

柑橘園における土壌の物理的性質と樹勢に関する研究

(頁岩に由来する土壌について)

高松 善博*・高橋 一郎*・生駒 皓晴**

Studies on the Physical Properties of Soil and the Tree Vigor in Citrus Orchard
(On the originated soil from the shale)

Yoshihiro TAKAMATSU, Ichiro TAKAHASHI and Kiyoharu IKOMA

Synopsis

Recently, the farm land reclamation by machine power was carried out various parts of the country, and the reclaimed area is increasing in Japan. It was considered that the physical properties of reclaimed soil differ from it of the residual soil of shale by weathering. In the present paper, the investigation was carried out on the conditions of growth of orange trees and physical properties of soil in the orange orchard. A-orchard reclaimed by human power, and examination farm reclaimed cutting and banking by machine power are used plots of investigation. And the control plot is adopted A-orchard. Furthermore, the orange tree on object of investigation was mandarin orange that the age of trees were 20 years old. The results of measurement are summarised as follows;

- (1) The growth of orange trees is good on the early variety on the cutting part of experimental farm and on the medium variety on the control plot. In generally, the growth of trees was better on A-orchard of the control than experimental farm.
- (2) The surface soil in the investigated plots is containing organic matters of 1.1~5.7%.
- (3) The consistency limit was that liquid limit is 47~60% at surface soil, and 42~52% at subsoil, and the plasticity limit is 27~34% at surface soil, 25~43% at subsoil, respectively.
- (4) The soil hardness of experimental farm is hard than on the A-orchard of control plot, and that is most hard at the 10~20 cm soil layer in each of the investigated plots. But, at the A-orchard of control plot was tended to decreasing in accordance with the depth.
- (5) In three phase distribution of natural conditions, the ratio of solid, liquid and vapor phases are about 48%, 32.5%, 19.5% on the A-orchard of control plot, and are about 53.1%, 29.4%, 17.7% on the experimental farm, respectively.
- (6) The non-capillary pore and the available soil water were high values about 4.8%, 3.5% on A-orchard of control plot respectively, and there is no difference among investigated plots in the experimental farm.

* 農学科農業土木学研究室 : Lab of Agricultural Eng. Dept. of Agriculture, Kinki Univ., Higashi Osaka, Osaka 577, Japan

** 湯浅農場 : Agricultural Experimental Farm, Kinki Univ. Yuasa, Wakayama 643, Japan

I はじめに

農用地の造成は、戦後各地で大型土木機械の導入により実施され、その面積を増加しつつある^{1,2,3,4,5,6,7}。当附属農場の柑橘園は、わが国で機械力による農用地開発の実施当初に改良山成り工法により造成したものである²。このような機械造成園土壌は、造成前の表層土壌と風化による影響の比較的小ない深層土壌や新鮮母材、母岩とのカク乱、露出により構成されている。このため土層構造は、人力造成園の傾斜地土壌と異なり、機械造成園に特有な土層を形成していると考えられる。開園後当農場では、柑橘類の栽培管理作業の省力化を目的とする機械化農業をめざし今日に至っている。現在では、盛土部において土層の圧密化が進行して畑面に不陸を生じ、降雨後数日間滯水し速やかな地表排水が行なわれない部分も認められる。そのため栽培管理作業および柑橘樹の生育に支障をきたしている。

一方、機械造成園における栽培作物の生育は、切土部と盛土部との間で相違を生じ、一般に盛土部で良好な傾向の場合が多いと認められている^{8,9}。

本調査は、開園後約 20 年を経過した頁岩に由来する傾斜地土壌の人力造成園を対照園として、機械造成園の柑橘樹の生育および土壌の物理性を、また機械造成園内の切土部と盛土部の柑橘樹の生育および土壌の物理性を明らかにするため調査を実施し、

それらを比較検討したのでここに報告する。

調査地区概要

調査対象園は、紀伊半島の西部海岸のほぼ中央の和歌山県有田郡湯浅町、吉備町の標高 15~50 m の丘陵地帯に位置し、開園後約 20 年を経過している。その地質母岩は、古世界（古白亜系）の湯浅、有田、西広層群の堆積岩（頁岩）に分類され¹⁰、乾湿の繰り返しにより比較的容易に風化が進み細粒化する軟岩である。当附属農場の柑橘園は、昭和 36 年に当時の技術として新しい改良山成り工法により、約 3 ha の畑面勾配 EW 1/25、NS 1/50 の斜面畑とした機械造成園である。その後深耕および粗大有機物の投入等による土壌および土層改良が実施されている。対照区とした A 氏園は、階段畑、斜面畑よりなる約 1 ha の人力造成園である。斜面は、いずれの園も北面する。なお栽培柑橘は、樹令 20 年の温州ミカン（早生種、中生種）である。

II 調査項目および方法

調査地点は、対照園（A 氏園）に階段畑、斜面畑上部(1)、斜面畑下部(2)の三点、機械造成園に切土部（以下切土部とする）、盛土部（以下盛土部とする）および新しく盛土をして改植した部分（以下改植部とする）の三点をそれぞれ任意に選定した。なお調査園の栽植密度、距離は、Fig.1 のとおりである。

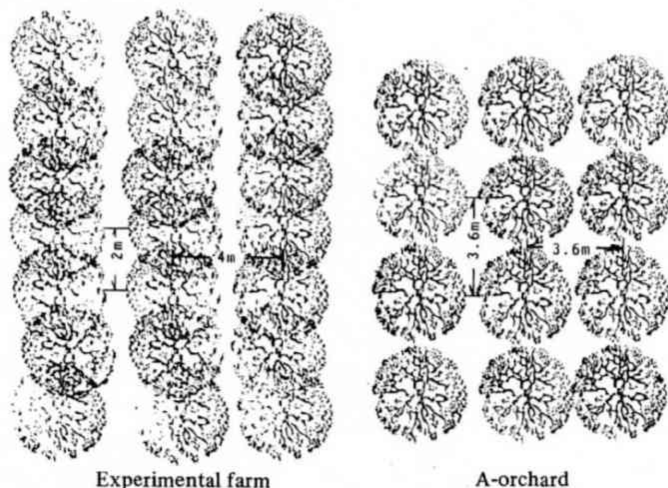


Fig. 1 The planting density in investigated orchards

柑橘樹の相対的な生育状態は、幹周 (cm) [接木部より約 10 cm 上部]、樹高 (m)、および樹冠容積 (m³) [(東西径) × (南北径) × 0.7] について、各地点で 30 本の測定によりもとめた。

土壌調査用試料は、各生育調査地点に試坑を 1 個所任意に設け、カク乱土と未カク乱土のサンプリングによった。カク乱試料土は 20 cm の層位ごとに掘り取り、よく混合したものから必要量採取し実験に供した。未カク乱土は、地表から 60 cm の深さまで 2 種類の試料容器で、(即ち 20 cm 層位毎に 1,000 cc 容積の試料円筒で 6 個ずつ、また 10 cm 層位毎に 100 cc 容積の試料円筒で 3 個ずつ) それぞれサンプリングを行なった。

土壌の pH および有機物含有量試験は、それぞれ JIS 法、チューリン法により行なった。土粒子の基本的な物理的性質を示す含水比、真比重、コンシステンシー限界 (液性限界、塑性限界)、粒度組成等の試験は、JIS に従い、土性は国際法により求めた。

透水係数および湿潤密度試験は、1,000 cc 容積の未カク乱土を用いて JIS による定水位および変水位法に従った。ただし、この試験は機械造成園のみに実施した。

土壌の三相分布および pF-水分試験は、100 cc 容積の未カク乱土を用いた。三相分布試験は、現場含水比と pF-1.5 水分時の二つの土壌水分条件で実容積法により行なった。pF-水分試験は、pF 0~pF 2.0 を吸引法により、pF 3.0~pF 4.2 を遠心法により行なった。土壌の緻密度を表わす土壌硬度の測定は、山中式土壌硬度計により、試抗断面を利用して地表から 5 cm の深さごとに 10 個所ずつ測定した。

Ⅲ 調査結果および考察

1) 柑橘樹の生育状態

調査園の柑橘樹の生育状態は、Table 1 に示すとおりである。早生温州ミカン樹は、幹周および樹高に地点間で有意差があり、切土部 > A 氏園階段畑と

Investaged plots	Variety	Age of tree	Height of tree (m)	Volume of the canopy (m ³)	Trunk girth (cm)
Experimental farm					
Sloping field (Cutting)	early	20	2.34±2.70	10.57±3.27	38.07±8.40
(Cutting)	medium	20	2.18±0.23	10.83±3.08	34.42±6.23
(Banking)	medium	20	2.34±0.35	11.20±3.15	32.65±8.62
A-orchard					
Terracing field	early	20	2.05±0.24	9.40±2.31	23.65±3.12
Sloping field (1)	medium	20	2.89±0.76	34.24±8.05	41.45±7.81
Sloping field (2)	medium	20	2.33±0.32	21.25±5.85	39.10±9.02

なって、対照園よりも切土部で生育が良好となる傾向にあったが、樹冠容積は地点間に有意差を認めなかった。中生温州ミカン樹は、幹周の地点間に対する有意差がそれぞれの園内の地点間で認められなかったが、A 氏園 (対照園) と機械造成園 (切・盛土部) との間に認められ、対照園が大きい傾向にあった。樹高の地点間に対する有意差は、A 氏園の斜面畑上部と斜面畑下部、切土部、盛土部との間に、A 氏園の斜面畑下部と切土部および切土部と盛土部との間に認められたが、A 氏園の斜面畑上部と盛土部との地点間で認めなかった。したがって樹高は、斜面畑上部、盛土部 > 斜面畑下部 > 切土部であった。樹冠容積は、幹周と同様な傾向にあるが、対照園内の地点間で有意差を認め、斜面畑上部 > 斜面畑下部 > 切

盛土部であった。以上の結果より調査園間の生育状態の相違は、樹高で認められるが、樹冠容積でない。これは、付属農場が栽培管理作業の機械化を実施するにあたり、農業機械類運行時の作業幅確保のための整枝、剪定が大きく影響を及ぼしているものと考えられた。一般に柑橘樹の生育状態は、人力造成の対照園が機械造成園 (付属農場) よりも良好な傾向をうかがえた。

2) 土壌の化学的性質

a) 土壌 pH 機械造成園の土壌 pH は、表層土 (0~20 cm) と下層土 (20~40 cm) との間にほとんど変化がなく、pH (H₂O) 5.3~5.8 の酸性であった。A 氏園の土壌 pH は、表層土、下層土でそれぞれ pH (H₂O) 6.7, 6.1 の微酸性であり、石灰および

骨粉等の有機物投入による土壌改良がよく行なわれ ていると考えられた (Table 2)。

Table 2 Physical properties of soil in the investigated plots

Investigated plot	Soil depth (cm)	pH		Content of humus (%)	Specific gravity	Consistency limit			Mechanical composition				Soil texture	
		(H ₂ O)	(KCL)			LL (%)	PL (%)	Ip	gravel (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)		
A-orchard	0-20	6.68	6.30	2.60	2.825	52.6	32.4	20.2	29.9	39.0	20.6	10.5	SL	
	20-40	6.06	4.88	0.99	2.733	51.8	27.7	24.1	53.1	21.0	9.4	16.5	C	
Experimental farm	Replanting	0-20	5.81	5.04	1.14	2.694	46.8	26.6	20.2	35.1	32.4	17.5	15.0	CL
		20-40	5.48	4.46	—	2.697	46.4	26.2	20.2	29.4	38.0	15.6	17.0	SCL
Banking	0-20	5.38	4.60	3.13	2.650	59.9	43.1	16.8	21.6	39.9	20.5	18.0	SCL	
	20-40	5.60	3.82	0.18	2.710	49.6	49.4	20.2	19.0	47.1	17.4	16.5	SCL	
Cutting	0-20	5.26	4.62	5.73	2.598	56.6	36.8	19.8	32.1	41.9	14.0	12.0	SL	
	20-40	5.46	4.58	1.44	2.672	42.1	24.6	17.5	36.8	31.3	18.4	13.5	CL	

b) 土壌腐植含有量 土壌の地力等に大きく影響を及ぼす腐植含有量は、根群が最も多く分布する表層土において多く、下層になるにしたがい著しく減少する¹⁾各地点の表層土の腐植含有量は、1.1~5.7%であり、切土部とA氏園で多く、盛土部で少ない傾向にあった (Table 2)。腐植含有量の最も少ない地点は、新しく1m程度嵩上げ盛土を行ない、柑橘樹を改植した改植部であった。これは、バーク堆肥等の投入による土壌改良の実施直後のため、投入した有機物の大部分が未分解の状態にあり、

土壌中への貯蓄がほとんどないと考えられた。次に深さ80cmまでの土層の腐植含有量は、機械造成園とA氏園とに大別して表わすと Fig.2 に示すとおりであった。A氏園は、表層から40cmまでの層位でわずかに多く、より下層(40~80cm)になれば機械造成園で多い傾向にあったが、有意差は認められなかった。また、40cm以上の深い土層では、腐植含有量がほぼ一定値を示しており、耕作活動等の外的要因による下層土への腐植の移動、蓄積はほとんど認められなかった。

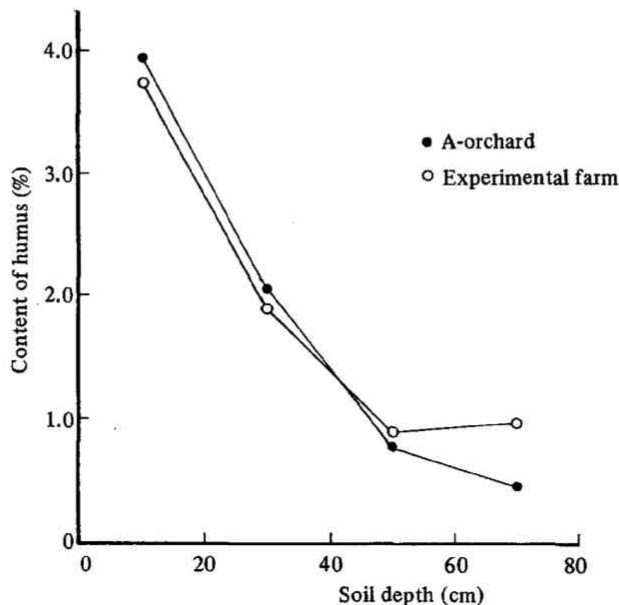


Fig. 2 Relation between content of humus and soil depth

3) 土壌の物理的性質

まず、構成土粒子の基本的な物理的性質とされる真比重、コンシステンシー限界、粒度について、次に現場の土壌状態を表わす透水性、湿潤密度、三相分布、非毛管孔隙、有効水分等について述べる。それらの試験結果の概要は、Table 2 に示すとおりであった。

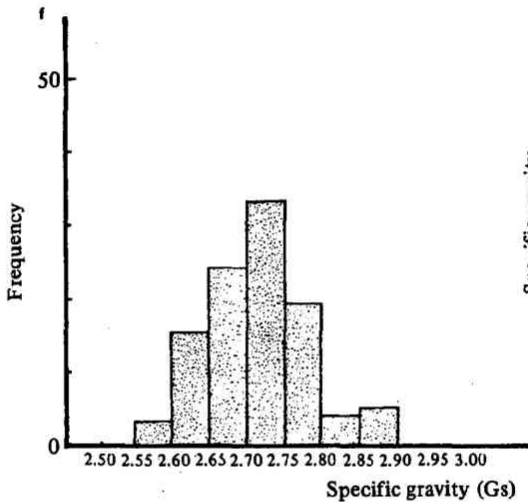


Fig. 3 Histogram of specific gravity (n=103)

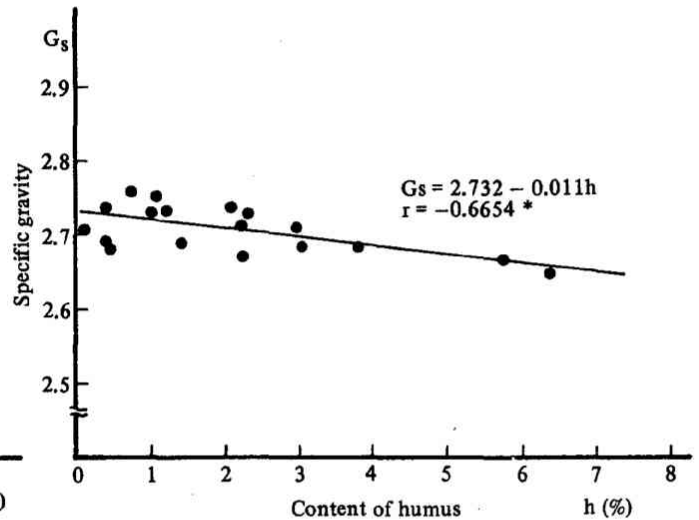


Fig. 4 Relation between specific gravity and content of humus

* Significant at 5% level

b) コンシステンシー限界 コンシステンシー限界試験の供試土は、自然含水比の40%程度に風乾した420μフルイ通過土とした。なお試料土の練り合わせ、およびその後の放置時間はそれぞれ30分とした¹³⁾。A氏園土壌の液性限界値(以下 w_L 値とする)、および塑性限界値(以下 w_p 値とする)は、表、下層ともそれぞれ52%、30%前後でほとんど変化がなかった。一方機械造成園の w_L 値、および w_p 値は表、下層土で変化し、表層土の w_L および w_p 値がそれぞれ47~60%、27~43%、

下層土の w_L 値および w_p 値がそれぞれ42~46%、25~29%であった。表層土のコンシステンシー限界値が大きいのは、土壌中に含まれる有機物が多く、これが土粒子間の保水力を増加することによって考えられた¹⁵⁾。調査土壌の大部分は、塑性図の w_L 値50%以下のA線付近に分布し、統一分類法では圧縮性および塑性が中程度のCL、ML、MHに分類された(Fig. 5)。また細粒土の活性度は、ほとんど2.0前後となり、活性度の高い土壌であった¹⁴⁾。

a) 真比重 調査土壌の真比重は、Fig. 3 のような度数分布を示し、その平均値は2.715であった。土壌の真比重は、土壌有機物含有量(腐植含有量)との間に負の相関関係が認められ、土壌有機物含有量が増すにしたがい小さくなる傾向にあった¹²⁾(Fig. 4)。

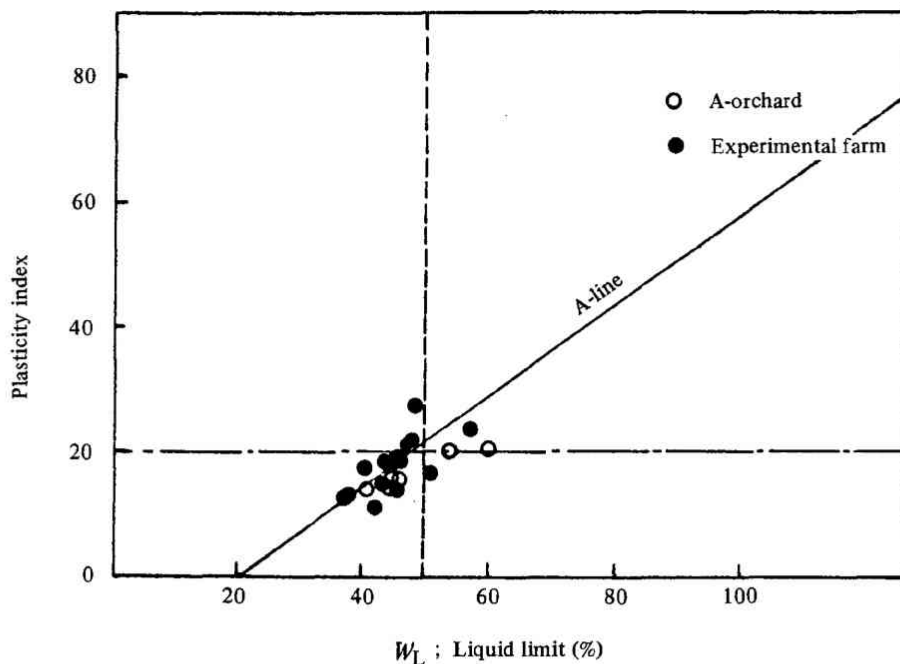


Fig. 5 Plasticity chart

c) 粒度組成 調査地点の表, 下層土の粒径加積曲線は, Fig.6 に示すとおりであった。粒度分布は, ほとんどの地点で表, 下層土ともに同様な傾向にあったが, 下層土はレキ分をやや多く含んでいた。また改植区の表層土は, 他地点より粗粒の土粒子を多く含有していた。耕作活動に支障を及ぼす中レキ(長径50mm以上)は, ほとんど含まれず, 10mm以下の土粒子が大部分を占めていた。シルト以下の細粒土は, 各地点とも同様な粒度分布を示した。なおこれら土壌の土性は, 粘土, 粘土質ローム, 砂質粘土ローム, 砂質ロームに分類された (Table 2)。

d) 土壌硬度 土壌硬度は, 土層の緻密度を表わし, 20mm以下であれば柑橘の根群分布に適正であるとされている。測定は, 約10mmの降雨後2~3日目の土壌水分条件で行なった。土壌硬度は, 土層が深くなるに従い減少する傾向にあった。A氏園土壌は, ほとんど20mm以下であり, 土層が30~40cmより深くなれば10~15mmを示し, 特に斜面畑上部の50cmより深い土層で10mm以下であった (Table 3)。これは, 母岩が容易に風化残積したため, 踏圧等による土壌圧縮の影響の程度が小さいことに起因すると考えられ, 膨軟な土層状態にある

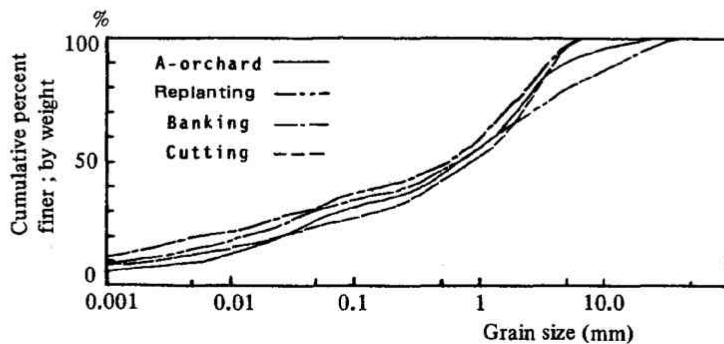


Fig. 6-1 Grain size accumulation curves (surface soil)

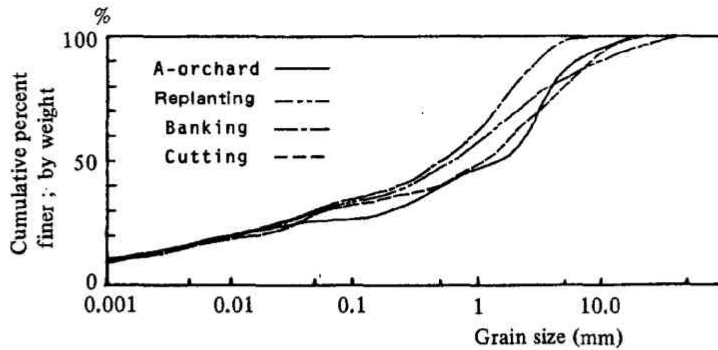


Fig. 6-2 Grain size accumulation curves (subsoil)

Table 3 Soil hardness the investigated plots (mm)

Soil depth (cm)	A-orchard			Experimental farm		
	Terracing field	Sloping field (1)	Sloping field (2)	Replanting	Banking	Cutting
5	17.9±2.69	20.2±1.40	24.1±1.37	19.7±9.32	22.7±5.10	26.9±1.00
10	20.8±2.49	19.3±1.57	22.2±2.25	24.1±2.76	24.3±1.55	26.3±1.11
15	19.0±3.23	20.3±1.95	19.8±2.04	20.7±3.95	25.2±1.65	25.5±2.53
20	17.2±2.94	18.4±2.59	19.5±1.27	21.0±4.25	25.1±2.06	24.2±2.57
25	15.7±2.83	15.6±3.75	16.5±1.58	20.9±4.26	24.3±1.42	24.6±2.50
30	21.7±2.75	15.4±3.98	14.6±1.43	20.1±3.03	20.8±2.69	22.6±2.25
35	18.0±4.88	13.4±2.63	15.7±0.67	22.5±3.13	19.6±3.14	23.3±1.06
40	16.4±3.27	12.4±2.80	14.5±1.65	23.5±1.07	20.9±5.23	23.0±1.62
45	15.6±1.90	13.9±2.51	12.5±1.27	22.9±0.88	21.2±1.80	23.9±3.44
50	18.1±1.85	8.2±2.86	12.6±1.43	22.5±1.17	19.8±2.21	21.1±0.96
55	19.3±1.77	6.3±1.70	11.4±2.01	20.6±1.73	18.4±2.06	20.6±2.92
60	15.2±1.48	6.4±1.65	11.7±1.16	20.1±3.07	23.0±3.55	20.8±3.82
65	15.0±3.37	6.5±1.78	12.9±1.79	19.3±3.21	21.1±3.69	20.8±3.77
70	14.4±2.07	9.3±5.74	13.0±1.33	20.9±2.99	20.3±1.60	17.2±1.81
75	13.6±2.07	11.1±2.23	14.7±1.70	20.7±3.57	—	19.5±3.49
80	13.3±1.42	9.8±2.30	11.7±2.11	22.3±4.92	—	17.6±2.41

ことが認められた。機械造成園の土壌硬度は、調査した土層全般にわたって20~25mmを示し、A氏園より著しく緻密化していると考えられた。特に切土部の表層土は、土壌有機物含有量が多いにもかかわらず土壌硬度が25mm以上であった。この地点は、根群の伸長に支障をきたすと考えられ土層改良の実施が望まれる。また機械造成園の表層土の緻密化は、栽培管理作業機械の運行による影響が大きいと考えられた。

e) 透水性 透水試験は、機械造成園の各地点にのみ実施したためA氏園との比較ができないが、その結果はTable 4に示すとおりであった。透水係数の測定値の大部分は、 1×10^{-2} (cm/sec)のオーダー

であり、柑橘園土壌で透水性の制限層とする 1×10^{-5} (cm/sec)オーダーの層位の存在を認めなかった。改植部の透水係数は、従来より生産活動の行なわれている切・盛土部と同様な傾向にあった。条間部の透水性は、農業機械類の踏圧による影響が大きいと考えられたが、その影響の程度は、比較的小さく 1×10^{-1} (cm/sec)オーダー小さく現われたにすぎなかった。これは、サンプリングのとき試料円筒の周辺にわずかな空隙を生じたため、実際よりもやや大きい透水性を示していると考えられた。また条間部の湿潤密度は表層上で大きく、踏圧による土壌の緻密化の影響がわずかに認められた。

Table 4 Permeability in the investigated soils (Experimental farm)

Soil depth (cm)	Ridge		Furrow		
	Coefficient of water permeability $k(\text{cm/sec})$	Wet density $\text{rt}(\text{gr/cm}^3)$	Coefficient of water permeability $k(\text{cm/sec})$	Wet density $\text{rt}(\text{gr/cm}^3)$	
Replanting	0-20	6.01×10^{-2}	1.14	1.21×10^{-2}	1.60
	20-40	2.49×10^{-2}	1.87	4.96×10^{-2}	1.69
	40-60	2.94×10^{-2}	1.81	2.36×10^{-1}	1.57
Banking	0-20	4.75×10^{-2}	1.27	2.81×10^{-3}	1.46
	20-40	6.17×10^{-2}	1.56	2.81×10^{-2}	1.69
	40-60	3.73×10^{-3}	1.82	1.31×10^{-1}	1.79
Cutting	0-20	4.30×10^{-2}	1.22	8.2×10^{-3}	1.37
	20-40	3.68×10^{-2}	1.36	1.91×10^{-2}	1.62
	40-60	6.51×10^{-2}	1.32	2.31×10^{-1}	2.08

f) 土壌の三相分布 土壌の三相分布試験は、現場および pF -1.5 の土壌水分条件について行なった。この試験結果の一部は、Fig 7-1-1~2 に示すとおりであった。なお採土時の土壌水分状態は、土壌硬度の場合と同様であった。現場での採土時の土壌水分保持状態は、盛土部を除くほとんどの地点で pF -1.5 (圃場容水量) の水分状態に近い様相を示した。機械造成園土壌の三相分布割合は、盛土部が下層になるにしたがい固相割合を漸増し、切土部では、土壌母材と思われる層位まで固相割合を漸増するが、それより深層となるとやや減少する傾向にあった。A 氏園土壌の三相分布割合は、ほとんど垂直的な変化がなく土層深さの影響を認めなかった。機械造成園と A 氏園の土壌固相割合の相違は明らかであり、A 氏園の固相割合が 45~48% であるのに対し、機械造成園の大部分の固相割合が 50% 以上を

占めており、60% に及ぶ層位も存在した。

次に pF -1.5 水分状態における三相分布は、Table 5 に示すとおりであった。固、液、気相のそれぞれの分布割合は、表、下層土ともに地点間に有意差を認めた (Table 6~8)。固相割合は、表層土で A 氏園と切・盛土部、改植部と盛土部との間に、下層土で A 氏園と切土部、改植部と切土部との間にそれぞれ有意差を認めた。液相割合は、表層土で A 氏園と改植部、改植部と切土部との間に、下層土で A 氏園と改植部、改植部と切・盛土部との間にそれぞれ有意差を認めた。気相割合は、表層土で改植部と切土部とに、下層土で改植部と切・盛土部との間にそれぞれ有意差を認めた。したがって固相割合は液、気相の分布割合を大きく支配し、固相割合が減少すれば、気相の増加割合が液相の場合よりも大きい傾向にあった。

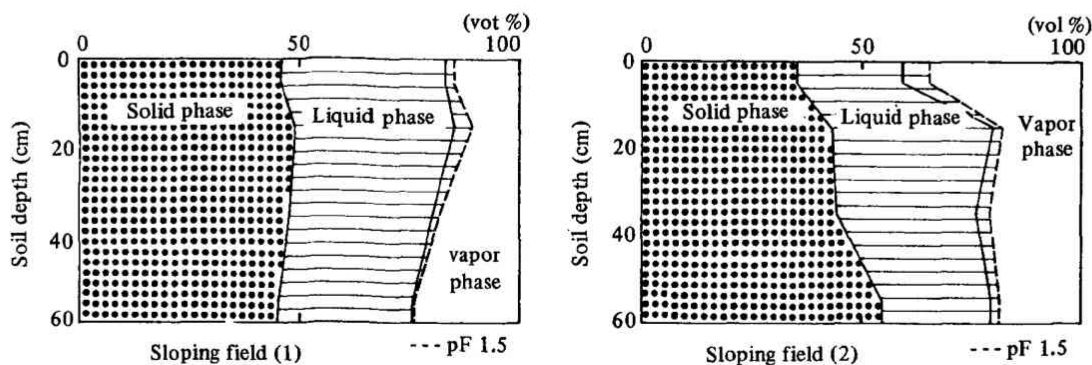


Fig. 7-1 Three phase distribution of the investigated Soils (A-orchard)

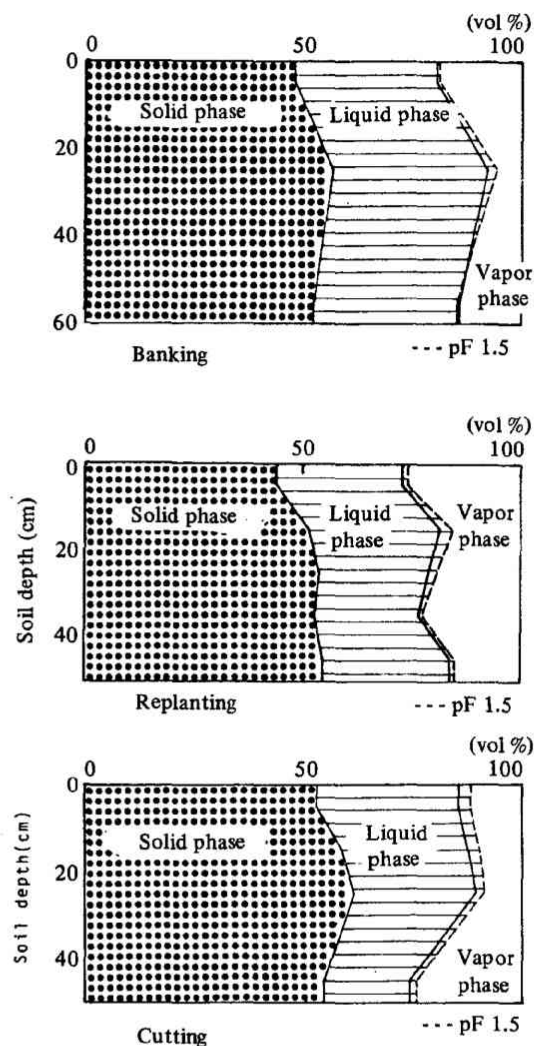


Fig. 7-2 Three phase distribution of the investigated Soils (Experimental farm)

Table 5 Three phases of soil in the investigated plots (vol %)

Investigated plots	Soil depth (cm)	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Vapor phase (%)
A-Orchard	0-20	46.7±5.57	34.0±4.98	19.3±10.46
	20-40	49.0±2.57	31.2±2.18	19.8± 2.70
Experimental farm				
Replanting	0-20	50.1±6.52	28.4±6.15	21.5± 9.91
	20-40	49.8±8.41	23.5±4.28	26.7±11.94
Banking	0-20	54.8±7.94	29.9±6.06	15.3±11.19
	20-40	54.6±6.71	29.3±5.16	16.1± 8.90
Cutting	0-20	53.7±6.30	33.1±4.03	13.2± 7.11
	20-40	55.6±6.48	32.4±3.40	12.0± 7.20

Table 6 Analysis of variance (Solid phase)

	(Surface soil)			
	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	398.98	3	132.00	3.50*
Residual	2470.20	65	38.0	
Total	2869.18	68		
	(Sub soil)			
	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	482.06	3	160.69	3.62*
Residual	2127.95	48	44.33	
Total	2610.01	51		

* Significant at 5% level.

Table 7 Analysis of variance (Liquid phase)

	(Surface soil)			
	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	404.08	3	134.69	4.59*
Residual	1967.59	67	29.37	
Total	2371.66	70		
	(Sub soil)			
	ss	ϕ	S ²	F
Between investigated				
plot	760.46	3	253.49	15.42*
Residual	1789.05	48	16.44	
Total	1549.57	51		

* Significant at 5% level.

Table 8 Analysis of variance (Vapor phase)

	(Surface soil)			
	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	828.66	3	276.22	3.09*
Residual	5817.89	65	89.51	
Total	6646.54	68		
	(Sub soil)			
	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	760.46	3	253.49	15.42*
Residual	1789.05	48	16.44	
Total	1549.57	51		

* Significant at 5% level.

g) 保水性 調査土の pF - 水分曲線は Fig.8 - 1 ~ 3 に示すとおりであった。A 氏園土壤は、機械造成園より有効水分の保水量が多い。迅速有効水

分率 (pF 1.5 ~ 3.0) および非毛管孔隙率 (pF 0 ~ 1.5) は、どの地点でも下層になるにしたがい減少する傾向にあった (Fig.9 - 1 ~ 2)。

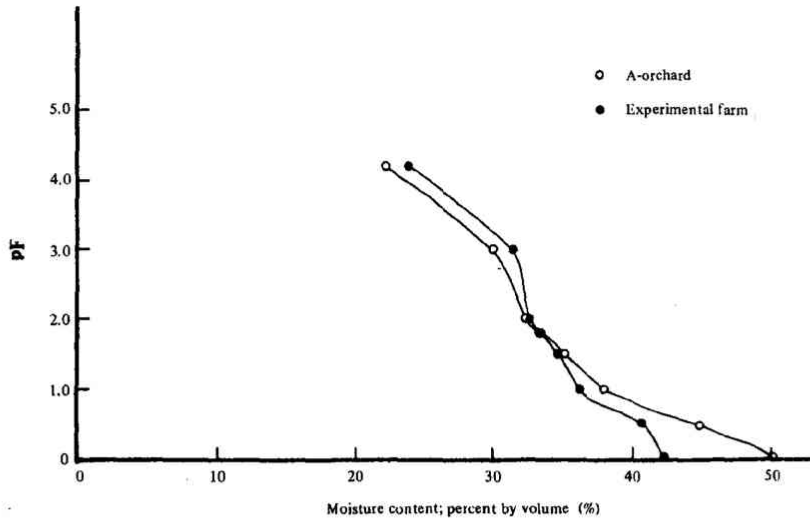


Fig. 8-1 pF-soil moisture characteristic curve of the investigated plots (surface soil)

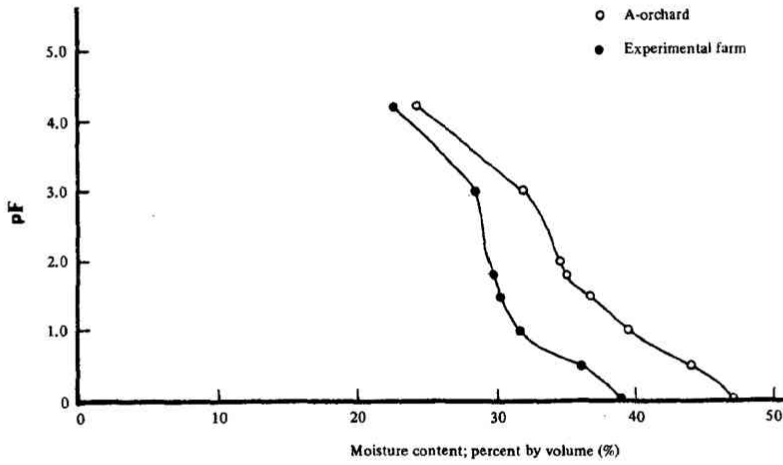


Fig. 8-2 pF-soil moisture characteristic curve of the investigated plots (subsoil 20-40cm)

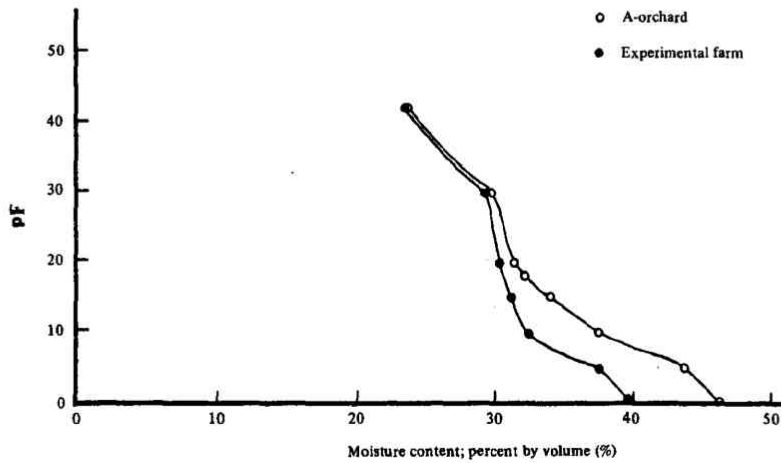


Fig. 8-3 pF-soil moisture characteristic curve of the investigated plots (subsoil 40-60cm)

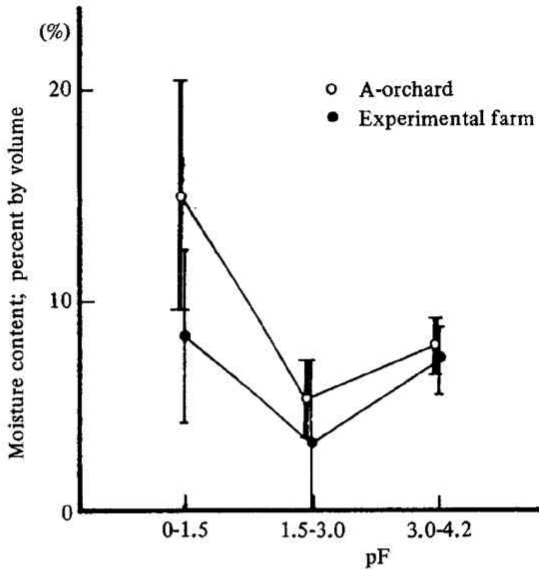


Fig. 9-1 pF-soil moisture distribution (surface soil)

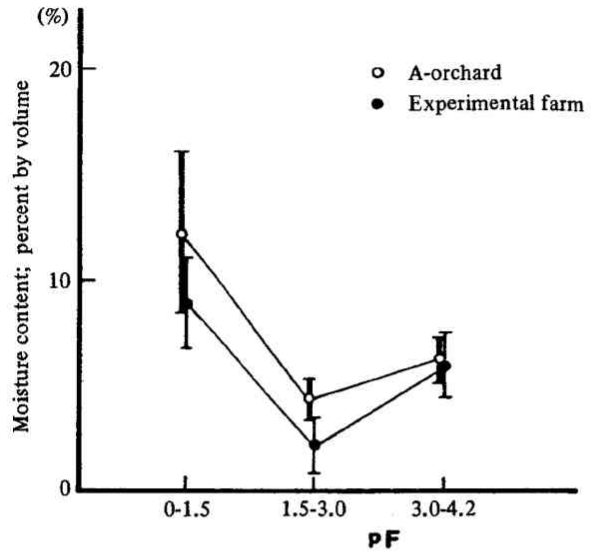


Fig. 9-2 pF-soil moisture distribution (subsoil)

a. 非毛管孔隙 非毛管孔隙は、直径 0.1 mm 以上の間隙で、ほぼ地下排水可能な重力水に相当し、土壌の通気性、透水性に大きく関与する。機械造成園土壌の非毛管孔隙率は、ほとんど全ての地点および層位が 5 ~ 10 % であり、一部に 5 % 程度と著しく少ない層位の存在も認められた (Table 9)。A 氏園の非毛管孔隙率は、土層全般にわたって多く分布し、特に表層土が機械造成園より 2 ~ 3 倍多く分布していた。調査地点と土層深さが非毛管孔隙率

に及ぼす影響は、Table 10 に示す分散分析結果のとおりである (10 ~ 20 cm の層位の値を除く)。非毛管孔隙率の有意差は、調査地点間で認められたが土層深さに認められなかった。地点間の有意差は、A 氏園と改植部、盛土部、切土部との間に認められ、非毛管孔隙率が A 氏園 > 機械造成園であった。なお機械造成園内の地点間には、非毛管孔隙率に有意差を認めなかった。

Table 9 Ratio of non capillary pore in investigated soils (vol %)

Soil depth (cm)	Experimental farm			
	A-orchard	Replanting	Banking	Cutting
0-10	16.69±4.030	8.86±3.172	7.78±2.476	5.56±2.453
10-20	13.35±6.314	10.23±4.828	8.05±6.588	7.87±1.576
20-30	—	8.87±4.994	4.15±0.354	6.22±2.653
30-40	10.33±5.058	6.87±1.551	8.89±4.690	9.68±3.178
40-50	12.20±3.851	7.88±3.428	8.32±2.351	9.81±1.735

Table 10 Analysis of variance (Non capillary pore)

	SS	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	69.99	3	23.33	5.51*
Between soil depth	2.01	3	0.67	0.15
Residual	38.11	9	4.23	
Total	110.11	15		

* Significant at 5% level.

b. 有効水分 柑橘樹の土壌水分管理は、果実の肥大期が pF 1.5~2.7 の水分範囲、果実の成熟期が pF 3.0~3.8 の範囲で実施されることがのぞましく、柑橘樹の利用可能な水分は、pF 1.5~3.8 の広範囲に及んでいる。各地点の土壌の全有効水分率 (pF 1.5~4.2) は、Table 11 に示したとおりであった。全有効水分率は、A 氏園で 10~14%、盛土部で 7~11% であったが、切土部の表層土ではこれらの地点よりも約 3.5% 多い値を示した。また全有効水分率は、下層土よりも表層土において多い傾向であった。これは表層土の有機物含有量が多く、土壌の団粒構造の発達を促し土粒子間の保水力を増

加したためと考えられた。調査地点と土層深さが全有効水分に及ぼす影響は、Table 12 に示す分散分析結果のとおりであった (10~20 cm の層位の値を除く)。全有効水分率の有意差は、調査地点間で認められたが土層深さに認められなかった。地点間の有意差は、A 氏園と改植部、盛土部との間のみ認められ、非毛管孔隙の場合と同様な傾向にあった。したがって全有効水分率は、A 氏園土壌が盛土部より 3~4% 多く、切土部との相違はなかった。

Table 11 Ratio of available soil moisture in investigated soils (vol %)

Soil depth (cm)	Experimental farm			
	A-orchard	Replanting	Banking	Cutting
0-10	12.16±2.624	10.08±1.044	10.70±1.302	16.79±2.077
10-20	14.26±2.197	8.70±2.562	8.87±1.263	10.56±2.190
20-30	—	7.06±1.979	7.07±1.372	7.47±1.211
30-40	12.18±2.709	6.83±1.423	8.83±2.724	10.87±0.849
40-50	10.43±1.443	8.22±1.346	7.57±1.608	8.10±2.183

Table 12 Analysis of variance (Available soil moisture)

	ss	ϕ	S ²	F ₀
Between investigated				
plot	42.29	3	14.10	4.77*
Between soil depth	31.92	3	10.64	3.60
residual	26.62	9	2.96	
Total	100.83	15		

* Significant at 5% level.

Ⅳ ま と め

1) 機械造成園の盛土部における土壤改良効果について

開園後 20 年を経過した盛土部と盛土直後の改植部との土壤の物理性について比較検討する。構成する土粒子の基本的な物理的性質である真比重、粒度組成および塑性指数は、ほとんど同じであった。改植部の表層土の粒度は、盛土部より粗粒の土粒子をやや多く含んでいた。土壤の腐植含有量は改植部で少なく、その影響が W_L 値、 W_P 値に大きく現われていた。次に未カク乱土による試験結果について述べると、土壤の三相分布割合は、盛土部より改植部の表層土で固相割合が少なく、気相割合が多かった。これは、有機物等の土壤改良混入のためのロータリ耕耘の影響によると考えられた。両地点間で透水性に相違のないことは、透水係数の制限要因の一つに上げられる非毛管孔隙にも両地点間で相違を認めないことから、造成時の土層の締め固めによる影響であると考えられた。また土壤硬度は、25 cm までの土層に相違が認められ、盛土部が堅い土層となり長期間にわたる栽培管理作業機の踏圧の影響が認められた。土壤の保水性を表わす全有効水分率は両地点間に相違がなかった。一方下層土の諸性質は両地点での相違がほとんどなく、耕作活動および作業機の運行による影響を受け難いと考えられた。以上のように両地点間の土壤の物理的性質は、明らかな相違を認められなかった。新しく盛土した改植区は、盛土直後であり、今後地下排水が繰り返されれば、土層内において土粒子間の大間隙への移動等による土粒子の再配列が行われ、下層からの水分供給の連絡が確立されると考えられた。今後、土壤保全の意味から改植部の表層部は、土壤改良および草生栽培法により有機物の蓄積をはかる直接的な耕地への働きかけを必要とし、土壤侵食を防止していく必要性があると考えられた。

2) 機械造成園の切・盛土部についての検討

機械造成園の柑橘樹の生育は、盛土部において樹高および樹冠容積が大きく、良好であることがうかがえた。そこで栽培基盤となる土壤の物理性について次に述べる。前項の場合と同様に土粒子の基本的な物理性は、切・盛土部の間に大きな相違を認めな

かった。これらの地点では土壤表面から 25 cm までの土層で土壤硬度が大きく、栽培管理作業機の踏圧による影響を強く受け堅い土層を形成していた。下層土の土壤硬度は 20 mm 程度であり、根群の伸長に対して大きな障害を及ぼさないと考えられた。三相分布割合は、盛土部が下層になるにしたがい固相割合を漸増し、切土部が土壤母材と思われる層位まで固相割合を漸増するがそれより深層となると減少する傾向にあった。固、液相の有意差は、両地点間で表、下層土ともに認めなかった。固相割合が両地点間で同じであると仮定すれば、切土部で液相割合が多く、盛土部で気相割合が多い傾向にあった。非毛管孔隙は、地点間において有意差を認めなかったが、表層土では切土部より盛土部が多く、下層土では切土部が多い傾向にあった。また全有効水分率も両地点間で有意差を認めなかったが、表層土の全有効水分率は切土部で多く、特に根群のよく分布する 0 ~ 10 cm の層位では切土部より 6% 程度多かった。一方下層土の全有効水分率は、両地点とも同様な傾向にあった。測定結果として表わした柑橘樹の生育状態は、両地点間で大きな相違のないことが上記の土壤試験の結果からもうかがえた。が、切土部に植栽された柑橘樹の樹勢は、盛土部より悪い状態にあると観察された。これは、夏季における連続旱天時に土壤水分不足による生育障害を生じ、早害を受け易いためであろう。切土部の土層内に土壤水分不足を生じる原因としては、有効土層が浅いことと、下層が直接母岩であるために下層からの水分補給がほとんど不可能な状態にあることにあると考えられた。

3) 人力造成園と機械造成園についての検討

柑橘樹の生育は、早生温州ミカン樹が機械造成園の切土部で、また普通温州では A 氏園の斜面畑で良好であった。次に土壤条件は、土粒子の基本的な物理的性質に著しい相違を認めなかったが、A 氏園土壤において真比重、 W_L 値、 W_P 値がやや大きい値を示した。粒度組成は表層土で同様な傾向にあったが、A 氏園の下層土がやや粗粒なレキを 53% 程度と多く分布したが、細粒土の分布割合は他地点と同じ程度であった。土壤硬度は、A 氏園の表層土で 20 mm 程度であり、作業時の踏圧の影響が 20 cm 程度の土層に及んでいると考えられた。下層土の土壤硬度は小さく、10 mm 未満の層位も出現し根群の伸長が

容易であることがうかがえた。一方、機械造成園の表層土の土壌硬度であり、堅い土層を形成して根群の伸長が困難であると考えられた。下層土の土壌硬度は、20 mm 程度でありA氏園に比較して大きい傾向にあった。非毛管孔隙率は、両柑橘園間に有意差を認め、表層土ではA氏園が1.7～2.5倍程度多く、また下層土でも1.1～1.4倍程度多く分布した。非毛管孔隙率が多く、気相割合が多く分布することからA氏園土壌の通気性は良好な状態にあると考えられた。次に保水性を示す全有効水分率は、両柑橘園間に有意差を認め、A氏園土壌で多く、表層土が1～1.5倍程度、下層土が1.2～1.3倍程度多く分布し、保水性が良好と認められた。

以上のことから、人力造成によるA氏園は、機械造成園土壌に比較して全般に膨軟な土壌状態であり、保水性、透水性、通気性が良好で根群の分布に適していると考えられ、柑橘樹の生育も良好で樹勢も優れていると考えられた。一方、機械造成園の柑橘樹の生育がA氏園より劣ったのは、土壌環境を示す土壌物理性がA氏園よりも劣悪な条件にあり、さらに農業機械運行時の作業幅確保のための整枝剪定等が大きく影響を及ぼしていると考えられた。

V 摘 要

近年、各地において農用地の機械造成が実施され、その面積を増加しつつある。ここでは、頁岩に由来する機械力造成による付属農場の柑橘園の樹勢および土壌の物理性について人力造成の柑橘園を対照として調査検討を加えた。

調査地点は、対照区とするA氏園（人力造成園）と付属農場（機械造成園の切・盛土部）とした。なお対象とした柑橘の品種は、温州ミカンであり、樹齢は20年であった。

柑橘樹の生育は、早生温州が付属農場の切土部・普通温州がA氏園において良好であり、一般に対照とした傾斜地土壌のA氏園で樹勢が優れていた。

調査園土壌の土性は、砂質ローム、粘土質ローム、粘土であり、これら土粒子の基本的な物理的性質は、真比重が2.715、 W_L 値が表層土で47～60%、下層土で42～52%、 W_P 値が表層土で27～43%、下層土で25～43%であった。

表層土壌の化学的性質は、 $pH(H_2O)$ がA氏園

で6.7、付属農場で5.3～5.8であり、土壌腐植含有量がA氏園で2.6%、付属農場で1～5.7%であった。

土壌硬度は、傾斜地土壌のA氏園よりも機械造成の付属農場において大きく、また両園とも10～20 cmの層位で大きく現われ、下層になるにしたがい小さくなるが、A氏園ではその傾向が著しく現われた。土壌の三相分布は、固、液、気相がそれぞれ48.0%、32.5%、19.5%、付属農場で53.1%、29.4%、17.5%であった。A氏園土壌は、固相割合が少なく、気、液相が多い傾向にあった。

また固相割合は、A氏園土壌のほとんどの層位で50%以下であったが、付属農場では50%以上となり、土層が深くなるにしたがい60%程度まで増加する層位も認められた。

pF -水分より求めた非毛管孔隙率、および全有効水分率は、それぞれ4.8%、3.5%程度A氏園土壌で多い。付属農場内の地点間では、それらの相違を認めなかった。

以上、同じ母岩（頁岩）に由来する柑橘園土壌を対象として、機械造成園と人力造成園での柑橘樹の生育に関連する土壌の物理性は、人力造成園で固相割合が比較的少なく、土壌硬度が小さく、かつ非毛管孔隙率が多い膨軟な土壌条件にあるために根群の分布を容易とすると考えられた。さらに全有効水分率が多いことから保水性が良いなど、植物の生育を支配する根圏の物理性が優れた条件にあるために、地上部の生育が良好であると考えられた。機械造成園土壌の切・盛土部における柑橘樹の生育状態は、樹高にのみ相違を認められ、樹高が盛土部で高い結果を得たが、それらの土壌物理的性質に相違を認めなかった。今後さらに調査、検討を進める方針である。

おわりに

本調査研究にあたっては、京都大学農学部丸山教授に貴重な御教示をいただいた。また本調査の実施を快諾され、かつ御協力を賜った農場職員各位と専攻生の諸君に厚く深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 須藤良太郎：農用地の開発，整備，山海堂
(1980)
- 2) 農林水産ハンドブック編集委員会編：農林水産
ハンドブック， 323～359，建設産業調査
会(1976)
- 3) 佐藤晃一，桜井雄二：農土論集 69,1～7(1977)
- 4) 佐藤晃一，桜井雄二：農土論集 72, 15～21
(1977)
- 5) 長堀金造：農業土木学会誌 49,(1), 31～37
(1981)
- 6) 向井 明：農業土木学会誌 45,(1), 38～42
(1977)
- 7) 鈴木正敏，竹生章一：愛知県農業総合試験場報
告D, 2, 1～8(1971)
- 8) 土壤物理研究会編：土壤の物理性と植物生育
養賢堂(1979)
- 9) 青野英也：農業土木学会誌 48(6)29～36
(1980)
- 10) 古賀 汎，川村秋男：四国農業試験場報告
15, 1～30(1966)
- 11) 経済企画庁総合開発局編：土地分類図(和歌山
県)(1974)
- 12) 福井春雄，本山栄一，久保田収治：四国農業試
験場報告 4, 101～113(1966)
- 13) 竹中 肇，他：農土論集 71, 1～7(1977)
- 14) 土質工学編：土質試験法，土質工学会(1969)
- 15) 久保田 徹：日本土壤肥料学会雑誌 42(9)
7～11(1971)