

建設発生土の緑化利用に関する研究 (その3)

——建設発生土の性状と緑化利用の診断——

杉本英夫 喜田大三
北村瑞世

Studies on Application of Surplus Soils from Construction as Revegetation Soils (Part 3)

——Quality of Surplus Soil and Method of Analysis——

Hideo Sugimoto Daizo Kita
Mizuyo Kitamura

Abstract

Surplus soil derived from construction sites needs to be recycled from the standpoints of environmental preservation and effective utilization of natural resources. The authors have been investigating revegetation systems for development of a green area where the surplus soil is applied to the surface soil layer. Here, the applicability of residual soil for revegetation is investigated based on the physical and chemical analysis of residual soil excavated from construction sites. The soil characteristics of natural forests are used as a standard for comparison. Consequently, it was found that surplus soil can easily be applied for revegetation. It was also shown that rapid soil analysis requires information on its geological characteristics and prior use of the area from which it was excavated. The soil characteristics are to be determined only by grain size distribution, pH, and electrical conductivity.

概要

建設現場の掘削土は多量に発生するが、環境保全および資源の有効利用の観点から、リサイクルが望まれる。我々は、これを表層土に利用した緑地造成システムを検討している。

今回は、根切工事現場の建設発生土の土質調査を行い、雑木林の土壌調査に基づく評価基準によって、緑化利用の適性を診断した。緑化適性を迅速に診断する場合、粒度分布、pH、ECで判定できることを示し、診断をシステム化するためには地質情報が必要であることを確認した。そして、診断結果より、建設発生土の約半数が緑地造成用の表層土に利用できることが分かった。

1. はじめに

都市の再開発、都市近郊の広域開発、山間および沿岸のリゾート施設などでは、公園緑地の造成などの緑化が行われる。これには、自然と人間との共生を目標にし、生態系に配慮した近自然型の緑化が要望されている。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表層土を利用して、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、山野等の緑地の荒廃を伴わないような工夫が必要である。

建設現場から発生する掘削土（以下建設発生土）などは、埋立地等へ処分されることが多い。しかし、「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、発生土の有効利用に関する社会的な要求が高まっている。

発生土は、リサイクル法では建設副産物に分類され、それを土木工用の盛土材料とするために、その品質を

診断する評価基準がある¹⁾。しかし、その緑化利用については、同様の基準がなく、緑化利用に適する発生土の性状やその発生量などの情報が不足している。発生土を積極的に利用していくためには、発生土の発生現場において、その緑化利用の適否を判断することにより、緑化工事等の作業を効率的に行うことができると考える。そのためには、発生現場において、それを簡易に診断できる指針とともに、それに基づく利用方法の確立が必要である。

そこで、筆者らは緑化用土の確保と建設発生土のリサイクルを結びつけることを目的に、建設発生土の緑化利用に関する研究を進めている。既報（その1）では、発生土が多量に発生する現場内において、場内から発生する土の緑化利用の適否を評価し、土壌改良を施してシバ地を造成した結果、場外から搬入する土を削減したことを報告した²⁾。（その2）では、農作物を栽培するため肥培管理が行われる土とそれを行わずに樹木が生育する土の性状を比較し、緑化利用に望まれる土の性状について検討した³⁾。

今回は、関東および関西の根切工事に伴う発生土について、土質調査を行い、その緑化適性を診断した。診断に際しては、既文献と自然緑地の調査結果を参考にして、まず緑化利用の適否の判断を迅速化できるように評価基準案とフローを作成し、それを適用して発生土の診断を行った。

2. 建設発生土の性状

2.1 調査試料

2.1.1 試料の採取 採取地は、関東および関西の建設現場の10カ所で、各現場について、礫層を除き、一定の発生量が見込まれる地層から採取した。試料は、連壁の掘削現場から2試料、連壁施工後の根切工事現場から52試料採取し、総合計は54試料である。

2.1.2 調査地の地質 調査地の選定は、掘削土の地質が特定でき、地層に対応した土質調査ができる場所とした。土の採取深さは、G.L.-2~22mに分布し、その地質は洪積年代の堆積層、沖積年代の堆積層、近世以降の埋戻層に分けられた。試料は、沖積層33検体、洪積層17検体、埋戻層2検体である。

2.2 調査項目

分析・試験方法については、表-1に示す。物理性は、土色、粒度試験、真比重、構成鉱物について、化学性は、pH、EC(電気伝導度)、有機炭素量、全窒素量、可給態リン酸、リン酸吸収係数、CEC(陽イオン交換容量)、交換性陽イオン(カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム)、水溶性イオン(塩素、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム)、重金属(銅、カドミウム、ヒ素、亜鉛)、強制酸化pH、全硫黄、易酸化性硫黄について調査した^{4)~6)}。

重金属の調査項目については、「農用地の土壤汚染防止等に関する法律」と、環境庁水質保全局局長通知「農用地における土壤中の金属等の蓄積防止に係る管理基準」を参考にして、上記4種類とした。

表-1 試験項目

項目	測定方法
物理性	土色 含水比 真比重 粒度試験 構成鉱物
肥沃度	pH EC(電気伝導度) 全炭素(T-C) 全窒素(T-N) 可給態りん酸 りん酸吸収係数 水溶性イオン CEC(陽イオン交換容量) 交換性陽イオン
硫酸酸性	強制酸化pH(H ₂ O ₂) 易酸化性硫黄 全硫黄
重金属類	銅 カドミウム ヒ素 亜鉛

2.3 試験結果と考察

2.3.1 物理性

(1) 土色 黒色や褐色系の土があったが、全体的に灰色系の土が多く、暗灰、青灰、暗青灰、暗緑灰、灰オリーブなどが見られた。

(2) 粒度分布 図-1に示す。礫(>2mm)含量が50%以上のものが4試料、粘土(<0.002mm)が50%以上となったものは1試料あった。日本統一分類では、GおよびGFが6試料、Sが7試料、SFおよびS-Fが20試料、Fが22試料に分布した。また、粒径2mm以下について、国際土壌学会法で土性を区分した。その結果、砂質土(S,LS)は27試料、壤質土(SiL,L,SL,CL,SCL,SiC)は16試料、埴質土(SiC,LiC,HC)は11試料の分布していた。洪積層は壤質土が、沖積土は埴質土と砂質土がそれぞれ多かった。

(3) 構成鉱物 粘土含量が多い沖積層の粘性土を調査した。その結果、一次鉱物では石英、長石、角閃石など、二次鉱物では雲母粘土鉱物類、緑泥石、スメクタイト、メタハロイサイトなど、その他の鉱物ではカルサイト、パイライトなどが同定された。

2.3.2 肥沃度

(1) pH 図-2に示す。pH 3.6~11.9と幅があるが、その分布には中性~アルカリ性を呈する試料が多い。酸性~中性域のpH 4~7の範囲にあるものは9試料だが、pH 7~8の範囲には18試料、pH 8~9の範囲には15試料であった。pH 10以上の強アルカリ性を呈したのは、連壁掘削土およびその石灰処理土の2試料であった。

(2) EC 図-2に示す。洪積層、沖積層の砂質系、埋戻層の試料は、EC 0.01~0.31 mS/cmの範囲にある。しかし、沖積層で粘土含量が多い(10%以上)壤・埴質土では、0.6~4.5 mS/cmの範囲にあった。4 mS/cm以上の値を示したものは、1試料で、運河跡地の埋戻層である。

(3) 全有機炭素量 洪積層、沖積層、埋戻層の47試料について調べた結果、0.1%以下は6試料、1%以上は16試料であった。0.1%以下の試料については、土性ではSおよびLSに区分される砂質土である。

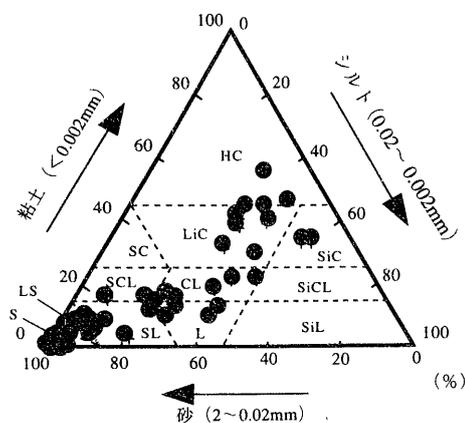


図-1 建設発生土の粒度分布

沖積層では、図-3に例示するように、全有機炭素量は粘土含量と弱い相関があり、堆積時の生物活動の影響などが推測される。

(4) 全窒素含量 洪積層、沖積層、埋戻層の28試料について調べた結果、0.01~0.24%であった。全有機炭素量が1%以上の試料では0.05%以上を示し、地層に係わらず全有機炭素量が多いものが、窒素量も多い傾向があった。

(5) 可給態リン酸 洪積層、沖積層、埋戻層の28試料について調べた結果、0~48 mg/100 gであった。洪積層の関東ローム系の2試料では、0 mg/100 gを示した。洪積層の壤・埴質土は1~48 mg/100 g、沖積層の壤・埴質土は2~18 mg/100 gと値の範囲が広いが、粘土含量と弱い相関があった。

(6) リン酸吸収係数 洪積層、沖積層、埋戻層の28試料について調べた結果、70~2,360 mg/100 gであった。1,000 mg/100 g以上を示したものは、関東の発生土の内、洪積層の関東ローム系と連壁掘削土の4試料であり、関東ローム系は2,000 mg/100 gを越えていた。洪積層および沖積層の壤・埴質土は、190~820 mg/100 gの範囲を示した。

(7) CEC 洪積層、沖積層、埋戻層の30試料について調べた結果、1.5~36 meq/100 gであった。砂質土は1.5~5.4 meq/100 g、壤質土は9~18 meq/100 gを示した。沖積層の埴質土は19~36 meq/100 gと高い値を示した。これは、CECを粘土含量で除すと47~95 meq/100 gで、スメクタイトのCEC(60~100 meq/100 g)の範囲に相当することから、スメクタイトなどの粘土鉱物を含む影響が大きいと考える。

(8) 交換性陽イオン 洪積層、沖積層、埋戻層の30試料について調べた結果、カルシウムは1.2~62 meq/100 g、マグネシウムは0.6~13.7 meq/100 g、カリウムは0.1~6.2 meq/100 g、ナトリウムは0~6.3 meq/100 gであった。洪積層、沖積層、埋戻層の塩基飽和度(CECに占める全交換性イオンの比率)が高く、特にカルシウム飽和(CECに占める交換性カルシウムの比率)が高い。洪積層と沖積層の砂質土、埋戻層のナトリウム含量は低

いが、沖積層の埴質土は、ナトリウム飽和度が高く15%以上を示した。

2.3.3 土壌汚染 重金属による土壌汚染について、銅、カドミウム、ひ素、亜鉛の含量を調べた。関東では沖積層、埋戻層、連壁掘削土、洪積層の壤・埴質土16試料、関西では沖積層の壤・埴質土6試料を分析した。

その結果、全ての試料について、銅：ND~9.6 mg/kg、カドミウム：ND~0.2 mg/kg、ひ素：ND~0.93 mg/kg、亜鉛：NDであった。これらは、自然土中の金属含量の指標クラーク数(銅：100、カドミウム：0.5、ひ素：5、亜鉛：40、単位：mg/kg)の範囲内であった。

2.3.4 硫酸酸性 堆積年代の一時期に海底あるいは海水に浸っていた土は、硫化物を含んでいることがある。干拓直後の土などには、土が空気に触れると硫化物が硫酸に変化して、pH 3.5以下の強酸性を呈するものがある。その原因は硫化鉄(パイライト)などの硫化物を含むためであり、このような土は、酸性硫酸塩土と称される。

今回、パイライトを含む沖積層の壤・埴質土14試料について調査した。その結果、pH 3.5以下の強酸性を呈し、図-5に示すように全硫黄含量の約8割が易酸化態であった。これより、これらの土は風化にともなう酸性化が懸念されるため、緑地などに利用する場合には、石灰などのアルカリ性資材による中和改良が必要である。

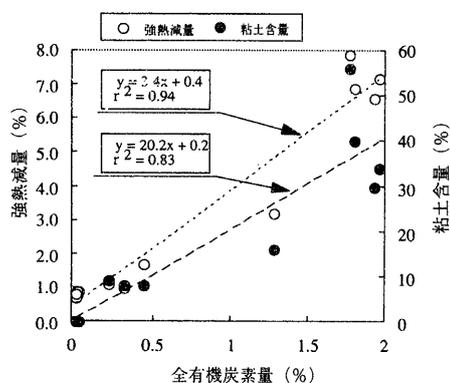


図-3 全有機炭素と粘土含量 (関西地区の場合)

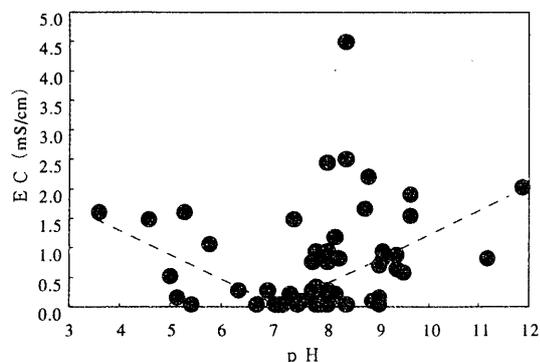


図-2 建設発生土のpHとEC

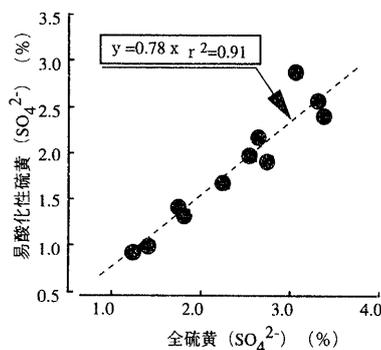


図-4 全硫黄量と強制酸化時の硫酸量

3. 建設発生土の緑化利用に関する評価

3.1 評価の考え方

植物の生育する土の評価に関しては、(株)日本土壤肥料学会、(株)農業土木学会などの農業関連、(株)日本造園学会、(株)道路保全協会、(株)日本緑化センターなど造園関連の資料がある^{7)~11)}。

農業関連の評価基準は、肥培管理されている肥沃な土と農地の新規造成地の土を診断するものがある。前者はすでに植物が栽培されている土を対象にし、後者は造成後の定期的な施肥や耕耘などの管理を前提としている。緑化に用いる植物は、農作物ほどの管理を必要としないものが多いため、緑地利用を目的とした発生土の評価は、農地の基準をより簡素化したもので対応できると考える。

また、造園関連の評価基準は、植栽地の土と根周りに利用する客土を対象にしている。客土資材としては、マサ土系と火山灰土系の2種類である。発生土の評価は、発生段階の判断が求められ、多種多様な土質を取り扱うため、これらの基準を整理する必要があると考える。

緑化工事において植物を植栽する場合、緑化を成功に導くためには、植栽地の土の性質が植物の生育に適しているか否かについて、判断することが必要である。それには、植物が生育している土の状態を知り、それを指標とし、利用する土の性質を評価する必要がある。

そこで、植物の生長が安定している自然緑地の土壌調査を行い、造園学会が提案している土壌診断方法に基づいて、その診断を行う。その結果を参考に、発生土の緑化利用の適否を診断する基準案を検討し、先の2章で述べた発生土の性状を評価する。

3.2 自然緑地の評価

3.2.1 調査方法 調査は、関東地方の火山灰土系を母材とする雑木林と関西地方のマサ土系を母材とする雑木林で行った。雑木林の土壌調査を行い、その結果について、造園学会が提案している土壌診断方法を用いて評価した。調査試料は、断面について、生物の影響を受け有機物が蓄積され土壌化した層位A、母材が変成しコロイドなどが集積している層位B、岩石などが風化した母材の層位Cに区分し、その層位ごとに採取した。

3.2.2 物理性 A層とC層の粒度分布について、図-5に例示する。火山灰土系は埴質土、マサ土系では砂質土を示した。層位間では僅かな違いはあるが、土性が変動するほどの状態ではなかった。

飽和透水係数は、A層からC層まで透水係数 10^{-2} ~ 10^{-3} cm/sec以上を示し、火山灰土系およびマサ土系の両者とも透水性が良かった。これは、火山灰土系では団粒構造が発達しているため、マサ土系では粒度の整った砂を多く含むためである。

有効水分は、土の間隙に保持される毛管水の内の、植物が利用可能な状態の水分で、ここでは、pF 1.8~3.0の状態を範囲とした。A層について図-6に例示する。火山灰土系は約25%、マサ土系は約7%を示した。火山灰土系がマサ土系がより多くなる理由は、火山灰土系が粘土・シルトが60~80%含み、団粒構造が発達していること、マサ土系は粒度が整っている砂を含み、粗間隙が発達していることが考えられる。

3.2.3 化学性 pHは図-7に例示するように、C層からA層に向かって低くなる。ECはA層だけが、B、C層に比べ高くなっている。A層が、B、C層と違うのは、B、C層に比べて腐植含量が多いことやケイ酸の溶脱、微生物による有機物の分解などの影響が大きいと推測される。

CECは、A層、B層、C層の順で低くなる。A層は腐植含量が多いため、その影響が大きいと考えられる。また、火山灰土系のCECがマサ土系がより高めているのは、粘土分に含まれる粘土鉱物種が違う影響が大

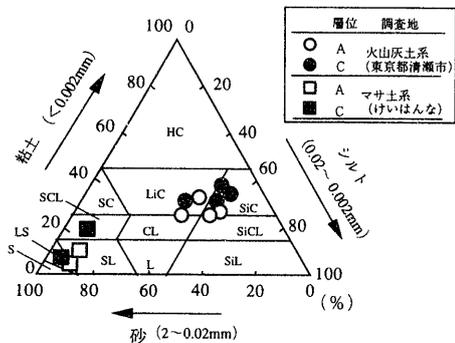


図-5 雑木林の粒度分布

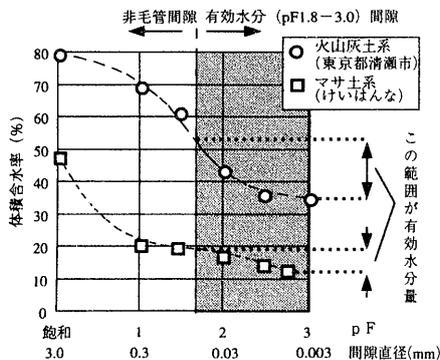


図-6 pFと土の水分量

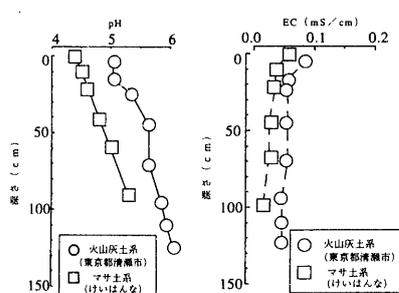


図-7 雑木林のpHとEC (1:5水浸出法)

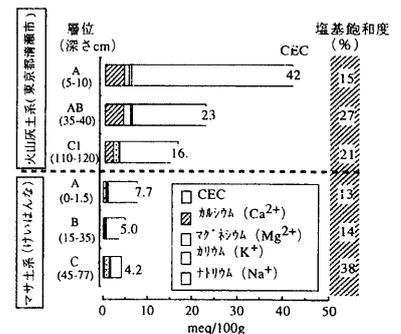


図-8 CECと交換性陽イオン

きいと考えられる。火山灰土系では非晶質粘土鉱物（アロフェン類）を含み、これは、マサ土系に含まれるカオリン鉱物（ハロイサイト）に比べ、CECが高いためである。

3.2.4 自然緑地の評価 造園学会の基準で、物理、化学性について評価した結果を表-2に示す。火山灰土系ではC層まで優良、良の項目が多く、土壌が良い。マサ土系ではA層は、優良、良の項目が多いが、B、C層では透水性、pH、EC以外は、不良の項目が多い。マサ土系では、火山灰土系より土壌が悪く、特に下層が貧栄養で、保水性が低い。

樹木が生育する自然緑地の土壌は、栄養を吸収する表層と支持根が伸長する下層に区分される。今回の調査より、表層の排水、保水、養分条件が良ければ、下層の養分条件が良～不良範囲の状態であっても樹木は生育すると考える。しかし、支持根が深さ1m程度まで伸長することから、下層の排水性については、大きくする必要がある。

3.3 評価基準案とその適用

3.3.1 評価基準案 発生土の評価には、緑地に求められる透水性、保水性、保肥性、養分バランスなどの特性を明確にし、最終的には植栽試験までおこなう必要があると考える。しかし、造成地においては、調査因子が多項目になり、経費と時間を要し、効率的ではない。そこで、今回は発生土の利用効率を高めることを目的に、現場の発生段階で、簡易な判定項目で、根圏に利用する土の適否を診断するため、その基準と調査手順を検討した。評価基準案を表-3に、発生土の評価フローを図-10に示す。

表-2 造園学会の土壌診断による雑木林の評価例

評価項目	関東(清瀬市)火山灰土系			関西(けいはんな)マサ土系			単位
	A層	B層	C層	A層	B層	C層	
透水係数	◎	○	△	◎	◎	◎	cm/s
有効水分	◎	◎	○	△	△	△	ℓ/m³
固相率	○	◎	◎	△	△	×	%
れき含有率	◎	◎	◎	○	△	△	%
pH(H ₂ O)	◎	◎	◎	○	○	○	—
全窒素	◎	◎	◎	○	△	△	%
CEC(陽イオン交換容量)	◎	○	○	○	△	△	meq/100g
交換性カルシウム	◎	○	○	△	△	△	meq/100g
EC(電気伝導度)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	mS/cm

注) 優:◎, 良:○, 不良:△, 極不良:×

表-3 建設発生土の評価基準案

分類記号	緑化利用の適否	造園学会の土壌分級		pH	EC
		火山灰土	マサ土		
I	適	20>	15>	4.5-8.5	2>
II	やや適	20-50	20>	3.5-4.5 8.5-9.5	2-4
III	不適	>50	>50	3.5> >9.5	>4
		優	20-40	5.6-6.8	0.2>
		良	25>	4.5-5.6	0.2-1.0
		不良	40-60	6.8-8.0	1.0-1.5
		極不良	>60	8.0-9.5	>1.5

注) 礫: >2 mm, 粘土: <0.002 mm

造園工事で利用する土は、根群域の表層土とその下層土に区分される。表層土は緑地の最表層で、植物の根が水分および養分吸収のため、容易に伸長できる土層で、自然緑地の層位Aの土に相当する。下層土は、層位B、Cの土に相当する。この基準で評価するのは、根群域の表層土である。

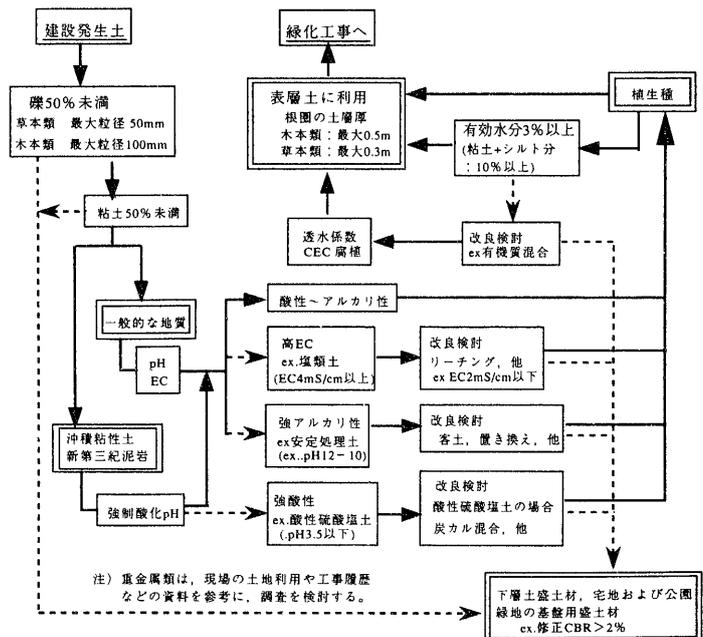
診断に必要な調査項目は、礫と粘土、pHとECの4項目とした。これは、粒度分布から排水および保水性を、pHとECは土中水の水質などある程度予測でき、これから緑化利用の適否についておおむね評価できると考えたためである。さらに、4項目の結果と地層区分を組み合わせれば、保肥性や障害性を予測できるため、診断結果の信頼度が向上する。

基準案では、適、やや適、不適の三段階で区分し、分類記号をそれぞれI、II、IIIとした。基準案の数値は、設定根拠に基づいて暫定的に提示した。以下に、その内容を述べる。

(1) 礫含量 適およびやや適の範囲は、土壤生産力可能性分級¹²⁾を参考にした。適の範囲を20%以下にしたのは、水稻、普通作物、果樹、草地について、I~II等級の範囲が20%以下であったため。不適を50%以上としたのは、水稻、普通作物、果樹、草地について、等級の範囲が50%以下であったため。

(2) 粘土含量 不適の範囲は、次の理由から50%以上とした。粘土含量50%以上では、ほとんどが粘性土である。土質工学会¹³⁾では、土の種類によって透水性を予測する場合、粘性土は実質上不等水の土質に区分しているためである。適を25%以下としたのは、土性区分で埴質土の範囲を外れるためである。

(3) pH 適の範囲は、酸性側の下限値は造園学会、



注) 重金屬類は、現場の土地利用や工事履歴などの資料を参考に、調査を検討する。

図-9 建設発生土の評価フロー (案)

アルカリ性の上限は塩類土の基準¹⁴⁾を参考にした。やや適、不適の値は造園学会を参考にした。

(4) EC 造園学会の基準から外れるが、作物生育に及ぼす塩類濃度の影響に配慮した塩類土の基準¹⁴⁾を参考にした。4 mS/cm 以上は、「多くの作物の収量が低減する」区部分のため、それを不適の範囲にした。2 mS/cm 以下を適の範囲としたのは、0~2 mS/cm は「作物生育に対し塩類障害はほとんどない」に区部分されるためである。

なお、肥料成分については、今回は発生土の評価から除外した。これは、植栽する植物によって肥料要求度が変わるので、発生土を利用する段階で調査する項目と考えたためである。

3.3.2 適用の考え方 物理性の診断には、粒度分布では粒径のバランスが大切であるため、礫と粘土含量を同時に評価することが望ましい。礫含量が多いと粗間隙が多くなるため、毛管水の保持能力が低く、植物のシオレや枯れ等を生じる。そして、粘土含量が多いと細間隙が多いため、水分の保持能力は高いが、植物に利用できる有効水分が少なくなり、通気性や透水性が悪く、根腐れ等を生じるためである。化学性は、PH と EC を指標とする。これは、イオンバランスや塩濃度などによって変動し、相互に関係しているため、同時に評価することが望ましい。

そこで、緑化適性の診断は、これら物理性と化学性の4項目を総合して評価することが大切であると考えた。今回は、診断する4項目全てを満足するものを適(分類I)とし、1項目でもやや適あるいは不適に診断されたら、その試料は最も悪い結果に従うこととした。

この評価基準案を利用する場合には、地質や土質調査を参考にし、発生土の緑化適性を診断を進めていくことが望まれる。例えば、酸性硫酸塩土はこの評価基準で評価できないが、沖積層や新第三紀層などの地層区分が分かれば、その問題を予測することができるためである。このような地質の場合、図-10に示すように強制酸化pH等の評価が必要である。

3.3.3 発生土の評価 2章で述べた根切工事発生土について、表-3の基準案を適用を試みた。試料は、連壁掘削土2試料を除く52試料について判定し、その結果を表-4に示した。

物理性について、不適(分類III)に区分された試料は、礫含量では8%、粘土含量では2%しかない。適(分類I)に区分された試料は、礫含量では88%、粘土含量では79%であり、その両方を満足するのは67%である。

化学性については、適に区分されるのが、pHでは71%、ECでは87%であり、その両方を満足するのが63%である。

物理性および化学性の4項目全てが適であったものは、52%あった。そして、やや適(分類II)に区分されたものが37%あり、この合計は全体の88%を占めている。

このように、根切工事に伴う発生土について、物理性

表-4 根切工事発生土の診断結果

(単位: %)

分類記号	緑化利用の適否	礫含量	粘土含量	pH	EC	総合
I	適	88	79	71	87	52
II	やや適	4	19	27	11	37
III	不適	8	2	2	2	11

注)総合は、基準4項目の全て満足したものを適(分類I)、1項目でもやや適、不適があれば、その分類を採用した。

では粒度分布、化学性ではpHとECより、迅速診断を行った結果、緑化工事で表層土に利用できる土として、緑化利用が適と診断されされるものが約半数(52%)あることが分かった。

4. まとめ

建設発生土の土質調査を行い、緑化利用を評価した結果、次のことが明らかになった。

① 緑化利用の適否の診断を迅速化する目的で、発生土の評価方法を整理して試験項目を4項目に簡素化し、発生土の診断手順をフローを示した。

② 発生土の緑化利用の診断は、粒度分布(礫と粘土含量)、pH、EC分析結果で緑化適性を迅速に評価できる。

③ 根切工事に伴う発生土52試料については、評価基準案を適用し、工事計画時の地質と土質の調査を参考に診断した結果、その約半数が緑地造成で使用する表層土に利用できることが分かった。

参考文献

- 建設省建設経済局建設業課・事業調整官室：建設副産物適正処理推進要綱の解説，大成出版，(1993)
- 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)，大林組技術研究所報，No. 47, p. 75~80, (1993)
- 杉本，他：建設発生土の緑化利用に関する研究(その2)，大林組技術研究所報，No. 50, p. 95~100, (1994)
- 土壤養分測定法委員会：土壤養分分析法，養賢堂，(1978)
- 農業土木学会：土の理工学性実験ガイド，同会，(1983)
- 環境庁環境法令研究会：環境六法，中央法規出版，(1992)
- 日本土壤肥料学会：土壤・水質・農業資材の保全，博友社，(1985)
- 農業土木学会：農業土木ハンドブック(5版)，同会，(1989)
- 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)
- 道路保全協会：道路緑化技術基準・同解説，同会，(1988)
- 通商産業省公害局立地指導課：工場緑化ハンドブック，日本緑化センター，(1976)
- 土壤保全調査事業全国協議会：日本の耕地土壌の実態と対策(新訂版)，博友社，(1991)
- 土質工学会：土質試験の方法と解説，同会，(1990)
- USDA: Soil Taxonomy-A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Agric. Handbook, No. 436, (1975)