

## 施肥播種機の開発(1)

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者	澤田, 恭彦
巻/号	21号
掲載ページ	p. 131-137
発行年月	1989年11月

# 施肥播種機の開発(第1報)

## 代かき土壤に落下する種子の貫入深さの解析

澤田恭彦\*

### 緒言

### 材料及び方法

水稲作での作業競争の回避や省力化を目的として湛水土壤中直播が実施されており、一層の普及を図るため出芽・苗立ちの安定が求められているが、代かき状態などの条件によって播種深さに大きな変動が生じており、これが出芽・苗立ちに大きな影響を及ぼしているとされている<sup>(1)</sup>。

また近年、省力とほ場の大区画化に伴う新しい技術として航空機や動力散布機などによる散播が試みられているが、これらの技術の導入に当たっても播種精度、特に、一定の深さに播種することが出芽の安定と倒伏の防止を図るため重要な課題になっている。

これらの問題に対処するため、空気噴射式の播種機を開発しようとした。播種機構は、乗用田植機に搭載したターボプロアからの輸送空気で種子に任意の貫入速度を与えると同時に、ほ場の表面水を排除しながら土中に向けて播種し、一定の播種深さを得ようとするものである。

設計に先立ち、播種深さに関する要因について把握しておく必要がある。

これまで、種籾や酸素補給剤被覆籾の落下高度と貫入深さの関係について実験や調査を行なったいくつかの報告<sup>(2,3,4)</sup>があるが、これを函数関係としてとらえたものは見あたらない。

本試験では、種子の物性・貫入速度及び土壤条件から次元解析を行ない、代かき土壤中に種子が貫入する深さを求める式を導いた。また、現場での実用性を高めるため、散播湛直に適した土壤硬度測定法を明らかにするとともに現地で実験式の検証を行ったので報告する。

#### 1 種子の貫入深さの解析

##### (1) 次元解析

次元解析は、土壤や植物体を対象とする農業機械の研究のように、特性式が明かでない場合において有効な手法<sup>(5)</sup>とされている。ここでは、貫入深さに関する物理量として、種子の物性を表わす重量・3軸平均、種子の落下速度、土壤硬度・粘性・密度及び重力加速度を取り上げた。

この結果得られた函数関係を実験で明らかにすることにより、要因の変化に応じた関係を表わす実験式が得られる。

##### (2) 実験装置

貫入速度は貫入速度可変式のストロボ撮影機構を持つ播種装置を製作し、写真の軌跡から測定した(第1図)。

播種装置の機構は、レバー①に取り付けた種子挟持部②を移動して腕の長さを変えることとバネ③の交換との組み合わせによって貫入速度が選択できるようにした。レバーが上端ストップから離れて回転を始めるとONスイッチ④が接続し、ストロボが作動する。水平位置で挟持部がピン⑥に接触し種子が鉛直に放出される。レバーが約270°回転した後OFFスイッチ⑦に当たり、ストロボの電気回路が遮断される。同時にラチェット⑧でレバーが固定されて回転を停止する。

##### (3) 土壤硬度の測定

土壤硬度は、ロードセルを使用した貫入速度可変自記測定器<sup>(6)</sup>以下「自記測定器」により貫入抵抗を測定した。

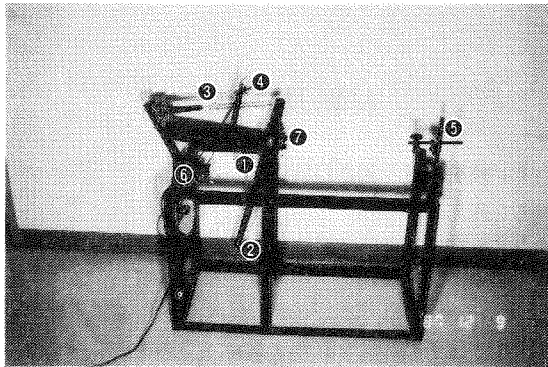
##### (4) 試験条件および材料

物性の異なる種子を用いて実験式に普遍性を持たせるため、酸素補給剤被覆籾2種とダイズを供試した(第1表)。

第1表 試験条件及び材料

種子の種類と物性	重	重(g)	CAL-A	CAL	BEAN
			0.134	0.056	0.309
	3軸平均	(cm)	0.577	0.518	0.833
土壌硬度(g/cm <sup>3</sup> )	17.1	46.7	73.5	85.2	
貫入速度(m/sec)	4.42	8.85	9.20	15.20	17.65 18.35

注) 土壌は砂壤土・壤土・植壤土(湛水なし)  
CAL-A・CALは酸素補給剤被覆粒、BEANはダイズ



①レバー ②種子挾示部 ③バネ ④ONスイッチ  
⑤ピン ⑦OFFスイッチ ⑧ラチェット

第1図 播種装置

土壌は砂壤土・壤土・植壤土を用いたが、この試験で開発しようとする播種機が土壌表面水を空気で排除する構造のため、湛水なしの状態で行なった。

2 土壌硬度測定法の検討

この実験式を実際の作業条件下で応用するため、一般的に代かき土壌硬度の測定に用いられているゴルフボール・簡易土壌硬度試験器<sup>1)</sup>(以下「簡易試験器」)・下げ振りによる三つの測定結果から散播湛直に適した測定法を求め、また、実験式の計算に用いた自記測定器とこれらの測定法との関係について検討した(第2表)。

3 実験式の検証

実験式の適合性を1988年と1989年に豊田市で行なった航空機播種の結果から検証した(第3表)。

種子は酸素補給剤4倍重被覆粒を用い、写真撮影により地表到達時の落下速度を測定した。

土壌硬度はゴルフボールと簡易試験器の貫入深を測定した。また、これらの測定値を自記測定器の貫入抵抗に換算して実験式の計算に用いた。

播種深さは播種直後に測定した。

第2表 土壌硬度測定器および測定法

測定器	測定法	測定範囲
自記測定器	頂角30°、底面積6cm <sup>2</sup> の円錐を1cm/secで代き土壌中に貫入させ、円錐の底面が土壌表面に達したときの抵抗値を測定した。	貫入抵抗 24.4~86.4g/cm <sup>2</sup>
ゴルフボール	外径4.1cmのボールを1mの高さから落下させたときの貫入深を測定した。	貫入深 2.4~5.7cm
簡易硬度計	直径3.6cm、高さ4.4cm、重さ115gの円錐を0.1mの高さから落下させたときの貫入深を測定した。	貫入深 4.1~7.4cm
下げ振り	直径3.6cm、高さ4.4cm、重さ115gの円錐を1mの高さから落下させたときの貫入深を測定した。	貫入深 7.6~13.7cm

注) 供試土壌は砂壤土・壤土・植壤土(湛水なし)

第3表 航空機播種の条件

	1988.5.18	1989.5.15
場所:豊田市		
気温	27°C	21°C
播種の飛行高度	10m	10m
土壌硬度		
ゴルフボール貫入深	3.9~5.7cm	2.7~4.0cm
簡易硬度計貫入深	5.2~9.1cm	3.8~5.5cm
種子(酸素補給剤被覆粒)		
千粒重	144.3g	121.3g
3軸平均	0.580cm	0.557cm

注) 航空機: Be11-KH4型ヘリコプタ 播種機: TDA-3

試験結果及び考察

1 種子の貫入深さの解析

貫入深さに関するものとしてとりあげた要因と次元マトリクスを示す(第4表、第5表)。

この要因間の関係を、播種深さyを目的変数とする関数で表わすと次の式で表すことができる。

$$y = f(\rho, \rho, \eta, v, w, d, g) \quad (1)$$

(1)式を無次元項で表わすと

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5) \quad (2)$$

ここで、(2)式をF、L、Tについて解くと各π項はそれぞれ次のようになり

$$\pi_1 = w^0 d^{-1} \cdot g^0 \cdot y = \frac{y}{d} \quad (\text{深さ}\pi\text{項})$$

第4表 次元解析で取り上げた要因と記号

要因（変数）	記号
種子の重量	w
種子の3軸平均	d
重力加速度	g
貫入深さ	y
土壌硬度	q
土壌密度	ρ
土壌粘性係数	η
貫入初速度	v

第5表 次元マトリクス

	w	d	g	y	q	ρ	η	v
F	1	0	0	0	1	1	1	0
L	0	1	1	1	-2	-3	-2	1
T	0	0	-2	0	0	0	1	-1

注) 単位は工学（重力）単位系

$$\pi_2 = w^{-1} \cdot d^2 \cdot g^0 \cdot q = \frac{q d^2}{w} \quad (\text{硬度 } \pi \text{ 項})$$

$$\pi_3 = w^{-1} \cdot d^3 \cdot g^0 \cdot \rho = \frac{\rho d^3}{w} \quad (\text{密度 } \pi \text{ 項})$$

$$\pi_4 = w^{-1} \cdot d^{\frac{5}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot \eta = \frac{\eta^2 d^3 g}{w^2} \quad (\text{粘性係数 } \pi \text{ 項})$$

$$\pi_5 = w^0 \cdot d^{-\frac{1}{2}} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \cdot v = \frac{v^2}{d g} \quad (\text{速度 } \pi \text{ 項})$$

各項の関係は次式で表わすことができた。

$$\frac{y}{d} = f \left( \frac{w}{q d^2}, \frac{w}{\rho d^3}, \frac{\eta^2 d^3 g}{w^2}, \frac{v^2}{d g} \right) \quad (3)$$

ここで、コーン指数と土壌密度・粘性係数とは一定の関係にある<sup>6,8)</sup>とされており、土壌密度 $\pi$ 項 $\frac{w}{\rho d^3}$ と粘性係数 $\pi$ 項 $\frac{\eta^2 d^3 g}{w^2}$ を省略すると

$$\frac{y}{d} = f \left( \frac{w}{q d^2}, \frac{v^2}{d g} \right) \quad (4)$$

すなわち、

$$\frac{y}{d} = K \cdot \left( \frac{w}{q d^2} \right)^m \cdot \left( \frac{v^2}{d g} \right)^n \quad (5)$$

となった。

この函数関係を実験によって明らかにするため、 $\pi_1$ を目的変数とし、他の $\pi$ 項をある定数とみなして、 $\pi_1$ と各 $\pi$ 項との関係を求める。

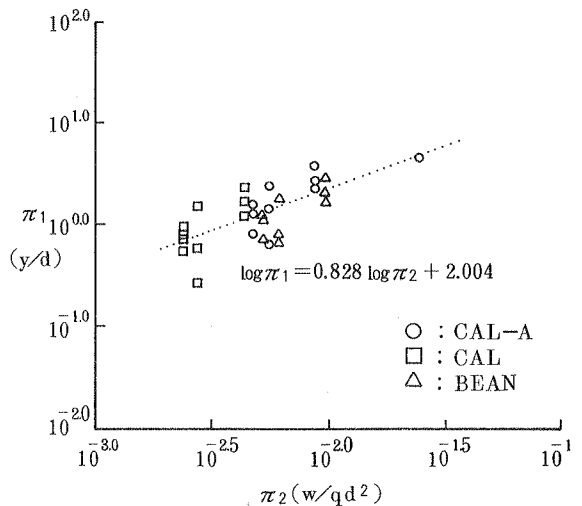
以下、次元解析の結果得られた(5)式について実験結果から検討した(第6表)。

(5)式の各 $\pi$ 項の関係は、両対数グラフの上で直線状になった(第2-1図、第2-2図)。ここで、第2-1図から土壌硬度と播種深さの項の関係が、第2-2図から貫入速度と播種深さの項の関係が求められ、それぞれ

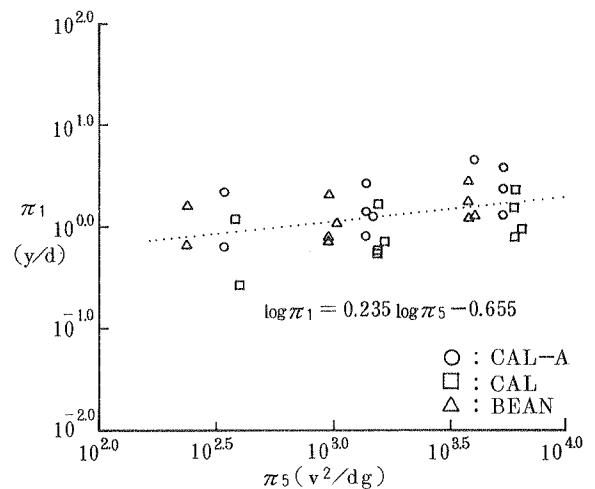
第6表 土壌硬度、貫入速度と播種深さの実験結果

G.B. (cm)	CONE (cm)	SR (g/cm <sup>3</sup> )	貫入速度 (m/sec)	播種深さ(cm)		
				CAL-A	CAL	BEAN
2.11	3.01	85.2	17.65	0.75	0.42	1.01
2.11	3.01	85.2	8.85	0.47	0.29	0.60
2.11	3.01	85.2	18.35	0.92	0.50	1.07
2.11	3.01	85.2	9.20	0.73	0.38	0.91
2.93	4.09	46.7	17.65	2.17	0.21	2.36
2.93	4.09	46.7	8.85	1.52	0.87	1.72
2.93	4.09	46.7	4.42	1.29	0.64	1.34
2.29	3.24	73.5	17.65	1.37	0.79	1.48
2.29	3.24	73.5	8.85	0.82	0.31	0.68
2.29	3.24	73.5	4.42	0.37	0.14	0.55
5.09	7.73	17.1	15.20	2.57		

注) CAL・CAL-Aは酸素補給材被覆粒、BEANはダイズ、G・Bはゴルフボール、CONEは簡易硬度計の貫入深、SRは自記測定器の貫入抵抗



第2-1図 土壌硬度 $\pi$ 項と深さ $\pi$ 項



第2-2図 速度 $\pi$ 項と深さ $\pi$ 項

次の二式で表わすことができた。

$$\log \frac{y}{d} = \log K_1 + 0.828 \log \frac{w}{q d^2} \quad (6)$$

$$\log \frac{y}{d} = \log K_2 + 0.235 \log \frac{v^2}{d g} \quad (7)$$

この(6)式と(7)式から、(5)式は

$$\log \frac{y}{d} = \log K + 0.828 \log \frac{w}{q d^2} + 0.235 \log \frac{v^2}{d g} \quad (8)$$

となった。

ここで実験結果から定数Kを求めると

$$\begin{aligned} \log K &= \log \frac{y}{d} - 0.828 \log \frac{w}{q d^2} - 0.235 \log \frac{v^2}{d g} \\ &= 1.24 \end{aligned} \quad (9)$$

となり、(8)式に代入して次式を得た。

$$\frac{y}{d} = 10^{1.24} \cdot \left( \frac{w}{q d^2} \right)^{0.828} \cdot \left( \frac{v^2}{d g} \right)^{0.235} \quad (10)$$

以上の結果、砂壤土・壤土・植壤土で貫入抵抗17.1~85.2g/cm<sup>2</sup>、種子の貫入速度4.42~18.35m/secの範囲で、酸素補給剤被覆粒及びダイズ種子が貫入する深さを包括して表わす次の実験式を得ることができた。

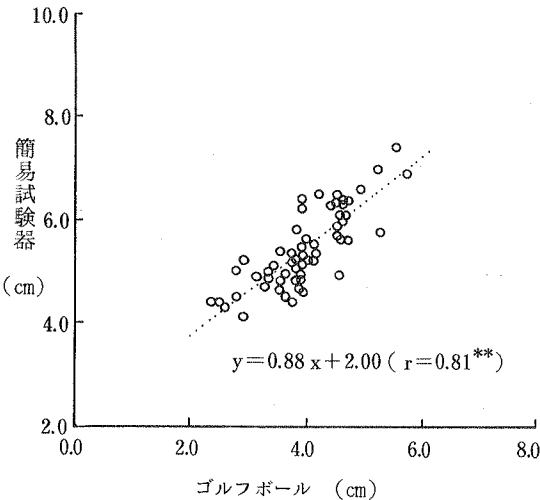
$$y = 17.5 \cdot w^{0.828} \cdot d^{-0.890} \cdot g^{-0.235} \cdot q^{-0.828} \cdot v^{0.469} \quad (11)$$

## 2 土壌硬度の測定

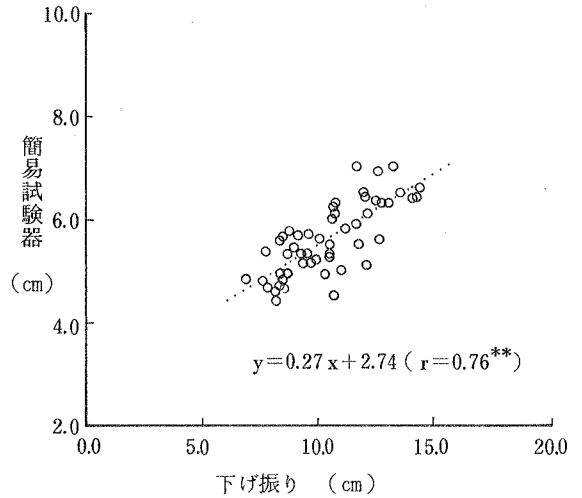
ゴルフボール、簡易試験器、下げ振りの相互の関係はそれぞれ直線状になったが、ゴルフボールと簡易試験器、下げ振りと簡易試験器、下げ振りとゴルフボールの順に相関が低くなった(第3-1図、第3-2図、第3-3図)。

これは、測定器の形状・重量・落下高の違いから、貫

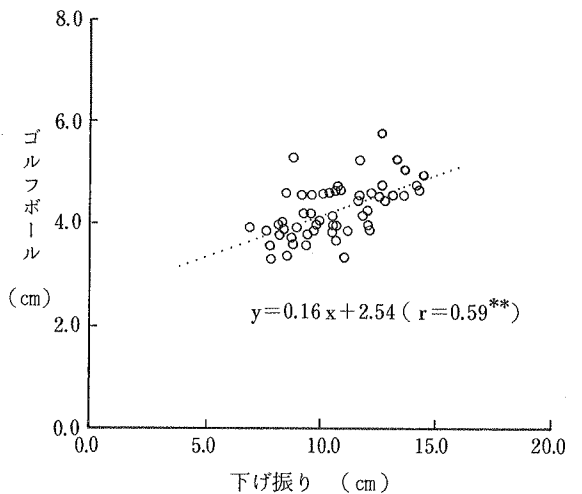
入する深さによって測定している土壌層の厚さが異なるからである。すなわち、同一の土壌硬度であればゴルフボールと簡易試験器の貫入深はほぼ同程度で、土壌の表層部分の硬度を表わしているのに対し、下げ振りは落下エネルギーが大きく円錐が表層を貫通してさらに深層まで到達し、前二者に比べ厚い層の硬度を表わしているためとみられる。また、中村ら<sup>7)</sup>は、下げ振りは実際上問題にならない程度の硬度差が貫入深度の差に大きく表われるとしている。簡易試験器では下げ振りと同じの円錐を使用していることと貫入深がゴルフボールに比べ幾分深くなることから、下げ振りとは簡易試験器の関係は下げ振りとはゴルフボールに比べて高い相関を示したものとみられる。



第3-1図 ゴルフボールと簡易試験器貫入深



第3-2図 下げ振りとは簡易試験器貫入深



第3-3図 下げ振りとはゴルフボール貫入深

したがって、散播湛直など比較的柔らかい状態で土壌表面の浅い部分の硬度を把握する必要がある場合にはゴルフボールまたは簡易試験器を用いるのが適当であり、また、このいずれかを用いて測定すれば相互に測定値を換算することもできよう。一方、移植のように比較的硬い状態で相当程度の深さまでの硬さが作業精度に影響を及ぼすような場合には下げ振りをを用いるなど、土壌の状態や用途によって測定法を使い分ける必要があろう。

実験式の計算に現場での土壌硬度の測定値を用いるためには、自記測定器の貫入抵抗に置き換える必要がある。このため、土壌表面の硬度測定に適しているとみられるゴルフボール・簡易試験器貫入深と自記測定器の貫入抵抗との関係をみた。各々の測定値間の関係を両対数グラフ上に示すと直線になり、極めて高い相関を示した（第4-1図、第4-2図）。この関係を用いて、ゴルフボールまたは簡易試験器の測定値を自記硬度計の抵抗値に換算して実験式に用いることも可能と判断できた。

3 実験式の検証

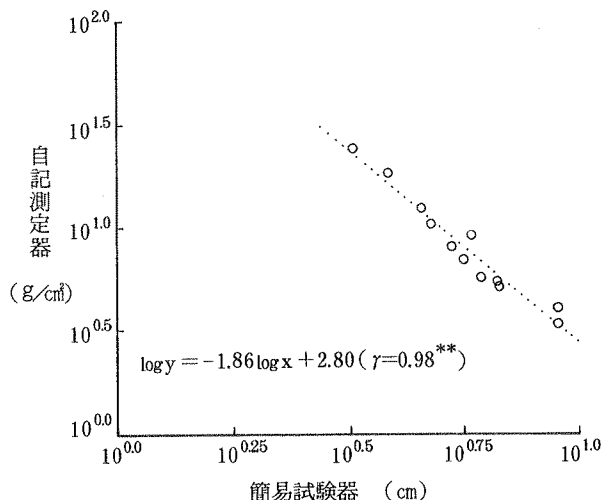
航空機播種の実測値と計算結果を示した（第7表）。

航空機散播などでは、湛水の影響がまず問題とされるが、この試験で開発しようとする播種機が土壌表面水を空気で排除する構造のため、湛水の影響が少ない水深0~1cm<sup>(2,3,4)</sup>以下で調査した。

実験式が、種子の貫入深さには土壌硬度の影響が大きい構造になっていることから、土壌硬度と播種深さとの関係についてみると、土壌の状態が一定の値を越えて柔らかくなくても播種深さには変化がなかった（第5-1図、第5-2図）。播種深さの計算値と実測値との関係は深さ2.0~2.5cmまではほぼ一致しているが、この範囲を越えると実測値との差が大きくなった（第6図）。

この原因は、落下種子に水平方向の速度成分があり必ずしも鉛直に落下していないこと、土中に貫入後運動エネルギーが減衰して停止に至るまでの間に土壌の密度・粘性の影響を受けるが、これらの関係を省略して実験式を簡易化したこと等により、一定の条件を越えるとこの現象をよく説明できていないためと考えられる。

三石ら<sup>(4)</sup>は落下速度を計算によって求め、湛水0の場合には6倍重被覆で3cm以深になると推定し、3倍重

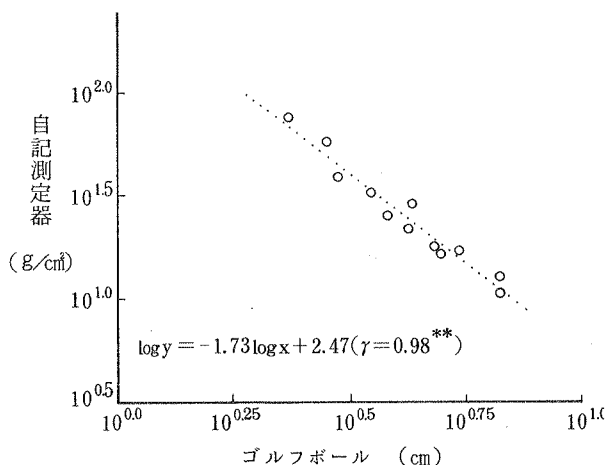


第4-2図 簡易試験器貫入深と自記測定器貫入抵抗

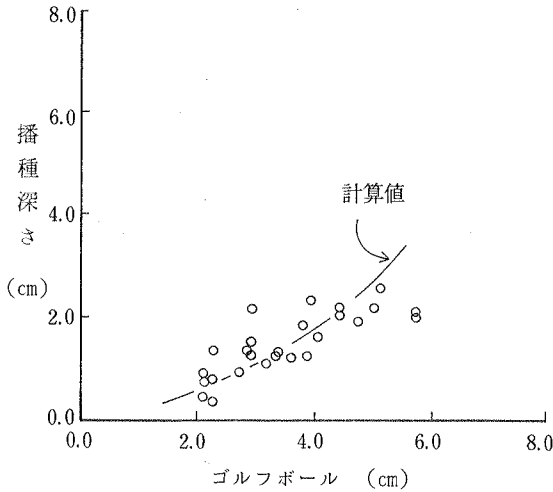
第7表 航空機散播の実測値と計算結果

	3軸平均 (g)	落下速度 (m/sec)	G.B. (cm)	CONE (cm)	播種深さ				
					実測値 (cm)	計算値 (cm)			
0.144	0.580	10.2	5.7	9.1	2.13	3.91			
			5.7	6.9	2.02	3.18			
			4.4	6.3	2.19	2.47			
			3.9	6.2	2.35	2.22			
			5.0	6.6	2.19	2.83			
			3.8	5.2	1.86	1.90			
			4.7	6.3	1.93	2.61			
			4.4	6.0	2.05	2.37			
			0.121	0.557	10.2	2.7	3.8	0.94	0.98
						2.9	3.9	1.38	1.05
3.6	4.9	1.22				1.46			
3.3	4.6	1.28				1.31			
3.8	5.2	1.26				1.63			
3.2	4.4	1.10				1.23			
4.0	5.5	1.62				1.75			
3.4	4.6	1.32				1.32			

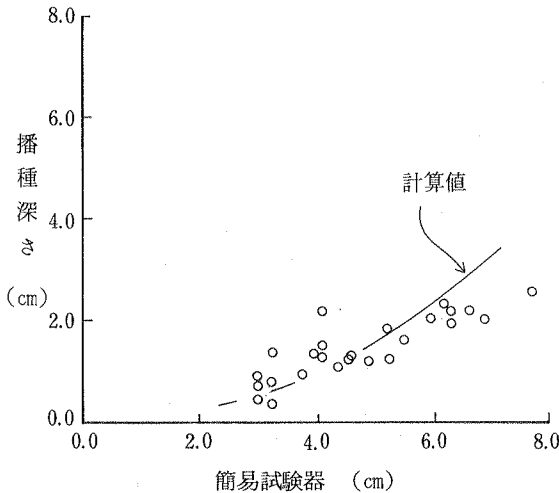
注) G.B.はゴルフボール、CONEは簡易硬度計の貫入深播種深さ、出芽深さとも土壌表面から種子の下側までの深さ 湛水0~1.0cm



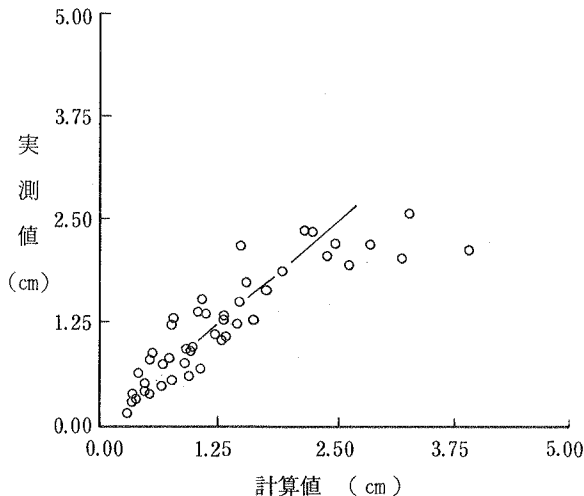
第4-1図 ゴルフボール貫入深と自記測定器貫入抵抗



第5-1図 ゴルフボール貫入深と播種深さ



第5-2図 簡易試験器貫入深と播種深さ



第6図 播種深さの計算値と実測値

被覆を地上12mから落下させて播種深さ1.1~1.5cmの結果を得ている。

これらのことから、実験式で播種深さの推定ができるのは2.5cm以内に限られるが、出芽・苗立ちの安定や倒伏防止の点から十分な範囲であり、また、実際の航空機利用の播種深さの限界である等のことから、実験式は実用に耐えるものと言えよう。

## 摘 要

次元解析によって、代かき土壤中に落下する種子が貫入する深さについて考察し、また、散播湛直に適した土壤硬度測定法について検討した。

以下に得られた結果を要約する。

1 種子の物性、落下高、土壤条件から、落下種子が代かき土壤中に貫入する深さを求める式

$$y = 17.5 \cdot w^{0.828} \cdot d^{-0.890} \cdot g^{0.235} \cdot q^{-0.828} \cdot v^{0.469}$$

y : 貫入深さ                      q : 土壤硬度  
 d : 種子の3軸平均                w : 種子の重量  
 v : 貫入初速度                    g : 重力加速度

を導いた。

2 航空機による散播湛直でこの実験式を用いて播種深さを計算した結果、深さ2.5cmまでの範囲で実測値とほぼ一致した。

3 航空機播種に4倍重被覆を用いると、ゴルフボール貫入深 2.5~4 cm、簡易試験器貫入深 4~6 cmで作業を行えば1~2 cmの播種深さになる。

4 代かき土壤硬度の測定に当たっては、湛直・散播湛直などではゴルフボール・簡易試験器を用い、移植では下げ振りを用いるなど土壤の状態、用途によって測定法を使い分ける必要がある。

5 現場では、ゴルフボールまたは簡易試験器の測定値から自記測定器の貫入抵抗に換算して実験式の計算に用いることも可能である。

## 引用文献

1. 井澤敏彦ら, 1986, 愛知県における湛水土壤中直播栽培, 農業及び園芸61(3), 405~410.
2. 北海道農業試験場, 北海道立農業試験場, 北海道, 1964, 中型機械化水稻直播耕種指針.
3. 山沢新吾, 1965, 航空直播の農業機械学的研究(第1報), 第24回農業機械学会講演要旨.
4. 三石昭三ら, 1984, 水稻の湛水”土中”散播栽培における航空機播種に関する予備試験, 昭和58年度農林

- 水産航空技術合理化試験成績書.
5. 小中俊雄, 1970, しろかき土壌の力学性に関する相似性研究, 三重大農学報40, 177~303.
6. 伊藤清一, 1988, 代かき土壌の硬度測定法に関する力学的一考察, 愛知農総試研報20, 99~104.
7. 中村喜彰ら, 1985, 新しい代かき土壌硬度試験, 農機誌技術報告47(3), 359~362.
8. SHUMAN, F.L., 1966, A similitude study of soil strength instruments, Ph.D.thesis., Iowa State University of Science and Technology.

## Development of Pneumatic Rice Seeder in Submerged Paddy Field I

An analysis on penetration depth of dropping seeds to paddy field

Yasuhiko SAWADA

### Summary

This study is an analysis on penetration depth of dropped seeds to paddy field and an investigation of method for measuring soil hardness adopted for direct-sowing with rice seeds in submerged paddy field. Following results were obtained.

1. Relationship among the factors in the penetration depth of dropped seeds to paddy field test was shown as the following equation using  $\pi$  terms derived by dimensional analysis.

$$y=17.49 \cdot w^{-0.828} \cdot d^{-0.890} \cdot g^{-0.235} \cdot q^{-0.828} \cdot v^{0.469}$$

y: penetration depth of dropping seed

q: soil hardness

d: 3 axial size mean of seed

w: weight of a seed

v: penetration speed

g: gravitational acceleration

2. The calculated value approximately agreed with the experimental value in the region of 2.5cm on practical seed-broadcasting by aircraft.

3. On aircraft seed-broadcasting using coated rice seeds, made heavier by 4 times, 1~2cm of seeding depth can be obtained under the condition of 2.5~4cm of falling golf ball depth or 4~6cm of cone penetrometer.

4. Method for measuring soil hardness of paddy field must be selected according to the soil conditions and the purposes.

For example, golf ball or cone penetrometer must be used for direct-sowing and falling cone for rice transplanting.

5 The measured value of falling golf ball depth or cone penetrometer can be used for the experimental equation.