踏圧による土壌の圧密と樹木の生育状態について

森 本 幸 裕*
増 田 拓 朗*

Soil Compaction by Trampling and its Effect on Growth Condition of Trees

by Yukihiro MORIMOTO*
Takuroo MASUDA*

はじめに

市街地緑地の樹木衰退の要因のひとつとして踏圧による土壌物理性の悪化が指摘されることが多い。しかしこの関係が具体的に調査された例はきわめて少なく、市街地緑地の土壌管理の見地からぜひ明らかにする必要があると考える。

本稿は、少なくとも近年まで樹木が比較的正常に生育していたと思われる京都御苑において利用による表土の圧密のようすと樹木の生育状態について調査した結果をとりまとめたものであり、環境庁京都御苑管理事務所の委託により行なった調査「京都御苑の樹木の生育と地下鉄開設工事との関係に関する調査報告」堤利夫(1974)および「京都御苑内の樹木の生育と管理」堤利夫・森本・増田(1975)を中心に2, 3の考察を行なったものである。なお、京都御苑管理事務所の皆様をはじめ常に御指導いただいている中村教授、本調査に全面的に御指導いただいた堤教授、初年度の調査に御指導いただいた荻野講師に厚く御礼申しあげる。

I 調査地の概況

京都御苑は京都市街地中心部のやや北に位置し、面積約100haの長方形の緑地で、南端は北端より約8m低い、ほぼ平坦な地形である。最も外周にはウバメガシの生垣があり、それにそって内側にケヤキ・ムクノキ・エノキの大径木を主とする樹帯があり、これより内部は御所およびマツ類が主に生育する芝生地である。調査の対象としたのは、周縁部の樹帯であり、人の侵入の稀な分歩、広場、駐車場、グラウンドなどに利用されている。

地質調査によれば表層2~3mにいくらか細粒質の部分を含む以外は50mに達するまでほとんど砂礫層のみの単純な地層であり、この間に連続性をもった難透水性の層の発達は見られず、不圧地下水位はほぼ8~10mにあ

ると見られている⁶⁾。

なお土壌の物理性の対照のために調査した京都大学演習林本部試験地の樹木見本園(京都市左京区北白川追分町)は40年前に造成された平坦地で、落葉・草本でおおわれ、人の侵入はほとんどない。土壌は御苑と同様砂壤土であるが、石礫はかなり少ない。

図-1 利用形態の違いによる調査地の地区区分図

Fig. 1 Investigated areas divided by type of utilization

* 京都大学農学部造園学研究室

II 調査方法

調査地を利用形態に応じて図-1のようにA～Mまで13の地区に区分した。

土壌の物理性については、その代表的な部分で土壌を200cc 採土器で採取し、非攪乱的状态における容積重、孔隙量などを測定した。また、コーンペネトロメーター(コーン:頂角25°底面積3cm², ランマー:1.17kg 20cm自由落下)を用いて土のかたさを測定した。水の浸入能は直径10cmの鉄製円筒を地中10cmまで土壌の構造をこわさないよう打ち込み、表面にわずかに水の薄層ができる状態に保つように円筒内に注水し、注水量を6分毎に記録し、安定な値になるまで続けることによって測定した。なお円筒の外側に幅約10cmのBuffer pondを設けて測定期間中注水し、円筒より下部における円筒外側への浸透による誤差を除くようにした⁷⁾。

樹木の生育状態については各区のケヤキ(155個体), ムクノキ(18個体), エノキ(38個体), 計211個体の胸高直径、樹高などを測定し、また「健康度」として以下に述べるような方法で評価を行なった。まず枝を幹から

表-1 枯損枝の判定と「健康度」

Table 1. Classification of withered branches and "Health index"***

A. Primarily scaffold branch	B. Intermediate branch	C. Fine branch		
		- (0.9)	+ (0.6)	++ (0.2)
0~0.15 (0.9)*	- (0.9)	0.729	0.486	0.162
	+ (0.6)	0.486	0.324	0.108
	++ (0.2)	0.162	0.108	0.036
0.15~0.3 (0.8)	- (0.9)	0.648	0.432	0.144
	+ (0.6)	0.432	0.288	0.096
	++ (0.2)	0.144	0.096	0.032
0.3< (0.4)	- (0.9)	0.329	0.216	0.072
	+ (0.6)	0.216	0.144	0.048
	++ (0.2)	0.072	0.048	0.016

*Number in () is the coefficient correspond to the classification of withered branches.

***Health index" = (A) × (B) × (C)

***Assessment method of withered branches is as follows.

A. Primarily scaffold branch classified into three groups by the ratio of withered branches to total branches. (0-0.15, 0.15-0.3, 0.3-) B. Intermediate and C. Fine branch classified into three groups (-withered branches are hardly recognized, +: a few withered branches, ++: considerable withered branches.)

表-2 表土物理性

Table 2. Some physical properties of the soils in natural condition

Area	Volume weight		Gravel (weight) %	Infiltration capacity mm/hr.	Hardness by corn penetrometer	
	V.W.* g/100cm ³	v.w.** g/100cm ³			Penetrating depth, cm/100times	N value times/0-4cm
B Play ground	152	115	45.6	5	11.8	43
D Parking	137	103	42.9		9.4	40
F Play ground	166	112	59.3	15	12.9	46
I Ground	155	146	32.8	10	11.0	38
K Foot pass	155	127	36.0	16	14.3	28
E Foot pass	129	107	32.5	53	16.9	29
I Litter	126	81	54.3	31	11.9	47
L Grass	128	94	29.4	75	23.0	22
K Grass	135	66	67.5	1,010	21.4	13
A Grass	107	94	20.5	31	19.6	17
F Grass	113	100	26.7			
E Grass, Litter	105	46	68.9	770	21.9	4
J Grass, Litter	75	70	11.1	145	26.5	5
Kyoto Univ. Forest	58.	50	21.7	102	34.7	4

* V.W. means the value of soil and gravel.

** v.w. means the value of fine soil.

直接派生した1次枝を「大枝」枝の末端にあたり葉をつける主たる部分を「細枝」両者の中間を「中枝」の3部分に区別する。大枝については枯損を含めた総本数に対する枯損枝の割合を求め、中・細枝については観察によって枯損の程度を(-)ほとんど枯損が認められない、(+)枯損が少々ある、(++)枯損が著しいの3段階で判定する。この評価を中・細枝については(-)を0.9, (+)を0.6, (++)を0.2とし、大枝については枯損率0~0.15を0.9, 0.15~0.3を0.8, 0.3以上を0.4とし、各枝の値をかけあわせたものをその個体の評点とし、健康度と呼ぶ。これは正常に生育した場合の枝の総量に対する現在の生枝の割合の指標を想定したものである。なお、各枝の枯損が最も少ないと判定される場合のこの値は0.729, 最も多い場合は0.016となり、値の大きいものから小さいものまで比較的均等に表現するため対数グラフを用い、地区平均値としては相乗平均を用いた。

樹木の生育状態の良否の目安としては生長量の測定が望ましいが、非破壊的に短期間で調査するという制約上、「健康度」判定をもってこれにかえた。

調査は1974年1~3月, 1975年1~4月に行ない「健康度」判定はすべて落葉期に同一人が行なった。

III 調査結果と考察

A. 土壌の圧密

1. 容積重と孔隙量

表土の容積重は表-2に示したとおりである。人の利用の多い広場、グラウンド、駐車場などの裸地ではそうではないところと比べて容積重が大きく、細土基準で100を超える。原土基準の容積重は礫の含有率の影響をうけるが、最も小さい値を示したのはJ区で75, 最も大きい値はI区で169であり、仮に前者を踏圧のない状態とすれば、利用によってほぼ倍にふえることになる。細土基準

でも(以下特に断らないかぎり細土基準の値を用いる。)I区(146)はJ区(70)のほぼ倍である。

平安京の発掘調査のトレンチを利用して調査した容積重の垂直分布を表-3に示す。場所、J区にあたり、比較的踏圧の影響は少ないと思われる。表土は100以下で、表-2に示したJ区の値とほぼ等しいが10cm以深では100以上となり1m深まで大きな変化は見られない。なお広場などではJ区の下層土と同等もしくはそれ以上に圧密されていることになるが、

表-3 容積重の垂直分布 (J区)

Table 3. Vertical distribution of volume weight. (Area : J)

Depth cm	V.W.* g/100cm ³	v.w.** g/100cm ³
0- 4	88	79
10- 14	139	104
30- 34	138	114
40- 44	142	126
60- 64	122	101
80- 84	140	118
100-104	129	105

* V.W. means the value of fine soil and gravel.

** v.w. means the value of fine soil.

この点については土のかたさを指標として後述する。

容積重と孔隙量は密接な関係があり、実際の範囲ではほぼ1次の直線として表わせる²⁾。(図-2) 原土では

$$P = 94.5 - 0.35 \text{ V.W}$$

(P : 孔隙量%, V.W : 容積重 g/100cc)

となり、圧密による容積重の増加はすなわち、孔隙の減少となる。ただし、原土容積重は礫含有率のほか、有機物含有量が多くなれば細土真比重が小さくなることによっても影響をうける²⁾。真比重は京大演習林では御苑のどの値よりも小さく、御苑表土は A区 (2.28), E区 (2.35) 以外はすべて2.46から2.65 (J区の10cm~104cmでは2.63~2.82) の間にあり、有機物含量が演習林よりかなり少ないことが予想され、これが容積重におよぼす影響は少ないと見られる。

圧密にともなう孔隙の減少はまず粗大な非毛管孔隙が減少すると考えられる。図-3に容積重と最小容気量の関係を示した。容積重の増大にともなう最小容気量の減少は前者が100付近まで著しいが、90以上では10% (細土基準) を超えるものがなくこの関係は不明確となる。最大含水量は図-4に示したように容積重60~100の間は特に変化はなく、それ以上では明確に減少している。60以下の御苑の値は石礫の特に多いE区の値であり、他とそのまま比較するのは適当でないだろう。また最小容気量および最大含水量は容積重だけでなく、土性、土壌の構造とも密接な関係を持っている。図-3, 4の点のバラツキはそのためである。

しかし、容積重の増加を圧密の過程の進行と見なせばその初期に最小容気量の減少が、後期には最大含水量の減少が著しいということになる。最小容気量は空気や重力水の移動に関係する粗大な孔隙を含み、土壌の通気透水性に大きな役割を持っている。圧密されるとまず粗大な孔隙の減少により、水空気が土壌中に浸入しにくくなり、かつ土壌中での移動がさまたげられる。この点を次に述べる浸入能の測定によって確めた。

図-2 容積重と孔隙量の関係

Fig. 2 Relation between volume weight and porosity

図-3 容積重と最小容気量の関係

Fig. 3 Relation between volume weight and minimum air capacity

図-4 容積重と最大含水量の関係

Fig. 4 Relation between volume weight and maximum water holding capacity

図—5 浸入能の経時変化

Fig. 5 Relation of infiltration capacity to rain duration

図—6 浸入能と容積重の関係

Fig. 6 Relation of infiltration capacity to volume weight

2. 浸入能

浸入速度は測定初期で大きな値を示し、しだいに低下し、安定した値をとるようになるのが一般で、Hortonによって次式で表現された⁴⁾。

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-K_f t}$$

f : t 時間後の浸入速度

f_0 : 初期浸入速度

f_c : 最終浸入速度

K_f : 常数

図—5に測定例を示しておく。表—2にかかげた値は測定より直接求めた f_c であり、以後浸入能としてこの値を用いる。

草、落葉で覆われた K, E, J 区などでは 100mm/hr を超えるが、広場などで特に小さな値を示し、20mm/hr を超えない。表土容積重と浸入能の関係は明らかに容積重の増加にともなう著しい浸入能の低下を示している。

(図—6) J 区と I 区をとれば容積重のほぼ 2 倍の増加に対し、浸入能は約 $1/15$ に低下していることになり J 区と B 区の場合は 1.6 倍に対し $1/29$ に低下したことになる。浸入能は土壌の圧密の鋭敏な指標になりうるだろう。測定方法は異なるが、山地における報告例では「林地においてほとんど全部が 100mm/hr 以上であり、中には 300~360mm/hr に達する個所⁴⁾」もあり、歩道では 11mm/hr⁵⁾ であったという。これと今回の結果を比較すれば、K, E 区が異常に大きい値と思えるが、J 区、京大演習林が林地の値に、広場などの値が歩道の値にはほぼ匹敵し A・L 区は林地と歩道の中間の値と言えるだろう。

図—7 コーン打撃回数と貫入深の関係

Fig. 7 Relation between times of rammer drops and penetrating depth

浸入能は容積重のみならず、土性、土壌の構造の影響も大きく、また径の大きな石礫含有量が大きければ測定用円筒の Edge error を無視できない。

図-6の点のバラツキはこのためと思われ、特にK・E区では石礫含有量が70%近くあり過大な値を示したもののと思われる。

3. 土のかたさ

圧密によって土壌はかたさを増す。調査地のいくつかの代表的な地区でのコーンペネトロメーターによる測定結果を打撃回数と貫入深の関係で示した。(図-7) B区は広場で土はかたく、J区は御苑で最もやわらかくA区は手入れされている草生地で両者の中間のかたさである。このような表土のかたさのちがいがどの程度の深さまで及んでいるかを見るために土のかたさの垂直分布をN値で見たのが図-8である。これはコーンの底面が地表面から4cm貫入するのに要する打撃回数を4cm深のN値とし、順次4cmごとに調べたものである。演習林、J・A区特に前2者は表面がやわらかく、下部にいくにしたがってかたくなっているが、I・F区では下部より表面がより硬い傾向がうかがえる。また、おおまかにいえばどちらも8~20cm以深において15~40回の間におちつきそうである。この結果と、前述のJ区における容積重の垂直分布が10cm以深で大きな変化がなかったことと矛盾しないだろう。試みに、表土容積重と表土0~4cmのN値の関係を図-9に示しておく。両者の増加はほぼ並行している。

図-8 土のかたさの垂直分布

Fig. 8 Vertical distribution of soil hardness

図-9 表土の容積重とかたさの関係

Fig. 9 Relation between volume weight and soil hardness (depth 0-4cm)

図-10 浸入能と表土のかたさの関係

Fig. 10 Relation between volume weight and soil hardness (depth 0-4cm)

容積重の増加にともないかたさが増すだけでなく、前述のように浸入能が減少するとすれば当然浸入能とかたさの間に関係がある。図-10に示したように両対数で表現すれば、浸入能の大きい部分でややバラツキは大きくなるが、かたさの増加にともない、浸入能は著しく低下している傾向がある。

コーンペネトロメーターによるかたさの測定は、径の大きな石礫が多いと非常に困難であり、誤差を生じやすい。浸入能も前述のように大きな値を示した部分で礫が多いことによる誤差が予想されるので、先に述べたバラツキはこのためだろう。

B. 樹木の生育状態

調査木は 図-11 に示したようにほとんど大径木である。樹高を2m毎に分けると24~26mにモードをもち、ケヤキでは約46%がこの樹高階にはいり、胸高直径を20cm毎に分けると50~70cm階にモードがある。ケヤキはムクノキ、エノキより形状比(樹高/直径)がいくらか大きく特にJ区では形状比の大きいものが多いようである。これは分布密度が高いためと思えるが、調査地樹木の「健康度」と特に関係があるとは思えない。

図-11 胸高直径と樹高の関係

Fig. 11 D-H Relation

1. 樹木の「健康度」

調査木の枝枯損の判定結果の分布を表-4に示す。大・中・細枝の枯損は互いに独立ではないが一応別々に見ると次のようになる。大枝の枯損は本数割合で0.15未満のものが57.8%，0.15～0.3が33.2%，0.3以上が9%であり，中枝は（-）26.5%，（+）44.1%，（++）29.3%であり，細枝は（-）78.7%，（+）17.0%，（++）4.3%である。中・大枝に枯損が多いようである。また，ムクノキ，エノキはケヤキにくらべ枯損の目立つものが少ないようではあるが，個体数が少なく，断定しがたい。

表-4 枝の枯損の程度の判定結果

Table 2. Percentage of trees in each classification of withered branches.

Primarily scaffold branch	Intermediate branch	Species*	Fine branch		
			-	+	++
0~0.15	-	Z.s	14.8		
		A.s	38.9		
		C.s	31.6		
		Total	19.4		
	+	Z.s	20.6	3.9	
		A.s	38.9		
		C.s	21.9		
	++	Z.s	3.9	7.1	2.6
		C.s	5.3	10.5	
		Total	3.8	7.1	1.9
0.15~0.3	-	Z.s	7.7		
		C.s	5.3		
		Total	6.6		
	+	Z.s	16.8	0.6	
		A.s	22.2		
		C.s	7.9		
	++	Z.s	8.4	2.6	0.6
		C.s	6.6	7.9	
		Total	6.6	3.3	0.5
0.3~	-	Z.s	0.6		
		Total	0.5		
	+	Z.s	3.2		
		Total	2.4		
	++	Z.s	1.9	2.6	2.6
		C.s		5.3	
		Total	1.4	2.8	1.9

* Z.s: Zelkova serrata Makino. 155 trees.
A.s: Aphananthe aspera Planch. 13 trees.
C.s: Celtis sinensis Pers. var. japonica Nakai 38 trees.

さて，利用形態による地区区分と「健康度」の地区平均値を表-5に掲げた。この値が最も低かったのはD区で0.056，また0.2未満の地区は広場などで地表状態はすべて裸地であり，樹木の衰退が最も目立つ地区である。

（写真参照）これに反してJ，K区は値が大きく0.5をこえ，この地区は草・落葉で覆われており，人の通行は稀であって，樹木は御苑で最も健全な地区である。

他は両者の中間の値を示し，A，Mは落葉の清掃が定期的に行なわれる草生地であり，E・L区は人の散歩などによって自然にできた通路がやや目立つ。これらの地区の樹木は少々枝枯れは目につくが，ほぼ健全さを保っているようである。

表-5 地区毎の平均健康度と利用形態

Table 5. Average "Health index" and type of utilization in each area.

Area	Health index	Type of utilization
D	0.056	Parking
B	0.099	Playground
F	0.122	Playground
T	0.177	Ground
C	0.151	Mound in playground
E	0.232	Grass, partially bare, foot pass
A	0.271	Grass
G	0.312	Grass, partially bare, foot pass
H	0.336	Grass, partially bare, foot pass
L	0.349	Grass, sometimes used for walking
M	0.351	Grass, partially bare, protected by fence
J	0.553	Grass, covered with litter, seldom used
K	0.568	Grass, covered with litter, seldom used

なお調査木は大径のものが多く，「健康度」の高いJ区と低いI区を例にとって胸高直径と「健康度」の関係を見たが（図-12）両者の関係は認められず，現在の枯損を樹令にともなうものとみることはできない。

以上のように「健康度」の地区平均はその地区の樹木の生育状態の良否を概ね表現しているとみてよい。また人の利用頻度の高いほど健康度が低いといえるだろう。

図-12 胸高直径と健康度の関係（I区，J区）

Fig. 12 Relation between health index and D.B.H. (I and J area)

図—13 浸入能と健康度の関係

Fig. 13 Relation between health index and infiltration capacity

図—14 100回打撃時コーン貫入深と健康度の関係

Fig. 14 Relation between health index and penetrating depth

2. 土壌の圧密と樹木「健康度」

前述のように「健康度」と利用形態が密接に関係し、利用形態と土壌の圧密の状態が密接に関係するとすれば調査地における樹木「健康度」の低下は踏圧による土壌の圧密とそれにもなる土壌諸性質の変化が主たる要因と考えられる。樹木の衰退はマクロな大気汚染、駐車場の自動車排気ガス、広場における損傷なども無視できないだろうが、一応土壌物理性にかぎって論ずる。広場など「健康度」0.2未満の地区はすべて表土細土容積率が100をこえ、最小容気量(細土)は10%以下である。林地の場合でも100をこえるものは少なく、生産力の低い瘠悪林地でこのような大きな値をとるといふ³⁾。

浸入能と「健康度」の関係は図—13に示したとおりで、ほぼ直線的な関係が得られた。この関係からやや離れているE区が前述のように過大に測定されているとしてみると、「健康度」0.2未満のものは20mm/hrをこえず、0.5以上のものは100mm/hr以上の値をとる。ただしK、Eのような異常に高い値がそのまま「健康度」にプラスに働くかどうかは疑問であり、このような場合は保水性の指標をあわせて考慮する必要があるだろう。なお透水性は浸入能と密接に関係し⁴⁾、林地の地位判定に用いられる⁶⁾。

図—13はコーンペネトロメーターの貫入深と健康度の関係を見たもので、これによれば貫入深が少なくなれば(土がかたくなれば)「健康度が低下する傾向がはっきりでている。100回打撃で10cm前後(13cm以下)のグループはいずれも0.2以下であり、20cm前後あるいはそれ以上の値のグループはいずれもほぼ健全に近いものである。土のかたさとして表土0~4cmのN値をとれば30回以上で衰退が明らかであり、約10回以下ではほぼ健全といえるようである。(表—2, 5参照)

III 総 括

緑地は人の利用によって踏圧が加わり、表土が圧密され、土壌物理性が変化する。この圧密の程度は利用の頻度が高まるほど著しく、下層土と同等もしくはそれ以上になる。この圧密にもなって樹木は衰退する。

圧密にもなる土壌物理性諸量の変化は相互に関係が認められるとすれば、樹木の生育にかかわる土壌物理性の良否の判定にそのいずれを用いてもよい。御苑ではこの条件がほぼ満足され、樹木の生育が健全であるところと衰退の著しいところの指標としてまとめると、

健全区：細土容積重 $<100\text{ g}/100\text{ cm}^3$ 、浸入能 $>100\text{ mm/hr}$ 、表土0~4cmのN値 <10 回。(100回打撃貫入深 $>20\text{ cm}$)

衰退区：同上 $>100\text{ g}/100\text{ cm}^3$ 、 $<20\text{ mm/hr}$ 、 >30 回($<13\text{ cm}$)となる。

写真一 ほぼ健全なムクノキ（A区）

写真二 ほぼ健全なケヤキ（L区）

写真三 駐車場（D区）のケヤキ、中枝、大枝の枯損が著しい

写真—4 グランド（Ⅰ区）ケヤキ、枝の
枯損の著しい個体が多い

なお土性が異れば土壤物理性相互の関係は御苑の結果とかなり異なるものとなろう。種々の土性を調査することが今後必要とされる。

要 旨

京都御苑周縁部を利用形態によって区分し、土壤物理性とケヤキ・ムク・エノキの生育状況を調査した。

人の利用頻度が高まるにつれ容積重が増加し、特に、 $100\text{ g}/100\text{ cm}^3$ （細土）までは最小容気量の減少が著しく、以後最大含水量が減少する。容積重の増加にともない浸入能が著しく低下し、コーペネトロメーターによる土のかたさが増大する。

樹木の枝を大・中・細枝に分類し各枝の枯損の程度を落葉期の観察によって判定し、各々の枯損の程度に対応した係数を定めて算出した値を「健康度」としたところ利用頻度が高い区で値は低く、踏圧による樹木の衰退が明らかになった。「健康度」と土壤物理性の関係もかなり明らかで、衰退の著しい不健全区と健全な区の物理性を対比させると次のようになった。

不健全区：容積重 $100\text{ g}/100\text{ cm}^3$ 以上、浸入能 $20\text{ mm}/\text{hr}$ 未満、表土 $0\sim 4\text{ cm}$ のN値30回以上（100

回打撃コーン貫入深 10 cm 前後）

健全区： $100\text{ g}/100\text{ cm}^3$ 以下、 $100\text{ mm}/\text{hr}$ 以上10回未満（ 20 cm 以上）

参 考 文 献

- 1) 堤 利夫：森林土壤物理性相互の関係について（第1報）容積重と孔隙量の関係，日林誌，40(2)，1958
- 2) 堤 利夫：森林土壤物理性相互の関係について（第2報）日林誌，40(6)，1958
- 3) 堤 利夫：大泉緑地森林造成に関する調査—砂防植生調査—大阪府南部公園事務所，1973
- 4) 佐藤 正，村上与助，村井 宏，関川慶一郎：新しい型の山地浸透計による測定成績（第1報）林試研究報告，83，1956
- 5) 佐藤 正，村上与助，村井 宏，関川慶一郎：新しい型の山地浸透計による測定成績（第2報）林試研究報告，99，1957
- 6) 真下育久：森林の理学的性質とスギ・ヒノキの生長に関する研究，林野土調報 No.11，1960
- 7) 京都市交通局，近畿ボーリング：地質地下水調査井戸設置作業報告書，1974
- 8) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法，養賢堂，1975

Summary

The influence of trampling on some physical properties of surface soil and tree growth condition was investigated in Kyoto Imperial Garden. The results are as follows.

- 1) Trampling increases volume weight of surface soil, and reduces its porosity. In the initial stage of compaction minimum air capacity decreases remarkably, and afterward, maximum water holding capacity decreases.
- 2) Compaction strongly reduces infiltration capacity, and increases soil hardness sounded by corn-penetrometer (corn: $25^\circ 3\text{ cm}^3$, rammer: $1.17\text{ kg } 20\text{ cm}$ dropping)
- 3) "Health Index" (estimated index of living branch rate determined by observation assessment of withered branches which are classified into three groups: primary scaffold branch, intermediate branch, fine branch) has a close relationship with physical properties of soil. "Health Index" is great in a area where the infiltration capacity exceeds $100\text{ mm}/\text{hr}$ and where hardness, shown by penetrating depth(cm) per 100 drops of rammer, exceeds 20 cm . On the contrary, it is obviously small in a area where each value is below $20\text{ mm}/\text{hr}$ and below $13\text{ cm}/100$ drops.