

畑地における土壤水分と円錐貫入抵抗の関係

— 関東ローム畑での調査事例 —

森 泉 昭 治

緒 言

近年、大型トラクタの普及に伴ない畑作でも、大型トラクタ利用の作業が増加している。畑地での大型トラクタ使用は、従来の人力・畜力・小型トラクタ作業体系に比較し、その土壤硬化を増大させる¹⁾。そして、作物栽培における土壤環境を悪化し易く、作物の正常な発育に対する阻害要因になるとの報告^{2)~6)}がみられる。また、硬い耕盤の生成による排水不良や硬い表土のためプラウの土中くい込み不良など、農作業上も土壤硬化は好ましくない一面を有している。このように土壤硬化は、作物生育および農作業上の両面からみて、一つの重要な問題点といえよう。

筆者は土壤硬度の指標として、主に土質常数測定器の円錐貫入抵抗（以下qc値と略称）を用い、心土破碎の残存効果調査^{7), 8)}をしている。また未発表ではあるが、土壤硬度と作物生育との関連調査も行なっている。これらの調査は、屋外で長期間にわたって実施されるのが通例である。そして、調査地の土壤水分は気象状況により変化し、それに伴って土壤硬度も絶えず変動している^{9), 10)}とみられる。したがって、前記のような試験における調査結果の正確な検討、適正な試験設計のためには、土壤硬度と土壤水分との関連を求めておくことが必要である。また、土壤水分と土壤硬度の関連は農作業計画上も参考になると思われる。ここでは土壤の乾燥密度が異なる試験区を圃場に設け、qc値と土壤水分との関連を調査したので、以下にその結果を報告する。

本試験に当り、大崎和二助教授の御教示および宮本栄・宇都木芳雄技官の御協力を頂いた。また、土性区分のための粒度分析は、本学部土地改良研究室の久保田悦子氏

にして頂いた。記して謝意を表します。

試 験 方 法

1 試験区の設定

1) 試験区は第1表のとおり5区を設定した。つまり、乾燥密度の異なる種々の畑地状態を想定し、トラクタ踏圧、人力踏圧およびサブソイラ掛けなどを行なって試験区を作製した。各区とも長さは約15m、幅45cm（S区を除く）とし、同一区内における乾燥密度をできる限り均一にするため、山中式土壤硬度計で土表面の硬さを測定しながら作製した。

第1表 試験区の設定

区	踏圧の有無	試験区の作製方法
T ₃	トラクタ踏圧 3回	トレンチャーで深さ45cmまで掘削→その掘削土を溝に10cm位の厚さで戻しトラクタ車輪で3回踏圧、これを元の地表面と水平になるまで繰返す。
T ₁	トラクタ踏圧 1回	掘削と埋め戻し法はT ₃ 区と同じにし、トラクタ車輪での踏圧を1回だけとする。
F	人の足で5~6回踏圧	掘削と埋め戻し法はT ₃ 区と同じにし、トラクタ車輪踏圧の代りに人の足で踏む。
N	踏圧なし	T ₃ 区と同様に掘削し、埋め戻し途中において鍬で軽く土を圧する。
S	踏圧なし	サブソイラで深さ約54cmまで心土破碎し、その後ロータリ掛けをする(深さ10cm)

注) トラクタの総重量1,600Kg(前輪荷重625Kg, 後輪荷重975Kg)タイヤ寸法: 前輪6.00-16-6p, 後輪12.4/11-28-6p

2) 試験場所は当大学の農場で関東ロームと呼ばれる火山灰土壌である。その土性区分(国際法)を第2表に示したが、全てCLとLiCに属している。土壌の真比重は2.574～2.615の範囲であった。なお、試験区の場所は排水が比較的良好であり、地下水位も年間を通してほとんど1m以下であった。

第2表 試験区の土性区分

深さ \ 区	T ₃ ・T ₁ ・N	F	S
0～10 cm	LiC	CL	CL
10～20	LiC	CL	CL
20～30	LiC	LiC	LiC
30～40	CL	LiC	CL
40～50	LiC	LiC	CL

注) この土性区分は国際法による。

2 測定方法

1) 測定時期: 気象状況をみながら、土壌水分が明らかに異なると思われる時期を、3年間で12回選び測定した。なお、測定時期はいずれも4～11月の間である。

2) qc 値(円錐貫入抵抗): TN-4型を改良した土質常数測定器(コーン先端角30°, コーン底面積3.2cm², 最大力量70Kg)を用い、各区とも6反復の測定をした。この土質常数測定器の自重は3.67Kg(50cmのロッドを含む)であるので、本試験に使用した小コーンの場合、qc値で1.15Kg/cm²以下は測定不可能である。測定の深さは50cmまでとし、前回測定の影響を避けるため測定点

の間隔は10cm以上とった。

3) 乾燥密度および自然含水比: 内容積100ccの円筒に試料を採取し、110℃で熱乾して求めた。なお、乾燥密度の測定時期は6回であったので、それ以外における測定時期の自然含水比は、内容積40ccの秤量カンを用いて測定した。測定点数は各区とも3点とし、測定の深さは3段階とした。

結果および考察

調査期間中における各区の乾燥密度は第3表のとおりである。T₃区における深さ10～15cm(地表面基準)の乾燥密度が0.682g/cm³と最も大きく、S区の深さ35～40cmの乾燥密度が0.489g/cm³と最も小さい値を示している。各区の乾燥密度を総体的にみると、試験区設定時のねらい通り、その大きさはT₃>T₁>F>N・S区の順となっている。また、各区における乾燥密度の標準偏差は、0.016～0.067g/cm³の範囲であった。地表面からの深さ別乾燥密度を各区についてみると、S区の場合深さ10～15cmが0.630g/cm³であるのに対し、深さ35～40cmでは0.489g/cm³と、他区に比べ大きな差が現われている。これはサブソイラ掛けによる心土の膨軟化に対し、地表付近はサブソイラ作用前の原土の一部が一体となって隆起したためと思われる。

各深さにおける各区のqc値と含水比の関連を第1～3図に示す。これらの図のqc値は6反復測定の平均値であるが、その標準偏差は0.21～2.94Kg/cm²の範囲であった。各区におけるqc値の大きさをみると、T₃区では8～22

第3表 調査期間中における各区の乾燥密度

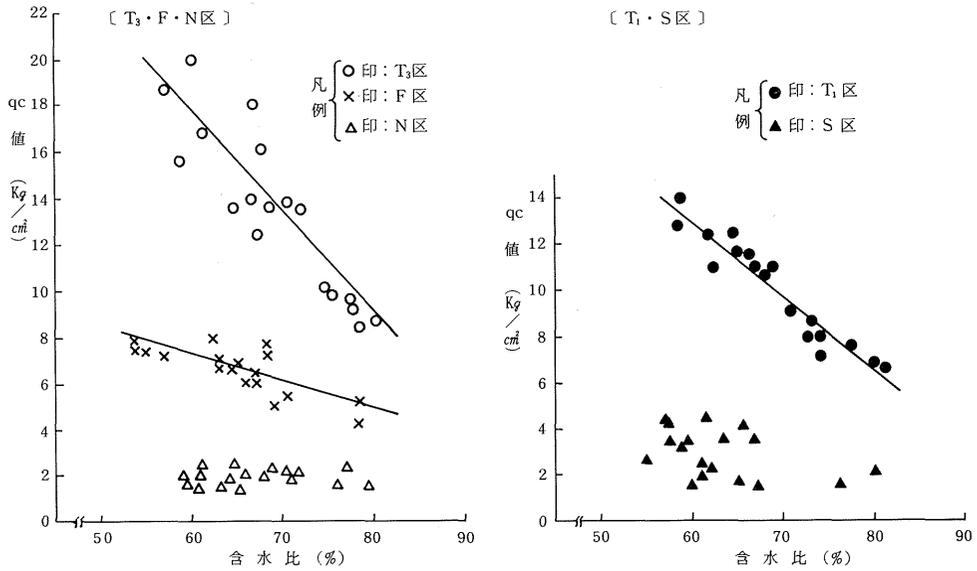
(g/cm³)

区 \ 深さ	10～15 cm	20～25 cm	35～40 cm
T ₃	0.682 ± 0.027	0.678 ± 0.022	0.664 ± 0.022
T ₁	0.642 ± 0.025	0.645 ± 0.026	0.639 ± 0.030
F	0.624 ± 0.016	0.623 ± 0.018	0.619 ± 0.021
N	0.532 ± 0.045	0.563 ± 0.025	0.571 ± 0.027
S	0.630 ± 0.052	0.534 ± 0.067	0.489 ± 0.022

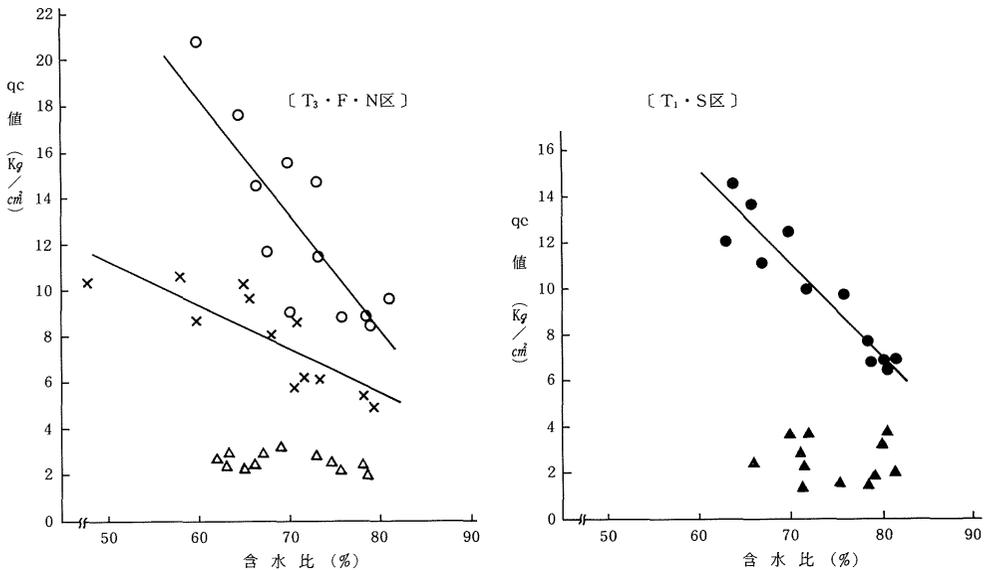
注) 上記の数値は平均±標準偏差を示す。

Kg/cm^2 , T_1 区では $6 \sim 15 Kg/cm^2$, F 区では $4 \sim 11 Kg/cm^2$ の範囲となっている。そして、これらの3区の場合、含水比が大きくなると qc 値は小さくなる傾向が明らかに認められる。これに対し N 区の qc 値は $1 \sim 4 Kg/cm^2$, S

区の qc 値は $1 \sim 5 Kg/cm^2$ の範囲であり、前記のような含水比の大小による qc 値の変動は認められない。第 1～2 図の T_3 区と S 区は、同一含水比付近での qc 値のバラツキが他区に比較して大きい。 T_3 区の場合貫入抵抗が大きい

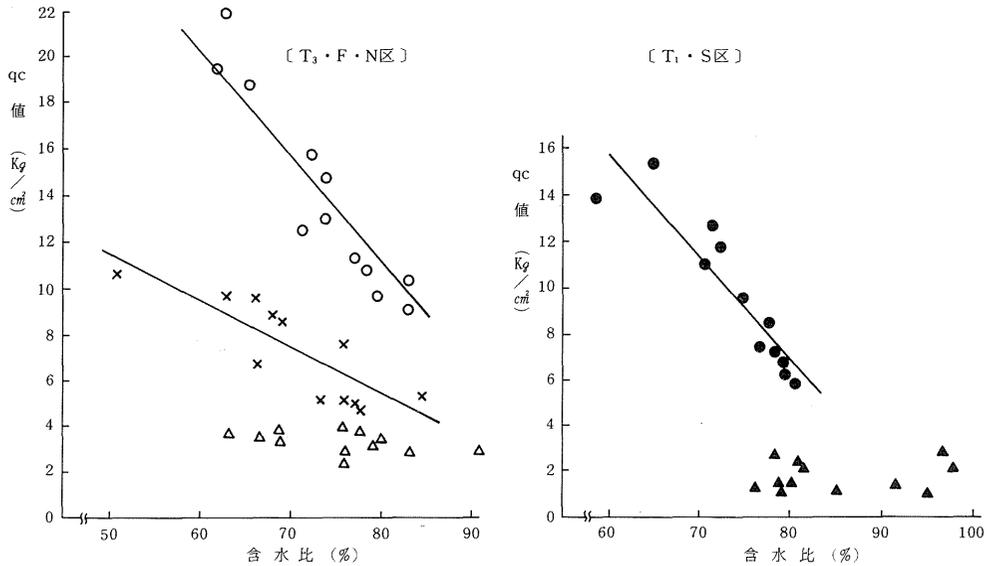


第 1 図 深さ 10 ～ 15 cm における各区の qc 値と自然含水比との関連



第 2 図 深さ 20 ～ 25 cm における各区の qc 値と自然含水比との関連

注) 記号は第 1 図と同じ



第 3 図 深さ 35 ~ 40 cm における各区の qc 値と自然含水比との関連

注) 記号は第 1 図と同じ

ため、人力での押し込みに伴う測定誤差が、この原因の一部になっていると思われる。また S 区の場合、乾燥密度の標準偏差 (第 3 表) が他区に対し大きいことからして、場所の相異に伴う誤差が、このようなバラッキの原因と考えられる。

同一含水比における各区の qc 値は、乾燥密度の大小に当然対応して、 $T_3 > T_1 > F > N > S$ 区 区 区 区 区 の順となっている。そして、含水比が小さくなるに従って各区の qc 値

の差は増加している。

qc 値と含水比との相関係数は第 4 表のごとくである。 $T_3 \cdot T_1 \cdot F$ 区の場合、その相関係数は $-0.689 \sim -0.956$ の範囲の値であり、全て有意水準 1% で負の相関が認められた。しかし、N 区と S 区では有意水準 5% でも相関が認められなかった。この N 区と S 区については本来的に相関がないものか、または試験精度の問題で相関が認められないのか不明である。この点については今後の課

第 4 表 qc 値と自然含水比との相関係数

区	10 ~ 15 cm		20 ~ 25 cm		35 ~ 40 cm	
	n	r	n	r	n	r
T_3	18	-0.849 **	12	-0.826 **	12	-0.947 **
T_1	18	-0.956 **	12	-0.939 **	12	-0.905 **
F	18	-0.689 **	12	-0.807 **	12	-0.833 **
N	18	0.089	12	-0.383	12	-0.482
S	18	-0.415	12	-0.076	12	0.196

注 1) r : 相関係数, n : 対の数 (標本数)
 2) **印は 1% 水準で有意性ありを示す。

題としたい。

qc値と土壌の一軸圧縮強さ⁹⁾,さらに含水比と一軸圧強さ^{11),12)}などを考え合わせると, qc値と含水比の関係は曲線になるかとも思われる。しかし, 第1～3図の状態と実際の圃場における含水比の変動幅が25%以内と小さいことからして, ここではqc値と含水比の関係を直線

としても実用上さしつかえないと考え, その回帰方程式(第5表)を求めてみた。第5表における回帰係数の絶対値をみると, $T_3 > T_1 > F$ 区の順であり, 乾燥密度が大きな区ほど直線の勾配が大であることが認められる。回帰係数の有意性検定では, 1%水準で全て有意性を示した。 $T_3 \cdot T_1 \cdot F$ 区回帰係数を深さ別に比較すると,

第5表 自然含水比に対するqc値の回帰直線

深さ	項目	区	T_3	T_1	F
10～15 cm	回帰方程式		$y = -0.443x + 44.6$	$y = -0.324x + 32.5$	$y = -0.117x + 14.4$
	t 値		-6.424**	-13.007**	-3.802**
20～25 cm	回帰方程式		$y = -0.518x + 49.6$	$y = -0.404x + 39.4$	$y = -0.195x + 21.2$
	t 値		-4.634**	-8.666**	-4.317**
35～40 cm	回帰方程式		$y = -0.566x + 55.7$	$y = -0.441x + 42.2$	$y = -0.207x + 22.0$
	t 値		-9.333**	-6.732**	-4.768**

注 1) 上記の式において x は含水比, y は qc 値である。

2) t 値とは回帰係数の有意性検定の数値で, **印は1%水準で有意に該当していることを示す。

各区とも深さが増すに従いその絶対値が大きくなっている。これは土質常数測定器のロッドの摩擦抵抗によるものと推察される。

前記したごとくqc値の大きさは, 実際の圃場で含水比により3倍近くも変動する。したがって, qc値と作物生育との関連調査では, 作物栽培期間中で土壌水分が最大と最小になる時期のqc値を, 必ず測定する必要がある。また, 乾燥密度が大きい所ほど土壌水分によるqc値の変動は大きいので, その測定回数を増加した方が良いと思われる。心土破碎の残存効果調査およびトラクタ作業による土壌硬化調査などにqc値を用いる場合, qc値測定時の土壌水分を測定しておくことが, 前述の試験結果からして大切である。つまり, 土壌水分を測定しておかないと, qc値の変化が作業に伴うものか, 土壌水分の変動によるものか, 不明確となるケースが生じる。なお, 本試験結果からすると, 耕起作業は乾燥密度が大きな所(土がよく締まった所)ほど, その土壌水分を勘案した作業時期を選定する必要がある。

摘 要

土壌硬度と作物生育との関連および心土破碎の残存効果調査に, 筆者は土壌硬度の指標として, 主に土質常数測定器(TN-4型)の貫入抵抗(qc値)を用いている。これらの調査結果の正確な検討, 適正な試験設計などのためには, qc値と土壌水分の関係を求めておくことが必要となる。そこで乾燥密度の異なる試験区を設け, qc値と土壌水分との関連を圃場で調査した。

主な調査結果は以下のとおりである。

1) トラクタ踏圧あるいは人力踏圧された $T_3 \cdot T_1 \cdot F$ 区(乾燥密度 $0.619 \sim 0.682 \text{ g/cm}^3$)では, 含水比が大きくなるとqc値は小さくなる傾向が明らかに認められた。これに対しN・S区(乾燥密度 $0.489 \sim 0.630 \text{ g/cm}^3$)では, 含水比の大小によるqc値の変動傾向は認められなかった。同一含水比における各区のqc値は, 乾燥密度の大小に当然対応して, $T_3 > T_1 > F > N \cdot S$ 区の順を示した。そして, 含水比が小さくなるに従って各区のqc値

の差は増加した。

2) $T_3 \cdot T_1 \cdot F$ 区における qc 値と含水比の相関係数は $-0.689 \sim -0.956$ の範囲であり、全て有意水準 1% で負の相関が認められた。しかし、 $N \cdot S$ 区では有意水準 5% でも相関が認められなかった。

3) 実際の圃場における含水比の変動幅が 25% 以内と小さかったことからして、qc 値と含水比の関係を直線としても実用上さしつかえないと考え、その回帰方程式を求めてみた。回帰係数の絶対値は $T_3 > T_1 > F$ の順であり、乾燥密度が大きな区ほど直線の勾配が大であることが認められた。

4) qc 値の大きさは含水比の変動により、圃場で 3 倍近く変動した。したがって、qc 値と作物生育との関連の調査では、作物栽培期間中で土壌水分が最大と最小になる時期の qc 値を、必ず測定する必要がある。また、qc 値を用いる長期間調査では、qc 値測定時の土壌水分を測定しておくことが大切と思われる。

文 献

- 1) 西谷国宏：農機誌，28，39 (1966)
- 2) 長崎明・三熊政明・高橋伸寿：土壌の物理性，9，38 (1963)
- 3) 川延謹造・市瀬猛文・森田勇：農及園，38，1719 (1963)
- 4) 茨城県農試：関東東山土壌肥料ブロック会議資料，(1964)
- 5) 鎌田嘉孝：土壌の物理性，14，4 (1966)
- 6) G. S. V. Raghavan, E. Mckeyes, R. Baxter and G. Gendron: J. Terramechanics, 16, 181 (1979)
- 7) 森泉昭治・大崎和二：茨大農学術報告，25，107 (1977)
- 8) 森泉昭治：同上，27，173 (1979)
- 9) 吉田勲：土壌の物理性，19，3 (1968)
- 10) 駒村正治・竹中肇：農業土木学会講演要旨集，p. 212 (1977)
- 11) テルツァギ・ベック (小野薫・星埜和・加藤渉・三木五三郎共訳)：土質力学，基礎編 P.111 (1967) 丸善
- 12) 土質試験法解説編集委員会：土質試験法解説，第 2 集，P. 61 (1961) 土質工学会

Relationship between Cone Penetrating Resistance and Soil Moisture
in the Upland Field

—— On an investigation in Kanto Loam field ——

SHOJI MORIIZUMI

Cone penetrometer has been used to study the influence of soil hardness on crop growth and the lasting effect of pan-breaking. When we discuss the results of these investigation, it need to consider the relation between cone penetrating resistance and soil moisture in the field. This paper deals with the relation between cone index and the soil moisture in several experimental plots with different dry bulk density.

The results were as follows.

1. The cone index in T₃, T₁, and F plots (dry bulk density: 0.619~0.682 g/cm³) where were trod by tractor and foot decreased in proportion to increase of soil moisture. However, the cone index in N and S plots (dry bulk density: 0.489~0.630 g/cm³) did not vary with soil moisture. The difference of cone index values between each plot increased in proportion to decrease of soil moisture.
2. Negative correlation at significance level of 1% was recognized on the relation between cone index and soil moisture T₃, T₁ and F plots (corelation coefficient: -0.689~-0.956). However, the test of significance in N and S plots were not showed significance. The absolute values of regression coefficient in T₃, T₁ and F plots were the order of T₃ > T₁ > F plot and this order coincided with the order of dry bulk density.
3. The cone index in the experimental field varied about three times by soil moisture content. Therefore, because of correct study on the relation between and crop growth, it need to mesure the cone index which the soil moisture showed the maximum and minimum values during its investigation. When the cone index is mesured in the investigation to use cone penetrometer through long period, it is important to mesure the soil moisture due to correct discussion of the results.

(Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ., No.28, 99 ~ 105, 1980)