	
		芝0~600 草0~650	13回 9回	⑩ ⑩	・芝生の圃場等人の立入が制限される区域では、浸透能が200mm/h以上となる一方、子供の遊び場になっている区域、水みちでは、浸透能が0~10mm/hとなる。	
裸地・間地	散水	2~8 0~34	10回 15回	① ⑥	・ローム・台地の公園で実測、降雨強度が変化しても最終浸透能がほぼ一定である。 ・ロームと沖積土・台地で実測、ロームの場合は最終浸透能が大きくなる傾向。	
	冠水	8~114 23~85	10回 7回	① ⑩	・ローム・台地の公園で実測、同じ調査範囲3m×3m内でも大きなバラツキを示す。 ・寺社の裸地、民間の間地で最終浸透能が0mm/hとなるケースがあり、造成に伴う締固めと人の踏み固めの影響と考えられる。 ・同じ区画を対象に散水型と冠水型で計測した結果、冠水型による計測値が散水型を大きく上回る。	
樹林地以外	運動場	散水	4~6 0~8	1回 9回	① ⑥	・ローム・丘陵地で実測、降雨強度が変化しても最終浸透能がほぼ一定である。 ・砂・台地、丘陵地で実測、地形条件が低地・台地の場合(0~7mm/h)は丘陵地の場合(5~8mm/h)より最終浸透能が小さくなる傾向。
	冠水	3~40 0~10	9回 9回	① ⑩	・ローム・丘陵地で実測、同じ調査範囲でも大きなバラツキを示す。 ・同じ調査範囲を対象に散水型と冠水型で計測した結果、冠水型による計測値(3~40mm/h)が散水型(4~6mm/h)を大きく上回る。 ・砂混じりローム・台地で実測、 <u>公園の裸地、庭の裸地での浸透能(23~85mm/h)と比較して0~10mm/hと小さい。</u>	
盛土・造成地	散水	1~7 0~9	15回 3回	① ⑥	・ローム・丘陵地で実測、降雨強度が変化しても最終浸透能がほぼ一定である。 ・土丹・丘陵地の造成地で実測、踏み固め等人為的な表層条件の変化により最終浸透能が大きく低下(0mm/h)。	
	冠水	2~70 0~7	15回 3回	① ⑩	・ローム・丘陵地で実測、同じ調査範囲内でも大きなバラツキを示す。 ・ローム・丘陵地で実測、踏み固め等人為的な表層条件の変化により最終浸透能が大きく低下(0mm/h)。	
農地(畑等)	冠水	130~1,430 7~426	9回 8回	① ⑨	・ローム・丘陵地で実測、同じ調査範囲でも大きなバラツキを示す。 ・ローム(黒ボク)・丘陵地で実測、 <u>耕起が行われた農地(41~426mm/h)は行われていない農地(7~203mm/h)に比べ浸透能が高い。</u>	
	冠水	190 ~1,200	10回	⑩	・ロームと黒土・丘陵地で実測、畑の通路部の浸透能は190mm/hと調査範囲の他の畑(400~830mm/h)より小さい。 ・同じ黒土・丘陵地で、畑地は190~830mm/h、果樹園は400~800mm/hであった。	
(水田)	冠水	0~1.7	95筆の水田計測	⑩	・砂礫質と粘土質・台地で実測、時間換算で2mm/h以下と浸透能は小さい。 ・水田では、大型土木機械による踏圧等により圃場の下層土が硬くなって耕盤が形成される。また、水を張って耕作を行う特性上、田面の保水力を維持する必要があるため、畑地と比較して浸透能が小さい。	

表-4 実測結果に影響を及ぼすと考えられる要因

要因	内容	文献	
表層の状態	樹林地における大きな雨滴	樹林地では、樹冠を通過した大きな雨滴の衝撃で形成される <u>土壌クラスト</u> （土壌表面に形成される堅密な薄層構造）の影響により、最終浸透能が低下する。 通常の散水型透水性試験の場合、大きな雨滴が生じないために最終浸透能が実態より過大評価になる可能性がある。	⑤
	下層植生 リター (地面に堆積した葉、枝等)	地表の下層植生、リターが乏しい樹林地では、雨滴衝撃による最終浸透能低下の影響が大きい。 林内の大きな雨滴を再現した実験で、地表が裸地化したヒノキ林では最大最終浸透能が39mm/hまで低下する結果が得られている。	⑤
	踏み固め等人為的表層条件の変化	運動場、間地、盛土・造成地の場合、実験ケースによって最大最終浸透能が0mm/hとなる結果も得られている。 踏み固め等の人為的な表層条件の変化によって、最大最終浸透能が大きく低下する可能性がある。	① ⑥ ⑩
表層下の条件	土質	表層地質の孔隙率が高いほど浸透能が大きくなる傾向がある。 同じ土地被覆条件でも、粒形の大きいローム層や砂礫層では浸透能が大きくなる傾向がある一方で、沖積低地や人工改変地等では、浸透能が小さくなる傾向がある。	⑥
	地形	同じ土地被覆条件でも、地形条件が低地・台地の場合は丘陵地の場合より最終浸透能が小さくなる傾向にある。 低平地では地盤高が地下水面の高さに近い場合が多いことが、最終浸透能の小ささに影響している可能性がある。	⑥
	地下水位※	地下水位の高い土地は、浸透能力が減少する。浸透能力への影響度合いは、地下水位と浸透施設の底面との距離によって決まり、地下水位は周期的に変動する（低水位期、高水位期）。	—
降雨条件	降雨強度	樹林地のような浸透能が大きい土地では、降雨量の増加に伴い最終浸透能が増加する。最終浸透能は降雨強度が十分大きい場合の結果（最終浸透能）であり、数十mm/h程度の降雨時における実際の最終浸透能はより小さくなると考えられる。 最終浸透能の計測結果から、任意の降雨強度条件における最終浸透能を推定する手法が提案されている。	① ⑬
	降雨継続時間※	文献では、30分～2時間程度の散水試験に基づき最終浸透能が評価されている。そのため、長雨時の最終浸透能に対する適用性については別途検証することが望ましい。	—
その他	農地については、散水型浸透能試験を行った事例は、見られなかったため、当該土地被覆における最終浸透能は、現地計測等により別途検証することが望ましい。そして、営農状況によっても、土地被覆の状況は様々であるため、現地計測によって、最終浸透能を計測することが望ましい。	⑨ ⑩	

※文献に直接記載は無いが、雨水浸透能力の検討において必要な条件

3.3 実測結果に影響を及ぼすと考えられる要因

本研究で把握できた実測結果に影響する要因を表層、表層下、降雨条件に分けて表-4に整理した。

表層の状態は、大きな雨滴の衝撃で形成される土壌クラストの影響、地面に堆積した葉等があり、表層下の条件は、土質、地形等、降雨条件は、降雨強度等がある。これらの情報は、各研究で示している最終浸透能を活用する上で最も重要な情報であり、流出解析等に使用する際には、地下水位や実測での降雨継続時間等も確認する必要がある。

4. まとめ

本稿では、既存研究での緑地が有する最終浸透能の算出手法等を整理した。既存研究結果を活用する場合は、表-4に示した実測条件の違いを考慮する必要がある、検討する対象地と類似した条件で行った研究を選び、実測結果が適切であるか十分検討した上で活用することが望ましい。

本研究で整理した内容を踏まえ、今後緑地が有する雨水浸透能力の明確化、及びその機能を維持、改善する方策について調査研究を行う予定である。

金 甫炫



国土交通省国土技術政策総合研究所
社会資本マネジメント研究センター
緑化生態研究室
研究官、博士（農学）
Dr. KIM Bohyun

大石 智弘



研究当時 国土交通省国土技術政策
総合研究所 社会資本マネジメント
研究センター 緑化生態研究室長、
現 内閣府沖縄総合事務局開発建設
部 公園・まちづくり調整官
OISHI Tomohiro

松本 浩



国土交通省国土技術政策総合研究所
社会資本マネジメント研究センター
緑化生態研究室長
MATSUMOTO Hiroshi