

技術レポート

貫入式土壌硬度計
(自動記録型)
DIK-5520

——— 農業生産現場における簡易な土壌硬度測定について ———

昭和59年7月

大起理化工業株式会社
〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3
TEL 03(810)2181(代表)

土壌の硬さは、粒径組成、構造、風化程度、凝集、固結の有無、水分含量などに規定される土壌の物理的性質を示す一つの状態である。従来より、土壌調査の基本的項目として層位の硬度を測定してきたが、近年、水田への大型機械作業性改良のための基盤整備や、機械による農作業の結果、犁底盤の形成など、作物根の伸長に対する障害性を示す数値として測定されるほか、水田の畑利用に際し、硬度の大きい鋤床層の取扱いの判定や、グライ層と硬度の関係から地下水位の判定にも土壌硬度が測定されている。

現在、土壌硬度の測定には、山中式硬度計が利用され、緻密度（指標硬度）として頂角25度20分、高さ40mmの円錐の貫入深をmmで示す数値が一般的に用いられている。緻密度と農作物の根の伸長に関するデータは多く、この結果から、土壌の物理的診断基準も、この緻密度が用いられ、正常な根の生育は21~22mm以下とされている。山中式硬度計での測定は試坑を必要とするが、現場で試坑なしで簡易に測定する方法が特に農業生産現場で求められている。

この目的のために、SR-2型土壌抵抗測定器が利用されているが、測定に2名必要なことや、重量があり、操作性に問題があった。今回テストした貫入式土壌硬度計（自動記録型）DIK-5520は、操作が1名ですむように設計されている。貫入抵抗が回転ドラムに取りつけた用紙に深度に対応して連続記録されるため、測定者はコーンの貫入速度に十分な注意を払うことができる。またコーンは、2cm²、バネは50kgとSR-2型と同様であるので、測定値に共通性があるのも利点である。

耕盤層（鋤床）、緻密層の存在の有無の判定が容易である。

1. 操作性

前述のように一人で測定できるほか、重量も約3kgと操作性は良好である。測定はできるだけ一定速度（原則として1cm/秒）でコーンを貫入させていく。貫入深度の測定は、土壌表面上のオモリと記録紙を装着するドラムとが糸で連結しており、板バネを動力としてドラムを回転させている。またオモリの中心をスピンドルがスライドしているので表層の軟弱、足場の不安定等にわずらわされることなく安定した貫入深度の測定が保たれ、深度に対応して貫入抵抗が連続記録される。

以上のことから測定者は貫入速度を調節しながらの押し込みが楽である。またチャート式のため同一チャートで3回（3地点）位までは読み取り可能である。

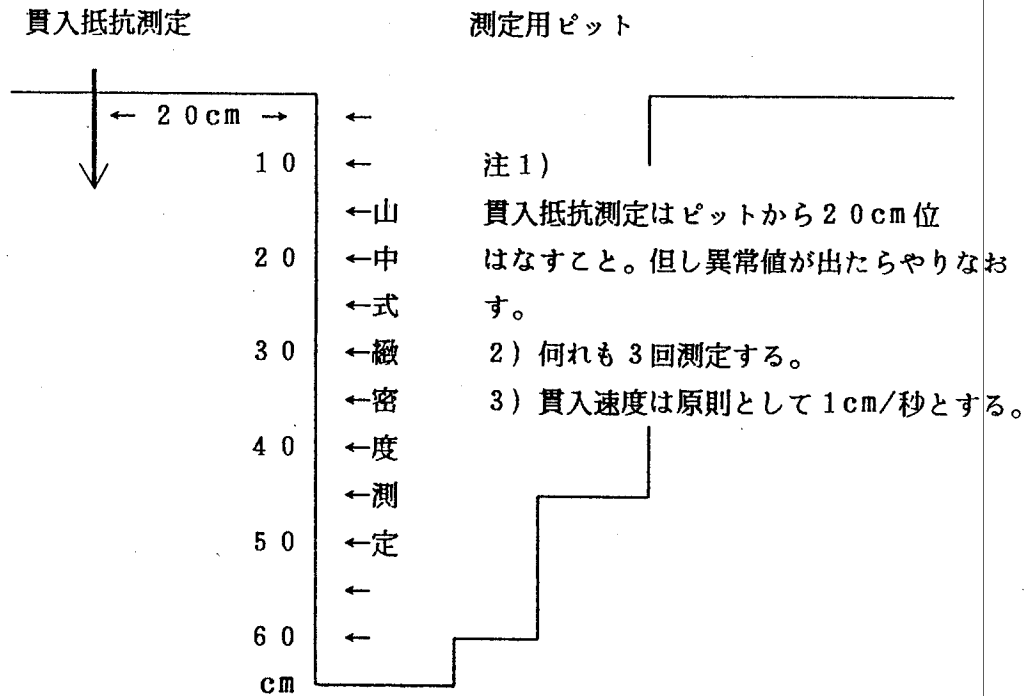
基本的には同じ硬度計だが、5cm間の最大値を棒グラフに記録して、順次60cmの深さまでくり返し測定する手動記録型の姉妹器もある。

2. 山中式硬度計の緻密度との関係

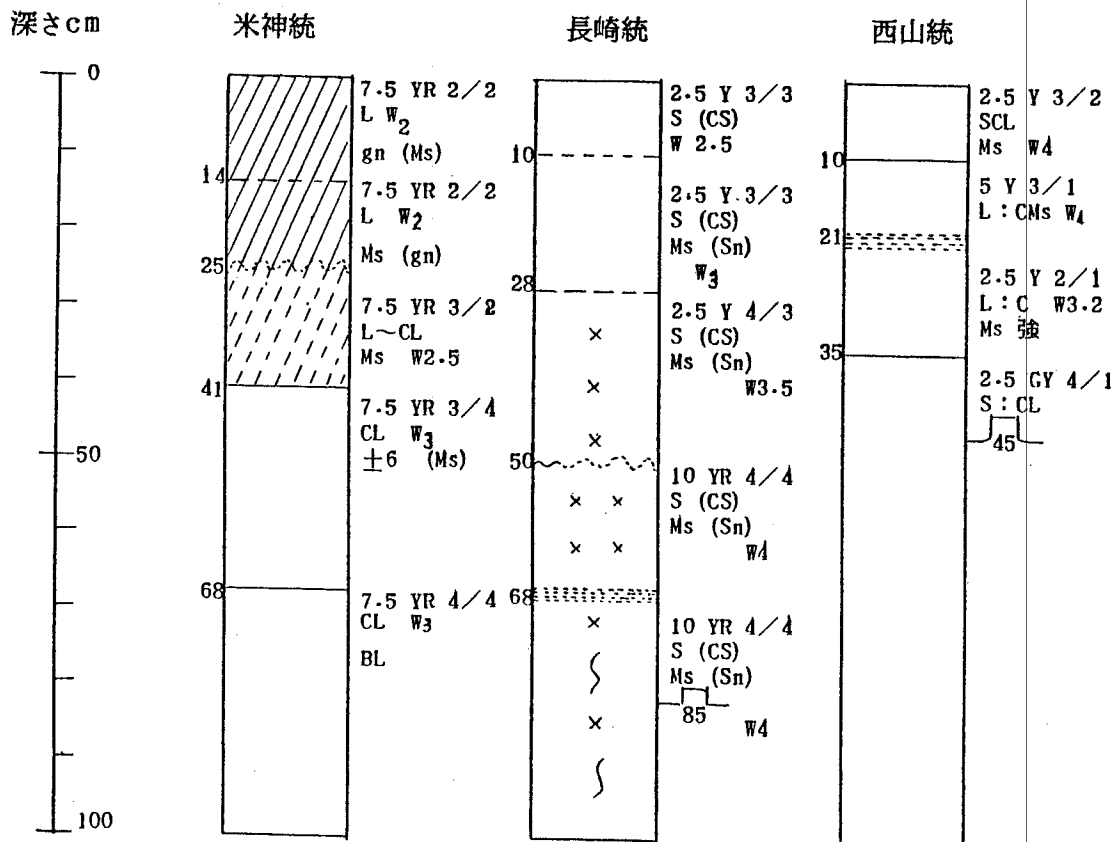
土壌断面に対し直角に測定した山中式硬度計と、土面に垂直に測定した本器の測定値を同一深度で比較した。結果は指数関数的であるので直線化のため片対数にプロットすると極めて良好な直線性を示し、その相関は非常に良い。

(1) 千葉県農業試験場におけるテストの結果

【測定法】



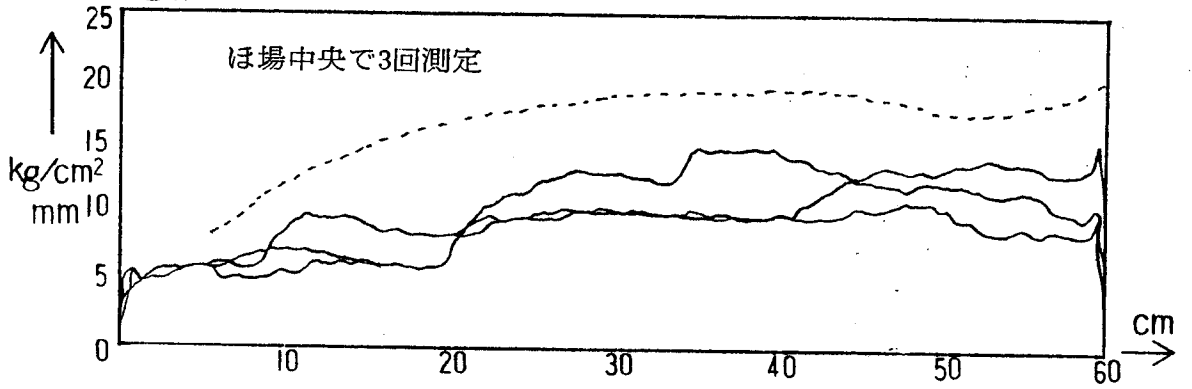
【土壌断面】 a. 黒ボク土畑 表層腐植質黒ボク土 03D27 米神統
 b. 砂質畑 褐色低地土 12E14 長崎統
 c. 強グライ土水田 細粒強グライ土 14A03 西山統



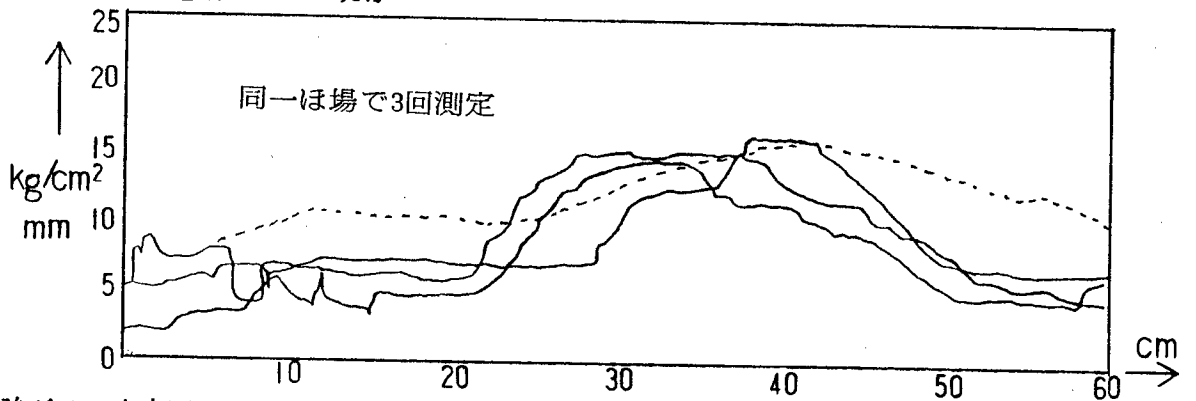
【測定結果】 一部掲載
 総測定点数 = 231点

凡例 ———— : 貫入式
 : 山中式

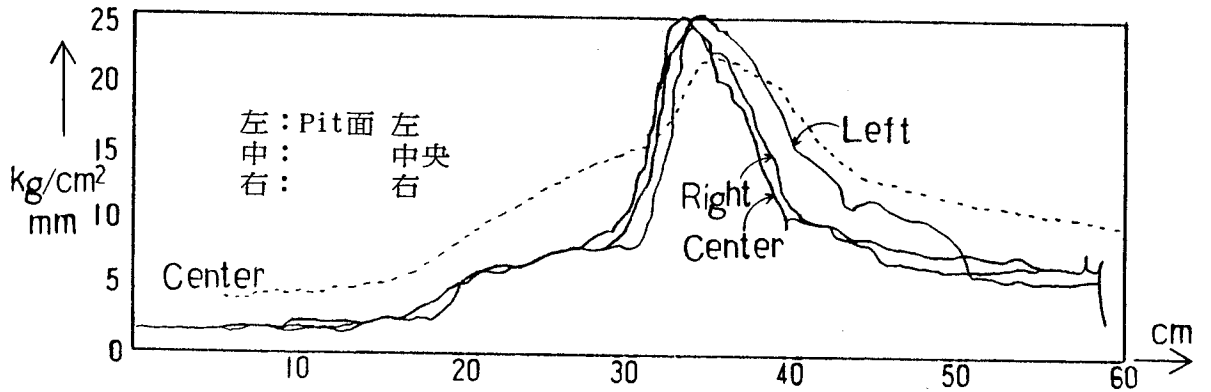
a. 黒ボク土露地畑



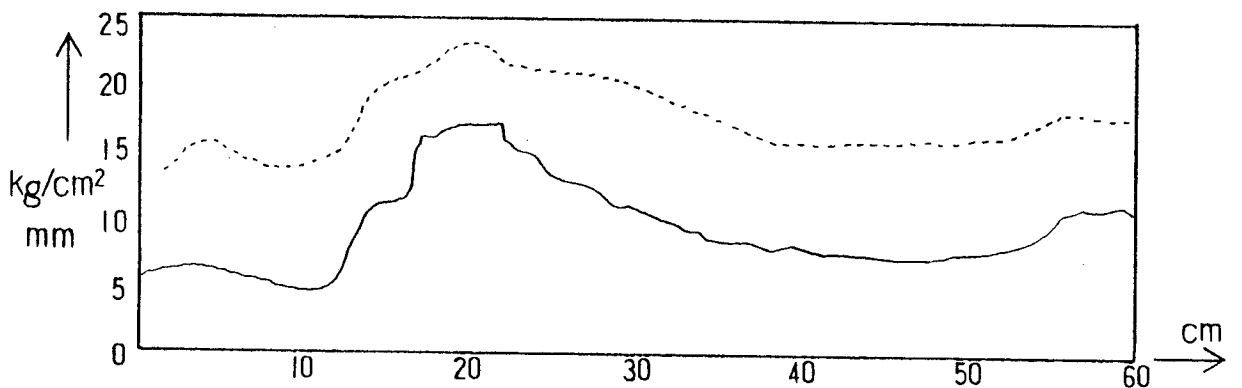
b. 海成砂質土露地畑 —既存—



c. 強グライ土水田



d. 多湿黒ボク土水田 (参考: 東京都農業試験場によるテストの結果)

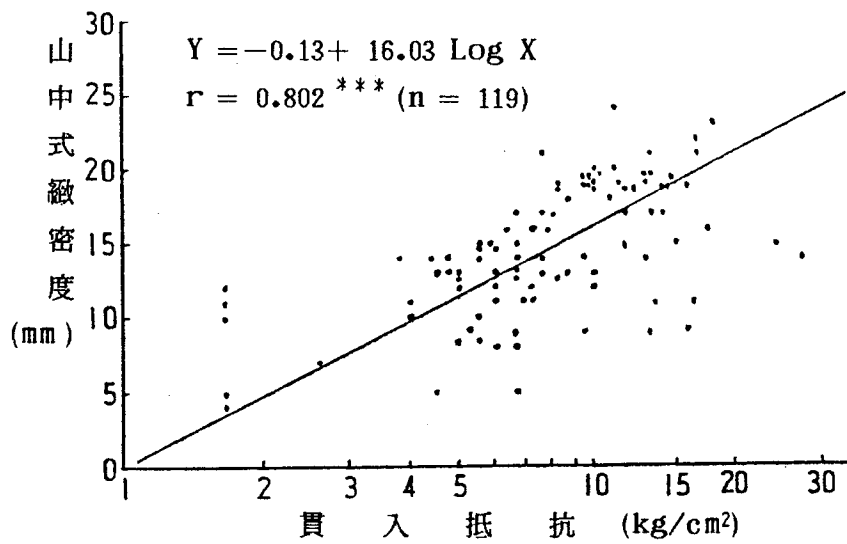


(2) 貫入式硬度計の貫入抵抗から山中式硬度計の緻密度への読み換え

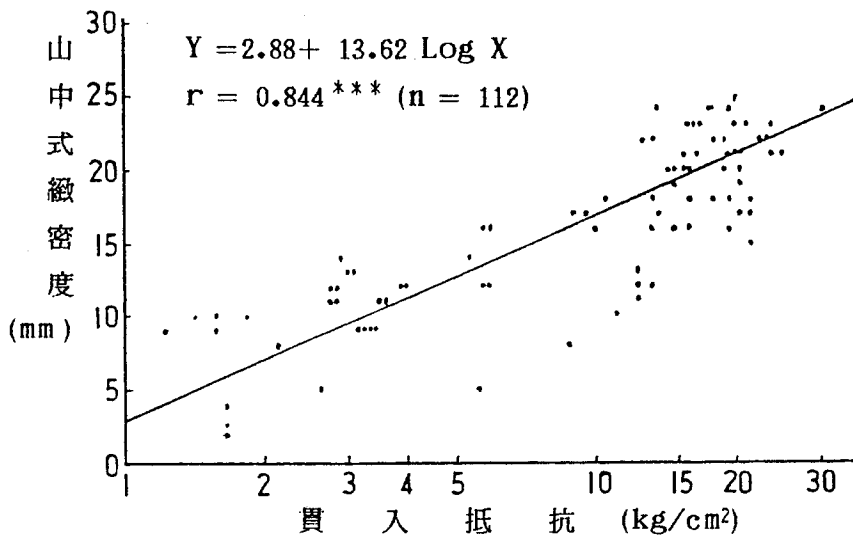
貫入抵抗と山中式の緻密度との関係を、東京都農業試験場と神奈川県農業総合研究所のデータも含めて以下のグラフにまとめた。土壌の硬度はその種類、構造、水分状態等によって異なるが得られたデータを買入式土壌硬度計の自動記録型DIK-5520と手動記録型DIK-5510、及びそれらを合成したもの、以上3通りの方法でグラフ化し回帰式を求めた。その結果はいずれも0.1%レベルで有意と極めて良好な相関を示した。第1表は第3図から求めたものである。実用上、この第1表の換算表を利用して山中式の緻密度に読み換えることができる。

例えば、山中式の緻密度で20mmをこえる値は貫入抵抗で18.5 kg/cm²であるが、作物の良好な生育を望む場合、15 kg/cm²をこえると要注意で19 kg/cm²以上では改善対策が必要であろう。

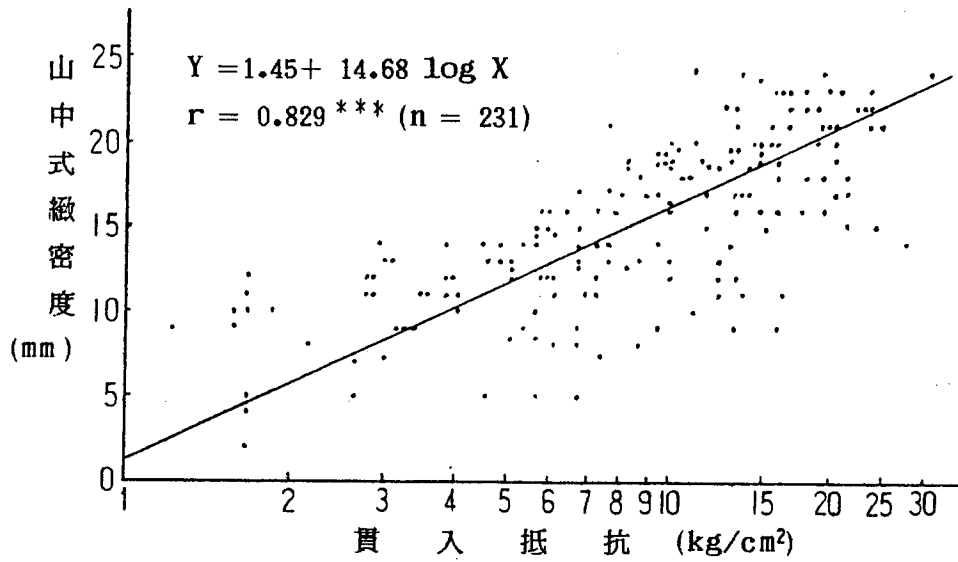
(第1図) DIK-5520



(第2図) DIK-5510



(第3図) DIK-5520 & 5510



(第1表) 換算表

山中式緻密度 (mm)	貫入抵抗 (kg/cm ²)
5	1.7
6	2.0
7	2.4
8	2.8
9	3.3
10	3.8
11	4.5
12	5.2
13	6.1
14	7.2
15	8.4
16	9.8
17	11.5
18	13.4
19	15.7
20	18.3
21	21.5
22	25.1

両機種とも山中式の緻密度との相関は良好であるが、現在のところ測定事例が少なく、今後データの蓄積につとめて土壌統別、水分状態等との関係を検討する必要がある。

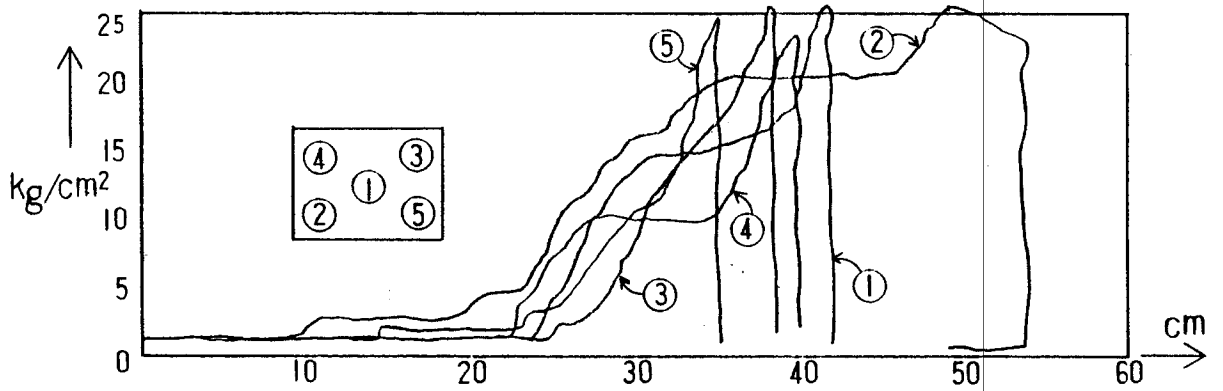
3. 貫入式土壌硬度計の現場適用事例

(1) 土地利用及び圃場内での変異を測定した事例

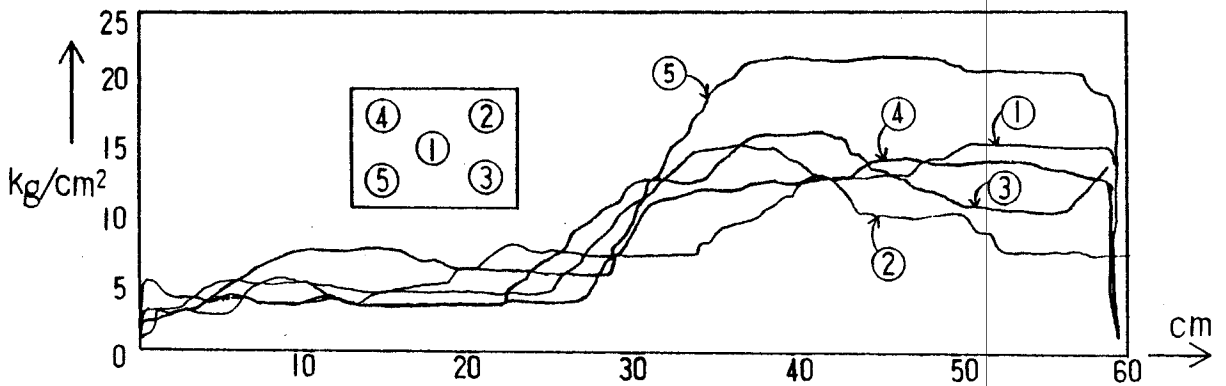
—千葉県農業試験場—

a. 近接する海成砂質土 (砂地野菜研圃場) 12E 14 長崎統

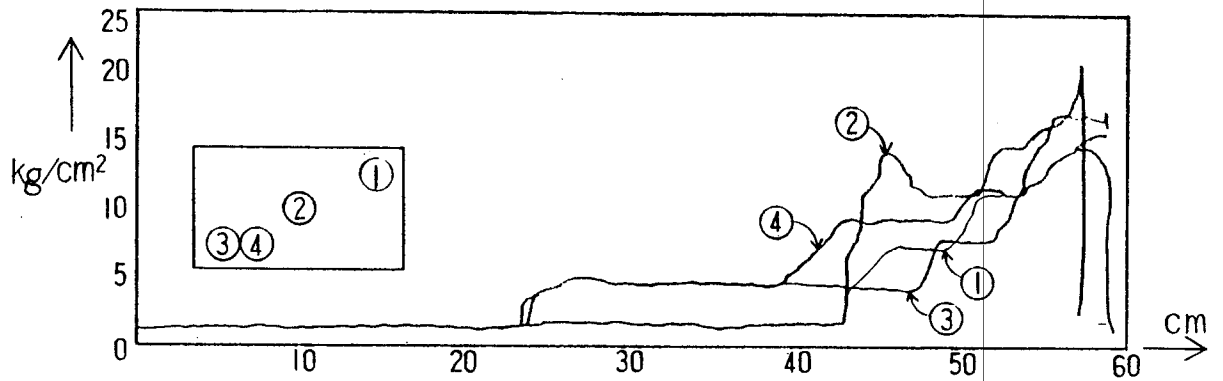
a-1 造成圃場 —露地—



a-2 既存畑 —露地—



a-3 ハウス —深耕—

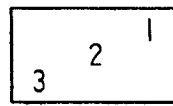


注) 各図内の数字は測定場所を示す。

b. 海成砂質土露地畑

—既存—

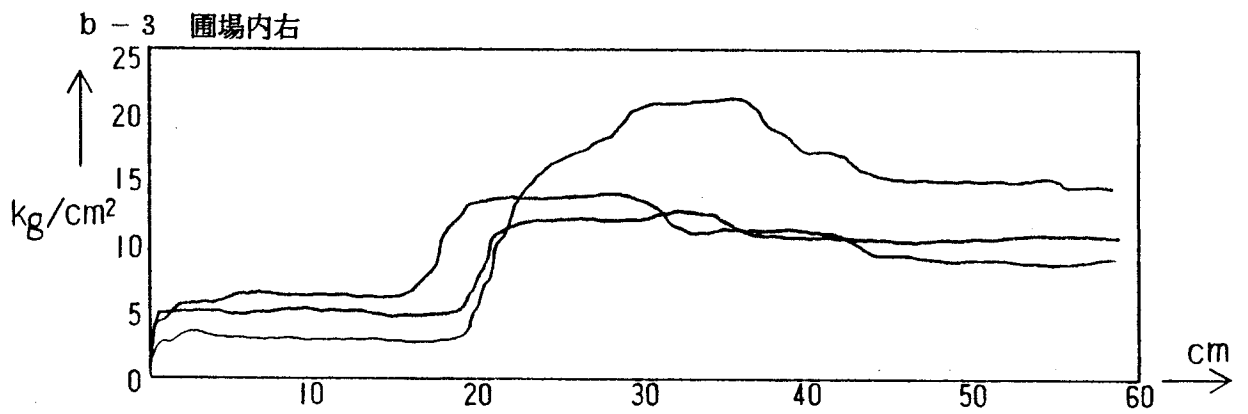
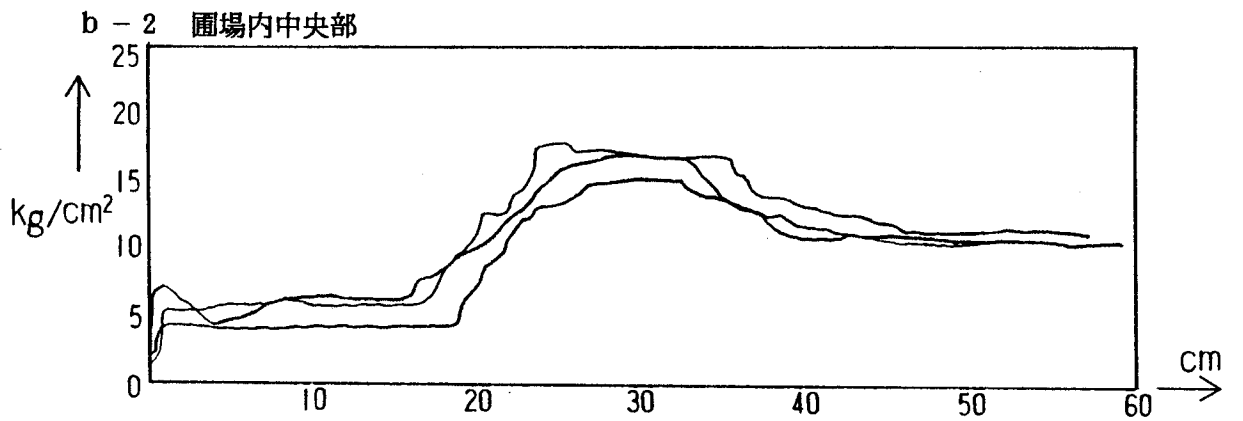
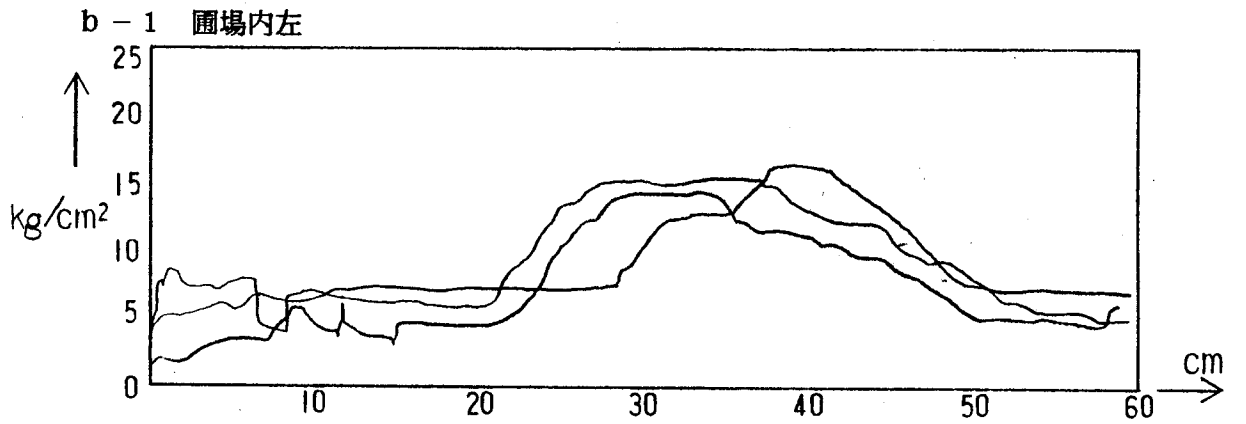
凡例



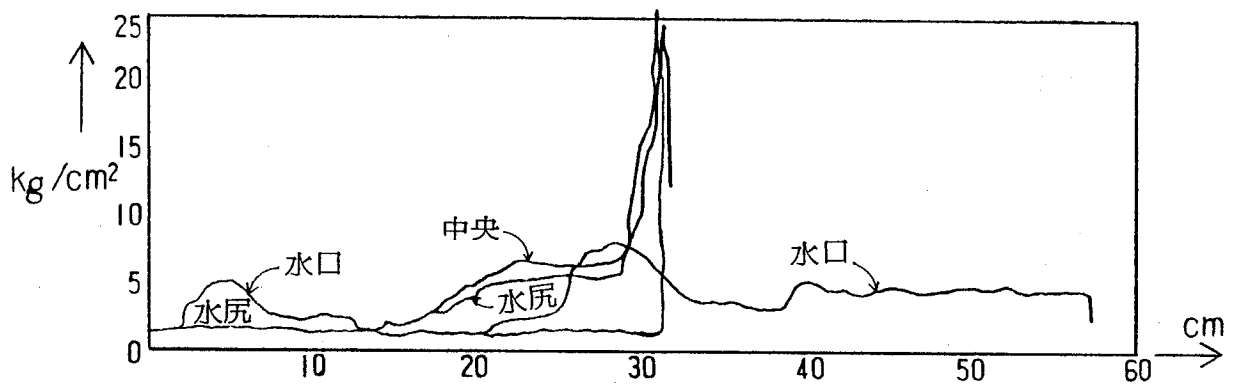
1: b-1地点

2: b-2地点

3: b-3地点



c. 強グライ土水田



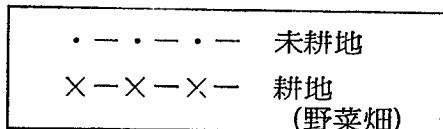
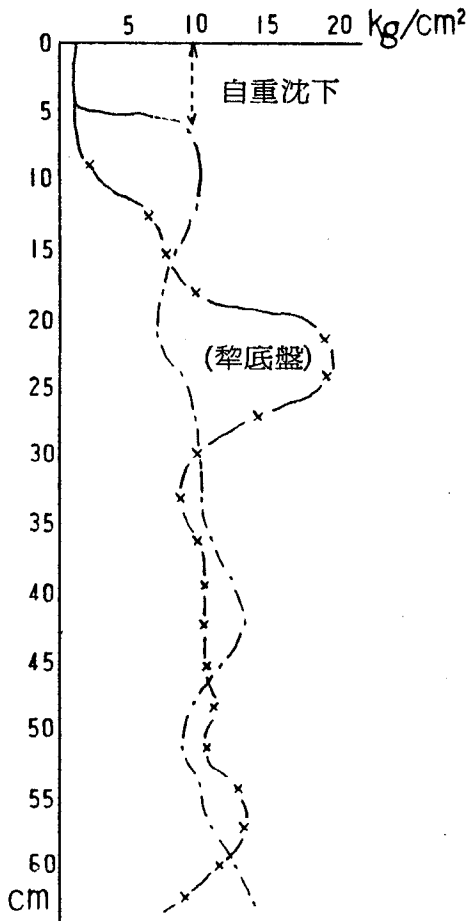
(2) 機械利用による変異を測定した事例

—東京都農業試験場—

(手動記録型DIK-5510で測定しグラフ化する)

黒ボク土畑での使用例

テラー型耕耘機を使用する表層腐植質黒ボク土の野菜畑と未耕地を比較した。深さ20~25cm前後の部分を中心に貫入抵抗 20 kg/cm^2 (緻密度 $2.0\sim 2.1\text{ mm}$)をピークとする盤層が形成されており、深耕が必要とみられる。

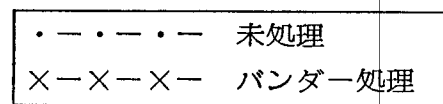
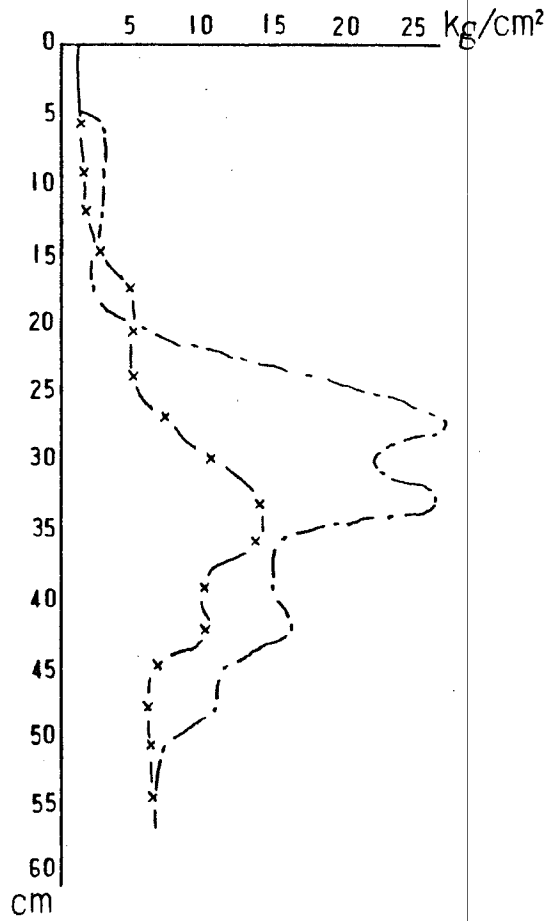


表層腐植質黒ボク土

盛土造成畑での使用例

ブルドーザーによる踏圧のため圧密層が形成され、そのままでは十分な生育を望めない畑が多い。

バンダーによる破碎効果を測定し、有効であることが認められた。



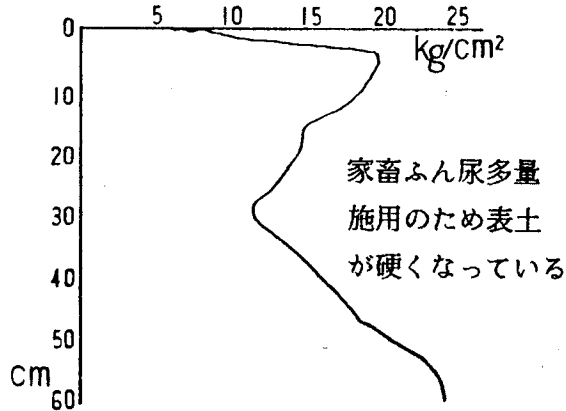
客土造成畑 (火山灰下層土)

(3) 飼料作畑及び野菜作畑における現地適用例

—神奈川県農業総合研究所—

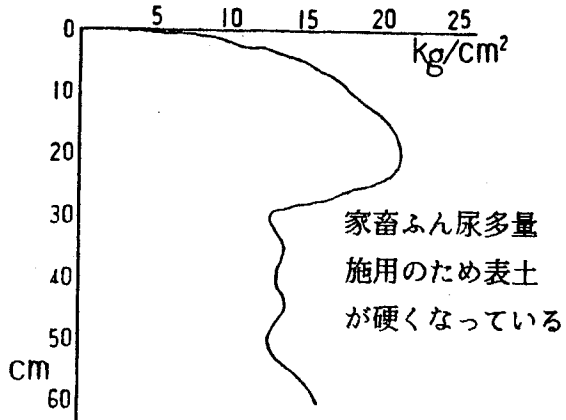
土壌：厚層多腐植質黒ボク土(神奈川県相模原市)

a. 飼料作畑(座間氏)

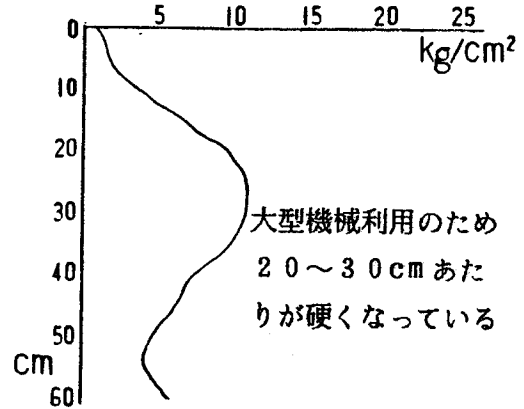


(手動記録型DIK-5510
で測定しグラフ化する)

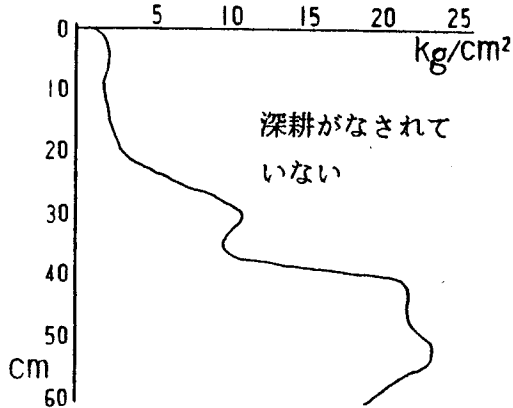
b-1. 飼料作畑(近藤氏)



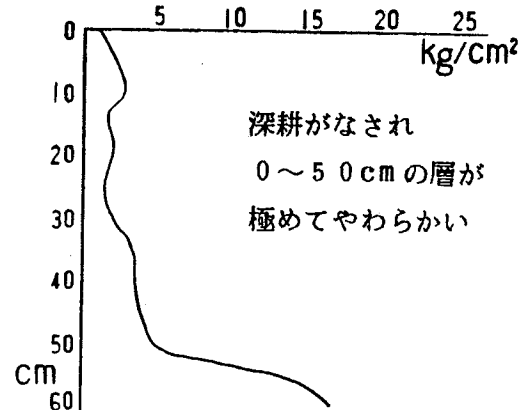
b-2. 飼料作畑 プラウ耕後1年(近藤氏)



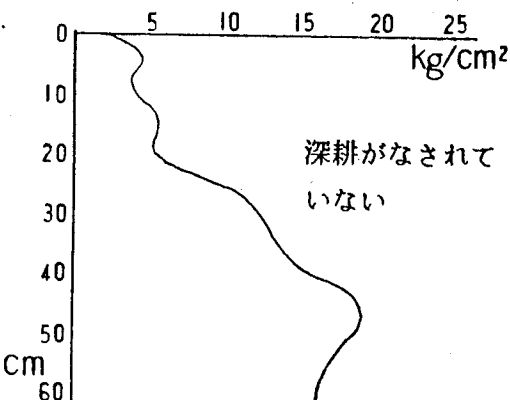
c-1. ヤマトイモ畑通路部(小山氏)



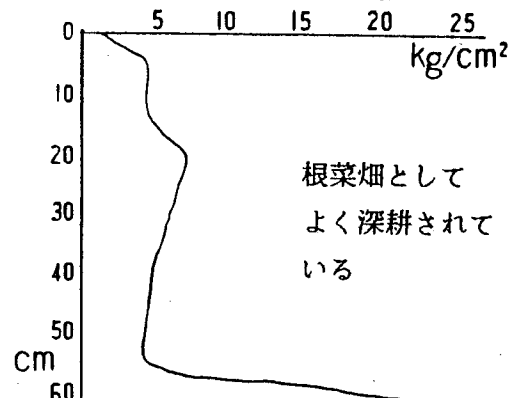
c-2. ヤマトイモ畑(小山氏)



d-1. 畑、ホウレンソウあと(小山氏)



d-2. 畑、ニンジンあと(小山氏)



4 . 根群伸長の良好な土層の条件

—— 「土の物理性と土壌診断」三好 洋、丹原一寛著より抜粋 ——
 (ただし、貫入抵抗値は5ページの
 第1表の換算表から引用)

植物の根がよくはることができるためには土がやわらかく、空気や水が充分にあることが必要である。

土の断面を観察すると、根のはりの悪い土には硬い土層と重粘な土層と過湿で空気不足の層がある。特に上の層の物理性がよく、その下において急に硬くなったり、重粘になったり、過湿になったりすると、根のはりが悪くなる。よく管理された施設の表土は物理性が大変よく、根ばりも良好なので、次層の物理性の変化がはげしいと根は次層へはほとんど入ってゆかない。また表土の団粒構造がよく発達しており、次層が重粘土の場合は根は次層へ入ってゆきにくい。

過去の調査結果から、根のはり方と土の物理性との関係を整理した結果得られた根のよくはる条件は表8-1のとおりである。

表8-1 根群伸長に必要な土層の物理的条件

固相率	非火山灰土壌 50～55%以下 (35%以上) 火山灰土壌 (腐植層) 28%以下
仮比重	非火山灰土壌、粘重粘質土壌 1.40以下 非火山灰砂質土壌 1.35以下
空気率	15～20%以上
緻密度	2.0～2.2mm以下 → 貫入抵抗 1.9～2.5kg/cm ² 以下

根ばりのよい土層条件の限界値を火山灰土壌と非火山灰土壌にわけたのは、火山灰土壌の物理性が非火山灰土壌と極端に違っているからである。また火山灰土壌は土層によってこの限界値は異なり、表8-1にあげたのは腐植含量の高い火山灰表土の腐植層についての値である。

また非火山灰土壌のうち砂質土壌の仮比重の限界値がやや大きくなっているのは、砂質土は一般に砂鉄などが多く含まれていて、真比重の大きいものが多いからである。

三相組成の場合と同様に、作物別、土層別にわけて根はりのよい層、中位の層、悪い層の比率を緻密度毎に計算し、それを緻密度（硬度計のよみmm）別に並べ、表8-5のとおりに整理した。

表8-5 土層のち密度と根群分布良好比率(%) (1972)

土層	作物	ち密度 (mm)									
		12, 13	14, 15	16, 17	18, 19	20, 21	22, 23	24, 25	26, 27	28, 29	
砂質土	コムギ	100	100	90	82	82	32	5	2	0	
	畑水稲	100	88	96	82	80	63	12	8	8	
	カンショ	82	100	82	76	79	68	70	18	0	
	ラッカセイ	80	86	92	78	60	28	16	0	0	
	トマ	90	88	87	72	82	38	16	16	16	
	ナス	100	100	100	100	92	66	8	0	0	
	カボチャ	100	100	100	100	86	86	30	8	2	
	ピーマン	100	82	93	74	85	19	12	0	0	
	ナス	100	100	83	87	73	38	8	0	2	
土	ブドウ	78	88	60	54	92	40	0	6	3	
	キュウリ	100	84	76	82	86	41	19	0	0	
	スイカ	100	81	73	93	93	43	12	0	0	
	牧草	80	80	83	92	76	68	22	16	3	
砂質土	コムギ	91	91	92	92	80	29	22	0	0	
	カンショ	100	93	80	95	59	59	17	10	4	
	ラッカセイ	80	92	79	72	72	80	48	8	0	
	ナス	100	92	80	73	73	80	38	18	0	
	レタ	84	94	94	86	82	76	12	16	0	
	サトイモ	100	100	100	100	67	7	18	8	4	
土	牧草	100	100	80	60	58	56	18	8	2	
	イチゴ	100	79	76	72	59	36	13	13	6	
粘質土	ソラマメ	100	100	92	-	-	-	-	-	-	
	キュウリ	86	86	86	86	80	30	19	8	4	
	レタ	100	82	86	62	62	6	0	0	0	
	ミカン	100	85	80	57	63	39	0	0	0	
	クローバー	100	100	92	88	76	80	36	10	2	
火灰山土	コムギ	100	100	82	90	86	40	12	6	6	
	カンショ	100	100	100	82	83	82	10	0	0	
	ラッカセイ	100	100	96	96	94	48	0	0	0	

これらの表でわかるように、植物の根はりのよい比率は緻密度が21~22mmをこえると急に小さくなる。

しかし、根菜類を作る場合はこの基準を用いることは危険である。このぎりぎりの値近くの土層条件では根菜の収穫部分に、まがり、岐根などの奇形が出て、商品価値がいちじるしく低下する、根菜類の栽培には必要根域（商品部分）の緻密度が18mm以下であることがのぞましい。

根群の伸長を良好にする土層の条件は、その層の物理性改良の目標となるが、作物栽培の場においては、それよりきびしい、すぐれた物理性の条件が要求される場合がある。

根のはりをよくする土層の緻密度

2.1~2.2 mm 以下 → 貫入抵抗 2.2~2.5 kg/cm² 以下

根菜の商品価値を高く保つ土層の緻密度

1.8 mm 以下 → 貫入抵抗 1.4 kg/cm² 以下

露路野菜栽培の根域土層の物理性の好ましい条件

固相率 5.0% 以下 (火山灰土壌 2.7% 以下)

空気率 2.0% 以上

緻密度 1.8 mm 以下 → 貫入抵抗 1.4 kg/cm² 以下

仮比重 1.30 以下 (火山灰土壌 0.72 以下)

粗孔隙 1.0% 以上

露路野菜の必要根群深

葉茎菜、果菜 5.0 cm 以上

短根根菜 6.0 cm 以上

長根根菜 8.0 cm 以上

十分に土壌管理の行なわれている施設作物の根群伸長を良好にする次層の条件

固相率 4.8% 以下

空気率 2.4% 以下

緻密度 1.6 mm 以下 → 貫入抵抗 1.0 kg/cm² 以下

仮比重 1.30 以下

粗孔隙 1.5% 以上

果樹の根群伸長を良好にする土層の条件

固相率 5.0% 以下 (火山灰腐植層 2.8% 以下)

空気率 1.3% 以上

緻密度 2.2 mm 以下 → 貫入抵抗 2.5 kg/cm² 以下

仮比重 1.35 以下 (火山灰腐植層 0.73 以下)

果樹園の根群域の望ましい深さ

8.0 cm 以上

6.0 cm 以上の時は横に十分な広がりが必要

ただし果樹の種類によってふれが大きい

桑樹の根群伸長に好適な条件

土性	SL~CL
緻密度	1.8mm以下 → 貫入抵抗 1.4kg/cm ² 以下
固相率	3.6~5.0% (非火山灰土壌)
空気率	1.8%以上
粗孔隙	7%以上
望ましい根群域の深さ	60cm以上

茶樹の根群伸長を好適にする条件

固相率	5.5%以下 (非火山灰土壌)
空気率	2.0%以上
緻密度	2.1mm以下 → 貫入抵抗 2.2kg/cm ² 以下
粗孔隙	1.0%以上
望ましい根群域の深さ	50~100cm以上

この技術レポートの作製にあたっては、下記の諸先生方、並びに日本イリゲーションクラブ発行の「土の物理性と土壌診断」の著者、三好 洋先生と丹原 一寛先生の御指導と御協力をいただきました。心から感謝申し上げます。

千葉県農業試験場

松本 直治
渡辺 春朗
日暮 規夫
安西 徹郎
金子 文宣
真行寺 孝

東京都農業試験場

伊達 昇
竹迫 紘
加藤 哲郎

神奈川県農業総合研究所

鎌田 春海
藤原俊六郎

(順不同 敬称略)