

# 水稻の湛水土壤中条播直播栽培における株の押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との関係

名越時秀\*・田邊 猛\*

(平成13年2月28日受付/平成13年4月19日受理)

要約：直播水稻の押し倒し抵抗値の測定に用いられている従来型の機種（倒伏試験器）とデジタル式のフォースゲージによる測定値の比較を行うとともに、押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との関係について検討した。フォースゲージによる押し倒し抵抗の測定値は、従来の倒伏試験器による測定値より大きくなったが、1株穂数が3本以下の押し倒し抵抗値が小さい株の計測も可能であった。一方、押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との関係は、測定機種や1株穂数の相違に関わらず、両者の間には有意な高い正の相関関係が存在し、しかも引き抜き抵抗値は倒伏指数と有意な負の相関関係が認められた。これらの結果から、フォースゲージは押し倒し抵抗値が小さい株を含む調査対象には、従来の倒伏試験器より高い精度での計測が可能であること、並びに引き抜き抵抗値は根の強度を表す指標の一つとして利用できることが示唆された。

キーワード：押し倒し抵抗値、水稻、湛水直播、デジタルフォースゲージ、倒伏試験器、引き抜き抵抗値

## 緒 言

水稻の直播栽培で問題となる倒伏の型は主として転び型倒伏であり、耐転び型倒伏性には押し倒し抵抗値で表される株の支持力が密接に関与し<sup>1-3)</sup>、押し倒し抵抗値と実際の倒伏程度との間には有意な負の相関関係が存在することが認められている<sup>1,4-7)</sup>。したがって耐転び型倒伏性の指標として最近ではこの押し倒し抵抗値が多く用いられている。ところで、直播栽培では播種様式に関わらず苗立ち密度にバラツキが生じ、密度の高い部分では1株穂数が1~3本の株も多く、このような株の支持力は著しく小さい。そのため、上村ら<sup>8)</sup>が考案した倒伏試験器（大起理化製 DIK 7400）を使って、著者らが押し倒し抵抗を計測（押し倒し位置：10 cm、使用バネ 1 kg）した結果、穂数1本と2本の株の抵抗値が小さすぎて押し倒し抵抗値の読み取りができなかった。そこで、このように抵抗値が小さい株の押し倒し抵抗値の測定法を確立するために、富樫ら<sup>9)</sup>が土中点播水稻の押し倒し抵抗を測定することを目的に試作した測定器とほぼ同様なフォースゲージ（シンポ工業社製）を用い、上述の倒伏試験器と比較・検討した。

さらに、耐転び型倒伏性に関与する株支持力を表す指標として株の引き抜き抵抗、すなわち株の引き抜きに要する最大負荷量を根の引き抜き抵抗で表す方法があり、水稻<sup>10-13)</sup> やトウモロコシ<sup>14)</sup> でも用いられている。しかし水稻では事例が少なく、押し倒し抵抗値との関係について論じた報告は見あたらない。

そこで、供試したフォースゲージを用いることで抵抗の小さい株の押し倒し抵抗値の測定、並びに従来型の倒伏試

験器による押し倒し抵抗値の測定精度と同等以上の結果が得られるか、また、引き抜き抵抗値は水稻では株支持力を表す指標として用いた事例が少ないので、押し倒し抵抗値との関係を明らかにすることで、引き抜き抵抗値が株の支持力を表す指標となり得るかについて検討した。

## 材 料 と 方 法

試験は、1999年に神奈川県厚木市の東京農業大学厚木農場棚沢水田で、供試品種に水稻キヌヒカリを用いて行った。10 a 当たり 4 kg（乾籾重）の催芽種子に、カルパー粉粒剤 16 を 8 kg とタチガレエース粉剤 120 g を粉衣し、代掻き 2 日後の圃場へ条播機で 5 月 17 日に播種し、6 日間落水した。施肥は 10 a 当たり化成肥料（10 : 18 : 16）30 kg とケイ酸カリ 20 kg を基肥として施し、追肥は、7 月 6 日にケイ酸カリを 20 kg、さらに 7 月 26 日と 8 月 3 日に NK 化成（17 : 0 : 17）をそれぞれ 12 kg と 6 kg 施した。出芽後に間引きし苗立ち密度が m<sup>2</sup> 当たり 80 株前後になるように調整した。なお、出穂日は 8 月 12 日であった。

調査区は、条の長さ 2 m で隣接する 3 条を 1 区とし、調査時期ごとに 20 反復設け、この 20 反復の調査区の中からできる限り中央の列より、1 株穂数が 1, 3, 5, 7 および 9 本の株をそれぞれ 30 株ずつ測定した。押し倒し抵抗の測定は、上村ら<sup>8)</sup>、寺島ら<sup>1)</sup> および尾形・松江<sup>1)</sup> にほぼ準じ、株の押し倒し位置は地上 10 cm、押し倒し角度は 45 度で、条に対して直角方向に押し倒した。供試機種は、大起理化製（DIK7400）の倒伏試験器とシンポ工業社製（FGX-5）のフォースゲージを用いた。さらに、押し倒し抵抗を測定後直ちにすべての株の地際をヒモで結束し、フォースゲージ

\* 東京農業大学農学部農学科

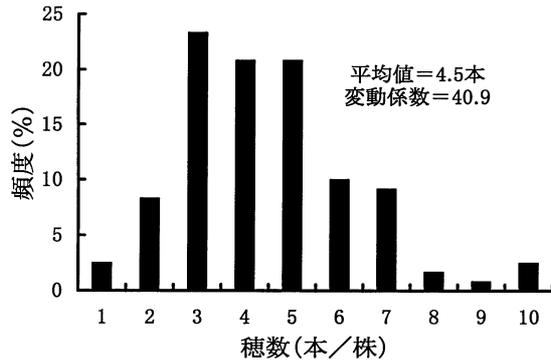


図1 1株穂数の頻度分布

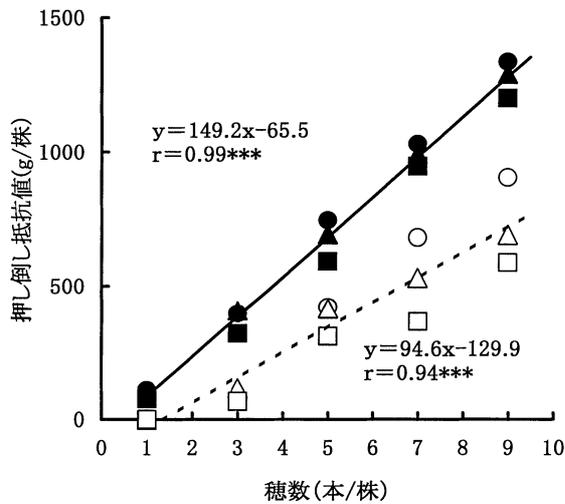


図2 測定機種による1株穂数と株当たり押し倒し抵抗値の関係の相違

●, ▲, ■: フォースゲージ, ○, △, □: 倒伏試験器  
●, ○: 穂揃期, ▲, △: 登熟中期, ■, □: 登熟後期  
\*\*\*は0.1%水準で有意差あり。

(押し倒し抵抗測定とは別の機種: FGN-50) で垂直に引き抜き, 引き抜きに要した最大負荷量を引き抜き抵抗値とした。

調査時期は, 第1回が出穂4~6日後(穂揃期), 第2回が出穂22日後と24日後(登熟中期)および第3回が出穂42~44日後(登熟後期)であった。

なお, 1株穂数が1~3本で押し倒し抵抗値が小さい株の頻度を知るため, 出穂期に苗立ち密度が80株/m<sup>2</sup>の畝長1m間で1株穂数を5反復調査した。

## 結果

### 1. 1株穂数の頻度分布

出穂期に苗立ち密度が80株/m<sup>2</sup>の場所を選び1株穂数を調査した。図1に示したように, 平均の1株穂数は4.5本であったが, 1本と2本の株の合計は全株数の約10%, 3本の株も含めると約30%であった。

### 2. 測定機種の違いが押し倒し抵抗値に及ぼす影響

1株穂数と株当たり押し倒し抵抗値の関係を図2に示した。両機種とも穂数が増えるほど押し倒し抵抗値も大き

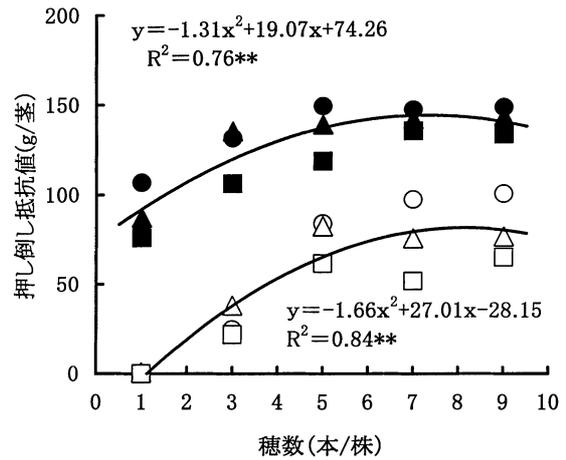


図3 測定機種による1株穂数と1茎当たり押し倒し抵抗値の関係の相違

●, ▲, ■: フォースゲージ, ○, △, □: 倒伏試験器  
●, ○: 穂揃期, ▲, △: 登熟中期, ■, □: 登熟後期  
\*\*は1%水準で有意差あり。

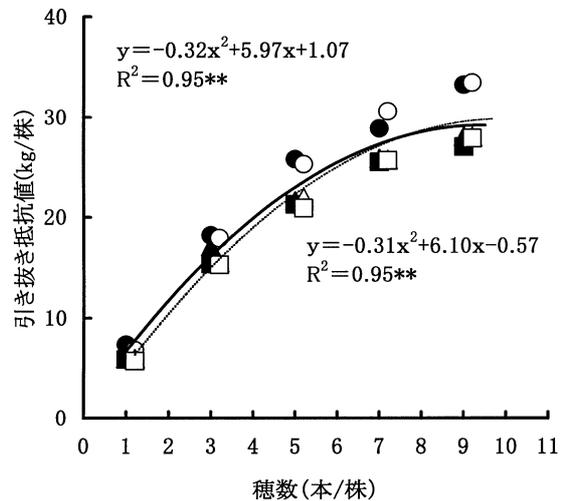


図4 フォースゲージにより測定した株当たり引き抜き抵抗値と1株穂数の関係

引き抜き抵抗は同一機種で測定し, 押し倒し抵抗はフォースゲージ(●, ▲, ■)と倒伏試験器(○, △, □)で測定した。

●, ○: 穂揃期, ▲, △: 登熟中期, ■, □: 登熟後期  
\*\*は1%水準で有意差あり。

くなり, 登熟が進むほど小さくなった。なお, 倒伏試験器では穂数1本と3本の株は抵抗が小さく計測できない株が多かった。すなわち, 調査した90株のうち計測できなかった株は, 穂数1本の株では89本(99%), 3本の株では28株(31%)であった。図2から明らかなように, 倒伏試験器と比較してフォースゲージの抵抗値が大きく, 穂数5~9本の株で比べるとその値は2倍を越えた。

図3に1株穂数と株当たり押し倒し抵抗値を穂数で除して算出した1茎当たり押し倒し抵抗値の関係を示した。両機種とも1株穂数が5本までは穂数が多いほど1茎当たり押し倒し抵抗値も大きくなったが, それ以上穂数が増えても1茎当たり押し倒し抵抗値はほとんど変化なかつ

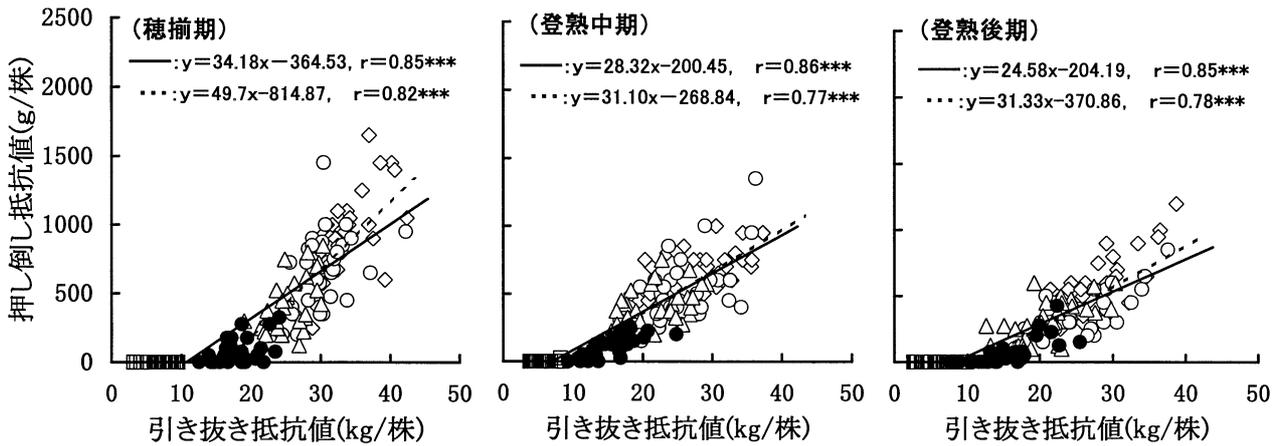


図5 倒伏試験器により測定した押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との相関関係  
 □：穂数1本，●：穂数3本，△：穂数5本，○：穂数7本，◇：穂数9本。\*\*\*は0.1%水準で有意差ありを示す。  
 実線は押し倒し抵抗値の0の値を含む場合，点線は0の値を除いた場合を示す。

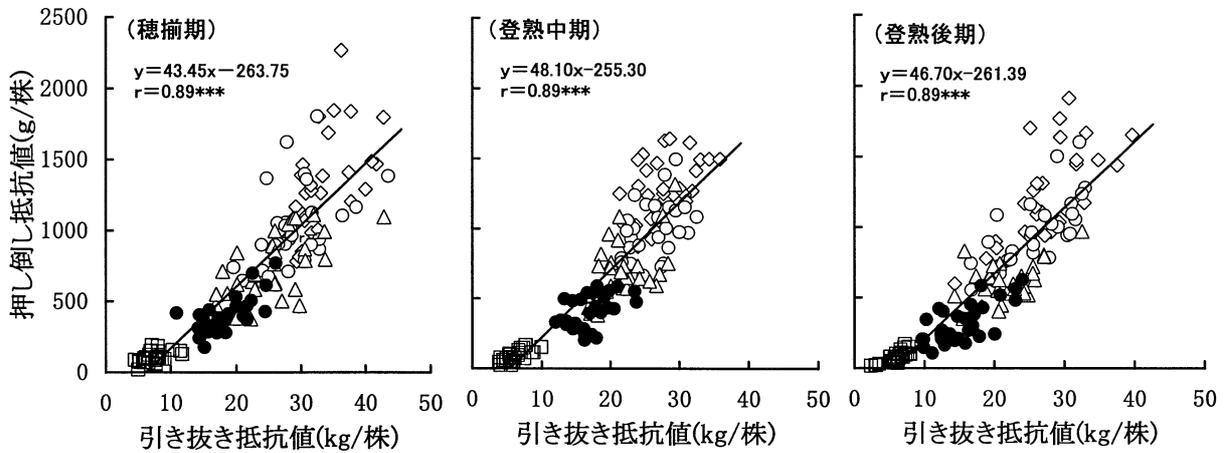


図6 フォースゲージにより測定した押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との相関関係  
 ◇：穂数1本，●：穂数3本，△：穂数5本，○：穂数7本，□：穂数9本。\*\*\*は0.1%水準で有意差ありを示す。

た。

3. 押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値との関係

図4に1株穂数とフォースゲージで測定した引き抜き抵抗値の関係を示した。登熟中期と登熟後期の差は少ないものの穂数の増加に伴い抵抗値も大きくなった。押し倒し抵抗をフォースゲージで計測した株(図中の●, ▲, ■印)と押し倒し抵抗を倒伏試験器で計測した株(図中の○, △, □印)の引き抜き抵抗値は、圃場内のサンプリング地点の違いによって測定値に多少差があるがほとんど等しいといえる。そこで、引き抜き抵抗値と押し倒し抵抗値の関係を図5と図6に示した。倒伏試験器により測定した押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値の関係、並びにフォースゲージにより測定した押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値の関係は、押し倒し抵抗値の測定機種の違いに関わらず、全期間を通じて引き抜き抵抗値と押し倒し抵抗値との間には有意な正の相関関係が存在した。この相関係数は1株穂数をすべて込みにした場合であるが、1株穂数ごとに相関係数を求めても表1に示したようにすべてに5%水準以上で有意な正の相関関係が認められた。

表1 押し倒し抵抗測定機種の相違が引き抜き抵抗値と押し倒し抵抗値の相関関係に及ぼす影響

調査時期	1株穂数	押し倒し抵抗測定機種	
		倒伏試験器	フォースゲージ
穂揃期	1	----	0.46**
	3	0.49*	0.71***
	5	0.61***	0.61***
	7	0.41*	0.47**
	9	0.71***	0.56**
登熟中期	1	----	0.75***
	3	0.75***	0.46*
	5	0.40*	0.52**
	7	0.58***	0.39*
	9	0.53**	0.37*
登熟後期	1	----	0.77***
	3	0.74**	0.70***
	5	0.65***	0.63***
	7	0.71***	0.73***
	9	0.75***	0.75***

\*、\*\*および\*\*\*はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意差あり

引き抜き抵抗は、同一機種で測定。

表 2 押し倒し抵抗測定機種の違いが押し倒し抵抗値と引き抜き抵抗値の変動係数に及ぼす影響

調査時期	1株穂数	押し倒し抵抗値		引き抜き抵抗値	
		倒伏試験器	フォースゲージ	倒伏試験器	フォースゲージ
穂揃期	1	----	36.2	25.0	23.2
	3	76.5	32.4	16.2	19.3
	5	48.4	29.3	12.6	22.1
	7	39.3	26.6	11.8	16.6
	9	37.5	25.4	12.0	12.3
登熟中期	1	----	47.4	25.3	25.3
	3	46.9	28.1	21.3	17.0
	5	33.8	30.1	19.6	16.7
	7	46.9	19.8	19.4	12.8
	9	21.4	16.2	19.3	12.1
登熟後期	1	----	52.7	36.8	23.9
	3	86.1	43.2	27.5	26.1
	5	53.4	26.8	22.0	20.2
	7	46.5	26.5	20.2	18.8
	9	38.4	30.1	16.5	20.7

倒伏試験器により測定した穂数3本の押し倒し抵抗値の変動係数は、0の値を除いて計算した。  
引き抜き抵抗は、同一機種で測定。

表 3 押し倒し抵抗測定機種の違いが引き抜き抵抗値と倒伏指数の相関関係に及ぼす影響

調査時期	1株穂数	押し倒し抵抗測定機種	
		倒伏試験器	フォースゲージ
穂揃期	1	----	-0.21ns
	3	-0.00ns	-0.60***
	5	-0.50**	-0.31ns
	7	-0.48**	-0.42*
	9	-0.51**	-0.55**
登熟中期	1	----	-0.42*
	3	-0.40*	-0.41*
	5	-0.30ns	-0.37*
	7	-0.46*	-0.19ns
	9	-0.56**	-0.36ns
登熟後期	1	----	-0.78***
	3	-0.49ns	-0.56**
	5	-0.38*	-0.44*
	7	-0.64***	-0.60**
	9	-0.45*	-0.74***

nsは有意差なし、\*、\*\*および\*\*\*はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意差あり  
引き抜き抵抗は、同一機種で測定。

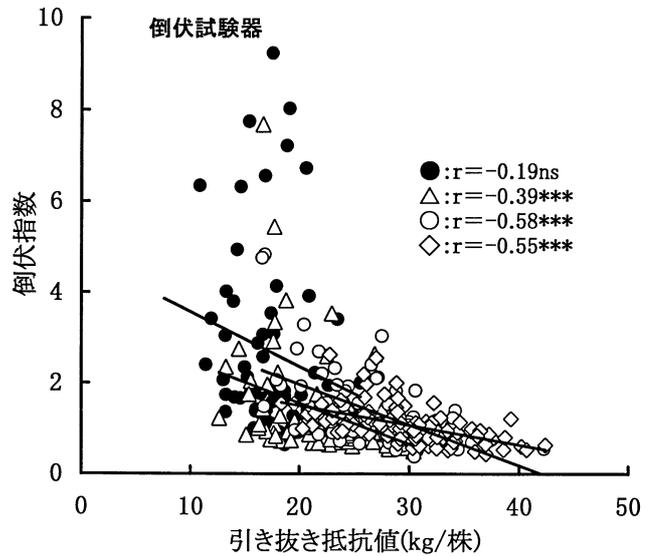
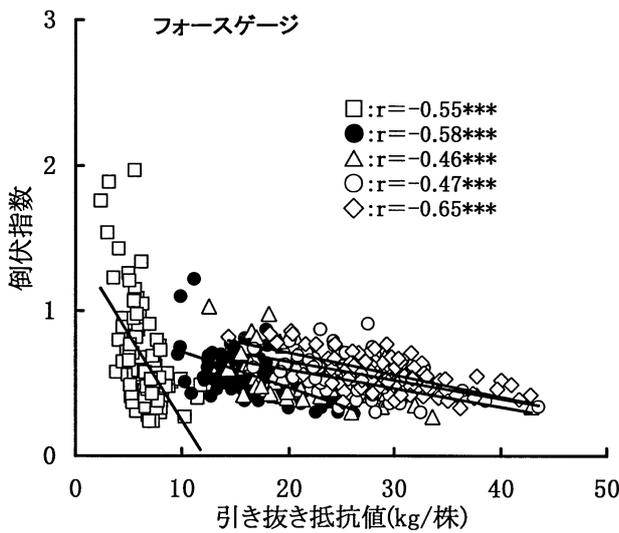


図 7 押し倒し抵抗測定機種の違いが倒伏指数と引き抜き抵抗値の関係に及ぼす影響

□: 穂数1本, ●: 穂数3本, △: 穂数5本, ○: 穂数7本, ◇: 穂数9本。nsは有意差なし。  
\*\*\*は0.1%水準で有意差あり。

### 考 察

フォースゲージと倒伏試験器を用いた押し倒し抵抗の測定の結果は図2と図3に示したように、1株穂数と株当たりおよび穂当たり押し倒し抵抗値との関係は、両機種とも同様な関係を示した。しかし、フォースゲージでの計測の方が大きな値となったが、倒伏試験器は、測定を開始する水平状態から稲株に圧力をかけて地平面に対する角度が増すにつれて、装置自体の可動部の重さがバネにかかる荷重を減じるようになり、同じ荷重でも角度によって表示値が小さくなるためである<sup>8)</sup>。一方、フォースゲージの場合には稲株に押し当てるセンサ部分等の重さや測定角度に関わらず、ゼロ点補正が可能のため倒伏試験器による測定値よ

り大きくなり、しかも抵抗の小さい1株穂数1本と3本の株の計測も可能であった。さらに、押し倒し抵抗値の変動係数(表2)は、測定機種に関わらず1株穂数の少ない株ほど大きく、また倒伏試験器による測定値の方が大きかった。これらの結果から判断すると、少なくとも1株穂数が3本以下の株の押し倒し抵抗値の測定には、倒伏試験器よりフォースゲージの方がより高い精度での計測が可能であると考えられた。

引き抜き抵抗値は、押し倒し抵抗値との間に有意な高い正の相関関係が存在した。また、実際の倒伏程度と密接な相関関係が認められている倒伏指数<sup>1)</sup>を算出し、引き抜き抵抗値との関係をみたところ、表3に示したように生育時期ごとにみてもほとんどの場合に負の相関関係が認められ

た。さらに、生育時期を込みにした場合は図7に示したように、倒伏試験器の穂数1本と3本を除いて測定機種に関わらず、両者の間には有意な高い負の相関関係が認められた。このようなことに加えて、引き抜き抵抗値は、押し倒し抵抗値の測定方法に比べてやや煩雑で破壊的ではあるが、変動係数(表2)から判断する限り押し倒し抵抗値に比較して値の安定性が高い、さらには、根数、根長および根径の3要素の積との間に高い正の相関関係が認められること<sup>12)</sup>並びに耐転び型倒伏性が高く、根の支持力が大きい品種で引き抜き抵抗値が大きいことから考えて<sup>10)</sup>、根の強度を表す指標の一つとして適用することは、十分可能であることが示唆された。

謝辞：本試験を遂行するに当たり、直接ご協力を頂いた本学農学部厚木農場職員の中口輝久氏に対し、ここに謝意を表す。

#### 引用文献

- 1) 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄, 1992. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質 第1報 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日作紀, 61, 380-387.
- 2) 寺島一男・尾形武文・秋田重誠, 1994. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質 第2報 耐ころび型倒伏性品種の根の生育特性. 日作紀, 63, 34-41.
- 3) 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄, 1995. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質 第3報 根の土壌中分布特性と耐ころび型倒伏性との関係. 日作紀, 64, 243-250.
- 4) 尾形武文・松江勇次, 1996. 北部九州における水稲湛水直播栽培に関する研究 第1報 耐倒伏性の評価方法. 日作紀, 65, 87-92.
- 5) 尾形武文・松江勇次, 1998. 北部九州における水稲湛水直播栽培に関する研究—苗立ち密度ならびに播種様式が水稲の生育, 収量および米の食味特性に及ぼす影響—. 日作紀, 67, 485-491.
- 6) 尾形武文・松江勇次・浜地勇次, 2000. 湛水直播用の水稲品種育成のための押し倒し抵抗値による耐倒伏性の選抜効果. 日作紀, 69, 159-164.
- 7) 内村要介・尾形武文・佐藤大和・松江勇次, 2000. 水稲湛水直播栽培におけるケイ酸施用が倒伏, 収量, 食味および精米の理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀, 69, 487-492.
- 8) 上村幸正・松尾喜義・小松良行, 1985. 湛水直播水稲の倒伏抵抗性について. 日作四国支部紀事, 22, 25-31.
- 9) 冨樫辰志・吉永悟志・下坪訓次, 1997. 土中点播水稲の押し倒し抵抗簡易測定法. 日作九州支部報, 63, 7-9.
- 10) 芳賀光司・香村敏郎・高松美智則・朱宮昭男・釈 一郎, 1977. 水稲直播用品種の育成に関する研究(第1報) 湛水直播における稲品種の耐ころび型倒伏性. 愛知農総試研報, A9, 13-23.
- 11) 柳瀬 満・林 征三・川口祐男・高橋 渉, 1992. 水稲の湛水土壌中散播直播栽培における苗立密度が生育ならびに耐倒伏性に及ぼす影響. 北陸作物学会報, 27, 28-30.
- 12) 三本弘乗・鈴木浩之, 1993. 水稲の直播における好適特性の品種間差異 第1報 生育初期の引き抜き抵抗と根の生育. 日作紀, 62(別2), 35-36.
- 13) 松村 修・澤村 篤・岩田俊昭・古川嗣彦, 1994. 水稲の無代かき作溝直播培土栽培(作溝培土直播)について2. 培土方法の違いと培土の倒伏軽減・除草効果. 日作紀, 63(別1), 20-21.
- 14) 石毛光雄・山田 実・志賀敏夫, 1983. 判別関数を用いたトウモロコシの耐倒伏性の評価とその計量遺伝的検討. 農技研報, D35, 125-152.

# Relationship between Pushing Resistance and Pulling Resistance in Rice Grown by Direct Underground Row Sowing in Flooded Paddy Field

By

Tokihide NAGOSHI\* and Takeshi TANABE\*

(Received February 28, 2001/Accepted April 19, 2001)

**Summary** : This experiment was conducted to compare the pushing resistance of direct-sowing rice, measured by two different methods, namely, prostrate tester (Daiki DIK7400) used at present and digital force gauge (SHIMPO FGX-5). Further, the relationship between the pushing resistance and the pulling resistance were studied.

Pushing resistance, measured by two different methods, was higher in value by force gauge than by prostrate tester. Force gauge could measure pushing resistance in rice of low pushing-resistance, where panicle number per hill was less than three. A high positive correlation was found between pushing resistance and pulling resistance without distinction of measures and panicle number per hill. And the pushing resistance showed a high negative correlation with lodging index.

From these results, if the pushing resistance of hill is very low, force gauge can measure pushing resistance with greater precision than by measurement with a prostrate tester. Further, it was suggested that the pulling resistance is available to use for one of index of root strength.

**Key Words** : direct-sowing rice, digital force gauge, prostrate tester, pulling resistance, pushing resistance

---

\* Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture