

弾丸暗きょの強度について

小 嶋 和 雄

(農学部 農業機械学研究室)

On the Strength of the Mole Drain

Kazuo KOJIMA

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture)

The paper deals with the fundamental studies on the strength of mole drain. Under clay loam, the effect of the moisture content, the degree of compactness of soil, the depth of drain, the extreme angle of model piercer, the ground contact pressure and the load board on the strength of drain was studied. The results are as follows.

(1) Generally, the strength of drain under a few moisture of soil was more strong than under much moisture of soil.

(2) Generally, the strength of mole drain was independent of the extreme angle of piercer.

(3) The strength to begin the breaking of drain: The drain free from the breaking with $H/D \geq 4.8$ (H : piercing depth, D : diameter of piercer) for the dynamic ground contact pressure of wheel type tractor and $H/D \geq 4.0$ for the dynamic ground contact pressure of crawler type tractor, under a moisture content of 20 % and a loose soil (compressed pressure is 1 kg/cm²). Similarly, the drain was safety with the draining of $H/D \geq 2.5 \sim 3.0$ for the wheel and the crawler type under both soil condition of 3 and 5 kg/cm² compressed pressure.

Under the condition of a moisture content of 25 % and a compressed pressure of 1 kg/cm², the drain was unsafety with $H/D = 5.0$ for the wheel type. On the otherhand, the drain was safety with the draining of $H/D \geq 4.8$ for the crawler type. In the case of 3 and 5 kg/cm² compressed pressure, whole drain was unsafety with $H/D = 5.0$.

(4) The strength to breakdown the drain: Under the condition of 20 % moisture content and each 1, 3 and 5 kg/cm² compressed pressure, the drain was safety with the draining of $H/D \geq 3.0$ for the wheel type and $H/D \geq 2.5$ for the crawler type. On the otherhand, in the case of the crawler type, the drain was safety with the draining of $H/D \geq 2 \sim 3.0$ under the condition of 25 % moisture content and of each compressed pressure as described before. In the case of the wheel type, the drain was unsafety for the draining of $H/D = 5.0$.

(5) The cross-sectional area of drain hole was shrank after the draining and the strength was decreased, in the case of moisture content over 25 %.

I. 緒 言

弾丸暗きょの耐用性については庄司ら¹⁾が北海道5地区、府県30地区について調査を行ない、永石ら²⁾³⁾は有明干拓地に施工した弾丸暗きょが、中、大型トラクタ、コンバインの走行のため、きょ孔の縮小がいかなる状態になるかを実験している。

上記の調査および実験はかなりくわしく行なわれていて、弾丸暗きょの耐用性や強度について実際的な指標を示している。

しかしながら上載荷重がかかった場合、せん孔した弾丸体の先端角、せん孔深、土の密度、含水比などの相異によるきょ孔の強度の関係は明らかでない。そこでこれらの諸点について模型実験を行なったので報告する次第である。

II. 実 験 方 法

(1) 実験装置

(イ) せん孔装置

内容積 $140 \times 450 \times 245$ mm (幅×長さ×高さ)の鉄製箱を作り、この中に供試土を満ち万能試験機(島津式RH-30型)で圧縮した。

鉄製箱の一面に押し込み式土壌硬度計(関東東山農試式)を取り付けた。土壌硬度計の圧入程の先端には模型弾丸体を取り付け 3~5 mm/s の速度で上記供試土中に押し込んでせん孔した。なお鉄製箱の最大長辺面の鉄板は、分割して取りはずせるようになっていて、圧縮後相対する中央部の幅約 5 cm の鉄板のみを取りはずしてせん孔した。

せん孔装置の概要は写真1のようである。

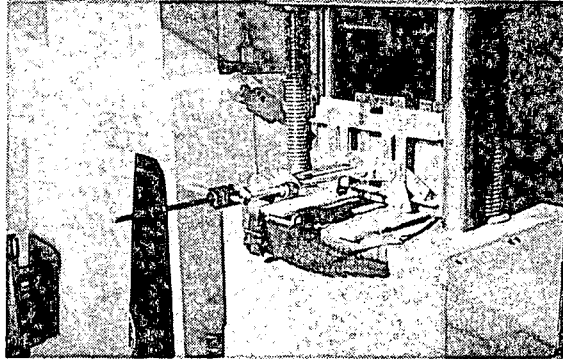
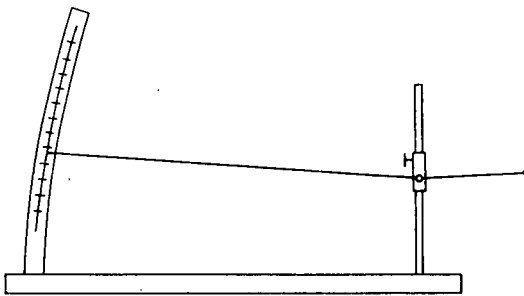


写真1 模型弾丸体のせん孔装置

(ロ) きょ孔の強度測定方法

前記(イ)の方法でせん孔したあと 載荷板を 供試土上に乗せ 万能試験機で 加圧した(加圧速度は control number 5.5 である)。



第1図 きょ孔の直径の縮小測定装置

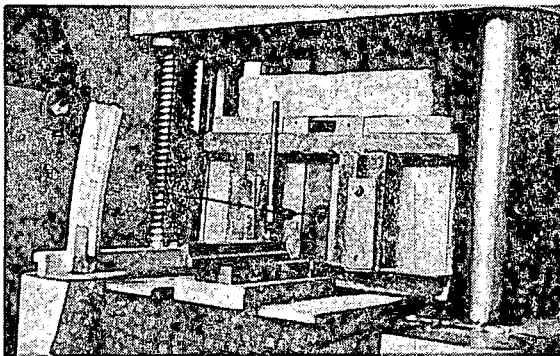


写真2 きょ孔の直径の縮小測定装置

きょ孔の崩壊状態を測定するため、第1図、写真2のような装置を作った。第1図の右側の針の先端部をきょ孔の中央部にそう入し、きょ孔の縮小によるこの先端部の動きが、左側の目盛りに拡大されて数値(mm)として読み取れるようになっている。

(ハ) きょ孔の崩壊の基準

予備実験の結果、供試土の上部載荷によりきょ孔の変形状況は写真3のように水平方向に長い長円形を呈した。永石ら²⁾³⁾の実験結果では表面載荷により鉛直方向に長い長円形となり全く相反する現象である。

これはほ場と小さい実験土槽の条件の相違もあると思われるが、永石らの実験ほ場は地盤がやわらかく、含水比が非常に大きい(80~100%)ためとも思われる。

現在きょ孔の崩壊の基準は見当らな

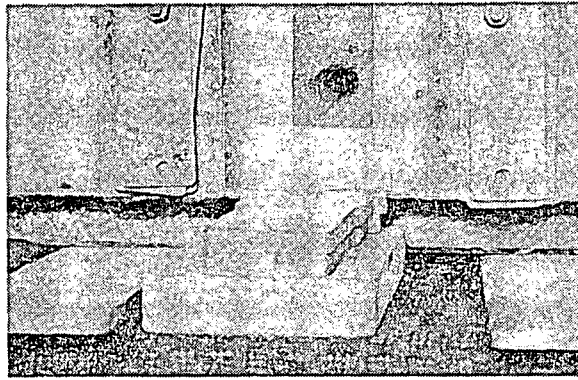


写真3 表面載荷後のきょ孔の断面

い。永石ら³⁾ はきょ孔断面積の縮小率が90%を限度としているが、これでは通水能力はほとんどないといってもよい。そこでせん孔後のきょ孔の断面積がこれ以上縮小すると、暗きょとしての機能が大幅に低下するという意味から、一応せん孔後のきょ孔の断面積が $\frac{1}{2}$ になったとき崩壊したとみなすことにした。

本来ならばきょ孔の断面積を測定すべきであるが、断面積の測定が困難であったため次のような便法をとった。

第2図から、きょ孔の形を円形とみなしその断面積を A とし、土表面載荷によるきょ孔の縮小後の形をだ円形とみなしその断面積を A' とすれば、

$$A = \pi \left(\frac{X}{2} \right) \left(\frac{Y}{2} \right)$$

$$A' = \pi \left(\frac{x}{2} \right) \left(\frac{y}{2} \right)$$

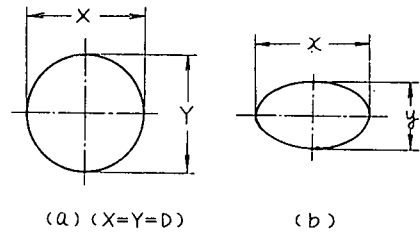
いまだ円の面積が始めのきょ孔の面積の $\frac{1}{2}$ になったとする。ただしきょ孔の縦径が縮小しても横径は変化しないものと仮定する。

$$A' = \frac{1}{2} A$$

$$\pi \left(\frac{x}{2} \right) \left(\frac{y}{2} \right) = \frac{1}{2} \pi \left(\frac{X}{2} \right) \left(\frac{Y}{2} \right)$$

$$X = x$$

$$\therefore y = \frac{Y}{2}$$



第2図

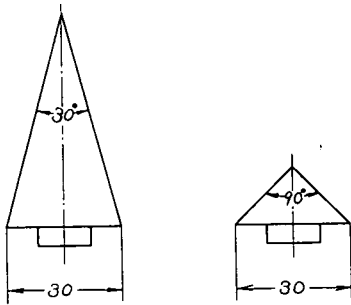
つまりせん孔後のきょ孔の縦径が $\frac{1}{2}$ になったとき、きょ孔の断面積は $\frac{1}{2}$ になる。以上よりして表面載荷によりきょ孔の縦径が、始めのきょ孔の縦径の $\frac{1}{2}$ になったとき（以後 $\frac{1}{2}D$ であらわす）をもってきょ孔が崩壊したものとみなした。予備実験の結果、きょ孔の縦径が縮小したときは横径も縮小しているので、縦径が $\frac{1}{2}$ になったときは断面積は $\frac{1}{2}$ 以下になっていることは明らかである。

せん孔後きょ孔は弾丸体の断面積より縮小するものであるが、前述のように正確な測定が困難であり、また供試土の含水比が少ないとき（20%）は測定できるほどの縮小は示さなかったため、本来ならばせん孔後のきょ孔の直径をもって D とすべきであるが、便宜上ここでは弾丸体の直径をもって D とした。

さらにきょ孔の縦径が $\frac{1}{10}D$ 縮小したときをきょ孔が崩壊し始める基準とした。上載荷重のためきょ孔がわづかでも縮小したときを基準にとる予定であったが、きょ孔上に載荷板を置いたのみできょ孔の縦径が縮小する場合があったので、 $\frac{1}{10}D$ 縮小に統一した次第である。

(二) 供試模型弾丸体

実験に使用した弾丸体は第3図のようで、先端角度は 30° 、 90° 、最大直径は 30 mm である。なお、せん孔深は土表面下 6, 9, 15 cm とした。つまり弾丸体直径の 2, 3, 5 倍の深さにせん孔することにし、せん孔深は弾丸体の先端を基準とした。



第3図 模型弾丸体

(2) 供試土

粘土ロームを風乾した後 2 mm 目のふるいを通したものに散水しながらかくはんし、所定の含水比に達したあと数日間ビニール布でおおって水分の均一化をはかった。含水比は 20, 25% の二種類とした。実験中はできるだけ含水比が一定になるように管理したが、 $\pm 0.5\%$ 以下の変化は許容した。

供試土の物理性は第1表、第2表のようである。

(3) 載荷板

載荷板の形は車輪型と装軌型トラクタの場合の二種類を用いることにした。

トラクタの車輪および履帯の寸法は銘柄、型式により種々であるので、当実験ではモデルとして

第1表 供試土の物理性

| | |
|------------------|------|
| 塑性限界 (%) | 25.9 |
| 液性限界 (%) | 34.0 |
| 真比重 | 2.68 |
| 最大含水量 (%) | 38.6 |
| 粒度分布 (%) | |
| 礫 2.0 mm < | 0 |
| 粗砂 2.0 ~ 0.25 | 33.0 |
| 細砂 0.25 ~ 0.05 | 16.0 |
| シルト 0.05 ~ 0.005 | 24.0 |
| 粘土 0.005 > | 27.0 |

第2表 内部摩擦角およびせん断強さ

| 含水比 (%) | 内部摩擦角 ϕ | 粘着力 C (kg/cm ²) | せん断強さ $\tau = \sigma \tan \phi + C$ |
|---------|--------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 20 | 29° 20' | 0.47 | $\tau = 0.58\sigma + 0.47$ |
| 25 | 19° 18' | 0.20 | $\tau = 0.36\sigma + 0.20$ |

車輪型はファーガソン FE-35型を、装軌型は芝浦式 K-20型を採用した。

ファーガソン FE-35型でも重量、車輪のサイズは登載エンジンの種類などにより差があるので、重量はそのうちで最も大きい 2,680 kg⁴⁾ を用いることにした。後輪にその 60% の重量がかかり、暗きよにはその片側の車輪のみがかかるものとすれば、片側の車輪にかかる重量は $2,680 \times 0.6 \times \frac{1}{2} = 804$ kg となる。この型式の場合のタイヤ幅は約 30 cm (11 吋) であり、車輪は幅と等しい長さだけ接地すると仮定すれば接地面積は $30 \times 30 = 900$ cm² となる。ゆえに接地圧は $804 \div 900 \approx 0.9$ kg/cm² となる。

芝浦式 K-20型も資料により重量や履帯幅などの寸法に差があるので、総重量の大きい 2,550 kg⁵⁾ を採用し、暗きよにかかるのは片側の履帯のみとすればその重量は 1,275 kg となる。この場合履帯の接地長および履帯幅はそれぞれ 131 cm, 30 cm であるので、接地面積は $131 \times 30 = 3,930$ cm² となる。接地圧は $1,275 \div 3,930 \approx 0.33$ kg/cm² となる。

従来わが国で用いられている弾丸暗きよの直径は 9 ~ 12 cm⁶⁾ であるので、一応 10 cm と考える。と本実験の模型弾丸体の直径は 3 cm であるので約 $\frac{1}{3}$ となる。そこでトラクタのタイヤおよび履帯

寸法も $\frac{1}{3}$ として載荷板の寸法を決定した。そうするとファーガソンFE-35型をモデルとした場合の載荷板の寸法は10 cm×10 cm (幅×長さ) となり、芝浦式K-20型をモデルとした場合の載荷板の寸法は10 cm×44 cm (幅×長さ) となる。芝浦式をモデルとした場合は上記のように載荷板長が44 cmとなり、実験土槽の内のりの長さは45 cmであるので加圧の際土槽側壁の影響がでると思われるので、載荷板の長さは40 cmとした。このため実物のトラクタに換算した履帯長は120 cmとなり接地圧は0.35 kg/cm²となる。

トラクタの接地圧は庄司⁷⁾によれば、車輪型の場合0.8 kg/cm²内外、装軌型の場合0.4~0.6 kg/cm²であるが、川廷ら⁸⁾によればそれぞれ1.5~2.0 kg/cm²および0.3~0.6 kg/cm²で多少差があるが、上記の計算結果たる0.9 kg/cm²および0.35 kg/cm²はそれぞれ車輪型トラクタの接地圧、装軌型トラクタの接地圧をあらわしているものと思う。

以後車輪型トラクタをW型、装軌型トラクタをC型と略記する。

(4) セン孔前の土の圧縮

供試土の締め固め状態を変えるため、万能試験機でセン孔前に土を圧縮したが、圧縮圧力は1, 3, 5 kg/cm²の三種類とした。所定の圧力に達したあと2分間加圧状態を持続し、土の締め固めが十分に行なわれるようにした。

これらの圧力で圧縮したときの供試土の間げき率、飽和度は第3表のようである。

ただし含水比25%の場合は圧縮圧力が5 kg/cm²の場合は、供試土が土槽の側板のすき間からもれ出たので、この圧力で土は完全に圧縮されてないと思われる。

第3表 間げき率および飽和度

| 含水比 (%) | 圧縮圧力 (kg/cm ²) | 間げき率 (%) | 飽和度 (%) |
|---------|----------------------------|----------|---------|
| 20 | 1 | 45.8 | 34.12 |
| | 3 | 43.2 | 40.00 |
| | 5 | 39.9 | 48.79 |
| 25 | 1 | 35.9 | 76.79 |
| | 3 | 34.8 | 81.00 |
| | 5 | 34.4 | 83.90 |

III. 実験結果および考察

土槽に入れた土を圧縮したのち、弾丸体を貫通させ、生じたきょ孔直上の土表面にW型およびC型の載荷板を乗せ万能試験機で加圧し、きょ孔の縦径の縮小状態を測定した。またセン孔の際発生するきょ孔周辺のき裂は、きょ孔の強度にかなり影響をおよぼすと思われるのでその発生状況を調査した。

第4表 側方せん断破壊面発生状況

(1) セン孔による土のき裂の発生状況

弾丸体のセン孔により発生する土のせん断破壊には、きょ孔の側方向(きょ孔の半径方向)に生ずるものと、弾丸体の前進方向に生ずるものとがあり、両破壊面は連続しているようである。当実験ではきょ孔の半径方向に生ずるき裂(側方せん断破壊面とよぶことにする)の発生状況を調査したが、その結果は第4表のようである。

含水比20%, セン孔深6 cmのときは弾丸体の先端角、土の圧縮圧力のいかに

| 深さ(cm) 圧縮圧力 (kg/cm ²) 含水比 (%) | | 6 | | | 9 | | | 15 | | |
|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
| | | 1 | 3 | 5 | 1 | 3 | 5 | 1 | 3 | 5 |
| 20 | 30 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● |
| | 90 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● |
| 25 | 30 | ○ | △ | △ | △ | △ | ● | ● | ● | ● |
| | 90 | △ | △ | △ | △ | △ | ● | ● | ● | ● |

○ セン断破壊の生じたもの

● " 生じないもの

△ セン断破壊が片側又は不明確なもの

かかわらずせん孔によりきょ孔の上部構造は完全に破壊された。せん孔深が9 cmのときは6 cmの場合ほどの破壊はみられなかったが、各弾丸体の先端角、土の圧縮圧力の場合ともき裂が生じた。せん孔深が15 cmになるとせん断破壊面はいずれの場合も生じなかった。つまり弾丸体の直径の5倍の深さにせん孔すると、せん断破壊は生じないことになる。

含水比が25%になると全般的にせん断破壊は発生しにくくなり、明らかにせん断破壊の生じたものは弾丸体先端角 30° 、せん孔深6 cm、土の圧縮圧力 1 kg/cm^2 の場合のみであった。

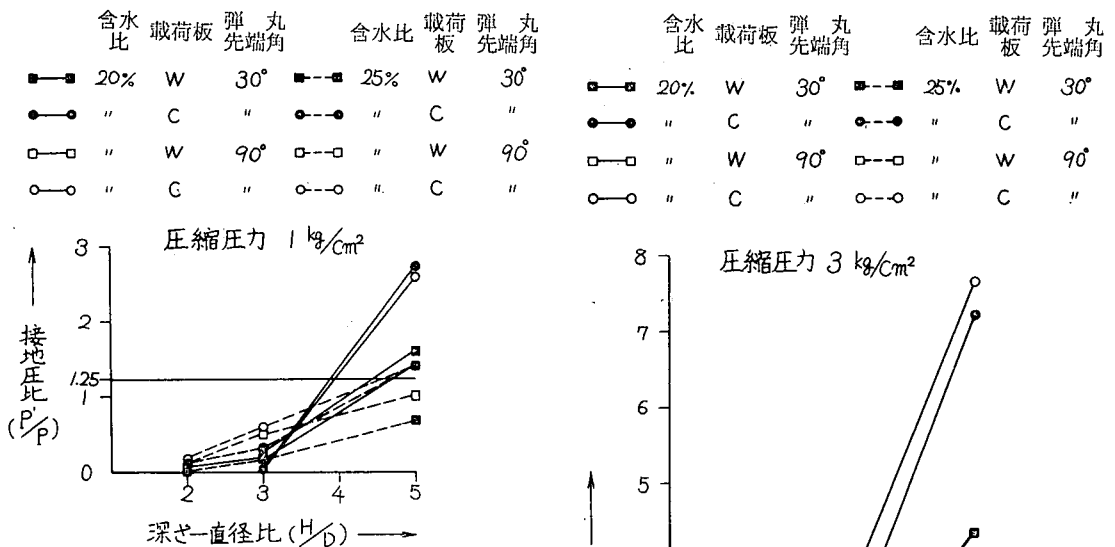
なお含水比が25%になるとせん孔後、きょ孔の縦径が $1/20 D \sim 1/4 D$ 縮小した。よって含水比が多い土地条件でせん孔する場合は、きょ孔の断面積は弾丸体の断面積よりかなり小さくなる。このことは庄司¹⁾、永石ら²⁾³⁾ にも調査していて、大体52~56%の縮小率を報告している。

(2) きょ孔が崩壊し始める場合(きょ孔の縦径の縮小 $1/6 D$)

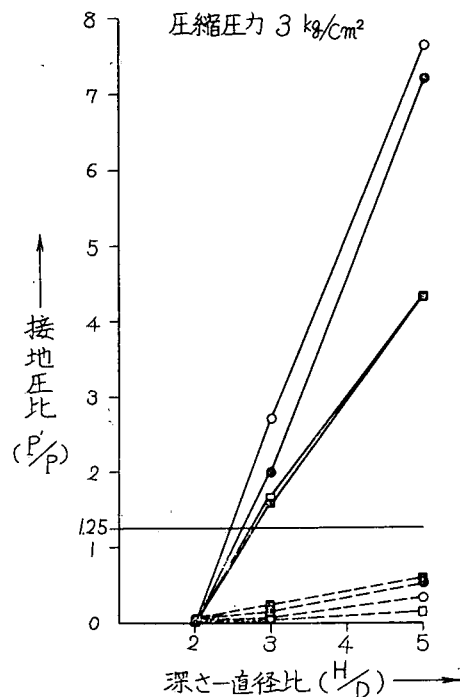
きょ孔の縦径が $1/6 D$ 縮小するときのせん孔深と土表面載荷重の関係を示せば第4図、第5図、第6図のようである。

各図はせん孔深 $H \text{ cm}$ を弾丸体の直径 $D \text{ cm}$ で除して H/D なる無次元量を横軸にとり、実験方法の(3)項でのべた載荷板に加えた圧力 $P' \text{ kg/cm}^2$ を、同項で計算した車輪型トラクタと装軌型トラクタの接地圧の値を $P \text{ kg/cm}^2$ として P' を除し P'/P なる無次元量を縦軸にとった。

H/D は弾丸体の直径の幾倍の深さにせん孔したかを示すもので、深さ一直径比と名付け、 P'/P



第4図 接地圧比と深さ一直径比の関係



第5図 接地圧比と深さ一直径比の関係

はトラクタの接地圧の幾倍の圧力をかけたかを示すもので接地圧比と名付けた。よって $P'/P=1$ は実際のトラクタの接地圧に等しい加圧力がかけられたことを示し、 $P'/P>1$ および $P'/P<1$ はそれぞれW型またはC型の静的接地圧より大きい加圧力、および小さい加圧力がかけられたことになる。ゆえに、測定値が $P'/P=1$ の線より上部にあるときはW型またはC型トラクタの静止重量に対して安全であり、下部にあるときは崩壊し始めることになる。

ロームあるいは粘土の動的強度は静的強度にくらべ減少し、その強度低下は主として衝撃き加速度に支配される⁷⁾。

ほ場でトラクタが走行する場合は、きょ孔に動的荷重がかかるが、動的接地圧の測定はできないので、本論文では測定した静圧に衝撃き係数を乗じて動圧に換算することにした。

衝撃き係数としては一般に $0.25^{10)}$ が用いられるので、 $P'/P=1.25$ のとき動的接地圧と等しい圧力が土表面載荷されたことになり、これをきょ孔が動的接地圧に対し安全であるか、崩壊し始めるかの基準とした。

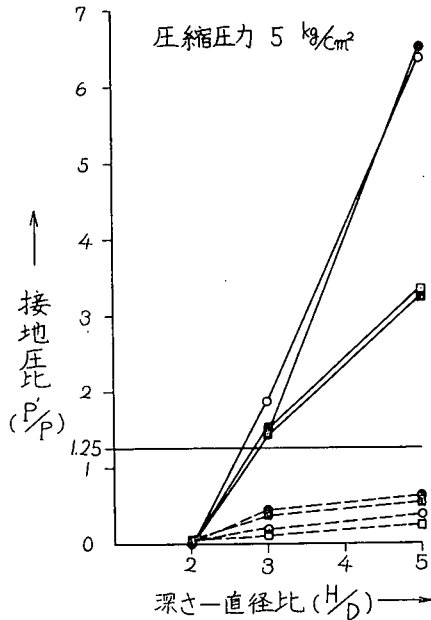
第4, 5, 6 図より、含水比20%で、土の圧縮圧力が 1 kg/cm^2 の場合は、弾丸体先端角が 30° , 90° とともにC型は $H/D=4.0$ 以上、W型は $H/D=4.8$ 以上になると測定値の P'/P の値は1.25以上になる。つまり動圧に対してもきょ孔は崩壊し始めない。土の圧縮圧力が $3, 5 \text{ kg/cm}^2$ になると弾丸体の先端角 30° , 90° , W型, C型とも $H/D=2.5\sim 3$ 以上になるときょ孔は崩壊し始めないことがわかる。

W型とC型をくべると、C型の方が $P'/P=1.25$ の線に対して H/D の値は小さくてよいようである。つまりC型の方が安全である。

弾丸体の先端角の点からみれば、含水比20%の場合は土の圧縮圧力 3 kg/cm^2 で、C型の場合 90° の方が幾分 P'/P の値が大ききょ孔が強いような傾向もうかがわれるが、含水比が25%になると逆の傾向もうかがわれ、全般的にみて弾丸体の先端角と P'/P の値の間に一定の傾向はないようである。

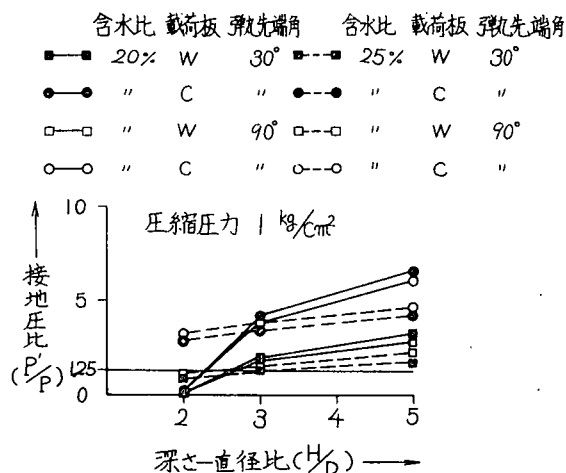
含水比が大きくなると (25%), 全般的に H/D に対する P'/P の値は減少している。土の圧縮圧力 1 kg/cm^2 の場合、弾丸体の先端角の大小に関係なくC型は動圧に対して $H/D=4.8$ 以上できょ孔は崩壊し始めないが、W型は $H/D=5$ でも崩壊し始めている。土の圧縮圧力が $3, 5 \text{ kg/cm}^2$ になると、弾丸体先端角の大小、W型, C型の別に関係なくすべての場合 $H/D=5$ でもきょ孔は崩壊し始めている。含水比が大きい場合は土の圧縮圧力を高めると、飽和度が大きくなり土は流動性を帯び始めるためと思われる。

| 含水比 | 載荷板 | 弾丸先端角 | 含水比 | 載荷板 | 弾丸先端角 |
|-----|-----|------------|-----|-----|------------|
| 20% | W | 30° | 25% | W | 30° |
| " | C | " | " | C | " |
| " | W | 90° | " | W | 90° |
| " | C | " | " | C | " |

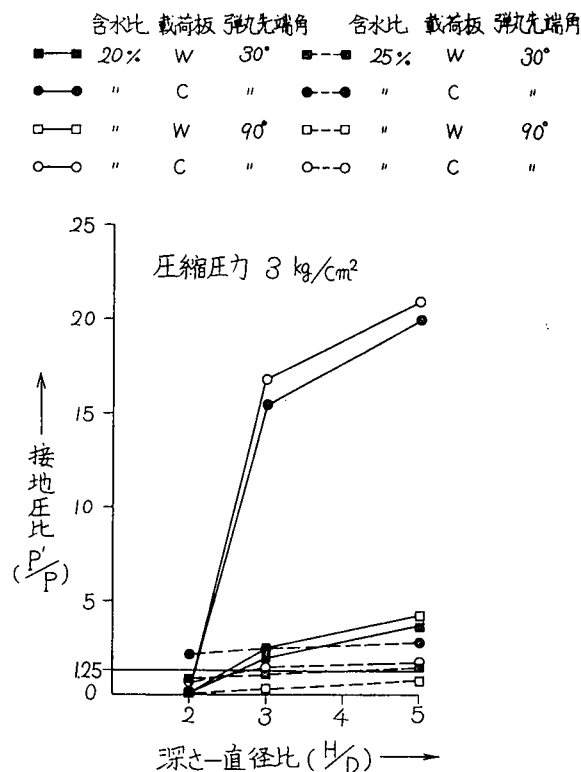


第6図 接地圧比と深さ一直径比の関係

第4図の土の圧縮圧力 1 kg/cm^2 の場合のみは、 $H/D=3$ 以下で含水比が25%の方が20%の場合よりもきょ孔の強度は大きいようであるが、 $H/D=5$ になると20%の方が強度は大きくなっている。これは含水比が小さいと土の圧縮圧力 1 kg/cm^2 、 $H/D=3$ 以下の場合、弾丸体のせん孔によりきょ孔上部の土壌構造の破壊が、含水比の大きいときより著しいものと推察される。第4表にその傾向が幾分うかがわれる。



第7図 接地圧比と深さ一直径比の関係



第8図 接地圧比と深さ一直径比の関係

(3) きょ孔が崩壊する場合 (きょ孔の縦径の縮小 $\frac{1}{2}D$)

(2) のきょ孔が崩壊し始める場合と同じ方法で実験を行なった。その結果は第7図、第8図、第9図のようで、(2)の場合と同様に縦軸に接地圧比 (P'/P)、横軸に深さ一直径比 (H/D) をとり、 $P'/P=1$ で静的載荷圧力 (W型、C型トラクタの静的接地圧) に対する、 $P'/P=1.25$ で動的載荷圧力 (W型、C型トラクタの動的接地圧) に対するきょ孔の崩壊の基準とした。

$H/D=2$ の場合を除いては含水比が小さい方が多い方よりもきょ孔の強度は大きい。

含水比20%の場合は、土の圧縮圧力 1 kg/cm^2 のときW型で $H/D=3.0$ 以上、C型で $H/D=2.5$ 以上であればきょ孔は崩壊しない。圧縮圧力が $3, 5 \text{ kg/cm}^2$ になるときょ孔の強度は増大し、W型は $H/D=2.5$ 以上、C型では $H/D=2.25$ 程度でも動圧に対し安全である。

含水比が25%と大きくなると全般的にきょ孔の強度は減少するが、C型の場合は $H/D=2$ でも崩壊しない場合がある。しかしW型の場合は圧縮圧力 1 kg/cm^2 の場合を除いては $H/D=3$ でも安全とはいえず、 $H/D=5$ でも崩壊をきたすものがある。

全般的に $H/D=2$ の場合、各圧縮圧力とも含水比が25%の方が20%の場合よりもきょ孔が強い傾向がある。この傾向は(2)のきょ孔の縦径の縮小 $\frac{1}{2}D$ の項でも圧縮圧力 1 kg/cm^2 のときみられたが、これと同様に含水比が大きくなると、せん孔による上部土層のせん断破壊が生じにくくなるためと思われる。(第4表参

照)

載荷板の相違ときょ孔の強度の関係は、いずれの場合もC型の方がW型より安全であることは明らかである。

弾丸体先端角ときょ孔の強度の関係は、含水比が20%で圧縮圧力 1 kg/cm^2 の場合、 $H/D=2$ では明らかでないが、 $H/D=3, 5$ となると 30° の方がきょ孔は幾分強いようである。圧縮圧力が $3, 5 \text{ kg/cm}^2$ となると 90° の方がかえって P'/P の値は大きくなっている。含水比が25%になると20%の場合と正反対の現象を示し、圧縮圧力 1 kg/cm^2 で $H/D=2, 3, 5$ とも 90° の方がきょ孔は強いが、圧縮圧力が $3, 5 \text{ kg/cm}^2$ となると 30° の方が P'/P の値は大となっている。

第4表で上記のことは幾分うかがわれるが、一般に弾丸体の先端角の小さい方が弾丸体の貫入によって前方に圧縮された土が弾丸体の周囲に沿って流れやすく、土におよぼす半径方向の圧力が増大するためきょ孔は半径方向にせん断されやすく、理論的にもこのことが考えられる¹¹⁾。ゆえに先端角 30° の弾丸体でせん孔したきょ孔が 90° の場合よりも弱いと思われるが、実験結果は必ずしもそうでない。

これはきょ孔上部土層が弾丸体の貫入によりせん断され、土が盛り上がった場合でも、上載荷重を増加していくと、初期段階ではきょ孔上部の盛り上がりのため、きょ孔の縦径の縮小は早い、 $1/2 D$ まで縮小するにはかなりの抵抗を示すためと思われる。

結論として弾丸体の先端角ときょ孔の強度の間には一定の関係はないといえよう。

以上を総合して考えるに、せん孔深が深いほど、せん孔時の土の締めり方が大であるほど、含水比が小さいほど弾丸暗きょのきょ孔は上載荷重に対して強いといえる。

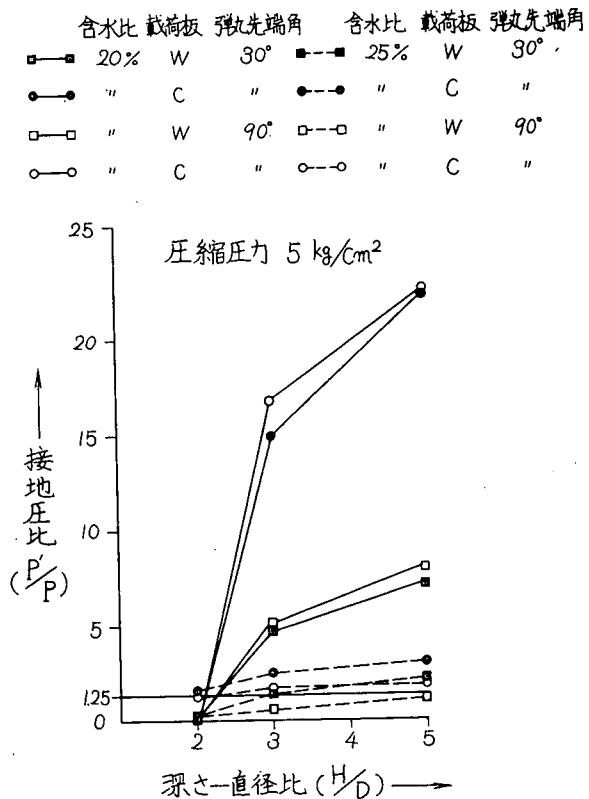
上載荷重に対して安全なせん孔深さ一直径の大略値を総合してとりまとめると第5表のようになる。この表の値に弾丸体の直径を乗ずればW型、C型トラクタの静止重量または走行に対して安全なきょ孔の深さが求められることになる。

なお砂質ロームについても当実験と同様な実験を行なったので、その結果のうち動的荷重に対して安全なせん孔深さ一直径比を第6表に示す。

第5表と第6表をくらべると砂質ロームのきょ孔の強度は粘土ロームの場合よりかなり小さいようである。

なお表中せん孔深さ一直径比の値が5.0以上のものは、各グラフを直線的に延長して求めた推定値である。

当実験では暗きょの深さと上載荷重に対する強度の関係を求めたのであるが、ただ単に深くせん孔すればよいというものではなく、たとえ強度や耐用性は低くても、排水能力、施工の難易を考慮してせん孔深を決定すべきである。たとえば地表水の急速な排除を望むような場合は、強度は劣っ



第9図 接地圧比と深さ一直径比の関係

第5表 上載荷重に対して安全な暗きょのせん孔深さ一径径比(粘土ロームの場合)

| 圧縮圧力 (kg/cm ²) | 含水比 (%) | 弾丸先端角 (°) | 載荷板 | きょ孔の縦径が $\frac{1}{10}$ 縮小の場合 | | きょ孔の縦径が $\frac{1}{2}$ 縮小の場合 | |
|-------------------------------|------------|--------------|--------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | | 静的荷重に対して安全な深さ一径径比 | 動的荷重に対して安全な深さ一径径比 | 静的荷重に対して安全な深さ一径径比 | 動的荷重に対して安全な深さ一径径比 |
| 1 | 20 | 30 | W C | 4.3以上 3.8 | 4.5以上 4.0 | 2.8以上 2.3 | 2.8以上 2.5 |
| | | 90 | W C | 4.5 3.8 | 4.8 4.0 | 2.8 2.3 | 3.0 2.5 |
| | 25 | 30 | W C | 6.3 4.3 | 7.0 4.8 | 2.5 2.0 | 3.5 2.0 |
| | | 90 | W C | 5.0 4.0 | 5.8 4.8 | 2.0 2.0 | 2.5 2.0 |
| 3 | 20 | 30 | W C | 2.8 2.5 | 3.0 2.8 | 2.5 2.3 | 2.8 2.3 |
| | | 90 | W C | 2.8 2.5 | 2.8 2.5 | 2.5 2.3 | 2.5 2.3 |
| | 25 | 30 | W C | 7.0 7.5 | 8.0 9.0 | 3.0 2.0 | 5.0 2.0 |
| | | 90 | W C | 10.0 9.5 | 14.0 11.5 | 5.5 2.5 | 6.5 3.0 |
| 5 | 20 | 30 | W C | 2.8 2.8 | 3.0 3.0 | 2.3 2.3 | 2.5 2.3 |
| | | 90 | W C | 2.8 2.8 | 3.0 2.8 | 2.3 2.3 | 2.5 2.3 |
| | 25 | 30 | W C | 10.0 9.0 | 12.0 10.5 | 2.8 2.0 | 3.0 2.0 |
| | | 90 | W C | 15.0 12.5 | 19.0 16.5 | 5.0 2.0 | 5.5 2.3 |

第6表 上載荷重に対して安全な暗きょのせん孔深さ一径径比(砂質ロームの場合)

| 圧縮圧力 (kg/cm ²) | 含水比 (%) | 弾丸先端角 (°) | 載荷板 | きょ孔の縦径が $\frac{1}{10}$ 縮小の場合 | きょ孔の縦径が $\frac{1}{2}$ 縮小の場合 |
|-------------------------------|------------|--------------|--------|------------------------------|-----------------------------|
| | | | | 動的荷重に対して安全な深さ一径径比 | 動的荷重に対して安全な深さ一径径比 |
| 1 | 15 | 30 | W C | 5.8 以上 4.7 | 3.5 以上 2.0 |
| | | 90 | W C | 6.1 5.5 | 3.5 2.5 |
| | 20 | 30 | W C | 10.0 10.0 | 10.0 3.5 |
| | | 90 | W C | 10.0 10.0 | 10.0 3.5 |

| 圧縮圧力 (kg/cm ²) | 含水比 (%) | 弾丸先端角 (°) | 載荷板 | きょ孔の縦径が $\frac{1}{2}$ 縮小の場合 | きょ孔の縦径が $\frac{1}{2}$ 縮小の場合 |
|-------------------------------|------------|--------------|--------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | | 動的荷重に対して安全な深さ一直径比 | 動的荷重に対して安全な深さ一直径比 |
| 3 | 15 | 30 | W C | 6.2 5.1 | 3.0 2.5 |
| | | 90 | W C | 4.5 3.9 | 3.5 3.5 |
| | 20 | 30 | W C | 10.0 10.0 | 10.0 3.5 |
| | | 90 | W C | 10.0 10.0 | 7.0 3.0 |
| | 5 | 30 | W C | 4.0 3.8 | 3.5 3.0 |
| | | 90 | W C | 4.9 4.2 | 3.5 3.5 |
| 5 | 20 | 30 | W C | 10.0 10.0 | 5.0 3.0 |
| | | 90 | W C | 10.0 10.0 | 6.0 5.5 |

でも浅くした方が有利と思われ、たとえすぐに崩壊しても、トラクタで毎年でもせん孔するように考えるのも必要であることを最後に付記する。

IV. 摘 要

当実験は弾丸暗きょの強度に関する基礎的研究であり、粘土ロームを用いて、含水比、土の締め固め程度、せん孔深、弾丸体の先端角、土表面載荷圧、載荷板の形などの相違による暗きょの強度の関係について調査した。その結果は次のようである。

(1) 全般的に土の含水比の小さい場合が、大きい場合よりきょ孔の強度は大きい。

(2) 全般的に弾丸体の先端角は、暗きょの強さとあまり関係はない。

(3) 暗きょが崩壊し始める場合：含水比20%、土の圧縮圧力 1 kg/cm² の場合、車輪型トラクタの動的接地圧に対し $H/D \geq 4.8$ (H はせん孔深 cm, D は弾丸体の直径 cm)、装軌型トラクタの動的接地圧に対し $H/D \geq 4.0$ できょ孔は安全であり、土の圧縮圧力が 3, 5 kg/cm² の場合には、車輪型、装軌型トラクタに対し $H/D \geq 2.5 \sim 3.0$ で安全である。含水比が25%のときは、土の圧縮圧力 1 kg/cm² で車輪型に対し $H/D = 5.0$ でも安全でないが、装軌型に対しては $H/D \geq 4.8$ で安全である。土の圧縮圧力が 3, 5 kg/cm² になると $H/D = 5.0$ でも、車輪型、装軌型に対しすべてのきょ孔は安全でない。

(4) 暗きょが崩壊する場合：含水比20%のとき、土の圧縮圧力が 1, 3, 5 kg/cm² の場合とも、大体車輪型に対し $H/D \geq 3.0$ で、装軌型で $H/D \geq 2.5$ できょ孔は十分な強度を有する。含水比が25%のときは、各土の圧縮圧力の場合とも装軌型に対しては $H/D \geq 2 \sim 3.0$ で安全であるが、車輪型に対しては $H/D = 5.0$ でも安全でない。

(5) 含水比が25%以上になると、弾丸暗きょをせん孔する場合、せん孔後きょ孔の断面積がかなり収縮し強度も減少する。

参 考 文 献

- 1) 庄司英信, 長崎明, 石川武男, 湧井学: もぐら暗キヨに関する研究 (Ⅲ), 農土研, 第27巻, 第3号, 昭34, p. 1~7
- 2) 永石義隆, 山下恒雄: 機械化水田におけるモグラ暗キヨの耐用性について (1), 農土誌, 第35巻, 第6号, 昭42, p. 3~6
- 3) 永石義隆: 同上 (2), 農土誌, 第36巻, 第1号, 昭43, p. 11~14
- 4) 農業機械学会: 農業機械ハンドブック, コロナ社, 昭32, p. 474
- 5) 農用トラクタカタログ, 陸用内燃機関協会, 1963, p. 12
- 6) 庄司英信, 長崎明, 石川武男, 湧井学, 佐野文彦: もぐら暗キヨに関する研究 (Ⅰ), 農土研, 第25巻, 第1号, 昭32, p. 6~11
- 7) 庄司英信: 農業機械学概論, 養賢堂, 昭39, p. 80
- 8) 川延謹造, 三枝浩三: 大型トラクタとその利用, 昭38, p. 62
- 9) 村山朔郎, 谷本喜一: 軟弱な支持層を有する粒体層の振動性状について, 土木学会誌, 第41巻, 第3号, 1956, p. 1~9
- 10) 土木学会: 土木工学ハンドブック, 丸善, 昭37, p. 550
- 11) 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

(昭和44年9月19日受理)