

## 樹林地の土壤改良後における水収支について

四方田 穆\*

Water Balance in the Reclaimed Forest Park after the soil Improvement Work  
— Changes in Permeability and Water Retentivity of the Soil —

Atsushi YOMOTA

Faculty of Agriculture, Okayama University

## I まえがき

大都市における過密化が諸もろの公害をもたらし、その対応策の一つとして、市民に憩いと安らぎの場を与える大規模公園緑地が、各所において計画、建設されている。このような目的で盛土造成によって樹林地を作る場合には、一方ではそれを短期間に造成することが要求されるとともに、他方では造成土壤が植栽樹木の早期育成に必要な条件を備えていることが望まれる。しかしながら、天然の森林とは異なり、樹木の育成に適した土壤基盤を早急に作ることは極めて困難であり、盛土造成後、あるいは樹木植栽後、各種の方法によって土壤物理性の改良を図って行かねばならない。

ここに、大阪府大泉緑地において行われた森林造成に関する一連の調査研究の中から<sup>1)2)3)</sup>、当該緑地土壤の、主として透水性、保水性を取り上げ、土壤改良が実施された前後における、それらの変化の状況を比較し、取りまとめた。

## II 調査研究の概要

大泉緑地は、大阪府堺市の東北部に位置し、計画面積124 haに及ぶ広大な公園緑地であって、昭和42年度以降、大阪府によって建設されている。51年度末までに90haが造成され、高木、低木140種が植栽された。緑地の一部では、スプリンクラーによるカンガイが実施されている。

大泉緑地は、当初主として水田であった原地盤の上に、厚さ1 m前後の盛土を行うことによって造成されたもので、盛土材料としては、大阪府南部の河内長野等で産出するマサ土が利用された<sup>(注)</sup>。

しかしながら、樹木植栽後、場所によっては降雨後の排水状況が悪く、タン水が継続し、樹木の枯損も見られた。そこで適切なカンガイ排水を実施するため、土壤水文的な見地から一連の調査が行われることとなった。

本文に関する調査研究内容は、(1)造成緑地土壤の物

理性試験、(2)マサ土を用いた検証実験、および(3)土壤改良後の土壤の物理性試験、である。造成緑地土壤については、土層の状況、土壤硬度、現地透水係数の観測測定と、乱さない100cc試料についての室内測定を行った。その結果、現地土壤はチ密に締固められていることが判明したので、盛土材料の適否の検討を含め、検証実験として、現地に用いられたマサ土を含水比、荷重を変えて締固め、それらの物理性を測定した。以上の調査研究の結果、土壤物理性の改良を図る必要性が明らかとなり、改良工事が実施されたので、改良後の同緑地において(1)と同様の観測測定を行い、改良前の結果と比較することによって、改良工事の効果および改良工法の検討を行った。大泉緑地の平面図ならびに調査観測位置を図-1に示す。

III 造成樹林地の土壤の物理性<sup>5)</sup>

図-1のA、C、DおよびF 4調査地点において、原地盤が現れるまで掘削し、土層を観察するとともに、土壤硬度の測定、乱さない100cc試料の採土を行った。土壤は全般に非常に固く、掘削作業は困難であった。また、施工法に原因すると思われる、様相の異なった幾層かの土層を識別することができた。

地下水位探査のため、地表面下2.0~2.5mまで削孔し、観測を継続したが、地下水水面はこの範囲には存在せず、地下水位が排水不良の原因ではないことを明らかにできた。山中式土壤硬度計による土壤硬度は25~30mmという値を示したが、この値は根の伸長を困難にしているものと考えられる<sup>6)</sup>。

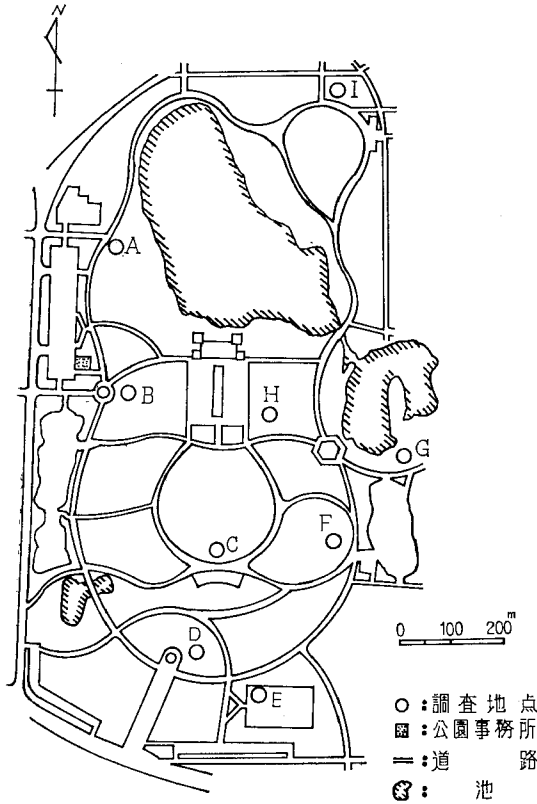
さらに図-1のA~Gの7地点において、Dry Auger-hole法による現地透水係数の測定を行った。このうちB、Gの2地点の値は $1 \times 10^{-4}$ cm/s前後であるが、他の5地点の値は $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$ cm/sのオーダーで、こ

(注) 盛土地点ごとにマサ土の組成は異なり、原土中のレキ(2mm以上)含量は2.15~28.75%、2mm以下の細土中の粘土(0.01mm以下)含量は2.89~23.18%、日本農学会の基準による分類では、砂土および砂壤土である4)。

\* 岡山大学農学部

れら各地点土壌は、透水性が非常に低いカテゴリーに属することを示した。

先の4地点で採土した試料について行った室内実験の

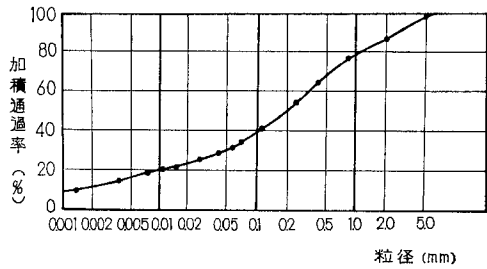


図一 大泉緑地平面図

結果は表一のとおりである。この結果から目立つことは、仮比重が1.6~1.8と大きく、また固相が65%前後を占めていることで、これらの値は通常の森林土壌の値とは比較にならない程大きい。pF~水分関係からpF1.5~4.2の範囲の水分を全有効水分、そのうちpF1.5~3.0の水分を正常生育有効水分として表すと、前者は体積率で8~17%、後者は3~11%に過ぎない。

以上の調査結果から、盛土造成された大泉緑地土壌を物理性の点から概括すると、この土壌は非常に固く、非常に締固められた、透水性、保水性の不良な土壌であると言することができる。

なお、以上の調査は大泉緑地について実施したものであるが、聴取りによれば、大阪府が建設した他の緑地においても、その土壌はほぼ類似の状況にある。従って、固く締固まった、透水性、保水性の悪い土壌基盤は、マサ土を用いて人工的に造成された緑地の共通の欠点であると思われる。



図二 試料土の粒径加積曲線

表一 緑地土壌の物理性

調査地点	土層	土層厚	真比重	仮比重	間ヶキ率	透水係数	pF ~ 水分量					有効水分		
							pF 1.0	1.5	1.8	2.0	3.0	4.2	全有効水分	正常生育有効水分
					%	cm/sec	%	%	%	%	%	%	%	
A	a-1	0.40	2.67	1.54	42.3	$1.95 \times 10^{-6}$	44.2	39.6	36.8	35.3	32.3	22.8	16.8	7.3
	a-2	0.10	2.74	1.78	35.0	$3.24 \times 10^{-5}$	33.8	31.0	27.1	24.2	19.9	14.1	16.9	11.1
	b	0.70	2.69	1.74	35.3	$3.73 \times 10^{-7}$	37.1	35.5	34.5	33.8	31.1	23.7	11.8	4.4
C	a	0.45	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	b	0.65	2.63	1.79	31.9	$10^{-8}$ 程度	35.1	33.5	32.8	32.4	30.8	24.5	9.0	2.7
D	a	0.30	2.64	1.79	32.2	$1.30 \times 10^{-4}$	26.9	25.1	24.3	23.6	20.9	14.1	11.0	4.2
	b-1	0.26	2.66	1.66	37.6	$5.10 \times 10^{-6}$	38.7	37.5	37.2	37.0	35.0	29.9	7.6	2.5
	b-2	0.25	2.66	1.73	35.0	$2.59 \times 10^{-6}$	30.3	27.9	26.8	26.5	23.7	17.1	10.8	4.2
F	a-1	0.10	2.67	1.76	34.1	$9.75 \times 10^{-5}$	34.5	32.0	30.8	29.4	26.0	18.8	13.2	6.0
	a-2	0.20	2.68	1.66	38.1	$7.30 \times 10^{-7}$	33.2	32.4	31.4	30.4	26.2	19.4	13.0	6.2
	b	0.39	2.68	1.73	35.4	$1.18 \times 10^{-5}$	35.6	33.6	32.2	31.5	28.4	21.3	12.3	5.2

(注) C地点層では乱さない100cc試料採土不可能。

水分量は体積含水率を示す。

表一 締固め試験土壌の物理性

締固め 荷重 kg/cm <sup>2</sup>	締固め 時 合 比 %	仮比重	間 ケ キ 率 %	透 水 係 数 cm/sec	pF ~ 水分量						有 効 水 分	
											全有効 水分	正常生育 有効水分
					1.0	1.5	1.8	2.0	3.0	4.2	%	%
0.5	10.9	1.17	56.4	6.23×10 <sup>-5</sup>	41.8	39.0	35.8	33.0	24.9	16.0	23.0	14.1
	15.1	1.24	54.0	1.78×10 <sup>-4</sup>	45.9	38.6	32.7	30.3	24.7	16.2	22.4	13.9
	17.0	1.30	51.5	3.65×10 <sup>-4</sup>	48.4	38.5	34.5	32.5	26.1	18.3	20.2	12.5
	20.5	1.42	47.4	8.08×10 <sup>-4</sup>	44.0	38.3	36.5	34.8	30.5	24.9	13.4	7.8
	23.2	1.46	45.6	4.03×10 <sup>-4</sup>	45.6	39.0	37.4	36.1	32.1	26.1	12.9	6.9
2.0	10.9	1.23	54.3	7.55×10 <sup>-5</sup>	43.3	40.8	38.4	36.0	27.1	17.5	23.3	13.7
	15.1	1.36	49.5	2.30×10 <sup>-4</sup>	50.0	37.7	33.0	30.3	26.2	18.1	19.5	11.5
	17.0	1.38	48.6	1.30×10 <sup>-3</sup>	46.6	36.8	34.1	32.6	28.6	21.0	15.8	8.2
	20.5	1.51	44.0	4.55×10 <sup>-4</sup>	41.1	38.1	36.1	34.9	31.1	24.6	13.5	7.0
	23.2	1.59	41.0	5.62×10 <sup>-6</sup>	40.7	40.4	39.6	38.3	35.6	30.1	10.3	4.8
4.0	10.9	1.30	51.7	2.72×10 <sup>-5</sup>	46.0	43.4	41.0	33.7	28.3	18.3	25.1	15.1
	15.1	1.45	46.0	3.37×10 <sup>-4</sup>	51.5	41.3	36.7	33.6	28.7	20.6	20.7	12.6
	17.0	1.58	41.3	4.90×10 <sup>-5</sup>	47.9	40.1	37.6	35.9	31.4	22.8	17.3	8.7
	20.5	1.61	40.2	4.35×10 <sup>-5</sup>	39.0	38.2	37.2	35.9	32.7	27.2	11.0	5.5
	23.2	1.60	40.6	2.60×10 <sup>-6</sup>	37.8	37.6	37.1	36.5	34.6	29.4	8.2	3.0

(注) 水分量は体積含水率を示す。

次に、以上のような緑地土壌の物理性をもたらした原因を解明するための一つの試みとして、A地点のマサ土を利用して検証実験を行った。実験に用いた土壌の粒径加積曲線は図一2のとおりで、日本農学会の基準による分類では砂壤土である。

この実験では、標準網フルイ 4,760μ を通過した風乾状態の試料土を用い、これを含水比と荷重を変えて締固めることによって作成した100cc試料について、室内における同様の物理性測定を行った。締固め荷重は、ブルドーザー、ダンプトラックの接地圧などを考慮して、0.5、2.0、および4.0kg/cm<sup>2</sup>の3種類の静荷重とした。なお、締固め時間は3分間に定めた。締固め試料による土壌物理性の試験結果は、表一2のとおりである。

表一2より明らかなおと、締固め荷重が大である程、また締固め含水比がある限度まで大きくなる程、土壌はよく締固まるが、締固め含水比が15%程度以下では、締固め荷重が大きくとも、仮比重は1.5以下であり、正常生育有効水分の保水性は12~15%で、現地土壌の場合の2~3倍に達する。透水係数は、仮比重が1.6程度になると急激に小さい値を示すことがわかる。

現地採土試料の仮比重は、表一1において最大1.79にも達したが、これは検証実験供試土を、JIS A 1210によって突固めて得られた値に近い。現地での盛土は、降雨後の湿潤状態でも施工され、ダンプトラック、ブルドーザーの走行、転圧の繰返しによって締固められたものと

推定される。従って、施工法ならびに原土の含水比に十分留意すれば、このマサ土を利用して透水性、保水性の相当良好な盛土が可能と思われ、施工性において、近郊の粘性土よりも優れている。

#### IV 土壌物理性の改良工法

前項までの調査研究の結果、土壌物理性の改良を図る必要性が指摘され、それによって大泉緑地の樹木未植栽区域において、改良工事が施工された。代表的な工法は、土木的な土層の破碎と、物理的な土壌改良剤の混合を併用したもので、その概要は次のとおりであった。

盛土造成が行われ、修景盛土が完了した後、土壌改良剤を地表面に散布する。その上から、リッパードーザーで土層破碎を行うが、この際、改良剤の下層への混入が行われる。さらに表層をトラクターで耕起整地する。

土壌改良剤としては、パーク堆肥(樹皮加工物、商品名キノックスK、スミリンユキ等)が使用され、これがブルドーザーによって厚さ5cm(単位体積重0.5g/cm<sup>3</sup>として100m<sup>2</sup>当り2.5ton使用)に均等に散布された。

土層破碎を行うリッパードーザーは、爪長1.0m、爪数3本で、土層深0.7mまで深耕する計画である。爪の間隔は1mで、これが等高線方向、およびそれに直角方向に走行するので、ほぼ1mメッシュで碎土が行われ、同時にパーク堆肥が土層中に混入された。さらに、表面の耕起、整地と、パーク堆肥の混入目的を兼ねて、ロータリー耕

表一3 改良工事前後の土壌の物理性

調 査 地 点 改 良 施 工 時 期 調 査 時 期	F		H	I	
	昭和48年5月		昭和50年2月	昭和50年12月	
	昭和47年9月	昭和50年8月	昭和50年9月	昭和50年8月	昭和51年1月
仮 比 重	1.76(0~10cm) 1.66(10~30) 1.73(30~70)	1.68(0~10cm) 1.62(10~30) 1.63(30~50) 1.69(50~70)	1.65(0~20cm) 1.61(20~45) 1.47(45~65)	1.64(0~20cm) 1.75(20~50) 1.72(50~70)	1.62(0~25cm) 1.53(25~45) 1.62(45~65)
間 割 キ 率 (Vol.%)	34.1(0~10) 38.1(10~30) 35.4(30~70)	38.0(0~10) 40.2(10~30) 39.4(30~50) 37.5(50~70)	40.5(0~20) 42.3(20~45) 47.0(45~65)	38.3(0~20) 36.4(20~50) 37.5(50~70)	40.8(0~25) 42.5(25~45) 41.0(45~65)
正常生育有効水分 (pF 1.5 ~ pF 3.0) (Vol.%)	6.0(0~10) 6.2(10~30) 5.2(30~70)	4.3(0~10) 2.6(10~30) 3.7(30~50) 3.3(50~70)	6.6(0~20) 6.8(20~45) 6.9(45~65)	5.3(0~20) 7.8(20~50) 8.3(50~70)	7.3(0~25) 8.4(25~45) 8.0(45~65)
全 有 効 水 分 (pF 1.5 ~ pF 4.2) (Vol.%)	13.2(0~10) 13.0(10~30) 12.3(30~70)	11.0(0~10) 9.7(10~30) 9.9(30~50) 10.2(50~70)	12.3(0~20) 15.2(20~45) 17.2(45~65)	11.6(0~20) 12.4(20~50) 13.4(50~70)	14.3(0~25) 15.4(25~45) 14.1(45~65)
土 壌 硬 度 (mm)	21.2(0~10) 29.2(10~30) 30.5(30~70)	7.9(0~10) 23.7(10~30) 21.8(30~50) 24.2(50~70)	21.2(0~20) 21.7(20~45) 20.9(45~65)	25.6(0~20) 27.3(20~50) 28.8(50~70)	16.0(0~25) 15.9(25~45) 19.4(45~65)
現 地 透 水 係 数 (cm/s)	$2.32 \times 10^{-5}$ $1.22 \times 10^{-6}$	$2.17 \times 10^{-5}$ $1.62 \times 10^{-5}$	$1.51 \times 10^{-4}$ $1.73 \times 10^{-4}$	$2.87 \times 10^{-5}$ $1.24 \times 10^{-4}$	$1.99 \times 10^{-3}$ * $8.62 \times 10^{-4}$ *

(注) ( ) は土層深cm, \* は51年3月調査

ウン爪をけん引したトラクターによって仕上げが行われた。

V 改良後の土壌物理性

改良工事が実施された区域から、図一1のF, H, およびIの3調査地点を選定して、改良工事における土壌の物理性、主として透水性および保水性に関する調査を実施し、改良効果を検討した。3地点のうち、F地点は改良前の調査実施地点である。H地点では改良前の調査を実施できなかったが、I地点では新たに改良前後の調査を実施した。

調査観測の内容および方法は、当初における緑地土壌の物理性試験の場合と同様である。まず掘削による観察結果では、当初見られた水平方向の判然たる土層は見られず、掘削作業は容易となった。他方土壌改良剤の混入状況を見れば、それは期待されたごとくに均等には分布せず、地表面近く、しかも大部分は地表面下10cm程度まで



図一3 固相と土壌間ゲキ

のところに入混されているにとどまった。

各地点から得た乱さない100cc試料土に関する室内土壌物理試験、現地における土壌硬度および透水係数測定の結果を、改良工事前後について対比しつつ示したものが表一3である。このうちF地点の改良前の値は、表一1のものと同じである。

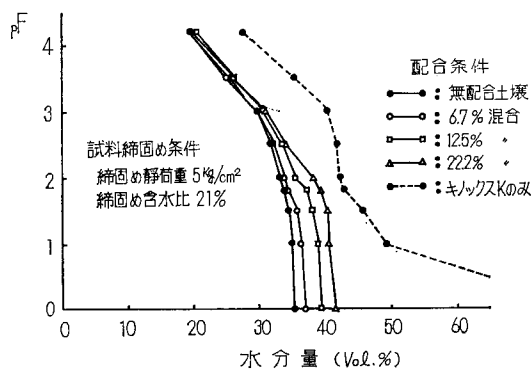
表一3において改良前後の比較ができるFおよびI地点の値から明らかとなり、土壌の仮比重、間ゲキ率、土壌硬度、および現地透水係数の各項目については、改良効果が見られる。またH地点を含めた改良後の全般的な数字を先の表一1のそれと対比しても、このことが明らかである。

すなわち表一3によれば、仮比重は改良前の1.64～1.76から改良後は1.53～1.69へ、間ゲキ率は34.1～38.1%（前）から37.5～42.5%（後）へ変化している。また土壌硬度は25～30mm（前）に対して16～24mm（後）と植物の根系の伸長に最適な値<sup>9)</sup>を表し、現地透水係数についても改良後は $1 \times 10^{-4}$ ～ $1 \times 10^{-5}$ cm/sのオーダーの値を示して、改良前と対比すれば1オーダー程度大きい。この反面、これらの結果に比べ、有効水分の保水性については改良された徴候は認め難い。

以上の検討結果から、大泉緑地における改良工事においては、機械的な土層破碎の効果が顕著であると判定される。すなわち、リッパードーザーによる土層破碎によって、土壌が膨軟になり、土壌硬度および透水性の改良もたらされた。しかしながら、このような土壌破碎は細部の土壌構造に変化を及ぼすには至らず、あわせて土壌改良剤の分布が不均一、かつ深層に混入されなかったため、改良効果は土壌の保水性にまでは及ばなかったとみることが妥当であろう。

先の間ゲキ率およびpF～水分関係から、改良前後の土壌について、固相、小間ゲキ(pF4.2以上)、中間ゲキ(pF1.5～4.2)、および大間ゲキ(pF1.5以下)に分けて表したものが図一3である。同図に、一般に言われる改良目標<sup>7)</sup>から類推した分布を併示した。改良工事の施工によって固相率が減少するとともに、とくに大間ゲキの増加が見られ、先の透水性改良を裏付けるものであるが、固相率および中間ゲキの割合からみれば、改良目標との間に未だ相当の差が残る。

従って、大泉緑地における土壌の物理性を更に改良するためには、改良工法、とくに土壌改良剤の効果的利用について検討が加えられなければならない。別途行った土壌改良剤に関する実験から、キノックスKを配合して締固めた土壌のpF～水分曲線の一例(締固め荷重5kg/cm<sup>2</sup>、締固め含水比21%による試料)を図一4に示す。無配合の土壌の水分曲線が、キノックスK混合量を増す



図一4 土壌改良剤と保水性

につれて、キノックスK固有の曲線の方へ移動し、有効水分保水性を高める傾向が判然と示される。

以上のごとき現地および室内における検討結果から、土壌改良剤の効果を有効に発揮させるためには、パーク堆肥の混合量を現計画量の2～3倍に増加するとともに、その均等な混合を図るため、盛土の過程において、2～3層に分けてパーク堆肥を混入することが必要である。このような工法を採用することによって、一層の土壌物理性改良の効果が期待できるであろう。

## VI あとがき

まえがきにも述べたとおり、社会の要求によって短期間に造成されねばならない樹林地の土壌を、樹木の良好な生育に適したものとすることは、極めて困難であると思われ、綿密な造成計画の立案、とくに盛土材料および施工工程に関する十分な検討が必要である。

本研究では、造成された樹林地の土壌について、水収支的な立場から取上げることとし、土壌物理性の改良前後における土壌状態の比較検討を行ったが、未だ水収支として集約するには至らず、主として樹林地土壌の透水性、保水性に関して調査研究結果を取りまとめた。もとより本文はマサ土を使用して造成された、一公園緑地に関する事例研究であるが、土壌改良に伴う水の挙動を解明する上から一応の成果が得られ、今後の研究および施工計画立案の参考に資するものと考えられる。さらに長期的かつ広範なこの種の調査研究が行われることを期待して止まない。

おわりに、本調査研究は、大阪府南部公園事務所(清水正之所長)の要請に基づいて、大阪府立大学農学部農業水利学講座(手島三二教授)が実施したものであり、調査観測にあたり、当時の専攻生、加藤雅治君(滋賀県草津土地改良事務所)、山田明君(関西グリーン研究所)、

その他の方の協力が得られたことを付記して、各位に深謝の意を表するものである。

#### 引用文献

- 1) 大阪府南部公園事務所：大泉緑地森林造成に関する調査報告書—水文調査—(1973)
- 2) 大阪府南部公園事務所：大泉緑地森林造成に関する調査報告書—かんがい計画調査—(1975)
- 3) 大阪府南部公園事務所：大泉緑地森林造成に関する調査報告書—かんがい計画調査—(1976)
- 4) 大阪府臨海公園事務所，大阪府立大学農学部造園学教室：大泉緑地森林適正土壌調査報告書，pp. 69—82(1972)
- 5) 四方田穆，手島三二：マサ土で造成された大規模公園緑地の土壌の物理性について，農土誌42(5)，pp. 19—23(1974)
- 6) 木田和幸：緑化工 4 植生工とその適用，土と基礎24(1)，pp. 83—84(1976)
- 7) 山崎不二夫：農地工学 下，東京大学出版会，pp. 386—390(1972)

#### コメント

四国農試土地盤研究室 宮崎 毅

今日のように水田が次々と宅地化したり他の用途に転用されることが多くなると，そこがもと水田であったが故の共通の特性が現われると予想される。たとえば，水田は漏水防止のための努力が長年重ねられてあったり，耕盤が形成されてあったりして，そのままの状態での用途に適した良好な排水状態を期待するのは，そもそも無理であろう。

本御発表の例も，水田の上に盛土をした状態の土地における排水不良問題としての側面を持つと思われる。四方田氏は，土壌改良工法によって透水性，保水性を良好にし，盛土工事によって著しく締固まった土を樹林地に適した土に戻す方法について研究された。特に，バーク

堆肥や他の土壌改良剤と土壌との混合により，土が粗な状態に変化すること，及びリッパーによる土層破砕効果があること，などを指摘された点が重要と思う。

しかし，疑問に思うのは，水田の上に盛った土の改良だけで樹林地の水収支を全体として改良できるのかどうかである。

水田はもともと平坦に作られており，しかも初めに述べたような水田向きの改良などが加えられているから，他の用途から見れば排水性は良くないはずである。従って，盛土の下に来る水田土層の改良とか，水田土層と盛土部との境界面にレキ層をはさんで排水性を良くするなど，別の角度からの検討も必要となるのではないかと思われる。

#### 宮崎氏のコメントについて

四方田 穆

一般論としては，宮崎氏のご指摘のとおりであり，盛土施工前に，現況水田に対して何等かの対策を講じておかねばならない。

大泉緑地の調査に際しても，当初はその点に留意された。しかしながら，(1)水田面下1.5m程度まで塩ビ管を埋設したが，地下水面は観測されなかった，(2)掘削調査でも，水田面近くの土壌の水分量は多くはない，(3)盛土層の透水係数が水田土壌のそれより小さい，などの調査結果，また降雨後に地中への浸透が少なく，盛土層の透水性，保水性が悪い，という事実から，本発表では盛土層の改良に焦点をしばった。

土壌中の水の挙動をより正確に把握するため，樹林地に一定区画を仕切り，降雨後における地表流出量，表面タン水量，地中における水の移動などを計測し，水収支的に解明する試みが引続いて行われており，その結果が明らかになれば，ご指摘の点を含めたより正確な解答が得られるであろう。