

# 弾丸暗きよせん孔機の弾丸体の先端角に関する研究

小 嶋 和 雄

(農学部 農業機械学研究室)

## Study on the Extreme Angle of the Mole Drainer.

K. KOJIMA

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture)

### I. 緒 言

弾丸暗きよせん孔時の抵抗力は、せん孔機の設計をなす場合不可欠のものであり、せん孔抵抗はせん孔深、弾丸体の直径、先端角度、土壌条件などに関係する。

以上の関係につきこれまで二、三の模型実験<sup>1),2),3)</sup> およびほ場実験<sup>4)</sup> を重ねてきた。これらの実験結果のうち弾丸体先端角と抵抗の関係については、弾丸体の先端角度が小さい方がせん孔抵抗が大きいような結果を得ているが、これはごく小規模の模型実験や、弾丸体の直径に比較して浅いところをせん孔した場合の結果であり、あらゆる場合に適用しうとは思えない。

南ローデシヤの S. T. Willatt<sup>5)</sup> らが、先端角の異なった Tine に付着する土くさびの形状などについて室内実験を行なっているが、先端角度と抵抗力については言及していない。

そこでせん孔時の弾丸体の先端角度と作用力の関係を力学的に解明し、せん孔抵抗力が最小となるような先端角度を求めようとするものである。また室内実験を行なって理論的解析結果と実測値とを比較検討しようとするものである。

### II. 先端角度とせん孔抵抗の関係の理論的解析

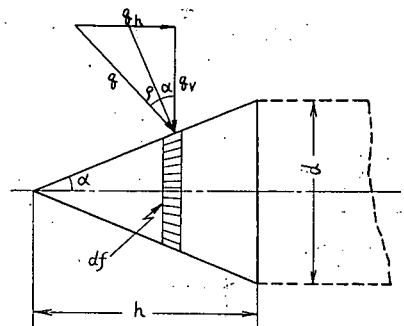
いま弾丸体の先端部のみにかかる力を考えるに、第1図において、 $q$ 、 $q_h$ 、 $q_v$  をそれぞれ弾丸体先端部にかかる単位面積当りの抵抗合力、水平分力、垂直分力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) とし、 $d$  を弾丸体先端部の最大直径 ( $\text{cm}$ )、 $2\alpha$  を弾丸体の先端角、 $\rho$  を弾丸体 (鉄材) と土の摩擦角、 $df$  を弾丸体先端部の微小面積 ( $\text{cm}^2$ ) とする。

また弾丸体にかかる上下分力の値が等しく、土表面が盛り上がらないような深さのところをせん孔するものとする。

弾丸体先端部にかかる全水平力を  $Q_h$ 、全垂直力を  $Q_v$  とすれば、

$$Q_h = Q_v \tan(\alpha + \rho)$$

$$Q_v = q_v \int_0^h df \cos \alpha$$



第 1 図

$$\begin{aligned} \therefore Q_h &= q_v \int_0^h df \cos \alpha \tan (\alpha + \rho) \\ &= q_v \cos \alpha \tan (\alpha + \rho) \frac{\pi}{4} \frac{d^2}{\sin \alpha} \\ &= q_v \frac{\pi}{4} \frac{\tan (\alpha + \rho)}{\tan \alpha} d^2 \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

次に弾丸体先端部にかかる水平力（せん孔抵抗）が最小となる先端角を求めるに、

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \frac{\tan (\alpha + \rho)}{\tan \alpha} &= 0 \quad \text{とすれば} \\ \sec^2 (\alpha + \rho) \tan \alpha - \sec^2 \alpha \tan (\alpha + \rho) &= 0 \\ \tan \alpha \cos^2 \alpha - \tan (\alpha + \rho) \cos^2 (\alpha + \rho) &= 0 \\ \sin 2\alpha - \sin 2(\alpha + \rho) &= 0 \\ 2 \sin \frac{2\alpha - 2(\alpha + \rho)}{2} \cos \frac{2\alpha + 2(\alpha + \rho)}{2} &= 0 \end{aligned}$$

ここで  $\sin (-\rho) = 0$  はあり得ないので  
 $\cos (2\alpha + \rho) = 0$

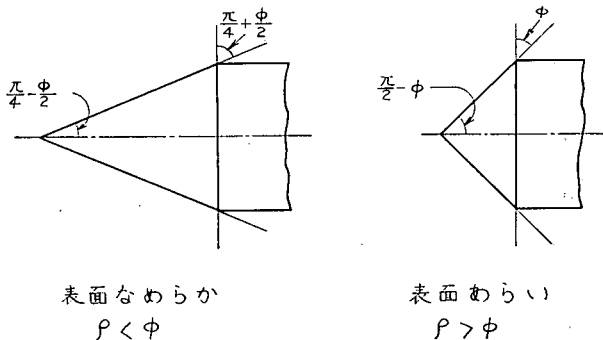
ここで  $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ ,  $0 < \rho < \frac{\pi}{2}$  であるから

$$\begin{aligned} 2\alpha + \rho &= \frac{\pi}{2} \\ 2\alpha &= \frac{\pi}{2} - \rho \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

つまりせん孔抵抗は弾丸体の先端角が増加するに従って減少し、 $\frac{\pi}{2} - \rho$  なる角度のとき極小値を示し、以後再び抵抗は増大する。

ただし (1) 式の  $\frac{\tan (\alpha + \rho)}{\tan \alpha}$  において、 $\alpha + \rho = \frac{\pi}{2}$  のときは  $Q_h = \infty$  となり、また  $\alpha = 0$  のときも  $Q_h = \infty$  になるので適用出来ない。

弾丸体の先端角が  $\frac{\pi}{2} - \rho$  より次第に大きくなると弾丸体の先端に土くさびができるので<sup>5)</sup>、土



第 2 図

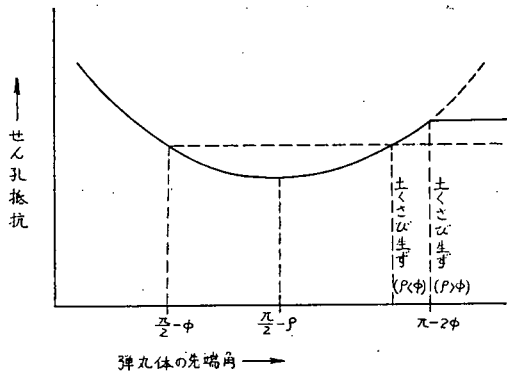
くさびができたあとのせん孔抵抗は弾丸体の先端角がいくら大きくなっても土くさびの先端角をもってせん孔するので、変わらないようになると思われる。

土くさびの先端角は  $\rho < \phi$  のときと、 $\rho > \phi$  のときとで異なる。いま簡単のため  $\rho < \phi$  のとき弾丸体の表面がなめらかであると、 $\rho > \phi$  のときあらいと仮定し、フーチング直下の土くさびの場合<sup>6)</sup> を適用すれ

ば第2図のようになる。

すなわち弾丸体の表面がなめらかで  $\rho < \phi$  のときは、 $2\alpha = \frac{\pi}{2} - \phi$  より弾丸体の先端角が大になると、弾丸体の表面があらく  $\rho > \phi$  のときは、 $2\alpha = \pi - 2\phi$  より先端角が大になると土くさびが生ずることになる。

$\rho < \phi$  のときは、 $\frac{\pi}{2} - \rho$  より小さい  $\frac{\pi}{2} - \phi$  より先端角 ( $2\alpha$ ) が大になると土くさびが生ずることになるが、 $\frac{\tan(\alpha + \rho)}{\tan \alpha} < \frac{\tan(\alpha + \phi)}{\tan \alpha}$  の関係で土くさびの抵抗より弾丸体の抵抗の方が小さいので土くさびは生じず、 $\frac{\pi}{2} - \rho$  より先端角が大きくなり抵抗が増大してはじめて土くさびが付着するものと思われる。(第3図参照)



第 3 図

### III. 模型実験

#### (1) 目的

弾丸暗きょせん孔機の弾丸体が、土中をせん孔する際に生ずるせん孔抵抗を、先端角の異なる模型弾丸体を用い、土の緊硬度、せん孔深を変えて測定し理論的解析結果と比較検討する。

#### (2) 実験方法

内容積  $140 \times 450 \times 245$  (長×幅×高)、厚さ 5 mm の鉄製箱を準備し、この中に供試土を入れて載荷板をのせ、万能試験機 (島津 RH-30型 容量 30 t) でそれぞれ 1, 3, 5 kg/cm<sup>2</sup> の圧力で圧縮した。

模型弾丸体の押し込み装置は、押し込み式土壌硬度計 (関東東山農試式) を利用し、その先端に模型弾丸体を取り付けた。

この土壌硬度計を上記鉄製箱の長辺側の一面に取り付け、この面と相対する面の側板の中央部の一部を取りはずし、弾丸体を貫入、貫通させた。(写真-1 参照)

模型弾丸体の押し込み速度は 3~5 mm/s とし、弾丸体のせん孔深は弾丸体の直径 (2 cm) の 2 倍, 3 倍, 5 倍のところ、すなわち土表面より 4, 6, 10 cm のところとした。

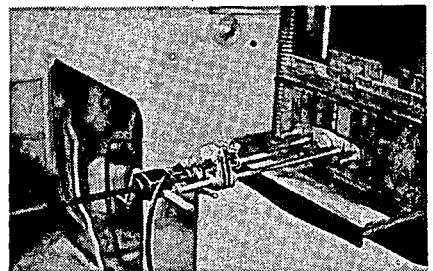


写真-1

せん孔抵抗の測定には前述の土壤硬度計の自記装置の代りに、外径 17mm, 内径 12.5 mm, 長さ 40 mm の軟鋼円筒にクロスゲージを貼り付けたものをピックアップとして取り付け、ストレインメータ、ペン書きオッシログラフでひずみを記録しせん孔抵抗力を算出した。

なお土壤硬度計には水平方向（せん孔方向）以外の力がゲージに作用しないように、ピックアップ部と圧入かんの間にスティールボールをいれた。この硬度計のストロークは約 20 cm である。

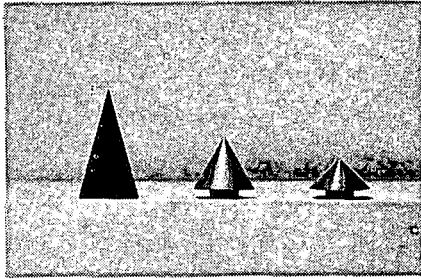


写真-2

横型弾丸体の最大直径（以下弾丸体の直径とす）は 2 cm で、先端角度が 30°, 60°, 90° の三種類を用いた。弾丸体の材質は軟鋼で、表面は旋盤普通仕上げしたのち、No. 0 の細目のサンドペーパーで研磨した。

（写真-2 参照）

なお参考のため直径 3 cm, 先端角度 30°, 60°, 90° の弾丸体を直径の 2 倍, 3 倍, 5 倍, の深さに、直径 2 cm の場合と全く同様な方法でせん孔させ、せん孔抵抗を測定した。その結果の一部は V 項の第 7 図の下部

の図のようである。

直径 2 cm の弾丸体の土中押し込みにより生ずる土の圧縮影響圏は、摩擦杭に関する Bierbaumer<sup>7)</sup> の式を利用すれば次のようである。

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

ここで  $R$  : 圧縮影響圏（杭中心からの半径 cm）

$D$  : 杭の直径 (cm)

$l$  : 杭の長さ (cm)

本実験では  $D=2.0$  cm,  $l=14.0$  cm（弾丸体のせん孔長を適用する）とすれば  $R=2.9$  cm となる。前述の鉄製箱に土を入れ、 $5 \text{ kg/cm}^2$ （最大圧縮圧力）の圧力で圧縮し、最深のせん孔をしても底板まで 10 cm~15 cm の距離があるので、圧縮影響圏の影響はないとみてよい。（直径 3 cm の弾丸体の場合も圧縮影響圏の影響はない）

実験供試土は風乾後 2.0 mm 目のふるいを通した砂質ローム（JISによる）を、含水比 15% になるように水を加えよくかき混ぜたのち、土が均一な含水状態になるようにビニール布をかぶせ、24時間以上放置したものを使用した。実験中は含水比ができるだけ一定になるように管理した。なお含水比の許容範囲は  $15 \pm 0.5\%$  とした。

供試土の物理性は第 1 表のようである。

1, 3, 5  $\text{kg/cm}^2$  の各圧力で供試土を圧縮したときの土壤硬度を、コーンペネトロメータで測定した結果は第 2 表のようである。

土の圧縮圧力 3  $\text{kg/cm}^2$  の場合の貫入深さ 10, 15 cm および 5  $\text{kg/cm}^2$  の圧縮圧力の場合には、コーンペネトロメータを貫入させることができなかった。

供試土を 1, 3, 5  $\text{kg/cm}^2$  の圧縮圧力で圧縮した場合の孔げき率および飽和度は第 3 表のようである。

孔げき率、飽和度は各圧縮圧力ごとに深さ 5, 10, 15 cm のところを測定したが、深さによる

第 1 表 供試土の物理性

最大含水量 (%)	43.2	
塑性限界 (%)	24.4	
液性限界 (%)	30.0	
内部摩擦角	40°57'	
粘着力 ( $\text{kg/cm}^2$ )	0.25	
粒度分析 (%)	れき 2 mm 以上	0
	砂 2.0~0.05 mm	71.0
	シルト 0.05~0.005 mm	21.0
	粘土 0.005 mm 以下	8.0

第2表 コーンペネトロメータによる土壌硬度

土の圧縮圧力	1 kg/cm <sup>2</sup>	3 kg/cm <sup>2</sup>	5 kg/cm <sup>2</sup>
貫入深さ	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
5 cm	5.3	7.6	—
10 cm	6.8	—	—
15 cm	6.2	—	—

第3表 孔げき率および飽和度

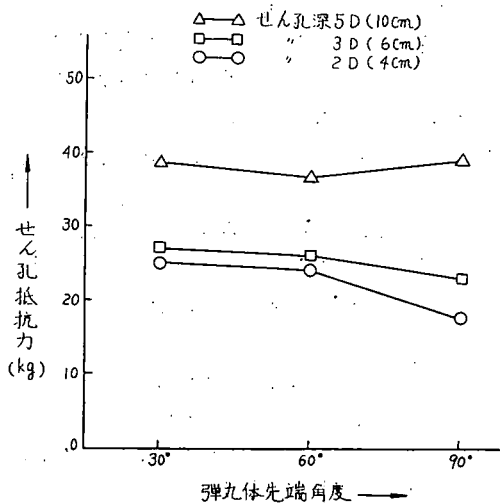
土の圧縮圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	孔げき率 (%)	飽和度 (%)
1	41.7	56.9
3	38.5	64.9
5	37.0	69.3

相違はみられなかった。

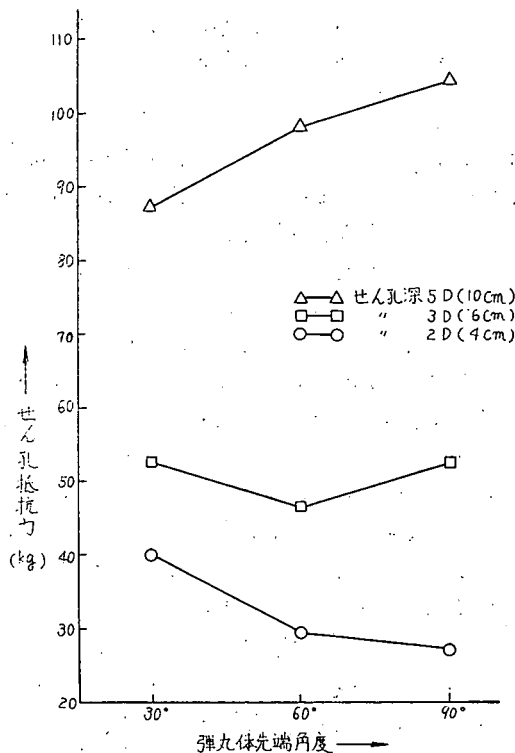
土壌硬度、孔げき率測定の結果よりみると、圧縮圧力が 1 kg/cm<sup>2</sup> の場合が一般水田土壌の硬さ (3~6 kg/cm<sup>2</sup>) に近いようであるが、3, 5 kg/cm<sup>2</sup> の圧縮圧力の場合はかなり硬くしまった土とみてよいであろう。

#### IV. 実験結果および考案

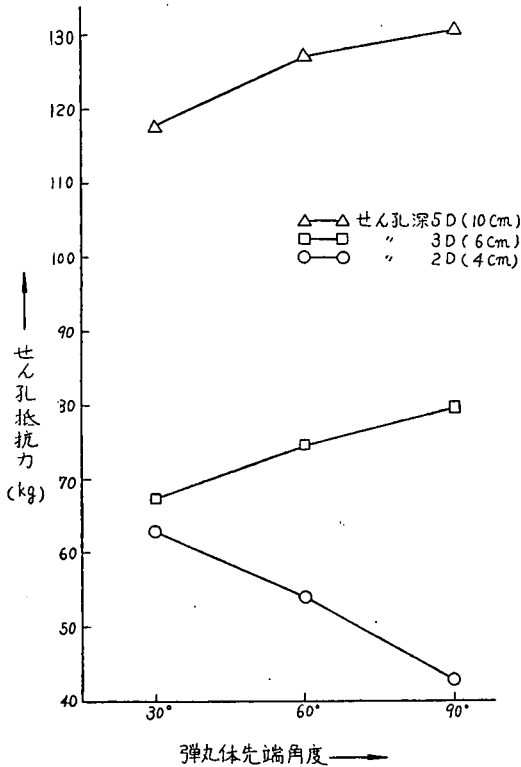
1, 3, 5 kg/cm<sup>2</sup> の各圧縮圧力を加えた土に、30°, 60°, 90° の先端角度を有する弾丸体を貫入させた場合のせん孔抵抗力 (kg) を示せば、第4, 5, 6図のようである。



第4図 圧縮圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> の先端角度とせん孔抵抗力



第5図 圧縮圧力 3 kg/cm<sup>2</sup> の先端角度とせん孔抵抗力



第6図 圧縮圧力  $5 \text{ kg/cm}^2$  の先端角度とせん孔抵抗力

せん孔抵抗力はオッシロ線図の最高値を採用し、各測定値は少なくとも3～5回行った実験の結果を平均したものである。

全般に弾丸体の直径の3倍の深さ(6 cm)までのせん孔では土表面が盛り上がり、5倍の深さ(10 cm)になると土の盛り上がりはみられなかった。

各圧縮圧力の場合ともせん孔深が弾丸体の直径の2倍すなわち4 cmのところ(以下これをせん孔深2Dのところと記す。Dは弾丸体の直径で3D, 5Dも同様である)ではせん孔抵抗力は弾丸先端角が30°, 60°, 90°となるに従って小さくなっている。

これまで行なった室内実験<sup>2)</sup>では以上の傾向がうかがわれ、ほ場実験<sup>4)</sup>でも、弾丸体の形は多小異なるが、明らかに先端角度が大きい方がせん孔抵抗は減少している。この室内実験の場合のせん孔深は約2D(ただし弾丸体の直径は3 cm)、ほ場実験の場合のせん孔深は約3.8D(ただし弾丸体の直径は8 cm)で、いずれも土表面は盛り上がった。

圧縮圧力  $1 \text{ kg/cm}^2$  で圧縮した土中の2D, 3Dの深さのところをせん孔すると、土表面は細かくき裂が生じて盛り上がり、(1)式をみちびくための条件、つまり弾丸体先端部にかかる上下土圧が等しく、土表面が盛り上がらないようなところをせん孔するという仮定が満たされず、(2)式の理論はあてはまらないことになる。

せん孔により土表面が盛り上がるようなときは、せん孔抵抗は単に弾丸体の受圧面積、摩擦面積に比例するものと思われる。

5Dの深さのせん孔の場合は、2D, 3Dの場合のように土表面は盛り上がり、弾丸先端角とせん孔抵抗の関係も第3図に示した理論的解析の結果と大体似たような傾向を示している。

弾丸体先端部のせん孔抵抗が最小となる先端角度を求めるには  $\rho$  が必要なので、 $\rho$  つまり弾丸体表面と土の摩擦角を次のような方法で測定した。

模型弾丸体と同じ程度に表面仕上げした同じ材質の鉄板(厚さ4 mm, 長40 mm×幅40 mm)を一面せん断試験機の可動下わくの上縁と一致するようにはめ込み、固定上わくには供試土を入れ、通常行なう土の一面せん断試験と同じ方法でせん断させ、垂直応力と水平応力を測定し鉄板と供試土の摩擦角を求めた。これに用いた土の含水比は14.9%で、摩擦角は $18^{\circ}0'$ (粘着力は0)であった。

そこで(2)式よりせん孔抵抗が最小となる先端角度は  $2\alpha = \frac{\pi}{2} - \rho$  であるので、これに上記の値を代入すると  $2\alpha = 90^{\circ} - 18^{\circ} = 72^{\circ}$  となる。

次に弾丸体先端部に土くさびが付着するようになる先端角度は、 $\rho < \phi$  ( $\phi$  は土の内部摩擦角で約 $41^{\circ}$ )であるため、第3図より  $2\alpha = \frac{\pi}{2} - \phi$  であるので先端角度が約 $49^{\circ}$ より大きくなると土くさびが生じ始め、先端角が $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ となってもせん孔抵抗は土くさびによる抵抗が示されるのであまり変わらないことになる。

しかしながらⅡ項で述べたように、弾丸体の抵抗が土くさびの抵抗より小さいので、せん孔抵抗が最小値となる  $2\alpha = \frac{\pi}{2} - \rho$  なる角度より大きくなって始めて土くさびがつき始めると思われる。しかしこのときの角度は幾度であるかは明確にはいえない。

簡単な考え方をすれば第3図より、 $\frac{\pi}{2} - \phi$  なる角度の場合の先端角度—せん孔抵抗線上の点より横軸に平行に水平線を引き、先端角度—せん孔抵抗線との交点を求め、これより横軸に垂線を立てる。この垂線と横軸の交点が弾丸体の表面がなめらかな場合、つまり  $\rho < \phi$  のとき土くさびが先端部に付着し始める角度と想像される。

このときの先端角度は次のようになる。

$$\begin{aligned} 2\alpha &= \left(\frac{\pi}{2} - \rho\right) - \left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \rho\right) \\ &= 72^\circ - 49^\circ + 72^\circ = 95^\circ \end{aligned}$$

もし弾丸体の表面があらいと仮定すれば、次のようになる。

$$2\alpha = \pi - 2\phi = 180^\circ - 82^\circ = 98^\circ$$

T. Willatt らの研究<sup>5)</sup>でも、実験内容が異なるので同一視はできないが、Tine の先端角が  $45^\circ$  程度では土くさびはつかず、 $60^\circ$ 以上になって生ずることを示している。

以上より、供試した弾丸体の先端角の種類が少ないので厳密なことはいえないが、 $1 \text{ kg/cm}^2$  の圧縮圧力をうけた土、つまり一般水田土壌と同程度にしまった土においては、第4図より土表面が盛り上がらない  $5D$  以上の深さのせん孔時は、(1)、(2)式の理論が適応できるとみてよいであろう。

次に土の圧縮圧力が  $3 \text{ kg/cm}^2$  の場合をみるに (第5図)、せん孔深が  $2D$  の場合は前述のように、弾丸体の先端角が大きい方がせん孔抵抗は減少し、せん孔深  $3D$  の場合は理論的抵抗のかかり方に合致している。しかしながらせん孔深  $5D$  の場合は  $2D$  の場合と全く反対の傾向を示している。つまり弾丸体の先端角が大きい方がせん孔抵抗は増大している。

土の圧縮圧力が  $5 \text{ kg/cm}^2$  の場合 (第6図) も深さ  $2D$  のせん孔時は  $1 \text{ kg/cm}^2$ 、 $3 \text{ kg/cm}^2$  の場合と同じように先端角が大きい方がせん孔抵抗は小さいが、 $3D$  以上の深せん孔になると  $3 \text{ kg/cm}^2$  の  $5D$  のせん孔時と同じように、先端角が大きい方が抵抗は大きくなっている。

せん孔深  $3D$  の場合はいずれの圧縮圧力の場合も土表面は盛り上がったのであるが、 $3$ 、 $5 \text{ kg/cm}^2$  のときは土は細分されず、かなり大きなかたまりをなしてき裂を生じていて、弾丸体にあたえる抵抗は十分でないと思われる。

コーンペネトロメータによる土壌硬度が  $6.5 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$  の砂質ロームで、深さ  $5D$  以上 (弾丸体の直径  $4 \text{ cm}$ 、せん孔深  $22 \text{ cm}$ ) の室内実験<sup>1)</sup>を行なった際、上記と同様に先端角度が大きい弾丸体の抵抗が大きい傾向がでたのであるが、実験回数が少なかったので明らかな結論は出せなかった。

また別の室内実験<sup>2)</sup>で、砂質ロームを  $3$ 、 $5$ 、 $7 \text{ kg/cm}^2$  の圧力で圧縮し (土壌硬度不明)、土表面が盛り上がらないように土表面を加圧した場合 (深せん孔に相当する) の測定も行なったが、このときは弾丸体の先端角が大きい方がせん孔抵抗は小さい傾向を得ている。これは土表面を加圧しているもので、実際のせん孔と少々趣が異なると思われる。

本実験の方が実際のせん孔に近いと思われる。

そこで総合して考えるに、一般の水田土壌またはしまり具合がそれと同程度の土を、 $3D$ 以下の深さにせん孔し土表面が盛り上がるようなときは、弾丸体の先端角が大きい方が抵抗は少ないが、かなりしまった土で土表面が盛り上がらないような深いせん孔をするときは、先端角が大きい方が抵抗は大きくなると結論されるようである。

よくしまった土で、先端角の増大とともにせん孔抵抗が増大する理由としては、せん孔する際弾丸体の先端部前方（土くさびが生ずる場合は土くさびの前方）にコーン<sup>5)</sup>と称するかなり大きな土の圧縮体が形成され、このコーンも弾丸体と共に前方に移動する。（写真-3参照）先端角が大きいとこのコーンの形も大きくなるものと思われる。



写真-3

筆者らはせん孔時の弾丸体による土の前方圧縮距離を測定<sup>8)</sup>したが、その距離を弾丸体の先端から測定すると先端角が大きいほど長い。

このことは換言すれば先端角が大きいほど前方へ土を圧縮することになる。硬くしまった土を、土表面が盛り上がらないほどの深さにせん孔するときは、先端角が大きいほどコーンの抵抗が増大することになる。

弾丸体の先端角が  $\frac{\pi}{2} - \rho$  のときせん孔抵抗が最小であるという理論は、前述のように一般水田土壌程度の土壌硬度（コーンペネトロメータによる土壌硬度  $3 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ ）の土で、土表面が盛り上がらない程度の深さ（ $5D$ 以上）にせん孔したとき適用できるが、これより硬くしまった土になると理論が適用できる深さは浅くなり、土の圧縮圧力  $5 \text{ kg/cm}^2$  の場合のようにコーンペネトロメータが押し込めないような硬さの土では適用できないことになる。

#### V. 弾丸体先端部にかかる抵抗の理論値と実験値の比較

Ⅱ項の(1)式から弾丸体先端部にかかるせん孔抵抗が算出できる。

(1)式より

$$Q_h = q_v \frac{\pi}{4} \frac{\tan(\alpha + \rho)}{\tan \alpha} d^2$$

この式に実験に用いた下記の値を入れて計算したせん孔抵抗値 ( $Q_h$ ) と実験値を比較してみる。  
 $q_v$  (弾丸体先端部にかかる単位面積当りの抵抗の垂直分力) : 垂直分力の測定はできなかったので、コーンペネトロメータのコーン支持力 ( $\text{kg/cm}^2$ ) (土壌硬度  $\text{kg/cm}^2$ ) を代用する。(第2図参照)

$\alpha$  (弾丸体の先端角の半角) :  $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$

$\rho$  (弾丸体と土の摩擦角) :  $18^\circ$

$d$  (弾丸体の直径) :  $2 \text{ cm}, 3 \text{ cm}$  (直径  $3 \text{ cm}$  の弾丸体による実験も行なったので比較する)

抵抗の実験値と理論値の比較は、コーン支持力が測定できた土の圧縮圧力  $1 \text{ kg/cm}^2$  の場合の、せん孔により土が盛り上がらない深さ  $5D$  のせん孔のときについて行なった。(  $2D, 3D$  の場合は理論が適用できない) その結果は第7図のようである。

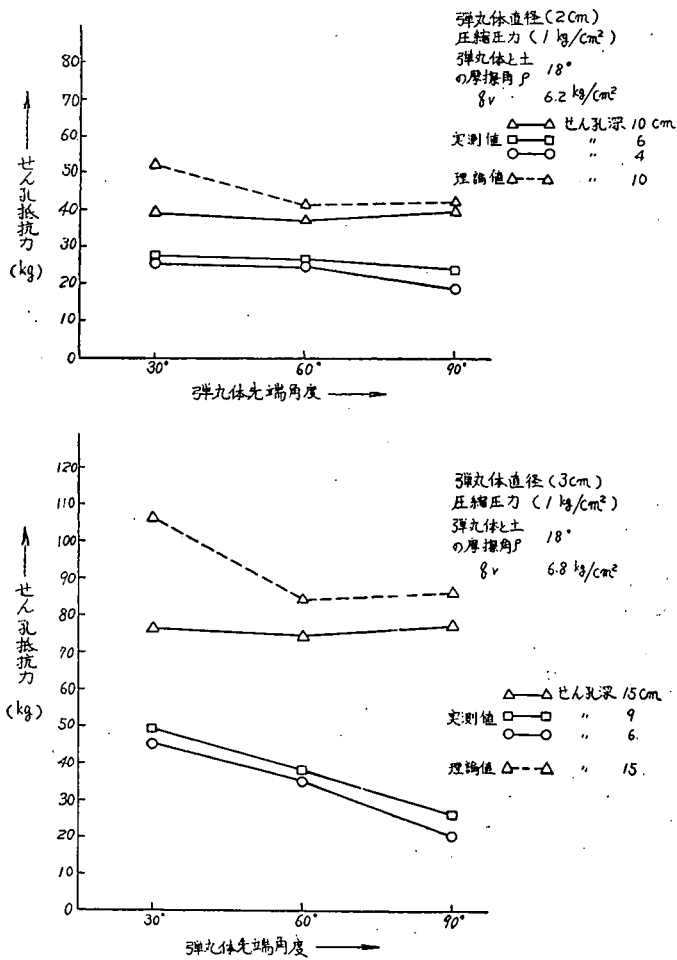
弾丸体の直径  $2 \text{ cm}$  の場合、先端角  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  の理論値は実験値のそれぞれ  $1.3, 1.1, 1.1$  倍、直径  $3 \text{ cm}$  の場合それぞれ  $1.6, 1.3, 1.3$  倍で、理論値は実験値に近い値を示し、しかも安全側にある。

そこで弾丸体先端部にかかる抵抗の概略値を知るには、次式を利用しうと思われる。

$$Q_h = C q_v \frac{\pi}{4} \frac{\tan(\alpha + \rho)}{\tan \alpha} d^2$$

ただし  $C$  は  $0.6 \sim 0.9$  で、弾丸体先端角が小さいとき (例えば  $30^\circ$ ) は低位の、先端角が大きい





第 7 図

とき (例えば90°) は高位の数値をとる。

$q_v$  にコーン支持力 (コーンペネトロメータによる土壌硬度) を利用することは、その性質上困難性が強いが、せん孔抵抗の概略値を知ろうとするときは、以上の結果から有効と思われる。

### VI. 摘 要

弾丸暗きよせん孔機の弾丸体の先端角度とせん孔抵抗の理論的解析を行ない、室内実験によるせん孔抵抗の測定結果と、理論的抵抗の比較検討を行なったが、その結果は次のようである。

- (1) 弾丸体の先端角が  $\frac{\pi}{2} - \rho$  のときせん孔抵抗は極小となる。ただし、 $\rho$  は弾丸体と土の摩擦角
- (2) 弾丸体先端部のせん孔抵抗 ( $Q_h$  kg) は次式により算出できる。

$$Q_h = C q_v \frac{\pi}{4} \frac{\tan(\alpha + \rho)}{\tan \alpha} d^2$$

ただし  $q_v$  は弾丸体先端部にかかる単位面積当りの抵抗の垂直分力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $\alpha$  は弾丸体先端角の半角,  $\rho$  は弾丸体と土の摩擦角,  $d$  は弾丸体の直径,  $C$  は係数。

上式は  $\alpha + \rho = \frac{\pi}{2}$ ,  $\alpha = 0$  のときは  $Q_h = \infty$  になるので適用できない。

(3) 上記の(1), (2)の理論は, 一般水田土壌程度にしまった土を, せん孔により土表面が盛り上がらないような深さ(弾丸体直径の5倍以上の深さ)にせん孔するとき適用できる。

(4) せん孔抵抗の理論値は実験値の約1.1~1.6倍 ( $C=0.9\sim0.6$ ) で近似した値を示し, しかも安全側にある。弾丸体の先端角が小さい場合は  $C$  の値は低位の値をとる。ただし  $q_v$  はコーンペネトロメータのコーン支持力を利用した。

(5) 一般水田土壌程度にしまった土を, 弾丸体直径の3倍以下の深さにせん孔するときは, 弾丸体の先端角が大きい方がせん孔抵抗は小さいが, これより硬くしまった土を弾丸体直径の3~5倍以上の深さにせん孔するときは, 弾丸体の先端角が大きい方がせん孔抵抗は大きくなる。

### Summary

The author performed the theoretical analysis on the relation between the piercing resistance and the extreme angle of the mole drainer, and compared the above results with the experimental data obtained in the laboratory.

The results were summarized as follows.

1) According to the theory, the minimum of the piercing resistance is appeared at the extreme angle of ball of  $\frac{\pi}{2} - \rho$ , where  $\rho$  is frictional angle.

2) The approximation of the piercing resistance,  $Q_h$ , of the extreme of the mole drainer is expressed by the following equation,

$$Q_h = C q_v \frac{\pi}{4} \frac{\tan(\alpha + \rho)}{\tan \alpha} d^2$$

where  $q_v$  = the forces (per  $\text{cm}^2$ ) of the vertical components acting on the extreme of the mole drainer ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),

$\alpha$  = the half of the extreme angle of ball,

$\rho$  = the frictional angle,

$d$  = the diameter of the ball,

$C$  = the coefficient.

The above equation is applicable except the angle of  $\alpha + \rho = \frac{\pi}{2}$  or  $\alpha + 0$ .

3) The above mentioned facos (1), 2)) are applied to the following condition, that is, the piercing depth of the mole drainer is not less than five times of diameter of ball (soil surface does not rise under the condition).

4) The theoretical resistance approximates to 1.1~1.6 tims as large as the experimental one ( $C=0.9\sim0.6$ ), that is, the theory gives safety value for the design purpose.

The smaller value of the coefficient ( $C$ ) is applied to the smaller extreme angle of ball, and  $q_v$  is substituted by load bearing capacity of cone penetrometer.

5) Penetrating through loose soil or into shallow layer, the forces of the horizontal components acting on the mole drainer decreased with increase of the extreme angle of ball.

Penetrating through dense soil or into deep layer (the depth of penetration larger than 3~5 times of the ball diameter), the forces increased with increase of the extreme angle of ball.

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 守島正太郎・小島和雄；弾丸暗きょせん孔機に関する研究 (第2報)，農機誌，第27巻，第2号，昭40
- 3) 同 上 (第3報)，農機誌，第27巻，第2号，昭40
- 4) 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
- 5) S. T. WILLATT・A. H. WILLIS；Soil Compaction in Front of Simple Tillage Tools, J.  
Agric. Engng. Res., Vol. 10, No. 2, 1965
- 6) 赤井浩一；土の支持力と沈下，昭39，山海堂，P 5
- 7) 上野正夫；基礎地盤の力学，昭17，工業図書，P 201~203
- 8) 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

