

シロカキ土壌硬度と水稻稚苗モデルによる 植付深さに関する実験的研究

市川 眞 祐*・山村 文 雄*

Studies on Relationship between Hardness of Puddling Soil
and Planting Depth on Young Seedling Model of Paddy Rice.

Masasuke ICHIKAWA, and Fumio YAMAMURA.

Faculty of Agriculture, Mie University

I 緒 言

最近の数年間、米の生産過剰で作付面積が農政の大きな課題となっているが、わが国における農業の中心は何といっても稲作であることは間違いない。稲作作業には耕うんから収穫に至るまでに多くの農業機械を使用し、農作業と土壌とくにその物理的性質とは非常に強い関連があり、農業機械が高度になればなるほど両者はますます重要となってくる。

稲作の機械化作業体系のうちで最も遅れていたのは田植作業であったが、稚苗またに中苗の移植法の確立によって約10年前より性能の安定した田植機が開発され、以来急激に普及し、現在では約160万台が生産され¹⁾、田植作業のほとんどが機械によって植付けられるようになった。田植機はシロカキされた圃場の田面を車輪で走行し、その走行の安定を向上させるためにフロートを有しているのが一般的である。シロカキされた土壌はその組成によって力学的性質が大きく変わり²⁾、とくに粘土を多く含んだ圃場においては、シロカキ後の経過時間が少ないときフロートの走行によって植付けられた苗が倒されて埋没することもしばしばある。また耕盤の凹凸が田植機の植付部の動きに影響し³⁾、深植になったり、浅植になったりすることもある。さらに植付けられた苗が浅植であり、シロカキ土壌が軟かいとき、強風による外力が作用した場合にそれによって倒され、結果として欠株となることもある。田植機で使用する苗は稚苗または中苗で葉令が2.5~3.5のものが多く、深植になり過ぎた場合は一般に後の生育・収量によくないとされている。逆に浅植の方がよいとされているが、植付直後しばしば倒伏する。倒伏しても約10日も経過すれば苗は自力で起き上がって収量には影響ないが、機械の立場からすれば芳しいことではない。

したがって本研究は上述の最後の問題、すなわち外力

として実際にしばしば確率的に起こる作物等に被害がではじめる10m/secの風が植付けられた苗に作用した場合シロカキ土壌の硬さと植付け深さとの関係を苗のモデルによって求め、シロカキ土壌の苗の支持力、最適植付深さ等について検討した。

II 実験装置および方法

2-1 水稻稚苗モデルと供試土壌

稚苗のモデルは、なるべく実物に近い材料でしかも後述する応力が容易に測定できるものとして、リン青銅板(PBS-SH、ヤング率 $0.98 \times 10^8 \text{ kgf/cm}^2$ 、幅10mm、厚さ0.3mm)を用い、植付け深さは土壌表面より10mm、20mm、40mmの3種類とする。まずモデル板に土壌表面から10mmの位置になるように歪ゲージ(ゲージ率2.1、箔ゲージ)を貼りつける。土壌中に、モデル板を植付け深さ別にさしこみ、送風機(最大風速15m/s)を用いて風をおくる。このときモデル板の上端に均等に風があたるように、ビニールパイプでセットしておく。風速は送風機に直結されたモーターの電圧を変圧器によって徐々に増加させ、1分間で線形的に風速10m/secに達するように操作して、そのときの歪ゲージより検出し、動歪計(新興通信工業、DS-6002F型)で増幅して電磁オシログラフ(共和電業、RMV-300A型)で風速とともに記録する。なお、風速は熱線風速計(アネモマスター)を用いて測定した。

供試シロカキ土壌の硬度は硬い、中程度および軟かい状態の3種類を設定し、下げ振り硬度計⁴⁾により測定しそれぞれ貫入深さが65、90、125mmの3状態について、各植付け深さと組み合わせて実験を行う。所定の土壌硬度になるように土壌槽の土壌に水を加え、シロカキをして硬度を調整する。以上より、各々の土壌硬度および植付け深さにおける土壌表面から10mmのところの歪と風速の関係が得られる。供試シロカキ土壌の粒度分析は、J I

* 三重大学農学部

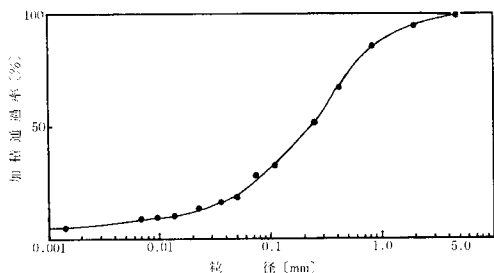


図-1 供試シロカキ土壌の粒径加積曲線

S A1204 (比重浮ヒョウによる粒度測定法) ⁵⁾ の規格で行ない、図-1に示す粒径加積曲線の土壌を用いた。

2-2 風速と風圧

一般の気体は、粘性・圧縮性の両性質を備えているがここでは気体の圧縮性を考慮にいれなければならないほどの高速の現象は扱わないものとして、非圧縮性すなわち気体の密度は一定であると仮定する。空気密度は、1気圧・20℃のとき0.1228[kgf・s²/m⁴]である。次に風速が一定であるならば風の中におかれた物体が受ける圧力P[kgf/m²]は、

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot C \cdot U^2 \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 ρ : 空気密度 [kgf・s²/m⁴]

C : 構造物の形状によって定まる空気係数

U : 風速 [m/s]

として表わされる。したがって(1)式を用いて各々の風速における圧力を求めることができる。以後この値を風圧として扱う。

2-3 歪とモーメント

モデル板に2ゲージ法によって貼付された歪ゲージより、曲げ歪を測定することによって、その部分におけるモーメントが求められる。すなわち、モーメントM[kgf・mm]は次式で算出することができる。

$$M = E \cdot b \cdot h^2 \cdot \epsilon / 12 \quad \dots\dots (2)$$

ここで、E : ヤング率 [kgf/mm²]

b : モデル板の厚さ [mm]

h : モデル板の幅 [mm]

ϵ : 出力ひずみ量

2-4 シロカキ土壌の反力

モデル板は、それが倒伏していく速度比に比べて風速の方が極めて速いから、各瞬間においていずれの場合も静止しているものと見なすことができる。土壌からの反力が土壌表面とモデル板の最下部に集中的にかかるものとすれば、図-2のような片持ちはりと考えることができゲージの貼付場所のモーメントと風圧および各部の長さが既知であれば、図中の反力RおよびFの値は、次のようにして算出することができる。

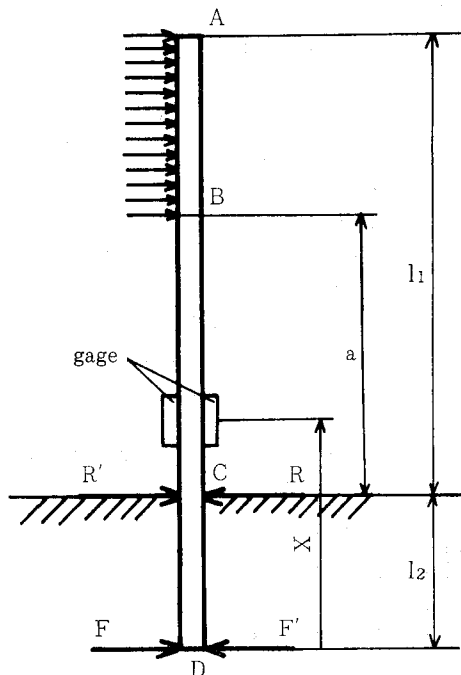


図-2 稚苗モデル

BC間のモーメントM_{BC} [kgf・mm]は、

$$M_{BC} = F \cdot x - R(x - l_2) \quad \dots\dots (3)$$

$$F = q(l_1^2 - a^2) / 2l_2 \quad \dots\dots (4)$$

$$R = F + q(l_1 - a) \quad \dots\dots (5)$$

(3)式に(4)、(5)式を代入すれば

$$M_{BC} = q(l_1^2 - a^2) / 2 + ql_2 l_1 - ql_1 x + qa(x - l_2) \quad \dots\dots (6)$$

となる。

ここで、q : 単位長さ当りの風からの力 [kgf/mm]

l₁ : 土壌表面から最上部までの長さ [mm]

l₂ : 土壌中の長さ [mm]

x : モデル板の最下部からゲージ貼付位置までの長さ [mm]

いま、(2)式よりモーメントの値が求まり、かつq, l₁, l₂, xは測定できる値であるから、(6)式よりaの値を求めることができる。このaの値を(4)、(5)式に代入することにより、反力FおよびRの値が求まる。

III 実験結果および考察

3-1 反力について

図-2のように考えた場合、土壌中(C点～D点)で確実に固定されているとすれば、AB間にかかる力と、FおよびRとの力関係はつり合っているはずである。言い換えれば、AB間にかかる力、つまり風圧はRの反力であるR'とFの反力であるF'の力におき換えることが

できる。したがって、固定した場合のFおよびRはそのときの風がモデル板をとおして、シロカキ土壤に与える力ということになる。もしシロカキ土壤が軟かいときは風からの力よりも土壤からの反力が小さいことになる。この場合は、モデル板が倒れることにより、風からの力が弱まり、土壤からの反力とつり合うところで静止する。こうして算出したRおよびFを固定の場合と比較することによって、モデル板の倒伏を考慮することができる。以下、それぞれの植付け深さに別土壤硬度および風圧と反力を検討する。表-1に、それぞれの場合の反力Rの値を示す。この値は、数度くり返した実験の値を最小二乗法によって回帰したときの値である。

表-1 各々の条件による反力Rの値 [kgf]

植付け深さ [mm]	風圧 [kgf/m ²] (風速 [m/s])	固 定	土 壤 硬 度 (下げ振り貫入深さ)		
			65mm	90mm	125mm
10	5(9.0)	0.031	0.026	0.015	0.017
	10(12.8)	0.045	0.034	0.022	0.023
20	5	0.016	0.017	0.014	0.009
	10	0.026	0.026	0.019	0.011
40	5	0.009	0.010	0.009	0.011
	10	0.014	0.014	0.014	0.15

1) 植付け深さ10mmの場合

各シロカキ土壤硬度における風圧と反力Rとの関係は図-3に示すとおりである。同様に、反力Fについても風圧との関係を求めると図-4のようになり、図-3とほぼ同じである。図-3から、土壤硬度90mmと125mmの場合は、ほとんど同じ傾向であることがわかる。またその反力Rの値は、ほとんどすべての風圧の場合において風力のおよそ50%が作用していることになる。すなわち実際に風からモデル板をとおしてシロカキ土壤に、風圧5[kgf/m²]のとき約0.031[kgf]かかっているにもかかわらず、モデル板がつり合いを保ったときの反力が約0.016[kgf]であり、風のあたる部分が固定の場合の半分以下になったことを示している。したがって、モデル板がかなり倒れたことになる。

また、土壤硬度65mmの場合は風力の約80%であり、土壤硬度90mmや125mmのときほど顕著に倒伏しないことを示している。

2) 植付け深さ20mmの場合

植付け深さ10mmの場合と同様に、各土壤硬度における風圧と反力Rの関係を図-5に示す。結果に多少のばらつきはあるが、土壤硬度65mmの場合は固定の場合とほぼ同じ傾向を示しており、風力を十分支えるだけの土壤硬度があることを示している。

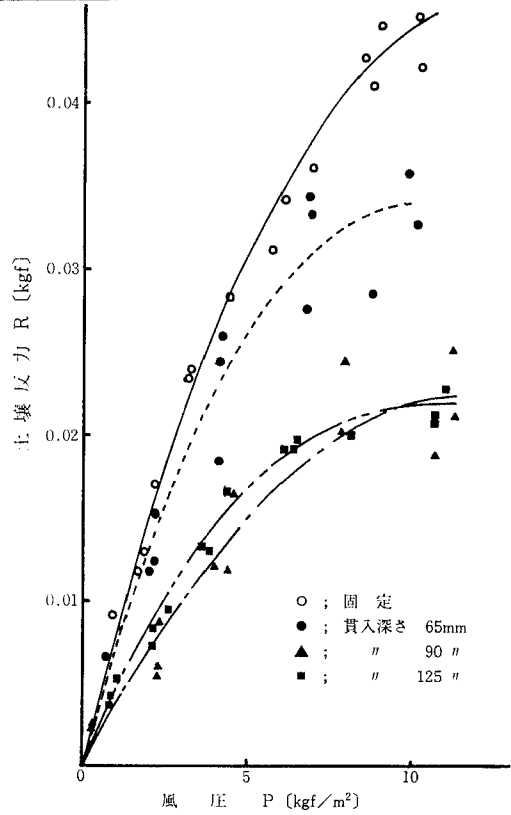


図-3 土壤反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ10mm)

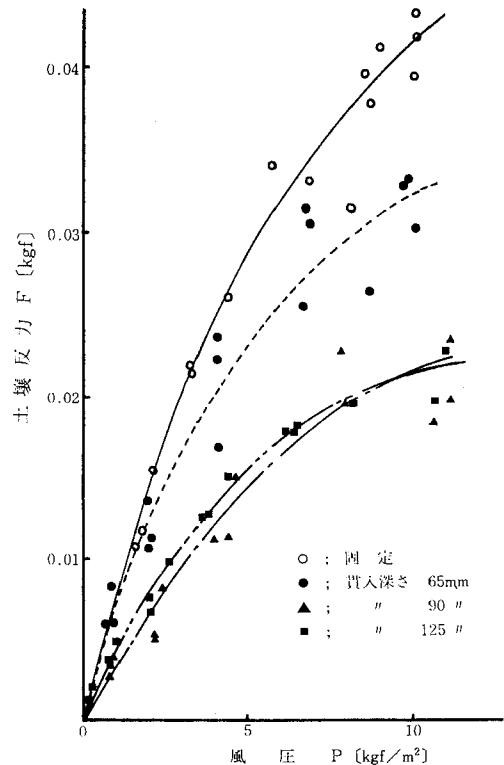
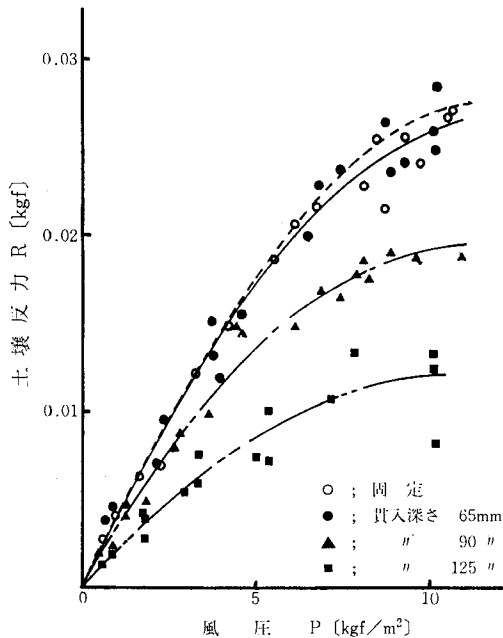


図-4 土壤反力Fと風圧Pとの関係(植付深さ10mm)



図一五 土壌反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ20mm)

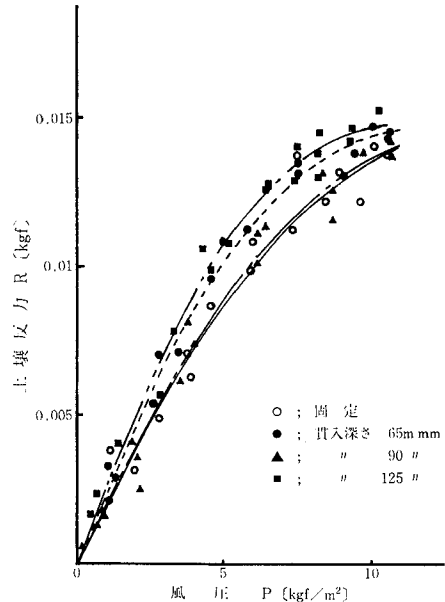
土壌硬度が90mmのとき、風圧5[kgf/m²]の場合には風力のおよそ85%である0.014[kgf]の反力である。さらに風圧があがり10[kgf/m²]の場合には、およそ73%の0.019[kgf]となる。これは、風圧が高くなるにしたがってシロカキ土壌の支える力が、風からの力を支持できなくなり、より倒れやすいことを示している。

土壌硬度が125mmのとき、風圧5[kgf/m²]の場合には、土壌の反力は風力のおよそ55%であり、さらに風圧10[kgf/m²]の場合には45%である。これは、風力の約半分しか支えられないことを示しており、残りの半分は風のあたる部分が少なくなってつり合いのとれるところまで倒れることになる。

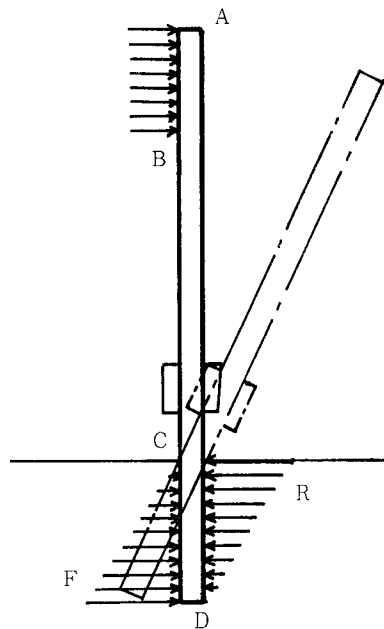
3) 植付け深さ40mmの場合

各土壌硬度における風圧と反力Rの関係を図一六に示す。この植付け深さの場合には、どの状態の土壌硬度においてもほとんど同じ傾向を示しており、風からかけた力は土壌の反力によって十分支えられていることを示している。

全体の結果をまとめてみる。たとえば、植付け深さ10mmで土壌硬度が90mmの場合、風圧10[kgf/m²]で反力Rはおよそ0.022[kgf]である(図一三)。もし、この値まで土壌が支えられるとすれば、風からの力が0.022[kgf]である風圧3[kgf/m²]までは、固定と同じ曲線上にあるはずである。ところが実験では、風圧3[kgf/m²]においても風から受ける力の約3分の1の反力である。これは、この時点ですでにモデル板が倒れていることを示している。すなわち、土壌反力の限界点になったら急に倒れる



図一六 土壌反力Rと風圧Pとの関係(植付深さ40mm)



図一七 土壌反力

のではなく、軟かくシロカキされた土壌においては低い風圧のときから徐々に倒れはじめ、倒れたことによって土壌反力が増加するものと考えられる。この現象をより詳しく説明するために図一七を考える。風がモデル板に作用するとき、モデル板のR側ではそれを支えようとして反力が働き、この値が十分であればモデル板は倒れない。次に、Rによって支えられているため、風によってモデル板はC点を中心に回転することが考えられる。こ

の回転の抵抗としてFからの反力が作用し、その抵抗が大きければモデル板は回転することはない。しかし、下の値が小さければモデル板は、C点を中心に回転し、ついには土を押し上げて完全に倒伏する。同じ風圧であるにもかかわらず、植付け深さが変ればその反力RおよびFの値は大きく異なる。それは、反力Fの値は、一般にシロカキ土壌の土圧や硬度が深くなるにしたがって急激に増加するから、植付け深さに大きく影響する。また(4)式から明らかなように I_2 の値が、大きくなればなるほどFは小さな値でつり合うことになる。すなわち、シロカキ土壌が軟かく反力の値が小さいと予想される場合には、それだけ深く植付けることによって、風からの力を小さくシロカキ土壌に伝えることが必要である。逆にシロカキ土壌が硬い場合、それほど大きな I_2 の値は必要でなく浅植であってもかなりの風圧に耐えることになる。

3-2 モーメントについて

モーメントは、モデル板の倒伏を考える重要な要素の一つである。モーメントと反力は、(3)式から明らかなようにきわめて深い関係にあり、モーメントと風圧の関係は、反力とその関係とほぼ同じ傾向を示している。したがって、モーメントを考えてもほぼ反力について考えたのと同じ結果になる。モーメントの値は、土壌表面から10mmのところにおける歪を検出して求めたものである。土壌にしっかり固定されておれば、それだけモデル板は風圧によって曲ることになり、そのためモーメントの値も大きくなるが、固定されていないとすれば曲るよりもむしろそのまま風に押されて倒れるから、比較的小さな値である。

3-3 稚苗の倒伏への応用

田植機用の育苗方法にしたがって実際の稚苗(葉令:2.5, 品種:秋晴)について、植付け深さと風による倒伏との関係を実験した。使用したシロカキ土壌は前述の土壌槽において、平均土壌硬度は下がり貫入深さで60mmであり、モデル板による実験よりも若干硬い状態で行なった。また作用させた風は送風機により平均風速10[

m/s] (風圧6.12[kgf/m²])を60秒当たりのときの稚苗の倒伏または傾斜した角度の結果を次表に示す。

上表の数値はその傾斜した状態を百分率で表わしたものである。倒伏角度0°は完全に倒伏してシロカキ土壌表面に全体が倒れたときであり、逆に90°の場合は全く倒れずに垂直に植っているときである。植付ける方法は田植機による植付けを想定してピンセットで1本を植付け、シロカキ土壌に湛水しない状態で、田植機の進行方向と同じ方向へ送風したときのものである。この実験結果から植付け深さ15mmではそのほとんどが倒伏することを表わしている。植付け深さをそれよりも深くした場合たとえば30mmのとき、倒伏状態になるのはその10%であり、その他の多くは傾くが、60°以上立っているものが約55%となった。この結果は特定の極く限られた条件上で行なったもので、これから実際の稚苗の倒伏問題に関して一般的な傾向について論ずることはできない。すなわちシロカキ土壌の硬度、土質、湛水状況、稚苗の生育状態や風向の影響を考慮に入れる必要がある。しかし、この結果から推論できることは、植付け深さを20mm以上にすれば極端な倒伏は避けられることになり、この値は田植機メーカーの型録や取扱説明書にある稚苗の植付け深さ20~30mmと指示している数値とほぼ一致する。

IV 摘 要

外力として0~10m/sの風が作用するとき、水稻の稚苗モデルを用いてシロカキ土壌の硬度とその植付け深さとの関係を求めた。主な結果は次のとおりである。

1. シロカキ土壌の硬度は下げ振りの貫入深さで65, 90, 125mmで実験した。
2. 水稻の稚苗モデルはリン青銅板(PBS-SH, 厚さ:0.3mm, 幅:10mm)で作り、その植付け深さは10, 20, 40mmである。
3. 稚苗モデルに貼付したストレインゲージにより、その曲げモーメントを測定し、それによって各植付け深さにおけるシロカキ土壌の反力と風圧(風速)との関係を求めた(Fig.3~6)。

4. 稚苗モデルおよび稚苗に最大風速10m/sが作用した場合、上述の結果と稚苗の倒伏の実験結果(表-2)から倒伏しないための最適な植付け深さとシロカキ土壌の硬度の関係は次表に示すとおりである。

表-2 稚苗の植付け深さと倒伏との関係 [%]

植付け深さ (mm) 倒伏 角(度)	15	20	25	30	35
0~20	65	18	11	10	5
21~40	15	14	6	10	10
41~60	10	18	22	25	25
61~80	10	36	33	25	30
81~90	0	14	28	30	30
本数(本)	20	28	18	20	20

下げ振り貫入深さ (mm)	植付け深さ (mm)
65	10
90	20
125	30~40

引用文献

- 1) 農林水産省統計情報部：ポケット農林水産統計—昭和55年度版一，農林水産省情報部，156～163，1980.
- 2) 小中俊雄：しろかき土壌の力学性に関する相似性研究，三重大学農学部学術報告，第40号，177～303，1970.
- 3) 市川眞祐他：田植機の植付精度に関する研究，農業機械学会第38回講演要旨，46，1979.
- 4) 農業機械学会編：改訂農業機械ハンドブック，コロナ社，922～923，1969.
- 5) 土質工学会編：土質試験法，土質工学会，68～87，1971.

Studies on Relationship between Hardness of Puddling Soil and Planting Depth depend on Young Seedling Model of Paddy Rice

Masasuke ICHIKAWA, Fumio YAMAMURA

Faculty of Agriculture, Mie University

Summary

When the wind velocity in range from zero to 10 meters per second acted upon the external force to the young seedling model of paddy rice, the relation between the hardness of puddling soil and the planting depths were obtained by the experiments of model. The results were as follows:

1. The hardness of puddling soil was measured with the penetration depth of falling cone, and each measurement was 65, 90 and 125mm.

2. The young seedling model of paddy rice was made by the phosphor bronze plate for spring (PBS—SH, thickness: 0.3mm, width: 10mm), and each planting depth was 10, 20 and 40mm.

3. The bending moment of the young seedling model was measured by the strain gage sticking to its model, the relation between reaction force of the puddling soil and the wind pressure was obtained from the bending moment on each planting depth (Fig. 3～6).

4. In the case of the maximum wind velocity of 10 meters per second acted upon, from the above mentioned results and the tumbling characteristics of the natural young seedling of paddy rice (Table 2), the relation between the most suitable planting depths and the hardness of puddling soil so as not to tumble were showed in the next table.

Penetration depth of falling cone (mm)	Planting depth (mm)
65	10
90	20
125	30～40

[1980.10.20. 受稿]