

農業機械の走行可能性

金 須 正 幸*

1. 研究の意義

農業機械面から見た走行可能性の意義としては、つぎのようなものが考えられる。

走行性予知——基盤整備の指針、機械の導入利用の指針

マップ作成——機械の導入、利用の指針

土壌常数と走行性との関連把握——機械改良開発の基礎資料
土壌条件表示法の統一——研究の再現性

走行性予知あるいは走行性マップ作成のためには、測定法はできるかぎり簡便で、しかも単一値で表現しうるものが望ましいが、機械の改良開発のためには、理論的解析を行なえるような精細な測定を行なうことが必要である。

走行性に関する因子

走行性に関与すると思われる因子を分類すれば、つぎようになる。

a 土に関する因子

グループ1. 土の材質を表示するもので、土の固有の性質を示す。ふつうあまり変化しないものと考えてよい。

例：粒径分布，比重，鉱物的組成有機物含量など。

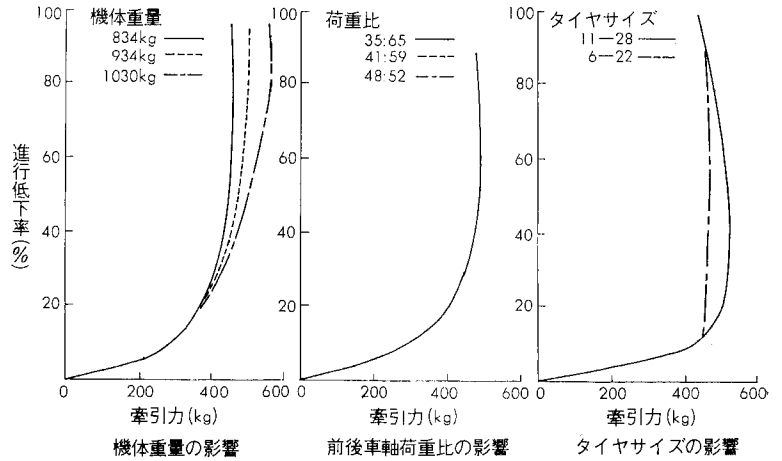
グループ2. 土の実際の状態を表示するもので、たえず変化する。

例：含水量，孔隙量，透水性，草生状態など。

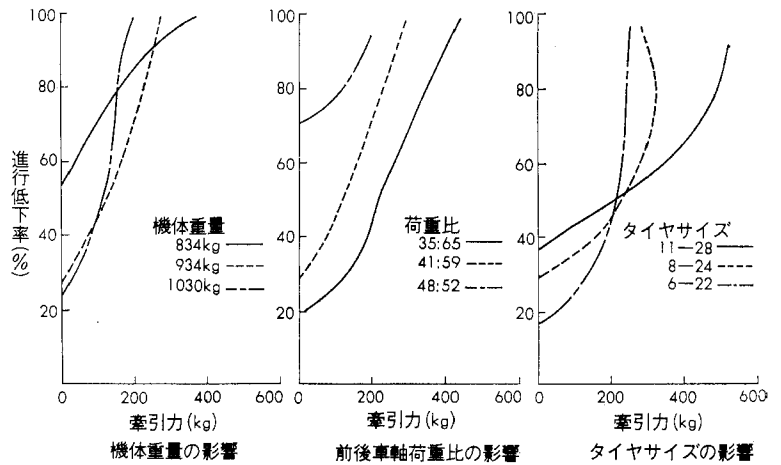
グループ3. 第2のグループは土の比表面や吸着力などにより影響されるので、土の挙動を表すには充分でない。そのため研究対象に間接に関連のある性質を簡易な測定法によって指数として表示したもの。

例：支持力比，塑性指数，貫入指数，矩形板沈下量など。

*農業機械化研究所



第1図 牽引性能に及ぼす機体因子の影響（コンクリート）



第2図 牽引性能に及ぼす機体因子の影響（柔軟土壌）

グループ4. 力学的計算に使用しうる数値

例：変形，強度，透水性などに関する値

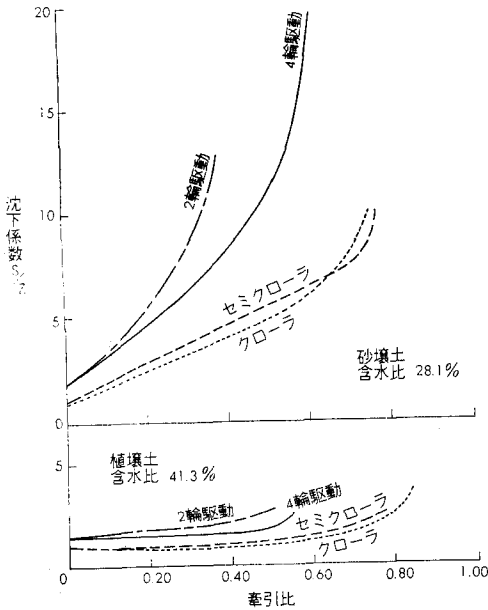
b 機械に関する因子

(i) 機械自体に関する因子：走行性に関係のある機械自体の因子としては、機械の総重量，前後車軸分担荷重，走行部の形状およびサイズ，タイヤ空気圧などが考えられる。コンクリート上および柔軟な土壌にお

けるこれらの因子がトラクタの牽引力におよぼす影響の一例を第1図および第2図に示す。

(ii) 運転状態に関する因子：機械の運転使用状態，たとえば牽引抵抗の大きさ，位置および方向，走行速度，振動なども走行性に影響を及ぼす。

第3図は牽引抵抗によりトラクタの沈下係数（トラ



第3図 牽引比と沈下係数の関係

クタの沈下量と小型矩形板に30kgの荷重をかけたときの沈下量との比)が変化する状態を示している。

3. 沈下量および牽引力の理論的算出

M.G. Bekkerによれば走行部沈下量は次式によって求められる。

$$z = \left(\frac{p}{k_c/b + k\phi} \right)^{1/n} \quad (1)$$

ここに z : 沈下量 (cm)

b : 接地巾 (cm)

p : 接地圧 (kg/cm²)

n : 沈下指数

k_c : 凝集力に関する変形係数 (kg/cmⁿ⁺¹)

kφ : 摩擦に関する変形係数 (kg/cmⁿ⁺²)

すなわち沈下量はk_c, kφ, n, bによって求められる。

また最大牽引力は次式によって求められる。

$$DP = 2 b \ell c \left(1 + \frac{2h}{b} \right) + W \tan \phi \left\{ 1 + 0.64 \left(\frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) \right\} - \frac{2}{(n+1)(k_c + k\phi b)^{1/n}} \times \left(\frac{W}{2\ell} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (2)$$

ここに DP : 最大牽引力 (kg)

ℓ : 接地長 (cm)

h : ラグ高さ (cm)

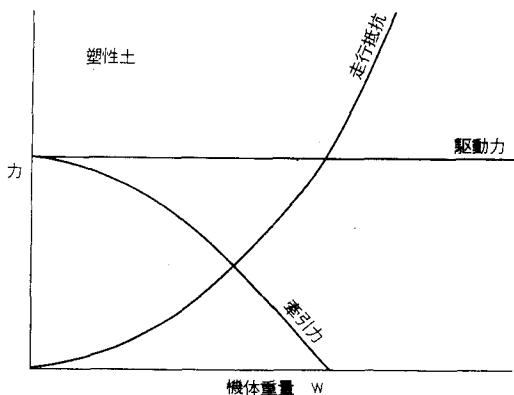
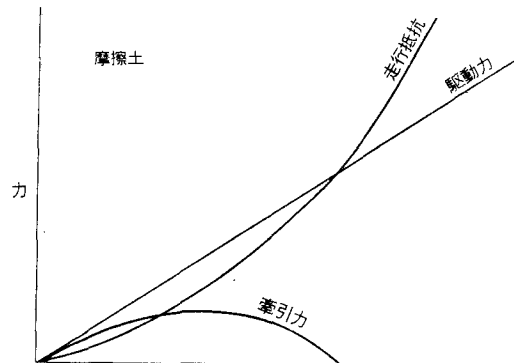
W : 機体重量 (kg)

c : 凝集力 (kg/cm²)

φ : 内部摩擦角

上式の第1項および第2項は駆動力であり，第3項は走行抵抗である。

乾燥した砂のような摩擦土の場合は，c≠0，n≠1であるから，(2)式の第1項は消去することができ，駆動力はWに比例する。これは沈下量が少ない場合のみ適用しうるものであって，沈下量が多いときは走行抵抗はW²に比例して増加する。したがって牽引力は重量の増加とともに減少する。このような土では重量は牽引力に影響はするが，正比例するわけではない(第4図)。

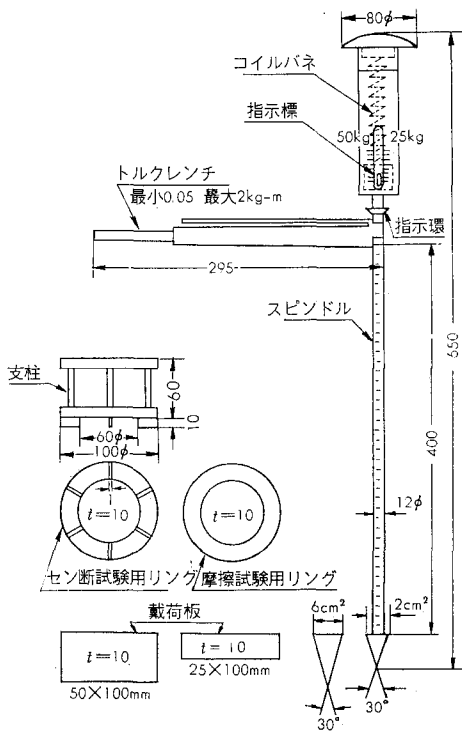


第4図 機体重量と牽引力との関係

湿潤な粘土のような塑性土の場合は，φ≠0でnは砂

の場合より小さい(1/2程度)。したがって(2)式の第2項は消去されるから、駆動力は接地面積にのみ関係する。一方走行抵抗は W^2 に比例して増加するから牽引力は W の増加とともに急激に減少する。

このように機械の走行性は土壌の凝集力、内部摩擦角、沈下指数、変形係数などによって影響され、それに応じて接地部の形状や大きさ、あるいは機体重量などを変えなければならない。したがって機械の改良開発のためには、これらの土壌定数を把握することが必要であって、農業機械化研究所においてはSR-2型土壌抵抗測定器(第5図)により、この種の測定を行なっている。



第5図 SR-2型土壌抵抗測定器

すなわち本測定器は円錐貫入抵抗、矩形板沈下量、剪断抵抗および摩擦抵抗を測定することができ、矩形板により沈下指数および変形係数が求められ、剪断抵抗から凝集力および内部摩擦角を求めることができる。

4. 土壌の走行性測定法

走行性に関する土壌測定法として望ましい条件はつぎの通りである。

- (1) 正確に走行性を表現しうること。
- (2) なるべく単一の数値で表現しうること。(理論的解析の場合はこの限りでない)
- (3) 簡単な計器で測定しうること(操作容易、軽量、

安価)

- (4) 短時間に多数点を測定しうること。
- (5) 泥ねい中での取扱いに耐えられる構造を有すること。
- (6) 測定者による誤差の少いこと。
- (7) データ整理の簡単なこと。

現在一般に行なわれている土壌測定法としては、つぎのようなものがある。

円錐——静貫入、動貫入、(こねかえしの影響を測定するものもある)

平板——矩形板、円板

剪断——ベーン、リング、トラス、その他

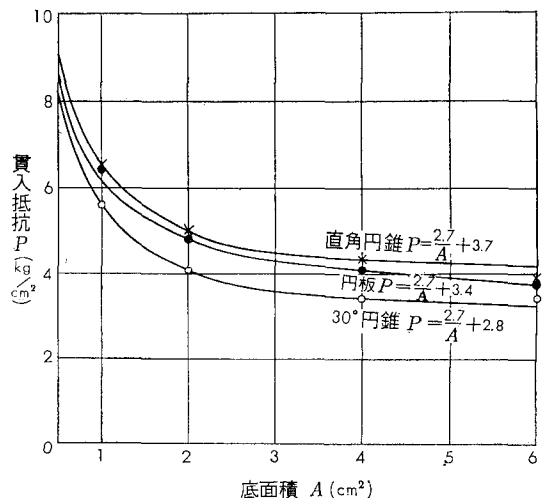
簡易法——足跡、手指、鉛筆

これらの測定法はいずれも一長一短があり走行性的に正確に表現する段階には至っていない。また各計器の形状、大きさも千差万別である。円錐について主なものを掲げれば第1表のようである。

第1表 各種円錐諸元

名称	先端角度	長さ	直径	断面積
山中式	30°	40mm	18mm	2.54cm ²
SR-2(小)	30	30	15.96	2.0
同(大)	30	51	27.66	6.0
TN-4	30	37.8	20.2	3.2(1/2cm ²)
WES	30	37.8	20.2	3.2(1/2cm ²)
コーンペネト	30	56	30	7.07
動貫入試験器(小)	60	26	30	7.07
同(大)	60	43	50	19.6
P-21	90	円錐部5 円筒部10	10	0.78

このように多種多様なものが用いられているのには、それぞれの目的に応じた理由があると思われるが、将来



第6図 各種先端部底面積と貫入抵抗との関係

は漸次統一の方向に持って行くべきであろう。

なお円錐、直角円錐、円板について、底面積と貫入抵抗との関係を求めると第6図のような傾向があり、次式で表わされる。

$$P = \frac{2.7}{A} + x \dots\dots\dots(3)$$

ここに P：貫入抵抗 (kg/cm²)

A：底面積 (cm²)

xの値は土壌の種類および先端部の形状によって変る。また矩形板 (25×100mm) に 30kgの垂直荷重を加えた場合の沈下量 z (cm)と、円錐 (頂角30°, 底面積 2cm²) 貫入抵抗の深さ15cmまでの平均値 C (kg/cm²) との間には、ほぼつぎのような関係が認められた。

$$C = \frac{7}{z} + 2 \dots\dots\dots(4)$$

4. 走行難易判定法

機械の走行難易は、走行部の滑りおよび沈下程度、旋回の難易、わだち跡走行の難易など各種の状態を総合して判定すべきであるが、いま数値的表現の比較的に容易な進行低下率および走行部沈下量により走行の難易を判定する基準について私案を掲げれば第2表の通りである。

第2表 走行難易判定基準

進行低下率	走行部沈下量	走行・牽引の難易
0~10%	0~2 cm	容 易
10~20	2~5	や や 難
20~30	5~10	難
30~40	10~20	きわめて難
40%以上	20cm以上	不 能

注 1. 駆動耕耘作業には進行低下率の項は適用しない。
2. クローラ型の場合は進行低下率は上表の1/4とする。

進行低下率の測定に際しては、基準となる無負荷走行時の測定は圃場内で行なわず、コンクリートまたは土道上で行なわないと、不当に低い進行低下率を得ることになる。

また走行部の沈下量は沈下したラグ先端部までの深さで表示すると、ラグ高さの高いものは沈下量が多くなりやすく適当でないので、つぎのような平均沈下量で表示することが望ましいと思われる。(第7図)。

$$s = s_1 - h + \frac{A}{P} \dots\dots\dots(5)$$

ここに s：平均沈下量 (cm)

s₁：ラグ先端部沈下量 (cm)

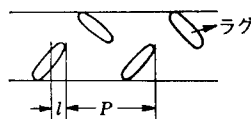
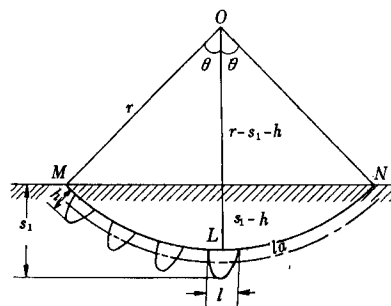
h：ラグ高さ (cm)

A：ラグ1個の断面積 (cm²)

P：ラグのピッチ (cm)

いまラグの断面形状を矩形および三角形とした場合の(5)式を例示すれば次の通りである。

矩形ラグの場合



第7図 走行部平均沈下量の算出法

$$s = s_1 - h \left(1 - \frac{\ell}{P} \right) \dots\dots\dots(6)$$

三角形ラグの場合

$$s = s_1 - h \left(1 - \frac{\ell}{2x} \right) \dots\dots\dots(7)$$

5. 走行部沈下量の予知

小型矩形板 (25×100mm) に30kgの垂直荷重を加えた場合の沈下量 z と走行部沈下量 s とは、同一機械についてはほぼ一直線上にある。いま s/x を沈下係数と名付けよう。沈下係数は走行部の形状、大きさ、あるいは機体重量により異なるが、その関係は次式で表わされる。

クローラ型

$$\frac{s}{z} = \frac{19.4W}{w^2 \ell} + 0.55 \dots\dots\dots(8)$$

ここに W：機体重量 (kg)

w：履帯巾 (cm)

ℓ：接地長 (cm)

セミクローラ型

$$\frac{s}{z} = 2.60 - \frac{1}{\frac{W_f}{W_r} + 3} \left(6.17 - \frac{58W_r}{w^2 \ell} \right) \dots\dots\dots(9)$$

ここに W_f：駆動されない車輪 (通常前輪) の分担荷重 (kg), W_r：クローラ部の分担荷重 (kg), W, ℓ はクローラの場合と同じ。

ホイール型

$$\frac{s}{z} = 2.60 - \frac{1}{\frac{W_f}{W_r} + 3} \left(5.55 - \frac{3W_r}{w^2 dm} \right) \dots\dots\dots(10)$$

ここに W_r：駆動車輪の分担荷重 (kg)

w : タイヤ巾 (cm)

d : リム径 (cm)

m : 駆動輪数

したがって機械の諸元がわかっているならば(8)~(10)式より沈下係数が求められるから、機械を走行させようとする圃場の矩形板沈下量 z を測定すれば、機械の沈下量 s を推定することができよう。また沈下係数を算出することにより、各種機械の走行性の優劣を判定することも可能であろう。第3表に各種車両の沈下係数を示す。

6. 走行性に関する土壌分級

矩形板あるいは円錐により単一値で走行性を表現することは、現段階ではまだ危険が多く、とくに表層20cm

以内に硬い土層がある場合には経験にもとづく総合的な判断が必要となるが、一応の目安として矩形板および円錐による土壌の分類を示せば第4表の通りである。

第3表 各種車両の沈下係数無負荷走行時

機 種	沈下係数
歩行用トラクタ (籠車輪)	0.9
ホイール型トラクタ (ゴムタイヤ)	1.5
ク ク (水田車輪)	1.0
セミクローラ型トラクタ	0.9
クローラ型トラクタ	0.9
コンバイン (セミクローラ型, クローラ型)	0.9
湿地用ブルドーザ	0.6
水陸両用車	0.0

第4表 走行性に関する土壌分級

階級	小型矩形板 沈下量 (垂直荷重 30kg)	円錐指数 (底面積cm ²) (0~15cmの 平均)	土壌分級	走 行 難 易				
				ホ イ ー ル 型			ク ロ ー ラ 型	
				無負荷走行 または駆動耕耘	牽引作業	備 考	無負荷走行 または駆動耕耘	牽引作業
A	0~0.5cm	8kg/cm ² 以上	きわめて良	きわめて容易	容易	—	きわめて容易	きわめて容易
B	0.5~1	8~6	良	容易	やや難	ゴムタイヤ 作業限界	きわめて容易	容易
C	1~3	6~4.5	やや不良	やや難	難	水田車輪必要	容易	やや難
D	3~7	4.5~3	不良	難	きわめて難	旋回困難	やや難	難
E	7~13	3~2	きわめて不良	きわめて難	不能	旋回不能	難	極めて難
F	13cm以上	2以下	危険	不能	不能	自力脱出不能	きわめて難	不能

引 用 文 献

1. 金須正幸：トラクタの走行可能性に関する研究
2. 農業機械化研究所：昭和39年度研究成果
3. 同上：昭和40年度研究成果概要

4. S.J.Knight, D.R.Freitag: Measuring Soil trafficability
5. OTAC: Research Report. No. 5
6. M.G.Bekker: Theory of land locomotion
7. M.G.Bekker: Off-the-road locomotion.