

小型トラクタ用弾丸暗きょせん孔機の試作研究

小嶋和雄・池見隆男・土居栄城

(農学部農業機械学研究室)

On the Trial Production of the Mole Drainer for the Hand Tractor.

K. KOJIMA, T. IKEMI, E. DOI

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture)

I. 緒 言

これまで大、中型トラクタ用の弾丸暗きょせん孔機を試作し、それぞれ一応の実用性がたしかめられたが、本研究では比較的浅いところにせん孔し、水田の地表水や作土中の過剰水を応急的に排除するため、ビニールハウス内の排水のための小型トラクタ用弾丸暗きょせん孔機を試作してみた。

一般水田における排水の必要性は、いまさらいうまでもないので、これからビニールハウス内の排水について少少述べてみよう。

近年、高知県その他の西南暖地において、ビニールハウスによるそ菜栽培が盛んに行なわれるようになった。ビニールハウス内の栽培は、地上空間が密閉されたほ場における栽培であり、微気象的、土壌物理的問題を多くはらんでいる。その一つが排水である。

ビニールハウスは水田に作られ、しかも、かん水は目分量でしばしば行なわれるため、作土層下部の土壌水は過剰になることが多い。

往時は植付床の下部に有機質肥料として、わらを敷き込んでいたのであるが、このわらが、そだ暗きょの代りとなり、排水の役割を果たしていたと考えられる。最近では肥料事情好転のため、わらを敷き込むことも少なくなっており、このことが潜在的排水不良の一原因ともなっているようである。

ビニールハウス内の排水不良によって、引き起される弊害は、一般ほ場で考えられるものと同様であるが、特に病害において著しい。例えばトマト、キュウリ、ピーマンなどに灰色かび病、菌核病、疫病が、またトマトに尻ぐされ病、キュウリに露菌病などが発生しやすくなる。

排水不良がそ菜の生育収量におよぼす影響についての研究は、小村、上野¹⁾がたまねぎについて行なっていて、地下水位が20cm以上になると著しく減収するので、麦の場合と同様、地下水位を40~60cmに低下させることが必要だと述べている。

ビニールハウス内における排水不良と、そ菜の生育収量との関係についての研究は見当たらないが、これは一般ほ場の場合と同じく常識化されているものと思われる。

地下水位低下の目的からすれば、一般の暗きょと同じように、ハウスを建てる前に土中50~100cmの深さのところ土管やパイプ類を埋めたり、大、中型トラクタで弾丸暗きょを作ればよいわけであるが、ここでは作土層またはそのごく近くの層の過剰水をすみやかに排除するのが主目的とするので、作土層のあまり深くないところに暗きょを作ればよいことになる。

最近、ハウス内にも作土層下にプラスチックパイプや、砂や石礫を埋め込んで暗きょとなし、排水向上策が試みられているようであるが、パイプや石礫などの異物が作土層の近くに存在することは、耕うんの際障害となり、また資材費も要することになる。

この点からいえば、無資材の弾丸暗きょが好適であるが、浅いせん孔のため耐久性が低いことと、耕うんの際、崩壊のおそれがある欠点がある。これらの欠点をおぎなうには、毎年新しく暗きょをせん孔する必要があり、このためにはトラクタでけん引するせん孔機の利用が最適である。

ビニールハウス内は狭小で大、中型トラクタの稼働は到底望めないで、ハウス内の耕うんに一般に使用されている小型トラクタの利用が切望される。

そこで小型トラクタでけん引し、15~20cmの深さにせん孔し、一般の水田の地表水の排除にも、ビニールハウス内の排水にも利用し得る、小型弾丸暗きょせん孔機の試作を行ない、2、3の性能試験を行なったので、ここに報告する次第である。

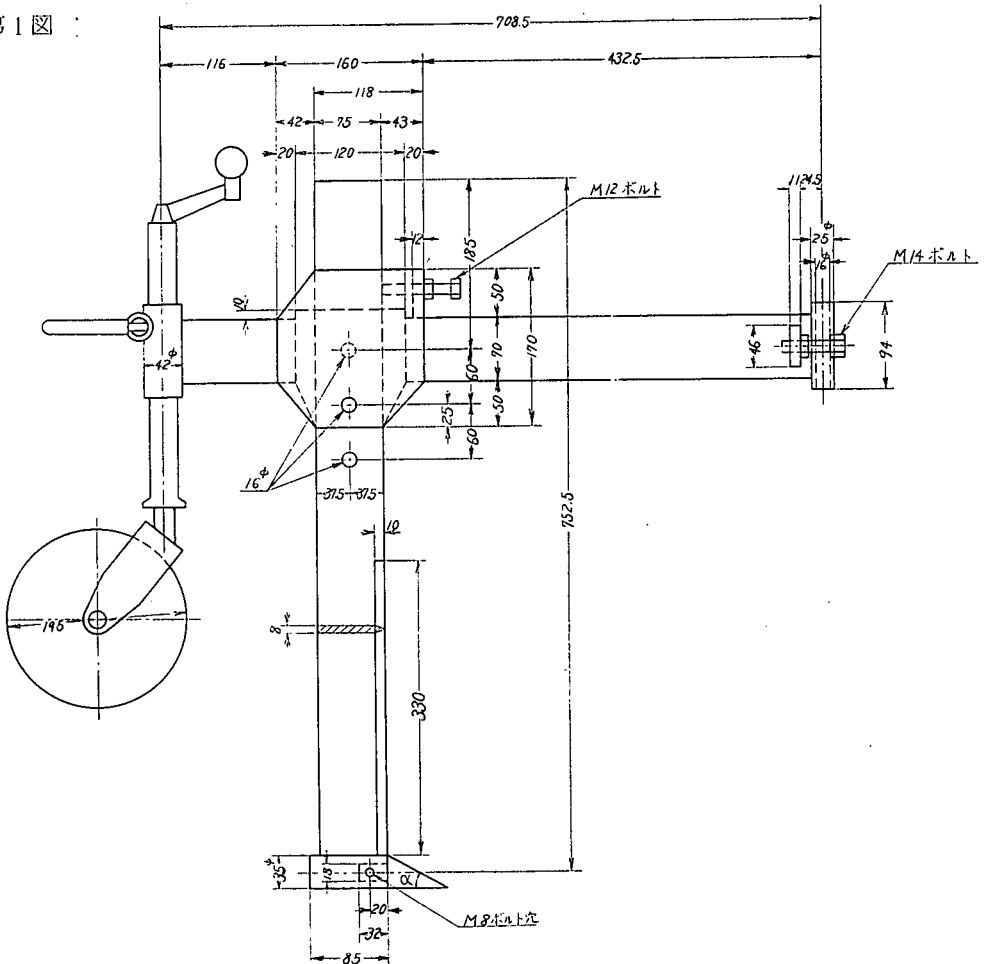
試作機の製作に当って、多大のご協力を頂いた鈴江農機製作所（南国市後免町）に厚く謝意を表する次第である。

II. 試作せん孔機の概要

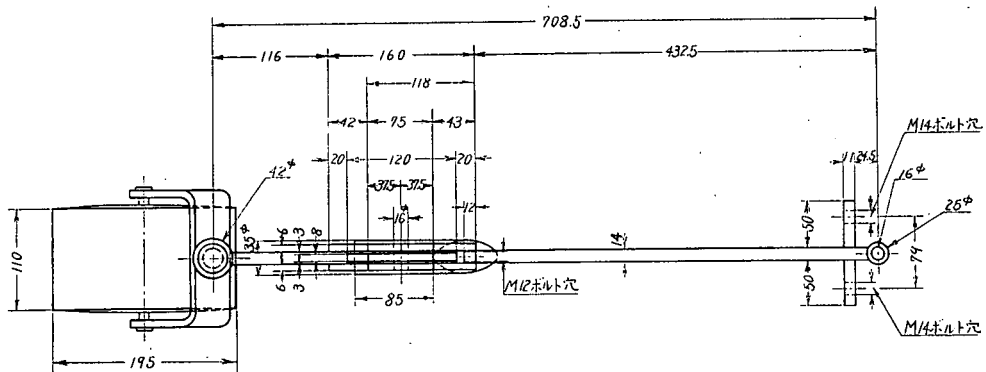
(1) 構 造

試作弾丸暗きょせん孔機の側面図、平面図は第1図、第2図のようである。トラクタに装着時の状態は第3図のようである。

第1図



第2図

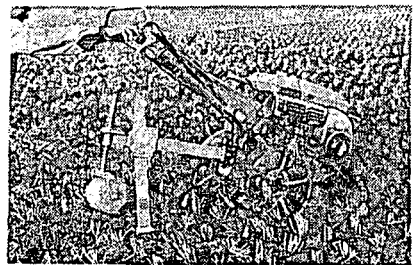


せん孔体はシャंकに直径 16mm の孔を 3 個、60mm の間隔をもってうがっており、その中の一つの孔を利用してピンでビームに取り付けるようになっている。シャंकの取り付け位置を下げることにより、また後部ローラを上方に上げることにより、せん孔深を 37cm まで変え得るようになっている。

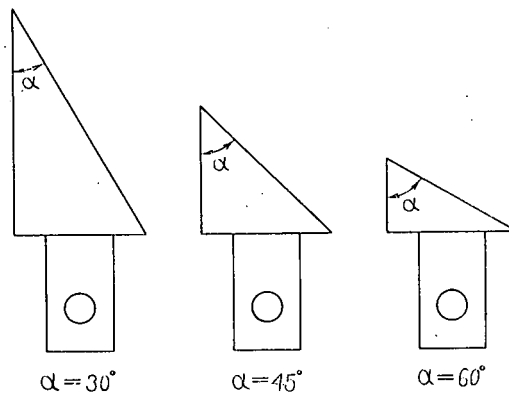
せん孔機の全重量は 18.3kg である。

これまでの試験結果²⁾³⁾ からせん孔中、弾丸体に上向土圧が作用するとせん孔体が浮き上がり、浅いせん孔時その傾向が強いため、正常なせん孔が出来なくなり、当試作機のように二輪トラクタでけん引する場合に、特にせん孔作業、トラクタの操縦が困難になるので、弾丸体の先端は常に下向力が作用するように、円筒の先端上部をななめに切削した型を採用した。弾丸体の直径は 35mm で、弾丸体の先端部は取り替え得るようになって、第 4 図のように 30°、45°、60° の 3 種類を作製し、先端角とけん引抵抗の関係を調査することにした。

第3図



第4図



後部のローラはせん孔深の調節と、機体の安定を保つためのものである。ローラの上下は動力耕うん機の尾輪を上下する機構と全く同じである。

せん孔深調節のためローラを上下すると、せん孔体のシャंकに傾斜がつき、弾丸体が水平位置

を保たないようになるので、これを修正するためシャックは前後、両方向にそれぞれ 15° 程度取付角度を変えるようになっている。

トラクタへのせん孔機の取付方法は、犁などを取り付ける場合と同じである。

は場試験の項で後述するが、トラクタのけん引力を増すため、車輪は普通の鉄車輪に特別に凸起をつけたものを使用した。

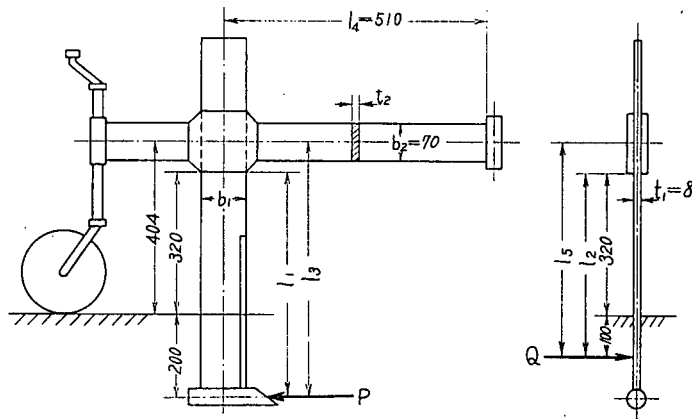
なお必要せん孔深、きょ孔径の数值は当学部そ菜園芸学研究室の門田教授のご意見を参考にした。

(2) せん孔機の強度計算

せん孔機の主要部の寸法を決定するにあたり、強度計算を行なった。

第5図よりせん孔機に作用する外力は、主としてせん孔抵抗(弾丸体とシャックの抵抗) P およ

第5図



びトラクタのハンドルを左右に振ることによって生ずる側方力 Q である。これらの外力の作用点は必ずしも図示したものと一致しないが、簡単のため P は弾丸体の中心に、 Q はせん孔深の $\frac{1}{2}$ の位置に集中荷重として作用すると考える。

シャックおよびビームの関係位置は、トラクタのハンドル、ヒッチなどの位置により決まり、ビームの幅はトラクタのヒッチボックスの寸法に適合するよう 70mm とし、シャックの厚みは 8mm とした。

せん孔機のシャックの材料には機械構造用の炭素鋼(降伏点 $27\text{kg}/\text{mm}^2$)を、ビームの材料には一般構造用圧延鋼材(降伏点 $23\text{kg}/\text{mm}^2$, せん断強度 $14\text{kg}/\text{mm}^2$, せん断強度は降伏点の 60% とする)を用うとしてシャックの幅およびビームの厚さを計算した。

なお、せん孔速度は遅く ($0.30\text{m}/\text{s}$ 以下の予定) せん孔抵抗力の変化はゆるやかと思われるので、これを静荷重とみなす。一般に基準強さとしては、鋼材の降伏点をとり安全率は 2 にする。

模型実験の結果⁴⁾ から、直径 30mm の弾丸体(スカート, シャック無し)が地表下 15cm (コーン支持力 $6.2\text{kg}/\text{cm}^2$, 含水比 15%) のところ(一般稲刈跡のコーン支持力は $2 \sim 6\text{kg}/\text{cm}^2$) をせん孔するときの抵抗は約 80kg であるので、弾丸体直径、せん孔深の増加を考え、試作機の弾丸体先端部だけの抵抗を 100kg とみなす。さらにシャック, スカートなどの抵抗が同等程度あるものとする。全せん孔抵抗 (P) は 200kg となる。また、小型トラクタの進行方向修正その他のため、操縦者がハンドルを左右に振るため、横方向に加える力 (Q) を 20kg と仮定する。

(a) シャンクの幅

(イ) せん孔抵抗力 (P) によるシャンク幅の計算

安全率を2とすると $P=200\text{kg} \times 2 = 400\text{kg}$

シャンク幅 b_1 (mm) は第5図より, $l_1=520\text{mm}$, $P=400\text{kg}$, σ_a (材料の降伏点) $=27\text{kg/mm}^2$, t_1 (シャンクの厚さ) $=8\text{mm}$ であるので,

$$b_1 = \sqrt{\frac{6l_1P}{\sigma_a t_1}} = \sqrt{\frac{6 \times 520 \times 400}{27 \times 8}} \doteq 76\text{mm}$$

使用材料の都合でシャンク幅は75mmとした。

(ロ) ハンドルにかかる横方向力 (Q) によるシャンクに生ずる応力 (σ_1) の計算

安全率を2とすると $Q=20 \times 2 = 40\text{kg}$

第5図および前項の計算より, $l_2=420\text{mm}$, b_1 (シャンクの幅) $=75\text{mm}$, $t_1=8\text{mm}$ であるので,

$$\sigma_1 = \frac{6Ql_2}{b_1 t_1^2} = \frac{6 \times 40 \times 420}{75 \times 8^2} \doteq 21\text{kg/mm}^2$$

使用材料の降伏点以下にある。

(b) ビームの厚さ

(イ) P によるビーム厚さの計算

ビーム厚さは第5図より, $l_3=604\text{mm}$, $b_2=70\text{mm}$ であり, σ_b (材料の降伏点) $=23\text{kg/mm}^2$, $P=400\text{kg}$ であるので, ビーム厚さ t_2 は,

$$t_2 = \frac{6l_3P}{\sigma_b b_2^2} = \frac{6 \times 604 \times 400}{23 \times 70^2} \doteq 13\text{mm}$$

材料の都合でビームの厚さは14mmとした。

(ロ) Q によるビームの応力 (σ_2) の計算

第5図より, $l_4=510\text{mm}$, $b_2=70\text{mm}$ であり, $t_2=14\text{mm}$, $Q=40\text{kg}$ であるので,

$$\sigma_2 = \frac{6Ql_4}{b_2 t_2^2} = \frac{6 \times 40 \times 510}{70 \times 14^2} \doteq 9\text{kg/mm}^2$$

使用材料の降伏点以下にある。

(ハ) Q によるビームのねじり応力 (Z) の計算

第5図より $l_5=504\text{mm}$, $b_2=70\text{mm}$ であり, $Q=40\text{kg}$, $t_2=14\text{mm}$ であるので,

$$Z = \frac{Q l_5}{\left(\frac{1}{3 + 1.8 \frac{t_2}{b_2}} \right) b_2 t_2^2} = \frac{40 \times 504}{0.298 \times 70 \times 14^2} \doteq 5\text{kg/mm}^2$$

使用材料のせん断強度以下である。

なお, シャンクも材料の都合上, 一般構造用圧延鋼材を使用した。後述のは場実験において何等支障はなかった。

III. は場実験方法

(1) は場条件

供試は場は, 高知大学付属農場の水稲刈跡田である。は場の上層部 (深さ15cmぐらいまで) の

第1表 土 壤 の 物 理 性

含 水 比 (%)	25.2	粒 れ き	2.00 < mm	3.0
真 比 重	2.69	度 粗 砂	2.00 ~ 0.25	17.0
孔 隙 率 (%)	46.5	分 細 砂	0.25 ~ 0.05	38.0
塑 性 限 界 (%)	19.0	析 シ ル ト	0.05 ~ 0.005	19.4
液 性 限 界 (%)	23.5	(%) 粘 土	0.005 >	22.6
粘 着 力 (kg/cm ²)	0.04	土 壤 硬 度		地表下 5 cm
内 部 摩 擦 角	40°35'			10
		(kg/cm ²)		15
				2.33
				4.44
				6.52

土壌の物理性は第1表のようで、土性はU. S. P. R. A法の三角座標により分類すると砂質粘土ロームに属する。その下部(15~20cm)は礫の含有が多い土層をなし、さらにその下層は上層部と同様な土性を示している。

供試場所は2日前、25mmの降雨があったが、試験当日はほどよく乾いてコーン支持力(土壌硬度)も小さくはなかった。しかしながら部分的には、幾分湿って軟弱になっている部分もあったので、かような場所の使用はさけた。土壌含水比の平均は25.2%あった。

(2) 実 験 方 法

試作弾丸暗きょせん孔機はスズエ式L型トラクタ(二輪)に装着した。

性能試験はけん引力測定試験と自走試験の二つに分けて行なった。(昭和42年11月7日実施)

けん引力の測定試験は、せん孔機に装着した小型トラクタを中型乗用トラクタ(17PS)でけん引し、負荷時(せん孔時)のけん引抵抗より無負荷時のけん引抵抗(小型トラクタのみの走行抵抗)を差引き、せん孔機のみけん引抵抗を算出した。走行距離は15~20mとした。けん引力は両

第6図



トラクタの間にロードセル(容量500kg)を取り付け、自動平衡記録計で記録した。(第6図参照、写真はレンゲ刈跡における予備試験のもので、都合により小型トラクタはスズエ式LK₂型を用いている)

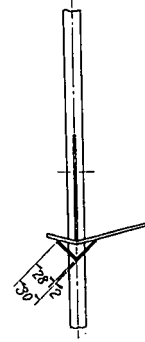
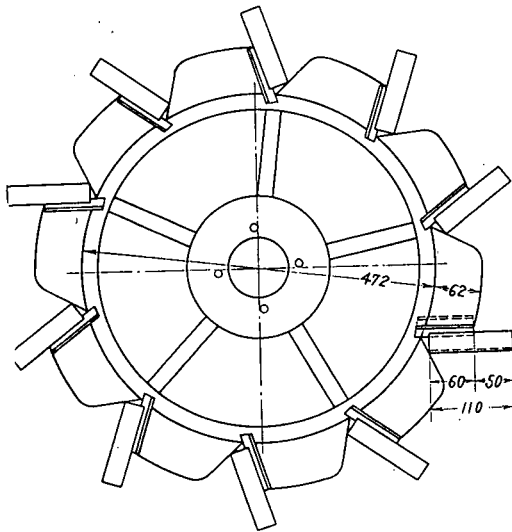
けん引力測定試験においては、弾丸体先端角の種類、せん孔深、けん引速度とけん引抵抗の関係を求めた。弾丸体先端角の種類は、30°、45°、60°とし、せん孔深は20cmを目標としたが、せん孔深10cm、15cmのときの抵抗もあわせて測定した。暗きょの深さはきょ孔底の深さをもってあらわすのが一般であるが、当実験では弾丸体の中心位置をもってせん孔深をあらわすことにした。

けん引車(中型乗用トラクタ)の走行速度は第2速、第3速、第4速の3種類とし、エンジンの回転数は常に一定を保つように心掛けた。なお、ほ場実験における車速はそれぞれ0.16、0.40、0.63m/sであった。

自走試験はせん孔機を装着してせん孔し、その実用性を検討するのが目的であり、弾丸体先端角と車輪のスリップ率、せん孔深と車輪のスリップ率の関係を調査した。

緒言でも述べたように、せん孔深は20cmを目標にしたので、深さ20cmのせん孔が出来れば一応

第7図



所期の目的は達したとして、それ以上の深さのせん孔は行なわなかった。

なお予備試験の結果、一般の水田用鉄車輪では、せん孔深 20cm の場合、スリップが多くてけん引作業が困難であったので、第7図、第8図のように車輪のスポークの延長線上に長さ 110mm のアングル鋼を熔接した。(アングル鋼は車輪の最外周線より 50mm 突出することになる)

第8図



IV. 実験結果および考察

(1) けん引抵抗と弾丸体先端角の関係

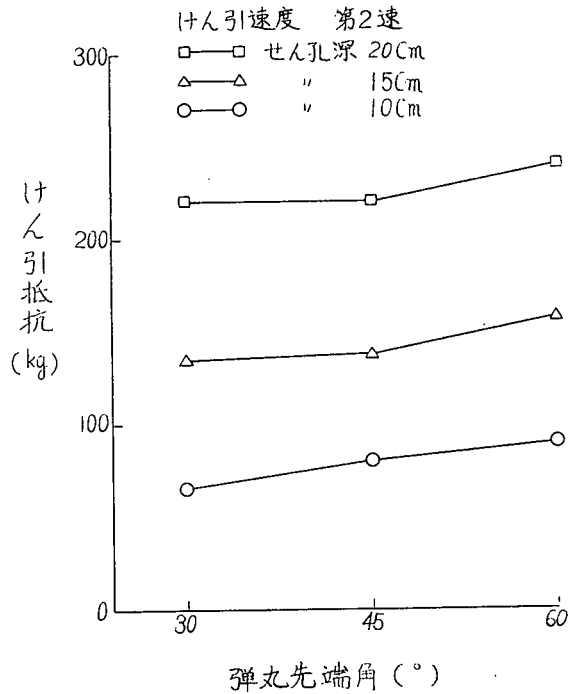
せん孔深 10, 15, 20cm, けん引速度第2速 (0.16m/s) の場合、弾丸体先端角を 30°, 45°, 60° に変えた場合のけん引抵抗を測定したが、その結果は第9図のようである。

せん孔深の増加とともに抵抗は増大しているが、最大のせん孔深 20cm の場合でも 220~240kg の抵抗であった。せん孔抵抗は先端角が大きくなると増大している傾向がある。

模倣実験の結果⁴⁾によれば、土壌硬度 (コーン支持力) が極度に大でなく (5~6 kg/cm² で一般水田の地表下 15~20cm のところの支持力に等しいとき) せん孔深が浅い場合、つまり弾丸体の直径の2倍の深さをせん孔する場合は、弾丸体の先端角が小さい方が抵抗が大きく、先端角が大きくなると抵抗は小さくなっている。弾丸体の直径の5倍以上の深さのせん孔になると、上記と反対に先端角の増大とともに抵抗も増加している。土壌硬度が大になると、直径の3倍の深さのせん孔でも先端角が大きい方が抵抗は大きくなっている。

これらの理由は、弾丸体の直径の2倍、3倍の深さのところをせん孔すると、土表面はき裂を生じて盛り上がり、せん孔抵抗は単に上部土圧に対する受圧面積、摩擦面積に比例するため、同一直径の場合は先端角が小さい方が、弾丸体先端部の表面積は大きく、抵抗が大きくなるものと思われる。

第9図 けん引抵抗と弾丸先端角の関係



しかるに、弾丸体の直径の5倍以上の深さになると土表面が盛り上がり、先端角が大きくなると弾丸体の先端に土くさびが生じ、この土くさびが弾丸体の先端部となってせん孔するため、先端角が大きい方が抵抗は増大することになる。土壌硬度が大となると、この傾向は助長される。

中型トラクタ用弾丸暗きょせん孔機の試作研究³⁾の場合も弾丸体の先端角が30°、45°、60°になるに従って、せん孔抵抗は減少している。この場合のせん孔深は30cmで、弾丸体の直径(8cm)

第10図



第11図



第12図



の約3.8倍であったが土表面は盛り上がった。このため弾丸体の先端角が大きい方が抵抗は減少したと思われる。

当実験の場合は、せん孔深が弾丸体の直径の2倍弱の場合(せん孔深10cm)でも先端角が大きい方が抵抗が大きく、これまでの実験結果と逆の傾向を示している。

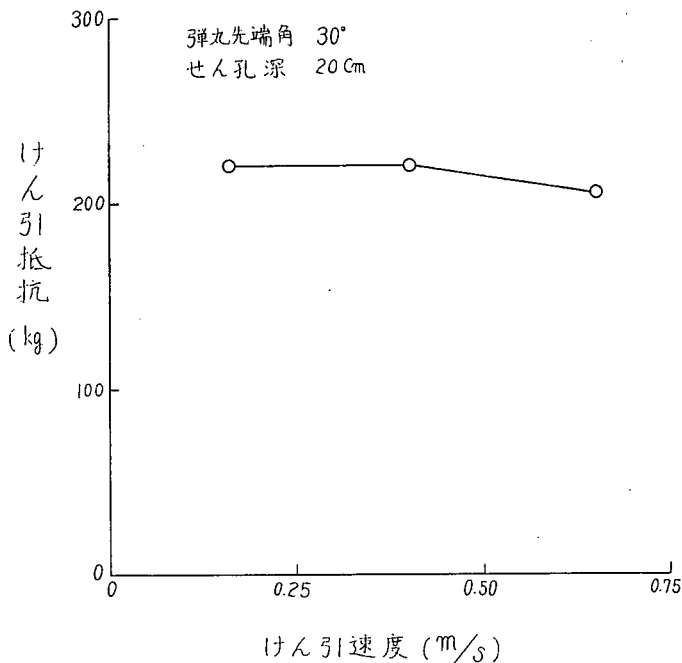
せん孔深10, 15, 20cmのきょ孔の状態を示すと第10, 11, 12図のようで、土層には受働土圧によるき裂は見られるが、せん孔深10cmの場合でも土表面の盛り上がりは見られなかった。このため弾丸体の先端角が大きい方が、抵抗が大きくなったと思われる。

土層のき裂や土表面の盛り上がりは、単にせん孔深のみに関係するものではなく、土性、含水比などとも関連が深く、模型実験⁵⁾によれば、ロームで含水比が25%以上になると(供試場の含水比は25.2%)弾丸体の直径の2倍の深さにせん孔しても土にき裂を生ぜず、土表面の盛り上がりはほとんどなくなる。砂質ロームの場合は20%の含水比でもき裂、土表面の盛り上がりはみられなくなる。

(2) けん引抵抗とけん引速度の関係

弾丸体先端角 30° 、せん孔深20cmのときのけん引速度を0.16m/s, 0.40m/s, 0.63m/sに変化させた場合のけん引抵抗の測定値は第13図のようである。

第13図 けん引抵抗とけん引速度の関係

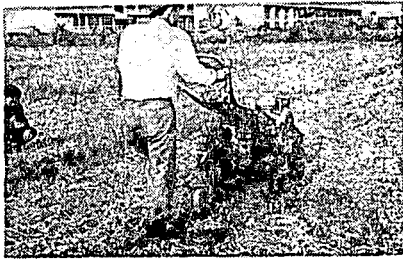


けん引速度が大になると、幾分けん引抵抗が減少するようであるが、この程度であればけん引抵抗に影響をおよぼさないとみてよいであろう。このことは、従来までの実験^{3), 6)}において0.4~0.5 m/s以上のけん引速度になると、けん引抵抗が増加する結果と相違する結果となっているが、けん引速度と抵抗の関係は今後さらに検討の余地があるように思われる。

当実験においては走行速度と走行抵抗の関係は測定しなかったが、中型トラクタ用弾丸暗きょせん孔機の試作試験³⁾の場合、0.25~0.75m/sの速度の範囲では、速度の変化による走行抵抗の差はみられなかった。

(3) 自走試験結果

第14図



小型トラクタに試作せん孔機を取り付け、その実用性を検討してみた。(第14図はスズエ式LK₂型による予備試験本実験は同L型で行なった)

自走試験の目的は、試作せん孔機を取り付けた小型トラクタにより、深さ20cmのせん孔が可能かどうかををみきわめるものであるため、せん孔深20cm時の弾丸体先端角の種類と車輪のスリップ率の関係を、さらにせん孔深を変えた場合の車輪のスリップ率を参考のため求めた。なお、自走試験の場合の走行速度は第1速(実測値

0.24~0.27m/s)とした。

車輪のスリップ率は次式で計算した。

$$S = \frac{L - L'}{L} \times 100$$

S : 車輪のスリップ率

L : 無負荷時の車輪2回転の進行距離

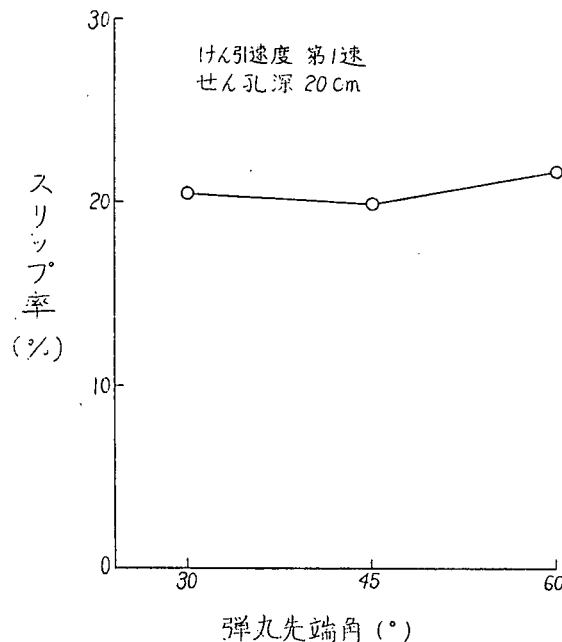
L' : 負荷時の車輪2回転の進行距離

せん孔深は20cmを目標にしたが、せん孔後実測した結果、先端角30°の弾丸体をつけてせん孔した場合は19~23cm、45°の場合18~20cm、60°の場合18~22cmであった。

土表面が軟かくなっているようなところでは、操縦者が幾分手で押してやる必要を生じたが、一般的に運転は良好であった。

自走時の車輪のスリップ率と弾丸体先端角の関係は第15図のようで、せん孔抵抗値と同じように先端角60°場合、スリップ率が大きいようであるが、各先端角ともスリップ率に大差がなく、20~22

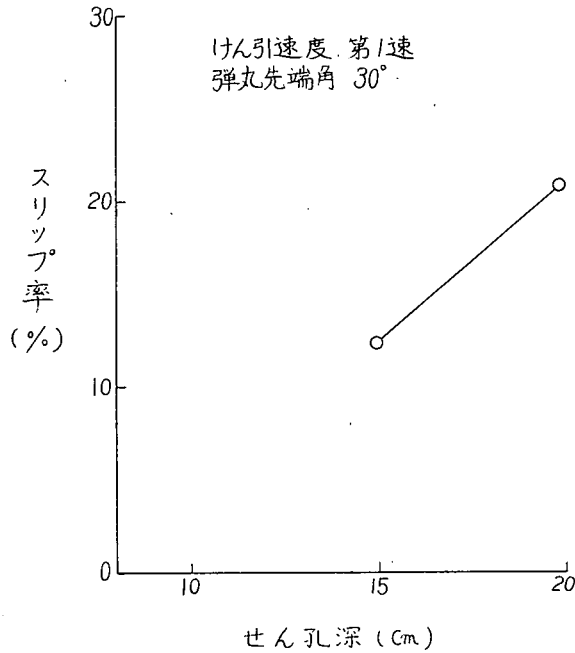
第15図 自走時におけるスリップ率と弾丸先端角の関係



％の範囲内におさまっていて、車輪型トラクタのけん引作業としては最も望ましい状態にある⁷⁾。さらにスリップ率の増大を許せば、25cm程度の深さのせん孔も可能と思われる。

せん孔深別による車輪のスリップ率の関係は第16図のようで、測定は15cmと20cmの二つのみであるが、せん孔深が浅くなると車輪のスリップは、かなり少くなり、運転性能も向上した。

第16図 自走時におけるスリップ率とせん孔深の関係



V. 摘 要

水田表層土およびビニールハウス内の排水不良、または、かん水過多による過剰の土壌水の排除を容易ならしめるため、ビニールハウス内で利用されている小型トラクタに装着しうる弾丸暗きょせん孔機を試作した。

試作機の概要および性能試験結果は次のようである。

(1) 試作せん孔機の全長708.5mm、全幅157mm(後部ローラ部分の幅)、全高770mm(シャンク長+弾丸体の直径)、全重18.3kg、弾丸体の直径は35mmである。

せん孔深の調節はシャンクの取り付け位置と後部ローラの高さを変えることによってなされ、最大37cmまで、せん孔可能である。

弾丸体の先端部は先端角が30°、45°、60°のものに取り替えるようになっている。

(2) せん孔抵抗はせん孔深10cmの場合、60~90kg、15cmの場合140~160kg、20cmの場合220~240kgであった。

弾丸体の先端角が大きいほど、せん孔抵抗は大きい傾向がある。

(3) せん孔速度が0.16~0.63m/sの範囲内では、速度はせん孔抵抗に影響をあたえない。

(4) 自走試験の結果、小型トラクタにより、深さ20cm(きょ孔径3.5cm)のせん孔が十分行なえることが判明した。

(5) 深さ20cmせん孔時の小型トラクタの車輪のスリップ率は20~22%で良好な結果を収めた。

なお、弾丸体の先端角の大小は、車輪のスリップ率にあまり影響をおよぼさないようである。

参 考 文 献

- 1) 小村定衛・上野良一：地下水位の高低が玉葱の生育収量に及ぼす影響について，四国農業研究，第22号，昭36.
- 2) 小嶋和雄：トラクタ用地下セン孔機に関する実験的研究，高知大学農学部紀要，第18号，昭42.
- 3) 小嶋和雄・村田敏・土居栄城・篠崎浩之：中型トラクタ用弾丸暗きょせん孔機の試作研究，高知大学学術研究報告，第15巻，自然科学Ⅱ，第10号，昭41.
- 4) 小嶋和雄：弾丸暗きょせん孔機の弾丸体の先端角に関する研究，高知大学学術研究報告，第16巻，自然科学Ⅱ，第1号，昭42.
- 5) 小嶋和雄・下村功：弾丸暗きょせん孔機に関する研究（第4報）農機誌，第27巻，第3号，昭40.
- 6) 守島正太郎・松尾昌樹・小嶋和雄・池見隆男：地下せん孔体に関する研究（第2報），農機誌，第26巻，第3号，昭39.
- 7) 庄司英信：農業機械学概論，昭39，養賢堂，P. 85.

Summary

In order to ease drainage of excess water in surface soils of vinylhouses or rice fields, a mole drainer for hand tractor was manufactured for trial.

The outline and the results of performance test of the trial mole drainer are as follows.

(1) Total length is 708.5 mm, total width 157 mm (roller width), total height 770 mm (shank length+ball diameter), weight 18.3 kg and ball diameter 35 mm.

Adjustment of the piercing depth is made by changing the height of the position fitting shank and roller, and piercing is possible to 37cm depth in maximum.

The tip of ball is exchangeable with the three tip angles (30°, 45° and 60°).

(2) The piercing resistance was 60~90kg in 10cm depth, 140~160kg in 15cm and 220~240kg in 20cm, and increased a little with increase of the tip angle.

(3) There was no effect of the piercing speed, at the range of 0.16~0.63m/s, on the piercing resistance.

(4) In the self-runtest, it was found that piercing in 20cm depth (3.5cm culvert diameter) was possible enough by a hand tractor.

(5) The good result was obtained that the travel reduction of the hand tractor was 20~22% in piercing depth 20cm. And it seems that tip angle of the ball would little effect on the travel reduction of the tractor wheels.

(昭和43年6月11日受理)