

土地利用別の浸透能に関する現地実験と考察

On Infiltration Capacity of Various Land-use Areas

東京大学工学部 土木工学科	正 員	安藤義久
三井共同建設コンサルタント	正 員	○岡本哲夫
東京大学大学院	学生員	金尾健司
東京大学大学院	学生員	管 明芳

1 はじめに

浸透は、降水から流出への過程の中で、重要な過程の一つであり、従来から多くの研究が様々な観点から行われてきている。わが国においては、近年、流域の都市化の進行により流出機構が変化し、そのことが都市水害の頻度や規模を増大させていることが指摘されている。都市水害の対策として、河道の改修だけでなく、流域内の雨水貯留や土地利用規制を含む「総合治水計画」の考え方が登場してきた。河道だけでなく、流域全体へ治水機能を配分する場合に問題となるのは、流域内の土地利用の浸透能をどの程度と評価したらよいかという点である。各土地利用別の浸透能の評価は、洪水流出解析における各土地利用の損失の評価と浸透型雨水貯留の可能性の評価につながる。本稿では、上記のようなねらいのもとに、多摩ニュータウンにおいて行なった土地利用別の浸透能の現地実験とその考察について述べる。なお、本研究は、井出・松下・安藤・岡本の研究¹⁾を発展させたものである。

2 浸透能の測定方法

中野²⁾は、浸透計による浸透能の測定方法を次の3つに分類している。

- (1) 冠水型浸透計による方法
- (2) 流水型浸透計による方法
- (3) 散水型浸透計による方法

本研究では、比較的实施が容易な冠水型浸透計（二重円筒浸透計）により、浸透能を測定する。冠水型浸透計による浸透能測定は、森林水文学と農業水文学の方面では広く普及しているので得られた結果を比較しようという点でも有利である。

冠水型浸透計による浸透能測定は、図1に示すように、円筒を設置する方法によるもので、地表流下を阻止した状態で単位時間当りの供給

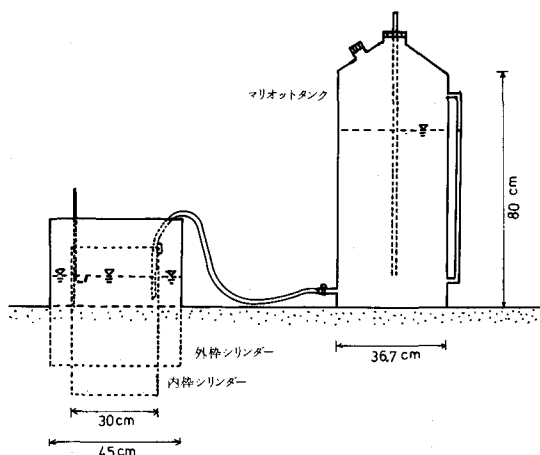


図1 冠水型浸透計の概要

水量を測定する方法である。供給水量の測定は、マリOTT・タンクによって行なう。このタンクは器内に貯えた水量の変化にかかわらず、常に一定の水圧で給水するものである。実験の手順は、次のとおりである。

- (1) 実験対象地点を選定し、内枠シリンダーと外枠シリンダーを打込み、マリOTT・タンクを設置する。
- (2) マリOTT・タンク内に注水する。マリOTT・タンクからホースによりフック・ゲージをつけた内枠シリンダーに給水し、内枠シリンダー内の水位が一定の水深（約10cm）になり、安定するのを待つ。外枠シリンダー内にも注水する。
- (3) 浸透能の測定を開始する。測定時間は、原則として1時間であり、最初の10分間は1分毎に測定し、残りの50分間は5分毎にマリOTT・タンクの水位と内枠シリンダー内の水位を測定する。
- (4) 実験対象地点の近傍で、100 cc サンプラーに土の試料を採取する。

3 浸透能の現地実験の実施地点の概要

図2には、浸透能の現地実験の実施地点の位置図を示すが、今回対象とした地域は、多摩川水系乞田川流域内の多摩ニュータウンの中でも最も初期に開発された永山および諏訪地区が主である。地点番号が㍿1から㍿23までの全部で23地点で、浸透能の現地実験を行なった。図2には22地点の位置が示されているが、図中に示されていない㍿11は、多摩ニュータウン内の八王子市別所の長池上流の未開発地である。

表1には、浸透能の現地実験の実施地点の土地利用と表土の一覧表を示す。土地利用別にみると、

- (1) 林地…㍿9, 11,
- (2) 果樹園…㍿16, 17,
- (3) 畑地…㍿12, 13,
- (4) 造成地…㍿14, 15, 18,
- (5) 道路法面…㍿4, 5, 20,
- (6) 芝生地…㍿1, 6, 10, 19, 23,
- (7) 草地…㍿7, 8, 21, 22,
- (8) 運動場…㍿2, 3

という内訳である。表土は、ほとんどがロームが主体であり、一部に稻城砂がみられる。

4 浸透能の表示式

浸透能の表示式の中で、最も代表的なものは、Horton式であり、次式で表わされる。^{3),4)}

$$i = i_c + (i_0 - i_c) \exp(-nt) \dots\dots ①$$

ただし、 i : 時間 t 経過後の浸透能、 i_c : 最終浸透能、 i_0 : 初期浸透能、 n : 定数、 t : 時間である。

なお、既往の浸透能の表示式は、Dunin⁵⁾がレビューし、分類整理しているように、多数あるが、本研究では上記のHorton式を用いる。その理由は、Musgrave, Holtonらの実験結果をDunne⁶⁾が最終浸透能を指標にして、土地利用・表土別に整理しているのに準じて、本研究でも最終浸透能を指標として扱うので、最終浸透能を式中含むHorton式を用いる。

5 浸透能の実験結果と考察

ここでは、浸透能の実験結果と考察について、Horton式の適合性、土地利用別の浸透能、および浸透能と表土の土質との対応関係に分けて述べる。

5-1 Horton式の適合性

図3(a)～(h)には、浸透能の実験結果の代表例

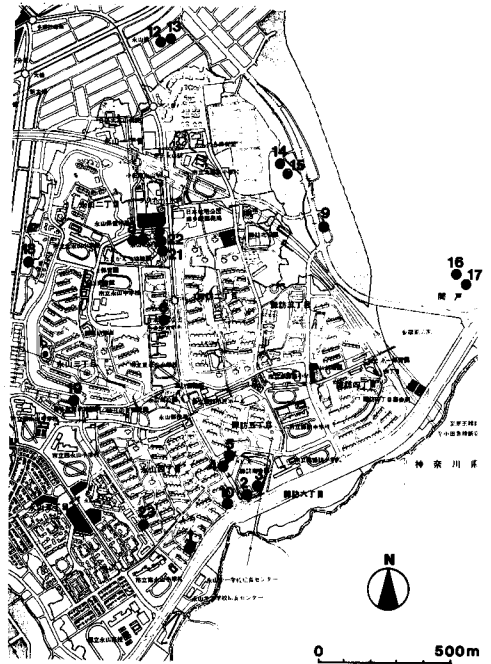
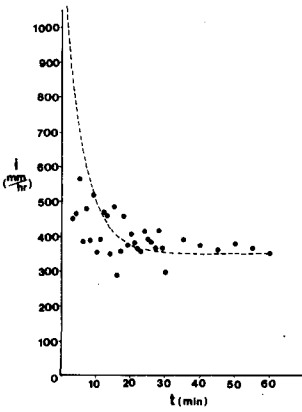


図2 浸透能の現地実験の実施地点の位置

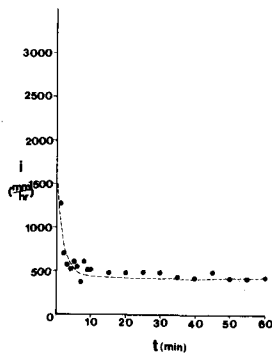
表1 浸透能の現地実験地点の土地利用と表土

地点番号	土地利用	表 土
1	芝生地	稻城砂の締め固め盛土
2	運動場	小砂利混りローム
3	運動場	小砂利混りローム
4	道路法面	ローム
5	道路法面	砂混りローム
6	芝生地	ローム
7	草地	砂・小砂利混りローム
8	草地	砂・小砂利混りローム(水みち)
9	林地	腐植土とローム
10	芝生地	ローム
11	林地	腐植土とローム
12	畑地	ローム
13	畑地	ローム
14	造成地	砂混りローム
15	造成地	砂混りローム
16	果樹園	腐植土とローム
17	果樹園	腐植土とローム
18	造成地	砂・小砂利混りローム
19	芝生地	腐植土と破碎した土丹
20	道路法面	ローム
21	草地	砂混りロームの締め固め土
22	草地	砂混りロームの締め固め土
23	芝生地	腐植土と稻城砂

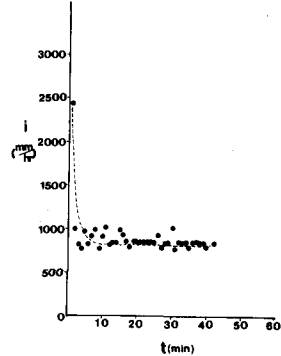
(a) №11 (林地)



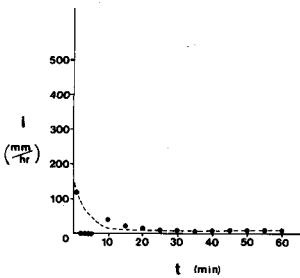
(b) №17 (果樹園)



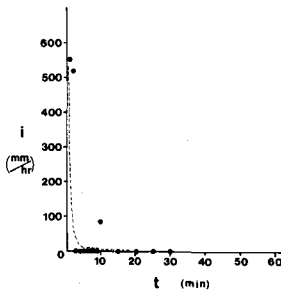
(c) №13 (畑地)



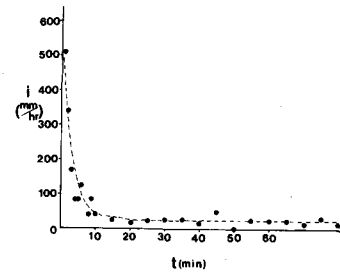
(d) №18 (造成地)



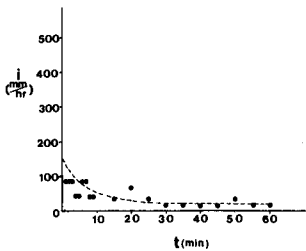
(e) №4 (道路法面)



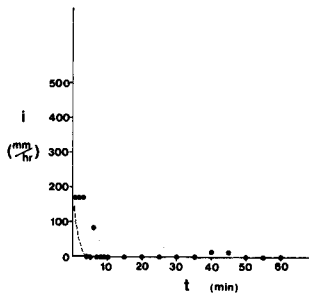
(f) №6 (芝生地)



(g) №7 (草地)



(h) №2 (運動場)



凡 例

i : 浸透能

t : 時 間

黒丸 : 実測値

破線 : Horton 式による
計算値

図 3 浸透能の現地実験の結果

を示す。図中の横軸は分単位の時間であり、縦軸は mm/hr 単位で表示された浸透能である。実測値は図 3 中の黒丸で示されており、Horton 式にあてはめた曲線は図中に破線で示されている。図 3 をみると、Horton 式の適合度は良好であることがわかる。表 2 には、浸透能の実験の解析結果を示す。表中で、 i_c は最終浸透能、 i_0 は初期浸透能、 n は定数を表わす。

なお、全地点の実験結果に共通して、最終浸透能に達する時間が 10～30 分と比較的短いのは、円筒内の湛水深を 10 cm と比較的大きくとしたためと推察される。

5-2 土地利用別の浸透能

土地利用別の浸透能の比較に当って、どの指標を用いるかが問題となるが、前述したように本稿では最終浸透能を指標として用いる。そこで、表 2 中の最終浸透能 i_c に注目すると、 i_c は 0 mm/hr から 1200 mm/hr まで大きく変動していることがわかる。この結果を土地利用別に整理すると、図 4 のようになる。図 4 に基づき、以下に考察を加える。

(1) 林地、果樹園、畑などの自然的な土地利用の最終浸透能は、造成地、道路法面、芝生地、草地、運動場などの都市的な土地利用の最終浸透能に比べてかなり大きい。

(2) 土地利用の最終浸透能 i_c は、

- (a) 林地では、350 ～ 1000 mm/hr 、
- (b) 果樹園では、350 ～ 430 mm/hr 、
- (c) 畑地では、850 ～ 1200 mm/hr 、
- (d) 造成地では、0 ～ 7 mm/hr 、
- (e) 道路法面では、34 ～ 250 mm/hr 、
- (f) 芝生地では、0 ～ 600 mm/hr 、
- (g) 草地では、0 ～ 300 mm/hr 、
- (h) 運動場では、0 mm/hr 、

であり、同じ土地利用でも i_c は大きく異なる。

(3) 自然状態の林地である № 9 と № 11、および果樹園（栗林）である № 16 と № 17 においては、最終浸透能は 350 mm/hr 以上であり、極めて大きな値である。上記の 4 地点とも、ローム層の上に腐植土が厚く堆積しており、浸透能が高いことは当然と考えられる。この結果は、安藤・虫明⁷⁾ および安藤・高橋・虫明⁸⁾ が多摩ニュータウン地区の試験流域の降雨と流出のデータに基づいて示した、林地への降雨はほぼ全量浸透するという結果と符号する。

表 2 浸透能の実験の解析結果

No.	Horton 式のパラメーター		
	i_c (mm/hr)	i_0 (mm/hr)	n (1/ mm)
1	0	400	0.57
2	0	200	0.71
3	0	—	
4	34	450	0.14
5	250	400	0.06
6	25	550	0.33
7	20	150	0.14
8	10	300	0.26
9	1000	2000	0.16
10	3	1050	0.74
11	350	1200	0.18
12	1200	3500	0.75
13	850	3000	0.75
14	0	600	1.00
15	0	500	0.75
16	350	3000	0.50
17	430	1500	0.50
18	7	150	0.25
19	600	3000	1.00
20	240	1000	0.50
21	0	800	1.00
22	300	2000	2.00
23	35	1500	0.75

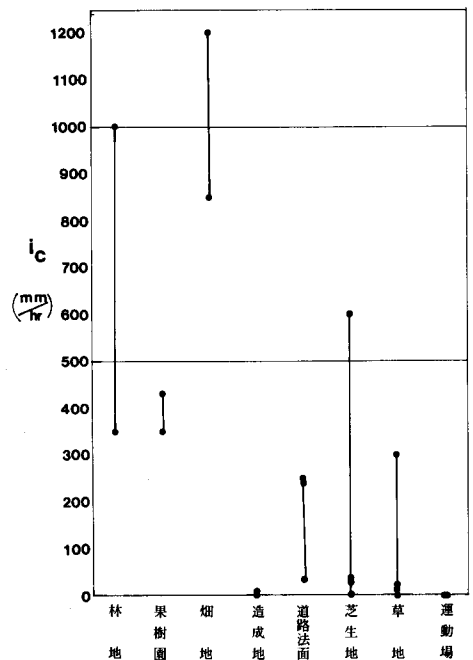


図 4 土地利用別の最終浸透能 i_c の分布

- (4) 畑地である№12と№13の最終浸透能は、今回の実験では850 mm/hrと非常に大きく、自然の林地の最終浸透能を上回る結果であった。
- (5) 造成地である№14, №15, №18の最終浸透能は0~7 mm/hrと非常に小さいのは、造成地の表土が十分に締め固められているためと考えられる。
- (6) 道路脇の人工的な法面である№4, №5, №20の最終浸透能は34~250 mm/hrであり、都市的な土地利用の中では比較的大きな値を示している。これは、人工的法面といっても、木や草が生えており、人の侵入もほとんどなく、自然的状態に近いと考えられる。
- (7) 芝生地である№1, №6, №10, №19, №23の最終浸透能は0~600 mm/hrと非常に大きくバラついている。№1と№10の最終浸透能は0~3 mm/hrであり、№6と№23のは25~35 mm/hrであり、№19のは600 mm/hrである。この最終浸透能の相違は、№1と№10の芝生地は子供の遊び場になっており、踏み固められているのに対して、№6と№23の芝生地は駐車場の脇などにあり余り踏み固められてなく、№19の芝生地は全く踏み固められておらず、土質も粗いためと考えられる。
- (8) 公園内の草地である№7, №8, №21, №22は図2に示すように、同じ公園内に位置するにもかかわらず、最終浸透能の値は0~300 mm/hrと大きくバラついている。№21の地点は、十分に締め固められているため最終浸透能が0 mm/hrであると推察される。№7は公園内の築山の上に位置するので最終浸透能が20 mm/hrであるのに対して、№8は築山と築山の間の谷状地に位置し、水みちにあたるため最終浸透能が№7より若干小さい10 mm/hrとなっていると推察された。
- (9) 運動場の裸地である№2と№3の最終浸透能は、いずれも0 mm/hrである。この地点の表土は、よく締め固められているうえ、野球場として利用されており、踏み固められているので、 $i_c = 0$ mm/hrという結果はうなずける結果であった。

5-3 浸透能と表土の土質との対応関係

ここでは、最終浸透能と表土の飽和透水係数との対応関係および初期吸収水量と表土の空隙量の対応関係について述べる。

(1) 最終浸透能と表土の飽和透水係数との対応関係

最終浸透能 i_c と表土(深度5~10 cm)の飽和透水係数 k との相関図を図5に示す。図5をみると i_c と k の間に正の相関関係はあるが、 $k = i_c$ という関係が成り立っているとはいえない。これは、土の試料のサンプリング地点が浸透能の実験地点と少し異なること、表土の透水係数として深度5~10 cmの土の透水係数を用いたがもっと深い深度の土の透水係数をも用いる必要があること、土の試料の採取の時に土の試料を若干押し固めてしまっている可能性のあることなどのためと考えられる。

(2) 初期吸収水量と表土の空隙量との対応関係

浸透能の実験における表土の初期吸収水量 W を実験開始から10分間の吸収水量として次式で定義する。

$$W = \int_0^{10} (i - i_c) dt \quad \dots\dots ②$$

一方、深度0~20 cmの表土の空隙量 VP を、深度

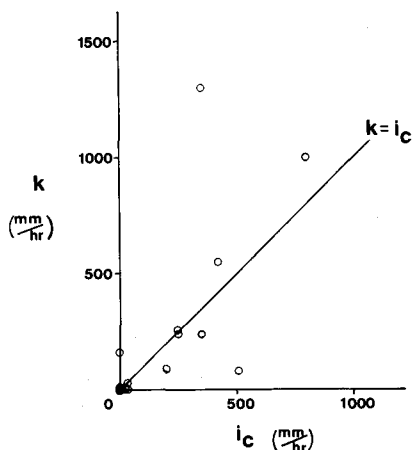


図5 最終浸透能 i_c と表土の飽和透水係数 k との相関図

0～20 cmの飽和含水率と初期含水率の差から算出する。

こうして求めた表土の初期吸収水量 W と表土の空隙量 VP との相関図を図6に示す。図6をみると、初期吸収水量 W と表土の空隙量 VP との間に正の相関があることがわかる。

6 結論と今後の課題

多摩ニュータウンにおける土地利用別の浸透能の現地実験の結果をまとめると次のようになる。

(1) 浸透能の現地実験の結果に対する Horton 式の適合度は良好であった。

(2) 土地利用別の最終浸透能は自然的土地利用に比べて都市的土地利用の値は小さく、

(a) 林地・果樹園・畑地では 350 mm/hr 以上、

(b) 草木の茂った道路法面では 30～250 mm/hr、

(c) 芝生地・草地では 0～600 mm/hr (大部分は 0～35 mm/hr)、

(d) 造成地・運動場では 0～10 mm/hr、であった。

(3) 同じ土地利用でも、表土の土質および踏み固めや締め固めの程度や水みちとの関連で、浸透能が異なることが示された。

(4) 最終浸透能と表土の飽和透水係数との間に正の相関がみられた。

今後、浸透能の現地実験をより多くの地点で実施するとともに、実験方法の改良をはかっていきたいと考えている。また、浸透能の実験結果の洪水流出解析や雨水貯留への応用についても検討するつもりである。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、多大な御協力を賜った住宅都市整備公団の井出鎮生氏、松下潤氏、および稲田隆一氏には、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井出鎮生・松下潤・安藤義久・岡田哲夫：多摩ニュータウンにおける土地利用別の浸透能の現地実験とその考察，河川，№422，pp.27～37，1981。
- 2) 中野秀章：森林水文学，水文学講座13，共立出版，pp.79～81，1976。
- 3) 金子 良：農業水文学，水文学講座12，共立出版，pp.17～18，1973。
- 4) 川畑幸夫編著：水文気象学，地人書館，pp.145～148，1961。
- 5) Dunin, F. X. : Infiltration—its simulation for field conditions, in Rodda, J.C.(editor) : Facets of Hydrology, John Wiley and Sons, pp.199～228, 1976。
- 6) Dunne, T. : Field studies of hillslope flow processes, in Kirkby, M. J. (editor) : Hillslope Hydrology, John Wiley and Sons, pp.230～233, 1978。
- 7) 安藤義久・虫明功臣：丘陵地の自然状態の小試験流域における水循環機構，第24回水理講演会論文集，pp.71～78，1980。
- 8) 安藤義久・高橋裕・虫明功臣：丘陵地における洪水流出率と流域の地被条件，第17回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp.201～204，1980。

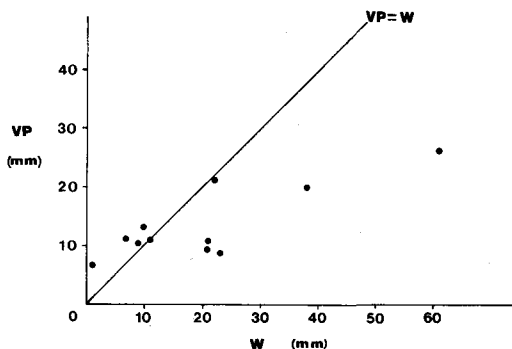


図6 初期吸収水量 W と表土の空隙量 VP との相関図