

建設発生土の緑化利用に関する研究 (その2)

——武蔵野台地に分布する雑木林の土壌特性——

杉本英夫 喜田大三 寺井 学
北村瑞世 川嶋英子

Studies on Application of Surplus Soils from Construction as Revegetation Soils (Part 2)

——Soil Characteristics of a Forest in a Plateau of Musashino Tableland——

Hideo Sugimoto Daizo Kita Manabu Terai
Mizuyo Kitamura Eiko Kawashima

Abstract

Surplus soil derived from construction sites needs to be recycled from the standpoints of environmental preservation and effective utilization of natural resources. Development of green areas in urban parks and greening in countrysides are cases in which surplus soil can be effectively utilized. However, the appropriate soil conditions for development of green areas are unknown. Thus, the authors investigated the physical and chemical characteristics of the soils of natural forests as ideal cases for green area development.

Among the soil horizons investigated, Horizon A which ranges from the ground level to a depth 30 cm is occupied by many tree roots. The permeability coefficient of the soil in this horizon is 1.4 to 4.3×10^{-2} cm/s, effective moisture 150 to 200 l/m³, organics content 12 to 25% , and the cation exchange capacity 22 to 40 me/100 g. Horizons AB and B ranging from 30 cm to 100 cm in depth have less tree roots and minute particles than Horizon A. The soils of these horizons have higher permeabilities and capacities, though, lower organic matter contents and cation exchange capacities. The characteristics and structures of the natural soils described in this paper are concluded to be the ideal condition for development of green area.

概 要

多量に発生する建設発生土は、環境保全さらには資源の有効利用の観点から、リサイクルに努めなければならない。都市では公園緑地、地方でも緑化が要望されているが、緑地造成において、樹林地の適切な土壌条件などは明らかにされていない。そこで、雑木林の土壌について、物理・化学的性状を調査した。

調査した土層の内、地表面下～30 cmにあるA層は、樹木の根が多く、透水係数 $1.4 \sim 4.3 \times 10^{-2}$ cm/s、有効水分 $150 \sim 200$ l/m³、有機物含量 $12 \sim 25\%$ 、CEC $22 \sim 40$ me/100 gを示した。30～100 cmにあるAB及びB層は、A層に比べ、根が少なく、やや緻密で、有機物含量及び保肥性がやや低いが、透水・保水性は高い。これらの結果は、緑地造成において、目標とすべき理想的な土壌条件と土層構造である。

1. はじめに

自然と人間との共生を目標に、都市では再開発に伴う公園緑地の造成、地方では切盛造成地、リゾート施設などにおいて、生態系に配慮した近自然型の緑化などが要望されている。緑地造成には、一般的に山野などの緑農地から採取される良質な資材を客土して、植栽が行われることが多い。しかし、今後は環境保全の観点から、緑化に利用する良質土の確保についても、山野等の開発による緑地の荒廃を伴わないような工夫が必要である。

一方、建設現場から発生する掘削土など（以下建設発生土）は、建設副産物として埋立地等へ処分されることが多いが、「再生資源の利用の促進に関する法律」（通称リサイクル法1991年10月25日施行）の成立と市民のリサ

イクル意識の向上により、その有効利用に対する社会的な要求が高まっている。

そこで、筆者らは建設発生土の緑化利用に関する研究を進め、発生土の性状調査より緑化利用の可能性を確認し、その利用法の検討を行っている^{1)~6)}。既報（その1）では、発生土の性状を評価した結果に基づき、土壌改良を施し、客土の削減に貢献した⁷⁾。

緑地には、シバなど草本類の他に木本類などの植栽が行われ、様々な植物が生育する。そこで、多様な緑地造成に対応し、発生土の有効利用を図るためには、植生の生育基盤となる土の性状や土層構成について、特に、生態系に配慮した緑化を行う場合、自然状態を把握する必要がある。

さらに、造成緑地でしばしば発生する植生の枯死、生

育不良には、異常気象を除けば、生育基盤としての土や土層構成に原因がある場合が多い^{9)~10)}。一般に植栽を行う場合、植生に適した土壌特性に基づく基盤造成が望まれるが、その植物種に対応した土壌条件や盛土方法に関する研究が少ない^{11),12)}。

そこで、今後の緑地造成に必要な技術開発の指標を得る目的で、緑地の土壌調査を実施した。

今回調査した緑地は、クヌギーコナラを主体とする雑木林で、“武蔵野”と呼ばれる関東地方南西部の代表的な景観を構成している。雑木林は、この地方の方言で“ヤマ”と呼ばれ、枝などは燃料として伐採され、落ち葉などは田畑の肥料に利用されてきた。生態学的には、樹林と草原の中間的な特徴を持っている。そのため、将来の生活空間における身近な自然として、親しめる環境の一つと考える。

本報告では、自然地の比較対象として絶えず人為的な影響を受ける畑土壌を調査し、クヌギーコナラを主体とする樹林地の物理性及び化学性の特徴を明らかにした。そして、生態系に配慮した緑地造成について、建設発生土を利用した場合の土壌改良方法及び植栽基盤の土層構成に関する示唆を得た。

2. 調査方法

2.1 調査地

調査地の清瀬市は、荒川の支流の柳瀬川と黒目川にはさまれた武蔵野台地の北東部に位置している。地質は、関東ローム層の立川ローム、武蔵野ロームが数mの厚さに堆積しており、土壌母材は火山灰土に由来する。

1993年3~11月にかけて、台地上の雑木林3点(下清戸、中清戸、竹丘)、台地下の雑木林1点(中里)、雑木林に隣接する畑2点(下清戸、中清戸)について調査した。雑木林は、主にコナラ、クヌギ、アカマツで構成され、林床には草丈が低いアズマネザサなどが生えているが、人が入りやすい状態である。畑は、ムギやゴボウ、サトイモ、青物などの輪作が行われている。

表一 試験項目

項目		測定方法
物理的性質	含水比	実容積法
	三相分布	実容積法
	真比重	ピクノメーター法
	粒度試験	ピベット法, 分散剤(塩酸, 水酸化ナトリウム溶液)
	透水試験	変水位法
	pF試験	土柱法 (pF1=10 cmH ₂ O), 吸引法 (pF1.5~2.0=30~100 cmH ₂ O), 加圧板法 (~pF3=~1,000 cmH ₂ O)
土壌硬度		山中式硬度計(現地)
化学的性質	pH	(H ₂ O) ガラス電極法, 固液比1:5
		(KCL) ガラス電極法, 固液比1:2.5, 1N塩化カリウム液
	電気伝導度(EC)	ECメーター, 固液比1:5
	全炭素(T-C)	乾式燃焼法, C-H-Nコーダー
	全窒素(T-N)	乾式燃焼法, C-H-Nコーダー
	アンモニア態窒素	1N塩化カリウム液
	硝酸態窒素	1N塩化カリウム液
	可給態リン酸	トルオーグ法
	リン酸吸収係数	1/100 Mリン酸アンモニウム液
	CEC	1M酢酸アンモニウム液, ショウレンベルジャー法
交換性陽イオン	1M酢酸アンモニウム液浸出, 原子吸光法	

2.2 調査及び試験項目

調査地点について1×2×1.5m程度の穴を掘り、層位区分を決定し土壌断面観察後、試験用の試料を採取する。

物理性は、粒度試験、真比重、三相分布、飽和透水試験、pF試験について、化学性は、pH、EC、有機物含有量、全窒素量、無機態窒素(アンモニア態、硝酸態)、可給態リン酸、リン酸吸収係数、CEC、交換性陽イオン量について測定を行った。表一に一覧を示す。

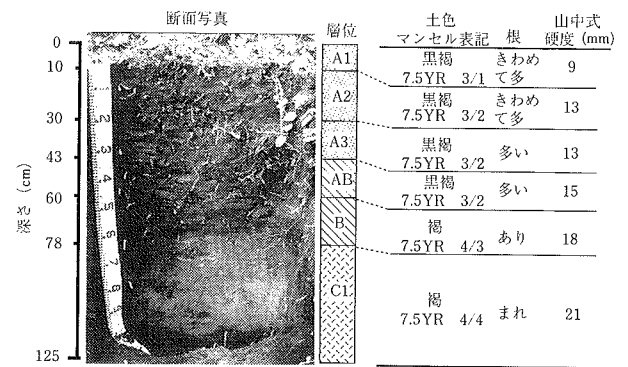
3. 調査結果

3.1 土壌断面

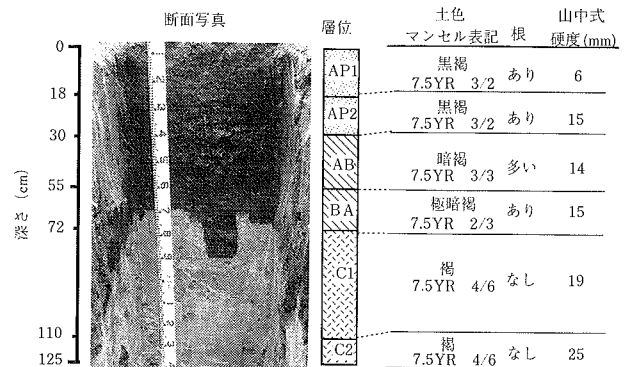
雑木林は図一、畑は図二に示す。雑木林の層位については、落ち葉などを認める数cmのAo層を含め、A層が30cm程度の深さまで発達している。土壌化が進んでいないC層は、土の硬度が高く、地表面下約1m(80~130cm)程度の深さにある。

A層の土色は黒色系で、団粒構造の発達がみられ、黒ぼく土の状態を示した。B層は褐色であるが、構造は亜角塊状で、根の量も多い。C層は褐色で、角塊状を示し、根の痕跡のような粗間隙が認められる。

畑の層位は、A層は30cm程度であり、耕耘層はApと表記した。土の硬度は、耕耘の影響が残るB層(深さ80cm程度)まで低い値を示した。根の量は、雑木林に比べ少なく、有機物の分解速度が相対的に早いことが考えられる。土壌硬度が高い緻密なC層については、約1m



図一 雑木林(中清戸)の土壌断面



図二 畑(下清戸)の土壌断面

以深に分布する。

また、雑木林と畑の両方について、B層の境界付近のC層の上部に、小さな斑紋が多数認められた。

3.2 物理性

3.2.1 三相分布 雑木林は図-3に、畑は図-4に示す。雑木林及び畑共に、固相率が20%前後と、一般的な土壌に比べ低く、火山灰土の特徴を示している。

雑木林の液相率は、pF1.5~3.0 (30~1,000 cmH₂O) の範囲にあり、A, AB層に比べ、B, C層は高く、約20%多い60%程度を示した。これは、A層では団粒構造が発達して粗間隙が増加しているのに対し、C層ではA層に比べ土壌構造が未発達なため、微細な孔隙に富むためと考える。

畑の場合、A, B層は団粒構造の発達により、有効水分に影響する間隙はC層に比べ多くなっているが、雑木林のA層に比べて少なくない。

3.2.2 透水係数 雑木林について、図-3に示す。A層からC層まで、10⁻²~10⁻³ cm/sにあり、透水性は非常に良い状態を示した。A層, B層では、根が発達し、土が軟らかく、pF1.5 (30 cmH₂O) 以下の粗孔隙が15~25%もあることが影響している。

畑は、図-4に示す。A~B層まで耕耘などの影響で膨軟になっており、A層からC層まで、10⁻²~10⁻³ cm/sを

示した。ただし、A3層では、やや緻密な構造となっていて、10⁻⁴ cm/sを示した。

畑の透水性が良い理由は、AP1, AP2層では、透水性に関係するpF1.5以下の粗孔隙が30%程度も占めていた。これは、耕耘の影響で土構造が、単粒状になった影響と考えられる。C層では、緻密な土構造のためA層のような粗間隙は少ないが、根の痕跡のような連続的な間隙が認められ、その影響のためと考えられる。

3.2.3 粒径組成 図-5に示す。雑木林及び畑では20~40%の粘土分を含み、土性(国際土壌学会)はLiC, SiC, CLを示した。A層は土壌化の影響を受け、C層に比べてシルト、砂分が増える傾向を示す。この変動については、シリカの溶脱や腐植の蓄積などの影響が考えられる。

3.2.4 土壌水分の特性 雑木林について、図-6に示す。A層は、調査地点が異なっても水分特性曲線の形状が類似している。これは、植生分布が近い場合には、同じような間隙構造が発達することを示唆する。すなわち、人為的な影響の少ない雑木林において、生態系の力によって土壌が植物の生育に適した状態に変革していったことを示している。

また、A層は、C層に比べ水分特性曲線が著しく異なり、1,000 cmH₂O (pF3) 以下の細間隙が多くなっている。これは、団粒構造が発達の程度に関係があると考えられる。

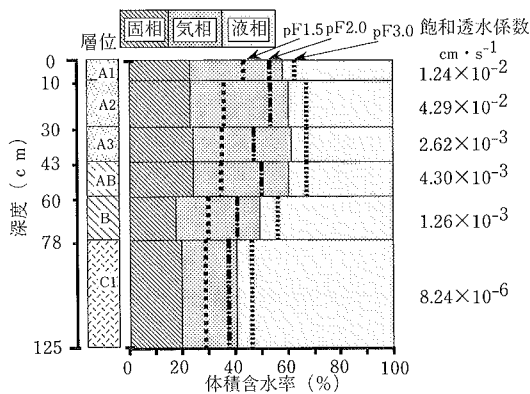


図-3 雑木林の三相分布 (中清戸)

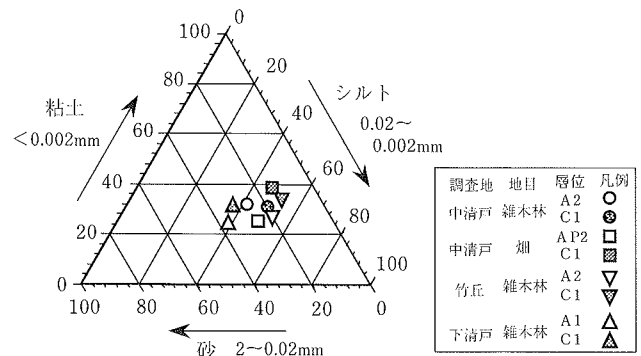


図-5 粒径組成

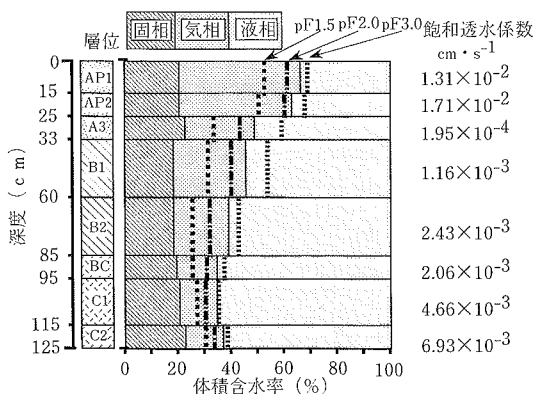


図-4 畑の三相分布 (中清戸)

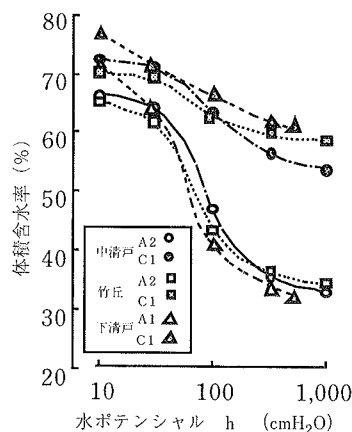


図-6 雑木林の水分特性曲線

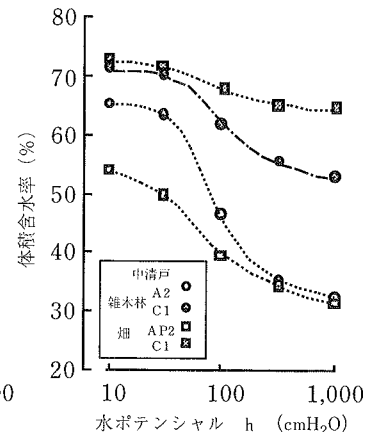


図-7 畑の水分特性曲線

畑は、図-7に示す。A層は、雑木林のA層に比べ、有効水分に関する30~1,000 cmH₂O (pF1.5~3.0)の範囲の体積含水率が小さい。これは、畑の場合、雑木林と異なり、作物の収穫後に植生がなくなると表土が風雨にさらされ、さらに耕耘、転圧などの物理的作用を頻繁に受けるために、土構造が変化していることが示唆される。

3.2.5 物理性の考察 雑木林の土壌構造について、次のことが分かった。

(1) 深さ1mの下層まで、水はけが良く、水持ちが良い状態を示した。

表層では団粒構造が発達し、下層では表層ほどではないが団粒化が進み、さらに粗間隙が存在する土層構成のため、過剰な水分を速やかに根群域から排水し、降水のない乾燥時には下層から表層の根群への水分の移動が生じる土壌条件になっている。

(2) 表層土は下層土に比べ、有効水分域が大きく、団粒構造が発達している。

表層のA層では、下層のC層に比べて水分特性曲線の傾きが大きく、特に、pF1.5~3.0 (30~1,000 cmH₂O)の有効水分域で、差が大きい。これは、有機物などの腐植により、団粒化が進むと同時に、動植物の影響を受けていることが考えられる。

(3) 下層土は、土色が褐色系で、土壌硬度が高く、緻密な構造だが、有効水分が10%以上有り、連続的な間隙が維持されている。

雑木林では、腐植(有機物)に関する土の真比重が、下層から表層に向かって小さくなる傾向が認められた。そこで、腐植が、下層に浸透し、下層土の団粒化を促し、土壌化を進めていることが考えられる。

3.3 化学性

3.3.1 pH 図-8に示す。雑木林の表層については、pH (H₂O) 平均値5.0 (標準偏差:0.2), pH (KCl) 平均値4.2 (偏差:0.23)の酸性を示す。

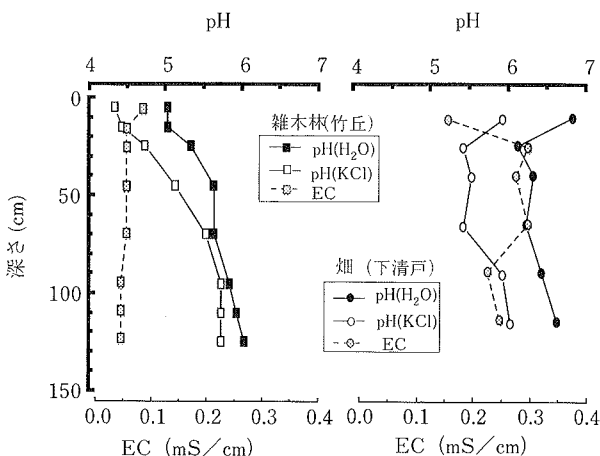


図-8 雑木林と畑のpHとEC

一方、畑の表層では、pH (H₂O) は平均値6.3 (偏差:0.7), pH (KCl) は平均値5.5 (偏差:0.57)を示した。畑の場合、雑木林のpHより1程度高いのは、3.3.7の塩基飽和度に関係があり、pH矯正資材(石灰等)や肥料の投入が影響していると考えられる。

また、雑木林のC層では、pH (H₂O) と (KCl) の差が、A層に比べやや小さい(0.1~0.4)。これは、腐植と結合したアルミニウムの存在や塩類濃度が低い (EC50 μS/cm程度) ことなどの影響が考えられる。

3.3.2 腐植 腐植(有機物)は、植物などが微生物などによって、ある程度分解したもので、ここでは全炭素に係数1.724を乗じた値を利用する。

雑木林において、腐植量は深度方向に少なくなる。一方、畑では、人為的な影響を受けて、B層でも腐植を多く含む。耕耘の痕跡が確認できる場所では、深さ80cmまで腐植を多く含む。

3.3.3 全窒素 図-9に示す。全窒素量は、全炭素と高い相関がある。これは、雑木林及び畑の土に含まれる窒素が、有機物由来であることを示唆している。

有機物の分解の程度には、C/N比(全炭素/全窒素比)が利用され、一般的な土壌のC/N比は10程度になるが、

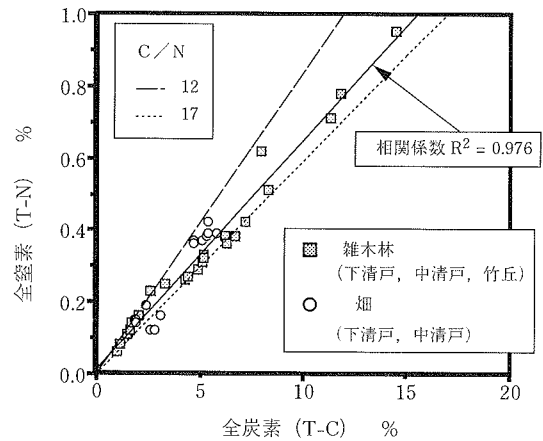


図-9 全炭素と全窒素

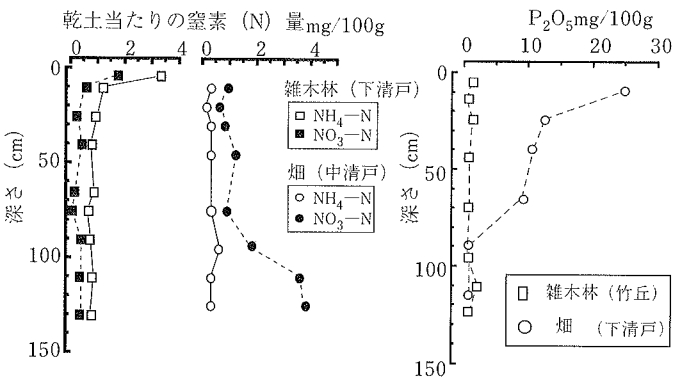


図-10 雑木林と畑の無機態窒素

図-11 可給態リン酸

雑木林では平均15程度と比較的高くなる。これは、火山灰土は、土のアルミニウムと腐植が結合し、微生物に分解されにくく、安定した腐植複合体を形成するためである。

3.3.4 無機態窒素 (アンモニア態窒素, 硝酸態窒素)
 図-10に示す。植物の根が吸収できる窒素形態は、無機態のアンモニア態(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)などである。

雑木林の表層では、畑よりも無機態窒素が多い。これは、有機物を分解し、硝酸化成が行われていることが考えられる。そして、土壌断面調査による根の観察では、表層において非常に密であったことから、雑木林の養分供給の場が、表層付近にあることを示唆している。

一方、畑では下層に硝酸態窒素が多くなる。これは、雑木林の様に地表を覆うものがないために、雨による窒素の溶脱が進みやすいことが原因の一つと考える。

3.3.5 リン酸吸収係数 一般的な土は、1,000 mg/100 g以下を示す。今回調査した雑木林、畑については、2,000 mg/100 g以上であり、関東ロームを母材とする火山灰土の特徴を示した。

3.3.6 可給態リン酸 図-11に示す。雑木林において、可給態リンは100 g中1 mg程度であり、非常に低い。これは、3.3.5で述べたリン酸吸収係数が非常に高いことに関係があり、土壌中のリン酸がアルミニウムと化合し、難溶性の形態となることが、原因と考えられる。

一方、畑においては、リン酸肥料を投入しているため、25 mg/100 g程度含み、非常に高い値を示す。

3.3.7 CEC (陽イオン交換量) 図-12に示す。CECは、腐植と粘土鉱物の種類及び含有量に影響を受ける。その値は、保肥・養分供給能力の評価値の一つである。

雑木林において、腐植量とCECに高い相関関係がある。これは、火山灰土のCECは母材だけでなく、腐植の影響が大きい。しかし、畑では相関が低く、腐植以外の影響も考えられる。

3.3.8 交換性陽イオンと塩基飽和度 雑木林は図-13に、畑は図-14に示す。雑木林では、畑に比べ交換性陽イオンは少ない。

塩基飽和度は、全ての交換性陽イオン量をCECで除した値である。雑木林の表層は、人為による資材投入を受けていないため、20%以下の低い状態にある。

一方、畑では70%以上あり、カルシウム(Ca)の飽和度が高い。これは、pH矯正資材(石灰等)や肥料などの影響が考えられる。

3.3.9 化学性の考察 今回調査した雑木林の土壌は、pHは弱酸性を呈し、塩基飽和度が低い。そして、表層で有機物の分解に伴う無機態窒素の供給があるものの、表層から下層まで畑に比べ乏しく、深度30 cm以深のB、C層では、ほとんど養分のない状態と考える。

また、腐植含有量は表層で高く、深度1 m程度まで含まれていた。C/N比は概ね15~17の範囲にあり、腐植の蓄積が進んでいることを確認した。この腐植の蓄積は、CECを高めるなど化学的性質の向上、さらには物理的性質を改良した要因の一つである。

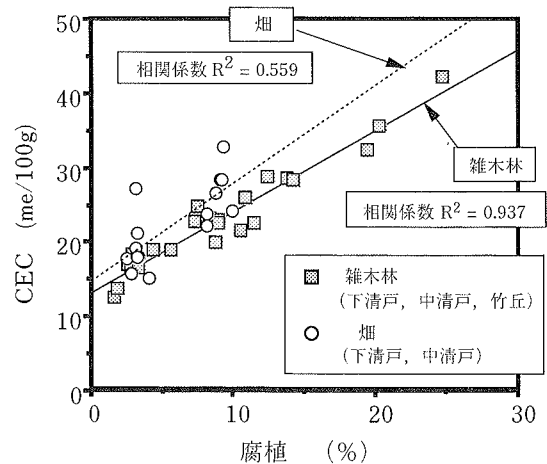


図-12 腐植含量とCEC

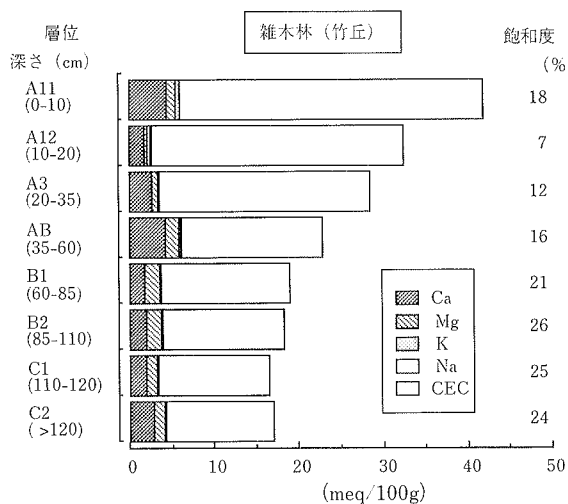


図-13 CECに占める交換性陽イオン (雑木林)

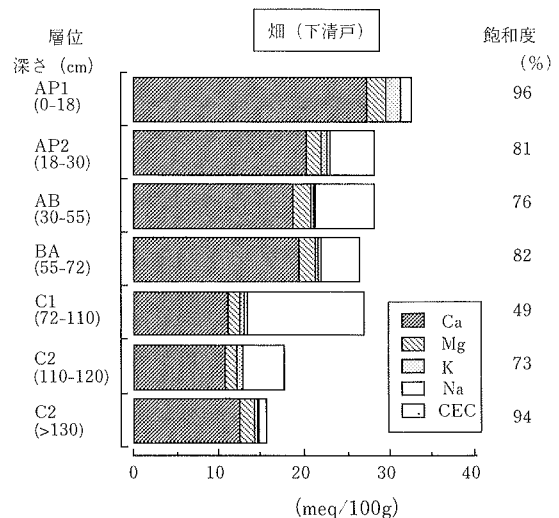


図-14 CECに占める交換性陽イオン (畑)

4. 雑木林土壌の評価

今回行った土壌調査の結果、次のことが明らかになった。

(1) 物理的性質について 雑木林の土壌及び土層構成は、深度1mの下層まで、水はけが良く、水持ちが良い状態を示した。すなわち、過剰な水分を速やかに根群域から排水し、降水のない乾燥時には下層から表層の根群への水分の移動が生じる性質を有することが分かった。

この要因について、雑木林の表層では植生で覆われ、耕耘作業などの人為的な影響が少ないこと、腐植（高分子有機物質）が下層まで浸透し、団粒化が進むことが考えられた。

(2) 化学的性質について 雑木林土壌の特徴として、母材の影響を受け、腐植含有量とCECが高い性状を示した。そして、供給されるミネラルが少ないために塩基飽和度が低く、貧栄養状態である。ただし、表層の有機物分解が活発なために、無機態窒素の供給が安定していることが分かった。

(3) 植栽基盤としての評価 (1), (2)より、10数mの高木が生育する雑木林の土層構造として、A層に相当する深度30cmまでの深さまでは、ある程度養分を含んでいる。そして、それ以深では、養分が少なくても良いが、透水性、保水性が良い状態であることが明らかになった。

これらの物理・化学性について、層位区分ごとに評価してみる。表-2に示すように(社)造園学会が提示する「緑化基盤としての土壌条件」の分級¹³⁾に従うと、A層は全ての項目で優～良の範囲にある。B, C層は、概ね優～良の範囲にあるが、不良の項目も含み、A層に比べやや劣ることが分かる。

5. まとめ

今回の調査結果については、植生が安定な状態を示している土壌条件であり、植栽を行う場合の最良な土壌改良、土層構成の指標と考える。

現在、母材の異なる緑地について、土壌、植生や水文環境などの生態系に配慮した総合的な調査を行っている。今後は、それらを活用した建設発生土の利用指針の立案及びマニュアル化を進めて行く予定である。そして、自然と人間との共生を目指した緑化工につなげて行きたいと考えている。

最後に、雑木林及び畑の調査に同行し、貴重な助言・指導をいただいた脇 孝介氏(現(財)国際緑化推進センター顧問、元森林総合研究所主任研究官)、後藤逸男助教授(東京農業大学農学部)に、ここに記し謝意を表します。

表-2 緑化基盤としての評価例

雑木林 評価項目/層位	中 清 戸			竹 丘		
	A層	B層	C層	A層	B層	C層
透水係数 (cm/秒)	◎	○	△	◎	○	○
有効水分 (l/m ³)	◎	◎	○	◎	○	△
固相率 (%)	○	◎	◎	◎	◎	○
れき含有率 (%)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
pH (H ₂ O)	◎	◎	◎	○	◎	◎
全窒素 (%)	◎	◎	◎	◎	◎	○
CEC (me/100g)	◎	○	○	◎	○	○
ex-Ca (me/100g)	◎	◎	○	○	△	△
電気伝導度 (mS/cm)	◎	◎	◎	◎	◎	◎

*但し、優：◎，良：○，不良：△，極不良×とする

参考文献

- 1) 杉本, 喜田, 塩田: 建設発生土の緑化利用に関する研究(その1), 第26回土質工学研究発表会報告論文集, p. 245~246, (1991)
- 2) 杉本, 他: 同上(その2), 第22回日本緑化学会研究発表要旨集, p. 51~57, (1991)
- 3) 杉本, 他: 同上(その3), 第27回土質工学研究発表会報告論文集, p. 303~304, (1992)
- 4) 杉本, 他: 同上(その4), 第23回日本緑化学会研究発表要旨集, p. 16~19, (1992)
- 5) 杉本, 他: 同上(その5), 第28回土質工学研究発表会報告論文集, p. 343~344, (1993)
- 6) 杉本, 他: 同上(その6), 第29回土質工学研究発表会報告論文集, p. 239~240, (1994)
- 7) 杉本, 塩田, 寺井, 喜田: 建設発生土の緑化利用に関する研究(その1)ーゴルフ場造成における泥岩風化土の事例一, 大林組技術研究所報, No. 47, p. 75~80, (1993)
- 8) 東京都港湾局: 東京港臨海部緑化のための土壌および植生調査報告書, (1980)
- 9) 青沼和夫: 京葉臨海埋立地における環境保全林造成に係わる土壌改良の要因と目標, 千葉県林業試験場報告, Vol. 4, p. 1~29, (1984)
- 10) 長谷川秀三, 他: 重機造成地の植栽基盤の物理性と活力度の関係について, 造園雑誌, Vol. 48, No. 2, (1984)
- 11) 矢部勝彦, 他: 市街地内の造成樹林地と樹園地の土壌特性, 農業土木学会論文集, Vol. 160, p. 89~94, (1992)
- 12) 増田拓朗, 他: 坂出緩衝緑地におけるクスノキの生育と土壌条件(I), 日本緑化学会誌, Vol. 16, No. 3, p. 11~18, (1991)
- 13) 日本造園学会: 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル, 造園雑誌, Vol. 48, No. 2, p. 133~145, (1984)