

# 弾丸暗きょせん孔機のスカートの抵抗について

小 嶋 和 雄

(農学部農業機械学研究室)

## The Resistance of Skirt of the Mole Drainer

Kazuo KOJIMA

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture)

The piercing resistance and the resistance of the skirt that exert influence upon the piercing resistance when the mole drainer pierces under ground, was measured by making use of the model drainer.

The model drainer pierced the soil perpendicularly and it assumed that the forces of the downward and upward action on the mole drainer are equal in the case of the horizontal piercing.

The results are as follows:

(1) The resistance of the skirt was small as a whole. The ratio of the resistance of the skirt to the whole resistance decreased with the increase in the ball diameter of the piercers and it was 5~7 % in the case of 5 cm diameter of the ball.

(2) The piercing resistance and the resistance of the skirt increased with the increase in the hardness of the soil, but the ratio of the increase of the skirt resistance was very small.

(3) There was the next relation between the diameter of the ball, the length of the skirt and the piercing resistance.

$$P = a \log L + b = 10^{\alpha} D^{\beta} \log L + 10^{\gamma} D^{\delta}$$

where  $P$ : the piercing resistance (kg),  $L$ : the length of skirt (cm),  $D$ : the diameter of the ball (cm),  $a, b, \alpha, \beta, \gamma, \delta$ : the constants

(4) There was the next linear relation between the resistance of the skirt and the area of the skirt.

$$P' = a A + b$$

where  $P'$ : the resistance of the skirt (kg),  $A$ : the area of the skirt (cm<sup>2</sup>),  $a, b$ : the constants

## I. 結 言

弾丸暗きょせん孔機のせん孔抵抗については、森ら<sup>1)</sup> や庄司ら<sup>2)</sup> による実用機についての貴重な研究があり、模型実験としては守島ら<sup>3) 4)</sup> および著者<sup>5)</sup> が2~3の実験を行なった。

弾丸暗きょせん孔機の抵抗体は、弾丸体、シャンク、後随円すい体(または球体)に三大別される。抵抗の主力は弾丸体であり、その形状が抵抗力の大小を左右することは容易に考えられる。弾丸体の先端角、直径に関連する成績は上記各研究に多くみられるが、スカートの長さの大小と抵抗力の関係の成績は数少なく明らかな傾向を見出してない。

スカートの長さは機体の強度、安定性、きょ孔の成形、強度にも関連するものであるが、ここではスカート長、弾丸体の直径の大小とせん孔抵抗の関係を主体に実験を行なった。

## II. 予 備 実 験

### (1) 実験方法

内容積 140mm×450mm×245mm (長さ×幅×高さ) の鉄製箱の中に供試土を入れ、万能試験機で2分間圧縮し、この鉄製箱の相対する最長側面の側板の中央部の一部分を取り外し、模型弾丸体を通させた。模型弾丸体は押し込み式土壌硬度計(関東東山農試式)に取り付け、土壌硬度計にはクロスゲージを貼付したピックアップを取り付け、歪計、ペン書きオツシログラフによりせん孔抵抗力を測定記録した。Photo. 1 に実験装置を示す。

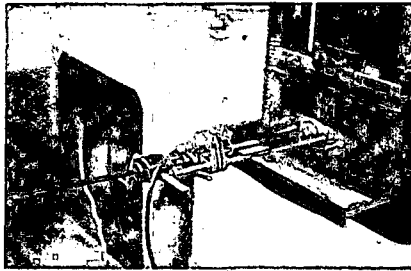


Photo. 1 Experimental apparatus

供試土の圧縮圧力は 1, 3, 5 kg/cm<sup>2</sup> の 3 種とし弾丸体のせん孔深は弾丸体の直径 (20 mm) の 2, 3, 5 倍のところすなわち 40, 60, 100mm とした。

楕型弾丸体は直径 20mm, 先端角度 45°, スカート長は 0, 20, 40mm の 3 種類を用いた。楕型弾丸体の材質は軟鋼で、旋盤普通仕上げしたのち No. 10 のサンドペーパーで研磨した。

供試土は風乾後 2.00mm 目のふるいを通過した砂質ロームで、含水比は 15±0.5% とした。1, 3 kg/cm<sup>2</sup> の各圧力で圧縮したときの土壌硬度をコーンペネト

ロメータ (丸東製作所 S44-731 型) で測定した結果は、深さ 50~150mm で 1 kg/cm<sup>2</sup> の場合コーン支持力は 6.0~6.6 kg/cm<sup>2</sup>, 3 kg/cm<sup>2</sup> の場合 8.5 kg/cm<sup>2</sup> であった。(5 kg/cm<sup>2</sup> の場合は測定不能であった) 一般の水田のコーン支持力とくらべると、1 kg/cm<sup>2</sup> の場合は類似しているが、3 kg/cm<sup>2</sup> 以上の圧力で圧縮した場合はかなり硬い土であるといえる。なお供試土の内部摩擦角は 41°, 粘着力は 0.25 kg/cm<sup>2</sup> であった。

(2) 実験結果および考察

土の圧縮圧力が 1, 3, 5 kg/cm<sup>2</sup> の場合の弾丸体のスカート長とせん孔抵抗力の関係を示すと Fig. 1, 2, 3 のようである。

スカート長が長いほどせん孔抵抗力は増加し、土が硬い場合はその傾向が強くなる。しかしながらせん孔深 40, 60 mm つまり弾丸体の直径の 2 倍, 3 倍の深さのせん孔の場合は、スカートの影響がさほど明らかでない。この理由は弾丸体の直径の 2 倍, 3 倍の深さをせん孔するときは、弾丸

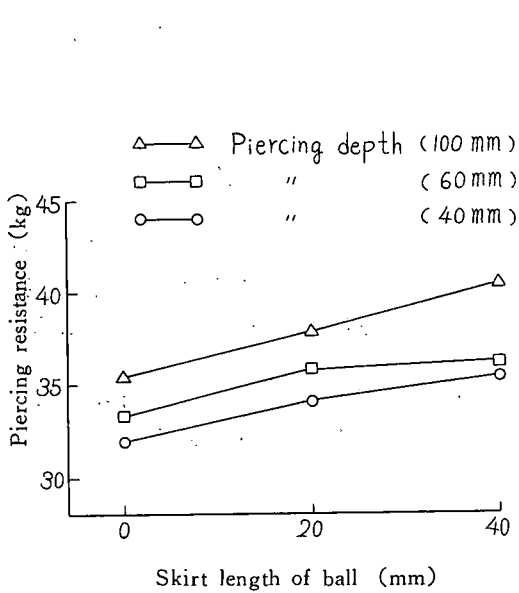


Fig. 1 Relation between skirt length and piercing resistance under the soil condition of 1 kg/cm<sup>2</sup> compressed pressure

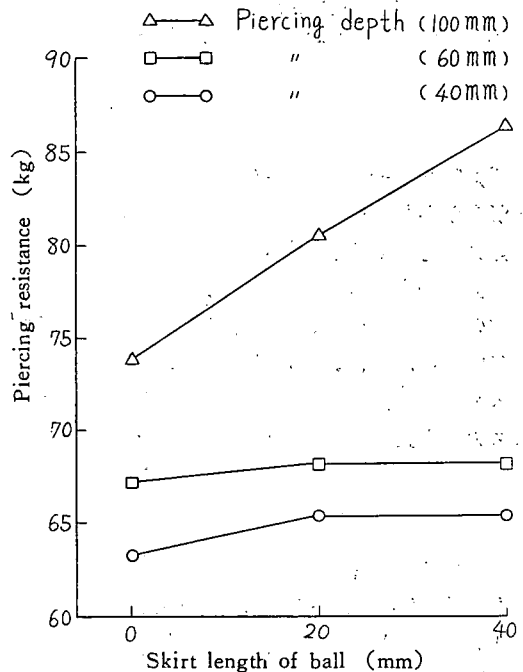


Fig. 2 Relation between skirt length and piercing resistance under the soil condition of 3 kg/cm<sup>2</sup> compressed pressure

体の上層の土にき裂が生じ、土表面は盛り上がり破砕されるため土圧が減少し、摩擦抵抗の増加の割合があまり大きくならないためと思われる。

弾丸体の直径の5倍の深さ(100 mm)のところをせん孔する場合は、せん孔抵抗はスカート長に一次的に上昇している。

以上よりして弾丸体のスカートの影響を知るためには、上層土が盛り上がらないような深さのところをせん孔する必要がある。

### III. 実験方法

予備実験の結果から普通の水平せん孔を行なってスカートの抵抗力を知るには、弾丸体の直径の5倍以上の深さのところをせん孔しなくてはならず、弾丸体の直径が大きければそれだけ大きな実験装置を必要とするので、簡単のため次のような方法を採用した。

土槽に土を入れて圧縮し、杭状の弾丸体を万能試験機により垂直に押し込み、貫入深さをもってスカート長とし、そのときの荷重を読んでせん孔抵抗力とする。このように垂直方向にせん孔する場合は、水平せん孔時弾丸体にかかる上方よりの土圧によって生ずる抵抗力が無視されることになるが、水平せん孔の場合上下方向の土圧が等しく、しかも土表面が盛り上がらない場合を想定すれば上記の方法でも十分スカートの特性を知ることができるとと思われる。また垂直方向にせん孔する場合は深さとともに土圧が増し、スカートの抵抗が余分に増加すると思われるが、後述するようにせん孔深は最大12 cmであるので上記の土圧は無視し得るとと思われる。

当実験に使用した模型弾丸体は Photo. 2 のように軟鋼製で旋盤仕上げののち No. 10 のサンドペーパーで研磨したもので、先端角は45°、直径(D)は20, 30, 40, 50 mmの4種とし、スカートの抵抗力を知るため各直径ごとにスカートの有るものと無いものを作りこれらを一組とした。

弾丸体を土中に貫入するに当っては、弾丸体の先端部円すい形の底部より0, 2, 4, 6, 8, 10, 12cmと2 cmごとに刻印して貫入深(スカート長に等しい)を測定できるようにした。なお図表などで弾丸体の先端を表わす場合は E と書くことにする。弾丸体の貫入速度は実測または万能試験機の自記記録から約0.6~0.9 cm/sであった。

土槽は内容積 300 mm×300 mm×376 mm(縦×横×高さ)の鉄製枠に杉板を内張りしたもので、供試土を入れた上に鉄製載荷板を乗せ、0.5, 1.0, 1.5 kg/cm<sup>2</sup>の各圧縮圧力をかけ2分間締め固めた。供試土の締め固めに当っては、槽内の土の深さが常に等しくなるように軽く締め固めながら

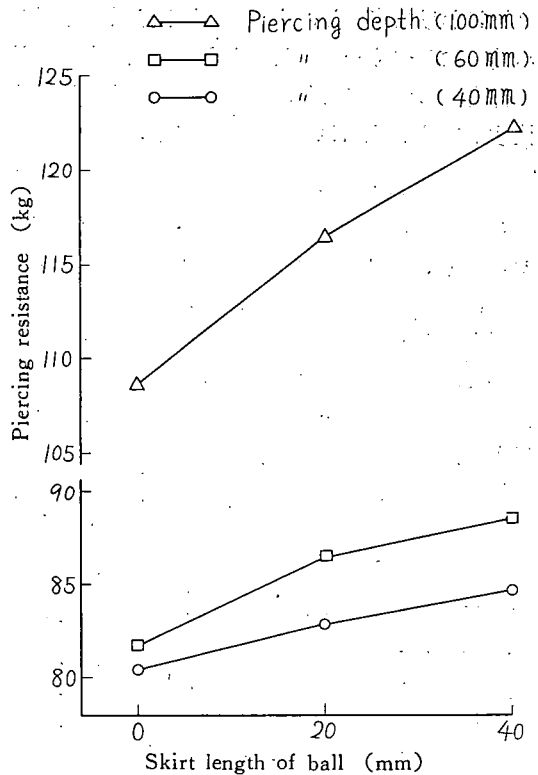


Fig. 3 Relation between skirt length and piercing resistance under the soil condition of 5 kg/cm<sup>2</sup> compressed pressure

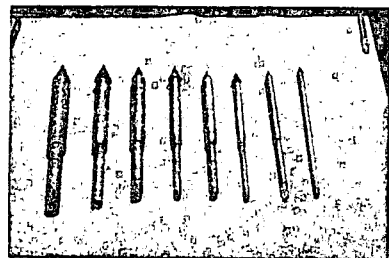


Photo. 2 Model piercers

3回にかけて充填し、土の境界面はよくかき乱して断層が生じないように注意した。また締め固め状態もなるべく一樣になるように万能試験機の油圧ゲージは常に一定にした。

弾丸体の貫入にとまないその周辺の土を圧縮するが、その圧縮影響圏は Bierbaumer の摩擦杭に関する式<sup>6)</sup>によれば次のようにあらわされる。

$$R = 0.54\sqrt{Dl}$$

ここに  $R$ : 圧縮影響圏 (cm),  $D$ : 杭の直径 (cm),  $l$ : 杭の長さ (cm), 当実験では最大値が  $D=5$  cm,  $l=18$  cm であるので  $R=5.12$  cm となり、土槽の大きさより考えて水平方向の圧縮影響圏は全く考慮する必要はない。

弾丸体の前進方向の圧縮影響圏は著者ら<sup>7)</sup>の研究によると、弾丸体先端部円すい形の底辺より直径の3.5~4倍の距離までである。弾丸体の直径を5cmとすれば最大の圧縮影響圏は20cmとなる。土槽の深さは約37cmあるので、12cm(スカート長)貫入しても27cmの余裕があり、土の圧縮による深さの短縮を見込んでも十分安全側にある。

供試土は砂質ロームでその物理的特性は Tab. 1 のようである。実験中の含水比は  $15 \pm 0.5\%$  をたもった。

Tab. 1 Physical property of soil

Maximum water holding capacity (%)	43.1	
Liquid limit (%)	27.5	
Plastic limit (%)	21.3	
True specific gravity	2.65	
Grading	Gravel > 2.00 mm	0
	Sand 2.00~0.05 mm	55.7
	Silt 0.05~0.005mm	25.5
	Clay < 0.005mm	18.8

Tab. 2 Cone bearing capacity (kg/cm<sup>2</sup>)

Depth (cm)	Compressed pressure (kg/cm <sup>2</sup> )		
	0.5	1.0	1.5
5	5.10	6.30	7.05
10	6.43	7.20	8.23
15	6.90	7.93	—

Tab. 3 Porosity and degree of saturation

Compressed pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Porosity (%)	Degree of saturation (%)
0.5	45.0	47.9
1.0	43.0	52.4
1.5	39.3	61.2

供試土を0.5, 1.0, 1.5 kg/cm<sup>2</sup> で圧縮したとき、その硬さを知るためコーンペネトロメータ(丸東式 S44-731型)でコーン支持力を測定した。その結果は Tab. 2 のようである。参考のため11月に農学部附属農場の水田(砂質粘土ローム)のコーン支持力を測定したが、深さ5cmで2.5~4.0 kg/cm<sup>2</sup>, 10cmで5.0~7.0であった。これによると0.5~1.0 kg/cm<sup>2</sup>の圧縮圧力で締め固めた場合は、一般は場によく似た硬さといえよう。

Tab. 3 は供試土の間隙率、飽和度を示す。供試土(含水比15%)の内部摩擦係数、粘着力はそれぞれ0.800, 0.125 kg/cm<sup>2</sup>であった。金属面との摩擦係数は0.375であった。金属面と供試土の摩擦係数の測定は、一面せん断試験機の下 of せん断箱に鉄板(軟鋼, 表面仕上 S-20)をはめ込み、上のせん断箱には普通のせん断試験と同じように供試土を入れて測定した。

#### IV. 実験結果および考察

(1) 土の圧縮圧力0.5 kg/cm<sup>2</sup>の場合弾丸体のせん孔深さ(スカート長)とせん孔抵抗の関係をスカートの有無について測定した結果は Fig. 4 のようである。

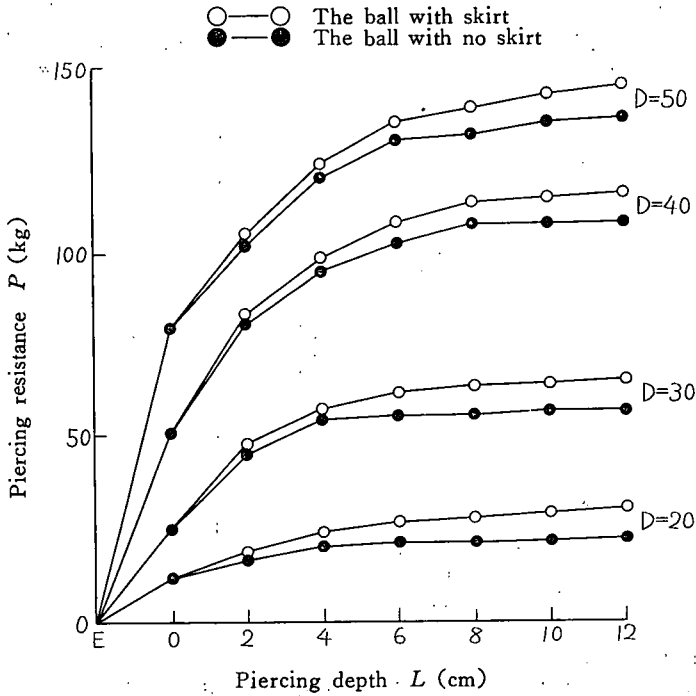


Fig. 4 Relation between piercing depth and resistance under the soil condition of  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  compressed pressure

スカートの有無にかかわらず、せん孔深が浅いときはせん孔深の増大による抵抗力の上昇度は早いですが、ある程度以上せん孔するとせん孔深さが増大しても抵抗力は左程増大せず一定値に近づく。これを片対数方眼紙上に描くと Fig. 5 のようになる。Fig. 5 よりせん孔抵抗 ( $P \text{ kg}$ ) とせん孔深 ( $L \text{ cm}$ ) の関係を示すと次式のようなになる。

$$P = a \log L + b \quad (1)$$

ただし  $a, b$  の値を弾丸体の直径 ( $D \text{ mm}$ ) の関数として示すと Fig. 6 のようである。これによると  $D$  と  $a, b$  の間には直線関係が存在するので、 $a, b$  は  $D$  の関数として次のように表わしうる。

$$\log a = \beta \log D + \alpha \quad (2)$$

$$\log b = \delta \log D + \gamma \quad (3)$$

式 (2), (3) を式 (1) に代入すると次のようになる。

$$P = a \log L + b = 10^{\alpha} D^{\beta} \log L + 10^{\gamma} D^{\delta} \quad (4)$$

Fig. 6 より平均法で計算するとスカートのある弾丸体の場合、 $a = 10^{-0.04} D^{1.01}$ ,  $b = 10^{-1.63} D^{2.15}$ , スカートのない弾丸体の場合、 $a = 10^{-0.51} D^{1.23}$ ,  $b = 10^{-1.87} D^{2.31}$ , であるからそれぞれ次のようになる。

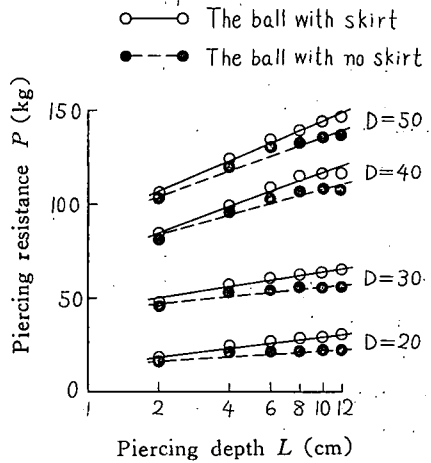


Fig. 5 Relation between piercing depth and resistance ( $1 \text{ kg/cm}^2$ )

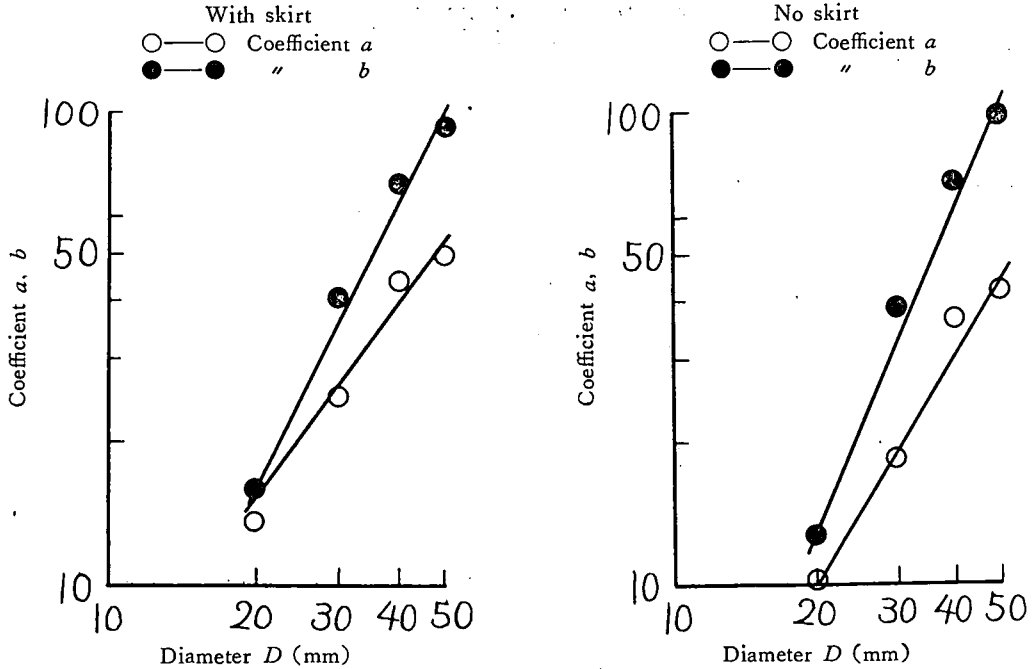


Fig. 6 Relation between diameter of ball and coefficient a, b

$$P = 10^{-0.04} D^{1.01} \log L + 10^{-1.63} D^{2.15} \tag{5}$$

$$P = 10^{-0.51} D^{1.23} \log L + 10^{-1.87} D^{2.31} \tag{6}$$

これより種々の  $D$ ,  $L$  に対する  $P$  の値の推定が可能となる。 $L$ ,  $D$  の値はそれぞれ 2~12 cm, 2~5 cm の範囲が適用でき、水平せん孔の場合を考えると  $L$  はスカート長とみてよく、大約の  $P$  の値を知る程度であれば  $L$ ,  $D$  とも多少過大な値を用いてもよいであろう。

スカートの無い場合、つまり式 (6) において  $L$  はせん孔深であるが、水平せん孔の場合はせん孔長と考えるべきであり、せん孔抵抗はせん孔長とともに上昇はしないので Fig. 4 より適用数値は 6~12 cm、つまり  $P$  の値が一定値を示すようになるときのせん孔長を用いるとよいと思う。簡単に考えると 12 cm に限定してもよいと思う。

以上のことは後述する (9), (10), (11), (12) 式についてもいえる。

この実験が目的とするところのせん孔抵抗におよぼすスカートの影響は、各直径の弾丸体ともあまり大きくない。(Fig. 4, Fig. 5 参照) しかしながらせん孔深 ( $L$ ) の増加につれてスカートの有無によるせん孔抵抗の差が大きくなっていることから、スカートの長短の影響を認めることができる。

いまスカートの長短による弾丸体のせん孔抵抗の差を  $P'$  (kg) とすると、これを縦軸にスカートの表面積 ( $A \text{ cm}^2$ ) を横軸にしてグラフを描くと Fig. 7 のようになる。Fig. 7 より  $A$  と  $P'$  の間には直線関係が存在するので、次式が成り立つ。

$$P' = a A + b \tag{7}$$

弾丸体の直径  $D$  に対する係数  $a$ ,  $b$  を表示すれば Tab. 4 のようになる。 $a$  は弾丸体の直径が大になれば減少するが  $b$  は一定の傾向を示してない。以上を簡単にすれば次式のようなになる。

$$P' = 0.05 \sim 0.08 A + 0.8 \sim 0.9 \tag{8}$$

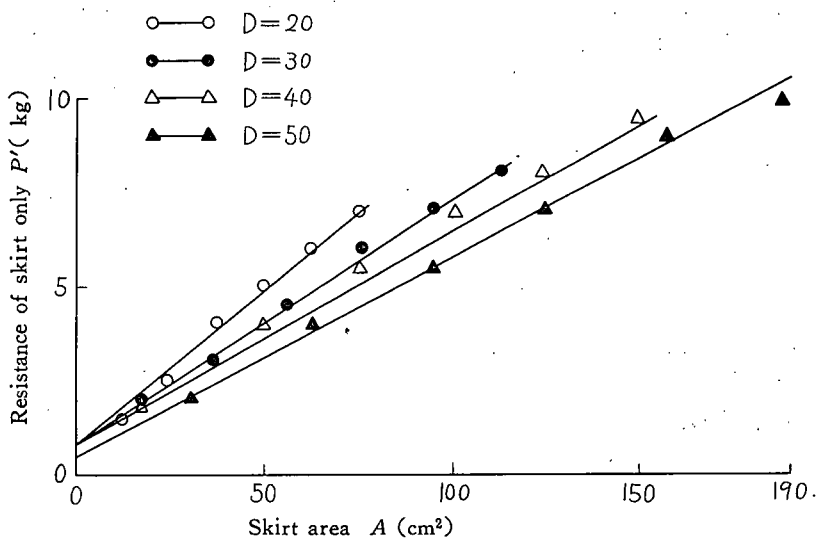


Fig. 7 Relation between skirt area and resistance of skirt only

式 (8) において、弾丸体の直径が大きい方が  $A$  の係数は小さい値をとるので、同じスカーットの表面積の場合でも弾丸体の直径の小さいものは大きいものにくらべ、スカーットがせん孔抵抗におよぼす影響は大きいといえる。

式 (7) において  $b$  項は本来零となるべ

Tab. 4 Relation between diameter ( $D$ ) and coefficient  $a, b$

$D$ (mm)	$a$	$b$
20	0.079	0.836
30	0.063	0.940
40	0.059	0.836
50	0.048	0.840

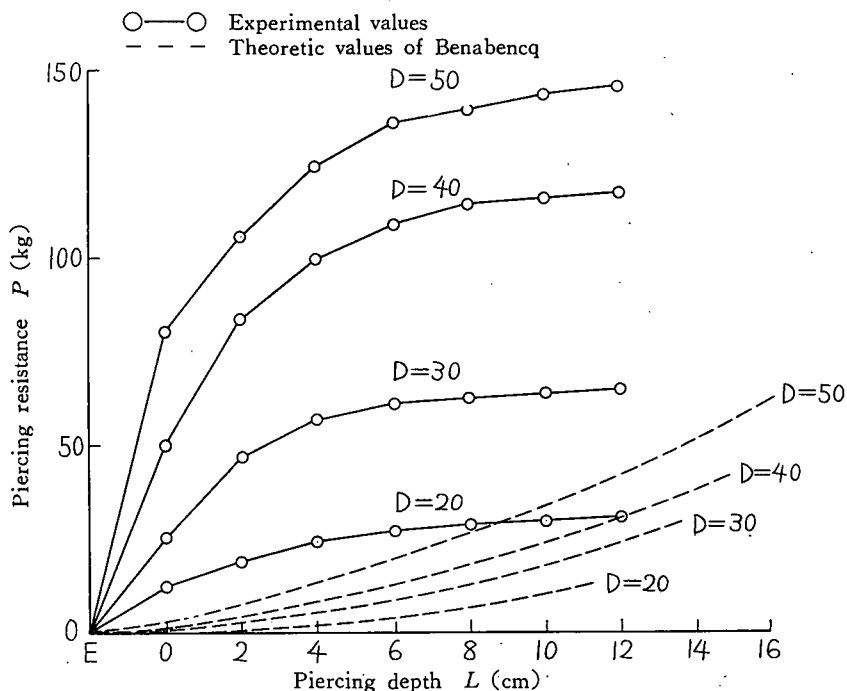


Fig. 8 Comparison of experimental values and theoretic values

きであるが、わずかではあるが抵抗の差が生じ、 $A$  が零となっても  $P'$  は零にならない。これはスカート有する弾丸体とスカート有しない弾丸体の先端の円すい部分の型が完全に等しくないためと、実験ごとに土の条件を完全に等しい状態におくことができなかったためである。

当実験法における弾丸体の貫入抵抗が、摩擦杭の支持力公式を利用して計算できるか否かをしらべてみた。Fig. 8 は Benabencq<sup>8)</sup> の杭の支持力の静的公式に各値を代入したグラフと、スカートを有する弾丸体の抵抗値のグラフを示している。図にみられるように、両者は互に全く別の傾向を示して、せん孔深に対する抵抗の値も大幅に異なっていて、弾丸体のせん孔抵抗は Benabencq の式を利用して求めることはできない。杭の支持力に関する Dorr の式<sup>9)</sup> も計算の結果利用できないことが判明した。

(2) 土の圧縮圧力  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  の場合

$0.5 \text{ kg/cm}^2$  の場合と同様弾丸体のせん孔深さ(スカート長)とせん孔抵抗の関係を、スカートの有無について測定した結果は Fig. 9 のようである。土の圧縮圧力の増加のためせん孔抵抗の絶

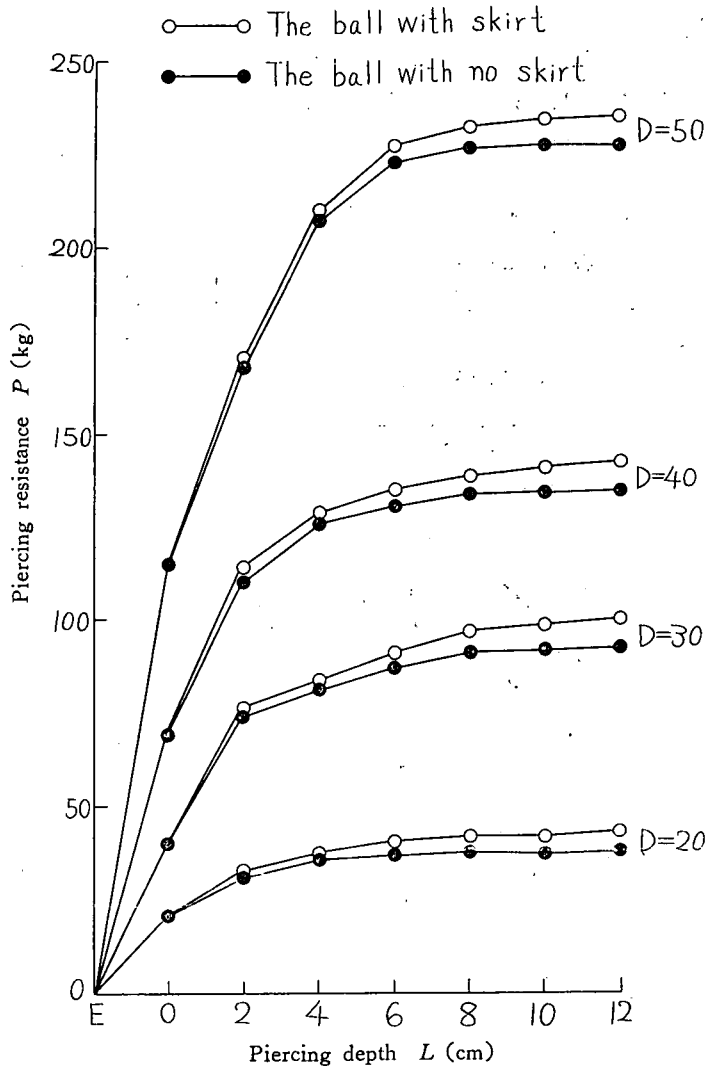


Fig. 9 Relation between piercing depth and resistance under the soil condition of  $1 \text{ kg/cm}^2$  compressed pressure



対値は  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  の場合より増加しているが、総体的傾向は似ている。

Fig. 9 を片対数方眼紙に描けば Fig. 10 のようになる。せん孔深さ ( $L \text{ cm}$ ) とせん孔抵抗 ( $P \text{ kg}$ ) の間には直線関係が存在するから、式 (1) と同じように  $P = a \log L + b$  で表わせられる。 $a$ ,  $b$  の値を弾丸体の直径 ( $D \text{ mm}$ ) の関数として示せば、Fig. 11 のように (4) 式と同じように次式であらわされる。

$$P = a \log L + b = 10^a D^b \log L + 10^c D^d$$

Fig. 11 より、スカートのある弾丸体の場合は、 $a = 10^{-1.73} D^{2.17}$ ,  $b = 10^{-1.54} D^{2.00}$ 、スカートのない弾丸体の場合は、 $a = 10^{-1.97} D^{2.27}$ ,  $b = 10^{-1.50} D^{2.20}$  であるからそれぞれ次のようになる。

$$P = 10^{-1.73} D^{2.17} \log L + 10^{-1.54} D^{2.00} \tag{9}$$

$$P = 10^{-1.97} D^{2.27} \log L + 10^{-1.50} D^{2.20} \tag{10}$$

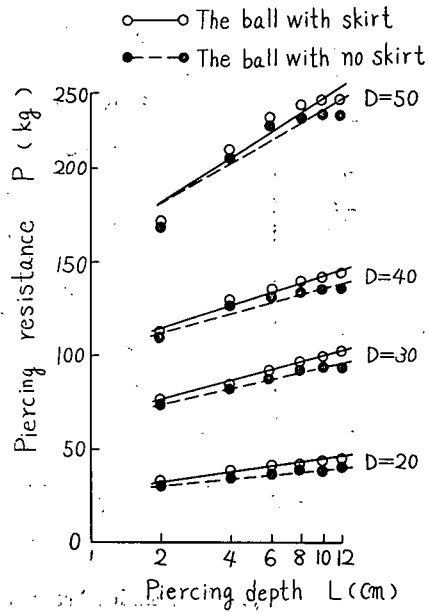


Fig. 10 Relation between piercing depth and resistance ( $1 \text{ kg/cm}^2$ )

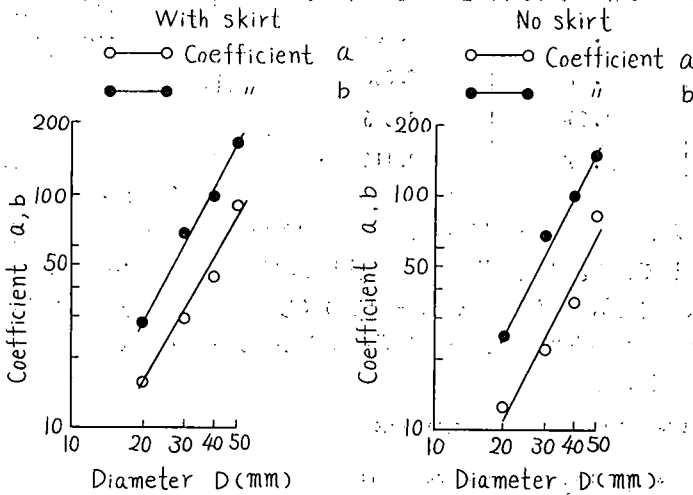


Fig. 11 Relation between diameter of ball and coefficient  $a$ ,  $b$

スカートのみ抵抗値 ( $P' \text{ kg}$ ) も前項の場合と同じように、スカートを有する弾丸体のせん孔抵抗値からスカートがない弾丸体のせん孔抵抗値を差引けば求まる。これとスカートの面積との関係を求めると Fig. 12 のようになる。これによると両者の関係は一次式で表わされる。

つまり  $P' = aA + b$ , 係数  $a$ ,  $b$  を表で示せば Tab. 5 のようである。 $a$  の値は  $0.05 \sim 0.09$  の間にあるようで、土の圧縮圧力  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  の場合より多少大きい値となっている。さらに弾丸体の直径が大きくなると  $a$  の値は減少していて、前項の場合と同じように同じスカート面積であれば、

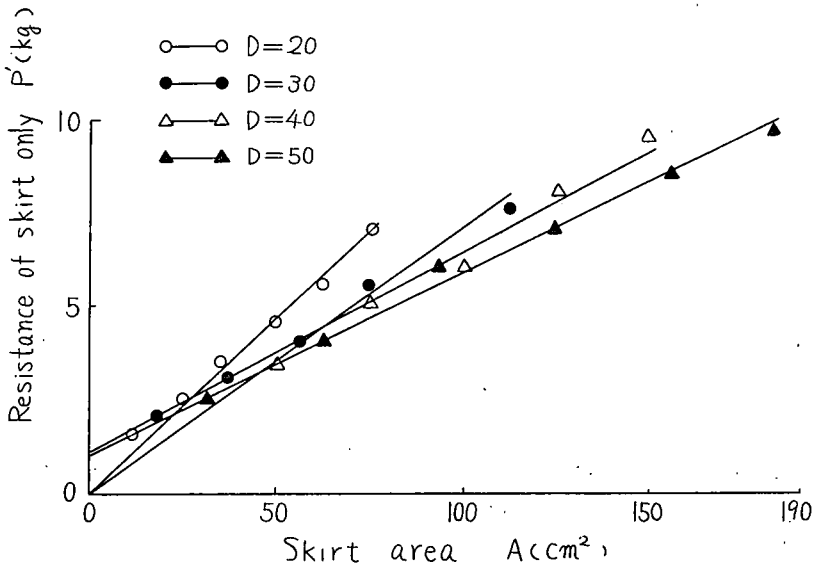


Fig. 12 Relation between skirt area and resistance of skirt only

Tab. 5 Relation between diameter (D) and coefficient a, b

D (mm)	a	b
20	0.092	0.000
30	0.070	0.000
40	0.064	1.666
50	0.047	1.116

直径大なる弾丸体が有利であるといえる。また b は理論的には零となるべきである。

当項も杭の支持力公式は弾丸体のせん孔抵抗値の推測に利用できないことが判明した。

(3) 土の圧縮圧力 1.5 kg/cm<sup>2</sup> の場合土の圧縮圧力が、0.5 kg/cm<sup>2</sup>, 1.0 kg/cm<sup>2</sup> の場合と同様、弾丸体のせん孔

深(スカート長)とせん孔抵抗の関係を示せば Fig. 13 のようで、傾向は前二者と同じであるが抵抗値はかなり上昇している。上図を片対数方眼紙上に書きなおすと Fig. 14 のようになる。これより弾丸体の直径(D mm), せん孔深(スカート長)(L cm)を関数としてせん孔抵抗(P kg)を求める式を作れば、スカートのある弾丸体の場合およびスカートのない弾丸体の場合の式はそれぞれ (1), (2) 式のようなになる。

$$P = 10^{1.06} D^{0.42} \log L + 10^{-1.20} D^{2.05} \tag{11}$$

$$P = 10^{0.92} D^{0.42} \log L + 10^{-1.34} D^{2.14} \tag{12}$$

ただし (1), (2) 式とも log L の係数は直線性が得られなかったが、一応計算したものであって参考値にとどめておく。

スカートの面積の大小とスカートのみの抵抗値の関係を示すと Fig. 15 のようで、各弾丸体とも一次式  $P' = aA + b$  で表されうる。係数 a, b を表示すれば Tab. 6 のようである。

係数 a は D の増加につれて減少しているのので、前項、前々項と同様にスカートの面積が同じならば、弾丸体の直径は大きい方が有利であることを示している。

スカートの抵抗について上記 (1), (2), (3) 項の結果を総合して考察するに、スカートの抵抗は土の硬さ、スカートの面積の増加とともに大きくなっている。また同一スカート面積の場合は、弾丸

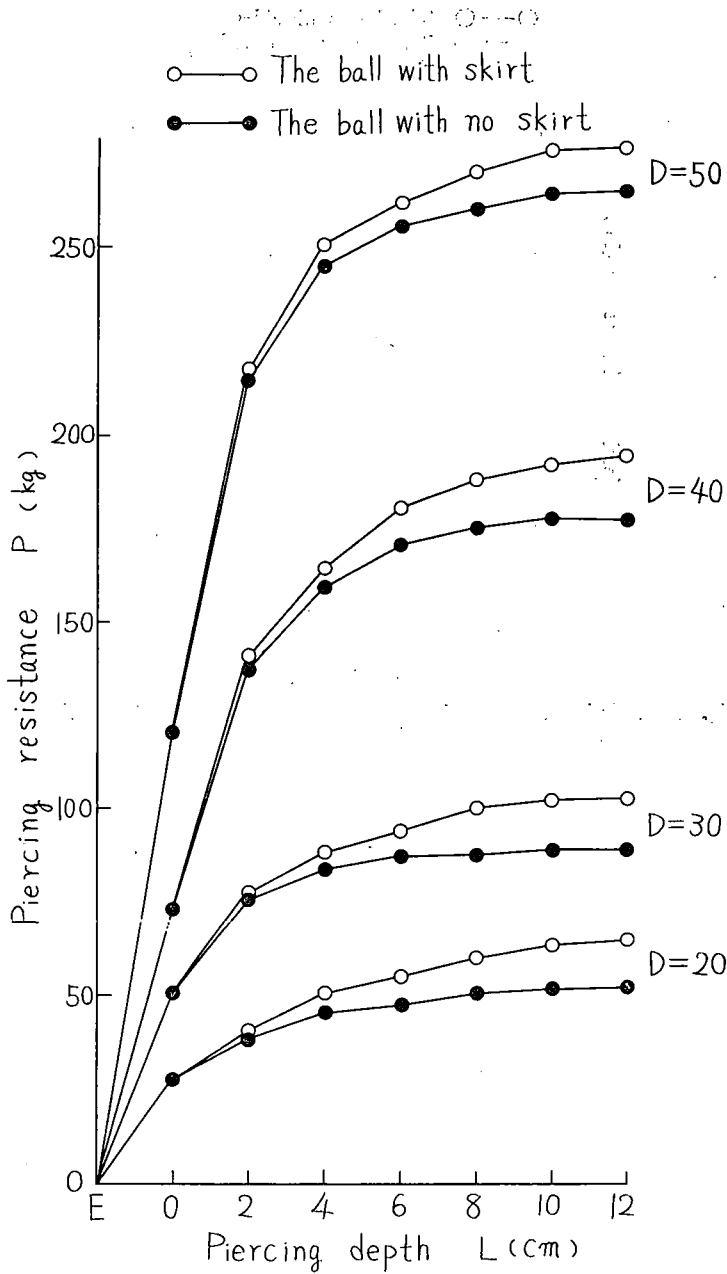


Fig. 13 Relation between piercing depth and resistance under the soil condition of 1.5 kg/cm<sup>2</sup> compressed pressure

Tab. 6 Relation between diameter (D) and coefficient a, b

D (mm)	a	b
20	0.135	2.193
30	0.108	2.893
40	0.099	1.676
50	0.085	1.000

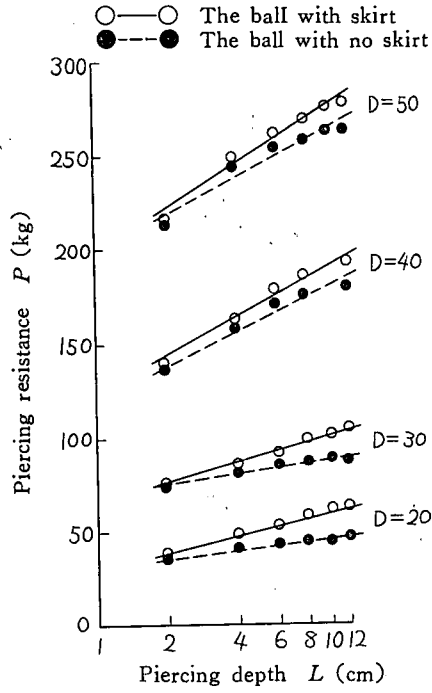


Fig. 14 Relation between piercing depth and resistance (1.5 kg/cm<sup>2</sup>)

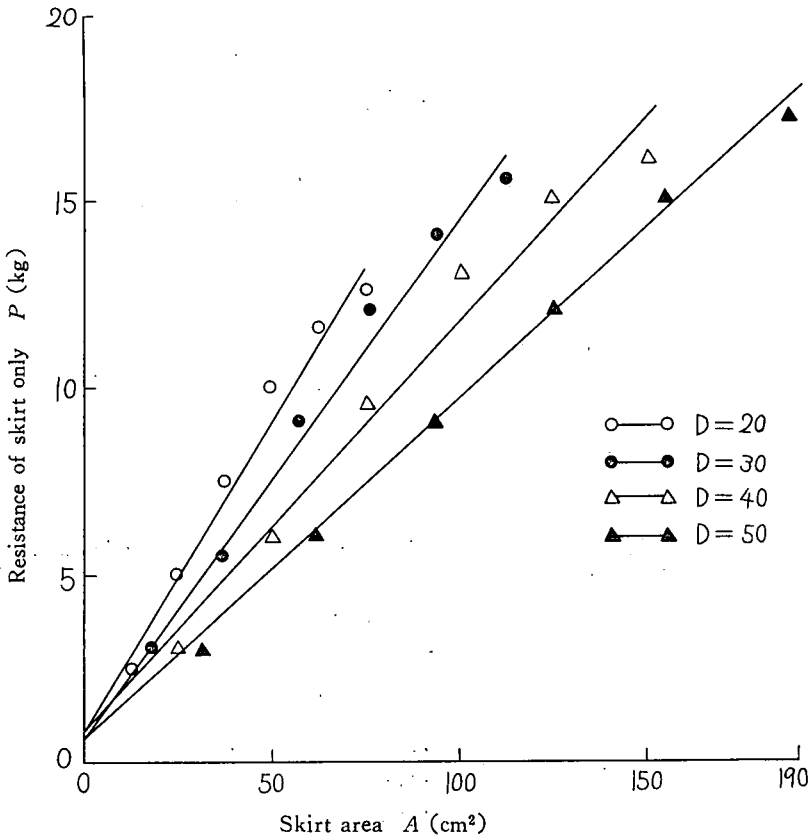


Fig. 15 Relation between skirt area and resistance of skirt only

体の直径が大きい方が抵抗は小さくなっているが、スカートの面積が小さい場合(約50cm<sup>2</sup>以下)は弾丸体の直径の大小によるスカートの抵抗の差はないとみてよいであろう。

土の圧縮圧力が1.5 kg/cm<sup>2</sup>の場合、スカートの面積が70~190 cm<sup>2</sup>における、各直径を通じのスカートのみの大約の抵抗値は、13~17 kgで全抵抗中に占める割合は6~20% (弾丸体の直径が大きい方が百分率は小さい)で、他の土の圧縮圧力の場合とも大体同じ傾向であった。

## V. 摘 要

弾丸暗きょせん孔機が地中をせん孔するときの抵抗と、それに影響をおよぼす弾丸体のスカートの抵抗を模型弾丸体を用いて測定した。当実験は弾丸体を垂直方向に土中に押し込んだが、これは一般の水平せん孔の場合弾丸体に働らく上下方向の土圧が等しい場合を想定したものである。実験結果は次のようである。

(1) スカートの抵抗は5種の弾丸体、3種の土の硬さの場合とも左程大きくなく、全抵抗中に占める割合は、同じスカートの面積の場合弾丸体の直径が大きい方が小さいが、直径5 cmの弾丸体の場合5~7%であった。

(2) 土の硬さが増加するとせん孔抵抗は増大し、スカートの抵抗も増大するが、スカートの抵抗の増加の割合は著しく小さい。

(3) 弾丸体の直径、スカート長とせん孔抵抗の間には次の関係があった。

$$P = a \log L + b = 10^a D^b \log L + 10^y D^b$$

ここに  $P$ :せん孔抵抗 (kg),  $L$ :スカートの長さ (cm),  $D$ :弾丸体の直径 (mm)

(4) スカートのみの抵抗値とスカートの面積の間には次の一次的関係があった。

$$P' = aA + b$$

ここに  $P'$ :スカートのみの抵抗 (kg),  $A$ :スカートの面積 (cm<sup>2</sup>)

## 参 考 文 献

- 1) 森 周六, 庄司英信, 守島正太郎: もぐら暗渠用地下穿孔機に関する調査研究(その一), 農機誌, 第9巻, 第1号, 昭22, p. 2~40.
- 2) 庄司英信, 石川武男, 長崎 明, 湧井 学, 佐野文彦: もぐら暗きょに関する研究(II), 農土研, 第26巻, 第4号, 昭33, p. 3~8.
- 3) 守島正太郎, 松尾昌樹, 小島和雄, 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, p. 190~193.
- 4) 守島正太郎, 小島和雄: 弾丸体暗きょせん孔機に関する研究(第2報), 農機誌, 第27巻, 第1号, 昭40, p. 28~32.
- 5) 小島和雄: 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, p. 1~11.
- 6) 上野正夫: 基礎地盤の力学, (昭17), p. 203, 工業図書.
- 7) 小島和雄, 下村 巧: 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, p. 172~177.

(昭和45年9月18日受理)

