

ホイール型農用トラクタのタイヤクローラ装置

佐藤 勝之郎*

1. まえがき

農業構造改善事業が近年ようやく（緒）につき、大形農業機械化が進展するにつれて、その中核となる乗用トラクタが急速に導入されつつあるが、わが国の農業は欧米に比べてはるかに小規模でかつ集約的経営形態であるために、採算上ならびに機能上から、導入されるトラクタには高度の汎用性と作業の精度、能率が要求される。しかも近年農用トラクタの軽快な機動性が認められて林業用、土建用にも利用されることが増加してきたので、この方面からも農用トラクタは一段と複雑かつ高度な機能を備えることが必要となった。

このうち走行機能についての要求は次の(1)～(6)のとおりであるが、本文の“タイヤクローラ”はこれらの要求を一挙に満たす新しい走行装置である。

(1) 有効稼働時間が大きいこと

- (a) 晴雨を問わず作業能力を発揮できる
- (b) 付属装置着脱などの無駄な準備時間が少ない
- (c) 作業場までの往復、あぜ乗り越しなどの機動能力が高い

(2) ほ場条件に左右されず稼働できること

- (a) 超湿田でも沈下、スリップがなく十分な作業ができる
- (b) 傾斜地でのケン引作業が安全にできる
- (c) 粘質土、砂質土いずれの場合にも十分な走行作業性を発揮できる

(3) 小区画での機動性がよく、作業精度が高いこと

- (a) 湿田において旋回、後退が自由自在である
- (b) 小区画は場のすみずみまで作業ができる

(4) 耕地の改良造成、土建用など高負荷にも使用できること

- (a) 土層改良の深耕作業ができる
- (b) 開墾、耕地造成、土建用など不整地における重ケン引作業ができる

(5) 路上走行性ならびに乗り心地が良好であること

- (a) 未整備の狭い農道でも安全に走行できる
- (b) 舗装路面での高速走行時でも乗り心地が良好である

(6) 付属装置は構造簡単、取扱い容易でしかも安価であること

2. タイヤクローラの構造と機能の概要

2. 1 構造

第1図に示すようなラグを備えた多数のシューをチェーンまたはスキマを持つロッドなどで可とう（撓）かつ伸縮自在の連結具で連結した構造を有し、駆動タイヤ外周に装着したとき、互いのシューはその間隔がタイヤ外周に沿って伸縮自在にしゅう（措）動可能で、また各シューは前後左右にも揺動し得るものである。本構造を実施した仕様例を次に示す。

農用トラクタ R201用タイヤクローラ L903形

全長×全幅 2300×279mm

シュー寸法 長さ260×幅118×高さ40mm

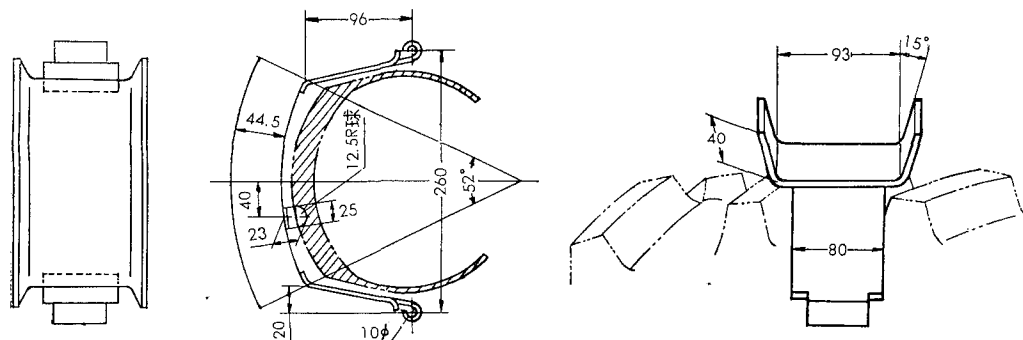
シュー数 9

結合方式 リングチェーン（太さ8mmφ）

重量 25kg（片輪）

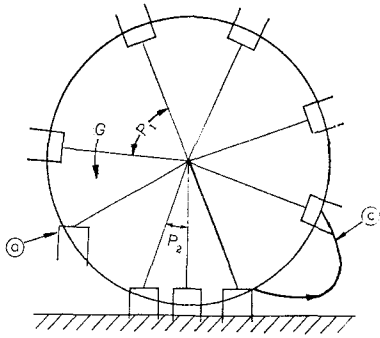
シュー形状 第1図に示す

2. 2 機能



第1図 タイヤクローラの三面図

* 三菱重工業株式会社

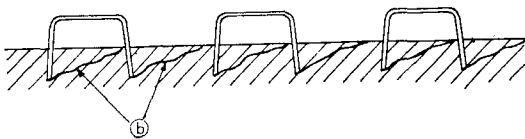


第2図 タイヤクローラの接地機構

- (1) シュー接地の際は、車輪の回転に伴ってその方向が第2図④のように、今まで半径方向を向いていたものが地表面に対し垂直方向となり、また車輪の駆動力によってシューピッチが P_1 から P_2 へと変化し、互いのシューは近接しかつシューのラグは常に地面に垂直にささり100%に近いケン引効率となる。
- (2) 接地したシューは第3図のとおり適当な間隔で数個が互いに接して地中に突きささって駆動されるので、⑤のようにノコ状の大きなセン断面積が得られ、接地の効率が高く、大きなケン引力を発生する。また接地面積は矩形で大きくなり、タイヤのみの場合に比べて接地圧は約1/2に減少する。
- (3) 次いで接地シューが地表を離れる際は、タイヤの駆動力から解放され、その直後にその先行のシューとの連結チェーン（またはロッド）によって引張力を受けるため、第2図⑥のような軌跡をたどって移動し、附着した土は放てき除去される。
- (4) その後シューは次の接地までは、上記連結チェーン（またはロッド）に加わる間けつな引張力によって、ことにシューの裏面に設けられた突起がゴムタイヤの斜めのラグに当たることによって、シューは前後左右に揺動し、附着土はさらに完全に除去され新たな状態で接地することになる。

3. タイヤクローラの性能理論

タイヤクローラの形状ならびに、これにより得られる走行性能（Trafficability）、すなわち車両を垂直方向に支持する能力（浮走性）および水平方向にケン引力を



第3図 タイヤクローラの接地機構

発生する能力（ケン引性）についての理論的根拠を実際と対比して説明する。

3. 1 シューの形状

シュー形状を決定する要因として重要なことは、

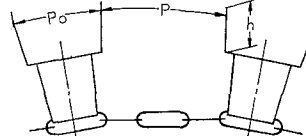
- (1) ラグにより土のセン断が最も有効にケン引力として利用できること
 - (2) ラグの間に土詰まりを生ずることなく、よく除泥作用があること
 - (3) 路上走行における乗り心地が良好なこと
- であって、タイヤクローラもこの見地から決定されたものである。

ピッチ P 、高さ h はクローラトラクタの履帯のラグについて多数機種を統計的にみると第1表に示すようにほとんどが $P/h=3.5\sim 3.6$ と一定値を示している。タイヤクローラにおいては、第1表の図に示すように $h=40\text{mm}$ 、固定ピッチ $P_0=125\text{mm}$ で、 $P/h=3.15$ となり、おおむね上記一般値と同値である。また隣接シューのピッチ P については、静的には 251mm で $P/h=6.28$ であ

第1表 国産クローラトラクタ用シュープレートおよびタイヤクローラ用シューの寸法

履板突起寸法 機種		h (mm)	P (mm)	P/h 比
		A	35	125
B	43	154	3.58	
C	38	235	3.55	
D	47	171.5	3.65	
タイヤクローラ	静的寸法	40	(1) P_0 126 P 251	3.15 6.28
	動的寸法	堅硬地	P_0 126	3.15
			P 210	5.25
	動的寸法	軟弱地	P_0 126	3.15
P 143			3.58	

注(1)



(2) P (動的寸法)測定方法

$$P = \frac{l}{N \cdot n} - P_0$$

l : 進行距離

N : 車輪回転数

n : シュー数

るが、既述のように独得の接地機構によって、作用中はこのピッチは大幅に変動し、土地条件により異なるが、堅硬地で $P=210\text{mm}$ 、軟弱地で、 $P=143\text{mm}$ を示す（軟弱地では自動的に近接が大きくなる）。このときの P/h 比は、第1表に示すように軟弱地で3.58と前記標準値に一致し、土地が堅くなるにつれてこの値は大きくなる。適正 P/h 比が従来的一般値よりも若干大きくなることは近年SLT (Spaced Link Track)に関する研究で知られ

ている理論に合致するもので、これはラグによるセン断面積がノコ状に大きくなるように、ラグピッチを大きくして堅硬地におけるケン引力を増大せしめるもので、タイヤクローラは堅硬地において自動的にこの原理に適応する。

3. 2 浮 走 性

軟弱地において車輪が沈下する場合には、M.G.Bekker⁽²⁾⁽³⁾の理論により、静的な沈下量は次式で与えられる。

$$Z = \left(\frac{P}{K_c/b + K\phi} \right)^{1/n} \quad (1)$$

ここに

$$P = W/lb$$

W : 車輪荷重

n : 土の沈下指数

l : 接地長 (片輪)

$K_c, K\phi$: 土の変形係数

b : 接地幅 (片輪)

すなわち湿潤な粘土地では、一般に $n=1/2$ であり沈下量は接地圧の2乗に比例して減少するが、接地圧が同じであれば接地部の幅が狭く細長いほうが有効である。タイヤクローラについては第2表に示すとおり、接地圧はタイヤの1/2に低下し、かつ接地面積は b よりも l のほうが大幅に増大するものであるから、浮走性向上にきわめて有効である。

第2表 タイヤクローラ応用装備の諸元

Specification of applicational equipment

装 備	全重量 (kg)	駆動輪荷重 (kg)	接地面積 (cm ²)	計算接地 圧 (kg/cm ²)
タイヤのみ	1279	794	1260	0.63
タイヤクローラ	1317	829	2600	0.32
ダブルタイヤクローラ	1510	1003	5200	0.19
クローラ コンビネーション	1533	1126	9640	0.12

※ タイヤ沈下量25mm時

いま、非常に軟弱な粘質土について試算すると、

$$K_c = 2 \quad K\phi = 0.1 \quad n = 1/2$$

のとき、タイヤのみの沈下量 $Z_w = 10.4$ cm、タイヤクローラ装着時の沈下量 $Z_c = 3.3$ cmでタイヤクローラにより沈下量は1/3以下に減少する。

上記はタイヤの定常的な沈下を論じたものであるが実際に作業する場合には車輪のスリップにより排土作用を伴って、沈下はさらに助長されるが、タイヤクローラではスリップは次表のように大幅に減少するので、実際上の沈上防止効果はさらに顕著である。

3. 3 ケ ン 引 力

タイヤおよび履帯のケン引力は、M. G. Bekkerにより次式で与えられる。

$$H = H_m + H_s - R \quad (2)$$

車 輪	ケン引力	250kg	500kg
タイヤ		33%	90%
タイヤクローラ		10%	28%

(第8図から引用)

ここに

$$H_m = 2blc + W \tan \phi$$

$$H_s = 4hlc + 0.64 \left(-\frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) W \tan \phi$$

$$R = \frac{Kb}{n+1} \left\{ \frac{3W}{(3-n)bK\sqrt{D}} \right\}^{\frac{2n+2}{2n+1}}$$

$$K = K_c/b + K\phi$$

すなわち H_m は第4図に示すように、タイヤまたはタイヤクローラの接地部底面において生ずる推力であり、ラグの有無にかかわらず発生する力であるが、 H_s は第4図(A)のように高さ h だけ突き出したラグに起因する土のセン断側面において生ずる推力を示しており、タイヤクローラの場合にのみこれが有効に利用できる力である。

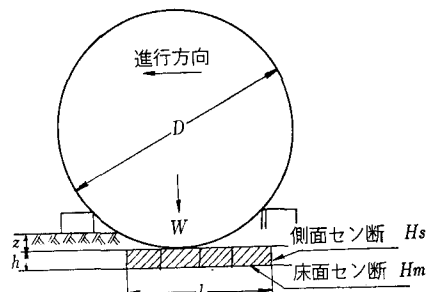
R は車輪転動時の沈下に伴って生ずる動的な走行抵抗である。

ところで(2)式は下記のように書き換えられる。

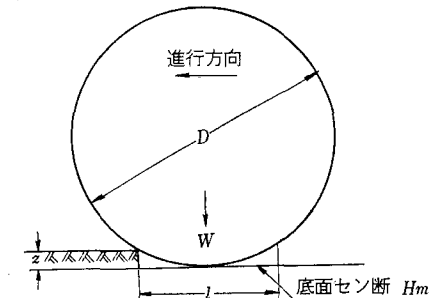
$$H = H_c + H\phi - R \quad (3)$$

$$H_c = 2blc \left(1 + \frac{2h}{b} \right)$$

$$H\phi = W \tan \phi \left\{ 1 + 0.64 \left(\frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) \right\}$$



(A) タイヤ クローラ



(B) タイヤ

第4図 車輪のケン引力発生機構

ここで、 H_c は土の粘着力成分を示し、 $H\phi$ は土の摩擦
力成分を示している。

すなわち乾燥した砂のような摩擦土の場合には、 H_c
=0 であり、ケン引力 H はトラクタ重量 W に比例した
値となって、走行装置の形状による影響は微小に過ぎな
い。たとえば、

$$c=0 \quad \phi=35^\circ \quad n=1$$

の場合、R201の最大ケン引力 H は第3表に示すとおり、
タイヤ519kgに対しタイヤクローラ575kgであり、タイ
ヤクローラの砂地におけるケン引力増加は、10%程度に
過ぎないことを示している。

第3表 沈下量および最大ケン引力計算結果

		(A)普通の土	(B)軟弱な粘土	(C)乾燥した砂
		$c=0.20$	$c=0.05$	$c=0$
		$\phi=30^\circ$	$\phi=10^\circ$	$\phi=35^\circ$
		$n=1/2$	$n=1/2$	$n=1$
		$K\phi=-2.0$	$K\phi=-0.25$	$K\phi=-1.1$
		$K\phi=1.2$	$K\phi=0.97$	$K\phi=1.1$
		(4項(1)地 に相当)	(4項(2)地 に相当)	
タ イ ヤ	$b=21\text{cm}$	Zcm	3.4	5.0
	$l=30\text{cm}$	Hc	252	61
		H ϕ	550	147
	$h=0$	Rkg	171	128
	$w_0=794\text{kg}$	Hkg	631 (620)	59 (70)
タ イ ヤ ク ロ ー ラ	$b=26\text{cm}$	Zcm	3.2	4.2
	$l=50\text{cm}$	Hc	680	170
		H ϕ	730	180
	$h=4\text{cm}$	Rkg	181	128
	$w_0=829\text{kg}$	Hkg	1229 (1250)	200 (190)

注 (1) $Z = \left\{ \frac{3w}{(3-n) \cdot v \cdot \sqrt{L}} \right\} \frac{2}{2n+1}$ 車輪の動的な沈下量

(2) H は車輪が沈下量 Z の状態で発揮し得る最大ケン引
力を示す。したがって、(1)地ではほぼ 実測最大ケン引
力に相当するが、(2)地では沈下が増大せぬ範囲(スリ
プ5%程度)での値とみなされる。

(3) w はウェイトトランスファを考慮して $w = w_0 + (Hm + Hs) \frac{S}{L}$ として計算 S = ケン引点高さ、
 L = 軸距

(4) ()内は(1)、(2)地での実験値 (図 7, 9 参照)

ところが粘性土の場合、特に湿潤な塑性土の時には、
 $H\phi \neq 0$ となって、最大ケン引力は、 b 、 l 、 h 、すなわち
走行装置の形状により決まり、接地面積、ラグ高さが有
効であるとともに、同じ接地面積であれば接地部長さ l
の長いほうがより効果的であることを示している。

すなわち、タイヤ クローラは粘質土において特にそ
の効果が著しいことを示している。

たとえば、

$$c=0.05 \quad \phi=10^\circ \quad n=1/2$$

の軟弱地の場合、最大ケン引力は、タイヤは $H = 59\text{kg}$
(内 H_c 分 61kg)、タイヤクローラは $H = 200\text{kg}$ (内 H_c 分
170kg) となって3倍以上のケン引力を示し、しかも H
の中で H_c の占める率が支配的であることがわかる。

これは W の増加に比例して $H\phi$ でも増加するが同時に
沈下が進み、 $W^{3/2}$ に比例して R が増加するために $H\phi$ より
も R の増加率が高く、トラクタ重量を増加しても意に
反して急激なケン引力の減少をもたらすからである。

なお、比較的堅い土で表面がぬれていたり、草がはえ
ていてすべりやすい場合はタイヤのみでは地面へ食い込
まないの、いかに重量を増加してもスリップしてケン
引力にならないが、タイヤクローラでは計算的にも第3
表に示すように、タイヤの最大ケン引力 631kg に比ベ
タイヤクローラは 1229kg と 2 倍近いケン引力を発揮す
ることになり、これはよく実験値とも一致している。

第3表に、対応する実験値を後章から引用して ()
内に示す。

4. 機能の詳細と試験成績

タイヤクローラの機能の具体的内容について、試験成
績を以下に詳述する。

1 接地機構

シュアの接地動作の詳細過程を示す。

車速 0.4m/s、スリップ率約 10%、土壤は粘質土、落
下式カタサ 144mm、水分 25.7% で表面に約 50mm のか
(禾) 本科雑草がはえている状態における例である。

シュアはほぼ地面へ垂直に向かって接地、すなわちラ
グの両先端がほぼ同時に接地する。これはチェーンの長
さが円周方向に伸縮し得るガタをもっていること、なら
びにシュアの重心がチェーンの形成する円周外方にある
ことが重要な条件となる。

接地したシュアは、ゴムタイヤを介して車体重量を受
けて、そのラグ先端が土層中へ押し込まれる。ここにシ
ュー自身は地中に安定してささえられる。この点がゴム
タイヤ外周に緊着する他の方式のすべり止め装置が、土
の表層にのみ作用するのとくらべて、大きな相違である。

地中にかん(嵌)入したシュアは、車輪の駆動につれ

て、シュー下面、シュー側面および隣接シュー間の土のせん断力を反力として強大なケン引力を発揮する。

ケン引行程を終了したシューは、ゴムタイヤとの接触が解除され、同時にタイヤの駆動力によってシューは後方へけ（蹴）り出され続いてチェーンによりつり上げられ、再びタイヤ外周にかん合、この運動に伴ってシュー間およびラグの間に詰まった土は、放てき排除されるか、あるいはタイヤクローラとの密着がし緩して脱落しやすい状態になる。

2 除泥機構

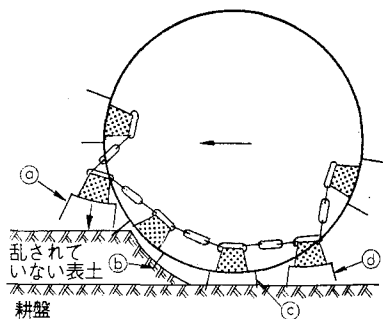
前項で、シューが地面から離れるときの状況を示した。その後においてシュー周辺に付着した泥土は、車輪の回転に伴って、逐次ハク離が進行して、新規に接地する時にはきわめて粘度の高い土壌も完全にハク離する。

この時の土の粘着性の程度は、タイヤクローラを装備しない前輪は、タイヤの太さが2倍になるほどに著しく土が付着するにもかかわらず、後輪はタイヤのラグが依然として露出しており、高いケン引力を発揮する。

湿田において、一般クローラが土詰まりを生じてスリップし沈下する状況下でも、タイヤクローラによれば確実に走行して作業が可能である。

3 軟弱地沈下性

タイヤクローラを装備すると接地圧が1/2以下になり、沈下特性が大幅に向上することは既述のとおりであるが、このほか第5図に示すように接地するシューは、



第5図 軟弱地走行機構

常に除泥された状態で新しい表土をかく乱することなく垂直に食い込み、そのせん断力を有効にラグに受けるので、たとえ最下部ラグに多少のすべりが生じて、新しく進入するラグが有効な推力を発生するので、車輪は沈むより以前に前進して、沈下が進行することはない。

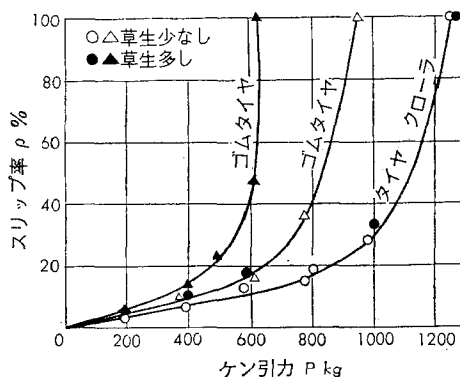
これに対してタイヤのみの場合は、スリップの発生はたちまちラグの間に泥詰まりを生じ、それに伴って表土が削りとられ、かく乱した上での車輪空転となり急速に自ら沈下する。

4 ケン引性能

タイヤクローラのケン引力発生機構は、一般トラクタが土壌との摩擦力利用によるものと異なり、土の粘着力を利用したものであり、さらにシューの接地機構上高いケン引効率を得られるので、路面状況にかかわらず高いケン引性能を発揮できる。

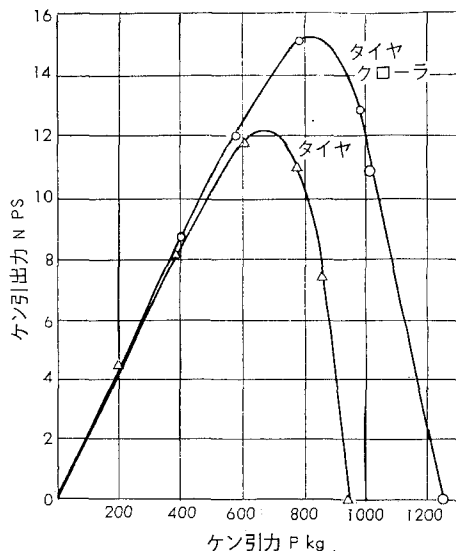
特に粘質土壌において、ラグの側面せん断により高いケン引力を発生し、軟弱地においてもシューの除泥作用と相まってこの能力は卓抜である。次にその一例として農用トラクタR201の場合を示す。

- (1) 乾燥した堅硬地, (2) 水分が多い軟弱地



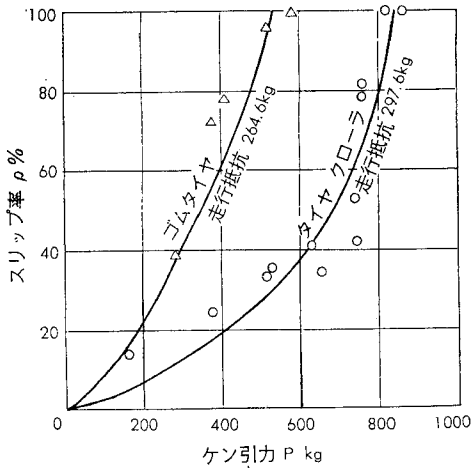
年 月 1963年5月
 場 岡崎追進農場内牧草地
 しょく(埴)土にて完全乾燥固結
 落下式硬度40mm
 機体重量 タイヤのみ1276kg
 タイヤクローラ装着1326kg
 負 荷 車 ジープ

第6図 堅硬地におけるケン引性能曲線



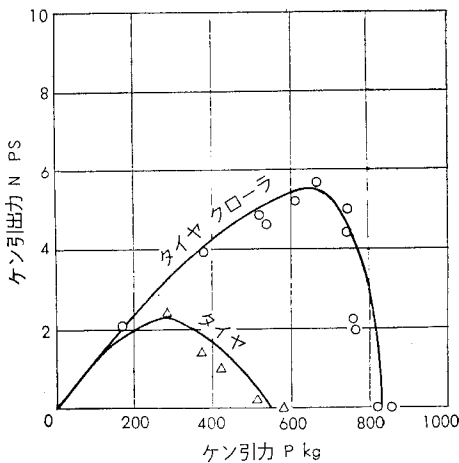
第7図 堅硬地におけるケン引性能曲線

において、タイヤのみの場合と比較した試験結果を、第8～9図に示す。



年 月 1963年11月
 場 農機研人工ほ場No.3
 代かき後落水した軟弱地
 含水比34.0%
 機体重量 タイヤのみ1245kg
 タイヤクローラ装着1295kg
 負 荷 車 土壌そう(槽)付属負荷装置

第8図 軟弱地におけるケン引性能曲線



第9図 軟弱地におけるケン引性能曲線

第6図・第8図において、(1)地すなわち堅硬地では最大ケン引力が、タイヤのみに930kgに対し、タイヤクローラ装着により1250kgとなり30%、(2)地すなわち軟弱地では550kgに対し、850kgと60%以上もケン引力が増大、それに伴って第7図・第9図に示すように、有効仕事に利用されるケン引出力が、1.3～2倍に向上し、

20PS級トラクタで30PS級のケン引力を常に発揮できる。

なお本試験におけるケン引計測は、トラクタのヒッチ点高さ30cmにおいて負荷車を水平に引張り、ケン引力 P 、トラクタの平均速度 V 、後輪の平均スリップ率 ρ を計測したものである。

実際作業における使用例として、農用トラクタの代表的作業であるプラウ耕起について解説する。プラウ耕起は、その年の収穫はプラウイングで決まるといわれるほど重要なものである。既述したようにタイヤクローラによって、強大なケン引力を発揮、当然の結果として従来30PS級以上のトラクタによらなければできないとされた堅い牧草地の作業も20PS級トラクタで可能にしたものであるが、この他にさらに重要なことは、従来ホイールトラクタでは全く不可能で、考えも及ばなかった湿田のプラウ耕起が容易にできるようになったことである。

5. む す び

(1) ケン引力増大のため車体重量を増すという従来の方は、全く不要となり、20PS級の軽トラクタで30PS級の重ケン引作業が可能となり、営農用トラクタが耕地造成用、土建用にもそのまま利用できるようになった。

(2) 従来ホイールトラクタはもちろん、クローラトラクタでも不可能であった超湿田における作業、特にケン引作業までもが自由自在に可能となり、か動は晴雨論外であって、作業能率は格段に向上し減価償却の点もほとんど問題にならなくなった。

(タイヤクローラの特許：このタイヤクローラの新規性については、国内はもちろん海外主要国に対して教件の特許を出願中である。)

引 用 文 献

1. 農用トラクタカタログ、陸用内燃機協会編(昭38)P.13, 29, 47, 49
2. Bekker M.G., Theory of Land Locomotion, The University of Michigan Press (1962) P.186~288
3. トラクタの走行可能性に関する研究、農業機械化研究所編(昭39) P.1~11
4. 自動車工学ハンドブック、自動車技術会編(昭37)11章P.4