

弾丸暗きょせん孔時の土壤水分の影響について

小 嶋 和 雄
(農学部農業機械学研究室)

The Effect of the Water Content of Soil when the Mole Drainer is operating

Kazuo KOJIMA

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture)

Abstract

It is necessary to know the effect of water content of soil on piercing resistance of ball and shrinkage of hole when the mole drainer is operating.

Accordingly I measured the piercing resistance of ball and the cross-sectional area of hole by making use of model drainer for sandy loam, which varied the water content and the compressed pressure of soil.

The results are as follows:

- 1) Maximum value of the piercing resistance was obtained when the water content of soil was less than the plastic limit.
- 2) The piercing resistance increased with the increase of the piercing depth. But there was no difference that was caused by the piercing depth at the water content over the plastic limit.
- 3) After piercing, the cross-sectional area to decreased, and therefore its shape changed to an ellipse whose vertical diameter is longer than horizontal diameter.
- 4) The shrinkage of hole increased with the increase of the water content and the piercing depth.
- 5) The shrinkage of hole was independent of the hardness of soil.
- 6) Considering on the shrinkage of hole and the strength of hole, piercing of the mole drain is desirable in to a little hard soil layer when the water content is less than the plastic limit.

結 言

弾丸暗きょおよびせん孔機に関する研究はこれまで数多くなされているが、せん孔時の土壤水分の多少とせん孔機の特長またはきょ孔の状態との関係を主目的とした研究はあまり見当たらない。

土壤水分の多少はせん孔作業の難易、せん孔機の性能、きょ孔の形状などに大きく影響すると思われるが、ほ場実験においては土壤水分を希望する量に自由に均一に変化させることは不可能に近い。

そこで模倣実験装置を用い、供試土の含水比を変えた場合の弾丸体のせん孔抵抗の増減、きょ孔の形状変化の状況を調査したので報告する次第である。

第1部 土の含水比とせん孔抵抗

実 験 方 法

内容積 140×450×245 mm (長さ×幅×高さ)、厚さ 5 mm の鉄製箱の中に供試土を入れ、その上

に土表面積に等しい大きさの載荷板をのせ、万能試験機（島津式 RH30 型 30 t）で加圧した。荷重は 630 kg としたがこれは 1 kg/cm^2 の圧縮圧力に相当する。加圧は土が十分圧縮されるまで行なう必要があるが、2 分間の加圧で土表面の沈下はなくなるので加圧時間は 2 分間とした。加圧終了後箱の長辺壁面（長さ 450 mm の面）中央部の相対する部分の鉄板（幅 5 cm）を取りはずし、この一面に模型弾丸体を取り付けた押し込み式土壌硬度計（関東東山農試式）を装着し、この硬度計の操作により弾丸体を供試土の一面より他面に向け貫通させた。

弾丸体の前進速度は 3~5 mm/s とし、せん孔深さは弾丸体の最大直径 (3 cm) の 2 倍、3 倍、5 倍のところ、すなわち 6, 9, 15 cm とした。



Fig. 1. Experimental apparatus.

せん孔抵抗の測定には、前述の硬度計の自記装置のかわりに外径 17 mm、内径 12.5 mm、長さ 40 mm の軟鋼円筒にクロスゲージをはりつけたものをピックアップ装置としてとりつけ、ストレインメータ、ペン書きオシログラフでひずみを記録しせん孔抵抗を求めた。なお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鋼球をそう入した。せん孔抵抗は弾丸体が土中に貫入し始めてから貫入終了までの間の最高値を採用した。Fig. 1 に実験装置を示す。

模型弾丸体の材質は軟鋼で表面は旋盤による普通仕上げをしたのち、No. 10 のサンドペーパーで研磨した。

弾丸体の先端角度は 30° , 60° , 90° の 3 種類とした。

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を用いた。(Table 1 参照) 含水

Table 1. Physical property of soil

Maximum water holding capacity (%)		36.0
Plastic limit (%)		23.1
Liquid limit (%)		28.1
True specific gravity		2.70
Grading (%)		
Gravel	2.0 mm <	0
Sand	0.074~2.0 mm	50.0
Silt	0.005~0.074 mm	35.0
Clay	0.005 mm >	15.0

比は 14, 17, 20, 23% に変化させたが、23% の場合 1 kg/cm^2 の圧力をかけると、箱のすき間からわずかに水がしみ出るようであったが、含水比に影響をおよぼす程ではなかった。

含水比は 14% から 3% ずつ増加させた。まず含水比が 14% になるように水を少量ずつ加え、よくかきまぜて水が土全体に均一に分布するのをまって供試した。つまり土にビニールをかぶせ 24 時間以上密閉状態で放置した。3% ずつ含水比を増加させる場合もそのたびに同様な処置をした。実験中は含水比をできるだけ一定に保つように管理し、各実験の前後に赤外線水分計 (Ketto) で測定した。含水比の基準はそれぞれ 14 ± 0.5 , 17 ± 0.5 , 20 ± 0.5 , 23 ± 0.5 とした。供試土の圧縮圧力を 1 kg/cm^2 としたのは、(1) 供試土を実際のほ場によく似た固さにするため、(2) 圧縮圧力を大きくすると含水比が大きい場合に箱のすき間から水が流出し、含水比が変化するのでこれを防止するためである。種々の圧縮圧力、含水比について予備実験をした結果 1 kg/cm^2 に決定した。

各含水比のときのコーン支持力を示すと、Table 2 のようである。含水比 23% の場合は非常に小さな値しか示さなかった。参考のために農学部水田（水稲刈跡、砂質粘土ローム、含水比 15~20%）におけるコーン支持力の測定結果（1 月測定）を示すと Table 3 のようで、供試土の方が多少柔らかいようであるが、大体において等しいとみてよいであろう。

Table 2. Cone bearing capacity (kg/cm²)

Depth (cm)	Water content (%)			
	13.7	16.8	20.2	23.3
6	3.1	4.0	2.8	—
9	5.0	5.3	3.0	—
15	5.6	5.6	3.0	—

Table 3. Cone bearing capacity of paddy field (kg/cm²)

Depth (cm)	Measured value								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mean
5	3.3	3.3	3.3	2.9	2.9	2.1	2.9	2.1	2.8
10	4.5	6.4	7.2	3.7	7.6	5.0	5.6	6.3	5.8
15	6.3	7.6	—	—	—	7.3	7.2	8.0	7.3

供試土の間げき率、飽和度は供試土を 1 kg/cm² の圧力で圧縮したのち深さ 6, 9, 15 cm のところの土を採取測定したが、Table 4 のように深さによる相違はみられず、前述のコーン支持力も深さ

Table 4. Porosity and degree of saturation

Water content (%)	Porosity (%)	Degree of saturation (%)
13.6	48.0	41.0
16.9	47.3	49.7
19.8	40.7	78.1
23.2	40.4	92.8

による差は少なく、土の圧縮は均等になされているものとみてよいと思う。

供試土の内部摩擦角および粘着力を示すと Table 5 のようである。

Table 5. Angle of internal friction and shearing strength

Water content (%)	Angle of internal friction	Cohesion (kg/cm ²)	Shearing strength (kg/cm ²)
13.6	41°09'	0.19	$\tau = 0.87\sigma + 0.19$
17.3	40°48'	0.22	$\tau = 0.86\sigma + 0.22$
19.8	20°42'	0.31	$\tau = 0.38\sigma + 0.31$
23.3	9°28'	0.14	$\tau = 0.17\sigma + 0.14$

実験結果および考察

(1) 弾丸体の先端角度 30° の場合

Fig. 2 よりせん孔深さが 6, 9, 15 cm (弾丸体の最大直径は 3 cm であるので、これを D とすれば前記の深さは 2D, 3D, 5D とあらわせう。以下かように書く) いずれの場合も、せん孔抵抗は含水比が 17% のとき最大値を示しており、せん孔深 2D で 29.0 kg, 3D で 30.0 kg, 5D で 37.5 kg であった。

このことは供試土のコーン支持力 (Table 2), せん断強さ (Table 5) が含水比 17% 近くで最も大きくなっていることと関連があると思われる。

またせん孔深が深いほど抵抗は大きい。

含水比が 20% 以上になるとせん孔抵抗は急速に減少している。Table 4 より含水比が 19.8, 23.2 % のときの間げき率はそれぞれ 40.7, 40.4% と小さくなり、飽和度は反対に 78.1, 92.8% と増加していて、空げきが水で満たされることによる土の摩擦力の減少がせん孔抵抗を減少させたものと思われる。Table 5 の土のせん断強さからみても、含水比の増加によるせん孔抵抗の減少がうかがわ

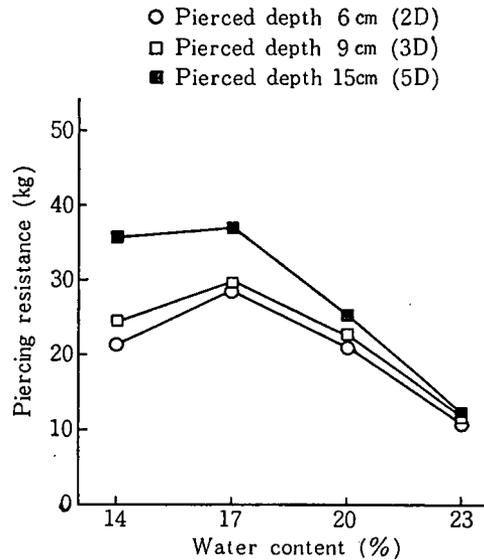


Fig. 2. Relation between water content and piercing resistance. (Extreme angle of ball is 30 deg.)

れる。さらにせん孔深によるせん孔抵抗の差もほとんどなくなる。

一方含水比が14%と小さくなくてもせん孔抵抗は減少している。これはコーン支持力の傾向と同じである (Table 2 参照)。Table 5 のせん断強さをみると σ が 3 kg/cm^2 以上になると 13.6%の方が 17.3%の場合より土のせん断強さが強くなる。試験結果からもせん孔深さが深くなるに従って含水比の差によるせん孔抵抗の差が小さくなっている。実際上 σ が 3 kg/cm^2 になる土の深さは不明であるが、せん孔深がある限度以上になると含水比が 13.6%の場合の方が抵抗が大きくなるものと思われる。

せん孔によって生ずるきょ孔上部土層のせん断破壊は Table 6 より、含水比が 20% 以上になる

Table 6. Existence of shear crack (Extreme angle of ball is 30 deg.)

Depth (cm)	Water content (%)			
	14	17	20	23
6 (2D)	○	○	×	×
9 (3D)	○	○	×	×
15 (5D)	×	×	×	×

○: Existence
×: Unexistence

と発生しない。含水比が大きくなると土の可塑性が強くなり (塑性限界は 23.1%) せん断抵抗の減少が著しく、せん断破壊よりも塑性変形となる。含水比 14% の場合が 17% の場合にくらべ土表面の盛り上がりが大きく、破壊された土塊も大きかった。

せん孔深が 5D となるとせん断破壊面は生じないが、これはせん孔深が深くなると上部土圧の増加のため含水比が小さくても破壊されにくくなるものと思われる。せん孔深 2D の場合は、含水比が 14, 17% の場合とも弾丸体の貫入と同時にせん断破壊面を生じ土表面も盛り上がった。3D の場合も 2D の場合と同じような現象がみられたが、土表面の盛り上がりは幾分小さいようであった。

せん孔深が増大するとせん孔抵抗が大きくなるのは、せん断破壊の有無、土表面の盛り上がりの大小に関係すると思われる。

含水比が多くなるとせん孔深が増加してもせん孔抵抗の差が少ないのは、せん断抵抗の差がなく

なり塑性変形のための抵抗の差となるためと思われる。

(2) 弾丸体の先端角度 60° の場合

弾丸体の先端角度が 30° の場合と同じような傾向を示している。(Fig. 3 参照)。

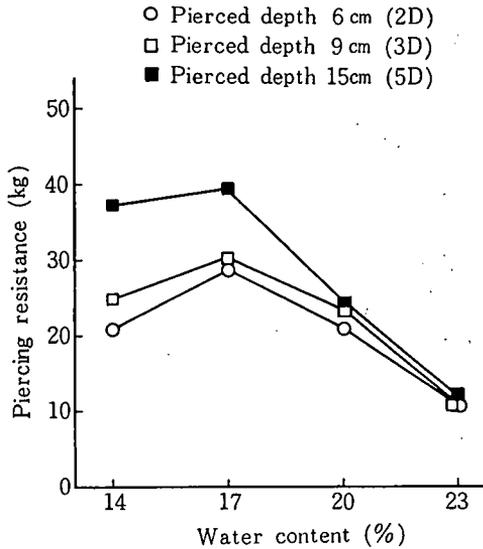


Fig. 3. Relation between water content and piercing resistance. (Extreme angle of ball is 60 deg.)

せん孔抵抗の最大値は含水比が 17% のときで、せん孔深 2D で 28.3 kg, 3D で 30.5 kg, 5D で 39.7 kg であった。せん孔抵抗を先端角度 30° の場合と比較すると、せん孔深が 2D, 3D のときは大差はないが、5D になると 60° の場合が抵抗は大きくなっている。しかし含水比が 20% 以上になると抵抗の差はほとんどなくなる。

Table 7. Existence of shear crack (Extreme angle of ball is 60 deg.)

Depth (cm)	Water content (%)			
	14	17	20	23
6 (2D)	○	○	×	×
9 (3D)	○	○	×	×
15 (5D)	×	×	×	×

○: Existence
 ×: Unexistence

せん断破壊面の発生も Table 7 のように、先端角度 30° の場合と同じ結果となった。

(3) 弾丸体の先端角度 90° の場合

Fig. 4 より、この場合も同じようにせん孔抵抗の最大値は含水比が 17% のときで、せん孔深 2D で 26.0 kg, 3D で 33.7 kg, 5D で 42.0 kg を示し、20%, 23% と含水比が増加すると抵抗は急減しせん孔深別の抵抗の差も少なくなる。

せん孔深 2D において、土のせん断破壊面および土表面の盛り上がりも Table 8 より、先端角度 30°, 60° の場合と同じように生じているが、せん孔抵抗は先端角度 30° の場合よりも含水比が 14% のとき 4 kg, 17% のとき 3 kg 減少している。せん孔深 3D では含水比 14% で 1.0 kg, 17% で 3.7 kg 先端角度 30° の場合よりせん孔抵抗が増加し、先端角度 60° の場合の抵抗よりも大きくなった。せん孔の際生ずる土のせん断破壊の発生は遅く、土表面の盛り上がりもごく少なくなった。せん孔深 5D ではせん孔抵抗は先端角度 30°, 60° の場合よりも大きく、含水比 17% の場合それぞれ 4.5 kg,

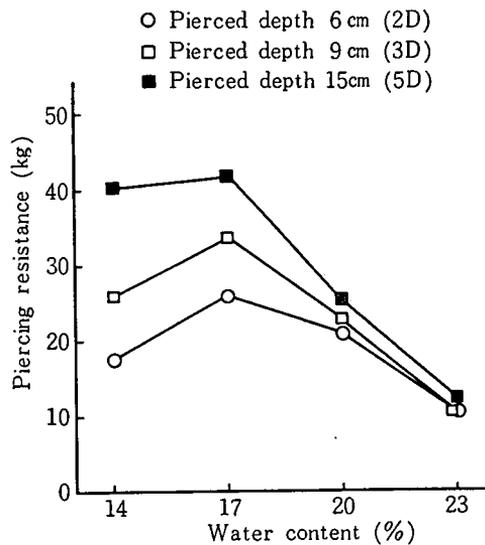


Fig. 4. Relation between water content and piercing resistance. (Extreme angle of ball is 90 deg.)

Table 8. Existence of shear crack (Extreme angle of ball is 90 deg.)

Depth (cm)	Water content (%)			
	14	17	20	23
6 (2D)	○	○	×	×
9 (3D)	○	○	×	×
15 (5D)	×	×	×	×

○: Existence
×: Unexistence

2.3kgの増加量を示した。この場合は土のせん断破壊面も土表面の盛り上がりも全く生じなかった。

以上のことは弾丸体の先端角に関する実験¹⁾で同じような傾向の結果を得ている。つまりせん孔深が浅い場合先端角度が小さい方がせん孔抵抗が大きいのは、せん孔深が浅いと上部土層が崩壊するので先端角度が大きいても弾丸体の先端部に土くさびが生ずることはなく、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。せん孔深が深くなると土のせん断破壊も土表面の盛り上がりも少なくなるか全く生じないようになり、弾丸体の先端角度が大きいと土くさびが先端部につくのでせん孔抵抗が増大したものである。

以上せん孔抵抗におよぼす含水比の影響に関する実験結果について総合的に考察するに、弾丸暗きょせん孔機の弾丸体のせん孔抵抗は、土の含水比の大小に著しく影響され、塑性限界以下の含水比で最大値を示した。またせん孔抵抗の大小は土のせん断強さ、コーン支持力の大小と関連が大きい。

ニコルス²⁾がプラウのけん引抵抗を測定した結果は、土の塑性範囲内で最大値を示しているようである。プラウの場合は土のせん断抵抗の外に粘着力も抵抗の主要な因子になると考えられるので上記のような結果になったと思われる。弾丸体の場合にはせん孔抵抗についてのみ考えると含水比が多い方が有利であるが、きょ孔の縮小を考慮する必要がある。

なおせん孔後のきょ孔の強度は塑性限界より含水比が小さいときが有利である。³⁾

弾丸体の先端角度の影響は含水比が小さいときは大きいので、せん孔により土表面が盛り上がらないような深いせん孔のときは小さい方(例えば30°)が有利であり、土表面が盛り上がるような浅いせん孔のときは大きい方が有利である。

第2部 土の含水比ときょ孔の収縮

実験方法

(1) きょ孔の直径の測定

前記の弾丸体のせん孔抵抗の測定に用いた鉄製箱、土壤硬度計を用い全く同じ方法で土を圧縮しせん孔した。ただし模型弾丸体は先端角度が30°のもののみを使用した。せん孔深は6, 9, 12, 15 cmの4種としたが、せん孔深のあらわし方は前記の実験と同様2D, 3D, 4D, 5D(Dは弾丸体の最大直径, D 3 cm)とする。

せん孔後のきょ孔の収縮状態を知るためのきょ孔の直径の測定は、せん孔後ダイヤルキャリパ(測定範囲10~90 mm, 最小目盛0.1 mm)を用いて行なった。予備実験の結果せん孔後3分間ほど経過すればキャリパの目盛にあらわれるようなきょ孔の収縮はなくなるので、きょ孔の直径測定はせん孔後3分間経過してから行なった。

きょ孔の直径は垂直方向(以後V方向とする)と水平方向(以後H方向とする)の2方向測定したが、両者の値は等しくない。つまり円形のまま収縮せずだ円に近い形となるので、きょ孔の断面積の計算はだ円とみなして行なった。

きょ孔の直径はせん孔始点面より3, 6, 9, 12 cmの4箇所測定し、その平均値をもってあらわすことにした。なお含水比が小さい場合は、弾丸体の進行方向の前方のきょ孔の破壊が生じたので12 cmのところの測定はできなかった。また実験結果として表示した値はせん孔10回の集計結果である。

(2) 供試土

供試土は前項の実験に用いた土と同種の土であるが、土量が不足し他の土を加えたため Table 9 のように物理性が多少変化した。土性は砂質ロームであった。

Table 9. Physical property of soil

Maximum water holding capacity (%)		35.8
Plastic limit (%)		20.0
Liquid limit (%)		30.6
True specific gravity		2.69
Grading (%)		
Gravel	2.0 mm <	0
Sand	0.05~2.0 mm	61.3
Silt	0.005~0.05 mm	22.3
Clay	0.005 mm >	16.4

含水比も前項の実験と同じように14, 17, 20, 23%の4種とし、含水比の変え方、土の管理の仕方、含水比の許容範囲なども前項に準じた。

せん孔前の供試土の固さを変えるため0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/cm²の4種の圧力で圧縮した。このときのコーン支持力をコーンペネトロメータで測定した結果は Table 10 のようで、深さによるコ

Table 10. Cone bearing capacity (kg/cm²)

Compressed pressure (kg/cm ²)	Water content (%)			
	14	17	20	23
0.5	2.0	1.5	0.86	—
1.0	6.1	3.1	1.23	—
1.5	8.0	5.0	1.63	—
2.0	10.6	6.4	1.82	—

ーン支持力の差はあまりなかった。また含水比が23%のときはコーン支持力はほとんど生じなかった。

各圧力で圧縮したのち、土の間げき率、飽和度を測定した結果は Table 11, Table 12 のようであ

る。深さ別の差はほとんどなく供試土はほぼ一様に圧縮されたとみてよいと思う。

Table 11. Porosity (%)

Compressed pressure (kg/cm ²)	Water content (%)			
	14	17	20	23
0.5	47.9	44.0	37.5	39.3
1.0	45.8	40.8	36.6	38.9
1.5	43.4	37.8	36.5	38.9
2.0	41.1	36.3	36.1	38.7

Table 12. Degree of saturation (%)

Compressed pressure (kg/cm ²)	Water content (%)			
	14	17	20	23
0.5	40.4	58.2	88.8	95.4
1.0	44.3	66.7	93.2	97.3
1.5	49.9	75.2	93.6	97.3
2.0	53.9	80.3	95.3	97.4

実験結果および考察

Table 13. The ratio of cross-sectional area of pierced hole to cross-sectional area of ball (Hole area ratio)

Water content (%)	Compressed pressure (kg/cm ²)	Pierced depth (cm)	Vertical diameter A (mm)	Horizontal diameter B (mm)	Cross-sectional area of hole (cm ²)	$\frac{B}{A} \times 100$ (%)	Hole area ratio (%)
13.9	0.5	2D	—	—	—	—	—
		3D	—	—	—	—	—
		4D	28.8	28.4	6.42	98.6	90.8
		5D	28.6	28.4	6.38	99.3	90.2
	1.0	2D	—	—	—	—	—
		3D	—	—	—	—	—
		4D	29.0	28.7	6.53	99.0	92.4
		5D	28.8	28.6	6.47	99.3	91.5
	1.5	2D	—	—	—	—	—
		3D	—	—	—	—	—
		4D	28.7	28.6	6.44	99.7	91.1
		5D	28.6	28.4	6.38	99.3	90.2
2.0	2D	—	—	—	—	—	
	3D	—	—	—	—	—	
	4D	28.6	28.6	6.42	100.0	90.8	
	5D	28.6	28.3	6.35	99.0	89.8	
17.1	0.5	2D	—	—	—	—	—
		3D	28.8	28.5	6.44	99.0	91.1
		4D	28.8	28.4	6.42	98.6	90.8
		5D	28.6	28.4	6.38	99.3	90.2
	1.0	2D	—	—	—	—	—
		3D	28.8	28.5	6.44	99.0	91.1
		4D	28.9	28.4	6.44	98.3	91.1
		5D	28.8	28.4	6.42	98.6	90.8
	1.5	2D	—	—	—	—	—
		3D	28.7	28.4	6.40	99.0	90.5
		4D	28.7	28.4	6.40	99.0	90.5
		5D	28.6	28.5	6.40	99.7	90.5
2.0	2D	—	—	—	—	—	
	3D	28.6	28.5	6.40	99.7	90.5	
	4D	28.6	28.5	6.40	99.7	90.5	
	5D	28.5	28.3	6.33	99.3	89.5	

Table 14. The ratio of cross-sectional area of pierced hole to cross-sectional area of ball (Hole area ratio)

Water content (%)	Compressed pressure (kg/cm ²)	Pierced depth (cm)	Vertical diameter A (mm)	Horizontal diameter B (mm)	Cross-sectional area of hole (cm ²)	$\frac{B}{A} \times 100$ (%)	Hole area ratio (%)
19.9	0.5	2D	28.7	28.5	6.42	99.3	90.8
		3D	28.7	28.4	6.40	99.0	90.5
		4D	28.7	28.4	6.40	99.0	90.5
		5D	28.6	28.4	6.38	99.3	90.2
	1.0	2D	28.9	28.6	6.49	99.0	91.8
		3D	28.7	28.5	6.42	99.3	90.8
		4D	28.7	28.4	6.40	99.0	90.5
		5D	28.6	28.3	6.35	99.0	89.8
	1.5	2D	28.7	28.6	6.44	99.7	91.1
		3D	28.5	28.3	6.33	99.3	89.5
		4D	28.5	28.3	6.33	99.3	89.5
		5D	28.0	27.6	6.07	97.5	85.9
	2.0	2D	28.6	28.6	6.42	100.0	90.8
		3D	28.3	28.3	6.29	100.0	89.0
		4D	27.9	27.7	6.07	99.3	85.9
		5D	27.7	27.4	5.96	98.9	84.3
22.8	0.5	2D	28.3	28.2	6.26	99.6	88.5
		3D	28.2	28.0	6.20	99.3	87.7
		4D	28.1	27.6	6.09	98.2	86.1
		5D	27.8	27.5	6.00	98.9	84.9
	1.0	2D	28.8	28.6	6.47	99.3	91.5
		3D	28.4	28.3	6.31	99.6	89.3
		4D	28.2	27.9	6.18	98.9	87.4
		5D	27.5	27.4	5.91	99.6	83.6
	1.5	2D	28.7	28.6	6.44	99.7	91.1
		3D	28.3	28.2	6.26	99.6	88.5
		4D	28.1	27.7	6.11	98.6	86.4
		5D	27.6	27.5	5.96	99.6	84.3
	2.0	2D	28.5	28.4	6.35	99.6	89.8
		3D	28.4	28.1	6.26	98.9	88.5
		4D	27.9	27.5	6.02	98.6	85.1
		5D	27.4	27.3	5.87	99.6	83.0

(1) きょ孔の形

せん孔後きょ孔の直径を測定し、きょ孔をだ円とみなしてその断面積を算出し、弾丸体の最大断面積に対する比を求めこれをきょ孔断面比とした。Table 13, Table 14 中含水比14%せん孔深2D, 3D, 含水比17%せん孔深2Dにおいては、せん孔により上部土層がせん断破壊した場合によってはきょ孔が崩壊し、またせん孔の途中からせん孔深が浅くなったりしたのできょ孔の直径の正確な測定が困難となった。また測定が可能な場合でも、測定位置によりあるいは同じ圧縮条件でも実験ごとの測定値の差がはなはだしかったものは除外した。

弾丸体の最大直径は3cmできょ孔の収縮量も少なく明らかなことはいえないが、すべてのきょ孔のV方向の径がH方向の径よりわずかではあるが大きい。永石³⁾のほ場実験でもV方向の径がH方向の径より大きいことが報告されており、上記の実験結果と考えあわせると、きょ孔はH方向の収縮が大きいといえる。

V方向の径に対するH方向の径の比率は、土の含水比、せん孔深さ、せん孔前の土の圧縮程度によって異なり一定の傾向はみられなかった。

(2) 含水比との関係

きょ孔断面比を縦軸に、土の含水比を横軸にとり、せん孔深をパラメーターとして土の圧縮圧力ごとにまとめるとFig. 5, 6, 7, 8のようになる。これらの結果から含水比の増大とともにきょ孔断

面の収縮が大きくなる傾向がうかがわれる。これは含水比の増大とともに飽和度が増大するので、土粒子相互間の間げきのうちの気相部分の割合が減少することに基因すると思われる。

せん孔時弾丸体の周辺の土粒子は移動させられるが、飽和度が大きいと水や空気の急速な流動が困難となり、圧密が十分行なわれるにはかなりの時間を要すると思われる。そのため瞬間的には土は圧縮されるが、弾丸体が通過してしまうと直ちにその容積を回復するものと思われる。

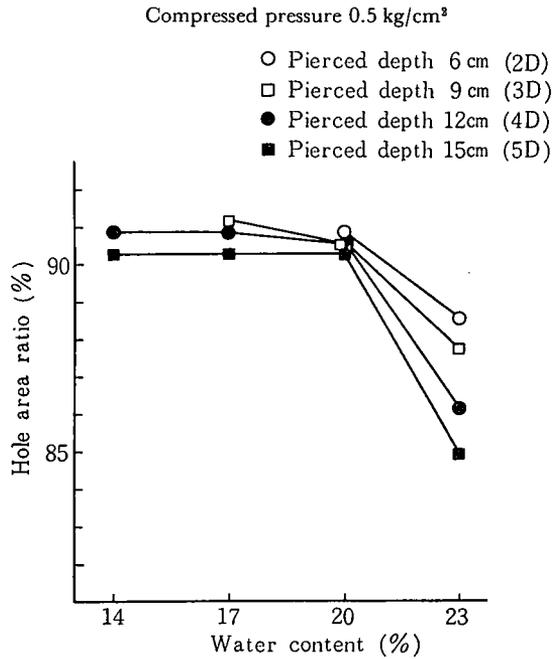


Fig. 5. Relation between hole area ratio and water content.

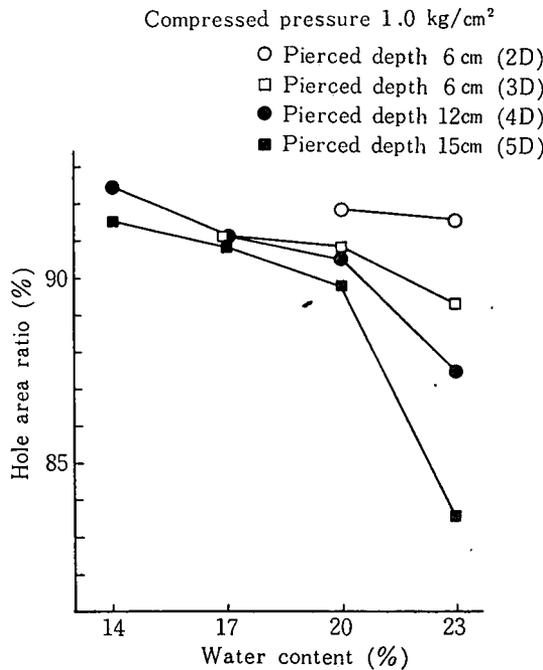


Fig. 6. Relation between hole area ratio and water content.

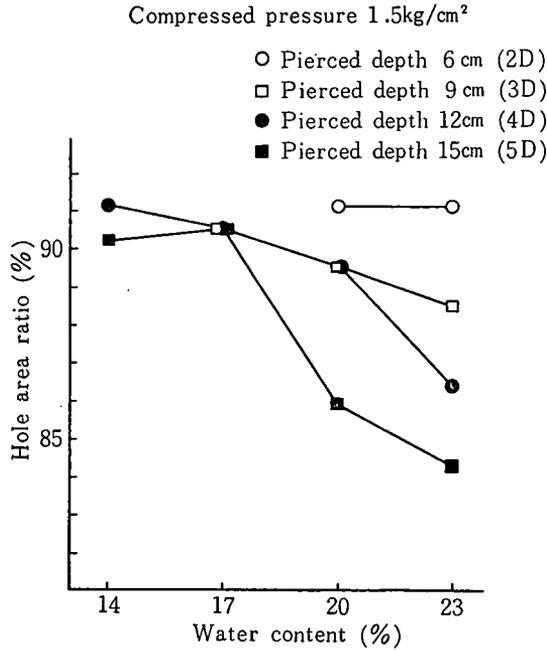


Fig. 7. Relation between hole area ratio and water content.

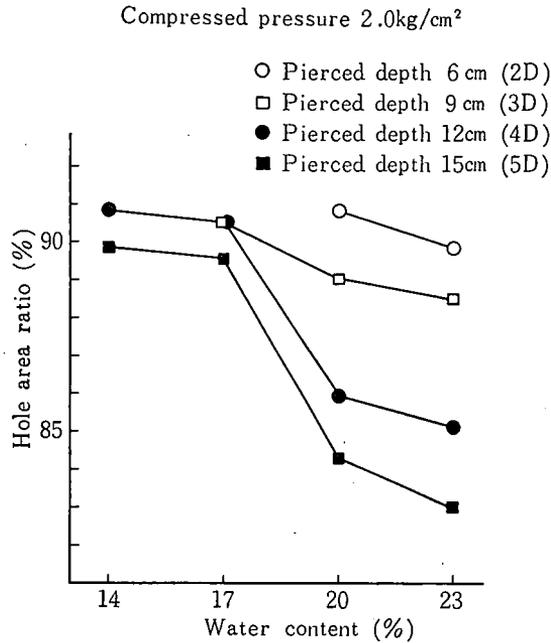


Fig. 8. Relation between hole area ratio and water content.

(3) せん孔深との関係

深い位置にせん孔した場合よりも、浅い位置にせん孔した場合が大差ではないが全般的にきょ孔断面比が大きい。これはきょ孔に作用する上部土圧の大小に関係すると思われる。

実際のほ場では土圧の影響はさらに大きくあらわれると思われ、深い位置にせん孔した場合のきょ孔断面比の減少は著しくなるものと思われる。

前項で述べたように土の含水比が大きくなるときょ孔断面比が小さくなるので、含水比の大小に

よるきょ孔断面の差を、せん孔による上部土層のせん断破壊がみられなかった4D, 5Dについて算出すると Table 15 のようになる。これによると4Dの場合より5Dの場合の方が、含水比の差に

Table 15. *Difference of hole area ratio (%)*

Pierced depth (cm)	Compressed pressure (kg/cm ²)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
12 (4D)	4.7	5.0	4.7	5.7
15 (5D)	5.3	7.9	6.2	7.8

対するきょ孔断面比の差が大きくなっている。つまりせん孔深が深くなると含水比の影響が大きくなり、あらわれきょ孔は収縮しやすいといえる。

(4) 土の圧縮圧力との関係

土の固さの大小ときょ孔の収縮の関係を知るため、きょ孔断面比を縦軸に土の圧縮圧力を横軸にとり土の含水比をパラメーターとしてせん孔深ごとにまとめると Fig. 9, 10, 11, 12 のようになる。

含水比が大きくせん孔深が深いほど、きょ孔断面比が小さいことは前にも述べたとおりであるが、総体的にみるときょ孔断面比は圧縮圧力 0.5~1.0 kg/cm² では増加の傾向が、1.0~2.0 kg/cm² では減少の傾向がうかがえる。しかしながらきょ孔断面比とコーン支持力の関係を4D, 5Dの場合についてまとめると、Fig. 13 のようになる(せん孔深 2D, 3D は上部土層が破壊したので除き、含水比 20% の場合はコーン支持力がほとんどないので除外した)。これによるとコーン支持力が大きくなっても、きょ孔断面比は大体において 89.5~91.5% の範囲内にある。すなわちきょ孔断面の収縮と土の固さ(コーン支持力の大小)とは関係がないといえよう。

土の固さときょ孔断面比とは関連がないものとみなし、含水比ときょ孔断面比の関係をせん孔深をパラメーターとしてまとめると Fig. 14 のようになる。これによると含水比およびせん孔深が大きくなるほどきょ孔断面比が小さくなる傾向が明らかであり、含水比が大きくなるほどせん孔深の相違によるきょ孔断面比の相違が大きくなることがわかる。

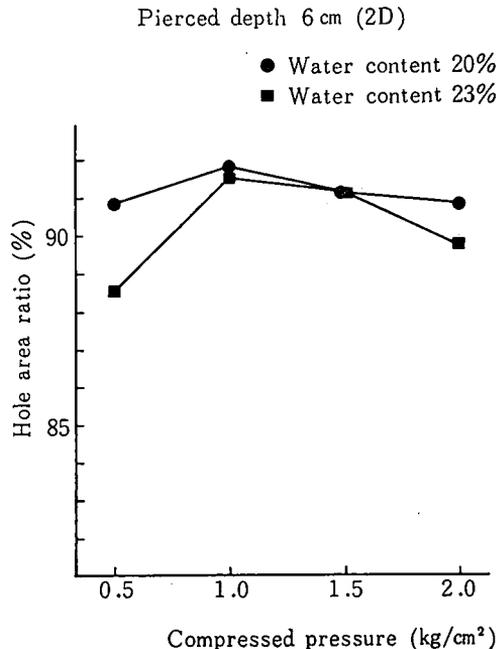


Fig. 9. Relation between hole area ratio and compressed pressure.

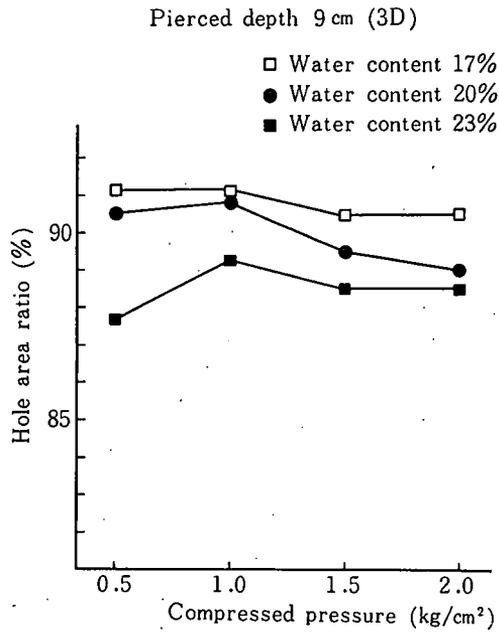


Fig. 10. Relation between hole area ratio and compressed pressure.

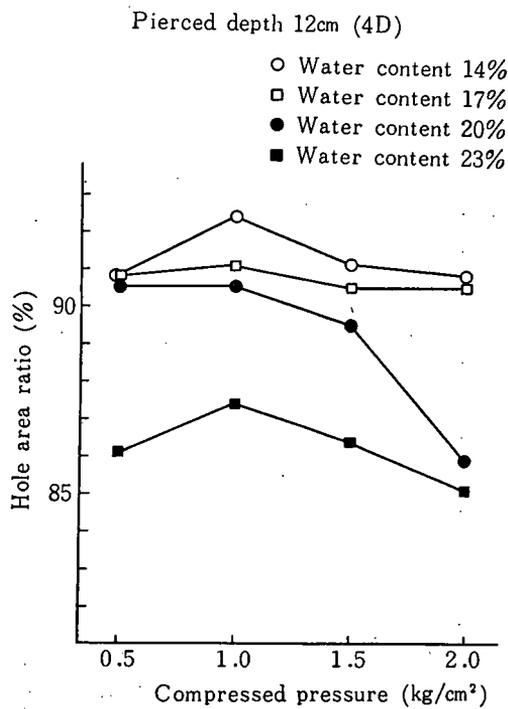


Fig. 11. Relation between hole area ratio and compressed pressure.

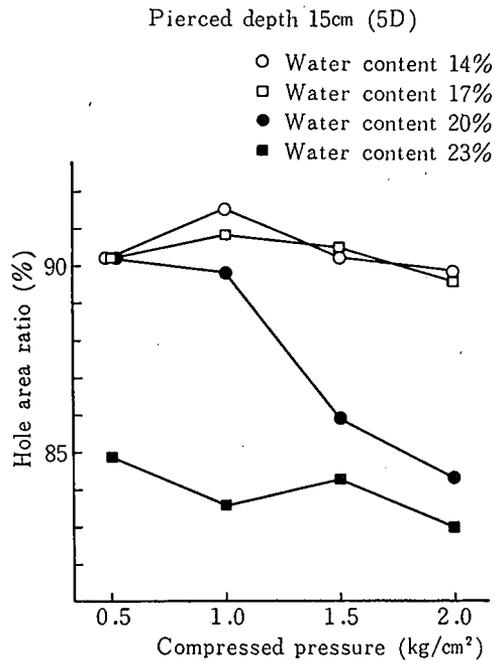


Fig. 12. Relation between hole area ratio and compressed pressure.

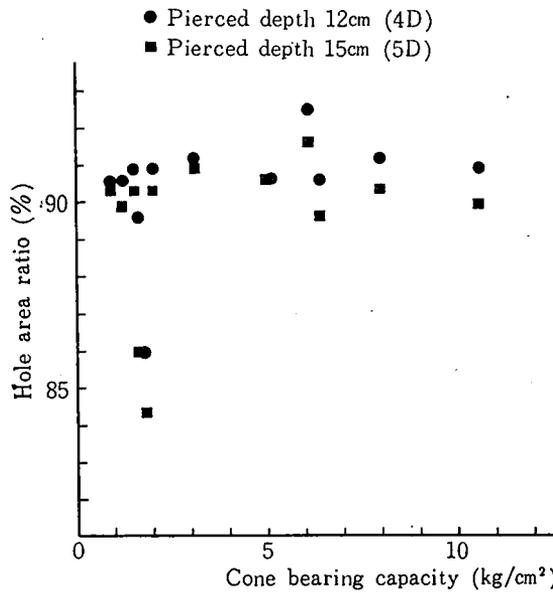


Fig. 13. Relation between hole area ratio and cone bearing capacity.

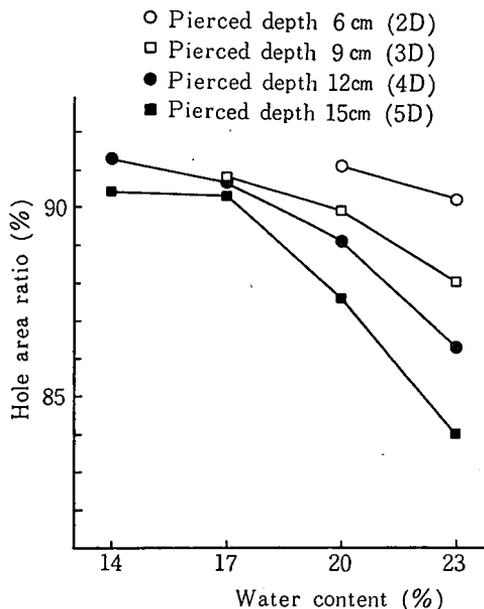


Fig. 14. Relation between hole area ratio and water content.

きょ孔断面比と土の固さとは関連がないと述べたが、ただ含水比20% (塑性限界) においては土の圧縮圧力つまり土の固さがきょ孔断面比に影響するようである。

Fig. 12 つまり上部土層が破壊しなかったせん孔深5Dの場合について考察するに、20%より小さい含水比ではきょ孔断面比は大きく90%前後のほぼ一定値を示すが、20%になると土の圧縮圧力の増大とともにきょ孔断面比は急激に減少する。さらに20%以上の含水比になるときょ孔断面比は84%前後のほぼ一定値を保つようになる。

含水比20%の場合は土の圧縮圧力の増大により飽和度が100%近くに増大し (Table 12), きょ孔周辺の土は含水比23%の場合の土壤条件に近づく。すなわちきょ孔体積分だけ気相部分が圧縮され、弾丸体による圧縮影響圏内の液相、固相の占める割合が増大する。飽和度がある一定値よりも小さい時、すなわちせん孔による圧縮影響圏内に占めるきょ孔の単位長さ当りの気相体積が、きょ孔の単位長さ当りの体積よりも大きい場合は容易に圧縮され、せん孔前の土がよくしまっていてきょ孔断面積の縮小は少なく断面積はほぼ一定値をたもつ。しかし圧縮圧力が大きくなり飽和度が増大すると、せん孔による圧縮を受けても土壤水の流動抵抗のため完全に収縮せず、弾丸体の通過とともに復元力が大きく働くものと思われる。

土の圧縮圧力が0.5 kg/cm² のとき、含水比20%の場合の飽和度は88.8%, 17%で58.2%, 14%で40.4%とまちまちであるが、きょ孔断面比は90.2%と一定値を示している。

含水比が20%のとき、土の圧縮圧力が0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/cm² と増大するにつれて飽和度は88.8, 93.2, 93.6, 95.3%と増大し、きょ孔断面比は90.2, 89.8, 85.9, 84.3%と減少している。これに対し含水比17%のとき、土の圧縮圧力が0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/cm² と増大し、飽和度が58.2, 66.9, 75.2, 80.3%と増大してもきょ孔断面比は90.2, 90.8, 90.5, 89.5%とほとんど変化していない。

飽和度が大体80%以下の場合、飽和度が増減してもきょ孔断面比は変化しないと考えてよいであろう。また飽和度が95%くらい以上になると、土粒子間の空げきはすべて水で満たされたと考えてよいと思われるので、含水比に多少差があってもきょ孔断面比は変化しなくなる。つまり含水比が20%でも圧縮により飽和度が95%を越えると、含水比が23%の場合と同じような条件となりきょ孔断面比の値も近似してくるものと思われる。せん孔深が4Dの場合も同様なことはいえる。

以上の結果にせん孔抵抗、きょ孔の強度などを加味して弾丸暗きょせん孔するときの条件を考え

るに、きょ孔は含水比、せん孔深が増加するほど収縮が大きくなる。一方せん孔抵抗は土の固さ度(コーン支持力)、せん孔深が大きいほど大きくなるが、含水比が大きくなると(塑性限界以上)せん孔深の相違による抵抗の差はなくなる。またきょ孔の強度は含水比が大きいと減少し、せん孔深が浅いときょ孔は崩壊しやすい。

以上のようにきょ孔の収縮、強度、せん孔抵抗の三者の利害は一致しないので、どのような土壌条件のときせん孔したら最も良いか明示しがたい。そこで多少のせん孔抵抗の増大を犠牲にすると、きょ孔の収縮、強度の面から塑性限界より幾分か小さい含水比のとき、よくしまった固い土層に3D以上の深さ、つまり弾丸体の直径の3倍以上の深さのところのせん孔するのがよいと思う。

土が常時湿潤状態にあって含水比が多いところは、トラクタの性能が許すかぎり大きな断面をもった弾丸体を用いることが望ましい。

摘 要

弾丸暗きょせん孔機の弾丸体が土中をせん孔するときの抵抗、きょ孔の収縮状況が、土の含水比によっていかに影響されるかを知ることが、弾丸暗きょを施工するに当って重要なことである。そこで模型弾丸体を用い、土の含水比、土の圧縮圧力を変えて実験を行なった。なお土は砂質ロームを用いた。その結果を要約すると次のようになる。

- (1) せん孔抵抗は塑性限界(23.1%)より少ない含水比のとき最高値を示す。
- (2) せん孔深が増大するとせん孔抵抗は大きくなるが、含水比が塑性限界以上になるとせん孔深さによる抵抗の差はなくなる。
- (3) せん孔後きょ孔は収縮し、垂直方向に長いだ円形となる。
- (4) 含水比およびせん孔深の増大にともないきょ孔の収縮は大きくなる。
- (5) きょ孔の収縮は土の固さの影響を直接うけないようである。
- (6) きょ孔の収縮、きょ孔の強度の面のみについて考察すると、弾丸暗きょは含水比が塑性限界より少し小さいとき、ある程度固い土層にせん孔するのが良いと思われる。

参 考 文 献

- 1) 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, 1-11, (1967).
- 2) Baver, L.D., "Soil Physics", 3rd ed., p. 400, Wiley, New York, (1956).
- 3) 小嶋和雄, 弾丸暗きょの強度について, 高知大学学術研究報告, 第18巻, 農学, 第2号, 15-26, (1969).

(昭和46年8月1日 受理)