

水田におけるトラクターの走行

可能性と土壌物理性について

国分 欣一*

1. はじめに

水田の農作業は、農業近代化に即応して近年急速に機械化が進んでいる。機械の能率が高度に発揮して生産性を高めるためには、圃場の区画拡大など耕地の基盤整備が必要であり、農林省では昭和40年度から10カ年計画で大規模に圃場整備事業を進めている。

一方機械の導入にあたり土壌状態の良否は直接作業の能率に影響するので、作業を開始するにあたりその可否を予知することが必要である。そのために簡易な判定方法の確立が要望されて来た。

農林省の試験研究機関では昭和39年度より42年度まで農業技術研究所、農業土木試験場、農事試験場、北海道、東北、四国、九州各地域農業試験場の農業土木、農業機械、土壌肥料関係の各分野が共同で特別研究「大型機械化に伴う水田土壌の基盤整備に関する研究」¹⁾を実施し、その一環として「トラクターの走行性と土壌物理性」に関する研究を取り上げた。

なお走行性の判定に関しては、すでに長崎²⁾の研究や田中³⁾、金須⁴⁾などの土壌測定器の開発を含めた研究がある。しかし種々の土壌について広範に取り上げたものはない。ここでは全国的に代表的な土壌群について、各地域農試がそれぞれ分担のもとに行なったものである。

その結果の概要とそれから導き出されたトラクター走行性判定基準について紹介するとともに若干の問題点について私見を加えて述べることにする。

2. 試験のねらいと方法

供試トラクターとして30～40 ps のホイール型およびクローラー型を主とし、走行装置としてはガードル、ハーフトラック、4輪駆動をも用いた。作業はボトムブライウおよびロータリを用いた水田における耕起（あらおこし）を対象とした。したがって碎土、整地などの繰返し作業や旋回などの場合は除外した。

取りまとめにあたって用いたデータは、農事試験場（昭和39～41年）、北海道、東北、四国、九州各農試（昭

和40～42年）で実施した試験結果のうちトラクター作業の耕深、作業速度が基準の適用条件の範囲内にあるものをえらんだ。取りまとめに用いた点数は、ホイール型トラクターで総数427点、クローラー型トラクターで60点になった。

測定法としての現地の土壌条件については本誌14号で解説されている農業機械化研究所製 SR-2 型土壌抵抗測定器を用いて円錐貫入抵抗、矩形板沈下量、剪断抵抗などを測定した。作業精度については耕深、耕幅、滑り率、走行部沈下量、作業速度を測定した。

3. 結果および考察

1) 取りまとめ方法

各場所における測定点数をホイール型トラクターはゴムタイヤ、ガードル付、ハーフトラック、4輪駆動に分け、それとクローラー型トラクターについて、それぞれ自走、ロータリ耕、ブライウ耕に分類して検討した。

とりあげた要因は走行部沈下量、滑り率、円錐貫入抵抗、矩形板沈下量、剪断抵抗、コンシステンシー指数である。

回帰曲線は測定値に重みをつけず全測定点を用い、測定点数が10以下の場合は原則として省略し、一次、二次、三次式、対数値の一次式などについて計算して最も寄与率の高い曲線を用いた。

回帰式 $y=a+bx$ において、ある x_i における y の出現値の範囲を次式で求め、その90%信頼区間の上・下限を点線で示した。

$$a+bx_i \pm t(n-2, \alpha) \sqrt{\left\{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{S(xx)}\right\} \times \frac{Se}{n-2}}$$

ここで t : 信頼限界100% (1- α) %のときの t 値

n : 測定点数

$S(xx)$: x の偏差平方和

Se : 回帰からの偏差平方和

なお対数値の一次式 $\log(y+c)=a+b \log(x+d)$ の90%信頼限界値も同様にして求めた。ここで c と d は y

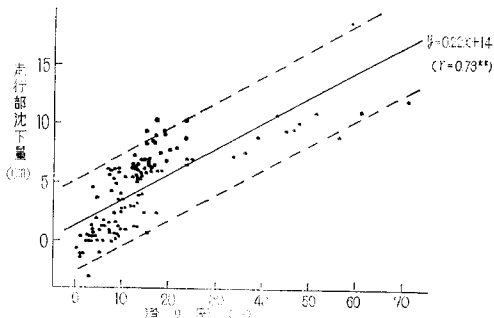
* 農林省農事試験場 1969. 11. 14. 受理

と x を正の値に変換する定数である。⁶⁾

2) トラクターの走行部沈下量と滑り率の関係

トラクターの駆動力は、車輪の沈下に関係なく車輛の条件および圃場の状態、土壌の性質などによって決まる。沈下量の大きい水田でのトラクターのけん引力は駆動力と走行抵抗の差である。走行抵抗は沈下深さに正の相関があり、自走の場合には駆動力が走行抵抗より大きいときに走行可能であって、これと逆の場合には不能になる。

ホイール型トラクターの自走時における走行部沈下量と滑り率との関係は図一のとおりであって相関係数+



図一 自走時におけるホイール型トラクターの走行部沈下量と滑り率の関係 (各農試)

0.78**でほぼ直線的関係が認められる。この場合の走行部沈下量はラグ基部を基準としているので一の場合もありうる。なお点線は90%信頼区間の上限および下限を示す。(以下同様) ホイールの場合沈下5cm以下では滑り率は20%をこえず、走行可能であるが、10cmをこえると滑り率は40%となり変動もはげしいので走行不可能に近い。滑りを10%以下におさえるためには沈下量を3cmにおさえる必要がある。ガードルを装着した場合には沈下量がさらに増大すると、滑りも増大するものと考えら

表一 走行部沈下量 (y) と滑り率 (x) の関係 (各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回帰式
ホイール・自走	+0.78**	$y = 0.22x + 1.4$
ホイール・ロータリ	+0.69**	$y = 0.24x + 0.5$
ホイール・ブラウ	+0.46**	$y = 0.15x - 1.5$
ガードル付・自走	+0.73**	$y = 0.65x - 5.9$
ガードル付・ロータリ	+0.64*	$y = 0.31x - 1.3$
ガードル付・ブラウ	+0.40	$y = 0.42x - 3.1$
ハーフトラック・自走	+0.79**	$y = 0.59x + 0.7$
ハーフトラック・ブラウ	+0.42	$y = 0.14x + 1.4$
四輪駆動・自走	+0.82**	$y = 0.46x + 1.4$
クローラ・自走	+0.69**	$y = 0.83x + 5.4$

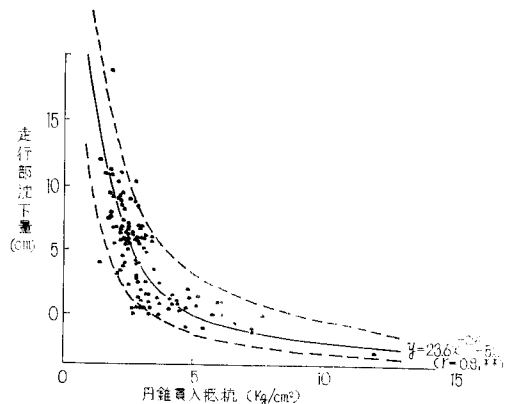
れるが、ガードルを装着することによってかなり車輪が沈下しても走行可能であることがわかる。ハーフトラック、クローラでは沈下10cmでも滑り率は10%以下であるが、四輪駆動の場合は20%まで増大し前者に比べて効果が小さい。

沈下量と滑り率の関係をトラクターの各種の足廻りおよび作業機について $y = ax + b$ なる直線であらわすと表1に示すように a の値はクローラの場合に最大で走行部の沈下による滑りの増加が少なく、ガードル、ハーフトラック、四輪駆動、ホイールの順に小さくなり、ガードルの使用による効果が非常に大きく、自走に関する限りハーフトラックと同等の効果があるものと考えられる。ロータリ耕では、自走に比較して滑り率の大きいときには走行部沈下量が小さくなり、滑り率が小さくなると逆に走行部沈下量が大きくなる。試験条件にも左右されるが、自走可能な条件であればロータリを駆動することによりホイールでの滑りを30%以内におさえることが出来、またガードルでは自走による滑り30%程度であればロータリの駆動により滑りを10%以下におさえる可能性を示すものと云えよう。

一般に自走とロータリ耕での走行部沈下量と滑り率の関係を示す直線は相交わると考えられ、ロータリ耕のほうが同一沈下量増大に対する滑りが少ないのは耕耘刃の推進力の影響によるものと考えられる。

ブラウ耕では駆動力ー走行抵抗=けん引力>作業抵抗の範囲で作業が可能である。作業速度、耕深、耕幅、土の比抵抗などの作業抵抗を規制する要因が広い範囲にわたっているため、走行部沈下量と滑り率の関係は数値のばらつきが大きい。

ガードルおよびハーフトラックではホイールに比べて沈下量の増大による滑りの増加が少ない。



図二 自走時におけるホイール型トラクターの走行部沈下量と円錐貫入抵抗の関係 (各農試)

3) トラクターの走行部沈下量と円錐貫入抵抗との関係

円錐貫入抵抗(断面積 2 cm^2)とトラクター走行部沈下量との関係は負の相関があり、円錐貫入抵抗が小さくなるにつれて走行部沈下量は増大し、ある値をすぎると急激に増大する。ホイール型トラクターの自走の場合、走行部沈下量と円錐貫入抵抗の関係は図-2に示すとおりであって双曲線の関係を示す。ホイールの自走の場合沈下を 5 cm 以内におさえるためには 2.5 kg/cm^2 以上でよいが、90%以上の確からしさを求めれば 4 kg/cm^2 以上が必要であり、沈下を 3 cm 以下にするには 3 kg/cm^2 以上が必要である。ハーフトラック、クローラなどでは円錐貫入抵抗はホイールよりも小さくてよい。ロータリ耕ではホイール、ガードル付、ハーフトラックのいずれの場合

表-2 走行部沈下量 (y) と円錐貫入抵抗 (x) の関係 (各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回帰式
ホイール・自走	-0.81**	$y = 23.6x^{-0.91} - 5.0$
ホイール・ロータリ	-0.77**	$y = 17.8x^{-0.72} - 5.0$
ホイール・プラウ	-0.76**	$y = 25.1x^{-0.77} - 5$
ガードル付・自走	-0.74**	$y = 32.4x^{-1.44} - 5.0$
ガードル付・ロータリ	-0.62*	$y = 12.5x^{-0.75} - 5.0$
ガードル付・プラウ	-0.42	$y = 19.0x^{-0.64} - 5.0$
ハーフトラック・自走	-0.83**	$y = 16.8x^{-1.05} - 5$
ハーフトラック・ロータリ	-0.67*	$y = 17.0x^{-1.09} - 5$
ハーフトラック・プラウ	-0.97**	$y = 19.5x^{-1.21} - 5$
四輪駆動・自走	-0.81**	$y = 23.2x^{-1.50}$
クローラ・自走	-0.79**	$y = 17.3x^{-1.51}$

も自走に比べて同じか小さい程度であるが、プラウ耕では作業抵抗が一定でないため値のばらつきが大きく、特にガードルによるプラウ耕では表-2に示すように相関

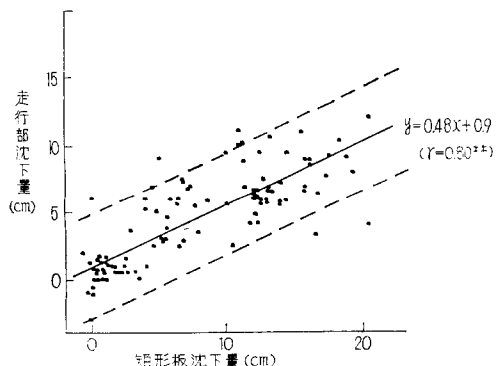


図-3 自走時におけるホイール型トラクターの走行部沈下量と矩形板沈下量の関係 (各農試)

表-3 走行部沈下量 (y) と矩形板沈下量 (x) の関係 (各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回帰式
ホイール・自走	+0.80**	$y = 0.48x + 0.9$
ホイール・ロータリ	+0.71**	$y = 0.53x$
ホイール・プラウ	+0.83**	$y = 0.97x + 0.5$
ガードル付・自走	+0.69**	$y = 0.76x - 2.0$
ガードル付・ロータリ	+0.73**	$y = 0.35x - 1.7$
ガードル付・プラウ	+0.91**	$y = 0.16x$
ハーフトラック・自走	+0.83**	$y = 0.63x - 3.4$
ハーフトラック・プラウ	+0.54	$y = 0.42x + 0.2$
四輪駆動・自走	+0.60**	$y = 0.44x + 4.7$
クローラ・自走	+0.59**	$y = 0.62x + 0.1$

が見られない。そのほかの場合には極めて相関が高い。

4) トラクターの走行部沈下量と矩形板沈下量との関係

トラクターの走行部を想定すれば矩形板 (または円板) は円錐よりもむしろタイヤに類似しており、この沈下量の測定値から走行部沈下量の推定も可能であろう。

自走時におけるホイール型トラクターの矩形板沈下量 (長さ 10 cm , 幅 2.5 cm , 厚さ 1 cm) と走行部沈下量との関係は図-3に示すとおりであって、ほぼ直線的な関係が見られる。各種の足回りおよび作業機の場合は表-3に示すように特にガードル付・プラウの場合に相関が高い。またハーフトラックの自走でもかなり相関が高いことから見てこれらの作業を対象とする場合には走行部沈下量を予知しうるだろう。

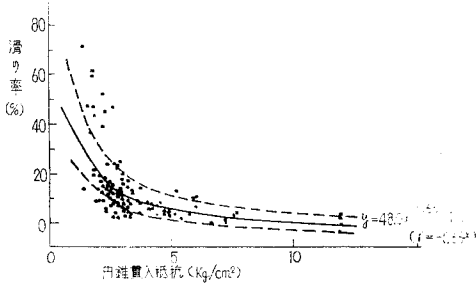
矩形板による測定には加える力、矩形板の大きさなどを変えた場合は当然えられる数値が変動するものであり、これらの数値より総合判定することによってより合理的な指標がえられることが推察される。

金須ら³⁾は走行部沈下量を推定するのにトラクター諸元から沈下係数を求め、次にその土壌の矩形板沈下量を測定して車輛の沈下量を推定することを試みている。また小型矩形板で 30 kg の荷重をかけたときの沈下量が妥当な値をうる場合が多いが、土壌条件により必ずしも適合しないとしている。Land Locomotion Laboratory の理論¹⁾では二枚の幅の異なる矩形板を用いて沈下指数と変形係数を求め、さらにトラクターの接地幅と接地圧を知ることによって軟弱地の沈下量を算出しているが、いずれにしても矩形板の沈下量は加える圧力の増加にしたがって増大し、沈下量が大きいほど軟弱であることになるので土層の均一なことが条件である。しかし通常の乾田のように作土下に鉄の集積層などの盤層がある場合は土壌の硬さが浅いところで層位ごとに異なるのでこの矩形

板を的確に用いる場合は少ない。

5) トラクターの滑り率と円錐貫入抵抗の関係

走行部沈下量と滑り率の間に相関があり、また走行部沈下量と円錐貫入抵抗の間にも相関があるので、滑り率と円錐貫入抵抗の間にも相関のあることが予想される。



図一四 自走時におけるホイール型トラクターの滑り率と円錐貫入抵抗の関係(各農試)

表一四 滑り率(y)と円錐貫入抵抗(x)の関係(各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回 帰 式
ホイール・自走	-0.66**	$y = 48.0x^{-0.66} - 10$
ホイール・ロータリ	-0.67**	$y = 45.1x^{-0.79} - 10.0$
ホイール・プラウ	-0.13	$y = -0.57x + 32.3$
ガードル付・自走	-0.85**	$y = 62.8x^{-1.39}$
ガードル付・ロータリ	-0.95**	$y = 51.0x^{-0.98} - 10.0$
ハーフトラック・自走	-0.74**	$y = 12.2x^{-1.45}$
ハーフトラック・プラウ	-0.79**	$y = 41.6x^{-1.37}$
四輪駆動・自走	-0.64**	$y = 31.2x^{-0.99}$
クローラ・自走	-0.66**	$y = 14.5x^{-0.59} - 5.0$

ホイール型トラクターの自走時における滑り率と円錐貫入抵抗の関係は、図一四に示すとおりであって、円錐貫入抵抗2.5kg/cm²以下になると滑り率が急激に増大し、4 kg/cm²の場合には滑り率10%以下になっている。

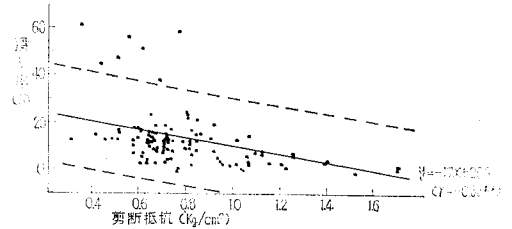
各種の足回りと作業機における滑り率と円錐貫入抵抗の関係は、表一四に示すとおりであって、ホイールのプラウ耕の場合には相関が見られないが、そのほかの場合にはかなり相関がある。

また自走とロータリでは滑り率の少ない場合に差があり、ロータリでは耕耘刃の推進力によって負の滑り率となる。滑り率を20%におさえた場合にはガードル付・自走では貫入抵抗2.5kg/cm²を必要とし、ホイールと変わらないが、ハーフトラックでは1.5kgでもかなり軟弱なところに導入しうることを示している。しかしプラウ耕では滑り率5%におさえるには5 kg/cm²を必要とする。クローラではさらに性能がよく滑り率5%でも1.5kg/cm²でよい。

6) トラクターの滑り率と剪断抵抗の関係

軟弱な土壌での滑り率は車輪と土壌の摩擦によるよりも、土壌中に圧入されたラグなどによる土壌の剪断力により多く影響されると考えられる。

自走時におけるホイール型トラクターの滑り率と剪断



図一五 自走時におけるホイール型トラクターの滑り率と剪断抵抗の関係(各農試)

表一五 滑り率(y)と剪断抵抗(x)の関係(各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回 帰 式
ホイール・自走	-0.33	$y = -17x + 26.9$
ホイール・ロータリ	-0.48**	$y = -21x + 28.4$
ホイール・プラウ	-0.35	$y = -15x + 44.5$
ガードル付・自走	-0.38	$y = -14x + 20.4$
ガードル付・ロータリ	-0.10	$y = -2.5x + 4.2$
ガードル付・プラウ	-0.02	$y = -0.29x + 13.3$
クローラ・自走	-0.48*	$y = -19.3x + 7.8$

抵抗の関係は、図一五に示すとおりであってかなりのふれがある。

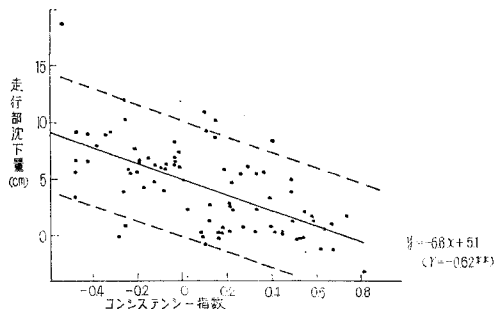
また各種足廻りおよび作業機における関係は表一五に示すように、ホイールによるロータリ作業およびクローラによる自走以外では相関が極めて低い。したがって剪断抵抗の測定によって滑り率を推定することは困難である。

7) トラクターの走行部沈下量とコンシステンシー指数(土壌水分)の関係

土壌水分は第一義的に土壌の硬さをあらわすものではないが、練り返した場合の流動や変形などの土の挙動は、土壌水分によって支配されるのでトラクターの走行性とも密接な関係をもつことが予想される。

土壌水分の多少を表現するのに通常含水比、含水率が用いられているが、これは同一土壌についてのみ用いるもので、異なった土壌間の比較には使用出来ない。そのためには pF を用いるのが妥当と思われるが、測定は必ずしも簡便ではない。簡便な方法として液性限界、塑性限界を基準にしたコンシステンシー指数⁷⁾を用いてあらわすことを試みた。

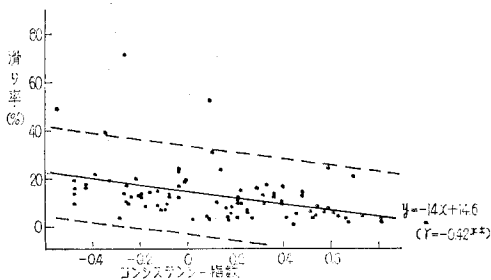
コンシステンシー指数 I_c は次の式で求められる。



図一六 自走時におけるホイール型トラクターの走行部沈下量とコンシステンシー指数の関係(各農試)

表一六 走行部沈下量 (y) とコンシステンシー指数 (x) の関係 (各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回帰式
ホイール・自走	-0.62**	$y = -6.8x + 5.1$
ホイール・ロータリ	-0.68**	$y = -8.0x + 5.6$
ホイール・プラウ	-0.88**	$y = -12.6x + 8.5$
ガードル付・自走	-0.25	$y = -7.5x + 4.2$
ガードル付・ロータリ	-0.60*	$y = -3.6x + 0.1$
ガードル付・プラウ	-0.35	$y = -3.1x + 3.1$
クローラ・自走	-0.15	$y = -1.5x + 7.9$



図一七 自走時におけるホイール型トラクターの滑り率とコンシステンシー指数の関係(各農試)

表一七 滑り率 (y) とコンシステンシー指数 (x) の関係 (各農試)

トラクター・作業機	相関係数	回帰式
ホイール・自走	-0.42**	$y = -14x + 14.6$
ホイール・ロータリ	-0.51**	$y = -13x + 10.4$
ホイール・プラウ	-0.18	$y = -7.8x + 32.2$
ガードル付・自走	-0.41	$y = -12x + 15.2$
ガードル付・ロータリ	-0.02	$y = 0.18x + 2.1$
ガードル付・プラウ	-0.01	$y = 0.18x + 6.5$
クローラ・自走	-0.02	$y = -0.12x + 2.8$

$$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_P}$$

W_L : 液性限界
 W : 自然含水比
 W_P : 塑性限界

自走時におけるホイール型トラクターの走行部沈下量とコンシステンシー指数の関係は図一六に示した。ほぼ直線的関係が見られるが、変動の幅はかなり大きい。

各種足回りおよび作業機における関係は表一六に示すとおりであって、ホイールによる自走、ロータリ耕、プラウ耕の場合およびガードル付・ロータリ耕の場合に走行部沈下量とコンシステンシー指数の間に相関が見られる。

8) トラクターの滑り率とコンシステンシー指数の関係

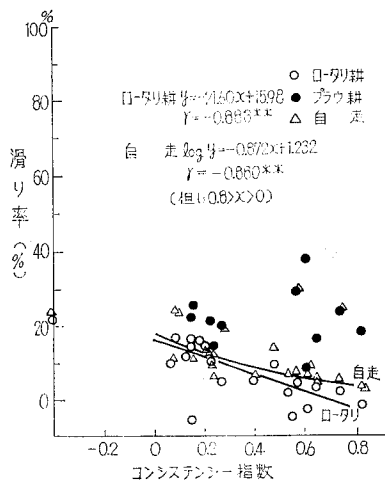
自走時におけるホイール型トラクターの滑り率とコンシステンシー指数の関係は図一七に示すとおりであって、相関は見られるが、変動の幅はかなり広い。

各種足回りおよび作業機における関係は表一七に示すとおりであって、走行部

沈下量の場合よりも相関が低く、ホイール型の自走、ロータリ、およびガードルの自走以外ではほとんど相関が見られない。

次にコンシステンシー指数の基準となる液性限界、塑性限界の測定にあたり、土のサンプルを未風乾土、風乾土のいずれを使用するかによって測定値に差異を生ずる。JIS規格では風乾土を使用することになっているが、実際の圃場における現象は未風乾の状態でおこっている訳である。

いま未風乾土と風乾土を基準にした場合の滑り率とコンシステンシー指数の関係は図一八および図一九に示すとおりであるが、ロータリ耕および自走の場合は極めて高い相関を示し、プラウ耕ではほとんど相関が見られなかった。プラウ耕の場合は土壌および機械の条件によりけん引抵抗がかなり異なるためと推定される。また風乾



図一八 未風乾土基準のコンシステンシー指数と滑り率の関係(農事試)

表— 8 ト ラ ク タ ー 作 業 の 走 行 可 能 性 の 基 準

	作 業 不 可 能 範 囲			作 業 可 能 範 囲			作 業 容 易 範 囲		
	ホ イ ー ル 型		ク ロ ー ラ 型	ホ イ ー ル 型		ク ロ ー ラ 型	ホ イ ー ル 型		ク ロ ー ラ 型
	タ イ ヤ プラウ耕	ガ ー ド付	ハ ー フト ラック	タ イ ヤ プラウ耕	ガ ー ド付	ハ ー フト ラック	タ イ ヤ プラウ耕	ガ ー ド付	ハ ー フト ラック
(適 用)	自 走	自 走	自 走	自 走	自 走	自 走	自 走	自 走	自 走
耕 深 (cm)	—	—	—	10<	12<	—	—	—	—
作 業 速 度 (m/s)	—	—	—	0.4<	1.0<	—	—	—	—
滑 り 率 (%)	20<	40<	20<	20~10	40~10	—	—	—	—
走 行 部 沈 下 量 (cm)	12<	10<	12<	12~3	12~3	—	—	—	—
(走 行 判 定 基 準)									
円 錐 を 用 い る 場 合 買 入 抵 抗 (kg/cm ²)	2.5	2.5	4.0	2.0	2.0	1.5	2.5~5.0	2.5~5.0	2.5~5.0
矩 形 板 を 用 い る 場 合 沈 下 量 (cm)	9.5	10.5	3.0	11.0	10.0	15.0	9.5~4.5	10.5~6.0	3.0~0
湿 潤 土 に よ る 場 合 コ ン シ ス テ ン シ ー 指 数	0.2	0.2	0.4	—	—	—	0.2~0.5	0.2~0.5	0.4~0.6

注 (1) 滑り率：コンブリーク路上または硬い平坦な土道を基準とする
 (2) 走行部沈下量：タイヤのラグ基部を基準とする
 (3) 円錐：頂角30°、底断面積2cm²を使用し、この買入抵抗は0~15cmの平均値で示す
 (4) 矩形板：10×2.5cmの矩形板を使用し、荷重が1.6kg/cm²での沈下量で示す
 (5) コンシステンシー指数：液性限界一固相含水比で示す
 (6) 走行判定基準は円錐買入抵抗、矩形板沈下量、コンシステンシー指数のいずれかで判断する

土を用いた場合は自走、ロータリ耕とも未風乾土に比べて相関が低くなっており、このことから現地圃場における現象をあつかう場合には未風乾土を用いるのが妥当と思われる。

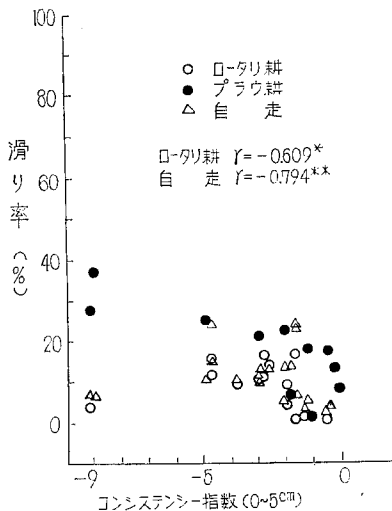


図-9 風乾土基準のコンシステンシー指数と滑り率の関係(農事試)

4. トラクターの走行性判定基準について

以上関係各場のデータを総合して検討した結果から表-8に示すようなトラクター作業の走行可能性の判定基準を作製した。

トラクター作業条件として作業速度、耕深、滑り率、走行部沈下量の適用条件を規定して、これを満足する場合の土壤条件を円錐貫入抵抗、矩形板沈下量によってあらわした。

円錐貫入抵抗については、円錐の底面積の大小によ

て測定可能範囲も異なり、軟弱なところでは底面積の大きいほうが鋭敏であるが、抵抗値の測定範囲が狭く、大型円錐(6 cm²)では8 kg/cm²付近までなので硬い部分は測定出来ず、同一円錐で広範囲に測定しうるように小型円錐(2 cm²)を用いた。

また前述のようにふれが大きいので剪断抵抗の測定は除外した。土壤水分は直接的ではないが、おおよその指標として用いた。

5. おわりに

大型トラクター作業と土壤物理性の関係と走行可能性判定基準について述べたが、実際の圃場では機械条件、作業条件、またはオペレータの熟練度などにより幅があるので、これを参考として検討して戴ければ幸である。

参考文献

- 1) 農林水産技術会議事務局：大型機械化に伴う水田土壤基盤整備に関する研究(1969)
- 2) 長崎明：水田における大型機械の走行能と土壤硬度相について、土壤の物理性9号、30~37(1963)
- 3) 田中孝：軟弱地でのトラクター通行可否判断に対する基準の確立、農機誌25(2)119~122(1963)
- 4) 田中孝：水田におけるトラクター性能判定に関する研究(第3報) ibid, 27(3)150~154(1965)
- 5) 金須ほか：乗用トラクターの走行、けん引および耕耘性能に関する研究、農業機械化研究所(1966)
- 6) 農林水産技術会議事務局監修：統計的方法、農林統計協会、52~53(1963)
- 7) 土質工学会：土質試験法、88(1964)