



| | |
|---------------------|---|
| Title | テンサイ移植機の自動化に関する開発研究 |
| Author(s) | 南部, 哲男; Nanbu, Tetsuo |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(農学) |
| Dissertation Number | 乙第4380号 |
| Issue Date | 1993-09-30 |
| DOI | https://doi.org/10.11501/3074885 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/49976 |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | 000000269624.pdf |



テンサイ移植機の自動化に関する開発研究

南部哲男

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 記号の説明 | 1 |
| 第 1 章 緒 論 | 4 |
| 1.1 緒言 | 4 |
| 1.2 テンサイ移植機の変遷 | 7 |
| 1.3 国内・国外の畑用移植機の自動化研究 | 19 |
| 1.4 研究目的及び論文の構成 | 27 |
| 1.4.1 研究の目的 | 27 |
| 1.4.2 論文の構成 | 27 |
| 第 2 章 チェーンポット式移植機構 | 29 |
| 2.1 チェーンポットと分離機構 | 29 |
| 2.1.1 チェーンポットの構造 | 30 |
| 2.1.2 分離の原理と機構 | 32 |
| 2.2 苗落下式植付け機構 | 35 |
| 第 3 章 チェーンポットと分離機構の実用化の検討 | 38 |
| 3.1 チェーンポット苗の引出し抵抗 | 38 |
| 3.1.1 チェーンポットの実験目的 | 38 |
| 3.1.2 実験方法 | 38 |
| 3.1.3 結果及び考察 | 40 |
| 3.2 チェーンポットと分離の基礎実験 | 45 |
| 3.2.1 実験目的 | 45 |
| 3.2.2 実験方法 | 45 |

| | | |
|---------|-------------------|-----|
| 3.2.3 | 結果及び考察 | 49 |
| 3.3 | チェーンポットの試作と連続分離 | 55 |
| 3.3.1 | 実験目的 | 55 |
| 3.3.2 | 装置の概要 | 55 |
| 3.3.3 | チェーンポットの試作 | 56 |
| 3.3.4 | 実験方法 | 57 |
| 3.3.5 | 結果及び考察 | 58 |
| 3.4 | 本章のまとめ | 67 |
| | | |
| 第4章 | 苗落下式植付け機構の基礎的な検討 | 69 |
| 4.1 | 植付けにおける苗の挙動の理論的検討 | 69 |
| 4.1.1 | 拘束されない条件下の苗挙動 | 69 |
| 4.1.2 | 拘束される条件下の苗挙動 | 76 |
| 4.2 | 苗落下管内滑走時の苗挙動 | 81 |
| 4.2.1 | 苗落下管内を滑走時 | 81 |
| 4.2.2 | 苗落下管末端から放出時 | 83 |
| 4.2.3 | 苗落下管の動摩擦係数の測定 | 85 |
| 4.3 | 溝切り器による土壌の流れ | 93 |
| 4.3.1 | 円柱による土壌の流れ | 93 |
| 4.3.1.1 | 実験目的 | 93 |
| 4.3.1.2 | 装置及び方法 | 94 |
| 4.3.1.3 | 結果及び考察 | 98 |
| 4.3.2 | 溝切り器による土壌の流れの制御 | 104 |
| 4.3.2.1 | 実験目的 | 104 |
| 4.3.2.2 | 装置及び方法 | 105 |

| | | |
|---------|------------------------|-----|
| 4.3.2.3 | 結果及び考察 | 108 |
| 4.4 | 本章のまとめ | 113 |
| 第5章 | 植付け理論の実用化の検討 | 116 |
| 5.1 | 植付け実験 | 116 |
| 5.1.1 | 実験目的 | 116 |
| 5.1.2 | 装置及び方法 | 116 |
| 5.1.3 | 結果及び考察 | 120 |
| 5.2 | 植付け装置の設計手順 | 129 |
| 5.3 | 本章のまとめ | 133 |
| 第6章 | 試作機の性能 | 135 |
| 6.1 | チェーンポットと分離装置及び植付け装置の設計 | 135 |
| 6.1.1 | チェーンポットの設計 | 135 |
| 6.1.2 | 分離装置の設計 | 136 |
| 6.1.3 | 植付け装置の設計 | 138 |
| 6.2 | 2条用移植機の試作及び実証 | 140 |
| 6.2.1 | 構造の概要 | 140 |
| 6.2.2 | 植付け精度実験 | 140 |
| 6.2.2.1 | 実験方法 | 140 |
| 6.2.2.2 | 結果及び考察 | 142 |
| 6.2.3 | 実証実験 | 147 |
| 6.2.3.1 | 実験目的 | 147 |
| 6.2.3.2 | 実験方法 | 147 |
| 6.2.3.3 | 結果及び考察 | 149 |

| | | |
|---------|----------------|-----|
| 6.3 | 6 条用移植機の試作及び実証 | 154 |
| 6.3.1 | 試作目的及び構造の概要 | 154 |
| 6.3.2 | 実証実験 | 157 |
| 6.3.2.1 | 実験条件 | 157 |
| 6.3.2.2 | 結果及び考察 | 157 |
| 6.3.3 | 供試機の効率利用法 | 162 |
| 6.4 | 本章のまとめ | 167 |
| 第7章 | 総括 | 170 |
| 参考文献 | | 179 |
| Summary | | 187 |

記号の説明

- A : 回帰係数 [-]
- a : 加速度 [m/s^2], アール, 畑の面積 [$10m \times 10m$]
- b : 苗の幅 [mm], 苗の長さ [mm]
- C : 圃場作業量 [ha/h]
- CV : 変動係数 [%]
- E_1 : 苗の運動エネルギー [J]
- E_2 : 苗の位置エネルギー [J]
- E_3 : $E_1 - E_2$ [J]
- E_4 : 苗の位置エネルギー [J]
- E_5 : 苗の運動エネルギー [J]
- F : 苗に作用する力 [N], 摩擦力 [N]
- F_1 : 苗に作用する力 [N]
- F_2 : 苗に作用する力 [N]
- F_h : 苗に作用する力の水平分力 [N]
- F_v : 苗に作用する力 [N]
- F_v : 苗に作用する力の垂直分力 [N]
- f : 動摩擦力 [N]
- g : 重力の加速度 [m/s^2]
- h_1 : 苗の重心の高さ [mm], 苗の滑り落ちた高さ [mm]
- h_2 : 苗の重心の高さ [mm]
- h_3 : $h_1 - h_2$ [mm]
- I_A : 苗の慣性モーメント [$kg \cdot m^2$]
- I_B : 苗の慣性モーメント [$kg \cdot m^2$]

- I_G : 苗の慣性モーメント [kg · m²]
 i : 株間 [m]
 ℓ : 苗の 1/2 の長さ [mm] , 圃場長 [m] , 苗落下管の長さ [mm]
 m : 苗の質量 [kg]
 N : 垂直抗力 [N]
 n_a : 回行回数 [回 / h]
 n_b : 苗補給回数 [回 / h]
 P : 回帰係数 [-]
 Q : 回帰係数 [-]
 r : 半径 [mm]
 SD : 標準偏差
 s_1 : 水平距離 [mm]
 s_2 : 苗の滑り落ちた距離 [mm]
 t : 時間 [s]
 t_a : 回行時間 [s / 回]
 t_b : 苗補給時間 [s / 回]
 v : v_l と v_p の合速度 [mm / s] , 苗の速度 [mm / s]
 v_0 : 苗の落下管からの放出速度 [mm / s]
 v_1 : v の分速度 [mm / s]
 v_2 : v の分速度 [mm / s]
 v_3 : v の分速度 [mm / s]
 v_b : 境界速度 [mm / s]
 v_p : 苗の落下速度 [mm / s]
 v_l : 移植機の走行速度 [mm / s]

W : 作業幅 [m]

α : 苗の落下角度 [$^{\circ}$]

α_0 : 苗落下管の角度 [$^{\circ}$] , 苗の放出角度 [$^{\circ}$]

β : 角度 [$^{\circ}$]

γ : 苗の角度 [$^{\circ}$]

θ : 溝切り器の背面角度 [$^{\circ}$]

μ : 動摩擦係数 [-]

ω_A : A 点の角速度 [$^{\circ} / s$]

ω_B : B 点の角速度 [$^{\circ} / s$]

ω_C : 衝突後の角速度 [$^{\circ} / s$]

第1章 緒 論

1.1 緒 言

甘味資源としてのテンサイは世界でおよそ 870万 ha栽培されており、その主産国は旧ソ連、中国、アメリカ、ドイツ、フランスなどであり、栽培面積が10万 haを超える国は18ヶ国を数える¹⁾。日本においては北海道のみで栽培され、その面積は 7.2万 haである。北海道ではバレイショ、豆類、小麦とともにテンサイは主要畑作物の一つとなっている。その栽培方式では紙筒移植方式が広く定着しており²⁾、この点が諸外国での直播栽培方式と際立った相違である。

この紙筒移植方式は日本甜菜製糖株式会社により研究開発され、昭和37年より生産を開始し、その普及率は平成3年において栽培面積の97.2%にまでなっている。この栽培法の採用によって生育期間は延長されて収量が増加するとともに、春先の風害、霜害も回避されて収量の年次変動は小さくなり、より安定的な生産が可能となった。更に、栽培法及び品種の発達と相俟って、収量は直播栽培当時の20トン/ha台から近年では50トン/ha台と他作物に例を見ない飛躍的な伸びを示し、世界最高水準の収量を維持するに至っている。テンサイの移植方式では直播方式における播種及び間引作業が不要となり、かつ、中耕除草に要する時間も減じた反面、育苗施設における床土準備、紙筒への土詰播種、育苗及び移植の各作

業が必要となり、労働時間は逆に増加した。この労働時間増加の対応として、育苗、移植作業に対する省力化の努力が続けられ、今日では直播栽培と同等となっている。

10a 当りの労働時間の推移を見ると、移植率が79.7%となった昭和50年において直播栽培が32.1時間、移植栽培は39.2時間である。移植率が96.4%となった平成1年において直播栽培は19.8時間、移植栽培は20.5時間であり、省力化が計られてきたことが判る。この内、移植作業についても同様であり、移植機の進歩改良により、

7.7時間から4.2時間に減少しているが、全作業に占める移植作業の割合は19.6~20.5%とほとんど変わらず、依然として大きな比率を占めている³⁾。紙筒の開発当初、移植作業は人手で行われ、ハンド移植器やステッキ状の移植器が使われた。移植機は昭和37年に開発されたが、移植率が約20%となった昭和40年までは機械移植と手植え移植はほぼ同一面積であり、移植機の本格的な普及は同40年以降である。この移植機の開発当初は、紙筒苗を1本ずつ人手により植付け部に供給する極めて低能率のものであったが、その後、幾多の改良開発が加えられ、特に苗供給は分離器の発明により合理化され、現在ではトラクタ直装式の2畦用で、約0.5h/10aの作業能率になっている⁴⁾。しかしながら、大きな進展を見たとはいえず、人手により苗の補助供給を行う半自動方式においては、苗供給での新たな技術革新がない限り自動化への飛躍は望めない。

そこで、移植機の全自動化と高速化を目標に昭和49年より開発研究を開始し、全自動化に必須の苗供給部の無人化を計るための新規発想のもとに連続した紙筒（チェーンポット）と、これを個々の苗に高速分離する装置を開発し、あわせて、上記分離装置の能力に呼応し、機構が簡単でかつ高速植付けに適する苗落下方式による新たな植付け装置を開発した。そして、これらの装置を搭載したトラクタ直装式の2条用移植機とトラクタけん引式の6条用移植機を試作し、あわせて、実証実験を行い、省力性はもとより移植機としての基本性能においても実用に十分供し得る内容であることを確認した。

農業環境がいっそう厳しい現状のもと、筆者は本研究がテンサイ栽培の更なる省力化に道を開くとともに、他の作物にも応用され、農業技術の発展に広く貢献できるものと確信する。

1.2 テンサイ移植機の変遷

紙筒移植栽培法は昭和37年に北海道の奨励に移されたが⁵⁾、移植作業は人力であり、10a 当り6～12人時の労力を要し、省力化のために移植機の開発が強く要望された。以下に移植機の変遷を年代順に述べる。

1) 手ばさみ式 (人手供給式)

最初の移植機は昭和37年から昭和38年にかけて3機種が試作、供試された。3機種の仕様諸元を表1-1⁶⁾に示す。これらの機種の基本機構はほぼ同じであり、トラクタ直装式2畦用である。溝切り器(オープナ)によって開かれた溝に苗挟み(ホルダまたはグリップ)によって挟持された紙筒苗が回転降下し、植え溝に定置され、鎮圧駆動輪により圃場に固定される機構となっている。そして、ホルダへの苗の供給は1本ずつ人手によって行うものである。構造の概略を図1-1に示す。作業能率はホルダへ苗供給する手の速度で制限され、作業速度は0.2m/s程度で作業能率は約5a/hであった。作業人員の構成はトラクタ運転者1名、機上苗供給者2名(1名/畦)、苗取り・苗ほぐし・苗運搬などの補助作業員3名である。従って、作業員6名で1日0.5ha程度の作業能率であった。当時の試験成績書⁷⁾によれば鎮圧駆動輪のスリップによる株間の変動、ホルダに挟む位置のばらつきによる紙筒苗の植付け高さの変動、その他の問題点が指摘されている。

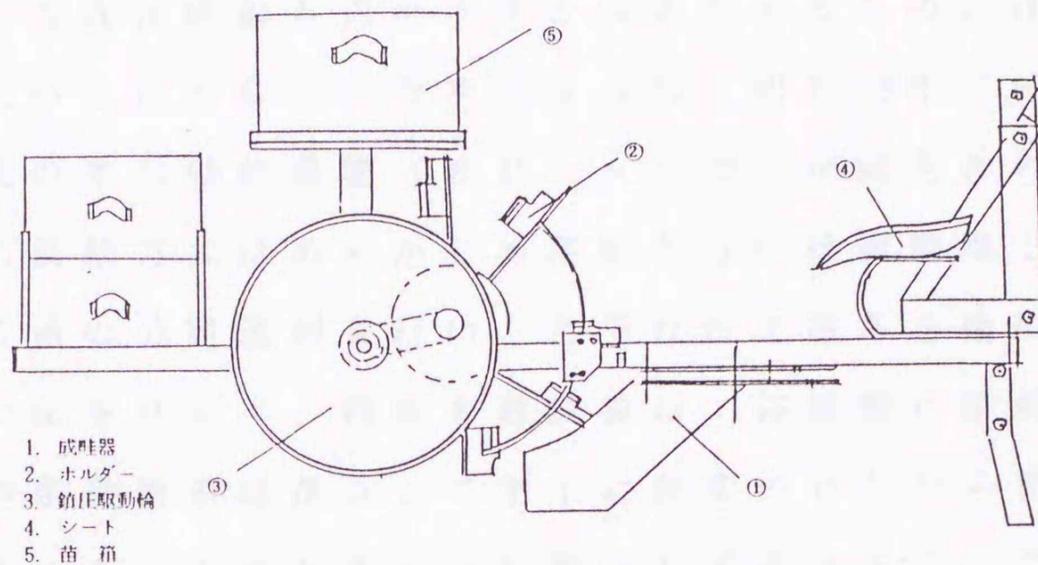


図 1 - 1 初期のテンサイ移植機の概略図⁶⁾

表 1 - 1 仕様諸元⁶⁾

| 項目 | S 社 BPL-1 | K 社 TP-2 | Y 社 YT-2 |
|-----------|--------------|------------------------|-------------|
| 全長〔mm〕 | 1,900 | 1,550 | 1,600 |
| 全高〔mm〕 | 1,030 | 1,000 | 993 |
| 全巾〔mm〕 | 1,180 | 1,500 | 1,170 |
| 全重〔kg〕 | 180 | 200 | 214 |
| 作業畦数〔畦〕 | 2 | 2 | 2 |
| 畦間隔〔mm〕 | 540・600 | 550~820 (任意) | 510~700 |
| 株間隔〔mm〕 | 245 | 200・250・300 350・400 | 250 |
| ホルダ数〔本〕 | 8 | 8・5・4・2・1 | 6 |
| ホルダ外径〔mm〕 | 600 | 725 | 720 |
| 駆動方法 | V ベルト | ローラーチェーン | ローラーチェーン |
| 駆動輪直径〔mm〕 | 500 | 450 | 500 |
| 駆動輪巾〔mm〕 | 100 | 70 | 120 |
| 駆動輪傾斜角〔°〕 | 13 | 6 | 0 (接地角15) |
| 鎮圧方法 | 駆動輪 | 駆動輪 | 駆動輪 |
| 1 畦当り苗箱数 | 3 | 1 | 3 |
| 1 箱当り苗本数 | 600 | 600 | 200 |
| 深度保持方式 | 3 点直装 | 定規車 | 定規車 |

2)窓付苗皿式

1)の方式は供給方式が手ばさみ式であるため、作業能率が低いことからこの改善が計られ、昭和39年には窓付苗皿式の半自動移植機（BPL-9型）が開発された。この苗供給方式はあらかじめ苗床あるいは圃場端で人手による苗の分離選別を行い、苗受け付き窓あき苗皿に1本ずつ苗をならべ、苗皿を数段重ねて移植機に搭載する。機上の苗供給者は苗コンベヤ上に苗をのせながら苗皿の外枠をスライドさせるように操作して抜きとる。この方式により苗供給者は一度に15本の苗を供給でき、苗供給の大幅なスピードアップを計ることができ、移植機の作業能率は著しく向上した。BPL-9型の仕様諸元を表1-2^{*)}、移植精度を表1-3に示す。

当時の試験成績書によれば「苗皿を窓あき型とし、供給速度を速めようとした点はアイデアとしては良いが、軟かい紙筒を使用した場合に問題があるし、苗揃いを不良とする傾向があるから、にわかに、明年度から採用すべきと考えられない。てん菜の移植機は作業精度が高いことが絶対条件であり、精度を低下させてまで、作業能率を高めるべきではない。したがって、耐久力向上と作業精度向上のための改造にとどむべきである。本機の作業速度は0.4m/sec以下が適当である。」と記されている。しかし、その後種々の改良が計られ、実用機種として発展した。

この移植機の出現により実用的な機械移植技術が確立

されたといっても過言ではなく、広く普及し、昭和40年から昭和52年までの間に約4,000台が生産され、一時代を築いた。また、この機種からは施肥装置付の移植機が開発され、施肥、移植の同時作業が可能となった。

表 1 - 2 仕 様 諸 元 ⁸⁾

| | |
|-------------|---------------------|
| 製作会社名 | S 社 |
| 型式名 | B P L 9 |
| 作業畦数 | 2 |
| 機体乾燥重量〔kg〕 | 352 |
| 全 長〔mm〕 | 2,015 |
| 全 巾〔mm〕 | 1,900 |
| 全 高〔mm〕 | 1,190 |
| 植付畦間隔〔mm〕 | 600 |
| 植付株間隔〔mm〕 | 250 |
| ホルダー本数 | 8 |
| ホルダー輪外径〔mm〕 | 700 |
| 駆動方式 | リンクチェーン(13:13) |
| 駆動輪直径〔mm〕 | 500 |
| 同 巾〔mm〕 | 100 |
| 同 傾斜度〔°〕 | 13 |
| 鎮圧方式 | 駆動輪による |
| 1 畦当り苗箱数 | 4 |
| 1 箱当り苗本数 | 375 |
| 深度保持方式 | 三点支持直装 ホルダー輪上下装置 |
| 均平方式 | 楕型レーキ 上下可動 |

表 1 - 3 窓付苗皿式移植機の移植精度⁸⁾

| 銘 柄 | 使 用 トラクタ | 作業速度 〔m/s〕 | オプナ 貫入深 〔cm〕 | 移植株間 最小～最大 (平均) 〔cm〕 | 移植深さ 最小～最大 (平均) 〔cm〕 | 欠株率 〔%〕 | 土壌によ る苗の被 害程度 | 紙筒傾斜 度大・中 小別 | 紙筒の屈 折程度、 小・大別 |
|-----|-------------|---------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| S 社 | 芝浦 s17 | 0.34 | 20 | 25～32 (28.3) | 0.0～2.5 (1.8) | 5.6 | なし | 小 20% | なし |
| 〃 | 〃 | 0.52 | 〃 | 25～32 (28.2) | -0.5～2.0 (0.5) | 2.8 | 〃 | 〃 | 〃 |
| Y 社 | 〃 | 0.21 | 〃 | 17～34 (22.4) | -1.0～1.5 (0.07) | 10.0 | 少 | 〃 | 〃 |
| 〃 | 〃 | 0.33 | 〃 | 18～31 (24.8) | (0.4) | 18.0 | 〃 | 〃 | 〃 |

3) 機上苗分離供給式

前記機種はコンベヤからホルダに苗を挾持させるタイミング合せが作業速度の制限要因となり、この部分にも改良が加えられ、スピードアップが計られた。しかし、苗床での苗分離、選別、苗皿入れに多くの人手を要するのが難点であり、この点の解決として機上で直接苗を選別供給する方法が昭和46年に開発された（BPL-9X型）。

この機種は1冊の紙筒苗を3分割し、苗箱に入れた状態で搭載し、1畦当り2名の作業者が座乗し、1人がくし状の分離器で1回に20本程の苗を分離し、苗送りコンベヤに載せる。他の1人は空筒苗の選別、補充作業を行うものである。この機種の出現により一層の合理化、省力化が計られた。

4) 無選別式

種子の改良、育苗技術の向上に伴い得苗率が向上し、無選別（2本立20%，得苗率90%）でも収量には影響ないという栽培試験結果に基づき、一層の省力化を目的に1畦当り1名の作業員で対応可能な無選別式の移植機（BTP型）が昭和50年に開発された。同時に、ホルダへ苗を供給する部分の構造も、従来の羽根車で苗を落下させて供給する方式から羽根車で強制的に送り込む方式に改良され、更に高速化された。BTP-2型の作業精度を表1-4²⁾、機構を図1-2に示す。しかし、無選別方式は栽培学上実証されても農家感情として、あまり受け容れられず、1畦当り1名が苗分離、1名が苗選別を行う体系が採られていたのが実態であった。作業速度については機構上1.0m/sまでは可能であったが、人力による苗分離作業に制約されるため、実際には0.4~0.6m/sであった。

表1-4 作業精度²⁾

| 項目 | テ ス ト No. | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
| エンジン回転数(rpm) | 800 | | 1,000 | | 1,000 | | 1,000 | | 1,200 | | 1,500 | | 1,500 | |
| 変速位置 | 2 | | 2 | | 3 | | 3 | | 4 | | 4 | | 4 | |
| 作業速度(m/s) | 0.31 | | 0.41 | | 0.51 | | 0.54 | | 0.87 | | 1.09 | | 1.14 | |
| スリップ率(%) | 15.3 | | 7.4 | | 14.1 | | 10.0 | | 9.5 | | 11.5 | | 10.0 | |
| 植付深さ(mm) | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 |
| 平均 | -0.1 | 2.3 | 13.5 | 20.5 | 2.4 | 10.8 | | | 4.4 | 7.3 | | | 7.5 | 8.5 |
| 最大 | 20.0 | 25.0 | 30.0 | 30.0 | 10.0 | 25.0 | | | 20.0 | 20.0 | | | 25.0 | 20.0 |
| 最小 | -10.0 | -20.0 | 0 | 10.0 | -3.0 | -5.0 | | | 0 | 0 | | | 0 | 0 |
| 株間cm | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 | 右 | 左 |
| 平均 | 26.6 | 23.9 | 24.9 | 24.3 | 24.8 | 23.7 | 27.0 | 24.2 | 24.2 | 24.0 | 25.1 | 24.3 | 24.7 | 24.2 |
| 最大 | 29.0 | 26.0 | 27.0 | 26.0 | 28.0 | 26.0 | 31.0 | 27.0 | 27.0 | 25.0 | 28.0 | 28.0 | 29.0 | 26.0 |
| 最小 | 21.0 | 21.0 | 23.0 | 23.0 | 22.0 | 22.0 | 24.0 | 17.0 | 22.0 | 23.0 | 22.0 | 21.0 | 23.0 | 22.0 |
| 標準偏差値 | 1.74 | 1.44 | 1.04 | 0.76 | 1.74 | 1.02 | 1.58 | 1.90 | 1.26 | 0.71 | 1.43 | 1.16 | 1.55 | 1.02 |
| 欠株率(%) | 0 | 4.3 | 4.3 | 0 | 4.2 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 0 | 0 | 12.5 | 0 | 4.3 |

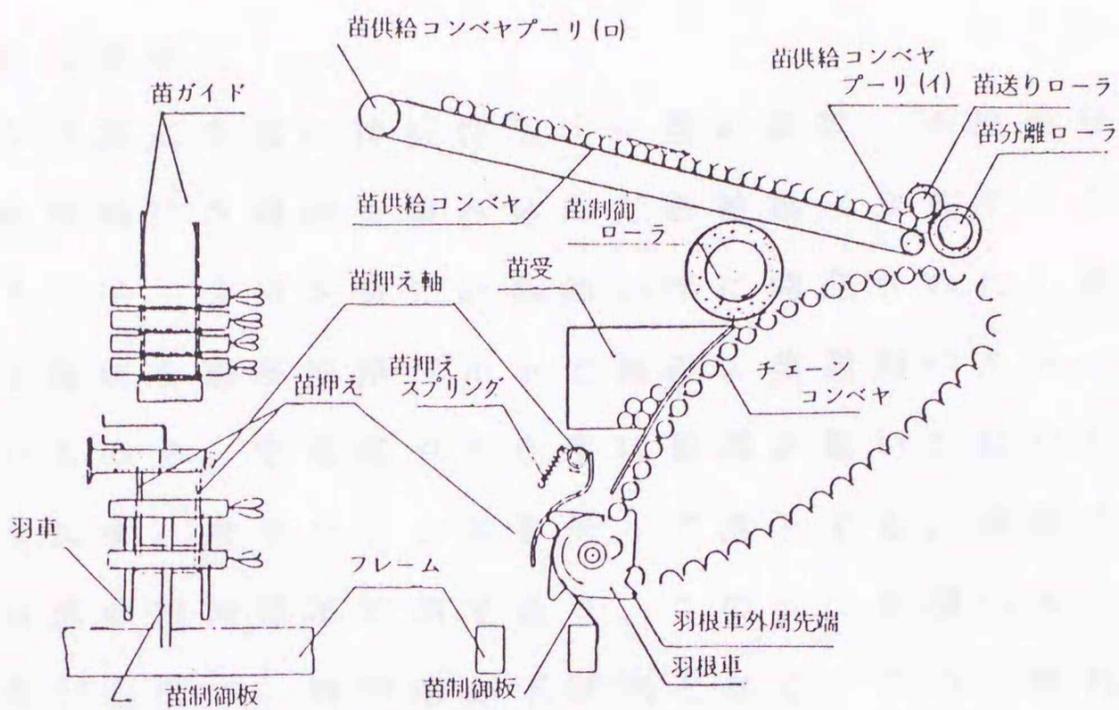


図 1 - 2 無選別式の機構概略図¹⁾

5) ゴム円板植付け式

テンサイ移植機が開発されて以来、植付け部はいずれの機種もホルダ式が慣例となっていた。ホルダ式は駆動輪から動力を確実に取れば株間は極めて安定している。しかし、苗コンベヤからホルダへの苗の供給部分の構造が複雑であるとともに、機構に間欠運動を含むため、ホルダに苗を挾持させるタイミングの調整がむずかしいなどの問題点があった。

昭和57年以降に開発されたトラクタ装着型の移植機は全てゴム円板式を採用している。この機構自体は目新しいものでなく、各種移植機に採用されているが、機構が連続運動となり、高速化には有利である¹⁾。移植精度は苗供給時の整列精度に影響を受け、株間精度はホルダ式よりもやや劣る。

6) 苗自動選別式

ゴム円板式を基に移植作業中に空の紙筒、不良苗などの自動選別を行う機構を組み込んだ移植機（BST-2S型，BST-2MS型）が昭和58年に開発された。選別機構は健苗を葉部挾持ベルトで挟み、苗選別ベルトへ送り込むもので、空筒苗や不良苗は葉部が無い或は短いため挾持されず、水平バランスを失って落下する。選別される不良苗の出現は不定期であり、この分、集積ベルト上で空間が出来て、紙筒苗が不整列となる。この不整列を無くするため、苗送りベルト上に設けた光電センサで間隔を検出し、電磁クラッチで苗送りベルト速度を早送りして整列させる機構としている。選別機構の原理を図1-3、選別部の構造を図1-4、仕様諸元を表1-5、移植精度を表1-6、及び表1-7、作業能率を表1-8に示す¹¹⁾。

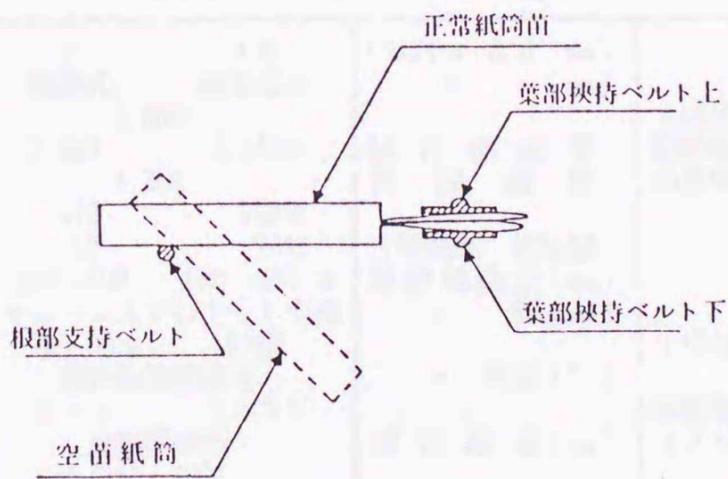


図 1 - 3 選別機構の原理¹¹⁾

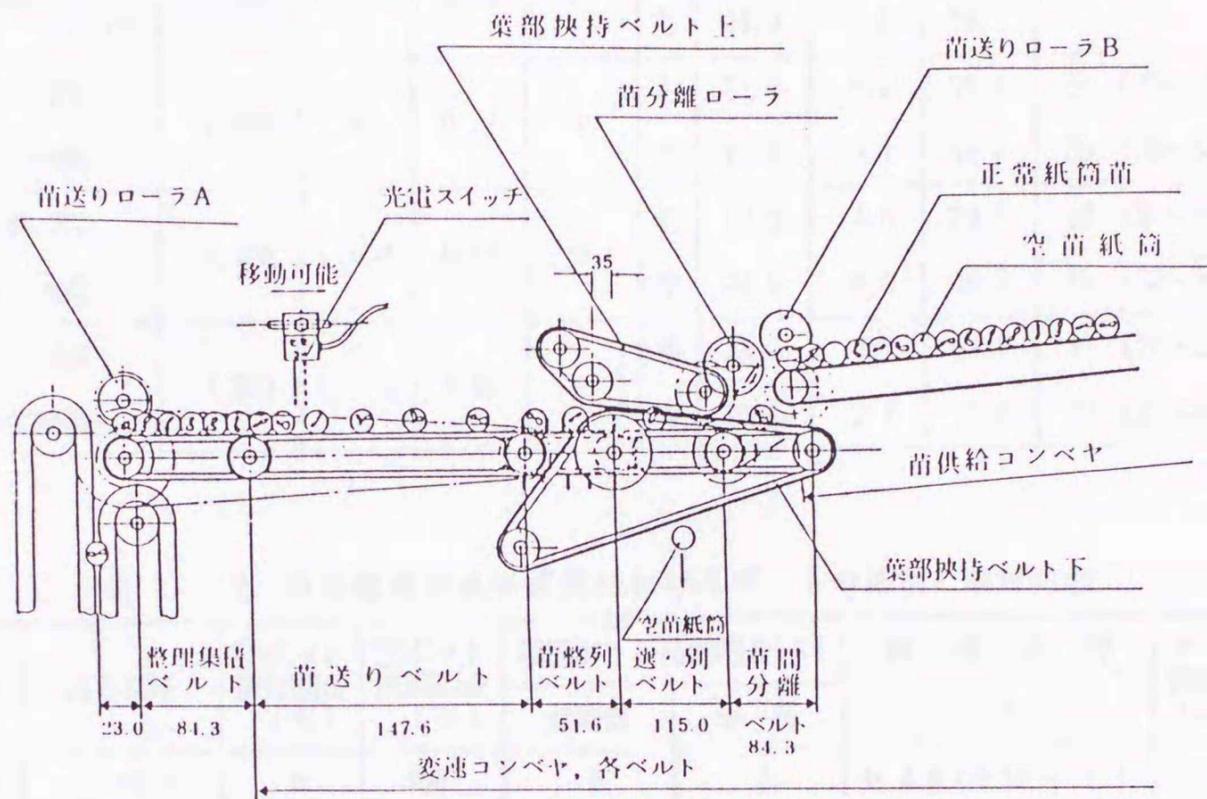


図 1 - 4 選別部の構造¹⁾

表 1 - 5 苗自動選別式移植機の仕様諸元¹⁾

| | | | | | |
|------------|--------|------------------|----------|--------------|--------------|
| 畦装 | 数〔畦〕 | 2 | 4※ | ベルト直径〔mm〕 | φ 300 |
| 着 | 方法 | 直装式 | 直装式※ | φ 115 | φ 115 |
| 全 | 長〔mm〕 | 2,000 | | 植付深調整 | 土壤付着防止カバー付 |
| 全 | 幅〔mm〕 | 2,800 | 3,240※ | 株間調整 | 駆動輪上下調整—ネジ式— |
| 全 | 高〔mm〕 | 1,350 | | (駆動部・鎮圧部) | 苗整理ベルト部 |
| 全 | 重量〔kg〕 | 510 | 760※ | 駆動輪直径〔mm〕 | φ 600 |
| 苗積 | 載量〔箱〕 | 20 | 24※ | φ 100 | 土壤付着防止カバー付 |
| 畦株 | 間〔mm〕 | 550~690 | 600~660※ | φ 13 | 13 |
| | 間 | チェーン sprocket 交換 | 22~30cm | 4段階 | 駆動輪は鎮圧輪兼用 |
| 植付 | 方法 | 植付輪強制植付 | | | スプリング締め込み方式 |
| 作 | 業人員〔名〕 | 2~3 | 3~5※ | 鎮圧荷重〔kg〕 | 80~170 |
| 苗 | 供給方法 | 分離器使用 | | (苗送り部) | |
| 使 | 用電源 | DC-12V | | ベルト幅〔mm〕 | 150 |
| (植付部) | | | | ベルトローラ間隔〔mm〕 | 710 |
| 植付輪直径〔mm〕 | | φ 520 | ゴム | | |
| ローリング径〔mm〕 | | φ 406 | 花形 | | |

※は4畦用

表 1 - 6 苗自動選別式移植機の苗立条件と移植株間隔¹⁾

| No. | 苗立条件 | エンジン 回転数 (rpm) | 変速 位置 | 作業 速度 (m/s) | 設定 株間 〔cm〕 | 畦 | 株 間 | | | 欠苗部株間 〔cm〕 |
|-----|-----------------------|----------------------|----------|-------------------|------------------|---|------------|------------|-----------|---------------|
| | | | | | | | 平均 〔cm〕 | 偏差 〔cm〕 | 係数 〔%〕 | |
| 1 | 無調整 92.5% 89.7% | 1,100 | L-3 | 0.75 | 24 | 右 | 21.7 | 2.8 | 13.0 | - |
| | | | | | | 左 | 24.9 | 2.5 | 10.2 | - |
| 2 | 83.3% 2欠連続 | 1,200 | " | 0.77 | " | 右 | 22.9 | 4.2 | 18.5 | 26 (23~30) |
| | | | | | | 左 | 24.5 | 3.1 | 12.7 | 25 (20~30) |
| 5 | 80.0% 3欠連続 | 1,100 | L-4 | 0.97 | " | 右 | 22.9 | 4.6 | 20.1 | 28 (21~35) |
| | | | | | | 左 | 24.6 | 4.8 | 19.6 | 35 (32~39) |
| 6 | 70.0% 3欠連続 | 1,200 | L-3 | 0.80 | " | 右 | 24.7 | 4.7 | 19.0 | 31 (22~38) |
| | | | | | | 左 | 23.6 | 2.7 | 11.4 | 25 (21~29) |

表 1 - 7 苗自動選別式移植機におけるポットの選別と植付状態¹⁾

| No. | 畦 | 苗立条件 | 空ポット 植付割合 〔%〕 | 空ポット 選別割合 〔%〕 | 選別ポット苗付割合〔%〕 | | 植付姿勢 〔°〕 | ポット 露出高 〔cm〕 |
|-----|---|--------------|---------------------|---------------------|--------------|----|----------------|--------------------|
| | | | | | 普通苗 | 小苗 | | |
| 1 | 右 | 92.5% | 0 | 100 | 0 | 0 | セ 4.6 (セ10~ 0) | 0.3 |
| | 左 | 無調整 89.7% | 0 | 100 | 0 | 0 | セ 6.0 (セ20~ 0) | 0.7 |
| 2 | 右 | 83.3% | 0 | 100 | 0 | 0 | セ 2.8 (セ20~コ6) | - 0.3 |
| | 左 | 2欠連続 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 (セ18~コ10) | 0.1 |
| 5 | 右 | 80.0% | 0 | 100 | 0 | 0 | セ 8.2 (セ20~ 0) | - 0.3 |
| | 左 | 3欠連続 | 0 | 100 | 0 | 0 | セ 1.8 (セ2~コ10) | 0.2 |
| 6 | 右 | 70.0% | 0 | 100 | 0 | 0 | セ13.2 (セ20~セ8) | - 0.1 |
| | 左 | 3欠連続 | 4.5 | 88.9 | 0 | 0 | セ 0.4 (セ4~コ2) | 0.3 |

表 1 - 8 作業能率¹⁾

| エンジン 回転数 (rpm) | 変速 位置 | 作業 速度 (m/s) | 畦幅 〔cm〕 | 畦長 〔cm〕 | 面積 〔m ² 〕 | 内 訳 | | | | 作業 能率 〔a/h〕 |
|----------------------|----------|-------------------|------------|------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
| | | | | | | 作業 〔%〕 | 回行 〔%〕 | 補給 〔%〕 | 計 | |
| 1,100 | L-4 | 0.83 | 60.0 | 27.0 | 1,944 | 68.1 | 12.3 | 19.6 | 44' 03" 100 | 26.5 |

この機種の出現により機上の作業者を1畦当り1名削減でき、2畦用で5名の組作業から3名で可能となり、大幅な省力化となった。現在はこの方式による移植機が主流となりつつある。

最近、苗を自動選別する機構を改良し、選別された苗をセンサで検出して左右に振り分け、1人で2畦分の苗補給を可能とした移植機が開発された¹²⁾。この移植機は2畦用でトラクタ運転者1名と機上作業員1名、計2名の作業員で運行が可能である。しかし、この方式は省人にはなるが苗補給を1名で行うため、作業速度は更に制約を受ける。

7) その他の移植機

上記機種はいずれも比較的平坦な大規模経営地帯を対象に開発されたものであり、傾斜地や小規模経営には不向きで、これらにおいては依然としてハンド移植器による人力植えが行われていた。そこで、昭和50年以降これらの地帯の省力化を計るため、乗用クローラ型¹³⁾、自走歩行型¹⁴⁾など数機種が開発され普及している。

以上述べたように、テンサイの移植機は開発当初6人の組作業で1日の移植能率は0.5ha程度であったものが30年を経て、3人の組作業で1.5～2haにまで省力化されてきた。これら移植機の発達が実用技術としての紙筒移植栽培をここまで普及させたことの一翼を担ったものと評価できる。しかしながら、移植機構への苗補給は機

上における人手で行われるため、その供給速度には限界があり、このことが移植機の作業能率の制約要因となっている。従って、これ以上の発展は難しく、半自動方式はほぼ限界に達したものと思われる。

1.3 国内・国外の畑用移植機の自動化研究

欧米においても日本と同様、キャベツ・レタス・セロリなど、主として野菜類の移植が広く普及しており、この分野では自動化研究が多く見られる。このほか、球根作物、林木苗木用の研究も見られるが数はそう多くない。移植機の自動化の研究は古くは1916年に Werstler¹⁵⁾ により、2枚のテープに苗を挟み、うず巻き状にし、これを引出し、個々の苗に分離し、植付ける構造のものが見られるが、本格的な研究開発は1970年代後半からである。

移植機の自動化に関する既往の研究は、自動化に適した苗の形態とその給苗方式及び植付け方式に大別され、特に給苗方式が重要なポイントとなる。苗の形態とその給苗方法は、更に連続した鉢体苗を引き出し、個々の苗に分離する方式とプラスチックなどでできたセル状の育苗枠から苗を抜き出すか、あるいは押出すかして個々の苗に分離する方法におおむね分類される。

連続鉢体苗については1964年 Bagwill¹⁶⁾ によりプラスチック薄膜による方式、1966年増田¹⁷⁾ により耐腐性の紙による方式などが発表されているが、この当時は個々の苗に分離する手段は明示されていない。1970年 Dalton¹⁸⁾、1974年 Kesinger¹⁹⁾ らにより分離、植付け機構を含む特許出願が見られる。1976年及び1982年に、筆者ら^{20) 23)} は本研究に係る高速分離植付けが可能な連続紙筒鉢体苗を用いる移植方法を報告している。なお、本研究に係る移植機の構造について Smithら²⁴⁾、

Suggs ら²⁵⁾ により紹介されている。その後、Modenら^{26), 27)} 及び Hauser²⁸⁾ によりポリエチレンの網状シートを2枚貼り合わせた弾帯状の苗をノッチローラで繰出し、この繰出しと同調させて、カッターで切断し、個々の苗に分離する移植方式が報告されている。この構造を図1-5、図1-6に示し、これに用いられている植付け構造を図1-7に示す。この機構はノッチローラにより弾帯状の苗を繰出す際、充填材の量や水分の影響で繰出し抵抗が変化するために個々の苗間のピッチが僅かであるがずれて、このピッチ誤差が累積する恐れがあり、確実な繰出しは期待し難い。また、植付け機構も作穴型であり、植付け速度は毎秒1株程度が限界と考えられ、高速化は難しいと思われる。更には個々の苗に分離する手段にカッターを用いており、カッターが鋭利な間はスムーズな切断が可能であるが、損耗してくると切断の際に、非常に大きな力が苗に加わり、苗傷みあるいは充填材の脱落が生じる恐れもある。一般にこの種の用途にカッターを用いるとカッターの寿命は短いと考えられる。以上のことから、この研究開発は実用に至らないものと思われる。

また、熱可塑性のプラスチックを紙に含ませ、各鉢体をヒートシールし、連続鉢体に構成させて育苗し、これをカッターにより分離し植付ける方式もBoa²⁹⁾ により報告されている。この構造を図1-8に、性能を表1-9に示す。この研究も前出と同様に鉢体間のピッチ誤差

及び分離手段にカッターを用いている点で問題があり、かつ、分離後の植付け用ベルトコンベヤへの苗の受け渡しに不安が残る。また、ベルトコンベヤを用いた植付け機構はベルトの末端が作溝部に位置しているためローラに土壤の付着するのが通例であり、このためベルトの片寄り、はずれが予想され、実用的な長時間運転には供し得ないものと思われる。

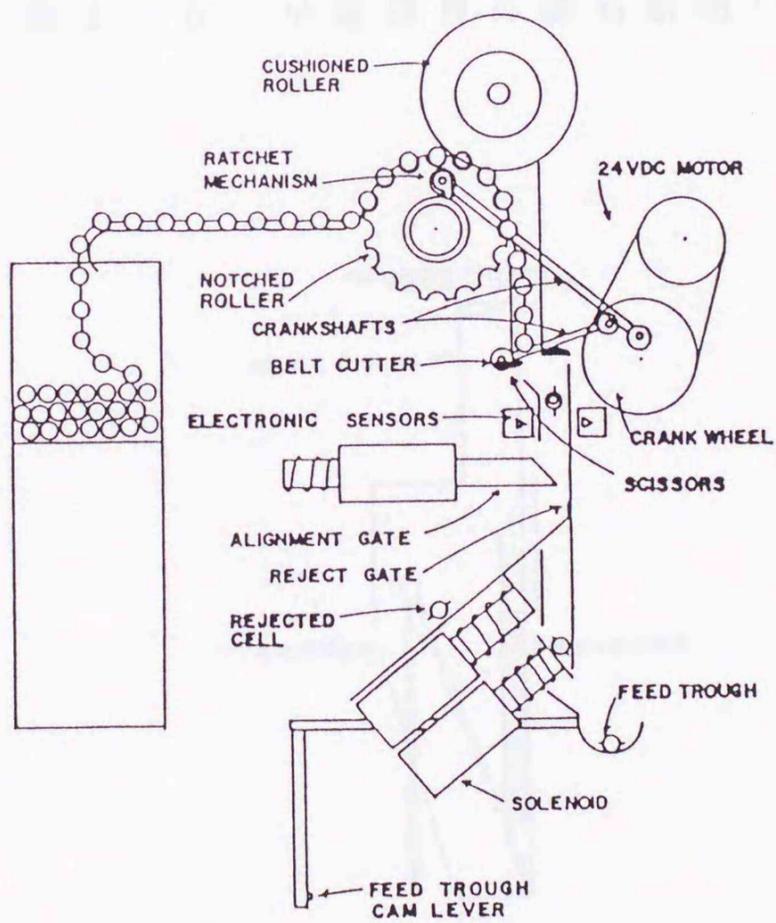


図 1 - 5 分離機構の平面略図²⁶⁾

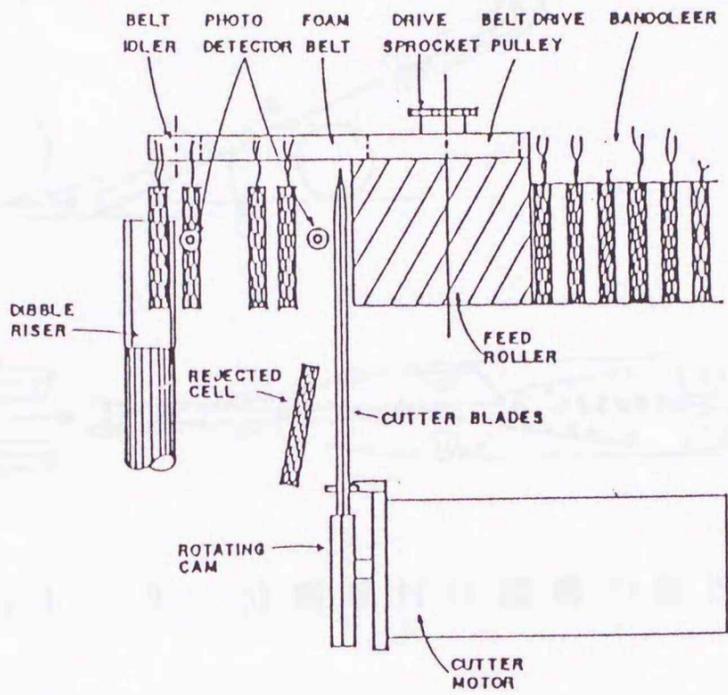


図 1 - 6 分離機構の側面略図²⁶⁾

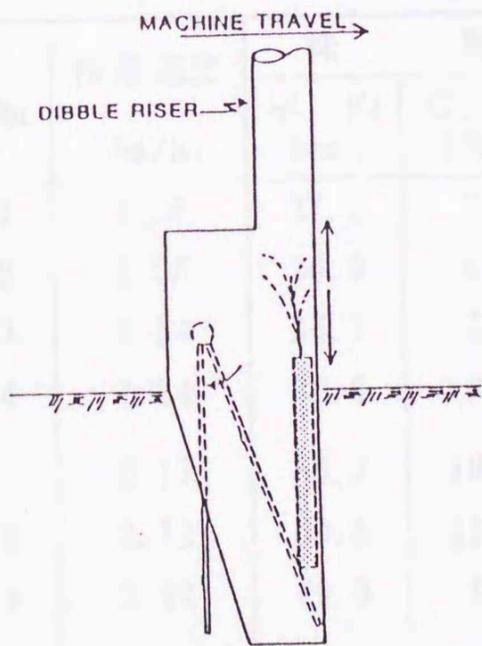


図 1 - 7 植付け機構の略図²⁶⁾

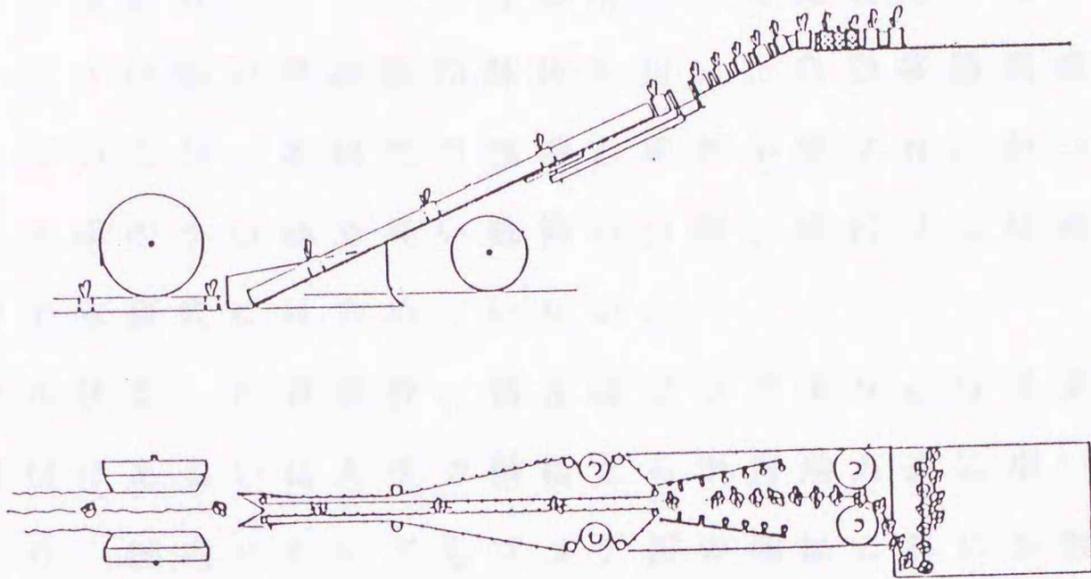


図 1 - 8 分離植付け機構の略図²⁹⁾

表 1 - 9 作業精度²⁹⁾

| 作物 | 畦No. | 作業速度 [km/h] | 株 間 | | 平常植 割合 [%] | 欠株率 [%] |
|------------------------------|------|----------------|------------|--------------|------------------|------------|
| | | | 平均 [cm] | C. D. [%] | | |
| Calabrese (長さ15cm) | 1 | 1.56 | 37.1 | 7.5 | 97.5 | 0 |
| | 2 | 1.55 | 36.9 | 6.5 | 98.9 | 0 |
| | 3 | 1.54 | 36.7 | 6.0 | 98.9 | 0 |
| | 4 | 1.54 | 36.8 | 8.0 | 90.9 | 0 |
| Spring Greens (長さ10-12cm) | 1 | 2.17 | 50.7 | 10.0 | 95.7 | 4.3 |
| | 2 | 2.12 | 50.5 | 11.3 | 97.4 | 5.2 |
| | 3 | 2.12 | 49.3 | 9.8 | 92.6 | 4.6 |
| Cauliflower (長さ15cm) | 1 | 2.08 | 49.1 | 4.0 | 93.6 | 2.4 |
| | 2 | 2.11 | 50.3 | 3.7 | 99.1 | 0 |
| | 3 | 2.18 | 50.4 | 15.0 | 89.6 | 6.2 |

なお、筆者ら^{30)・34)}は野菜用として比較的口径の大きい、長さの短い連続紙筒鉢体を用いた自動移植機構を報告しているが、本研究の機構と思想が異なり、かつ、テンサイ用の小口径で長い紙筒の分離、植付けには適さないので本研究には含めていない。

セル状をした育苗枠、例えばプラグ苗などは従来、人力植付けあるいは人手で供給する半自動方式に用いられており、国内においてもプラグ苗の他にこれに分類される連結ポット（ポリポット）、型枠育苗箱（カセット式育苗箱）が同様の使われ方をしている^{35)・36)}。これらの育苗枠を用いる自動化の研究は Leeら³⁷⁾、Groot³⁸⁾、Brewer^{39)・40)}により報告されており、このうち Grootの研究は、給苗機構は複雑であり植付け部への苗の受渡しに問題を残すが、高速植付けを可能とした点で注目値する。また、野菜用の歩行型移植機として、プラグ苗、カセット式苗を用いたものが国内で出願されているが実用化には至っていない。実用化された例としてはパルプを成型加工した育苗鉢を用い、田植機と同様な機構で植付けるものがあるが、育苗技術が難しく、かつ、植付け速度が毎秒1株程度で比較的遅いなどの理由により本格的な普及には至っていない。

以上の研究、開発はその多くが比較的口径が大きく、高さの低い鉢体を用いる野菜用としてなされており、前述の Modenらの研究を除き、口径の小さい、長い鉢体を必要とするテンサイ用としては適さない。テンサイ用と

しては従来の紙筒を用い、人力による分離器の操作を自動化した特許出願^{11) 15)}が見られるが、紙筒苗ブロックの変形、あるいは分離器を苗ブロックに押しつける際の微妙な力加減に対応せねばならず、実用化は難しいものと思われる^{16) 66)}。

センシング技術を用いた自動化研究はそのほとんどが苗の供給、整列、選別など植付け以前の工程で行われており、一部を除き、実験段階に止まっている。

一方、植付け方式について自動化を計る場合、育苗鉢の形態やその給苗方式と密接な関連があるが、これらを関連付けて報告されたものは少なく、ほとんどが従来からの植付け方式を踏襲しており、実用的かつ高速自動化に適した新規な機構の研究は見られない。

本研究に採用した苗落下植付け方式の従来のものは、かつて、田植機に見られ、畑用移植機については現在でも一部の機種に用いられている。その機構は苗落下管を垂直に配設し、溝切り器による開溝部に苗を落下させ、その後培土鎮圧をするものである。この植付け方式は構造が極めて簡単でかつ土中において可動部分がなく、機械的なトラブルは発生しないなどの利点を持つ。しかし、移植機の進行に伴う苗の慣性力についてはほとんど考慮されておらず、また、(1)開溝、(2)苗の落下及び着地、(3)埋めもどしによる苗の固定、の3つの工程がそれぞれ独立しており、相互に関連していない。このため着地後の苗は後方に倒れ易く、植付けは不安定となる。

従って、実用上は慣性力によって転倒のしずらい口径の大きい、長さの短い鉢体苗に使用が限られ、かつ、慣性力の影響を小さくするため作業速度に大きな制約を受ける。

以上述べたように、自動化に関する研究は数多く見られるが、実用に至るには (1)健苗を得るに育苗が容易であること、(2)給苗部において鉢体に過度な力が加わらず、鉢体の崩壊あるいは充填材の脱落がないこと、(3)植付け部において給苗部からの苗の受渡しが円滑で、かつ、給苗方式に呼応した機構であること、(4)基本機構が簡単で、調整個所が少なく、メンテナンスが容易であること、などが必須の条件となり、これらの条件を満たし、かつ、高速自動化された移植機はいまだに出現していない。

1.4 研究目的及び論文の構成

1.4.1 研究目的

テンサイ移植機の自動化研究を行うについて、本章で述べた既往の研究を踏まえ、まず、新規で実用性の高い自動移植機構の提案を行う。次いで、この提案に基づき実用上必要にして十分な性能を有する自動繰出し可能な連続紙筒鉢体と分離装置の構造の研究を行うとともに、苗落下植付け機構における苗の挙動と溝切り器のまわりの土壌の流れを明らかにすることにより、植付け理論を構築し、実用機設計上の資料を得るものである。

更に、これらの研究を基に実用機の設計並びに試作を行い、あわせて、実証実験でその性能の確認を行うものである。

1.4.2 論文の構成

第2章では連続鉢体苗を用いて自動化を計る場合の既往の研究開発の問題点を述べるとともに、これらの問題点を解決した連続紙筒鉢体と分離装置及び1.3節で述べた従来型苗落下植付け方式の問題点を解決した新たな苗落下植付け機構について提案する。ここで、本研究に係る連続紙筒鉢体は以下、チェーンポットと呼び、これを用いて育苗された苗をチェーンポット苗あるいは苗と称する。

第3章ではチェーンポットの経時的分離に関する基礎実験を行い、分離の基本的なメカニズムを明らかにし、

次に、これらを基に苗の引出しには十分耐え、かつ、最小の力で分離させるためのチェーンポットの必要条件を検討した。更に、高速分離を可能とする実験装置を試作し、実用的なチェーンポットと分離機構について検討した。

第4章では分離した苗が圃場に植付けられる際の挙動について理論的な検討を行い、同時に溝切り器のまわりの土壌の流れを実験的に明らかにし、更に、その制御について検討を加えるとともに実験により確認した。

第5章では第4章の結果に基づき溝切り器と苗落下管を試作し、植付け実験を行い、苗が植付けられる条件について検討した。

第6章では第3章～第5章の結論に基づき、まず、国内普及を目的とした直装式2条用移植機の設計並びに試作を行い、実証実験でその性能の確認を行った。次に、欧米での大規模圃場に適應させるため、けん引式6条用移植機の開発を行い、実証実験でその性能を確認するとともに、その効率的な運用についても検討を加えた。

第2章 チェーンポット式自動移植機構

連続鉢体苗を用いて自動化を計る場合、①鉢体苗は根の周囲が紙あるいはフィルムなどの薄膜で構成されているので、外力に対して比較的強く、鉢体内の充填材の脱落が少ない。従って、苗傷みも少ない。②ローラなどの簡単な機構で容易に高速で一列に引出すことができる。などの有利な点がある反面、③引出しの際、苗間のピッチが狂い易く、その結果誤差が累積し、機械的な機構によってタイミングを合わせて分離することが難しい。④分離の手段にカッタを用いると損耗が激しく実用には供し得ない。などの問題がある。

既往の研究開発は宿命的に苗間のピッチが狂い易い連続鉢体苗をその性質に逆らって、無理にピッチを合わせようとするところに基本的な誤りがあるものと思われた。

本章では上記問題点を解決したチェーンポットとその分離装置及び第1章で述べた従来型苗落下植付け方式の問題点を解決した新たな苗落下式植付け機構について提案する。

2.1 チェーンポットと分離機構

チェーンポットの構造と、これを個々に分離する機構は不可分の関係にあり、両者を個々に論ずることは適切でないが、便宜上分割して述べる。

2.1.1 チェーンポットの構造

従来から用いられている紙筒の構造はビニロンを混抄した紙を円筒状にし、端部を非水溶性糊で貼合わせ、更に、これを使用時に正六角柱の集合体となるように水溶性糊で貼合わせてある。図2-1(a)は従来の紙筒1本の構造を示す。

これに対し、チェーンポットは図2-1(b)のように2枚の耐腐性の紙を非水溶性糊で貼合わせ、更に、糊付け部の中心に下部より分離誘導部と呼ぶ切込みを入れ、その上部に数mm幅で数箇所接続している構造である。テナサイ用のチェーンポットは図2-2に示すように10本で1列の長さとし、この1列の長さ毎左右に折りたたみ、水溶性糊で接着する。従って、展開時の形状は従来の紙筒と外見上変わらず、しかも、連続して引出し可能である。

なお、その他の連続紙筒として、図2-3のような構造のものが考えられる。しかし、これらの紙筒はいずれもが紙筒どうしの連結を接着に依存している。そのため、糊の着量により接着強度のむらを生じたり、あるいは紙筒の構造上、引剥がす力が接着面に作用して非常に弱い力で剥離することがあり、連結部の強度が安定しない。従って、これらの紙筒は本研究の対象とはしない。

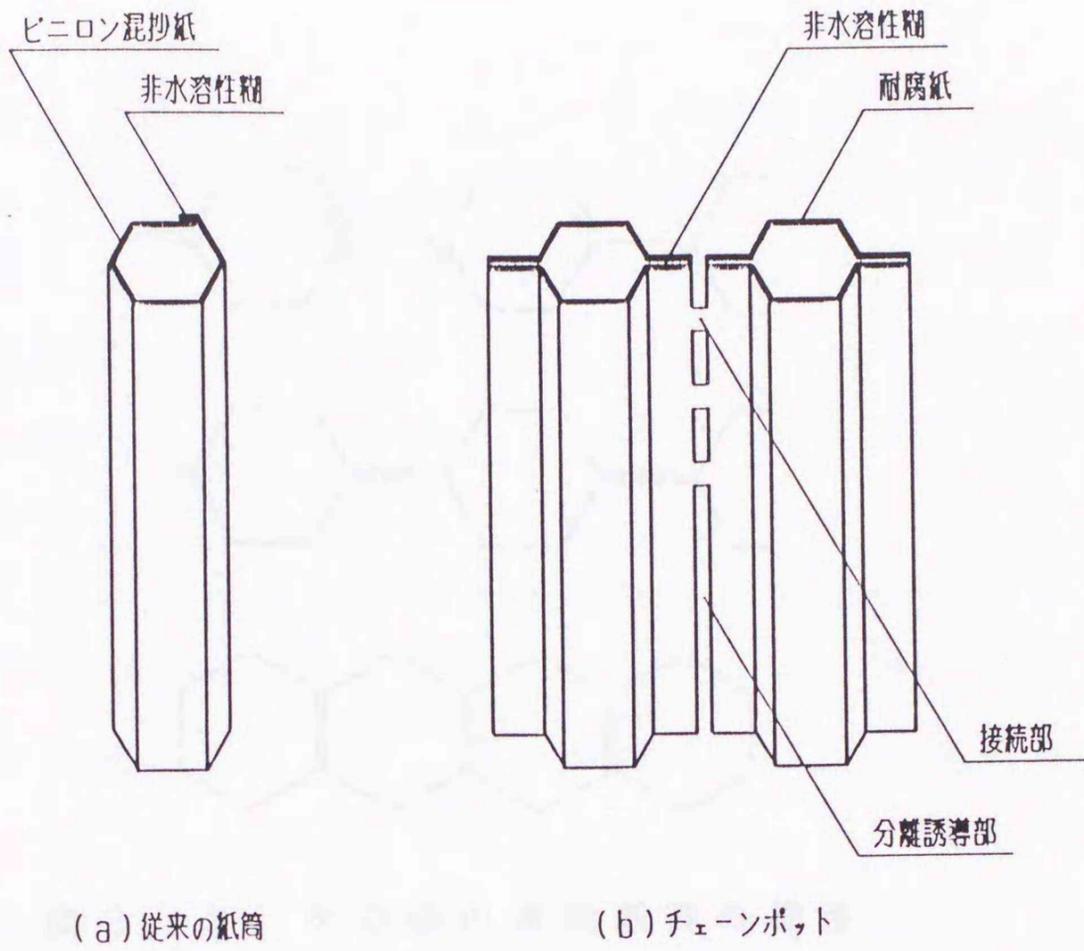


図 2 - 1 ポットの構造

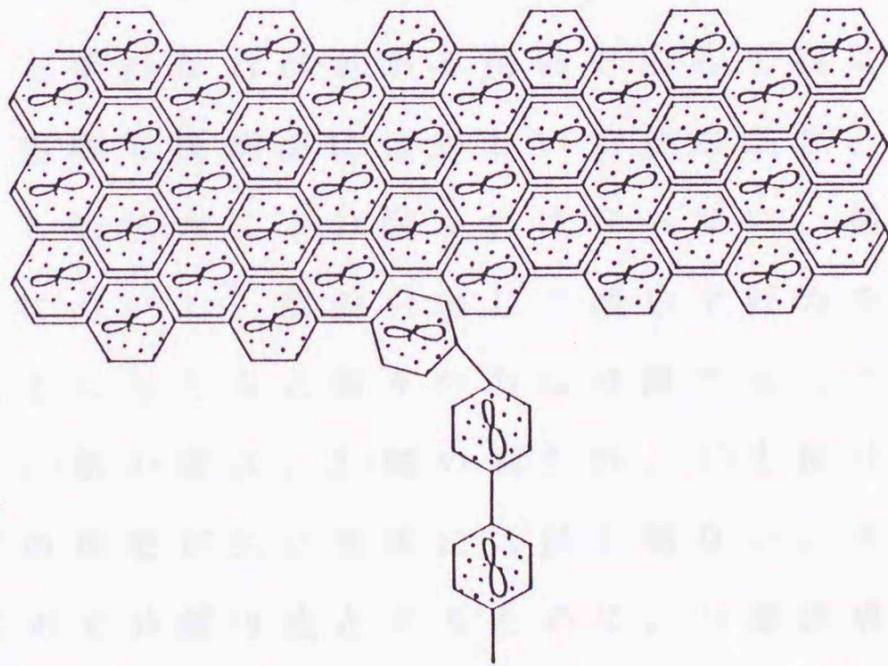


図 2 - 2 チェーンポットの展開した状態

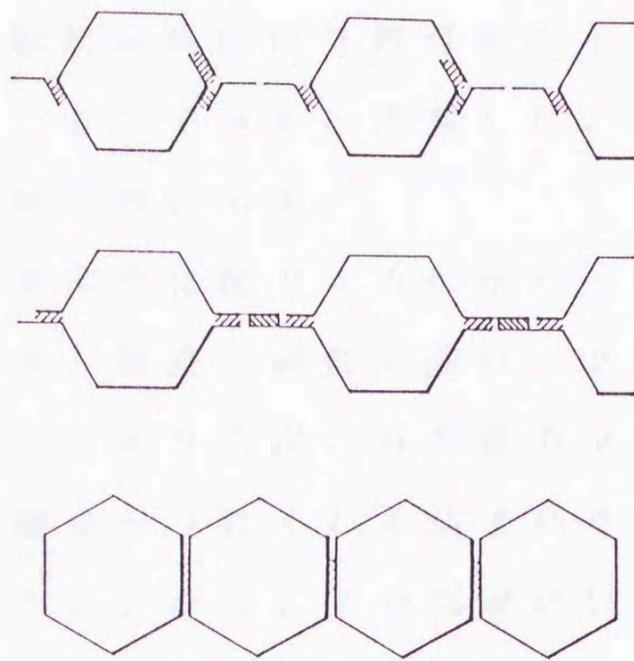


図 2 - 3 その他の連続紙筒の構造

2.1.2 分離の原理と機構

チェーンポット苗を植付けるには集合した状態から 1 列に引出す工程と個々の苗に分離する工程が必要である。引出し方向と平行な力がかかる苗の引出し工程においては、苗間の複数の接続部には等しい力がかかり、接続部はその引出し抵抗力に十分耐えねばならない。個々の苗に分離するについて、苗の引出しと同じ平行力を接続部の抗張力以上に与えると個々の苗に分離することは可能であるが、1)紙の破れ、2)糊の剥がれ、3)土抜け、4)苗傷み、などの現象が生じ実用には供し得ない。そこで、より小さな力で分離可能とするために、分離誘導部を設け、チェーンポット苗の下端から力が加わり始めるようにして最下端の接続部に応力を集中させる。このことに

より、切断を引裂き状態にでき、平行力切断時と比べ非常に小さな力で順次経時的に分離可能となり、上述の諸問題を解決することができると考察した。図 2-4 にこの分離の原理を模式的に示す。

実用の機構は基本的に図 2-5 に示す一对の引出しローラ、挾持ローラ、斜設円錐形分離ローラにより構成され、引出しローラにより引出された苗の下端は挾持ローラから出るや分離ローラにくわえ込まれる。分離ローラは円筒形で斜設され、かつ、その周速は引出し速度より速く設定する。従って、チェーンポットはその下端からくわえ込まれ、斜め上に引出され、最下端の接続部に分離力が集中し、引裂き作用を受け、分離する。そして、順次分離点が移動し、全ての接続部が分離してこの工程が完了する。

本機構は一切の間欠運動を含まず、また、タイミングを合わせる必要もなく連続的に処理されるので、苗の引出しと分離が円滑に行え、高速化と機構の簡略化が可能と考察した。

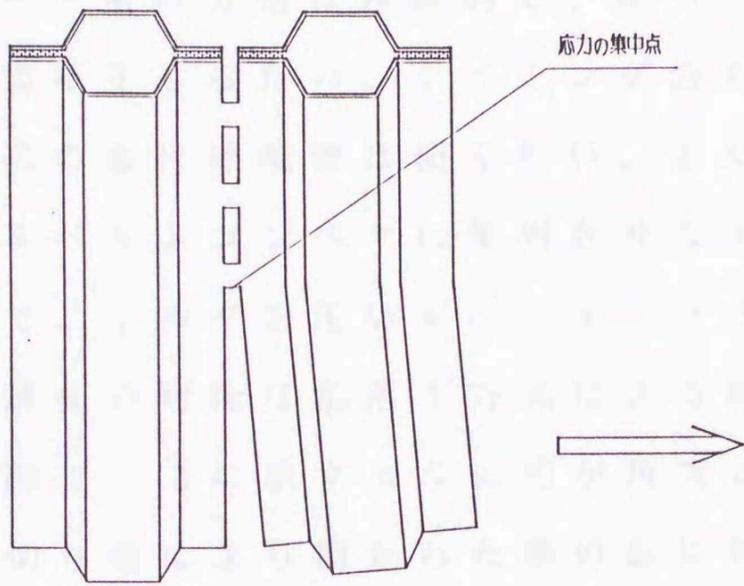


図 2 - 4 分離の原理

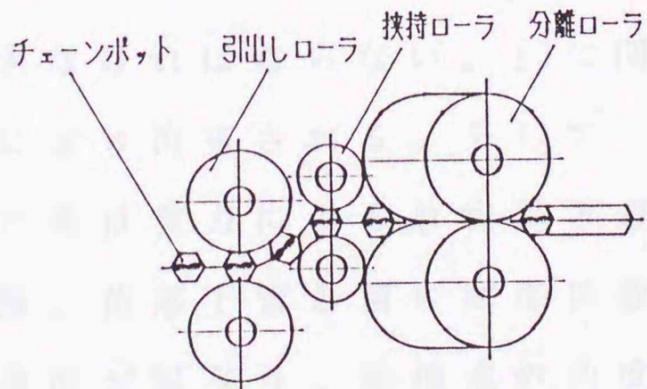
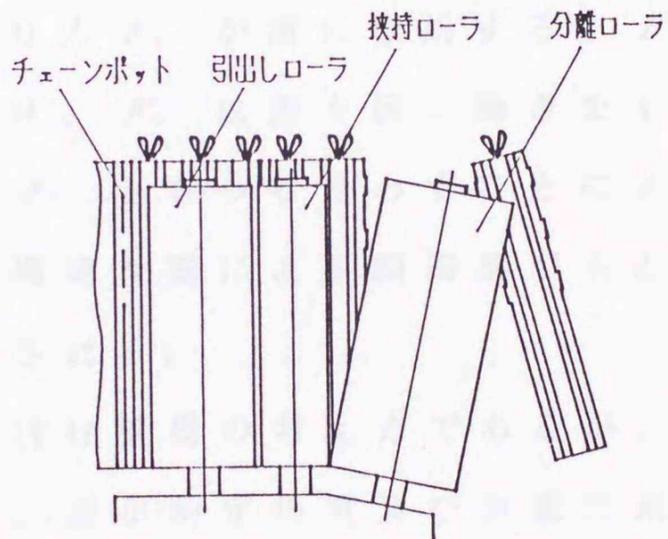


図 2 - 5 実用分離機構

2.2 苗落下式植付け機構

チェーンポット苗の分離は連続的で、かつ、分離時間にわずかな変動を生じるため、タイミング合わせを必要とするホルダ式の植付け機構は使えない。また、円板式は分離後、苗をベルトコンベヤに整列させる工程を必要とする。そこで、ホルダを用いず、タイミング合わせの必要がない高速化の可能な苗落下方式による植付け機構を採用した。図2-6に示すように苗が角度 α 、速度 v で落下し、溝切り器により開かれた溝の底に達すると力 F が苗に生じる。これは水平分力 F_H と垂直分力 F_V に分けられる。更に、移植機の走行による速度 V_1 が加わり、これにより力 F_1 が苗に作用する。 F_1 と F_H は苗を立ち上がらせ、 F_V は苗を倒す働きをする。従って、 F_V と F_1 、 F_H とをつり合わせることにより苗は直立する。この時、溝切り器による開溝部がもどり土により閉じ、苗は固定される。

以上が本植付け機構の考え方であるが、実際の機械に応用するには1)苗が所定角度及び位置に落下すること、2)溝切り器によるもどり土の位置が一定であること、の2条件を満たさなければならない。1)に関して、苗の運動は苗落下管により拘束される。そして、苗落下管末端から放出された後は重力による放物落下運動となる。このとき苗の質量、苗落下管と苗の摩擦係数の相異などにより苗の放出速度が異なり、着地点の角度と位置が変わる。そこで、放出速度の遅い苗を基準にして溝切り器背面の

曲面を作り、速度の速い苗をこの曲面で姿勢制御することにより、実用上の範囲で常に一定の角度と位置に苗を落下させることが可能と考察した。2)に関して、土壌が溝切り器により左右に分けられ、次に、元に戻って合流する点の位置は土壌条件、作業速度により大きく影響を受けると推測された。そこで、溝切り器の長さを実用上、合流点の距離が最大となる長さに設定し、図2-7に示すようにこの距離の短い条件でも、溝切り器側壁に規制され、これに沿って土壌は流れて溝切り器末端部後方で合流点を作り、合流点距離の長い条件下とほぼ同じ位置に合流させることが可能と考察した。本植付け機構の構成の概略を図2-8に示す。

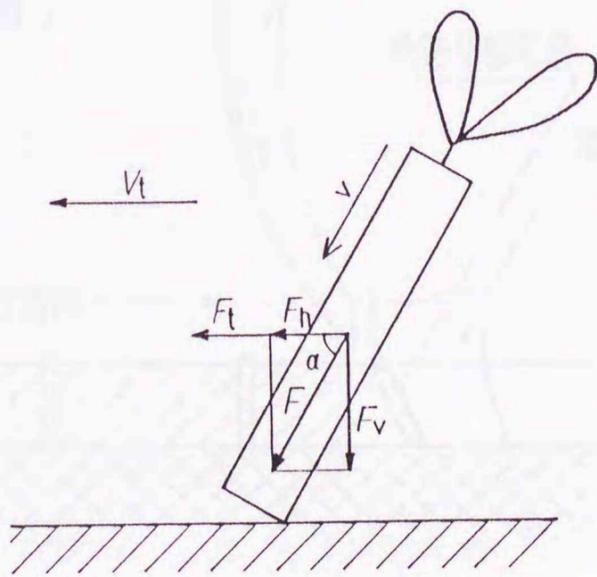


図2-6 苗への作用力

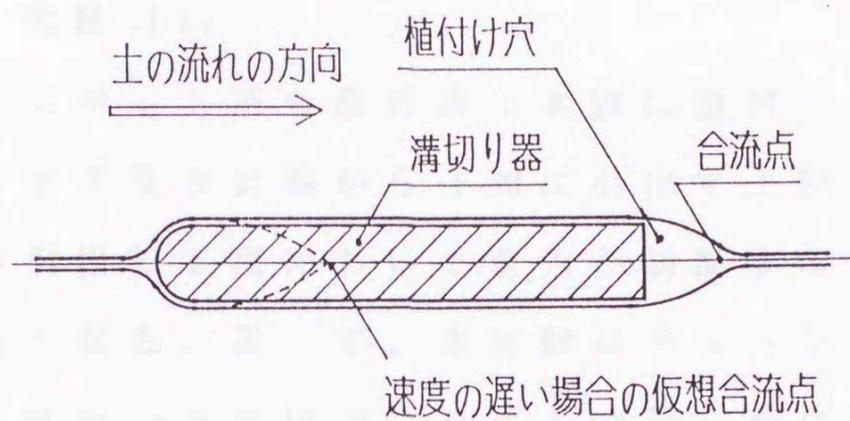


図 2 - 7 溝切り器による土の流れの制御

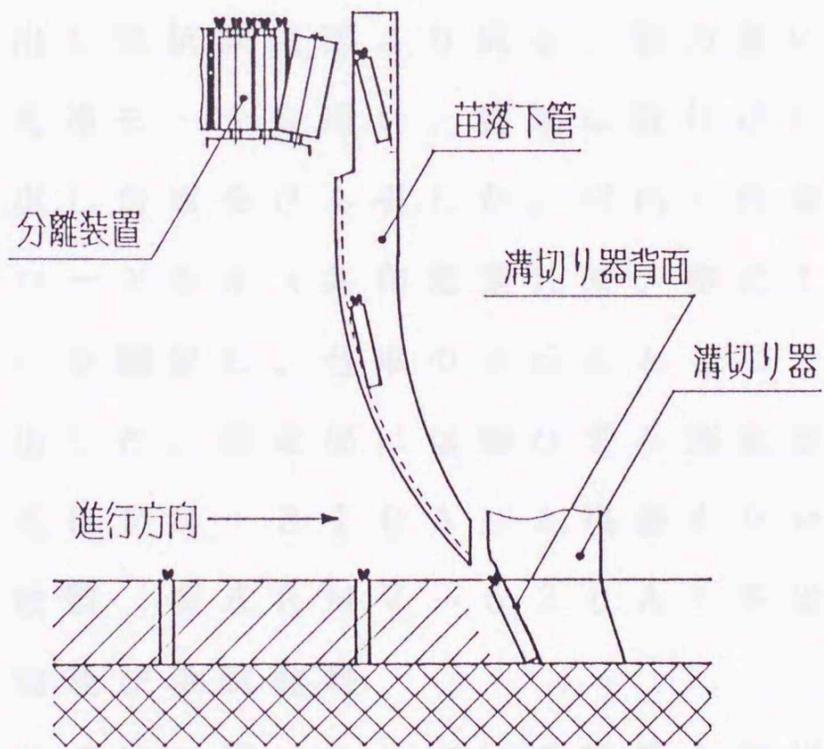


図 2 - 8 苗落下式植付け機構の構成

第3章 チェーンポットと分離機構の実用化の検討

3.1 チェーンポット苗の引出し抵抗

3.1.1 実験目的

チェーンポット苗を最終的に本圃に植付けるには、移植機上でまず集合状態から1列に引出す工程を必要とする。この引出し工程において苗列が切断すると自動繰出しが不能となる。従って、本実験はチェーンポットによる引出し抵抗力を実用的なレベルで明らかにし、チェーンポット設計上の資料とする。

3.1.2 実験方法

1) 装置の概要

実験装置の構成は、図3-1に示すように駆動部、引出し部、引出し抵抗測定部より成る。動力源には、定格出力90Wの変速モータを用い、軸端に取付けた巻取ドラムにより引出し台車をけん引した。引出し台車上にひずみゲージ式ロードセル（共和電業社製、型式120T-2000C）を固定し、台車の走行とともにチェーンポット苗を引出した。測定部には動ひずみ測定器（共和電業社製、型式DPM-310A）と電磁オシログラフ（共和電業社製、型式RMV-520A）を用いた。

2) 実験方法及び供試材料

テンサイの栽培に用いられている紙筒と同様の口径19mm、長さ130mmに構成したチェーンポットを試作し、供

試した。チェーンポット内に充填する土壌は十勝の代表的な火山性土（芽室町採取）、沖積土（幕別町採取）の2種類を用いた。

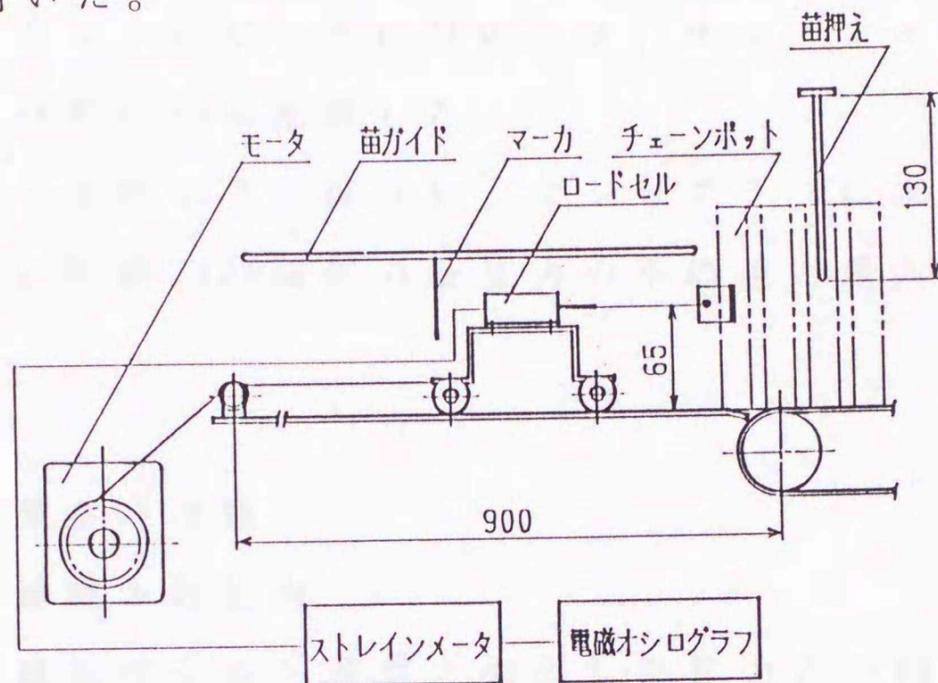


図 3 - 1 実験装置概要

実験に際しては、約50日育苗したものを実験前日に慣行に準じて灌水した。供試時の土壌含水比及びチェーンポット苗の質量は火山性土においては42.1%、600～645g / 20本、沖積土においては22.3～27.1%、700～760g / 20本であった。

引出し速度は実用上5苗 / sを最大植付け速度と想定し、1苗 / s、3苗 / s、5苗 / sの3段階とした。実用的な値を得るため、①引出し底部の材質を鋼板（亜鉛メッキ鋼板）とベルト（表面ポリウレタン）の2種、②引出し底部の土付着の有無、③苗押えの有無などの条件を適宜組合わせて行った。なお、苗押えは苗を引出す際、2列同時に引出されることを防止する機能を有するもの

で、実用機には必須の機構である。本実験では直径 6 mm、長さ 130 mm のポリウレタン製で、ゴム硬度 90° のロッドをチェーンポットのピッチに対応させ、チェーンポットの幅 286 mm の間に 12 本配設した。

実験は同一条件で 3 反復行い、オシログラフによる記録から引出し距離 100 mm 毎の抵抗力の平均値と最大値を読み取った。

3.1.3 結果及び考察

1) 引出し速度と抵抗力

引出し距離及び引出し速度と引出し抵抗力との関係を図 3-2 に示す。仕事量が等しいため、速度に応じ抵抗力も増大するものと予想されたが、各条件下において明確な差は認められなかった。このことは速度が要因とならない引出し部との摩擦抵抗力が極めて大きいためと思われる。

2) 引出し距離と抵抗力

引出し距離とともに抵抗力は漸増する。苗押えを付加した条件を除き、距離に比例しほぼ直線的に増加する。このことは引出される苗の質量の相違によるためと思われる。

3) 引出し部の材質による影響

材質を鋼板としたものと、ベルト材としたものの比較を図 3-3 に示す。引出し距離とともに、いずれも抵抗力は増大した。引出し距離 500 mm における抵抗値は 5 ~

6 N 程度であり、また、測定中の最大値は鋼板において 9.0 N、ベルト材において 9.8 N であった。従って、両者間に大差は認められず、材質による影響は実用上問題とならない。

実用機への適用を想定した場合、長時間運転あるいは小雨などによる引出し部への土の付着を考慮しなければならない。図 3-4 はこのことを想定し、引出し部全面に沖積土を厚さ約 5 mm に貼付けた場合の結果を示す。土を付着させない条件と比べると、引出し距離 500 mm における抵抗値及び測定中の最大値は 5.9 N と 8.2 N に対し、9.3 N と 12.2 N であり、著しい増加を示し、土付着の影響が大きいことを知った。

4) 土壌の種類の影響

充填材に火山性土と沖積土を用いた結果を図 3-5 に示す。抵抗力は引出し底部と苗底部との摩擦により発生するが、これは引出された苗の質量にほぼ比例することから、土壌の種類による摩擦係数の相違は小さいものと思われる。

5) 苗押えの影響

苗押えの先端をチェーンポットの上面より 50 mm 下方と 100 mm 下方に配設したときの結果を図 3-6 に示す。100 mm 下方のとき抵抗は極めて大きく、最大値は約 14 N である。しかも、チェーンポット苗が左右端部から引出されるとき苗押えの影響を最も大きく受け、そのため抵抗力は比例関係とならない。

以上のことから引出し距離、引出し部への土の付着、苗押えの3つの要因が引出し抵抗力に大きく影響することを知った。従って、実用機への適用については引出し距離を可能な限り短くすることが望ましい。チェーンポットの設計にあたり接続部の強度は苗の引出し距離に応じ8~14Nを基準とし、更に安全率を考慮して決定する必要がある。

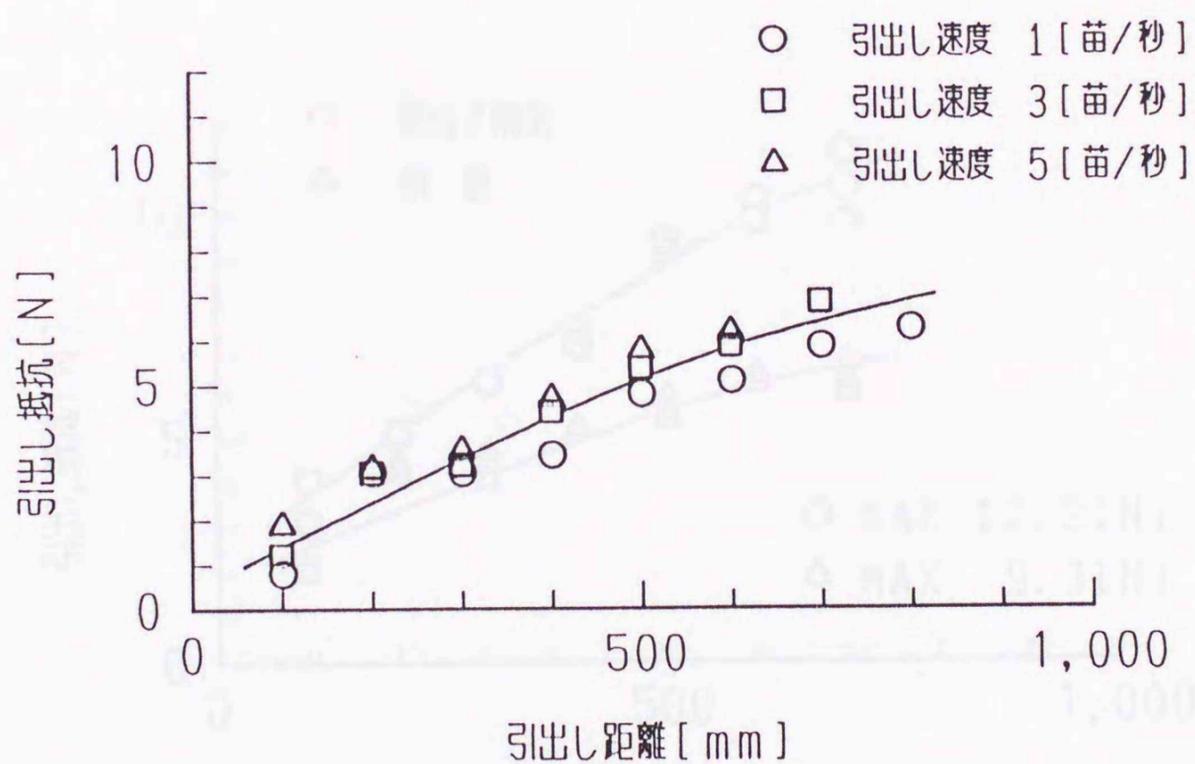


図3-2 引出し速度が引出し抵抗に及ぼす影響

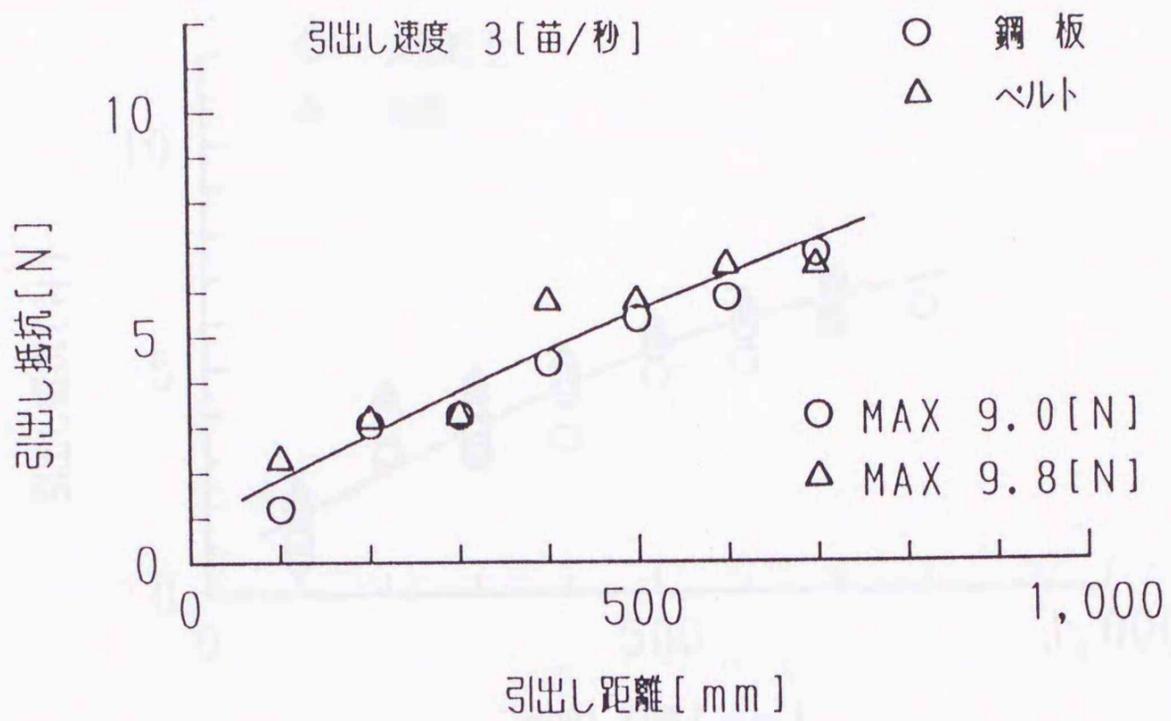


図 3 - 3 引出し部材質が引出し抵抗に及ぼす影響

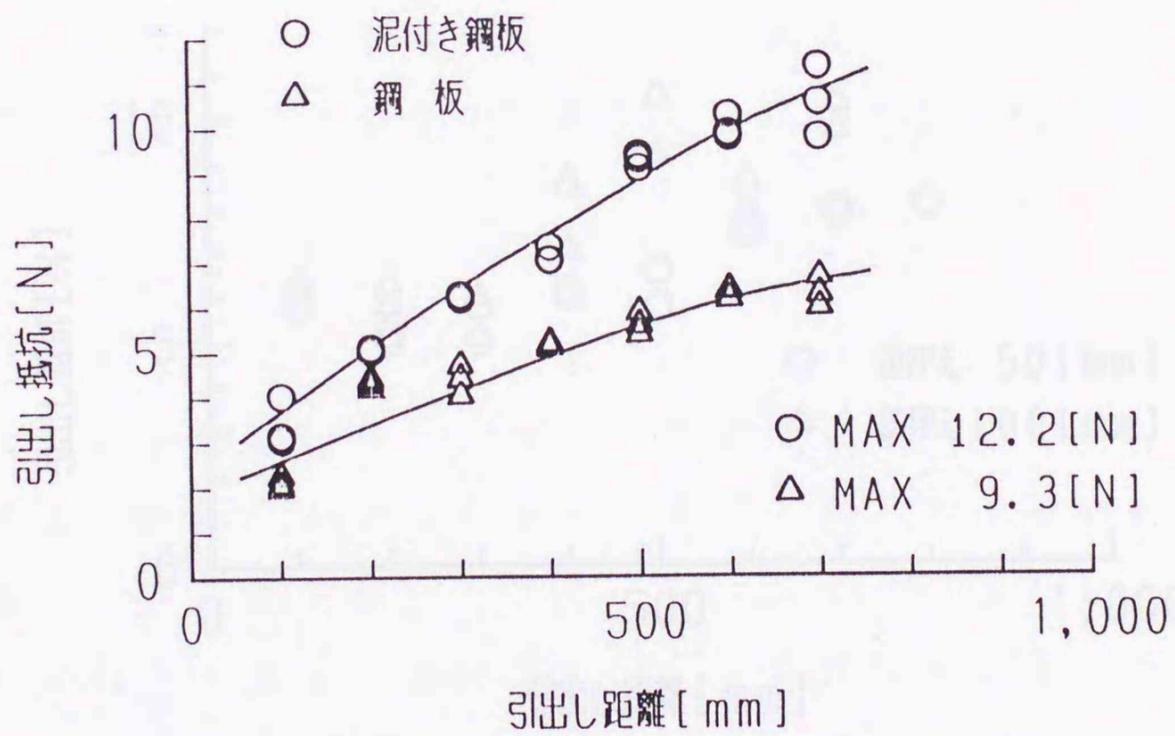


図 3 - 4 引出し部の泥付着が引出し抵抗に及ぼす影響

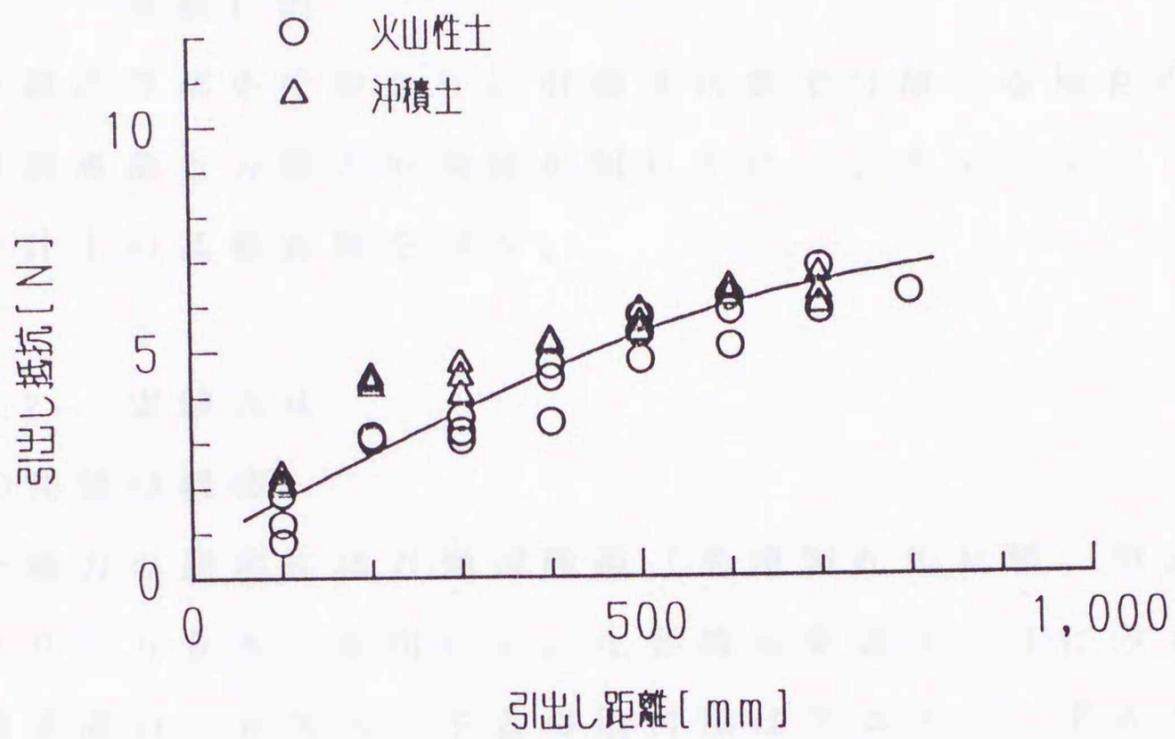


図 3 - 5 土 壤 の 種 類 が 引 出 し 抵 抗 に 及 ぼ す 影 響

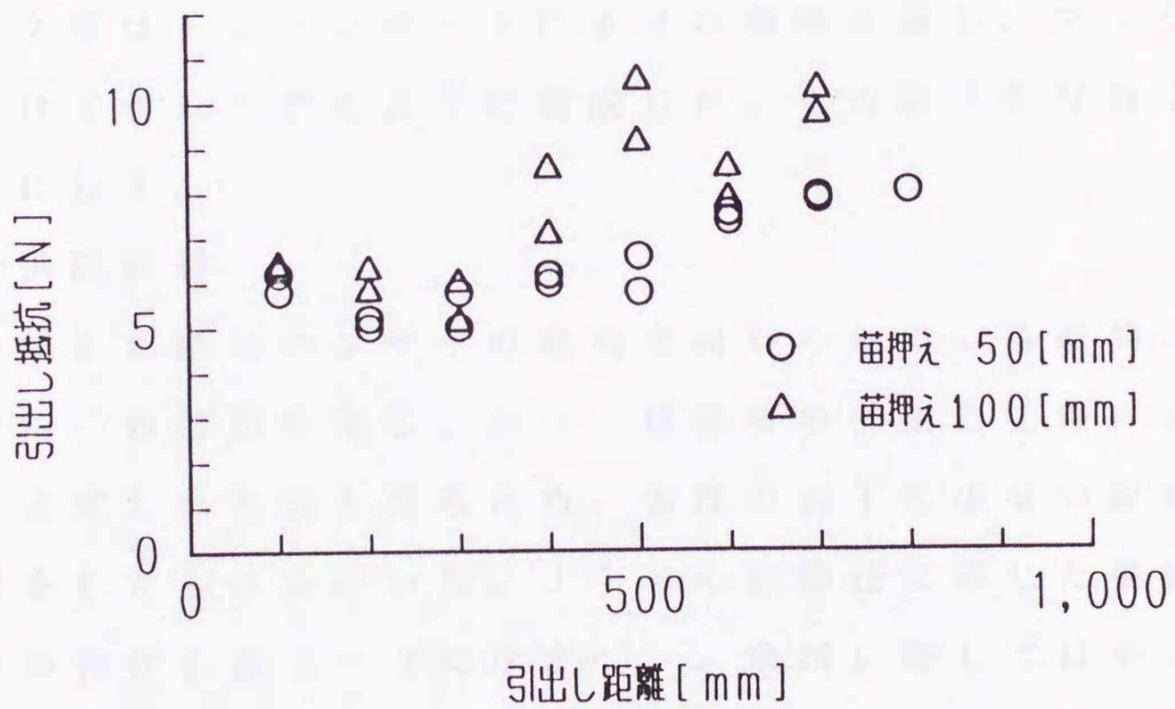


図 3 - 6 苗 押 え が 引 出 し 抵 抗 に 及 ぼ す 影 響

3.2 チェーンポットの分離の基礎実験

3.2.1 実験目的

分離誘導部を手掛かりに引裂き状態で分離する場合の分離誘導部と分離力の関係を明らかにし、チェーンポット設計上の基礎資料を得る。

3.2.2 実験方法

1) 装置の概要

分離力の測定には万能試験機（島津製作所社製、型式 A G S - 5 0 A）を用いた。主要諸元を表 3 - 1 に示す。分離装置のクロスヘッドとの取付部はクロスヘッドの上昇に伴い引張り角度が変化するため、これに追従するようにピンにより自在にした。また、懸架部も分離誘導部の長さに対応可能なように左右に可変とした。上下のチャック部はチェーンポットに $\phi 4$ の鋼棒を通し、フックに掛けてセットするように構成した。この様子を写真 3 - 1 に示す。

2) 供試材料

供試した紙はテンサイの栽培で用いられている紙筒とほぼ同一の性質を有し、かつ、移植時の引出し工程において安定した性能を得るため、強度の低下の少ない耐腐処理をしたものを用いた。J I S の試験法に準じた供試材料の特性を表 3 - 2 に示す^{6,7)}。供試に際してはチェーンポットと同様の構造とするため 2 枚の紙を所定ピッチで接着し、分離誘導部に相当する切込みを入れた。

表 3 - 1 万能試験機 (AGS-50A) の主要諸元

| 負荷方式 | 定速ひずみ方式 |
|-------------------|--------------------------------|
| ひょう量 [kgf] | max. 50 |
| 引張荷重測定精度 | 1~50倍の各レンジにおいて指示値の±1%以内 |
| 有効試験幅 [mm] | 320 |
| クロスヘッドストローク [mm] | 600 |
| 引張ストローク [mm] | 270 |
| クロスヘッド速度 [mm/min] | 0.5 ~ 500 13段 |
| クロスヘッド速度精度 | 平均速度において±0.5%以内 |
| 荷重表示装置 | LCDによるデジタル表示, 表示分解能0.05%以下 |
| クロスヘッド 設定方式 | MINおよびMAX位置の2点設定, デジタル設定方式 |
| 設定項目 | ストローク: 設定分解能 0.1mm |
| 荷重増幅器 測定倍率 | 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100倍 7段切換 |
| 電気式荷重校正 | 被校正ロードセルの個数: 4個, |

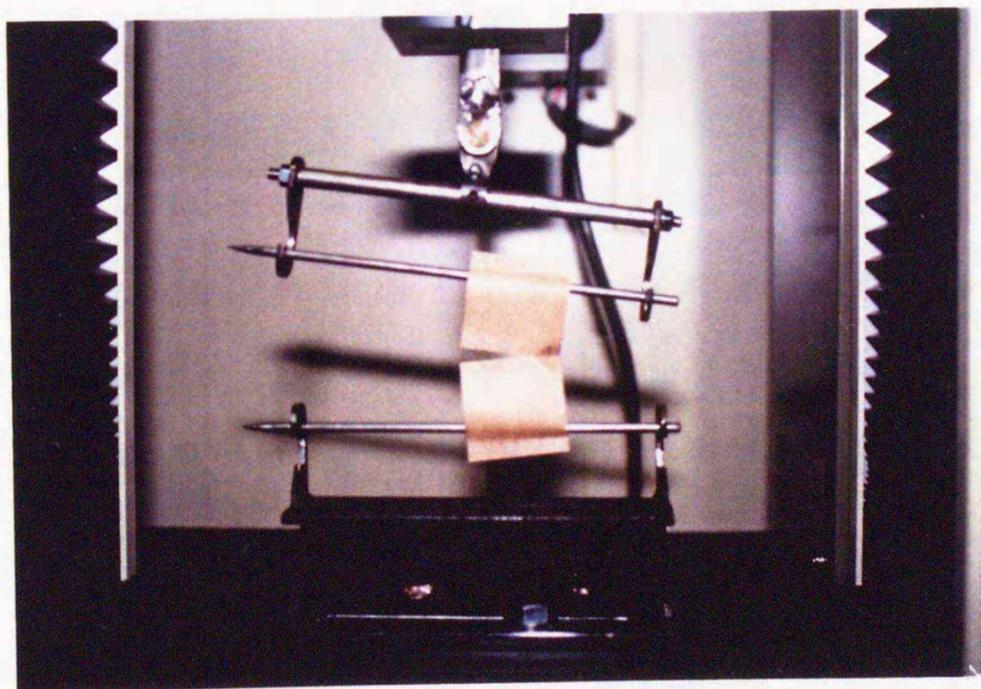


写真 3 - 1 分離装置

なお、引張り方向は製造の実態に即し繊維の縦方向に供試した。

表 3 - 2 供試材料の特性

| | | |
|-----------------|------------------------|------------------|
| 坪 量 | [g / m ²] | 50.4 |
| 厚 さ | [μ] | 94 |
| 引 裂 強 度 | [gf] | 縦 43.2 横 60.3 |
| 耐 折 強 度 | [回] | 縦 40 横 17 |
| 引 張 り 強 度 (乾) | [kg f / 15 mm] | 縦 5.92 横 2.57 |
| 伸 び | (乾) [%] | 縦 1.4 横 2.9 |
| 引 張 り 強 度 (湿) | [kg f / 15 mm] | 縦 3.90 横 1.62 |
| 伸 び | (湿) [%] | 縦 2.0 横 5.1 |

3) 実験方法

接続部を1箇所とし、その幅を1.5, 2, 3, 4, 5mmの5種、それぞれの接続部について分離誘導部の長さを0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90mmの8種とした試験片を作製し供試した。

次に上記と3.1節の実験結果から接続部の幅、数、及び分離誘導部の長さを絞り込んだ試料を作製し供試した。試料のパターンを表3-3に示す。

試料の全長はテンサイに用いられている紙筒と同じ130mmとし、接続部は分離誘導部を除いた部分に等間隔で分散させた。

表 3 - 3 供試試料のパターン

| No. | 接続部長 〔mm〕 | 接続部数 〔個〕 | 分離誘導部長 〔mm〕 |
|-----|--------------|-------------|----------------|
| 1 | 3 | 4 | 10 |
| 2 | 3 | 4 | 20 |
| 3 | 3 | 4 | 30 |
| 4 | 3 | 4 | 40 |
| 5 | 3 | 4 | 50 |
| 6 | 3 | 4 | 60 |
| 7 | 4 | 3 | 10 |
| 8 | 4 | 3 | 30 |
| 9 | 4 | 3 | 50 |

紙の強度は1)繊維相互間の接着強度、2)繊維の絡み合いによる摩擦強度、3)単繊維自身の強度、以上の3種から主として構成されている⁽⁸⁾。しかし、金属材料と異なり、構造は複雑で極めて不均一である。本実験のように微小な切片を相手にする場合、測定点数が少ないと地合いのむらにより正確さを欠く恐れがある。そこで1処理につき20反復で実施した。

分離速度、即ちクロスヘッド速度は100 ~ 500mm / 分の範囲で分離力に差がないことを予備実験で確認し、試験機の最大速度である500mm / 分で行った。

測定は分離力の最大値を万能試験機に内蔵するデータ処理装置から求めるとともに、分離に至る波形をXY記録計から求めた。また、分離後の切片の状態を肉眼と写

真によって観察し、切断の良否を判定した。

3.2.3 結果及び考察

1) 接続部が1個所の場合

接続部が3mmにおける分離誘導部と最大分離力の関係を図3-7に示し、図3-8は接続部が1.5~5mmにおける分離誘導部と最大分離力の平均値の関係を示す。分離誘導部がない場合、いずれの接続部においても最大分離力は大きく、その変動係数は接続部1.5mmにおいて20%、2mmにおいて35%、3mmにおいて43%、4mmにおいて44%、5mmにおいて38%と、ばらつきもまた大きい。文献(2)によれば「引張り過程における破壊のほとんどは、試片の切断した耳の一方または両方から発生しており、切断部の極めて小さいノッチ、即ち局部的弱点に起因するもので、まず局部的弱点にクラックが発生し、その後は引裂きの力で破壊する。」と述べられている。従って、本現象も最初にクラックが発生する試片の地合いに大きく影響を受けるため、安定した切断が行われな
いものと思われる。

分離誘導部が存在する場合、最大分離力はいずれの接続長においても分離誘導部の長さに比例して二次関数的に漸減する。一次関数的に減少しないことは、分離誘導部が長くなるに従いせん断方向の力が大きくなるためと考えられる。分離誘導部の長さが30mm以上であると分離力に大きな差はなく、その分離力は分離誘導部のない場

合の $1/3 \sim 1/5$ に減少する。また、分離誘導部が 30 mm の場合の変動係数は接続部 1.5 mm において 7%、2 mm において 5%、3 mm において 6%、4 mm において 6%、5 mm において 6% であり、安定した分離が行われたことを示している。ただし、接続部 4 mm は分離誘導部の長さが 70 mm 以上になると分離予定線をはずれて、チェーンポット本体に向う分離が発生する。その割合は 70 mm で 5%、90 mm で 35% であった。正常に分離された様子を写真 3-2、分離予定線をはずれた分離の様子を写真 3-3 に示す。分離予定線をはずれた分離はチェーンポットの破壊とそれによる土落ち、根の損傷をまねき、育苗鉢体としての機能を損い、不適である。

以上のことから、分離誘導部の長さは分離力の点で 30 mm 以上が望ましいことを知った。実際の適用については苗引出し時の安定性など他の要因も考慮して決定されることが望ましい。また、接続部については正常な分離が行われる 3 mm 以下が適当である。

2) 接続部を 4 及び 3 個所とした場合

接続部を 4 個所、それぞれの接続部の長さを 3 mm とし、分離誘導部の長さを 10~60 mm まで 10 mm ごとに変化させたときの分離力の変化を図 3-9、接続部を 3 個所、それぞれの接続部の長さを 4 mm とし、分離誘導部の長さを 10, 30, 50 mm としたときの分離力の変化を図 3-10 に示す。

接続部を 4 個所とした試料において、第 1 番目の接続部の分離力の平均値は分離誘導部が 10 mm のとき 12.2 N、

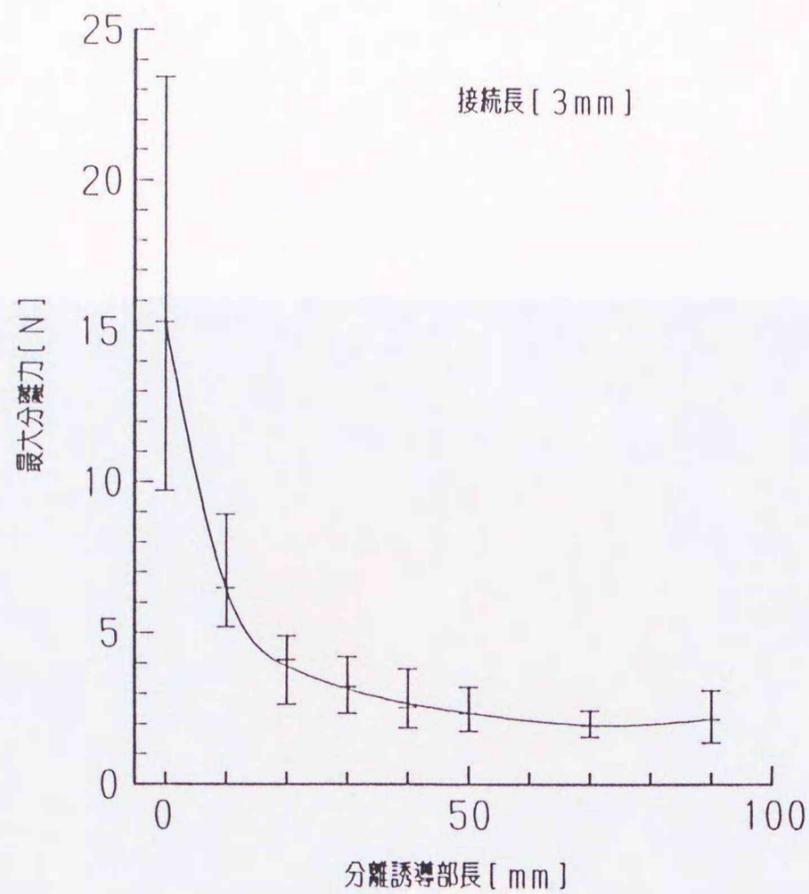


図 3 - 7 分離誘導部と最大分離力
(接統部 3 mm)

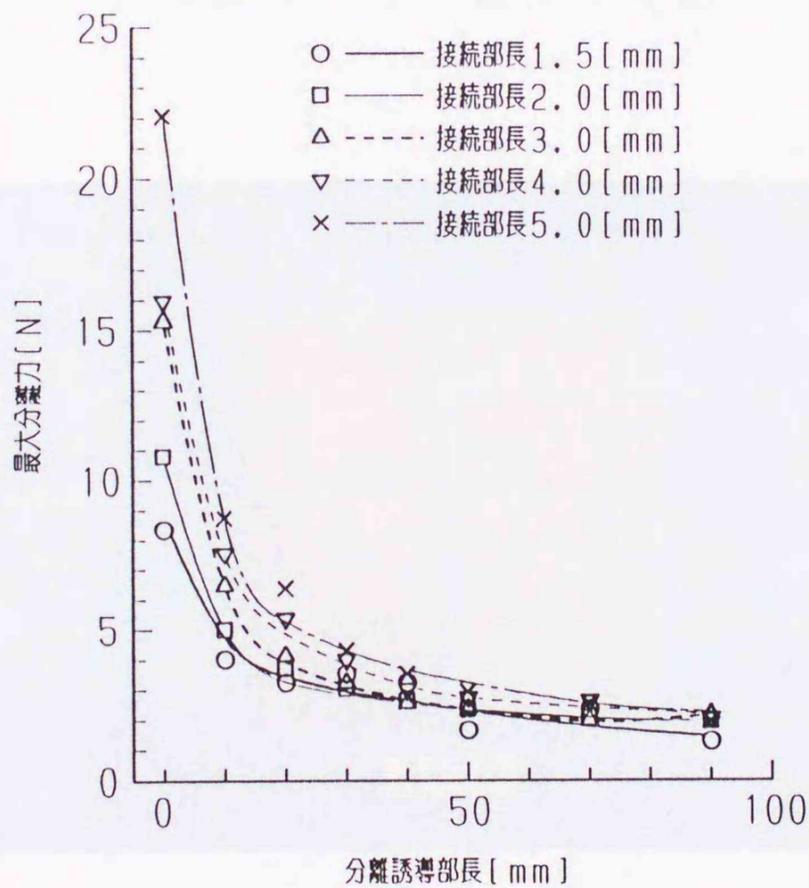


図 3 - 8 分離誘導部と最大分離力

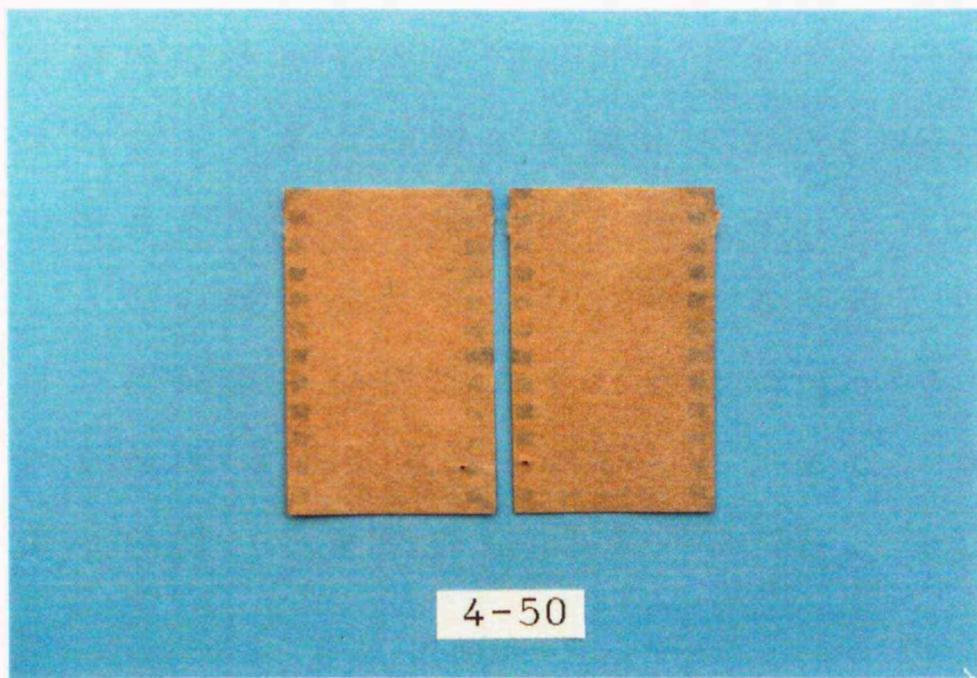


写真 3 - 2 正常な分離

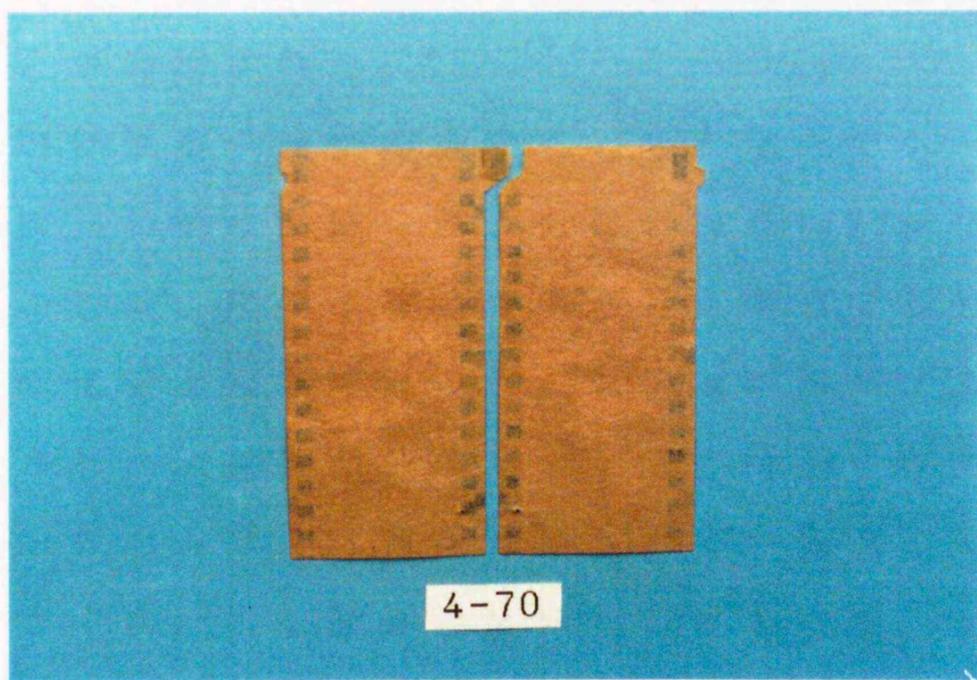


写真 3 - 3 分離予定線をはずれた分離

20 mm のとき 7.9 N、30 mm のとき 7.8 N、40 mm のとき 6.7 N、50 mm のとき 6.9 N、60 mm のとき 8.7 N であった。接続部を 1 個所とした結果より値は大きい傾向は同様であり、分離誘導部の長さが 20 mm 以上であると、分離力に差が少ないことが多点分離でも確認された。分離力が 1 点分離の場合より大きい理由は、加えられた力により紙が変形し、他の接続部にも力が分散するためと思われる。第 2 番目の接続部の分離力の平均値は 7.2 ~ 8.3 N、第 3 番目のそれは 5.8 ~ 6.6 N であった。また、第 4 番目の接続部の分離力の平均値は 2.5 ~ 2.7 N と著しく小さかった。

接続部を 3 個所とした試料においても同様な結果が得られたが、接続部が長い場合分離力はほぼそれに比例し約 30% 大きい。また、分離予定線をはずれた分離がしばしば出現し、育苗鉢体として接続部の長さ 4 mm は不適であることが確認された。

以上の結果から接続部を多点とした場合でも一点の場合とほぼ同じ結果が得られ、分離誘導部は 20 mm 以上必要であり、また、接続部の長さの合計が同じでも分離力及び分離の状態から接続部の長さは 3 mm が適当であることが確認された。接続部の長さが 3 mm の引張り強度の最小値は約 10 N であり、4 個所接続されていると、その接続部の長さの合計の引張り強度は約 40 N となる。接続部を分散させ、分離誘導部を介して経時的に分離することにより、その最大分離力は約 1/5 に減じ、分離について極

めて有利な方法であることが明らかとなった。

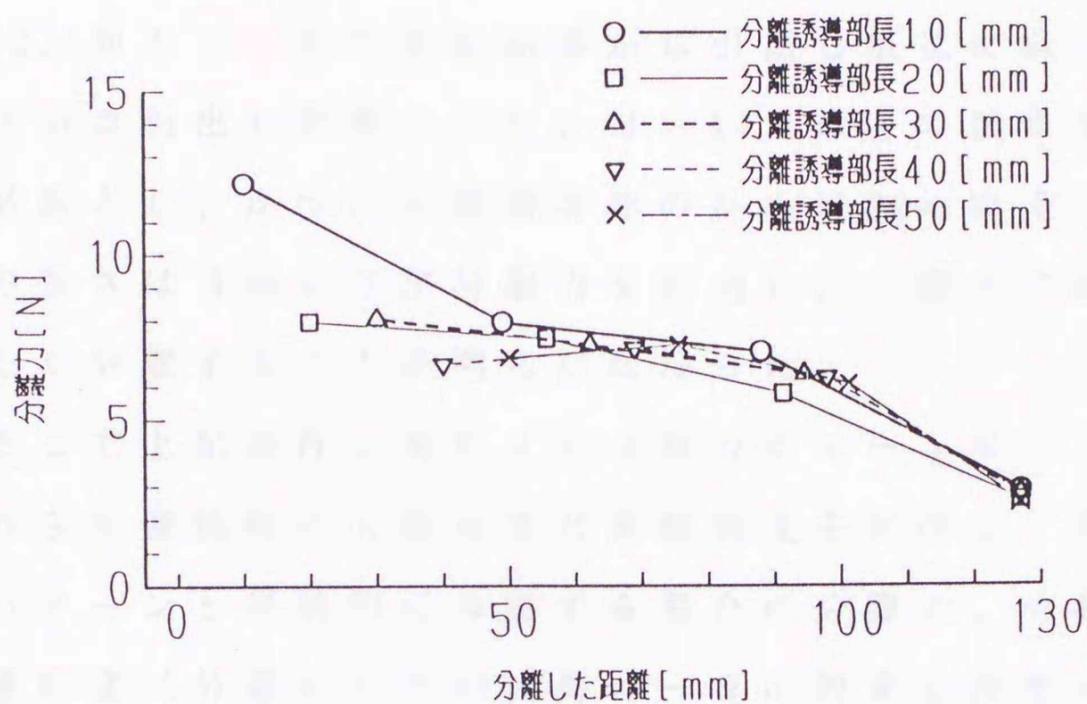


図 3 - 9 分離誘導部と最大分離力
(接続部 3 mm × 4 個所)

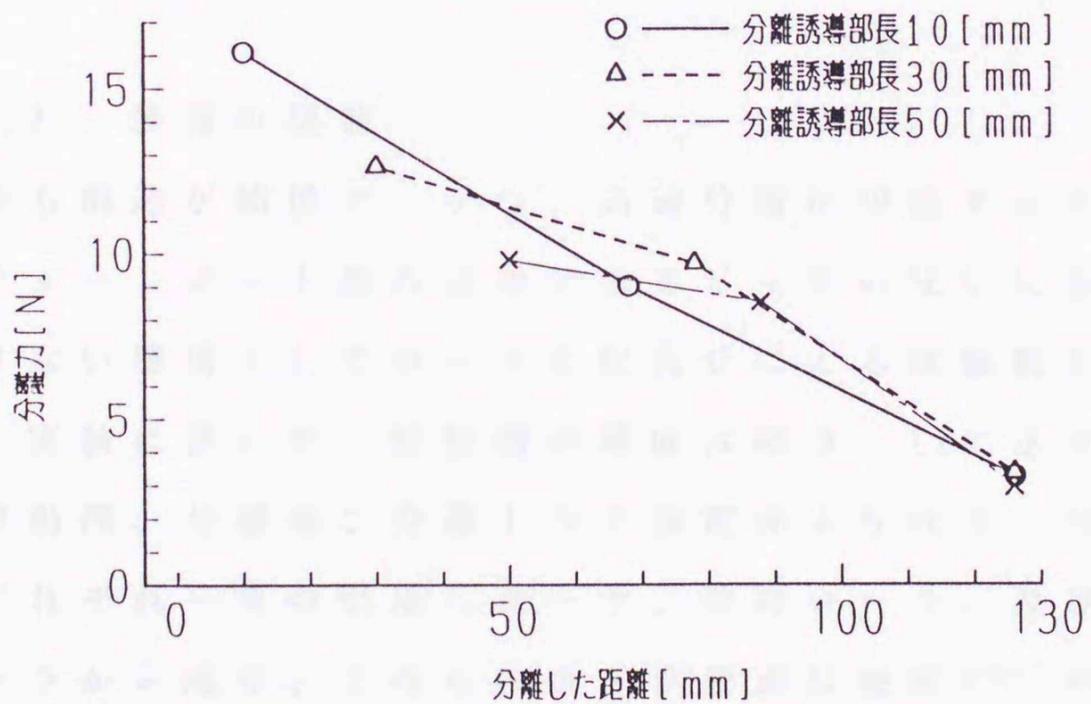


図 3 - 10 分離誘導部と最大分離力
(接続部 4 mm × 3 個所)

3.3 チェーンポットの試作と連続分離

3.3.1 実験目的

3.1節と3.2節の実験結果から引出し抵抗に耐え得るには苗の引出し距離に応じ、8～14N以上の接続部強度を必要とし、かつ、分離誘導部の長さは20mm以上、接続部の長さは3mm以下が分離力を軽減し、分離予定線から正しく分離することが明らかになった。

そこで上記条件に適合する3種のチェーンポットと、これらを連続的に分離可能な実験装置を試作し、接続部のパターンと連続的に分離する場合の分離力、分離速度、分離角度（分離ローラの挟持ローラに対する角度）、チェーンポットの損傷などとの関係を明らかにし、チェーンポット苗と分離装置についての最適条件を総合的に判定する。

3.3.2 装置の概要

最も構造が簡単で、かつ、高速分離が可能であり、更にチェーンポット苗の宿命であるピッチの狂いに影響を受けない機構としてローラの組合せによる試験機を製作し、実験に供した。試験機の構成は図3-11に示すように駆動部、分離部、分離トルク測定部より成る。分離部はそれぞれ一对の引出しローラ、挟持ローラ、及び分離ローラから成り、これらのローラ表面は硬度60°の独立発泡のネオプレンゴムで被覆した。分離ローラは挟持ローラに対向して配設し、周速及び挟持ローラとの角度を

任意に設定できる構造とし、分離ローラ軸の上部にひずみゲージ式トルクピックアップ（共和電業社製、型式 T P - 2 0 K C E ）を取付け、定格出力 90 W の変速モータにより駆動した。モータには回転計を取付け、これにより分離ローラの回転数を調節した。測定部には動ひずみ測定器（共和電業社製、型式 D P M - 3 1 0 A ）を配し、電磁オシログラフにより分離時のトルク波形を記録した。

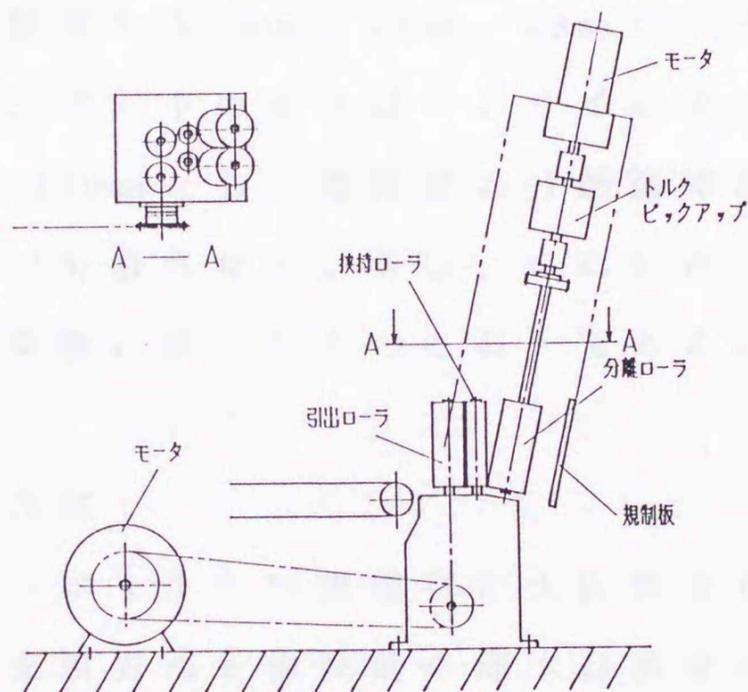


図 3 - 11 実験装置の構成

3.3.3 チェーンポットの試作

チェーンポット苗において、その引出し中にトラブルの原因の一つとなる苗の切断を発生させてはならない。従って、実用設計にあたっては接続部の抗張力を平均値で判断することは適当でなく、最小値をもって設計基準とすべきである。正常な分離が行われる接続部の長さの

最大幅である 3 mm において、苗の引出し工程にかかる平行力は図 3-7 の分離誘導部 0 のときの値を見れば求められ、抗張力の最小値は 10 N である。一方、苗の引出し距離は実用機への適用を想定すると 150 mm から 200 mm 程度であり、このときの引出し抵抗は 8 ~ 10 N である。次にこれらを基に実用機への適用を考慮し、安全率を 4 とすると、所要接続部強度は 40 N、接続部の長さの合計は 12 mm となり、これを設計基準とした。分離誘導部については 3.2 節の結果から 20 mm、30 mm、40 mm の 3 種とした。

供試チェーンポットの長さはテンサイに用いられている紙筒と同じ 130 mm とし、接続部は分離誘導部を除いた部分に等間隔で分散させた。なお、これに用いた紙の特性は 3.2 節の実験に供したものと同一である。

3.3.4 実験方法

供試チェーンポットへの充填材は火山性土と沖積土の 2 種類とし、充填方法と供試前の灌水は農家の慣行法に準じて行った。供試の際の充填材含水比は火山性土において 37.2 ~ 38.6%、沖積土において 21.4 ~ 23.1% であった。

苗の引出し速度は移植作業を株間 25 cm、作業速度 0.75 m / s と想定し、3 苗 / s の一定速度とした。分離ローラの周速は苗の引出し速度に対し、2 ~ 9 倍の 8 種類とし、分離角度は 0 ~ 18° で 3° ごとの 7 種類とした。

1 処理に対する供試苗の数を 20 本とし、これを連続的

に供試し、記録波形から個々の苗の分離トルクを読み取った。また、分離ローラの80mm後方に規制板を設け、分離した苗の方向を変え、その250mm下方で受けて、分離及び規制板に衝突する際に発生する土抜きの割合を測定した。更には分離の状態を観察し、正常な分離が行われたか否かの判定を行った。

3.3.5 結果及び考察

1) 分離トルクからみた評価

(1) 速度比の影響

図3-12に分離ローラ周速と挾持ローラ周速との速度比と分離トルクとの関係を分離の角度別に示す。図中の破線はこれより速度比が小さいところでは2本以上連なって分離し、正常な分離が行われていないことを示す。正常な分離が行われている範囲については、速度比が増すに従い分離トルクは減少し、速度比6~7を底とし、これ以上の速度比ではやや増加傾向となった。

分離誘導部の長さについては分離誘導部20mmが実験全体を通じ分離トルクはやや大きく、30mmと40mmは差がほとんどない。このことは3.2節の結果と一致する。

(2) 分離角度の影響

図3-13に分離角度と分離トルクとの関係を速度比別に示す。正常な分離が行われない速度比2を除き、分離角度が増すに従い分離トルクは減少した。速度比4以上において、9°を境に減少割合は小さくなり、分離誘導部

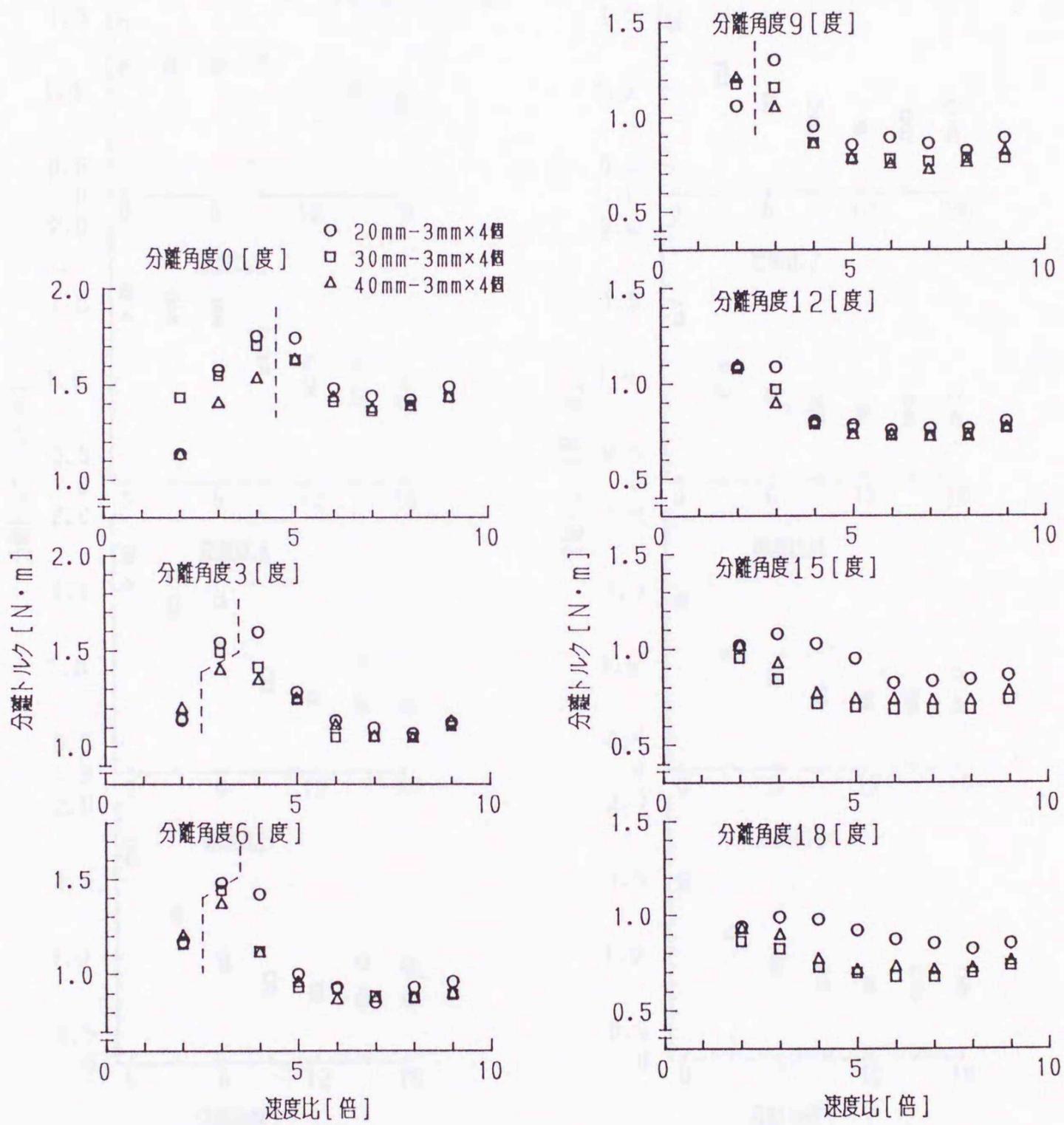


図 3 - 12 速度比と分離トルク

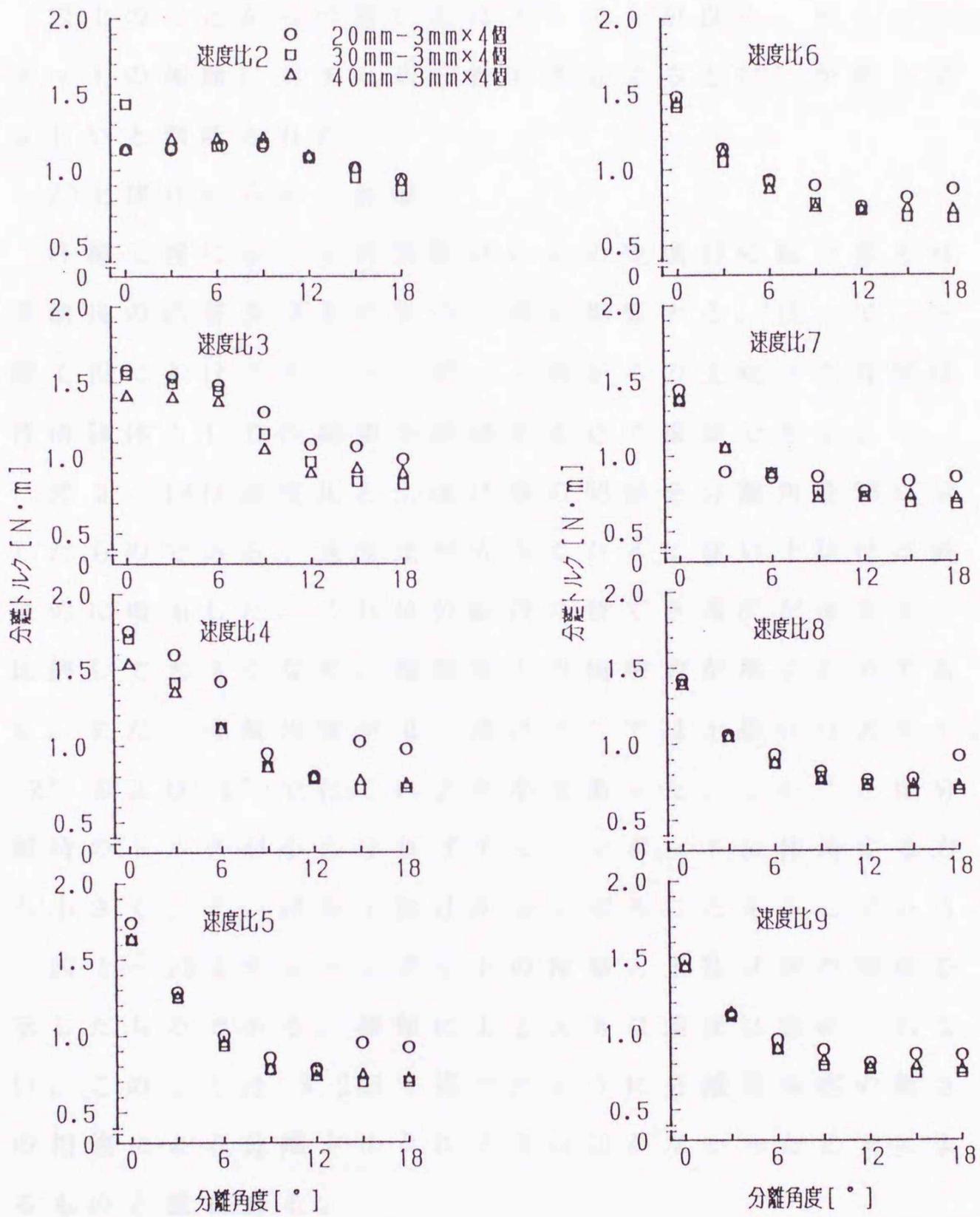


図 3 - 13 分 離 角 度 と 分 離 ト ル ク

20mmのチェーンポットについては 12° を底として分離トルクは逆に僅かに増加した。

以上のことから分離角度は 9° 以上が良く、チェーンポットの種類に対する適応性も考慮すると 12° が最も望ましいと判断された。

2) 土拔けからみた評価

移植工程における育苗鉢体からの充填材の抜け落ちは移植後の活着及びその後の生育に影響する。従って、分離工程におけるチェーンポット苗からの土拔けの程度は育苗鉢体としての機能を評価する点で重要である。

図3-14は速度比と土拔け率の関係を分離角度別に示したものである。速度比が大きくなるに従い土拔けは直線的に増加した。これは分離後の放てき速度が速度比に比例して大きくなり、規制板との衝撃力が増すためである。また、分離角度が 0° 及び 6° では土拔けは大きく、 12° および 18° ではこれより小であった。このことは分離時のトルクが小さければチェーンポットに作用する力も小さく、その結果土拔けが少くなることを示している。

図3-15はチェーンポットの種類と土拔け率の関係を示したものである。種類による大きな差異は認められない。このことは3.2節で述べたように分離誘導部の長さの相違による分離トルクに大きな差がなかったことによるものと思われる。

図3-16は充填材の種類と土拔け率との関係を示したものである。沖積土が火山性土より明かに土拔けは少な

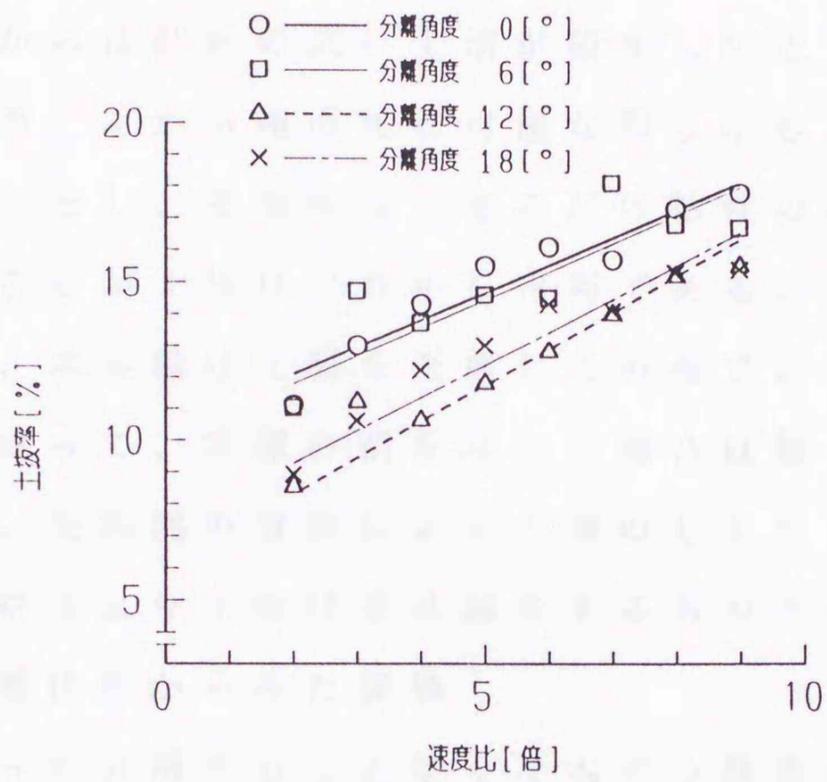


図 3 - 14 速度比と土拔け率

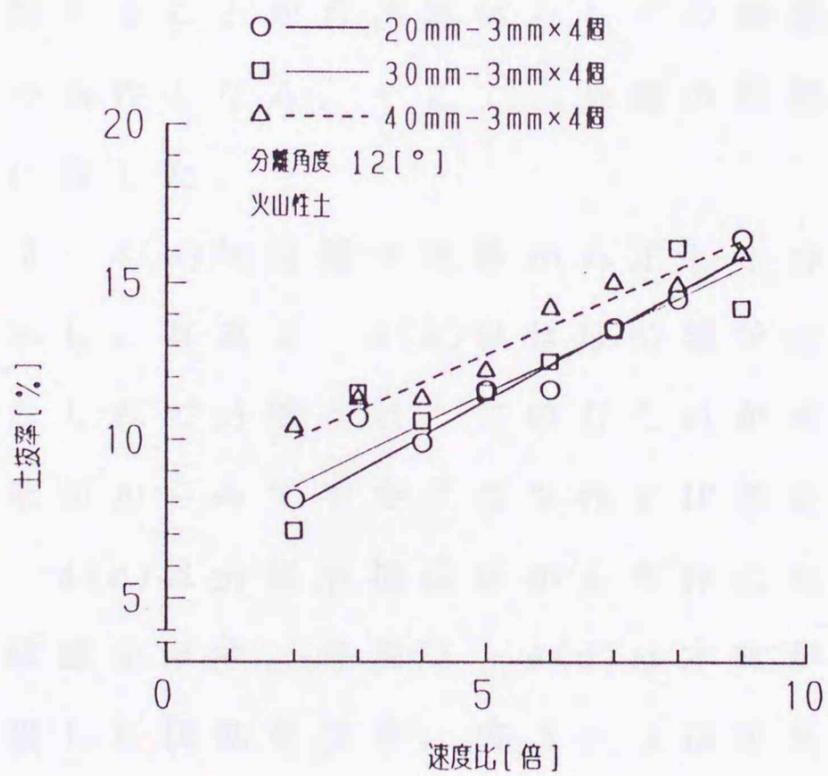


図 3 - 15 チェーンポットの種類と土拔け率

い。このことは土壌の粘性に起因すると思われ、土抜きの観点からは粘性の高い土壌が望ましいといえる。

以上のことから速度比は可能な限り小さくし、分離角度は 12° とし、充填材はできるだけ粘性の高いものを選択することが土抜きの点から有利である。

なお、本実験は土壌を充填したのみで、育苗はしていない。従って、実際の苗を用いた場合は根による抱土力の発生、長期間の育苗による土壌のしまりなどによって本実験結果より土抜け率は減少するものと思われる。

3) 分離状態からみた評価

連なって分離することなく1本ずつ確実に分離することは絶対条件であるが、この外、チェーンポット本体に及ぶ破損、あるいは折損が発生せず、分離予定線から正しく分離することが育苗鉢体としての機能を確保する上で必須の条件となる。そこで、分離の状態を観察し、この評価に資した。

写真3-4(a)は分離予定線から正しく分離した正常な状態を示し、写真3-4(b)はほぼ分離予定線から分離するが、むしろ分離され、このむしろが本体にも及び鉢体の機能面からみてやや不安を残す状態を示す。また、写真3-4(c)は分離が接続部から本体に走り、本体が破損した状態を示す。写真3-4(d)は本体が接続部から2つに折損した状態を示す。表3-4は正常な分離、むしろ、破損及び折損の様子をそれぞれ観察し、育苗鉢体としての評価を総合的に行ったものである。結果を以下に

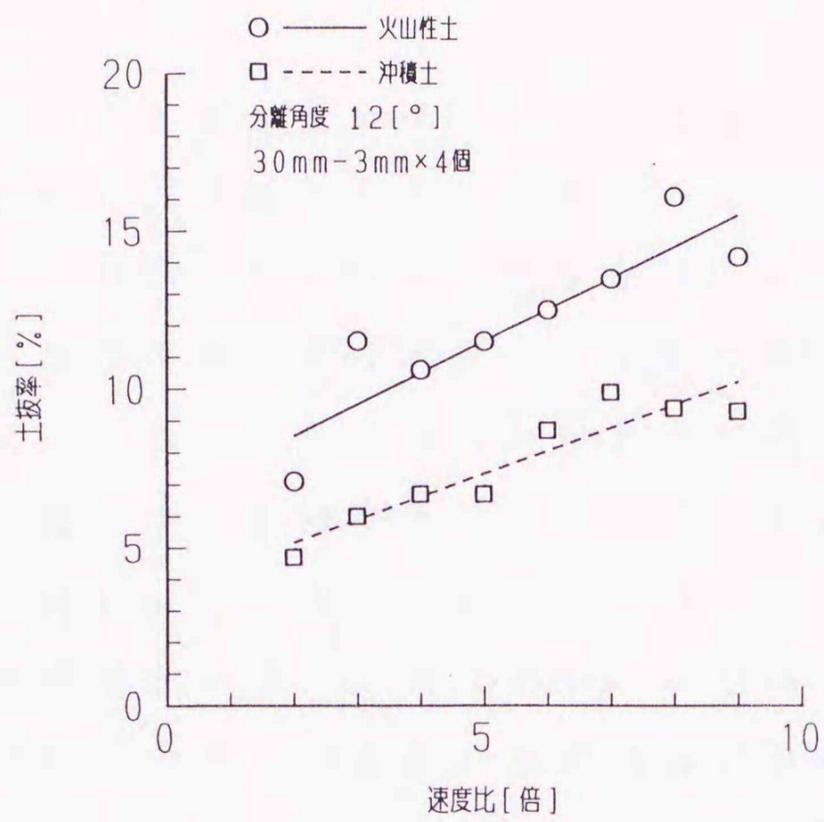


図 3 - 16 充填材の種類と土拔け率

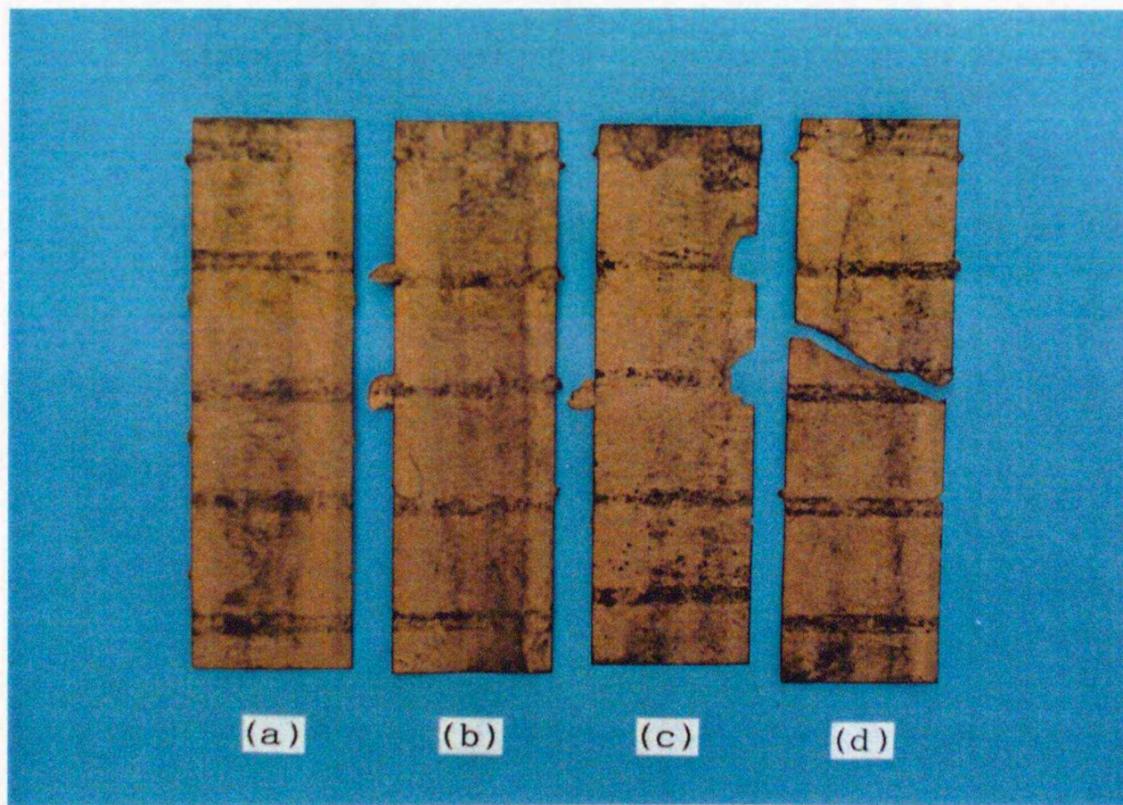


写真 3 - 4 分離の状態

述べる。

(1)分離角度と速度比が小さければ連なって分離する現象が発生した。分離角が 9° 以上、あるいは速度比が5以上のいずれかであればこの現象はほとんど出現しない。また、分離誘導部が長ければこの現象の発生割合は少なくなった。これらのことは分離角度及び速度比が大きくなれば分離トルクが減少することと符合し、分離がより合理的に行われてくることを意味する。

(2)分離角度が大きくなるに従い、接続部がむしれて分離する現象は少なくなるが、速度比及び分離誘導部の長さの相違による差は認められない。むしれ現象は接続部に平行力が加わっていることを意味する。従って、合理的な分離には分離角度は大きい方が有利である。

(3)分離誘導部40mmのチェーンポットにおいて分離角度 6° 以上、かつ、速度比5以上で折損が現れ、分離誘導部20mm、30mmのチェーンポットでは出現しない。

以上、分離の状態から評価すると①分離誘導部30mmのチェーンポットが許容度は大きく、分離状態が一番安定している。②分離装置の条件は分離角度については $12^\circ \sim 15^\circ$ 、速度比については5以上が適当である。

| No. | ボットの種類 | 分離角度 | 速比 | 分離 | むしれ | 折損・破損 | 総合判定 |
|-----|--------|------|----|----|-----|-------|------|
| 1 | A | 0 | 2 | × | ○ | ○ | - |
| 2 | | | 3 | × | ○ | ○ | - |
| 3 | | | 4 | × | × | ○ | - |
| 4 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 5 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 6 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 7 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 8 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 9 | B | 0 | 2 | × | × | ○ | - |
| 10 | | | 3 | × | × | ○ | - |
| 11 | | | 4 | × | × | × | - |
| 12 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 13 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 14 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 15 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 16 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 17 | C | 0 | 2 | × | ○ | ○ | - |
| 18 | | | 3 | × | × | ○ | - |
| 19 | | | 4 | × | × | ○ | - |
| 20 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 21 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 22 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 23 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 24 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 25 | A | 3 | 2 | × | × | ○ | - |
| 26 | | | 3 | × | × | ○ | - |
| 27 | | | 4 | ○ | × | × | - |
| 28 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 29 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 30 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 31 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 32 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 33 | B | 3 | 2 | × | × | ○ | - |
| 34 | | | 3 | × | × | ○ | - |
| 35 | | | 4 | ○ | × | × | - |
| 36 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 37 | | | 6 | ○ | × | × | - |
| 38 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 39 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 40 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 41 | C | 3 | 2 | × | ○ | ○ | - |
| 42 | | | 3 | ○ | × | ○ | + |
| 43 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 44 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 45 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 46 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 47 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 48 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 49 | A | 6 | 2 | × | × | ○ | - |
| 50 | | | 3 | × | × | ○ | - |
| 51 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 52 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 53 | | | 6 | ○ | ○ | ○ | + |
| 54 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 55 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 56 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 57 | B | 6 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 58 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 59 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 60 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 61 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 62 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 63 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 64 | | | 9 | ○ | ○ | ○ | + |
| 65 | C | 6 | 2 | ○ | × | ○ | + |
| 66 | | | 3 | ○ | × | ○ | + |
| 67 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 68 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 69 | | | 6 | ○ | ○ | × | - |
| 70 | | | 7 | ○ | ○ | × | - |
| 71 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 72 | | | 9 | ○ | × | × | - |
| 73 | A | 9 | 2 | × | × | ○ | - |
| 74 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 75 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 76 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 77 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 78 | | | 7 | ○ | ○ | ○ | + |
| 79 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 80 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 81 | B | 9 | 2 | × | ○ | ○ | - |
| 82 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 83 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 84 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 85 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 86 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 87 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 88 | | | 9 | ○ | ○ | ○ | + |
| 89 | C | 9 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 90 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 91 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 92 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 93 | | | 6 | ○ | × | × | - |
| 94 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 95 | | | 8 | ○ | × | × | - |
| 96 | | | 9 | ○ | ○ | ○ | + |
| 97 | A | 12 | 2 | × | ○ | ○ | - |
| 98 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 99 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 100 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 101 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 102 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 103 | | | 8 | ○ | ○ | ○ | + |
| 104 | | | 9 | ○ | ○ | ○ | + |
| 105 | B | 12 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 106 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 107 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 108 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 109 | | | 6 | ○ | ○ | ○ | + |
| 110 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 111 | | | 8 | ○ | ○ | ○ | + |
| 112 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 113 | C | 12 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 114 | | | 3 | ○ | × | ○ | + |
| 115 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 116 | | | 5 | ○ | × | ○ | + |
| 117 | | | 6 | ○ | ○ | × | - |
| 118 | | | 7 | ○ | ○ | × | - |
| 119 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 120 | | | 9 | ○ | × | × | - |
| 121 | A | 15 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 122 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 123 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 124 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 125 | | | 6 | ○ | ○ | ○ | + |
| 126 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 127 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 128 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 129 | B | 15 | 2 | ○ | × | ○ | + |
| 130 | | | 3 | ○ | × | ○ | + |
| 131 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 132 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 133 | | | 6 | ○ | ○ | ○ | + |
| 134 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 135 | | | 8 | ○ | ○ | ○ | + |
| 136 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 137 | C | 15 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 138 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 139 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 140 | | | 5 | ○ | ○ | × | - |
| 141 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 142 | | | 7 | ○ | × | × | - |
| 143 | | | 8 | ○ | ○ | ○ | + |
| 144 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 145 | A | 18 | 2 | × | ○ | ○ | + |
| 146 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 147 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 148 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 149 | | | 6 | ○ | ○ | ○ | + |
| 150 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 151 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 152 | | | 9 | ○ | ○ | ○ | + |
| 153 | B | 18 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 154 | | | 3 | ○ | × | ○ | + |
| 155 | | | 4 | ○ | ○ | ○ | + |
| 156 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 157 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 158 | | | 7 | ○ | × | ○ | + |
| 159 | | | 8 | ○ | ○ | ○ | + |
| 160 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |
| 161 | C | 18 | 2 | ○ | ○ | ○ | + |
| 162 | | | 3 | ○ | ○ | ○ | + |
| 163 | | | 4 | ○ | × | ○ | + |
| 164 | | | 5 | ○ | ○ | ○ | + |
| 165 | | | 6 | ○ | × | ○ | + |
| 166 | | | 7 | ○ | ○ | ○ | + |
| 167 | | | 8 | ○ | × | ○ | + |
| 168 | | | 9 | ○ | × | ○ | + |

ボットの種類 A:分離誘導部20mm
 B:分離誘導部30mm
 C:分離誘導部40mm

床土:火山性壤土

評価 ○:良 ×:不良

総合判定 ++:適
 +:ほぼ適
 -:不適

表 3 - 4 分離の総合評価

3.4 本章のまとめ

チェーンポットの分離について基礎実験を行い、チェーンポット設計のための基礎資料を得るとともに、これらの結果を基に3種のチェーンポットと高速分離を可能とする実験装置を試作し、実用的なチェーンポットと分離装置について検討した。

- 1) チェーンポット苗の繰出し抵抗力は引出し距離、引出し部への土の付着、苗押えの3つによる影響が大きい。チェーンポット設計にあたり、接続部の強度は苗の引出し距離に対応し、8~14Nを必要とする。実用には更に安全率を考慮して決定される必要がある。
- 2) 接続部を一点とした実験において、分離力の点から分離誘導部の長さは30mm以上あることが望ましく、この時の分離力は分離誘導部のない場合と比べ1/3~1/5に減少した。また、接続部の長さは4mm以上あると分離予定線をはずれてチェーンポット本体に向う分離が発生した。従って、接続部の長さは正常な分離が行われる3mm以下が適当である。その場合の引張り強度の最小値は約10Nであった。
- 3) 接続部を多点とした実験においても、2)とほぼ同様の結果が得られ、接続部を分散させ分離誘導部を介して経時的に分離することにより、その分離力は約1/5に減じ、分離について極めて有利な方法であることが明らかとなった。
- 4) 以上の結果を基に接続部の長さを3mm、接続個所を4

個所とし分離誘導部の長さを20mm、30mm、40mmとした3種類のチェーンポットと連続的に分離可能な実験装置を試作し、分離速度及び角度について検討した。あわせて、分離の状態、土抜きの割合を調査し、育苗鉢体としての機能面からの検討も加えた。その結果、分離角度については $12\sim 15^\circ$ 、速度比については6~7、また、分離誘導部については30mmが最も許容度が高く、安定した分離の得られることが判明した。従って、上記条件が分離の最適条件と判断された。



第4章 苗落下式植付け機構の基礎的な検討

第2章で提案した新たな苗落下式植付け機構について、そのメカニズムの理論的検討を行うとともに実験により実用機への適用に必要な基礎資料を得ることを目的とする。

4.1 植付けにおける苗の挙動の理論的検討

4.1.1 拘束されない条件下の苗挙動

1) 挙動のパターンと運動エネルギー

(1) 挙動のパターン

苗を完全非弾性体とみれば、苗が所定の落下角度、落下速度、走行速度で接地したとき、苗の挙動は図4-1に示すように3つのパターンに分類される⁷⁰⁾。

- (1) ①-②-③の経路をたどり後方に倒れる。
- (2) ①-②-③-④の経路をたどり直立安定する。
- (3) ①-②-③-④の経路をたどり前方に倒れる。

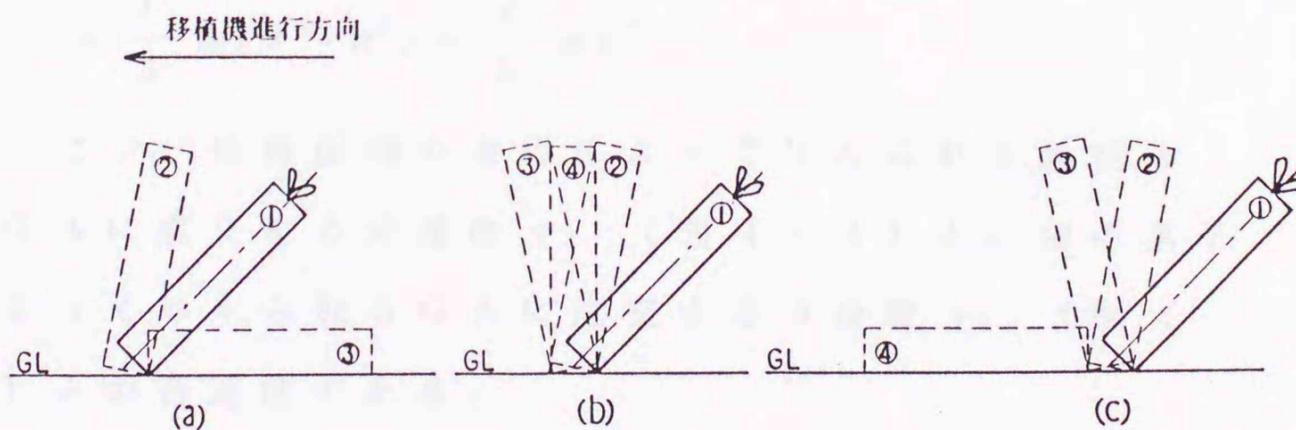


図4-1 苗の挙動のパターン

(2) 苗の運動エネルギー

長さ 2ℓ 、幅 b 、質量 m の均質な苗が地面と角度 α をなして、速度 v_0 で落下する。移植機の手は地面に平行に v_1 で進む。ただし、苗の形状は角柱として計算する。

a. 地面に着地直前の速度は図 4-2 に示すように合成されて v となる。

b. 地面に着地後、苗は図 4-3 に示すように A を支点とする回転運動を行う。このときの角速度を ω_A 、A G の距離を ℓ と近似し、 v を A G 方向の v_2 と、これに直交する方向 v_1 に分解すれば $v_1 = \ell \omega_A$ から

$$\omega_A = \frac{v_1}{\ell} \text{ となる。}$$

よって、着地後の運動エネルギー E_1 は

$$E_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} I_A \omega_A^2 = \frac{7}{6} m v_1^2 \quad (4-1)$$

ただし、 I_A は A 点のまわりの慣性モーメント

$$\begin{aligned} I_A &= I_G + m \ell^2 = \frac{1}{12} m (\ell^2 + b^2) + m \frac{1}{4} (\ell^2 + b^2) \\ &= \frac{1}{3} m (\ell^2 + b^2) = \frac{4}{3} m \ell^2 \end{aligned}$$

ここで v_1 は移植機の走行によって与えられる速度 v_1 の G A に直交する分速度 v_2 (図 4-4) と、苗の落下によって与えられる G A に直交する分速度 v_3 (図 4-5) との合速度である。

故に

$$v_1 = v_2 + v_3 = v_1 \sin(\alpha + \beta) + v_0 \sin \beta \quad (4-2)$$

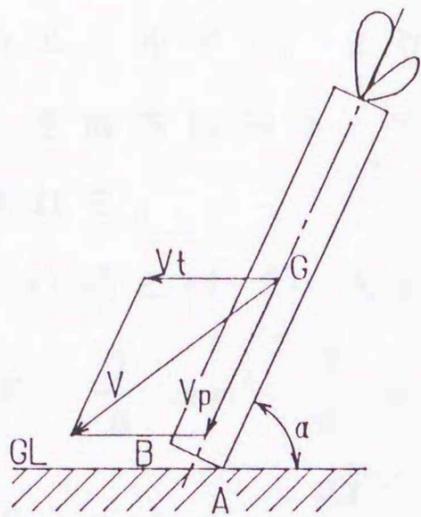


図 4 - 2 苗の着地直前の速度

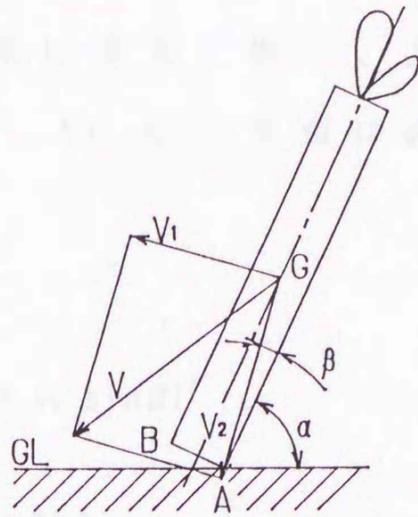


図 4 - 3 苗の着地直後の速度

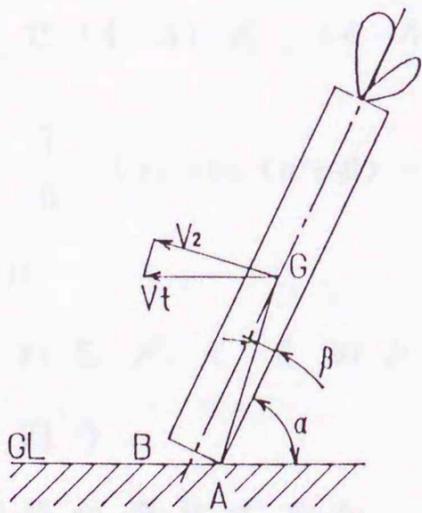


図 4 - 4 移植機の走行により
苗に与えられる速度

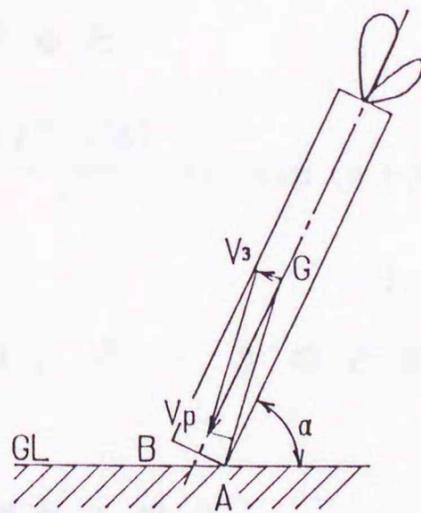


図 4 - 5 苗の落下により
苗に与えられる速度

2) 苗が後方に倒れる場合

着地後、苗の運動エネルギー E_1 は ΛG が垂直となる位置のエネルギー E_2 より小なるとき苗は後方に倒れ、大なるとき前方に向う。すなわち $E_1 < E_2$ のとき苗は後方に倒れる。

(4-1) 式と (4-2) 式より

$$E_1 = \frac{7}{6} m v_1^2 = \frac{7}{6} m \{ v_1 \sin(\alpha + \beta) + v_r \sin\beta \}^2 \quad (4-3)$$

$$E_2 = m g h_3 = m g \frac{\sqrt{\ell^2 + b^2}}{2} \{ 1 - \sin(\alpha + \beta) \} \quad (4-4)$$

ただし $\tan\beta = \frac{b}{\ell}$, $h_3 = h_1 - h_2 = \frac{\sqrt{\ell^2 + b^2}}{2} \{ 1 - \sin(\alpha + \beta) \}$

g : 重力加速度

h_1 : 苗が最大高さに到達したときの重心の高さ

h_2 : 苗が着地したときの重心の高さ

従って、苗が後方に倒れる境界条件は $F_1 = E_1 - E_2 = 0$ である。

ここで (4-3) 式、(4-4) 式を代入すると

$$F_1 = \frac{7}{6} \{ v_1 \sin(\alpha + \beta) + v_r \sin\beta \}^2 - g \frac{\sqrt{\ell^2 + b^2}}{2} \{ 1 - \sin(\alpha + \beta) \} = 0 \quad (4-5)$$

すなわち $F_1 < 0$ のとき後方に倒れ、 $F_1 > 0$ のとき前方に向う。

3) 苗が直立するか、更に前方に倒れる場合

$E_1 - E_2 = E_3$ ($E_3 \geq 0$) と苗の底辺 ΛB の GL に接するまでに失った位置のエネルギー E_1 が GL に接するまでの運

動に参与する。A G の垂直の位置から A B が G L に接するまでに失ったエネルギー E_4 は

$$E_4 = mg \frac{\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell}{2} = \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) \quad (4-6)$$

従って、接する瞬間の角速度を ω_B とすれば

$$E_3 + E_4 = \frac{1}{2} I_B \omega_B^2 = \frac{1}{2} m \frac{\ell^2 + b^2}{3} \omega_B^2 = \frac{m}{6} (\ell^2 + b^2) \omega_B^2$$

すなわち

$$\begin{aligned} & \frac{7}{6} m \{v_A \sin(\alpha + \beta) + v_B \sin \beta\}^2 - mg \frac{\sqrt{\ell^2 + b^2}}{2} \{1 - \sin(\alpha + \beta)\} \\ & + \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) = \frac{m}{6} (\ell^2 + b^2) \omega_B^2 \end{aligned} \quad (4-7)$$

また、B 点が G L に着いた瞬間、苗は G L からの撃力を受けるが、B 点のまわりの角運動量は直前、直後で変わらないはずである。角運動量は衝突直前は $I_G \omega_B$ 、衝突直後は $I_G \omega_C + m(\overline{GA} \cdot \omega_C) \overline{GA}$ となる。ただし、 ω_C は衝突直後の角速度とする。

従って $I_G \omega_B = I_G \omega_C + m(\overline{GA} \cdot \omega_C) \overline{GA}$

すなわち

$$\begin{aligned} m \frac{\ell^2 + b^2}{12} \omega_B &= m \frac{\ell^2 + b^2}{12} \omega_C + m \left(\frac{\sqrt{\ell^2 + b^2}}{12} \right)^2 \omega_C \\ &= \frac{m}{3} (\ell^2 + b^2) \omega_C \end{aligned} \quad (4-8)$$

次に A G が垂直になるに必要なエネルギー E_5 は

$$E_5 = \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell)$$

$$\text{また } E_5 = \frac{1}{2} I_A \omega_C^2$$

故に

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{3} (\ell^2 + b^2) \omega_c^2 \\ &= \frac{m}{6} (\ell^2 + b^2) \omega_c^2\end{aligned}\quad (4-9)$$

(4-7) 式, (4-8) 式, (4-9) 式より苗が直立した後、前方に倒れる境界の式 F_2 を求める。

$$(4-8) \text{ 式より} \quad \omega_c = \frac{\omega_B}{4} \quad (4-10)$$

(4-10) 式を (4-9) 式に代入

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) - \frac{m}{6} (\ell^2 + b^2) \left(\frac{\omega_B}{4}\right)^2 \\ = \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) - \frac{1}{16 \times 6} m (\ell^2 + b^2) \omega_B^2\end{aligned}\quad (4-11)$$

(4-7) 式より

$$\begin{aligned}\omega_B^2 &= \frac{6}{m (\ell^2 + b^2)} (E_1 - E_2 + E_4) \\ &= \frac{6}{m (\ell^2 + b^2)} \left\{ F_1 + \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) \right\}\end{aligned}\quad (4-12)$$

(4-12) 式を (4-11) 式に代入し、 F_2 を求める。

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) - \frac{1}{16 \times 6} m (\ell^2 + b^2) \frac{6}{m (\ell^2 + b^2)} \\ \left\{ F_1 + \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) \right\} = 0\end{aligned}$$

故に

$$\begin{aligned}F_2 &= \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) - \frac{1}{16} - \left\{ F_1 + \frac{1}{2} mg (\sqrt{\ell^2 + b^2} - \ell) \right\} \\ &= 0\end{aligned}\quad (4-13)$$

(まとめ)

(a) $F_1 < 0$ のとき図 4-1 (a) のように後方に倒れる。

(b) $F_1 > 0 > F_2$ のとき図 4-1 (b) のように揺動して直立する。

(c) $F_2 > 0$ のとき図 4-1 (c) のように前方に倒れる。

数値計算例

口径 19mm、長さ 130mm のチェーンポット苗が着地角度 $\alpha = 30^\circ$ 、落下速度 $v_p = 1.5 \text{ m/s}$ 、のときの各境界点の移植機走行速度 v_t を求める。

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = 8.3^\circ, \quad \sqrt{\ell^2 + b^2} = 0.1314 \\ g \sqrt{\ell^2 + b^2} \{1 - \sin(30^\circ + 8.3^\circ)\} = 0.4896 \end{array} \right.$$

$$1) \quad F_1 = \frac{7}{6} \{v_t \sin(30^\circ + 8.3^\circ) + 1.5 \sin 8.3^\circ\}^2$$

$$-\frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.49 = 0$$

$$\frac{7}{6} (v_t \times 0.62 + 0.22)^2 - 2.4 = 0$$

$$0.45 v_t^2 + 0.32 v_t - 2.34 = 0$$

$$\therefore v_t = 1.96 \text{ m/s}$$

$$2) \quad F_2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.134 - \frac{1}{16} (0.45 v_t^2 + 0.32 v_t - 2.34$$

$$+ \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.134) = 0$$

$$2.8 v_t^2 + 2 v_t - 15.2 = 0$$

$$\therefore v_t = \frac{-2 \pm \sqrt{2^2 + 4 \times 2.8 \times 15.2}}{2 \times 2.8} = 2.0 \text{ m/s}$$

すなわち v_t が 1.96 m/s 以下のとき苗は後方へ倒れ、1.96 ~ 2.0 m/s のとき直立し、2.0 m/s 以上のとき前方へ倒れる。

4.1.2 拘束される条件下の苗挙動

4.1.1 項では、溝切り器と土壤に拘束されない条件下の苗挙動について検討した。しかし、実際の機構は第2章で説明したように苗の落下の最終過程で苗は溝切り器の背面に沿って落下し、溝底に着地した後は溝切り器により左右に分けられた土壤の戻りにより固定される。

本項では実際の機構に則して、上記のように溝切り器と土壤に拘束されて植付けられるメカニズムについて検討する。

1) 苗が溝底に達する条件

第2章で提案した植付け機構において、溝切り器の進行により発生する植付け穴に苗が落下し、溝底まで確実に到達することが植付け深さを一定に保つための必須の条件となる。以下この条件について検討する。

図4-6に示すように、苗が苗落下管末端から角度 α_0 、速度 v_0 で放出され、溝切り器の背面に沿って落下する。このとき、溝切り器により出現する植付け穴は溝切り器の進行に伴い定常的に発生する。このことから、苗は溝切り器の背面に沿って落ちるならば必ず溝底に達する。

苗の放出角 α_0 、溝切り器背面角 θ は前項及び本節の

次項以下で述べる理論及び実験に基づき予め設定される数値である。従って、苗が背面に沿うか否かは苗の放出速度 v_0 によって決まる。すなわち、苗が背面に沿う境界放出速度を v_b とすると $v_0 \geq v_b$ のとき苗は背面に沿って落下し、溝底に達する。また、 $v_0 < v_b$ のとき背面の手前に落下する軌跡となり、苗は所定植付け穴よりも後方に落下するために、既に溝底に土が戻っている場合には浅植えとなる。

2) 苗が溝底に達してから、戻り土により固定されるまでの考え方

植付け穴に落下した苗は溝底に到達すると、前項で述べたように苗の落下速度 v_0 の AG に直交する分速度 v_3 と移植機の走行速度 v_1 の AG に直交する分速度 v_2 により A 点を軸とし回転運動をはじめめる。しかし、回転運動を始めるや否や溝切り器の背面に苗が接することにより、回転運動はこの背面の動きに拘束される。溝切り器の背面の動きは移植機の走行と同じであるので、図 4-7 に示すように溝切り器背面角 θ と v_1 との関係となる。

ここで、着地後の時間 t と苗の角度 γ との関係は、苗を幅のない棒と見立てると下記により求めることができる。

第 2 余弦定理により辺 c の長さを求める⁷¹⁾。

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos \theta$$

$$c^2 - 2a \cos \theta \cdot c + a^2 - b^2 = 0$$

$$\begin{aligned}
c &= \frac{2 a \cos \theta \pm \sqrt{(2 a \cos \theta)^2 - 4 (a^2 - b^2)}}{2} \\
&= \frac{2 v_1 t \cos \theta \pm \sqrt{(2 v_1 t \cos \theta)^2 - 4 \{(v_1 t)^2 - b^2\}}}{2} \quad (4-14)
\end{aligned}$$

ここで苗は左回りで倒れるので長さは上式の解のうち、大となる。

正弦定理より γ を求める式を立てる。

$$\begin{aligned}
\frac{c}{\sin \gamma} &= \frac{b}{\sin \theta} \\
\sin \gamma &= \frac{c \sin \theta}{b} \quad (4-15)
\end{aligned}$$

(4-15) を (4-14) に代入し、整理すると

$$\sin \gamma = \frac{\left\{ v_1 t \cos \theta + 2 \sqrt{(2 v_1 t \cos \theta)^2 - 4 \{(v_1 t)^2 - b^2\}} \right\} \times 2 \sin \theta}{2 b}$$

また、 γ を t で微分することにより角速度、更に微分することにより角加速度が判り、苗の運動量、力を求めることができる。以上が溝切り器背面に拘束される苗の挙動の考え方となる。

次に溝切り器の進行に伴い発生する植付け穴が埋め戻され、苗が固定される場合の苗の挙動について考える。

溝底に着地した苗は溝切り器の進行に伴い、溝切り器の背面に接しながら回転運動を行う。このとき、植付け穴は時間の経過とともに埋め戻される。同時に苗も時間の経過とともにこの埋め戻される土壌により徐々に拘束され、苗の持つ慣性力と戻り土の保持力が平衡したとき

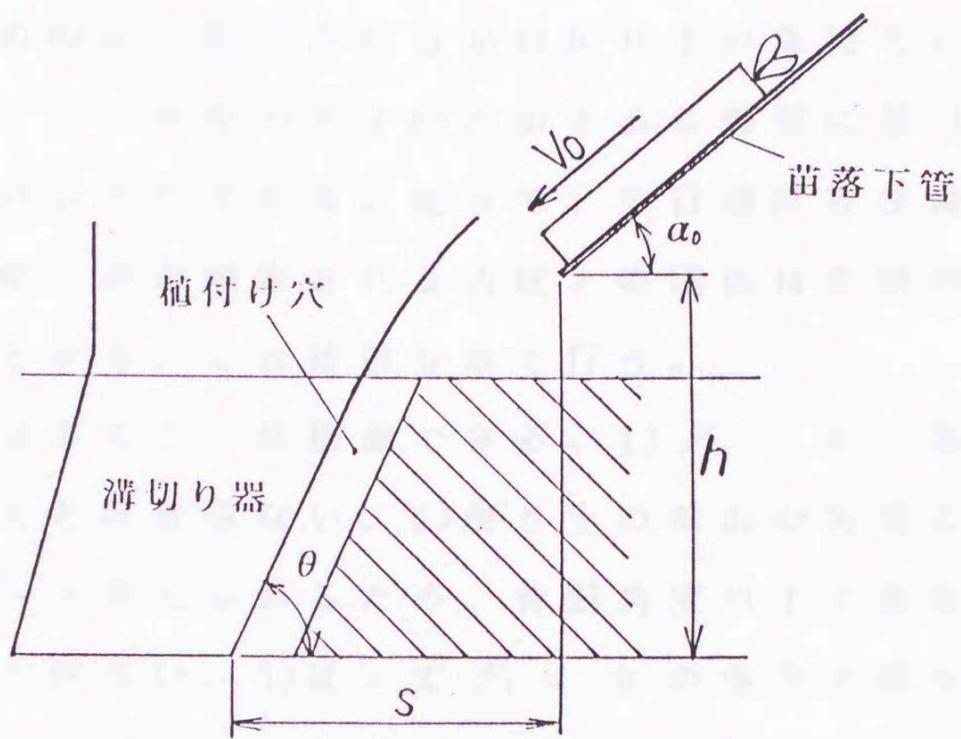


図 4 - 6 溝切り器による植付け穴

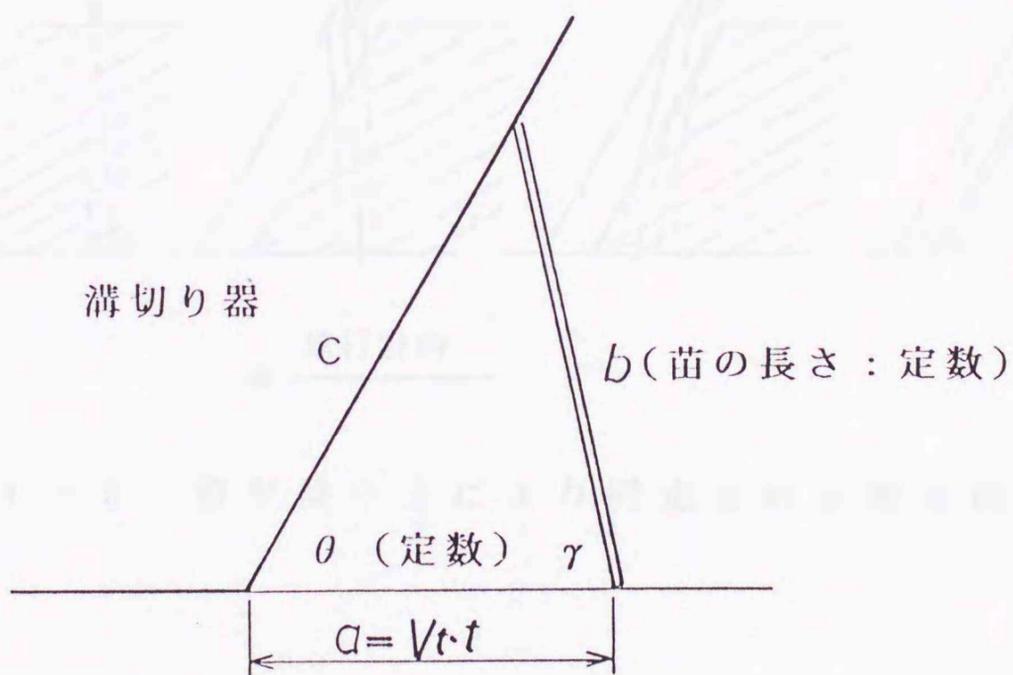


図 4 - 7 溝切り器背面に拘束される苗の運動

苗は固定される。この様子を図4-8に示す。

苗がいつの時点で固定されるかは戻り土の保持力による。しかし、この保持力が土のどのような性質に基づき発生するものか不明である。従って、走行速度及び溝切り器背面角度と苗が固定される角度との関係は実験的に求めることとする。これは第5章で行う。

しかし、以下のことは推測できる。1) $F_1 < 0$ の条件では前傾植えとはならない。2) 戻り土の前面の角度は背面角度と同一と考えられるため、背面角度以下で後傾植えとなることはない。3) 従って $F_1 < 0$ の条件で苗が固定される角度は 90° より小で、かつ、 θ より大となる。

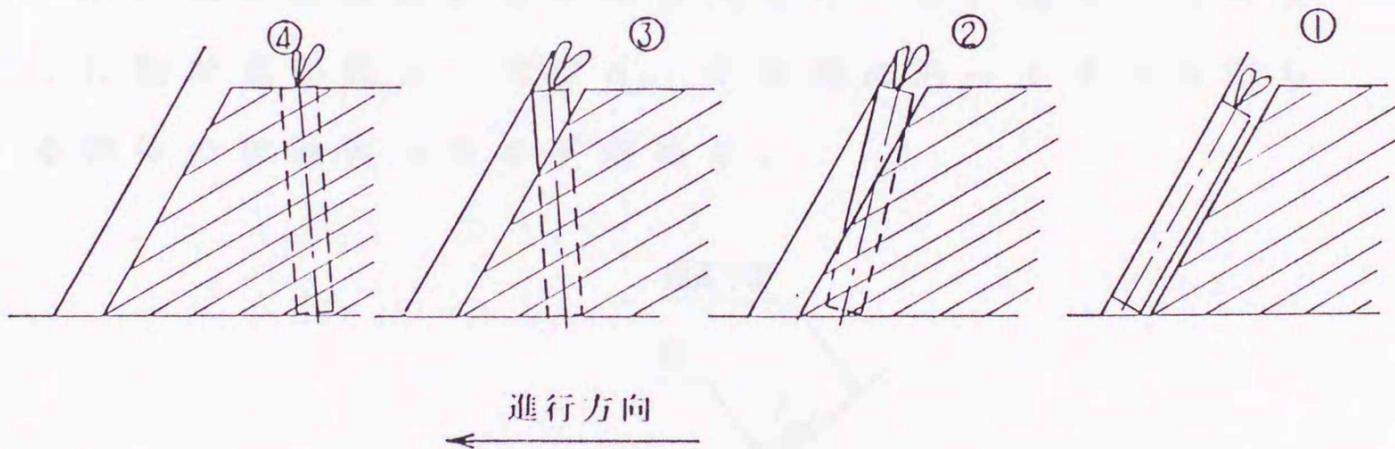


図4-8 苗が戻り土により固定される模式図

4.2 苗落下管内滑走時の苗挙動

4.2.1 苗落下管内を滑走時

溝切り器背面に沿う軌跡に苗を落下させるには、苗落下管末端から放出されるときに速度と角度を決定すればよい。このうち速度については苗落下管と苗との動摩擦係数によって所要速度を得るための高さが決まる。そこで動摩擦係数を求める関係式を導き、実験によって動摩擦係数を求める際の算出式とした。

動摩擦の基礎式^{7.2)}は動摩擦力を f 、動摩擦係数を μ 、垂直抗力を N とすれば

$$f = \mu N \quad \text{又は} \quad \mu = \frac{f}{N}$$

次に動摩擦係数 μ を求める式をたてる。図4-9のように動摩擦係数 μ 、角度 α_0 の斜面に沿ってすべり落ちる物体の加速度 a をまず求める。

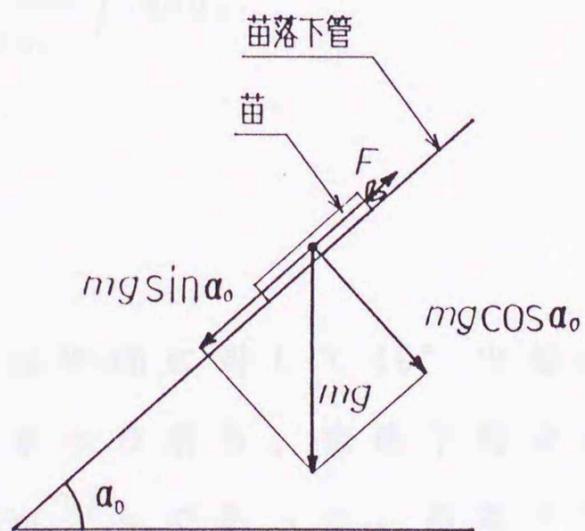


図4-9 苗落下管を滑り落ちる苗に働く力

質点に働く重力 mg を斜面の方向の分力 $mg \sin \alpha_0$ と斜面に垂直の方向の分力 $mg \cos \alpha_0$ とに分けると、運動方程式は

$$ma = mg \sin \alpha_0 - F \quad (4-16)$$

ただし、 F は摩擦力で

$$\frac{F}{mg \cos \alpha_0} = \mu \quad \text{又は} \quad F = \mu mg \cos \alpha_0 \quad (4-17)$$

(4-17) 式を (4-16) 式に代入して a を求めると

$$a = g(\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0) \quad (4-18)$$

物体は等加速度で斜面に沿って直線運動をする。それ故、物体が初速 0 で距離 s_2 だけすべり落ちたときの速さを v とすると

$$v^2 = 2 a s_2, \quad \text{ただし} \quad s_2 = \frac{h_1}{\sin \alpha_0}$$

ここに h_1 はすべり落ちた高さである。よって、

$$v^2 = 2 a s_2 = 2 g h_1 \frac{\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0}{\sin \alpha_0} = 2 g h_1 (1 - \mu \cot \alpha_0)$$

$$\therefore \mu = \left(1 - \frac{v^2}{2 g h_1} \right) \tan \alpha_0 \quad (4-19)$$

数値計算例

高さ 0.7 m、水平面に対して 40° の傾斜をもつ苗落下管に沿って苗がすべり落ち、苗落下管末端に達したとき、その速度は 2.0 m / s であった。苗落下管との動摩擦摩擦係数は

$$\begin{aligned}\mu &= \left(1 - \frac{2,000^2}{2 \times 9,800 \times 700}\right) \tan 40^\circ \\ &= \left(\frac{2 \times 9,800 \times 700 - 2,000^2}{2 \times 9,800 \times 700}\right) 0.84 = 0.60\end{aligned}$$

となる。

4.2.2 苗落下管末端から放出時

4.1.2 項で述べたように苗が溝切り器の背面に沿って落下することが本植付け機構にとり必須の条件となる。そこで、この条件を満す苗の放出角度、放出速度、着地角度を算出する式を求め、経路式も求める⁷³⁾。

図4-10に示すように水平方向に x 軸、鉛直に方向に y 軸をとる。原点から $x-y$ 平面内で、初速 v_0 、放出角度 (x 軸方向との角) α_0 で苗 (質点) が苗落下管から放出されるとき、

$$\text{水平方向の運動方程式} \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$$

$$\text{鉛直方向の運動方程式} \quad m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg$$

任意の時刻での速度成分

$$\text{水平方向の速度成分} \quad v_x = \frac{dx}{dt} = v_0 \cos \alpha_0 \quad (4-20)$$

$$\text{鉛直方向の速度成分} \quad v_y = \frac{dy}{dt} = v_0 \sin \alpha_0 + gt \quad (4-21)$$

任意の時刻での位置

$$\text{水平方向の位置} \quad x = v_0 t \cos \alpha_0 \quad (4-22)$$

鉛直方向の位置
$$y = v_0 t \sin \alpha_0 + \frac{1}{2} g t^2 \quad (4-23)$$

また、(4-22)式と(4-23)式から t を消去すると経路の方程式が得られる。

経路式
$$y = x \tan \alpha_0 + \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha_0} x^2 \quad (4-24)$$

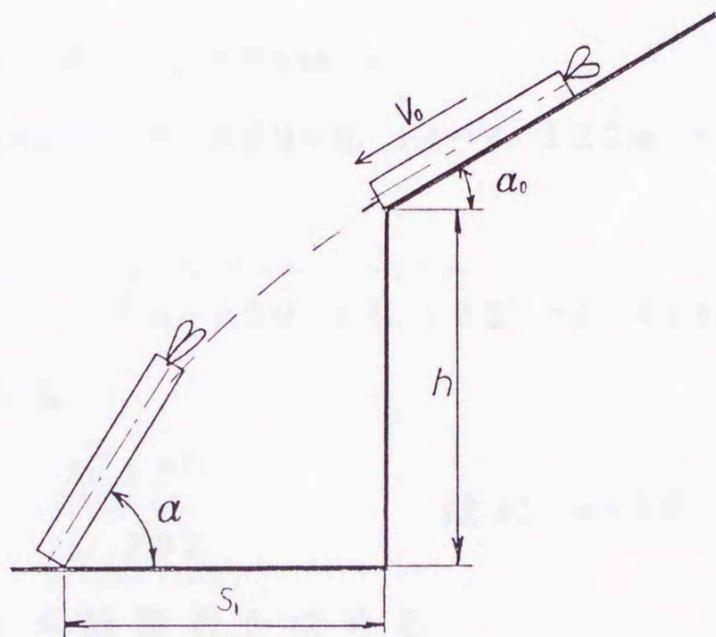


図 4 - 10 苗落下管から放出された苗の運動

数値計算例

苗が初速 1.5 m/s 、放出角度 30° で苗落下管末端から放出され、質点が 20 cm 下に達したときに着地する場合の水平距離 s_1 、角度 α 、速度 v_1 及び到達時間 t を求める。

1) (4-23) 式より t を求める。

$$200 = 1,500 t \sin 30^\circ + \frac{1}{2} \cdot 9,800 t^2$$

故に
$$t = \frac{-750 \pm \sqrt{750^2 + 4 \times 4,900 \times 200}}{2 \times 4,900} = \frac{-750 \pm 2,117}{9,800}$$

$$= 0.14 \text{ s}, \quad \text{または} \quad -0.29 \text{ s}$$

t は負とはならないから

$$t = 0.14 \text{ s}$$

2) (4-22) 式より水平距離 s_1 を求める。

$$s_1 = 1,500 \times 0.14 \cos 30^\circ = 181.9 \text{ mm}$$

3) (4-20) 式と (4-21) 式より速度 v_1 を求める

$$v_x = 1,500 \cos 30^\circ = 1,299 \text{ mm/s}$$

$$v_y = 1,500 \sin 30^\circ + 9,800 \times 0.14 = 2,122 \text{ mm/s}$$

故に

$$v_1 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{1,299^2 + 2,122^2} = 2,488 \text{ mm/s}$$

4) 角度 α を求める

$$\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2,122}{1,299} \quad \text{故に} \quad \alpha = 58.5^\circ$$

5) (4-24) 式から経路式を求める

$$y = x \tan 30^\circ + \frac{9,800}{2 \times 1,500^2 \cos^2 30^\circ} x^2$$

$$= -0.577x + 0.0029x^2$$

4.2.3 苗落下管の動摩擦係数の測定

1) 実験方法

写真 4-1 に示す試験機を製作し実験に供した。苗落下管の長さは 1,560 mm で $r = 38 \text{ mm}$ の半円状とし、傾角は可変とした。苗落下管の先端には透過形光電スイッチを取付け、0.75 m の一定高さから落下させた長さ 130 mm のチェーンポット苗の通過時間をユニバーサルカウンタ

(岩崎通信機社製、型式UC-7641)で測定し、速度を求めた。そして、この速度と苗落下管の角度とにより(4-24)式から動摩擦係数を算出した。

苗落下管の材質は硬質塩化ビニール(VP75の内面を使用)とステンレス鋼板(SUS304磨面を使用)の2種類とした。また、チェーンポットへの充填材は育苗の実態に則して火山性土と沖積土の2種類とした。供試した土壌の水分と質量を表4-1に示す。なお、供試反復本数は20本とした。

表4-1 供試チェーンポット苗の水分と質量

| 充 填 材 | 含 水 比 質 量 | | |
|---------|-----------|----------|--------|
| | [%] | 平均 [g/本] | CV [%] |
| 火 山 性 土 | 37.9 | 30.7 | 1.8 |
| 沖 積 土 | 28.2 | 38.8 | 1.7 |



写真4-1 試 験 機

2) 実験結果

(1) 滑走面材質による影響

図4-11に示すように材質による相違は明らかにあり、ステンレス鋼板の方が動摩擦係数は大きい。また、苗落下管の角度が大きい程その差は大きくなる。図4-12は測定値の範囲を示したものであり、硬質塩化ビニールの方が範囲は小さく、苗の安定した放出速度を得るには硬質塩化ビニールの方が有利であることを知った。

(2) 角度による影響

角度が大きくなるにつれて動摩擦係数はほぼ直線的に増加する。一般に動摩擦係数は滑り合っている物質の種類と表面状態とに関係し、みかけの接触面積と滑りの速さには無関係であるが、速度が増すと動摩擦係数も大きくなるといわれている⁷¹⁾。従って、本実験の結果は角度が大きくなるにつれて苗の速度が増加したことによるものと考えられる。

(3) 充填材の種類による影響

実用面において、苗落下管の滑走面とチェーンポットとの間に充填材の粒子が僅かに介在することが予想され、これによる動摩擦係数への影響をみたところ、図4-13に示すように差はみられなかった。また、苗の質量による差も認められなかった。

(4) 滑走面の土壌の付着による影響

実用において小雨あるいは苗に付着している水滴などにより滑走面が濡れ、充填材が付着し、これにより動摩

擦係数が変化することが予想される。そこで、充填材を水分過多の状態にし、これを滑走面に刷毛で塗り、その影響を調査した。結果は図4-14に示すように動摩擦係数が大きくなり、かつ、角度が大きくなるとその範囲は著しく増加することが判った。

以上のことから、苗の安定した所要放出速度を得るについて、苗落下管の材質は硬質塩化ビニールがステンレス鋼板より望ましいとの結果を得た。しかしながら、実用機における材質の選択にあたっては、剛性、加工性、耐久性など移植機として具備すべき他の条件も考慮して決める必要がある。また、動摩擦係数は実用時の使用条件を想定して、滑走面に土壌が付着している場合の値を採用し、かつ、平均値でなく最大値を用いることが必要である。

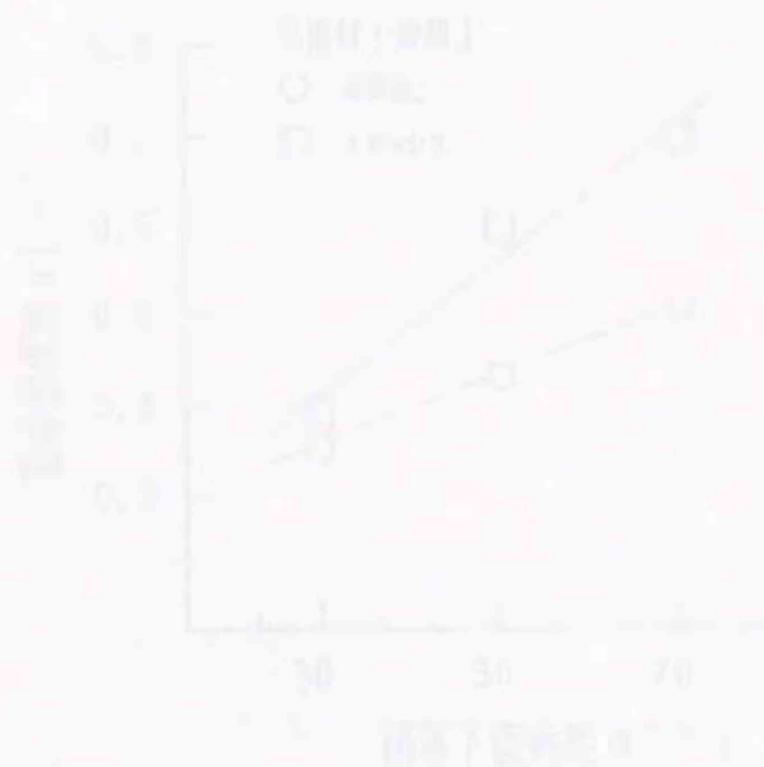


図4-14 傾角による動摩擦係数

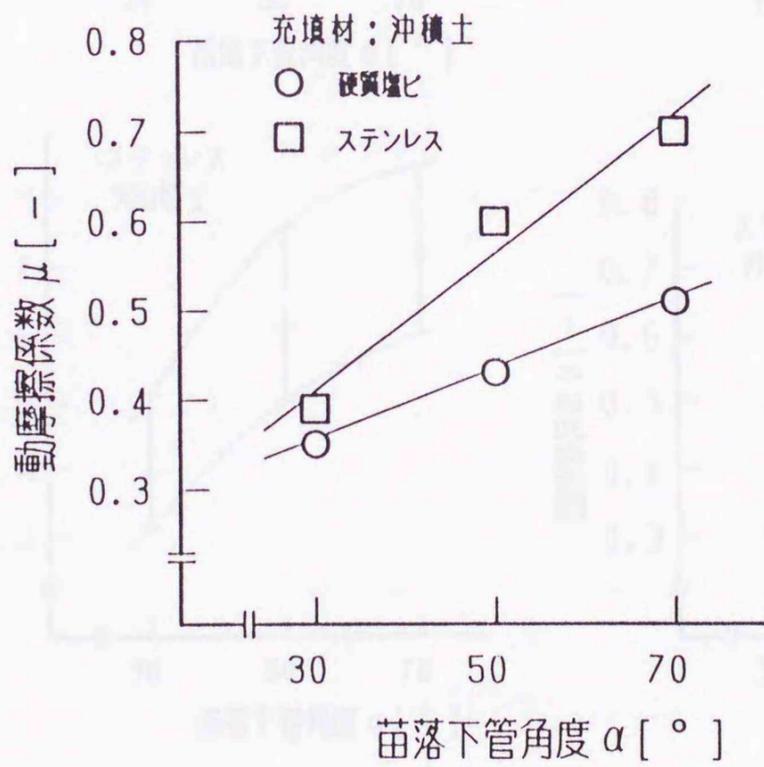
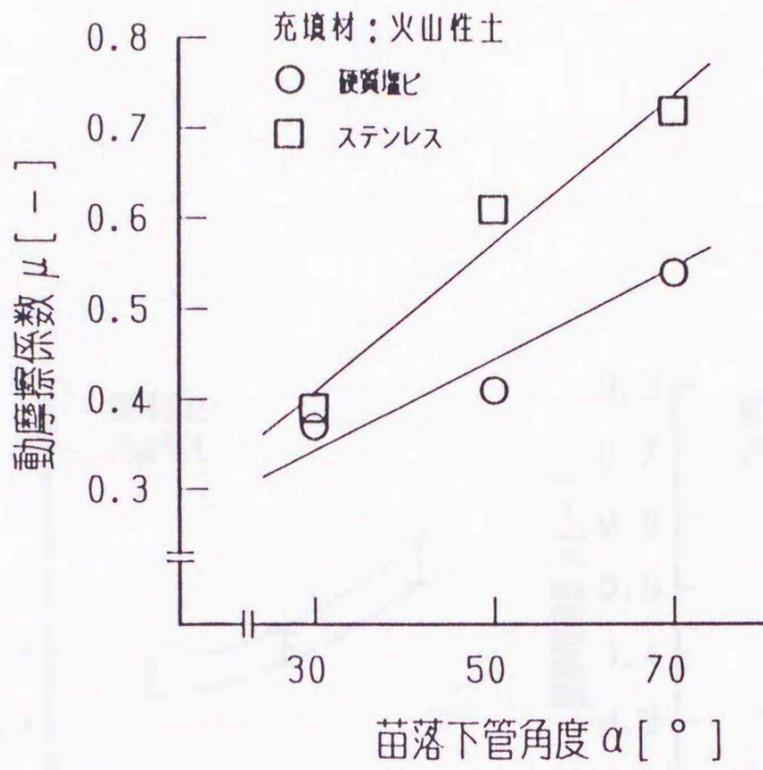


図 4 - 11 材質による動摩擦係数

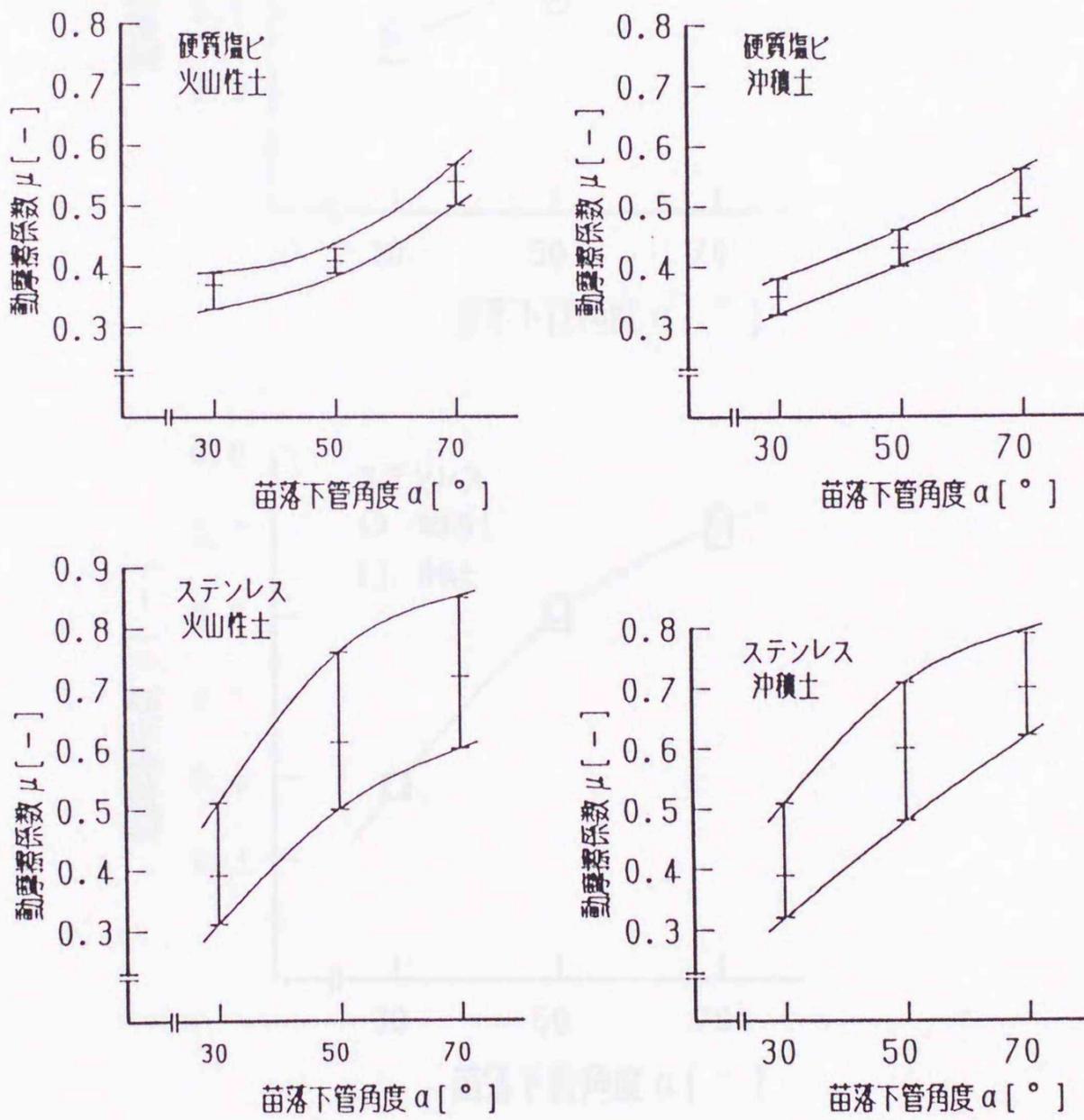


図 4 - 12 動摩擦係数の測定値範囲

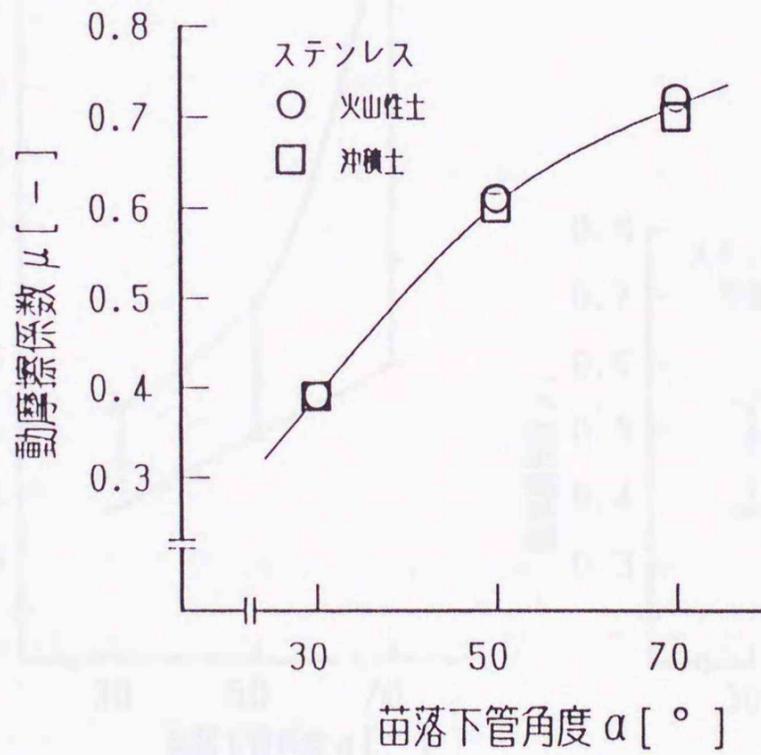
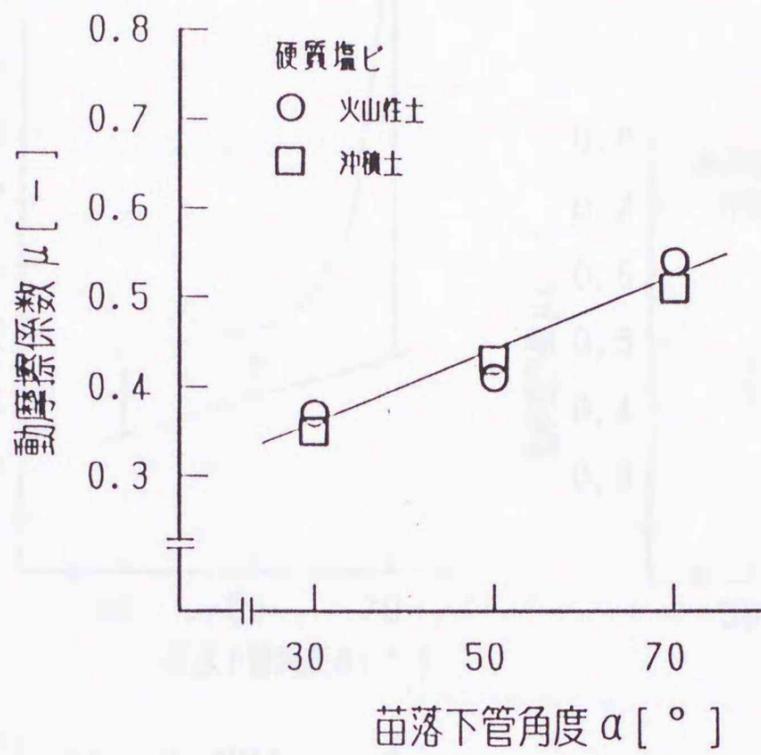


図 4 - 13 動摩擦係数の充填材の種類による影響

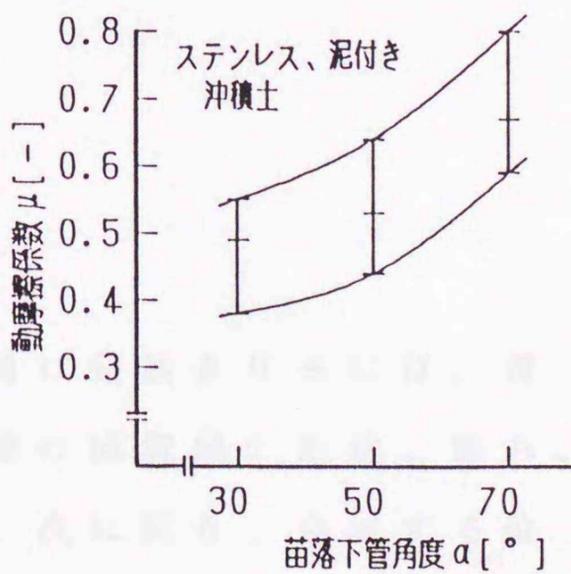
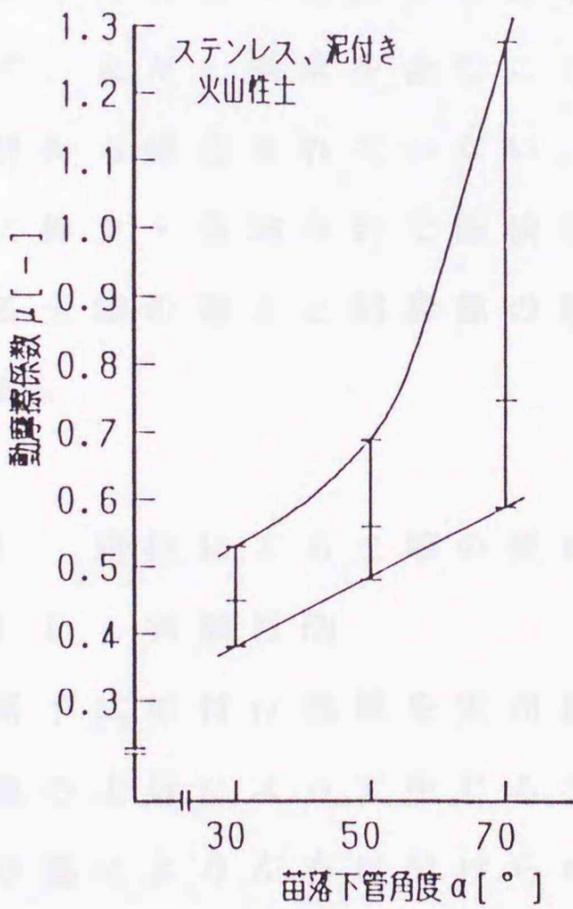
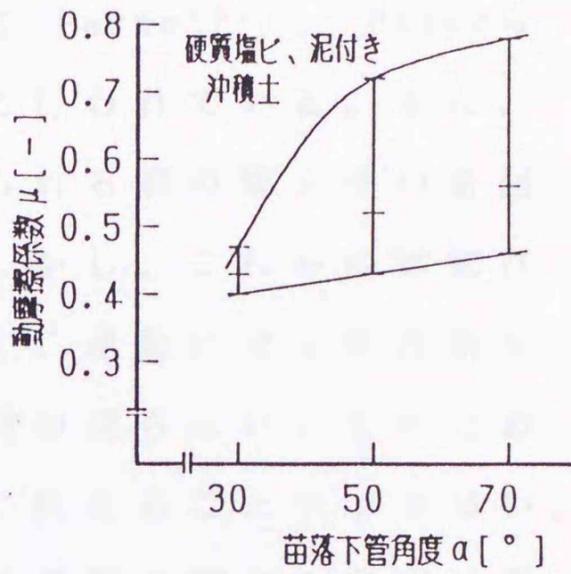
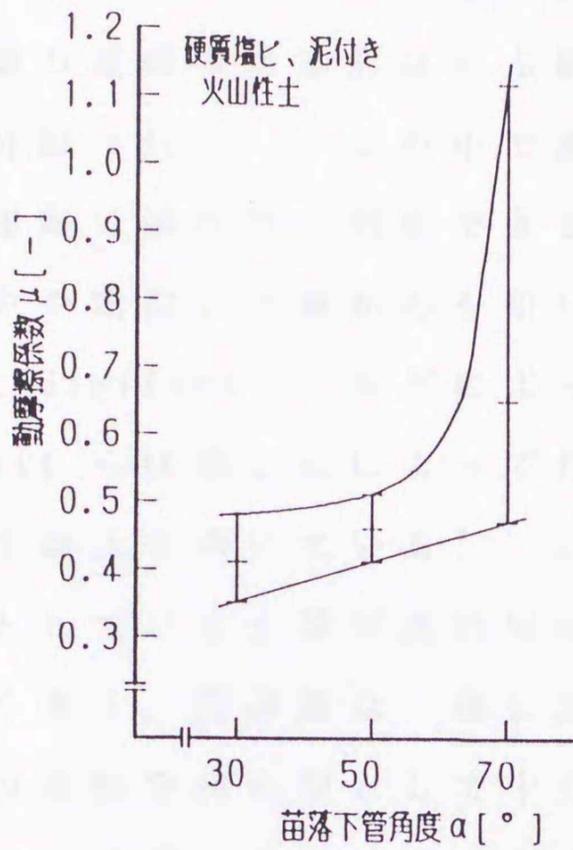


図 4 - 14 滑走面の土壌付着による動摩擦係数への影響

4.3 溝切り器による土壌の流れ

土壌の運動の基本形はせん断型、流れ型、裂断型の3つに分類され⁷⁵⁾、この中で溝切り器によって生じる土壌の運動は流れ型と判断できる。流れ型の研究は溝切り器とやや類似した歯かんを用いて Payne⁷⁶⁾、Payneら⁷⁷⁾、Stafford⁷⁸⁾などによって行われている。また、Willattらは歯かんによって作られる溝の幅とその断面積の予測式を導いている⁷⁹⁾。しかし、これらの研究は対象としている土壌が比較的硬く、運動にせん断作用も大きく働き、開溝部は一部しか埋め戻らない。そのため、土壌の運動を流れ型として十分に捉えることはできない。このように溝切り器による土壌の運動に関する研究は見当らず、また、崩落を含むこの種の土壌の流れに関する理論解析も確立されていない。そこで、本研究は移植床として碎土・整地された膨軟な土壌を対象に、溝切り器による土壌の動きと開溝部の形状について、実験的に検討する。

4.3.1 円柱による土壌の流れ

4.3.1.1 実験目的

苗落下式植付け機構を実用機構に発展させるには、溝切り器の走行によって生じる土壌の開溝部の形状、即ち、溝切り器により左右に分けられ、次に戻り、合流する位置を一定にする必要がある。そこで、溝切り器の基本形として形状の単純な半円柱を用いて、その後方に生じる

開溝部の形状が半円柱の大きさや作業速度、土壌の種類によってどのように変化するかを明らかにして、次項で行う「土壌の流れの制御」の基礎資料を得る。半円柱の後方にできる溝の形状の一例を写真4-2に示す。

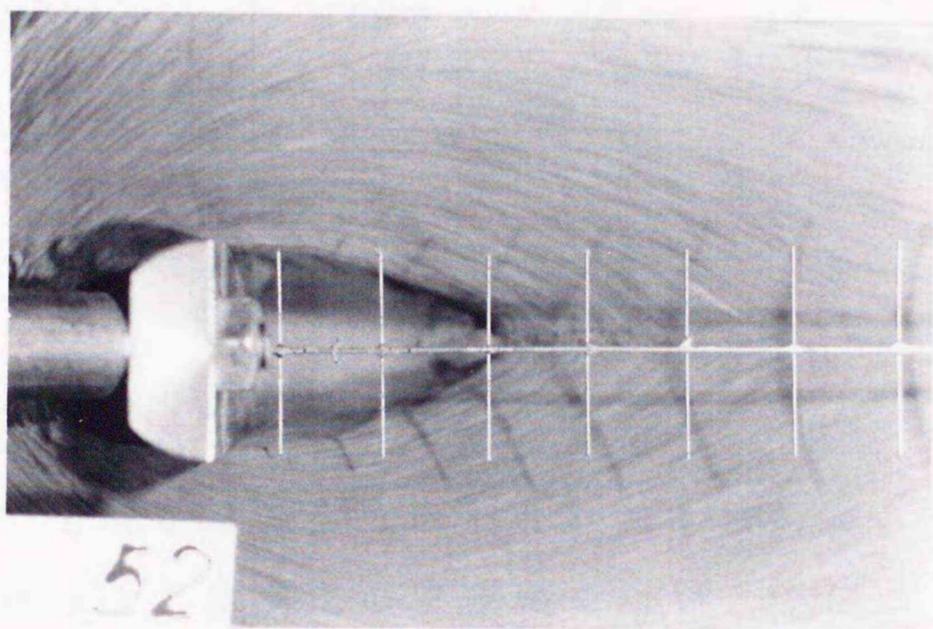


写真4-2 半円柱の後方にできる溝の形状の一例

4.3.1.2 装置及び方法

実験装置の概要を図4-15に示す。半円柱の溝切り器を固定し、土槽を移動させることにより、溝切り器が相対的に土壌中を移動している状態で実験を行った。土槽はけん引チェーンを引くことによりレール上を移動し、その移動速度はモータの回転数をインバータ（富士電機社製、型式FVR-G5S）により変えて調節した。速度は0.4~1.5 m/sの範囲で5段階に変えて行った。実験

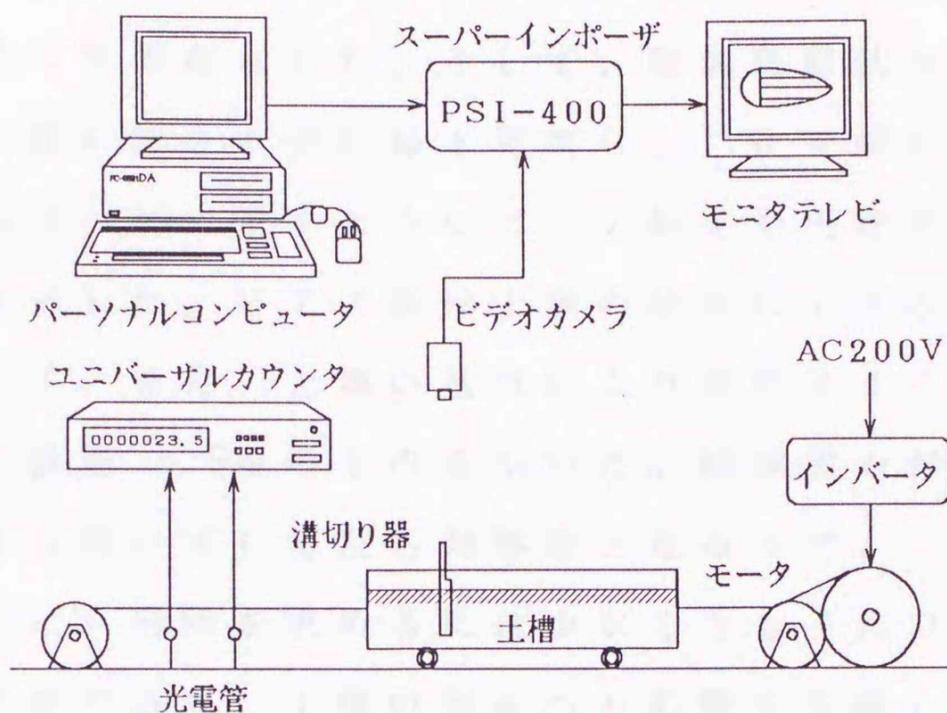


図 4 - 15 実験装置及び測定システム

時の速度は 1 m ごとに光電管を設置し、ユニバーサルカウンタで土槽が通過する時間を計測し求めた。供試土壌は火山性壤土と沖積土の 2 種類を用い、土塊の影響をなくするために 2 mm のふるいを通した。供試土壌の JIS による土性と土壌水分を表 4 - 2 に示す。土壌水分はそれぞれの土壌について、テンサイの移植作業時の圃場を想定して、極めて乾燥した条件、普通の条件、多湿の条件の 3 段階に変えた。

表 4 - 2 土壌水分

| 土壌の種類 | 土性 | 含水比〔%〕 | | |
|-------|---------|--------|------|------|
| | | 19.3 | 31.5 | 35.9 |
| 火山性壤土 | ローム | | | |
| 沖積土 | シルト質ローム | 11.9 | 16.9 | 20.4 |

溝切り器は図4-16に示すように、半径10, 15, 25mmの3種類の半円柱とした。そして、開溝部形状は基本的に溝切り器の深さと無関係と考察し、二次元的に調べるため、図4-16に示すようにピアノ線を半円柱平面部に垂直に固定した。ピアノ線は土壌の流れにできる限り影響を与えず、また、土壌の抵抗により変形しないように直径1.5mmのものを用いた。開溝部の形状は土槽の進行方向に対して左右対称形となるので、一方の形状を調べた。形状を求めるには少なくとも3点以上の測定点が必要であり、土壌の流れへの影響を考慮してピアノ線の取付け間隔が広くなるように、1本は図のように

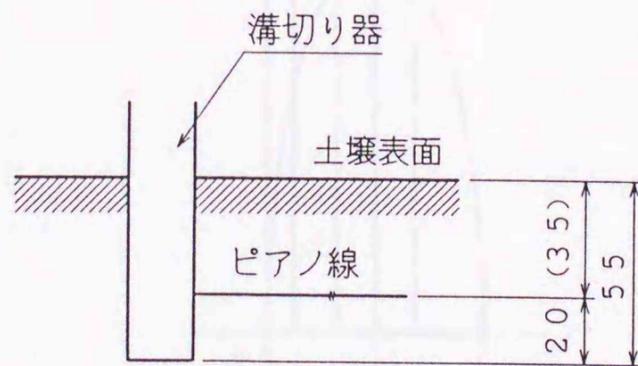
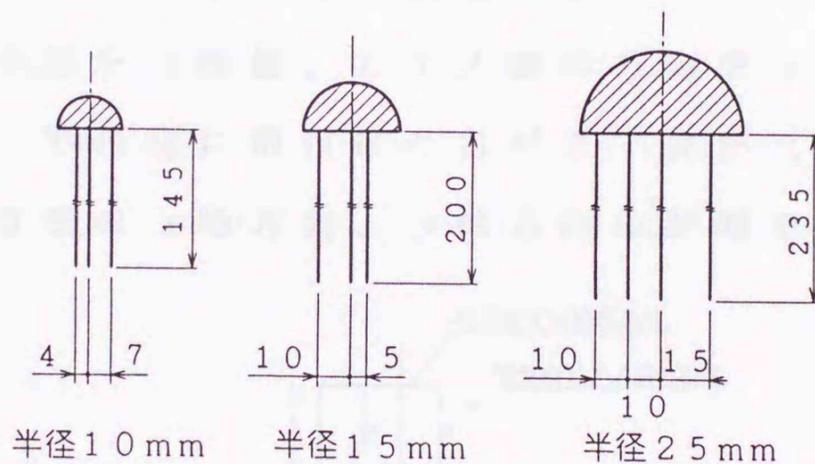


図4-16 実験に使用した溝切り器

溝中心線の対称位置に取付けた。溝切り器の貫入深は溝底がよく観察でき、かつ、測定面が確実に現れる55mmとした。また、測定面を溝底から20mmとした理由は半円柱の大きさや移動速度により、測定面をこれより浅くした場合、ピアノ線が土壌によって被覆されない例が生じたことによる。

開溝部の形状の調査は半円柱の溝切り器真上のビデオカメラにより行った。カメラの取付け位置はピアノ線から2.3mの高さとした。映像はパーソナルコンピュータの画像とスーパーインポザ（アイ・シー社製、型式PSI-400）により合成し解析した。開溝部の形状は、図4-17に示すように半円柱の側端部を原点とし、半円柱後端部の水平面を x 座標、ピアノ線方向を y 座標とした。そして、半円柱に取付けた各ピアノ線が土壌によって覆われた位置の x 軸方向、 y 軸方向の距離を測定した。

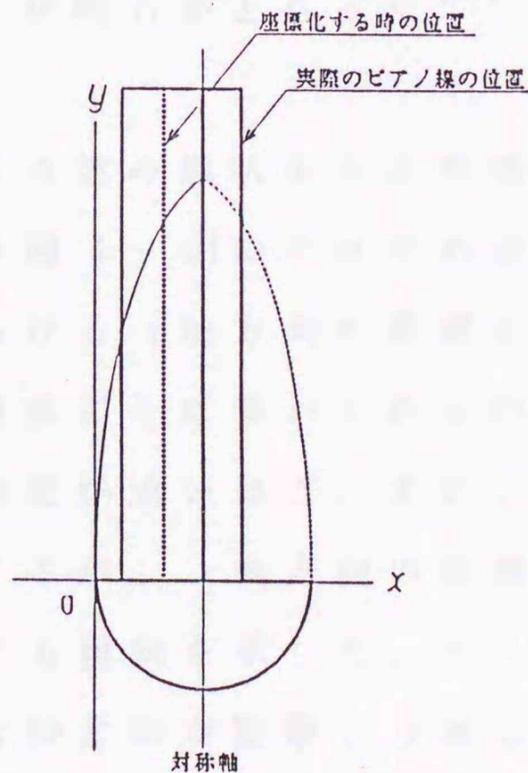


図4-17 測定値の座標化

4.3.1.3 結果及び考察

1) 開溝部の長さ

半円柱に取付けたピアノ線が土壤に覆われる y 軸方向の距離を開溝部の長さとした。火山性壤土における移動速度と開溝部の長さの関係を図4-18に示す。開溝部の長さは各半円柱とも移動速度の増加に比例して長くなり、移動速度 0.4 m/s 及び 1.5 m/s のとき、半径 10 mm の半円柱による開溝部の長さはそれぞれ 24 mm 、 72 mm 、半径 15 mm の場合は 32 mm 、 112 mm 、半径 25 mm の場合は 49 mm 、 193 mm であった。また、半径が大きいほどその割合も増加した。沖積土の場合も図4-19に示すように火山性壤土と同様の結果が得られた。しかし、その増加割合は小さく、各半円柱とも速度 1.0 m/s 以下で開溝部の長さは火山性壤土よりも長く、それ以上の速度で逆に短いことが判った。

また、土壤水分による開溝部の長さへの影響は両土壤とも極めて小さいことが明らかとなった⁷⁹⁾。

2) 開溝部の形状

半円柱の後方にできる溝の形状を火山性壤土と沖積土について図4-20及び図4-21にそれぞれ示す。これらの図は各ピアノ線における x 軸方向の距離と y 軸方向の距離との関係を移動速度ごとに表わしたものである。 y 軸方向の距離は移動速度が速いほど、また、半円柱の半径が大きいほど増大するが、 x 軸方向の距離が大きくなるほど増加率は遞減する傾向を示した。そこで、各半円柱、各速度に対する x 軸方向の距離と y 軸方向の距離の

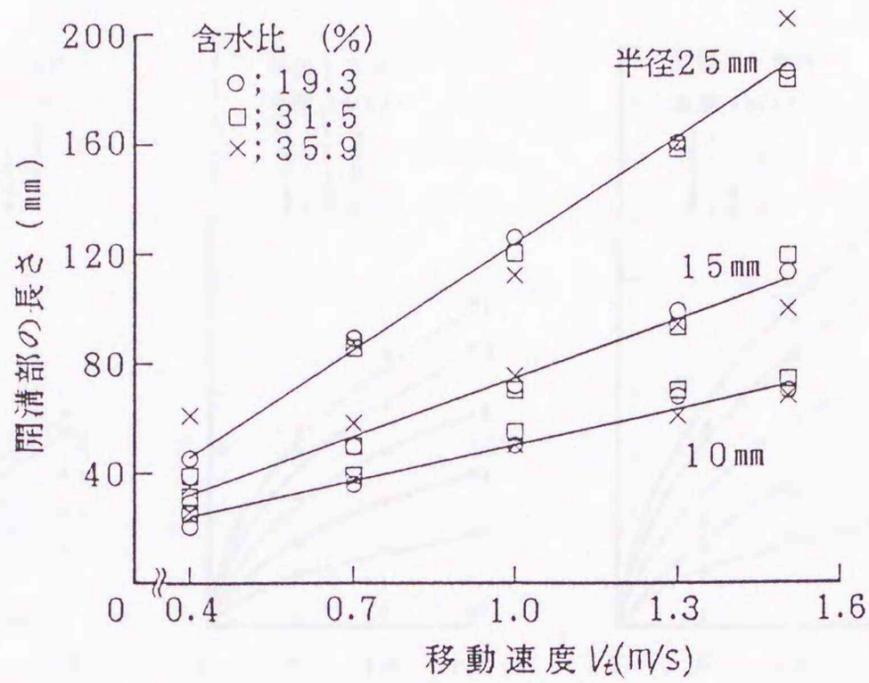


図 4 - 18 移動速度と開溝部長さ (火山性壤土)

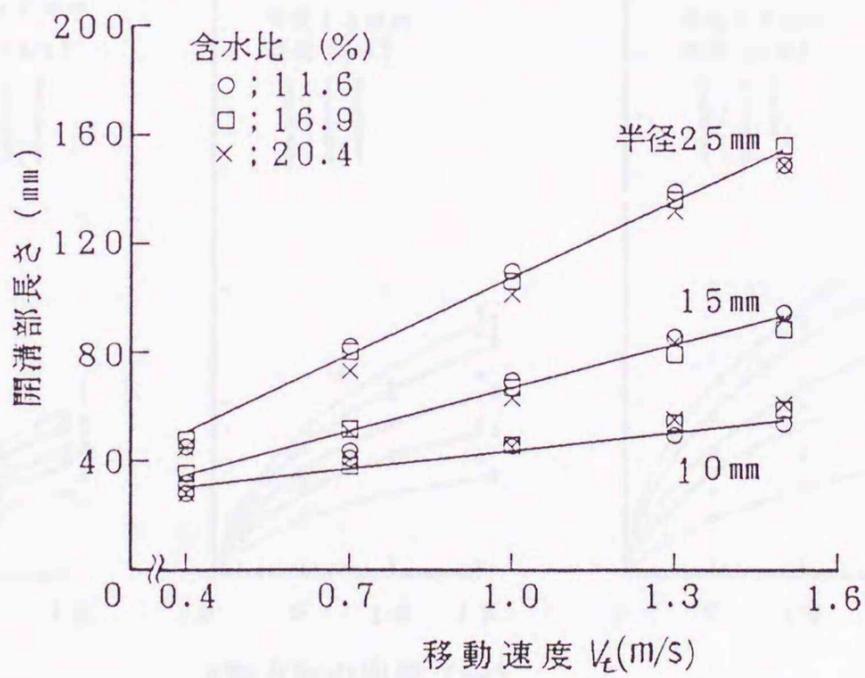


図 4 - 19 移動速度と開溝部長さ (沖積土)

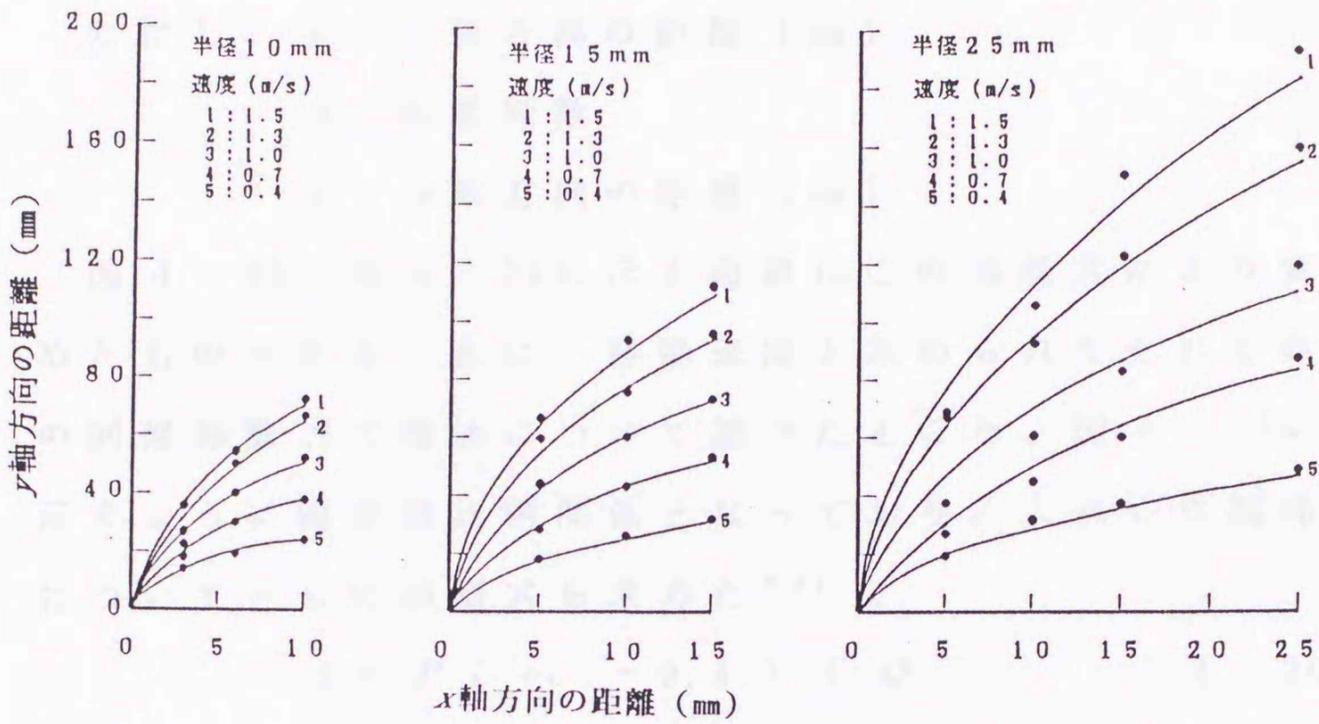


図 4 - 20 x 軸方向の距離と y 軸方向の距離 (火山性壤土)

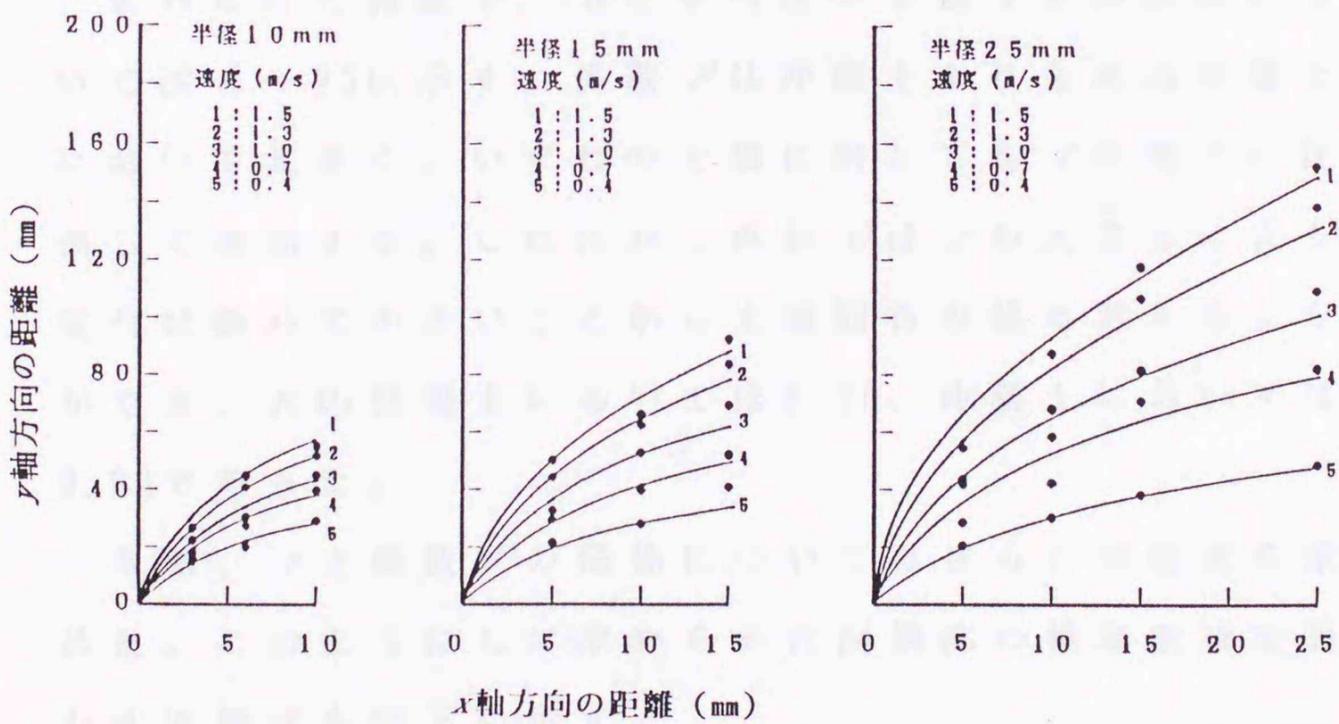


図 4 - 21 x 軸方向の距離と y 軸方向の距離 (沖積土)

関係を求めたところ次式が得られた。

$$y = Ax^{0.5} \quad (4-25)$$

ただし、 y : y 軸方向の距離 [mm]

A : 回帰係数

x : x 軸方向の距離 [mm]

図 4-20、図 4-21 に示す曲線はこの回帰式により求めたものである。次に、移動速度と求められたそれぞれの回帰係数 A の関係について調べたところ、図 4-22 に示すように両者は比例関係となっており、これらの関係についてさらに回帰式を求めた⁸⁰⁾。

$$A = P(v_i - 0.4) + Q \quad (4-26)$$

ただし、 A : (4-25) 式における回帰係数

v_i : 移動速度 [m/s]

P, Q : 回帰係数

求められた係数 P, Q と半円柱の半径 r との関係について図 4-23 に示す。係数 P は沖積土よりも火山性壤土において大きく、いずれの土壌に対しても r の増大に比例して増加する。これに対し係数 Q は r の大きさによる変化は極めて小さいことから土壌固有の値と考えることができ、火山性壤土においては 8.26、沖積土においては 9.83 であった。

なお、 r と係数 P の関係についてはさらに回帰式を求めた。このようにして求められた開溝部の輪郭曲線を表わす実験式を以下に示す。

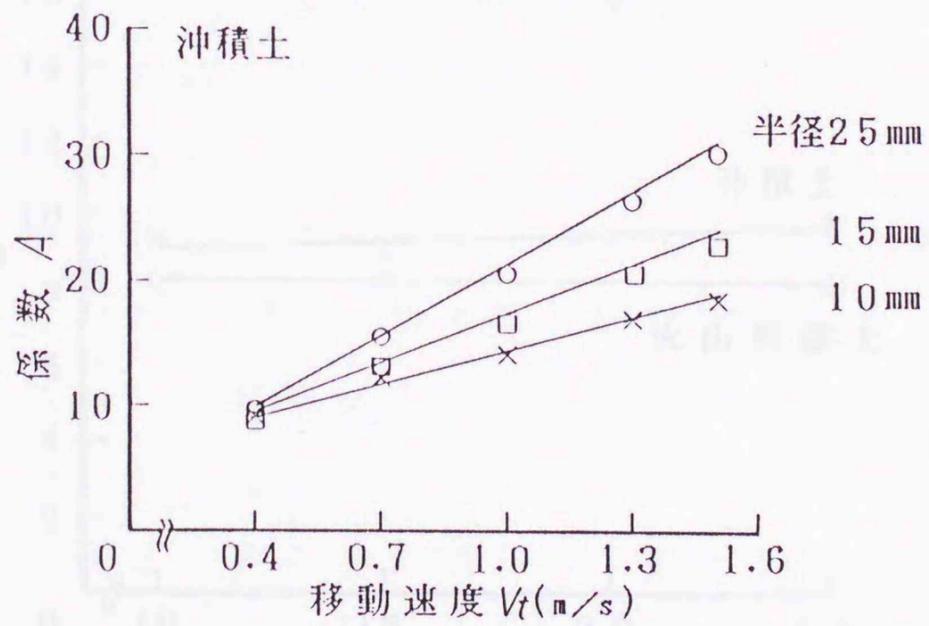
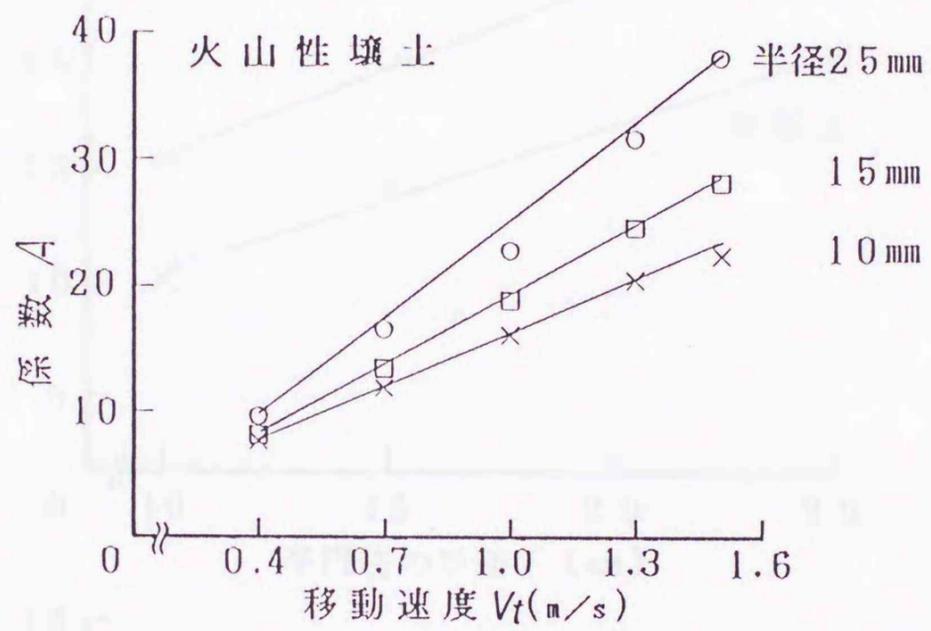


図 4 - 22 移動速度と係数 A

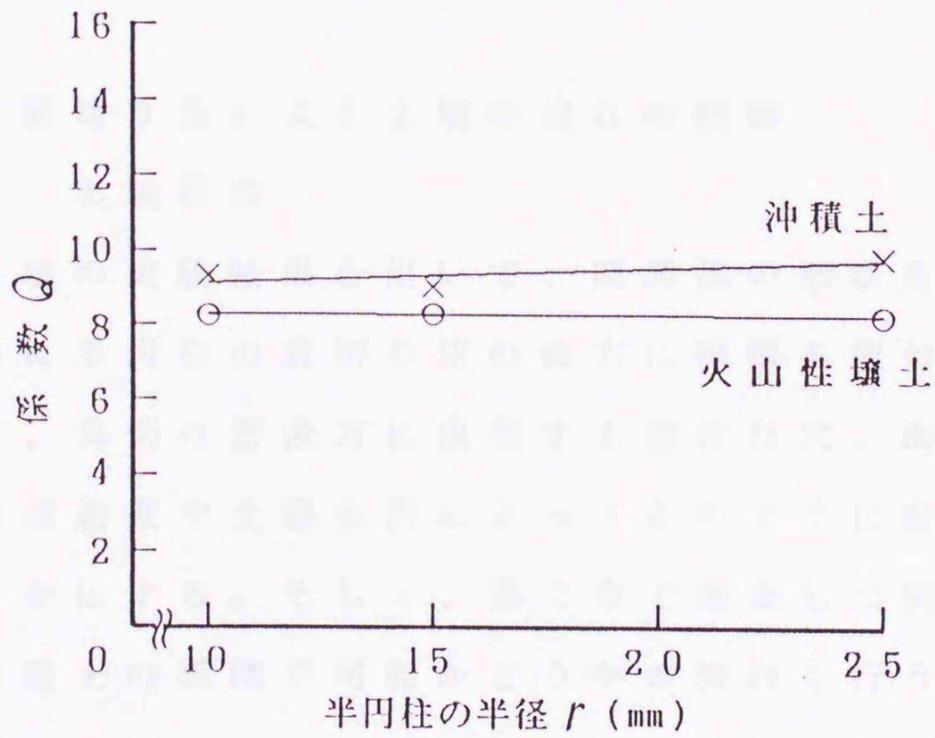
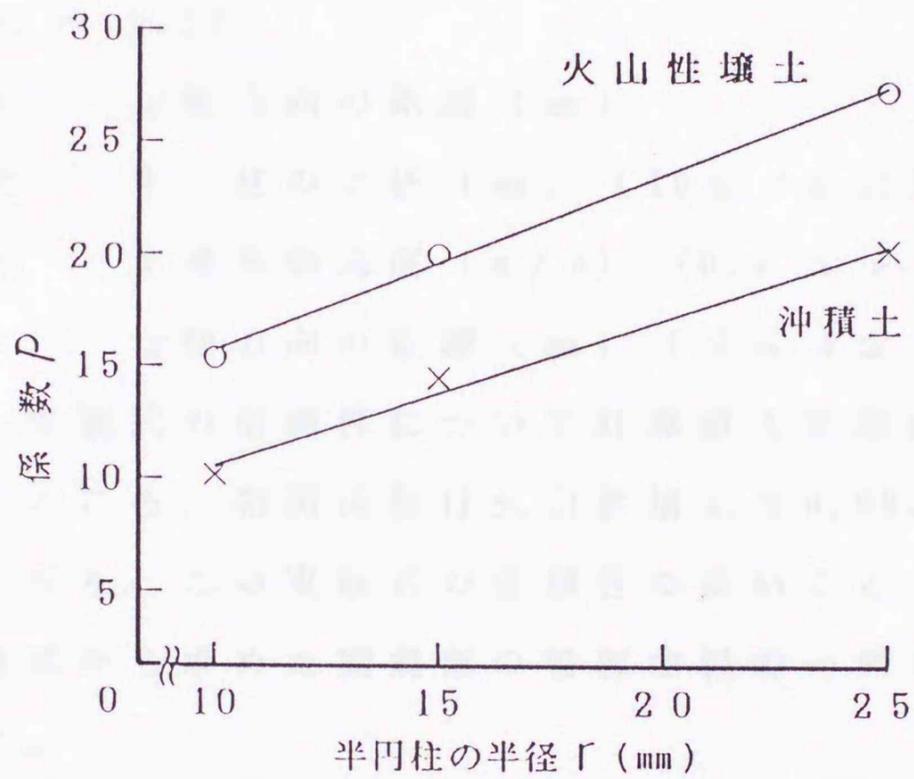


図 4 - 23 半径と係数 P , Q

火山性壤土

$$y = \{ (0.78 r + 6.18) (v_1 - 0.4) + 8.26 \} x^{0.5}$$
$$r_c = 0.98 \quad (4-27)$$

沖積土

$$y = \{ (0.65 r + 2.33) (v_1 - 0.4) + 9.83 \} x^{0.5}$$
$$r_c = 0.99 \quad (4-28)$$

ただし y : y 軸方向の距離 [mm]

r : 半円柱の半径 [mm] ($10 \leq r \leq 25$)

v_1 : 土槽移動速度 [m/s] ($0.4 \leq v_1 \leq 1.5$)

x : x 軸方向の距離 [mm] ($0 \leq x \leq r$)

なお、実験式の信頼性について計算値と実測値の相関を調べたところ、相関係数は火山性壤土で0.98、沖積土で0.99となり、この実験式の信頼性の高いことが示された。実験式から求めた開溝部の輪郭曲線の一例を図4-24に示す。

4.3.2 溝切り器による土壌の流れの制御

4.3.2.1 実験目的

4.3.1 項の実験結果を用いて、開溝部の形状を定常化するために半円柱の溝切り器の後方に側壁を取付け、これにより、溝切り器後方に出現する植付け穴、即ち、開溝部が作業速度や土壌条件によってどのように変化するかを明らかにする。そして、第2章で提案した開溝部の制御が実用上の範囲で可能かどうかの検討を行う。

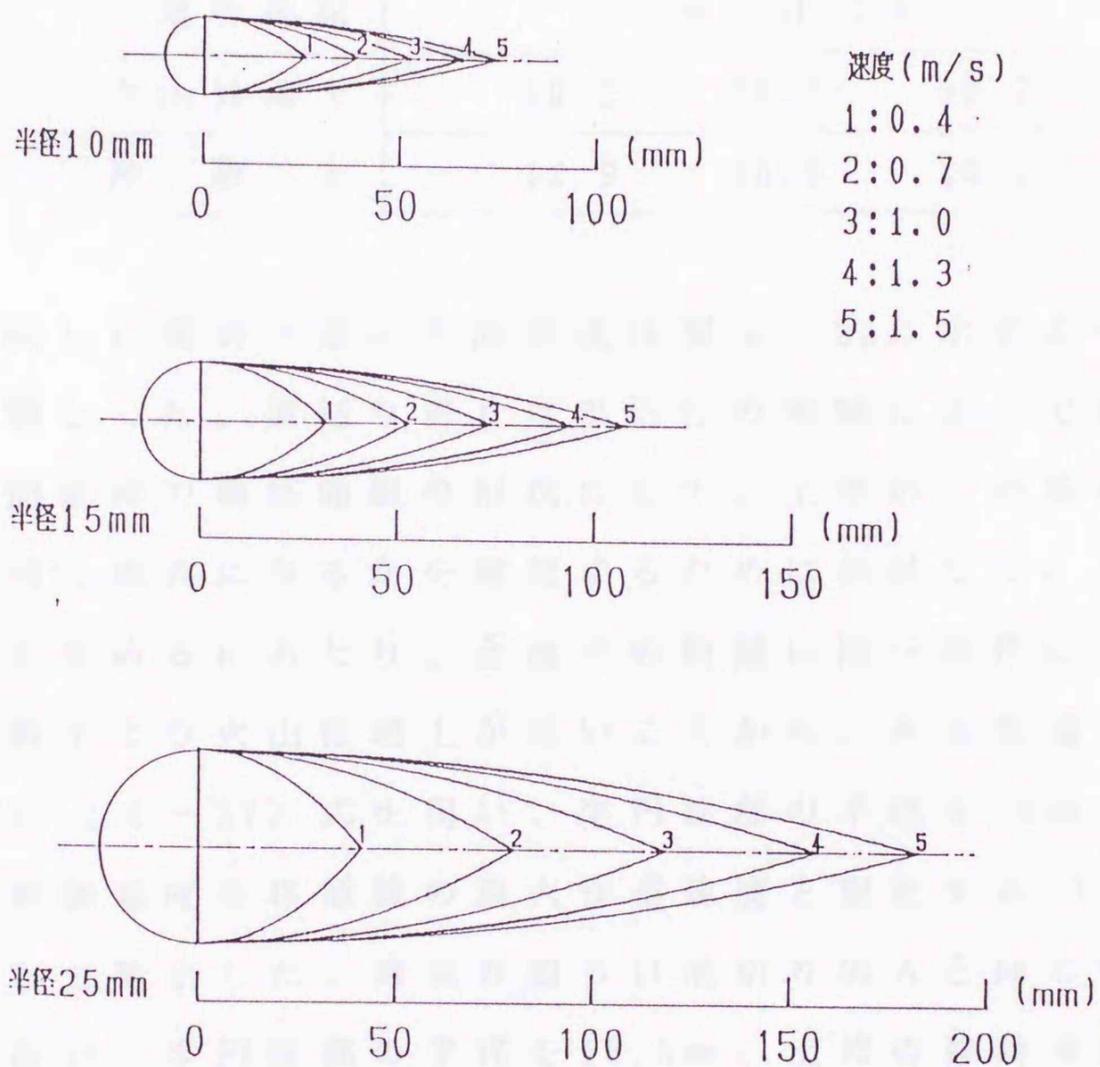


図 4 - 24 開溝部の輪郭曲線 (火山性壤土)

4.3.2.2 装置及び方法

実験装置は 4.3.1項と同じものを用いた。土槽の移動速度も 4.3.1項と同じ 0.4 ~ 1.5 m/s の範囲で 5 段階に変えた。また、供試土壌も同様に火山性壤土と沖積土の

2種類を用い、4.3.1項の実験結果と比較するため、土壌水分もほぼ同じとなるように調整して用いた。供試土壌の水分を表4-3に示す。

表 4 - 3 土 壌 水 分

| 土 壌 の 種 類 | 含 水 比〔%〕 | | |
|-----------|-----------|------|------|
| | 火 山 性 壤 土 | 19.2 | 29.1 |
| 沖 積 土 | 12.9 | 15.6 | 20.0 |

供試した溝切り器の平面形状は図4-25に示すように3種類とした。溝切り器Aは半円柱の実験によって得られた開溝部の輪郭曲線の形状にして、土壌がこの輪郭曲線と同じ流れになるかを確認するために供試した。この形状を求めるにあたり、合流点の距離は同一条件において沖積土より火山性壤土が長いことから、火山性壤土の実験式(4-27)式を用い、半円柱部の半径を10mm、土槽の移動速度を移植機の最大作業速度と想定する1.3m/sとして算出した。溝切り器Bは溝切り器Aと同じ実験式を用い、半円柱部の半径を16.5mm、土槽の移動速度を溝切り器Aと同じとして輪郭曲線を描き、チェーンポット(直径19mmの円に内接する六角形状)の植付け穴を確保するために、溝切り器の幅がおよそ19mmとなる位置で切断した。次に、溝切り器の側面形状は溝切り器Bの曲面より平面が製作上、有利と考えられる。このことから、その平面形状を曲線と直線とした場合の土壌の流れの違

いをみるために、直線とした溝切り器 C を供試した。
溝切り器の幅はチェーンポットが投入できる 20mm とした。
溝切り器 B と C の長さは溝切り器 A と同じ 65.5mm とした。
溝切り器の高さはすべて半円柱の場合と同じ 55mm とした。
なお、開溝部の長さの調査は 4.3.1 項と同様に溝切り器
真上のビデオカメラによって行った。

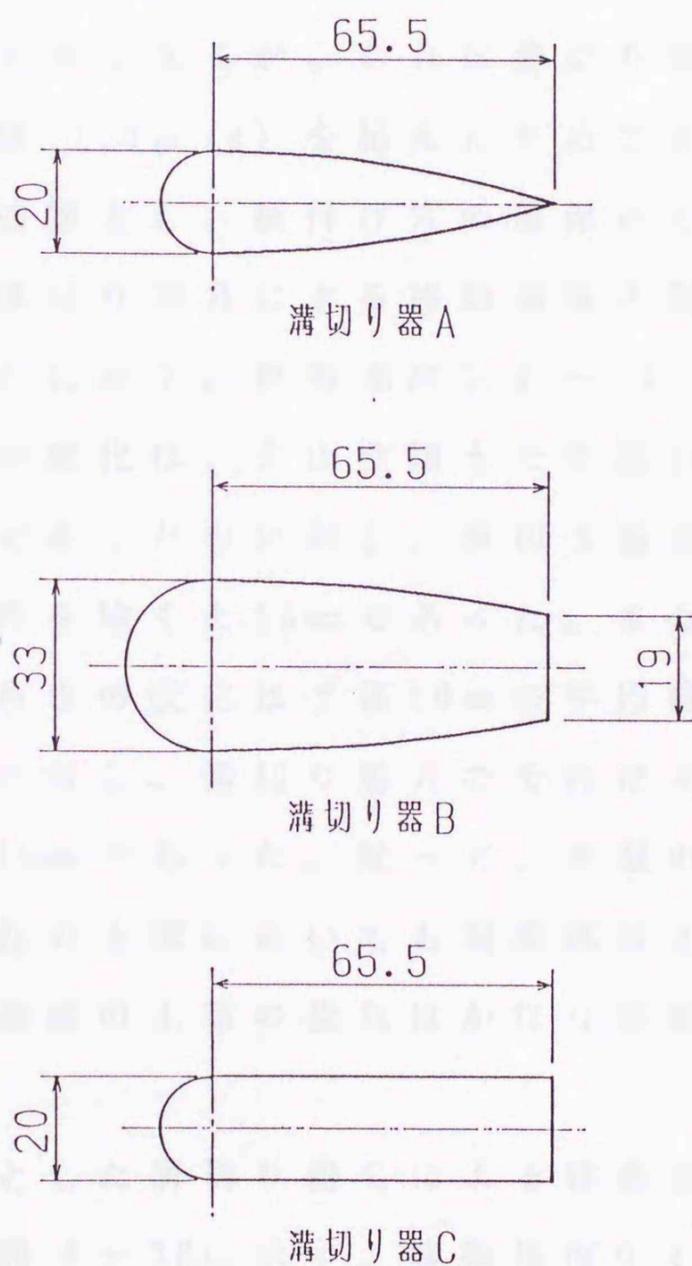


図 4 - 25 実験に使用した溝切り器

4.3.2.3 結果及び考察

形状を輪郭曲線とした溝切り器 A による移動速度と開溝部長さの関係を図 4-26 に示す。移動速度 0.4 ~ 1.3 m/s における開溝部長さの変化は水分 36.3% の火山性壤土と水分 20.0% の沖積土を除き、他のいずれの土壤及び土壤水分において極めて小さく、溝切り器の形状、即ち、輪郭曲線に沿って土壤がほぼ流れることを確認した。なお、本実験全体を通し、移動速度 1.5 m/s のとき、開溝部長さはやや大きくなるが、これは溝切り器の設定条件（最大移動速度 1.3 m/s）を超えたためである。

形状を輪郭曲線とし、植付け穴の確保のため、その後部を切断した溝切り器 B による移動速度と開溝部長さの関係を図 4-27 に示す。移動速度 0.4 ~ 1.3 m/s のときの開溝部長さの変化は、火山性壤土で半径 10 mm の半円柱の場合が 46 mm であったのに対し、溝切り器 B のそれは水分 36.3% の条件を除くと 15 mm であった。また、沖積土における開溝部長さの変化は半径 10 mm の半円柱の場合が 23 mm であったのに対し、溝切り器 B のそれは水分 20.0% の条件を除くと 10 mm であった。従って、多湿の土壤条件を除くと、いずれの土壤においても開溝部長さの変化は小さくなり、開溝部の土壤の流れはかなり制御できたものと判断した。

形状を直線とした溝切り器 C による移動速度と開溝部長さの関係を図 4-28 に示す。移動速度 0.4 ~ 1.3 m/s のときの開溝部長さの変化は多湿の土壤条件を除くと、

火山性壤土で14mm、沖積土で13mmであり、溝切り器Bと比べて大差なく、直線形状の溝切り器でも輪郭曲線とした溝切り器と同程度に流れを制御できることが判った。

本実験では、土壤水分の相違による開溝部長さへの影響がややみられ、半円柱の実験と異なる結果となった。これは溝切り器に側壁を設けたことにより、左右に分けられた土壤が側壁に押さえられ、その部分の土壤が圧密され、流れの運動が弱くなり、崩落が戻り土の大部分を占めるためと推測された。また、水分が多くなると土壤の粘性が増し、ますますその傾向を強めたものと推測された。しかし、影響が比較的大きかった多湿条件の土壤は火山性壤土と沖積土のいずれもテンサイの移植時の実態からみると、作業の限界か、あるいはそれをやや超える物理性であり、砕土・整地、畦立て・施肥、移植の各作業に精度の低下をもたらす。また、移植後の苗の活着にも悪影響が出ることは知られている。このことから、この条件で作業が行われることは一般に少ないと考えられる。従って、土壤の流れは実用上制御できたと判断した。

なお、本実験で得られた制御範囲が本植付け機構上の許容範囲以内かどうかは、最終目的である苗の植付けへの影響をみなければ判定できない。

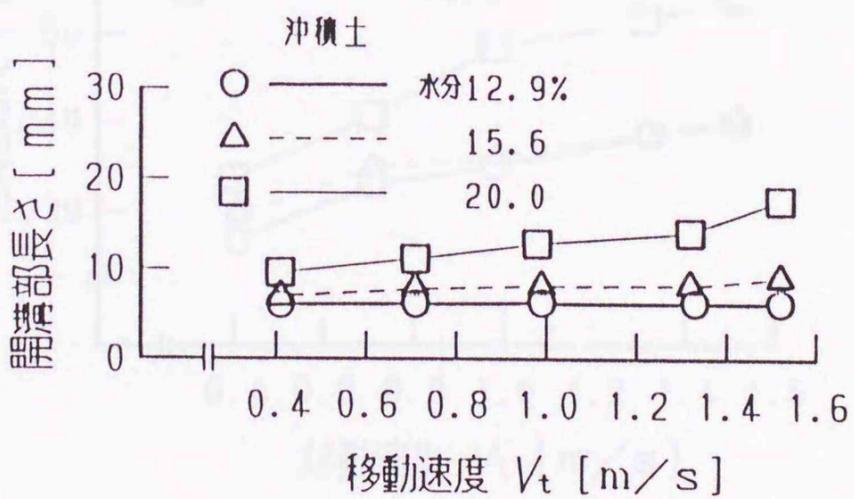
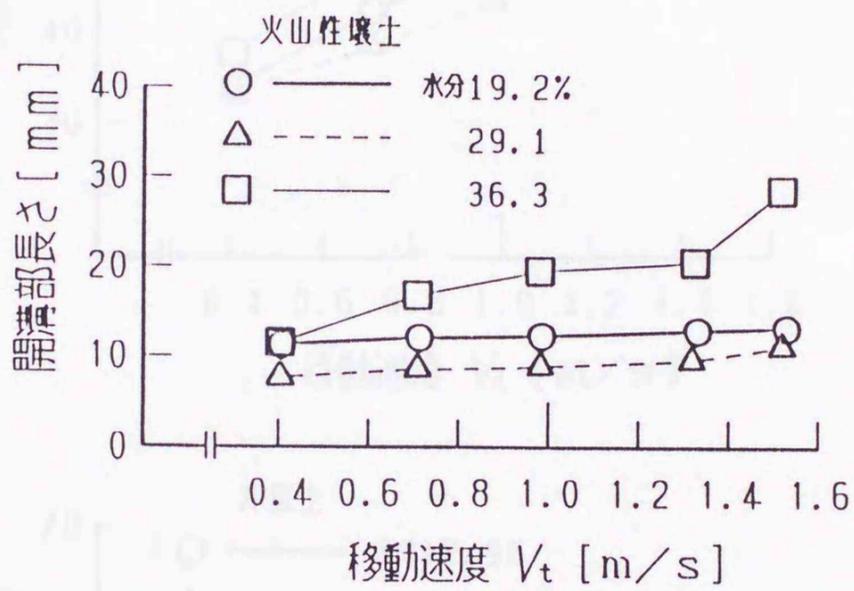


図 4 - 26 開溝部の長さ と 移動速度 (溝切り器 A)

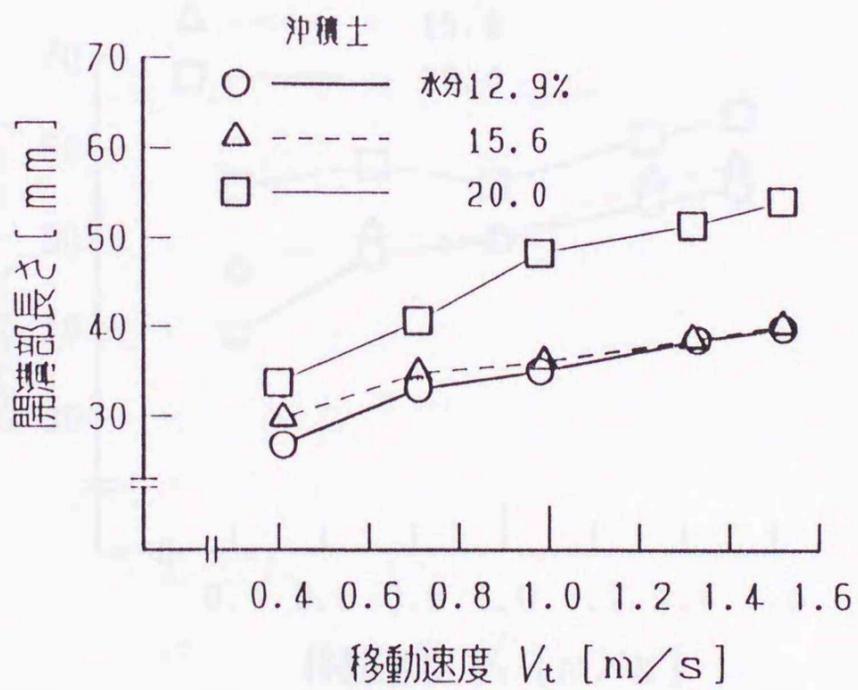
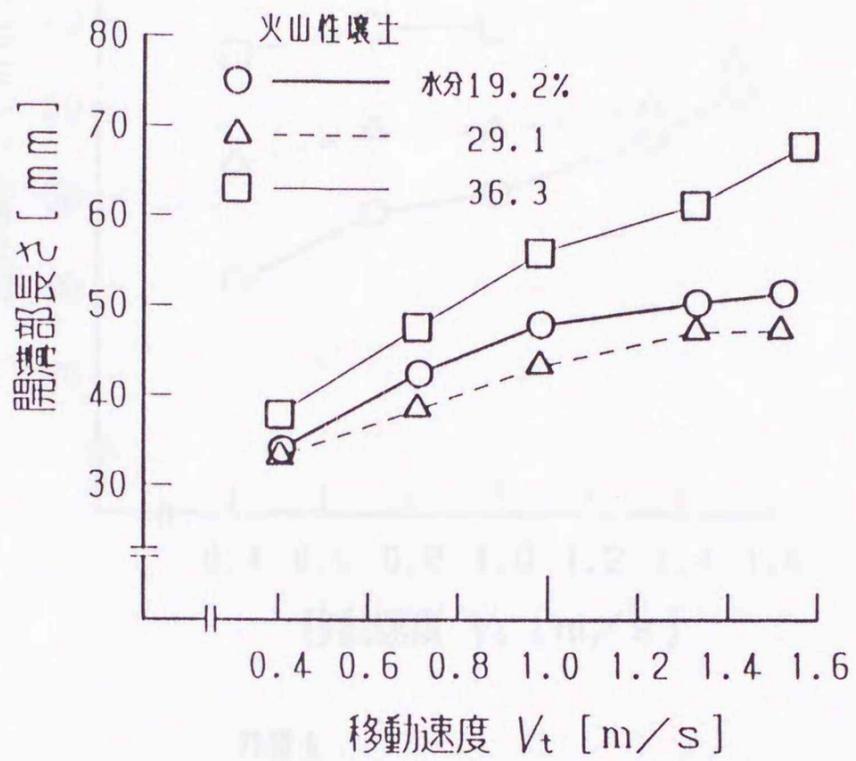


図 4 - 27 開溝部の長さ と 移動速度 (溝切り器 B)

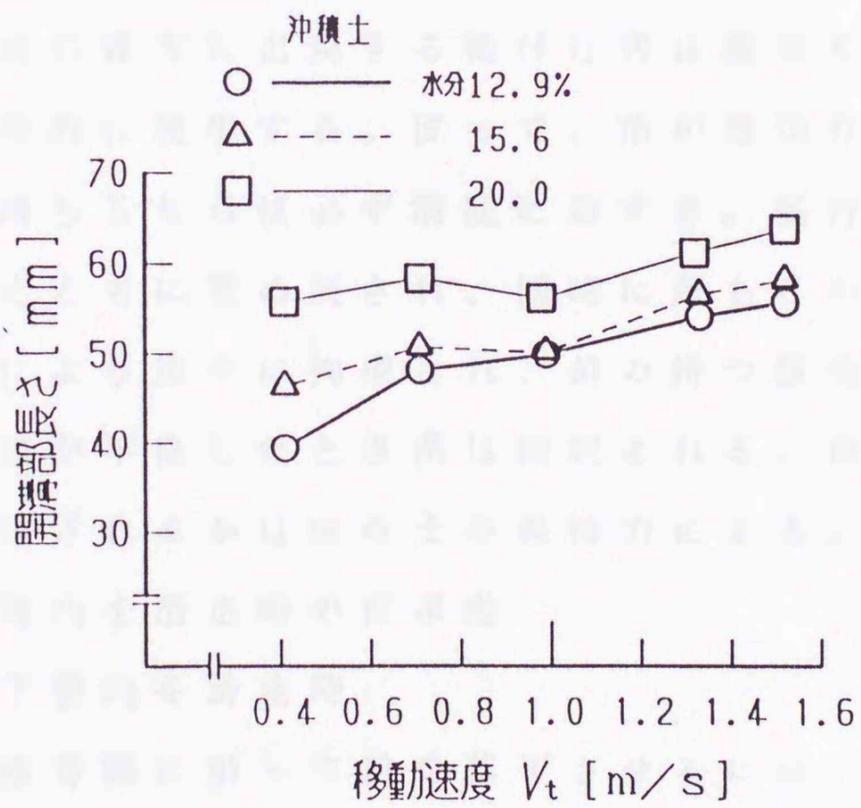
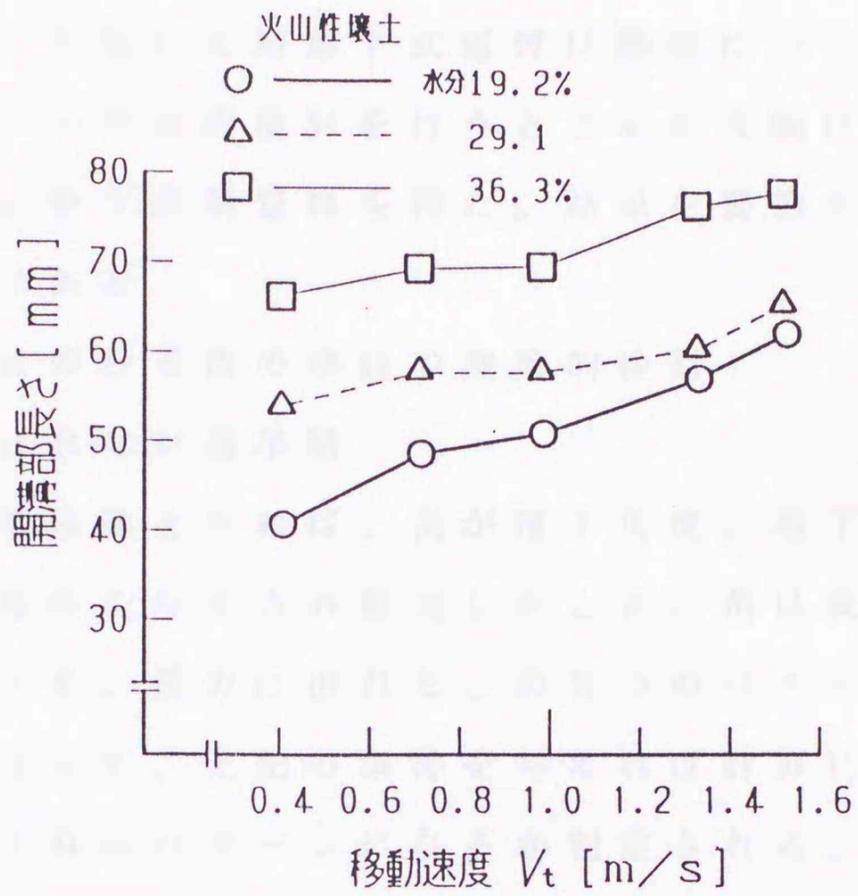


図 4 - 28 開溝部の長さ と 移動速度 (溝切り器 C)

4.4 本章のまとめ

第2章で提案した苗落下式植付け機構について、そのメカニズムの理論的検討を行うとともに実験により実用機適用に必要な基礎資料を得た。結果を要約すると以下のとおりである。

1) 植付けにおける苗の挙動の理論的検討

(1) 拘束されない苗挙動

苗を非弾性体とみれば、苗が落下角度、落下速度、走行速度の条件を与えられ接地したとき、苗は後方に倒れる、直立する、前方に倒れる、の3つのパターンに分類される。従って、上記の条件を与えれば計算により苗の挙動がいずれのパターンになるか判定される。

(2) 拘束される苗挙動

溝切り器の後方に出現する植付け穴は溝切り器の進行に伴い定常的に発生する。従って、苗が溝切り器の背面に沿って落ちるならば必ず溝底に達する。植付け穴は時間の経過とともに埋め戻され、同時に苗もこの埋め戻される土壌により徐々に拘束され、苗の持つ慣性力と戻り土の保持力が平衡したとき苗は固定される。苗が何時の時点で固定されるかは戻り土の保持力による。

2) 苗落下管内を滑走時の苗挙動

(1) 苗落下管内を滑走時

溝切り器背面に沿って苗を落下させるには、苗落下管から放出されるときの速度と角度を決定すればよい。このうち速度については苗落下管と苗との動摩擦係数を知

ることにより所要速度を得るための高さが決まる。そこで、動摩擦係数を求める関係式を導き、実験により、本植付け機構に適用できる実用的な動摩擦係数を求めた。

(2) 苗落下管末端から放出時

苗落下管から放出された苗は放物落下運動となる。従って、溝切り器背面に沿って、苗を落下させるに必要な苗の放出角度、放出速度、着地角度を算出する式を求めた。

3) 溝切り器による土壌の流れとその制御

(1) 本植付け機構を実用機構に発展させるには、溝切り器の走行によって生じる土壌の開溝部の形状、即ち、溝切り器により左右に分けられ、崩落により戻り、合流するまでにできる溝の形状を一定にする必要がある。そこで、まず、溝切り器として半円柱を用いて、その後方に生じる開溝部の形状が半円柱の大きさや作業速度、土壌の種類によってどのように変化するかを実験により調べ、下記の知見を得た。

a. 開溝部の長さは移動速度の増加に比例して長くなり、その増加割合は土質により異なる。

b. 同一土壌において、土壌水分による開溝部長さへの影響は極めて小さい。

c. 開溝部の輪郭曲線を求める式が、火山性壤土と沖積土のそれぞれについて得られた。

(2) 開溝部の土壌の流れを制御する目的で、(1)の知見をもとに平面形状を輪郭曲線とした溝切り器 A、輪郭曲

線とし、植付け穴を確保するため、後部を切断した溝切り器 B、側部を直線とした溝切り器 C の 3 種類の溝切り器を用いた実験の結果、下記の知見を得た。

a. 溝切り器 A では溝切り器の形状、即ち、土壤が輪郭曲線に沿って流れることを確認した。

b. 溝切り器 B 及び C では半円柱の溝切り器の場合と比べると開溝部長さの変化はかなり小さくなり、所期の目的どおり土壤の流れを制御し、開溝部を定常化することができた。

c. 直線形状の溝切り器 C でも開溝部長さの変化は輪郭曲線形状の溝切り器 B のそれと大差なく、溝切り器 B と同程度に制御できることが判った。

第5章 植付け理論の実用化の検討

第2章で提案した苗落下式植付け機構の考え方に基づき、第4章でその理論的検討と基礎実験を行い、実用機への適用に必要な数値を求めた。

本章はこれらの結果をもとに植付け装置を試作し、苗が植付けられる条件とその精度について実験により検討する。

5.1 植付け実験

5.1.1 実験目的

第4章の実験により、本植付け機構の実用化に必要な溝切り器による開溝部の定常化と苗の着地角度及び位置の制御が可能となった。次に、溝底に達した苗が何時の時点で土中に固定されるかは、戻り土の保持力と溝切り器の背面に拘束されながら着地点を中心として回転運動する苗の慣性力との相対的な関係によって決定される。

そこで、本実験は第4章の結果に基づく植付け装置を試作し、溝切り器の背面角度と作業速度及び土壌の種類によって、植付けられる苗の姿勢（植付け角度）がどのように変化するかを調査し、実用機設計上の資料を得ることを目的とする。

5.1.2 装置及び方法

実験装置の土槽は4.3節と同じものを用いた。土槽の

移動速度は 0.4～1.2 m/s の範囲で 5 段階に変えた。また、供試土壌も 4.3 節と同じ火山性壤土と沖積土の 2 種類を用い、土壌水分もほぼ同じとなるように 3 段階（少・中・多）に調整して用いた。供試土壌の水分を表 5-1 に示す。チェーンポットに充填する土壌は火山性土と沖積土の 2 種類とし、水分の調整は農家の慣行に準じ、供試前日に十分に灌水した。供試苗の水分と質量を表 5-2 に示す。

表 5-1 供試土壌の水分

| 土壌の種類 | 含水比〔%〕 |
|-------|-------------------------------------|
| 火山性壤土 | 少：21.2～21.6 中：29.2～29.7 多：36.6～36.9 |
| 沖積土 | 少：11.4 中：15.5～16.0 多：20.3～21.2 |

表 5-2 供試苗の水分と質量

| 土壌の種類 | 含水比〔%〕 | 質量〔g〕 |
|-------|-----------|--------------------|
| 火山性土 | 57.5～61.3 | 25.3～29.5（平均 27.7） |
| 沖積土 | 26.3～27.6 | 35.6～36.2（平均 35.9） |

供試した溝切り器の平面形状は先端を半円とし、その後方は第 4 章の結果から直線とした。また、その幅はチェーンポット（直径 19 mm の円に内接する六角形状）の植付け穴を確保するため 20 mm とした。溝切り器底部の長さは土槽の移動速度を 1.3 m/s としたときの長さ、即ち、4.3 節の溝切り器 C と同じ 65.5 mm とした。溝切り器の背

面角度は 60° 、 65° 、 70° の 3 種類として、直線部分の高さをチェーンポットの長さ (130mm) とした。そして、その上部に曲率半径 100mm の曲線部を設けて溝切り器の全高を 150mm とした。

苗落下管は 4.2 節の結果から、動摩擦係数が小さく、安定した放出角度が得られる硬質塩化ビニール管 (VP75, 内径 76mm) を用いた。また、苗の放出角度、即ち、苗落下管の角度は溝切り器の背面の角度より 10° 小さくして、前述の溝切り器背面上部の曲線部とにより、苗が溝切り器背面に沿って滑らかに落下できるように構成した。苗落下管末端の高さは苗の地上部の長さを考慮して地表面より 40mm とした。

このようにして、溝切り器の背面の角度 θ 、苗落下管の角度 α_0 、及び高さ h が決まると苗落下管から放出された苗は放物落下運動をするので、溝切り器の背面の角度に落下させるための苗の放出速度 v_0 は次式から求めることができる。

$$\left(v_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \theta} \times \sin \theta \right)^2 = (v_0 \sin \alpha_0)^2 + 2gh \quad (5-1)$$

従って、 v_0 以上の速度であれば、苗は溝切り器の背面に沿って必ず落下し、背面の角度 θ で溝底に達する。また、溝切り器の底部末端から苗落下管までの水平距離 s も次式から求めることができる。

$$s = v_0 \cos \alpha_0 \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gh} - v_0 \sin \alpha_0}{g} \quad (5-2)$$

以上の手順で求めた数値とチェーンポットの太さ（六角の対辺距離16.5mm）を考慮して決定した供試溝切り器と苗落下管との位置関係を図5-1に示す。

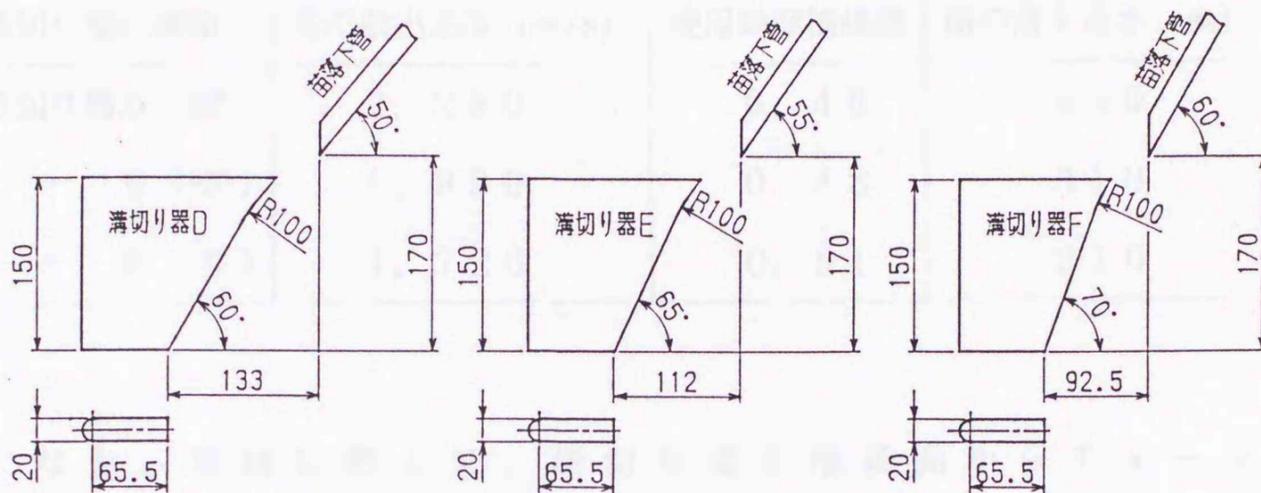


図5-1 供試溝切り器の形状

次に、苗の所要放出速度が決まれば、4.2節で求めた苗と苗落下管の動摩擦係数の最大値を用いることにより、必要な苗の落下高さを知ることができる。求めた値を表5-3に示す。

表 5 - 3 苗の放出速度と落下高さ

| 溝切り器の種類 | 苗の放出速度 [mm/s] | 使用動摩擦係数 | 苗の落下高さ [mm] |
|-------------|---------------|---------|-------------|
| 溝切り器D (60°) | 2, 280 | 0. 46 | 430 |
| ” E (65°) | 1, 990 | 0. 48 | 310 |
| ” F (70°) | 1, 720 | 0. 51 | 210 |

なお、実験に際して、溝切り器を地表面からチェーンポットの長さ、即ち、130mmの深さに配置した。そして、土槽を走行させながら苗落下管の所定位置からチェーンポットを人手で順次落下させた。反復を20本とし、植付けられたチェーンポットの土槽の進行方向に対する前後の植付け角度と地表からの露出高さを測定した。左右の植付け角度は予備実験によって、振れがほとんどないことを確認し、本実験では測定を行わなかった。また、苗落下管末端に光電スイッチを取付け、チェーンポットの通過時間を測定して苗の放出速度を求め、表5-3の速度以下にならないことを確認しながら実験を進めた。

5.1.3 結果及び考察

1) 移動速度と植付け角度

土槽の移動速度と植付け角度の関係を図5-2に示す。移動速度が増すに従い、各溝切り器とも植付け角度はほぼ直線的に減少した。溝切り器E（背面角度 65° ）における火山性壤土、水分（中）の条件の植付け角度の平均は、移動速度 0.39 、 0.59 、 0.79 、 0.99 、 1.20 m/sのとき、それぞれ 21.2° 、 13.8° 、 4.4° 、 -4.4° 、 -13.7° であり、移動速度 0.1 m/sの増加に対して、 $4\sim 5^\circ$ の割合で減少した。これは予測どおり移動速度が増加するに従い移動方向に倒れようとする苗の慣性力が増大し、溝切り器の戻り土による苗の固定が遅れてくるためと判断された。

2) 溝切り器の背面角度と植付け角度

図5-2から溝切り器の背面角度の違いによる植付け角度の相違は明らかであり、背面角度が小さくなれば植付け角度は増大した。例えば、火山性壤土の移動速度 1 m/sにおける植付け角度は溝切り器D（背面角度 60° ）で $6.4\sim 12.5^\circ$ 、溝切り器E（背面角度 65° ）で $2.4\sim -4.4^\circ$ 、溝切り器F（背面角度 70° ）で $-8.1\sim -14.7^\circ$ であった。図5-3は溝切り器の背面角度と移動速度の関係を各移動速度ごとに示す。背面角度の増大に伴い植付け角度は減少し、逆比例の関係にあることが判った。そして、その割合は背面角度 1° の増加に対して植付け角度は約 2° 減少した。従って、移動速度を設定すれば直立植え（植付け角度 0° ）を得るための溝切り器の背面角度を知ることができる。

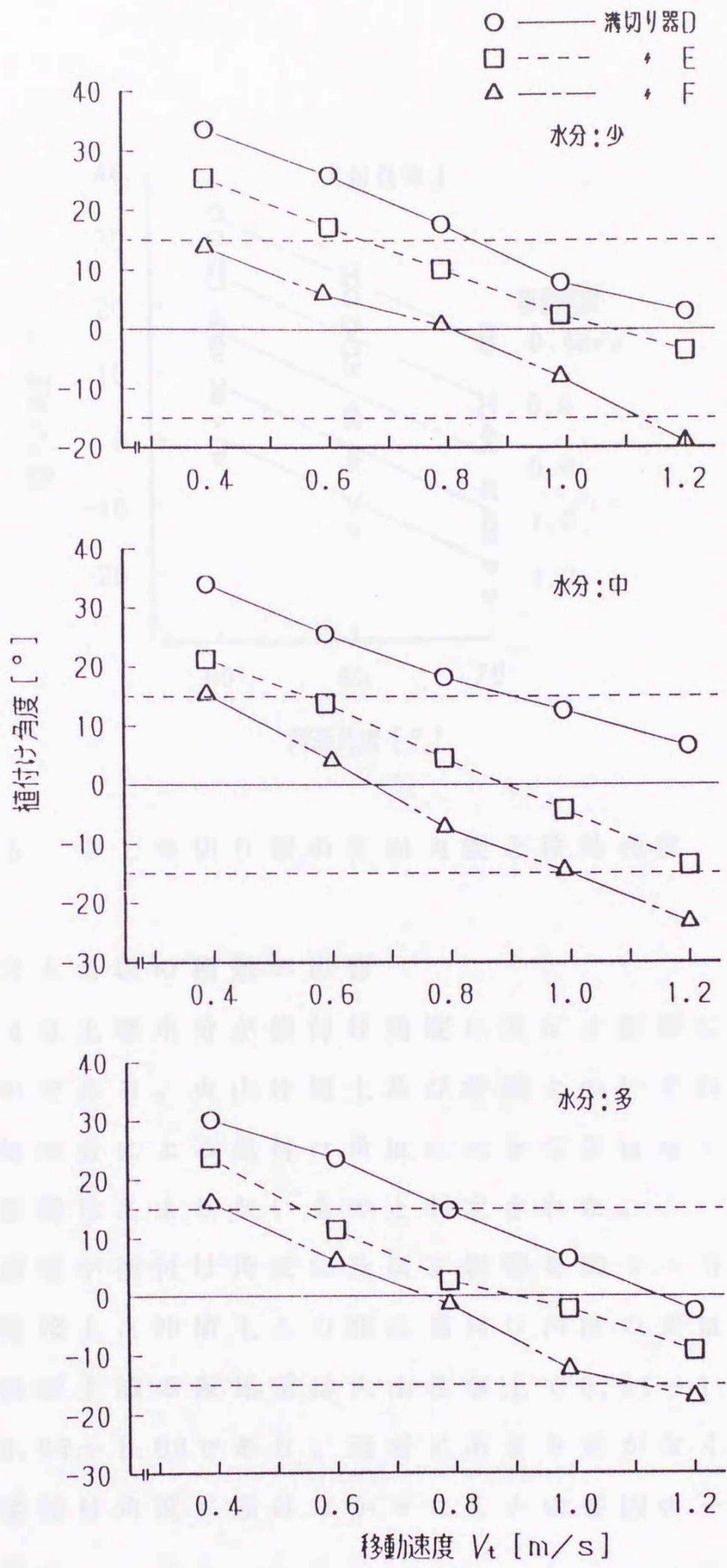


図 5 - 2 移動速度と植付け角度

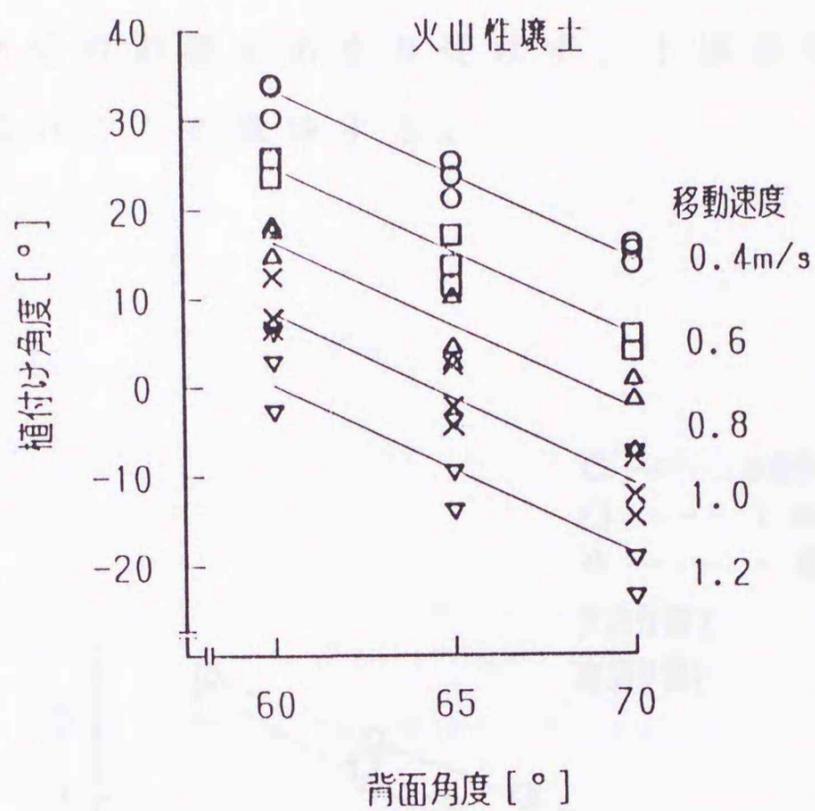


図 5 - 3 溝切り器の背面角度と移動速度

3) 土壤水分と土壤の種類の影響

図 5 - 4 は土壤水分が植付け角度に及ぼす影響についてみたものである。火山性壤土及び沖積土のいずれについても土壤水分による植付け角度に大きな差はなく、これによる影響はあまりないものと判定された。

土壤の種類が植付け角度に及ぼす影響を図 5 - 5 に示す。火山性壤土と沖積土との間に植付け角度の差はみられない。供試土壤の仮比重は火山性壤土で 0.91~1.02、沖積土で 0.97~1.08 であり、両者にあまり差がなく、このことが植付け角度に差はなかったことの要因の一つと考えられた。

以上のことは、本植付け機構が移植圃場の土壌の種類及び土壌水分の影響をあまり受けず、土壌条件に対する適応性が高いことを意味する。

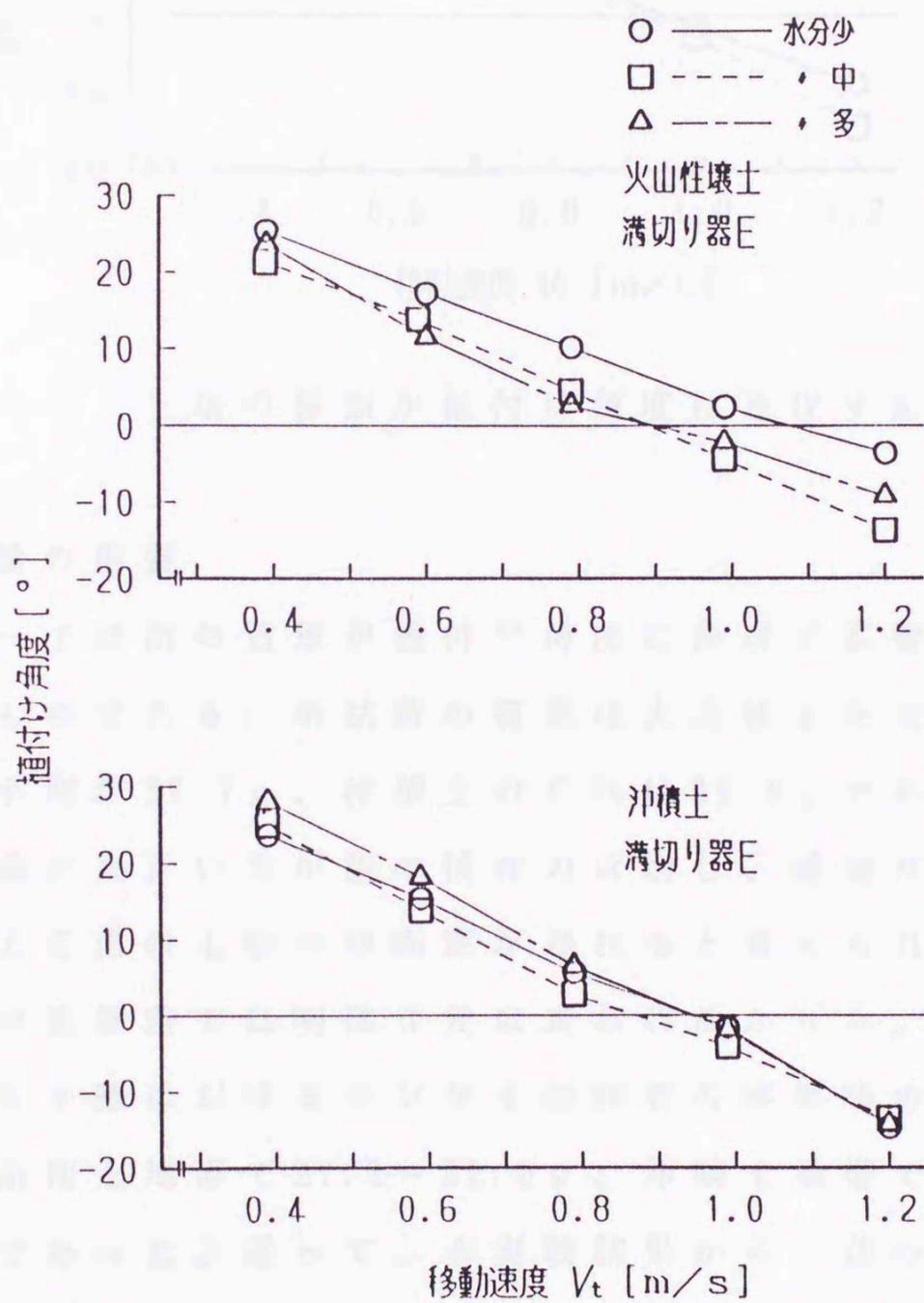


図 5 - 4 土壌水分が植付け角度に及ぼす影響

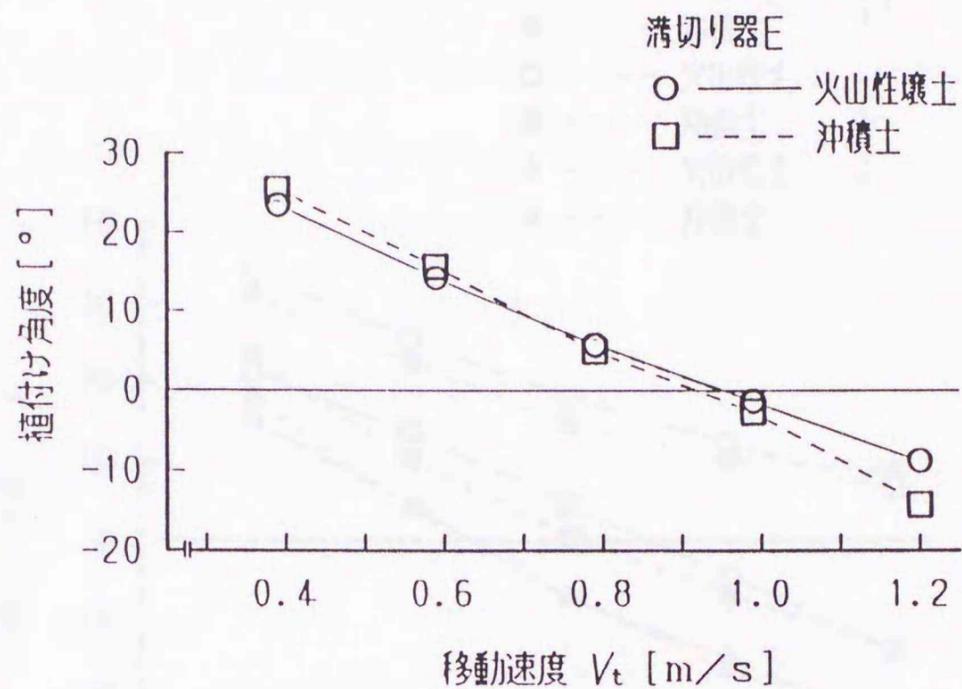


図 5 - 5 土壌の種類が植付け角度に及ぼす影響

4) 苗質量の影響

図 5 - 6 は苗の質量が植付け角度に及ぼす影響についてみたものである。供試苗の質量は火山性土を充填したものの平均が 27.7 g、沖積土のそれは 35.9 g であった。苗の質量が大きい方が苗の慣性力は増し、溝切り器の戻り土による苗の土中への固定が遅れると考えられるが、本実験の質量差では明確な差は表われなかった。著者が調査した十勝におけるテンサイ耕作者の移植時の苗の質量は火山性土地帯で 27.1 ~ 32.0 g、沖積土地帯で 31.3 ~ 33.5 g であった。従って、本実験結果から、苗の質量の違いは実用上、植付け角度に影響を与えないと判断された。

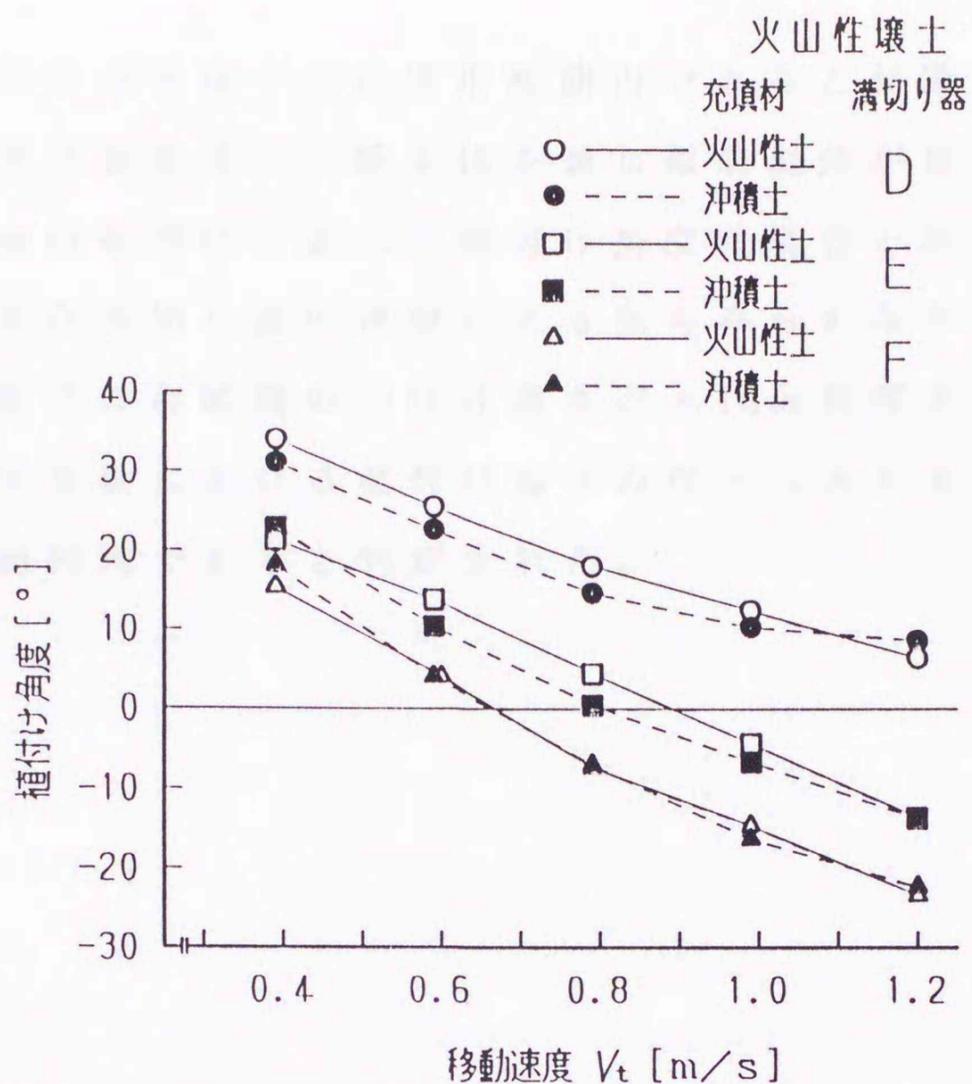


図 5 - 6 苗の質量が植付け角度に及ぼす影響

5) 植付け精度

植付けの精度は植付け機構を評価する上で重要である。植付け角度は、実験全体を通じ標準偏差がほとんど $3 \sim 7^\circ$ の範囲に含まれ、図 5 - 7 に示すように移動速度及び溝切り器の種類による明確な傾向はみられなかった。植付け角度のばらつきがテンサイの収量、糖分に及ぼす影響については明らかでないが、現在、普及しているゴム円板式の移植機の植付け角度が $-3 \sim 18^\circ$ (平均 5.2°)⁸⁾ 程度であることから、本実験における植付け角

度のばらつきは十分に実用範囲内であると判断された。

植付け高さは、実験全体を通じ標準偏差がほとんど2～6mmの範囲に含まれ、植付け角度の場合と同様に移動速度及び溝切り器の種類による差もみられなかった。ゴム円板式の移植機の植付け高さが±10mm程度あることから、本実験における植付け高さのばらつきもまた十分に実用範囲内であると判定された。

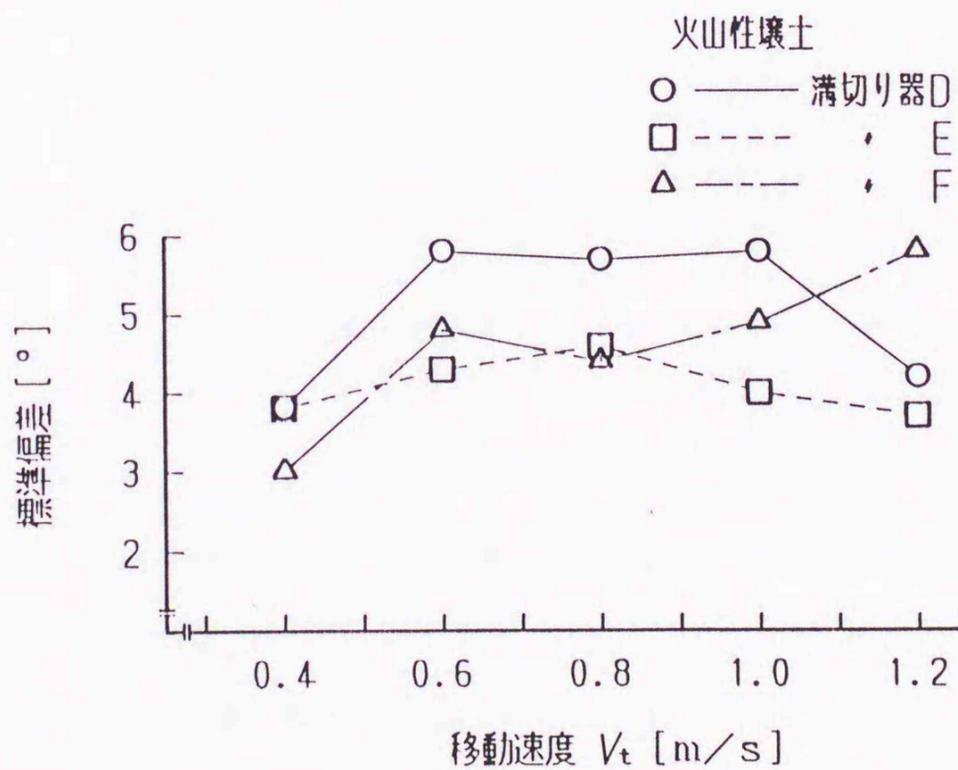


図 5 - 7 植付け角度のばらつき

6) 溝切り器の適性速度

植付け角度の実用上の許容範囲を $\pm 15^\circ$ とすると、移植機の作業速度の適応範囲は溝切り器Dで 0.9 m/s 以上、溝切り器Eで $0.7\sim 1.2\text{ m/s}$ 、溝切り器Fで $0.4\sim 1.0\text{ m/s}$ と判定された。また、直立植え（植付け角度 0° ）を得る移動速度は溝切り器Dで $1.1\sim 1.3\text{ m/s}$ 、溝切り器Eで $0.85\sim 1.0\text{ m/s}$ 、溝切り器Fで $0.65\sim 0.8\text{ m/s}$ であり、これらの範囲で使用されることが望ましい。

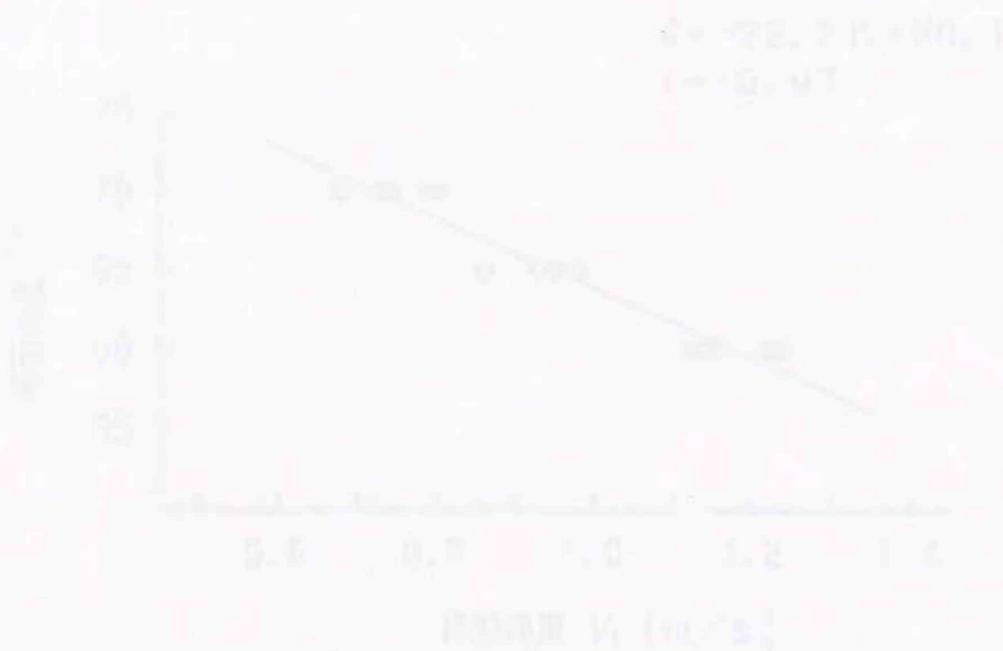


図 5-11 移動速度と植付け角度との関係

図 5-11 移動速度と植付け角度との関係

図 5-11 移動速度と植付け角度との関係

5.2 植付け装置の設計手順

5.1節と第4章の結果から、苗落下式植付け装置の設計が可能となった。以下にその手順を示す。

1) 溝切り器の背面角度と幅

図5-8は直立植えとなるときの溝切り器の移動速度と背面角度の関係を回帰式により求めたものである。移植機の作業速度を設定することにより、図5-8より溝切り器の背面角度を決定できる。例えば、作業速度を1.0 m/sと設定すれば背面角度は64°を得る。また、溝切り器の幅は5.1節の実験結果からチェーンポットを植付け穴に投入できる20mmとする。

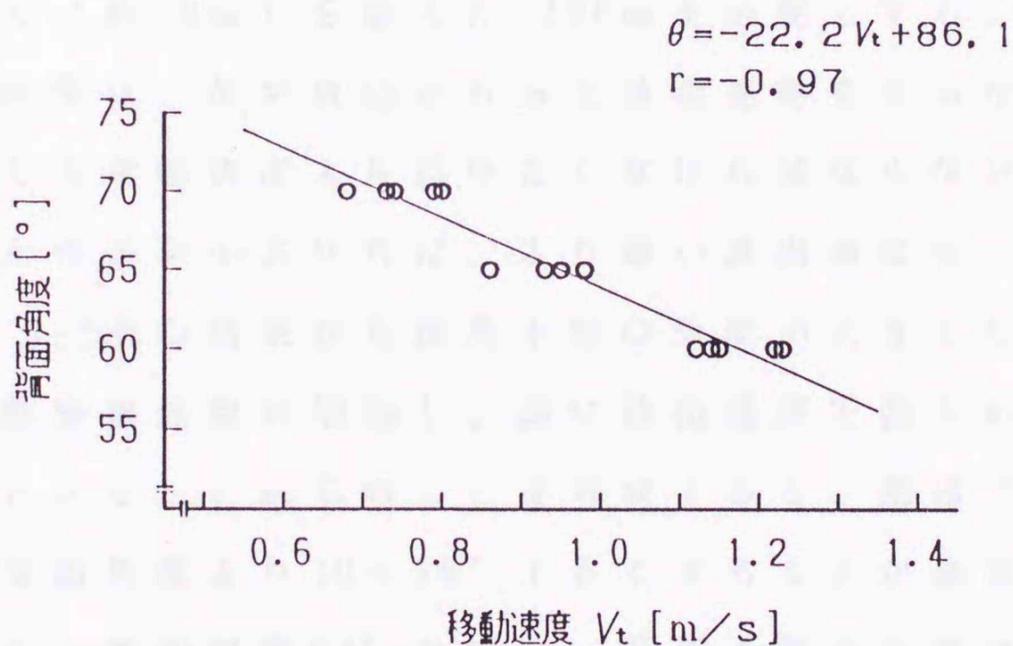


図5-8 移動速度と直立植えとなる背面角度の関係

2) 溝切り器の平面形状と長さ

溝切り器底部の平面形状は第4章の結果から、先端部を半円とし、その後方は直線でよい。次に、溝切り器底

部の長さは (4-27) 式に $r = x = 10$ (溝切り器の幅の $1/2$) , $v_1 = 1.0$ (設定作業速度) を代入して求める。

$$r = \{ (0.78r + 6.18) (v_1 - 0.4) + 8.26 \} x^{0.5} = 52.6 \text{ [mm]}$$

従って、溝切り器の長さはこの例では 52.6 mm 以上あれば十分である。

3) 溝切り器の側面形状

溝切り器の溝切り器底部からの高さはチェーンポットの長さ、即ち、 130 mm とし、この高さまでを背面角度の直線部分とする。

4) 苗落下管末端の高さと苗落下管の角度

苗落下管末端の高さはチェーンポットの長さ (130 mm) に草丈 (約 50 mm) を加えた 180 mm を必要とする。苗落下管の角度は、苗が放出されると放物運動をするから、少なくとも背面角度よりは小さくしなければならない。背面角度との差が小さければ、より速い放出速度を必要とする。4.2節の結果から苗落下管の角度が大きくなるに従い、動摩擦係数は増加し、高い放出速度を得るについて不利となる。これらのことを考慮すると、苗落下管の角度は背面角度より $10 \sim 15^\circ$ 小さくすることが適当である。従って、背面角度 64° の場合、苗落下管の角度は $49^\circ \sim 54^\circ$ となる。

5) 苗の放出速度と苗落下管末端の位置

溝切り器背面角度 θ 、苗落下管末端高さ h 、苗落下管の角度 α の3つが決まると、(5-1)式より、溝切り器背面の角度に苗を落下させるための最小放出速度が

求まる。 $\theta = 64^\circ$, $\alpha_0 = 54^\circ$, $h = 180 \text{ mm}$ とすると、
放出速度 v_0 は

$$\left(v_0 \frac{\cos 54^\circ}{\cos 64^\circ} \times \sin 64^\circ \right)^2 = (v_0 \sin 54^\circ)^2 + 2g \times 180$$

$$\therefore v_0 = 2.087 \text{ m/s}$$

従って、2.09 m/s以上の速度で苗を放出すると、苗は必ず溝切り器背面に沿って落下する。また、放出速度 v_0 が決まると、溝切り器末端から苗落下管までの水平距離 s も (5-2) 式より求まる。

$$s = 2.087 \cos 54^\circ \frac{\sqrt{2.087^2 \sin 54^\circ{}^2 + 2g \times 180} - 2.087 \sin 54^\circ}{g}$$

$$= 104.9 \text{ mm}$$

なお、設計上の寸法は上記の値にチェーンポットの太さ (16.5 mm) を加えて $104.9 + 16.5 = 121.4 \text{ mm}$ とする。

6) 苗落下管の長さ

苗の放出速度と苗落下管の角度が決まると、4.2節で求めた苗と苗落下管の動摩擦係数の最大値を用いることにより、必要な苗の落下高さ h_1 を (4-24) 式より知ることができる。実用機設計にあたっては、苗落下管の滑走面に泥が付着した条件の値 (図4-14) を採用すべきである。この場合、苗落下管の材質、充填材の土質による明確な差がないことから、これらの条件にかかわらず苗落下管の角度が 54° のとき、動摩擦係数の最大値 0.8 を採用することが妥当である。

以下に計算結果を示す。(4-24) 式を変形して

$$h_1 = \frac{v_0^2}{2g(1 - \mu \cot \alpha_0)} = \frac{2,087^2}{2 \times 9,800(1 - 0.8 \cot 54^\circ)}$$

$$= 531 \text{ mm}$$

従って、苗落下管の長さ l は

$$l = \frac{531}{\sin 54^\circ} = 656 \text{ mm} \quad \text{となる。}$$

以上の結果から求めた植え付け装置の主要寸法を図 5-9 に示す。なお、溝切り器の上部形状は、苗が溝切り器の背面に沿って、滑らかに落下するように、放物線とすることが望ましいが、実用上、円弧で近似させても十分である。以上が植付け装置の設計手順である。

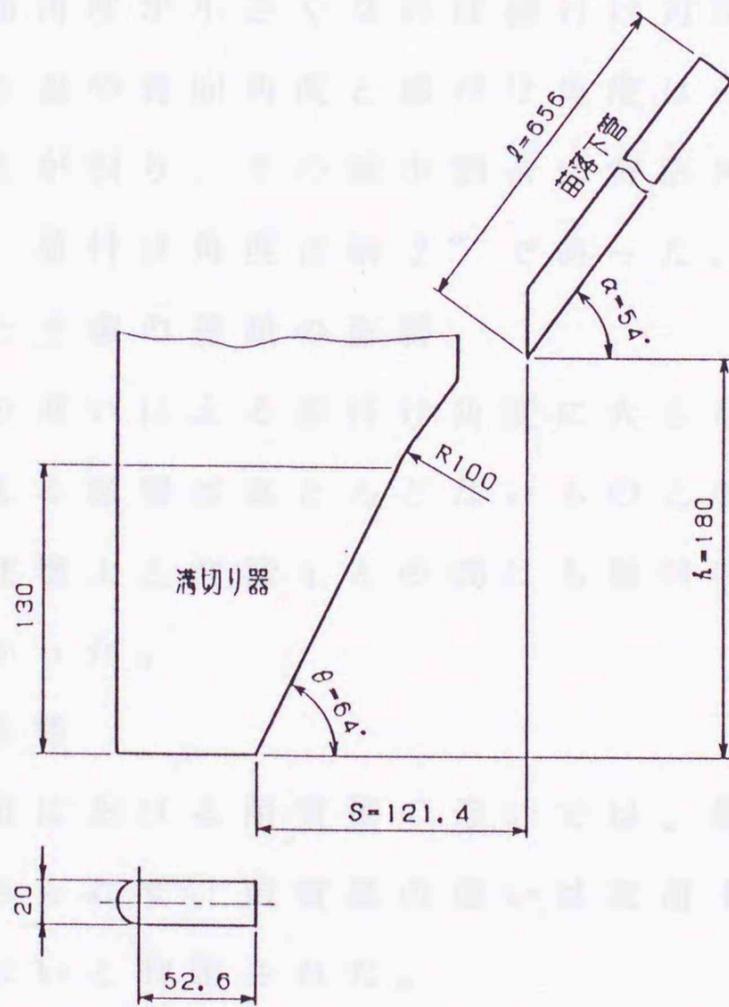


図 5 - 9 植付け装置

5.3 本章のまとめ

第4章の結果をもとに植付け装置を試作し、苗が植付けられる条件とその精度について実験により検討を行い、実用機設計の資料を得た。結果を要約すると以下のとおりである。

1) 移動速度と植付け角度

移動速度が増すに伴い、各溝切り器とも植付け角度はほぼ直線的に減少する。また、その減少割合は移動速度 0.1 m/s の増加に対して $4\sim 5^\circ$ であった。

2) 溝切り器の背面角度と植付け角度

溝切り器の背面角度による植付け角度の違いは明らかにあり、背面角度が小さくなれば植付け角度は増大する。また、溝切り器の背面角度と植付け角度は逆比例の関係にあることが判り、その減少割合は背面角度 1° の増加に対して、植付け角度は約 2° であった。

3) 土壌水分と土壌の種類の影響

土壌水分の違いによる植付け角度に大きな差はみられず、これによる影響はほとんどないものと判定された。また、火山性壤土と沖積土との間にも植付け角度の差は認められなかった。

4) 苗質量の影響

通常の育苗における苗質量の違いでは、植付け角度に明確な差はみられず、苗質量の違いは実用上、植付け角度に影響がないと判断された。

5) 植付け精度

植付け角度の標準偏差は $3 \sim 7^\circ$ の範囲であり、慣行移植機と比べても遜色なく、十分に実用範囲内であると判定された。また、植付け高さについても、その標準偏差は $2 \sim 6 \text{ mm}$ の範囲にあり、精度は高いと判断された。

6) 溝切り器の適性速度

植付け角度の実用上の許容範囲を $\pm 15^\circ$ とすると、溝切り器の移動速度の適応範囲は溝切り器D（背面角度 60° ）で 0.9 m/s 以上、溝切り器E（背面角度 65° ）で $0.7 \sim 1.2 \text{ m/s}$ 、溝切り器F（背面角度 70° ）で $0.4 \sim 1.0 \text{ m/s}$ と判定された。

7) 本章と第4章の結果から、溝切り器の移動速度を設定すると、①溝切り器の背面角度と幅、②溝切り器の平面形状と長さ、③溝切り器の高さ、④苗落下管の溝切り器からの高さや角度、⑤苗の放出速度と苗落下管末端の溝切り器からの位置、⑥苗落下管の長さ、の順で植付け装置の設計が可能となった。

第 6 章 試作機の性能

第 3 章～第 5 章の結果を基にチェーンポット及び 2 条用と 6 条用の移植機を試作して、その性能を調査し、実用性を検討する。

6.1 チェーンポットと分離及び植付け装置の設計

6.1.1 チェーンポットの設計

第 3 章の実験から以下の結論が得られた。(1) 苗の引出し抵抗は引出し距離 200 mm で 10 N である。安全率を 4 とすると接続部の強度は 40 N を必要とする。(2) 接続部 1 個所当りの長さは 3 mm 以下が適当である。(3) 接続部の長さ 3 mm における分離力の最小値は 10 N である。(4) 分離誘導部の長さは 30 mm が最も許容度が高く、安定した分離が行われる。

そこで、上記の結論を基に分離誘導部の長さ 32 mm、接続部の長さ 3 mm、接続部の数を 4 個所としたチェーンポットを設計し、実験に供試した。設計したチェーンポットの詳細を図 6-1 に示す。なお、口径、高さ及び綴合せ寸法など基本寸法は従来からテンサイ栽培に用いられている紙筒と同一とし、育苗機器類の共用を計った。また、チェーンポットを構成する紙の特性は第 3 章で供試したものと同一である。

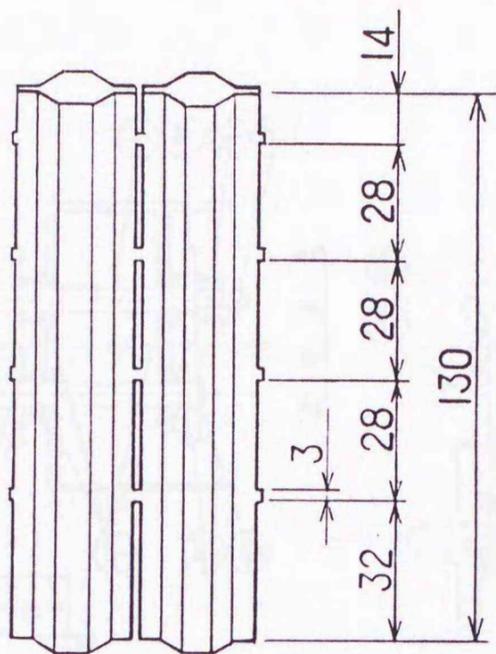


図 6 - 1 チェーンポットのパターン

6.1.2 分離装置の設計

第 3 章の実験から (1)分離角度は $12 \sim 15^\circ$ (2)速度比は $6 \sim 7$ が適当であるとの結論が得られている。そこで、分離角度を 12° 、速度比を 6 とした実用機搭載のための分離装置を設計した。構造の概要を図 6 - 2 に示す。基本構造はそれぞれ一对の引出しローラ、挟持ローラ、分離ローラで構成し、これらのローラ表面は硬度 60° の独立発泡のネオプレンゴムで被覆した。独立発泡を採用した理由は降雨あるいは苗への灌水によるローラへの水の染み込みを防止するためである。それぞれのローラを軽合金製ケーシングに固定し、移植機の接地駆動輪からの動力により駆動した。なお、ケーシングは塵埃の侵入を防止するため密封型とした。

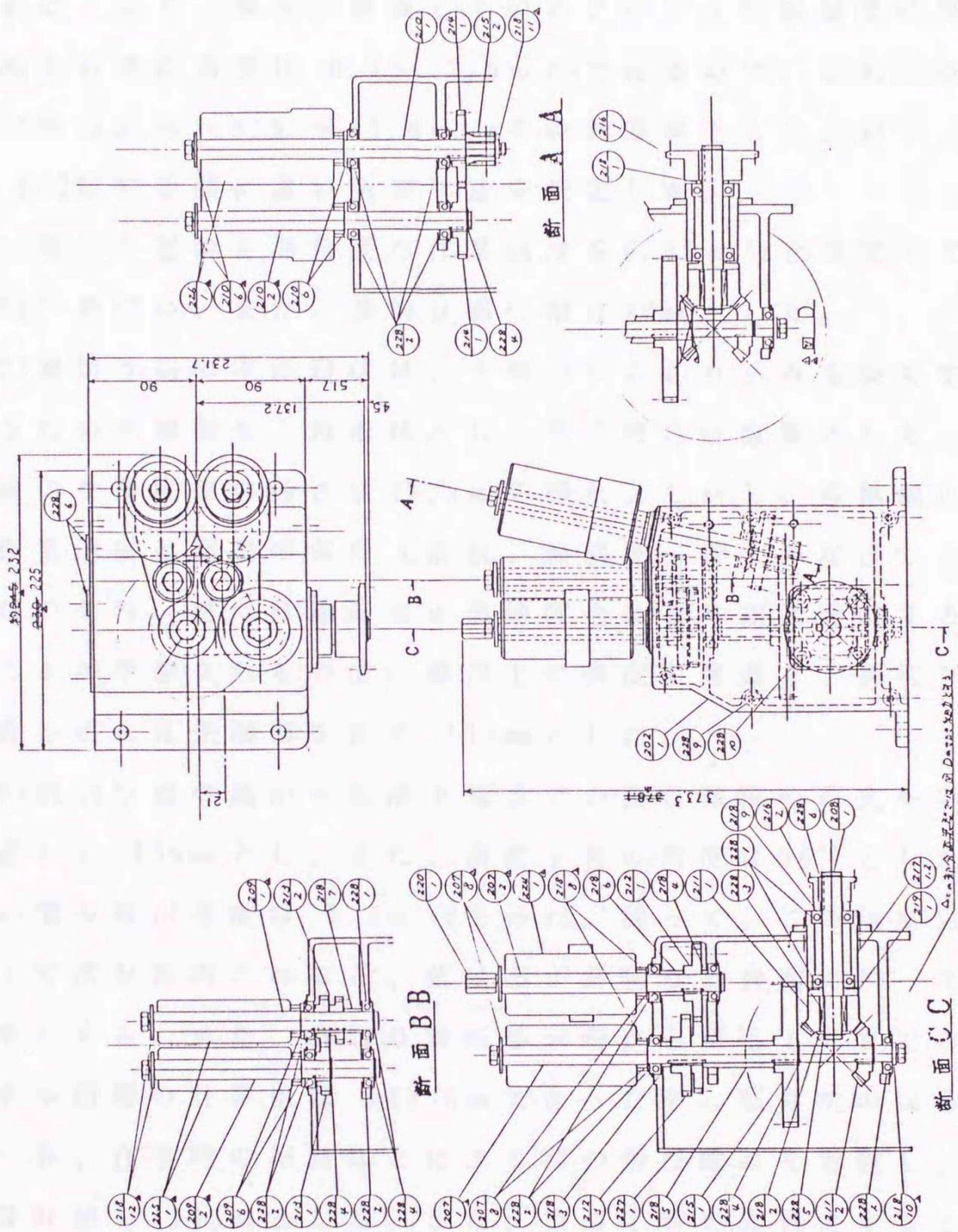


図 6 - 2 分離装置の概要

6.1.3 植付け装置の設計

植付け装置の設計にあたり、まず、作業速度の設定が必要となる。現在、普及しているテンサイ用移植機の実用上の最高速度は $0.7 \sim 0.8 \text{ m/s}$ であるので、これより25%ほど速い $0.9 \sim 1.0 \text{ m/s}$ を設計基準とした。以下、5.2節の手順に従い所要寸法を決定した。

1) 溝切り器の背面角度は作業速度を 0.95 m/s と設定して、 65° を用い、また、溝切り器の幅は 20 mm とした。

2) 溝切り器の平面形状は、土壌へのささり込みを良くするため先端部を三角形状とし、その後方は直線とした。溝切り器底部の長さは 47.3 mm を得た。しかし、移植機の作業速度は圃場の条件（形状、傾斜度、碎土率など）、苗の条件、更には運転者の熟練度合により相当変動することが予想されるので、構造上の強度も考慮し、溝切り器の長さは先端部を含め 175 mm とした。

3) 溝切り器の底から苗落下管までの高さは苗の草丈を考慮して 180 mm とし、また、苗落下管の角度は 50° とした。

4) 苗の放出速度は 2.4 m/s を得た。従って、この速度以上で苗が放出されると、苗は必ず溝切り器背面に沿って落下する。また、溝切り器底部末端から苗落下管までの水平距離の計算値は 140.5 mm であったが、苗寸法のばらつき、作業時の振動などによる苗の飛び跳ねを考慮し、設計値を 145 mm とした。また、苗落下管を直管とすると、水平距離が長くなることから機体長の短縮を目的に管の途中から $r = 500 \text{ mm}$ の曲管とした。この場合、曲管部に

より苗へのより大きい制動力が作用する。そこで、所要放出速度を確保するため別途実験によりその高さを求め、かつ、実用上種々の苗条件に適応させる必要から、設計上の高さを 1,000mm とした。苗落下管の材質は耐久性、耐候性、加工性を考慮してステンレススチールとした。

以上により実用機に採用した植付け装置の概要を図 6-3 に示す。

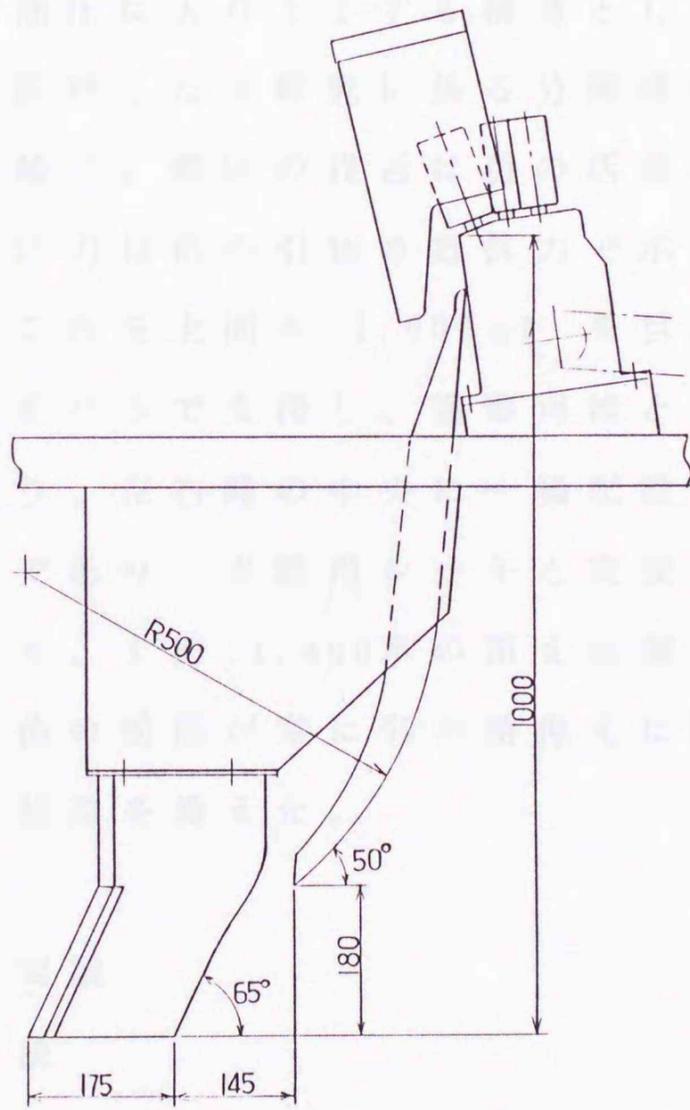


図 6 - 3 植付け装置の概要

6.2 2条用移植機の試作及び実証

6.2.1 構造の概要

構造の概要を図6-4に示す。①はナイフコルタであり、溝切り器に圃場中の夾雑物、特に、紐、針金などが絡みつくことを事前に防止する。溝切り器に夾雑物が絡みつき、その後端が植付け穴に及ぶと、植付け穴に落下した苗は夾雑物に引きずられ、ことごとく後傾し埋没する。②は植付け深さ検出輪であり、内设する二つのリミットスイッチ間に植付け深さを設定し、これをはずれると③のゲージ輪が油圧により上下する構造とした。④、⑤、⑥は6.1節で設計した本研究に係る分離植付け装置である。⑦は鎮圧輪で、鎮圧の良否は苗の活着に影響する。在来機種 of 鎮圧力は苗の引抜き抵抗力で示すと700gf程度であり、これを上回る1,000gfを目標値とした。また、鎮圧輪をバネで支持し、調節可能とした。⑧は接地駆動輪であり、左右畦の中央に一輪配設した。⑨は半高畦用成畦器であり、平畦用レーキと交換可能とした。⑩は苗台であり、1冊1,400本の苗を搭載できる寸法とした。また、苗の前面が常に⑪の苗押えに接するように自動送り調節装置を備えた。

6.2.2 植付け精度実験

6.2.2.1 実験方法

供試圃場は日甜総合研究所（帯広）の実験圃場で、土質は火山性土と重粘土の2種類を用いた。供試圃場の土

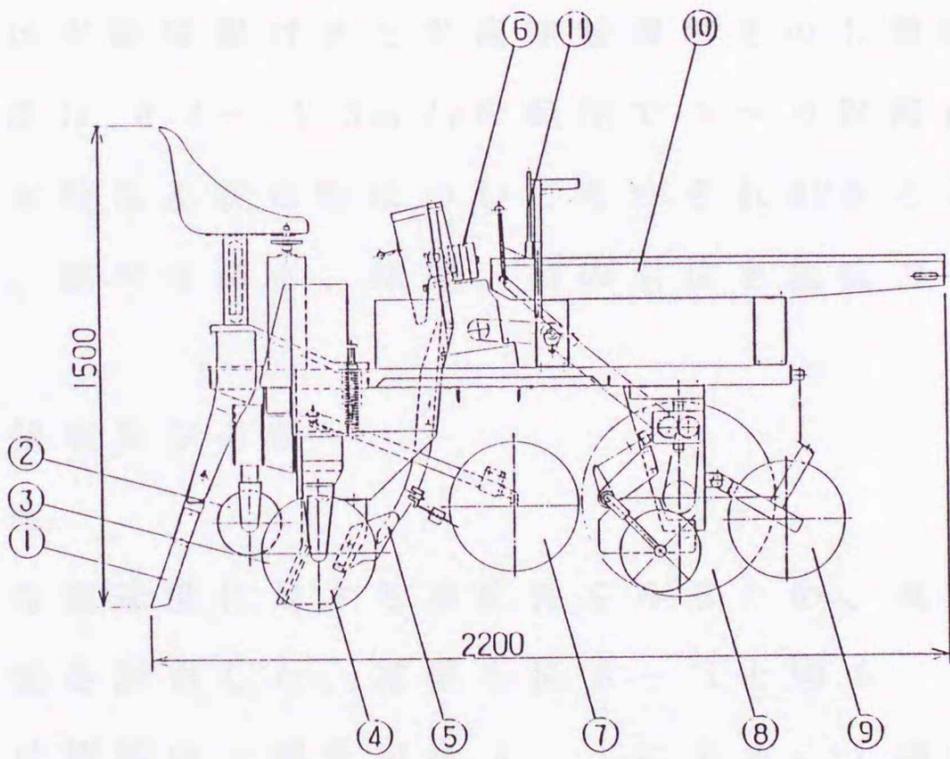
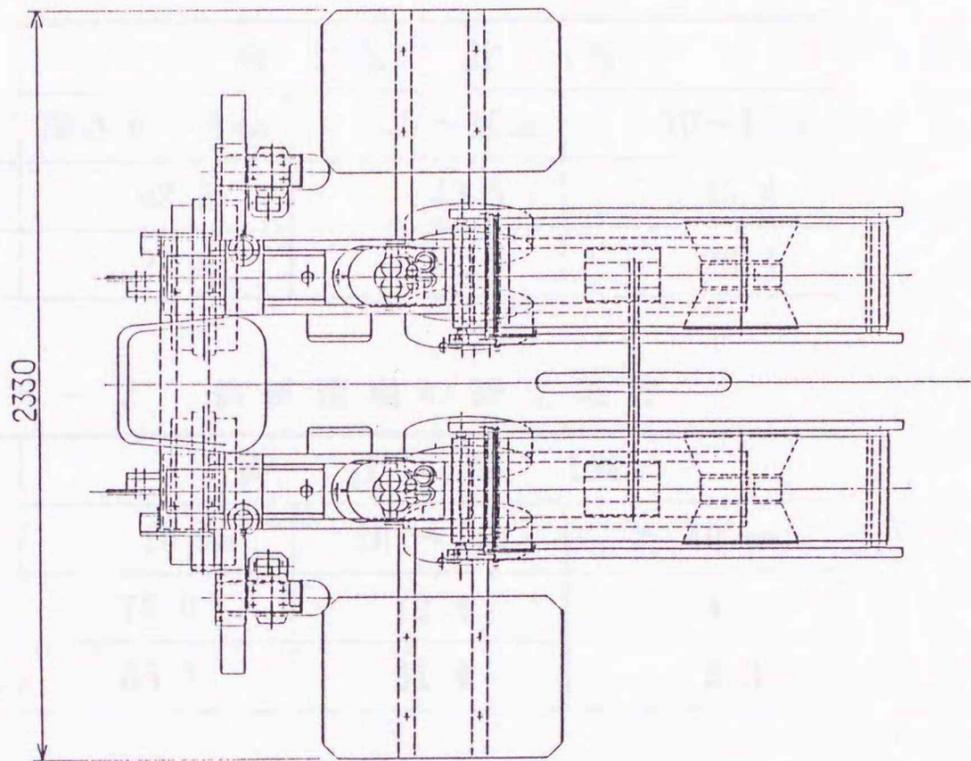


図 6 - 4 2 条用移植機の概要

壤水分を表 6 - 1、碎土条件を表 6 - 2 に示す。

表 6 - 1 供試圃場の土壤水分

| 土壤の種類 | 含 水 比 [%] | | |
|-------|-------------|-----------|------------|
| | 深さ 0 ~ 5 cm | 5 ~ 10 cm | 10 ~ 15 cm |
| 火山性土 | 42.3 | 43.5 | 43.4 |
| 重粘土 | 22.6 | 26.5 | 26.4 |

表 6 - 2 供試圃場の碎土条件

| 土壤の種類 | 碎 土 率 [%] | | |
|-------|-----------|---------|---------|
| | < 10 mm | 10 ~ 40 | > 40 mm |
| 火山性土 | 76.6 | 19.4 | 4 |
| 重粘土 | 65.3 | 31.4 | 3.3 |

供試苗は農家の慣行に準じて育苗され、その質量、葉数、葉長の平均はそれぞれ 33.2 g、4 枚、49 mm であった。機体の種類は平畦装置付きと半高畦装置付きの 2 種類とし、作業速度は 0.4 ~ 1.3 m / s の範囲で 5 ~ 6 段階に変えた。調査本数は左右の畦についてそれぞれ 40 本とし、植付け角度、植付け高さ、株間、苗の引抜き抵抗力を測定した。

6.2.2.2 結果及び考察

1) 植付け角度

試作機の作業速度に対する適応性をみるため、速度別の植付け角度を調査した。結果を図 6 - 5 と図 6 - 6 に、また、植付け状態の一例を写真 6 - 1 に示す。土壤の種類による植付け角度の差はみられず、第 5 章の結果と同

様であった。半高畦は地表面から約30mm高く植付け、その後、培土・成畦する方法を採っているが、植付け角度について平畦との差はみられなかった。これは溝切り器の戻り土による苗の固定が苗の下部で行われ、上部はあまり関与していないことによるものと推測される。平畦と半高畦による植付け角度に差が生じないことは実用機として好ましい。植付け角度のばらつきは実験全体でSD 6.9°、最大SD 11.5°、最小SD 2.1°であり、第5章の結果より2~3°大きい。これは碎土など圃場条件の違いによるものと思われる。また、畦形状、土壌の種類による差はみられなかった。

なお、直立植えとなる作業速度は0.7~0.8m/sであり、0.95m/sとした設計基準とは異なる結果となった。これはふるいにかかけ、くり返し用いた第5章の土壌と実



写真 6 - 1 植付け状態の例

際の圃場とは流動性に及ぼす土壌の物理性が異なるためと考えられた⁸²⁾。従って、実用機設計にあたっては、このことを考慮し、溝切り器背面角度に対する適応速度を0.15～0.2 m/s程度減じる修正が必要と思われる。

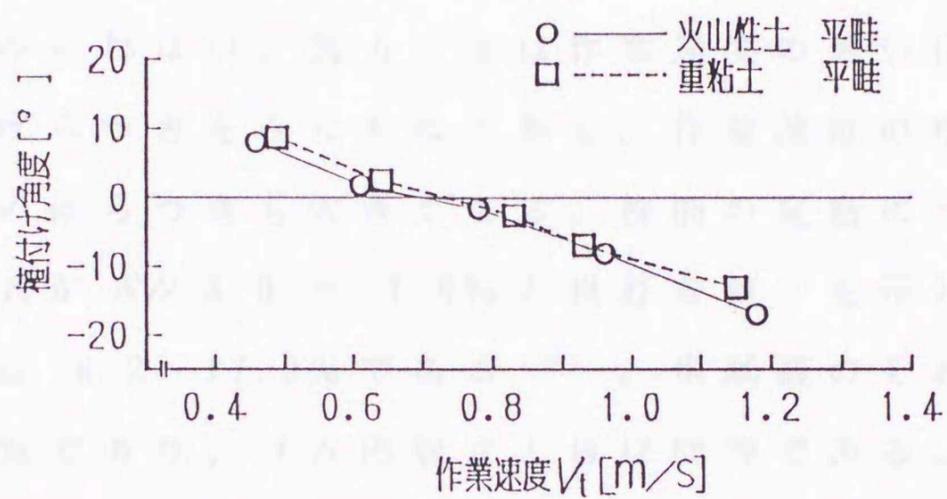


図 6 - 5 作業速度と植付け角度 (平畦)

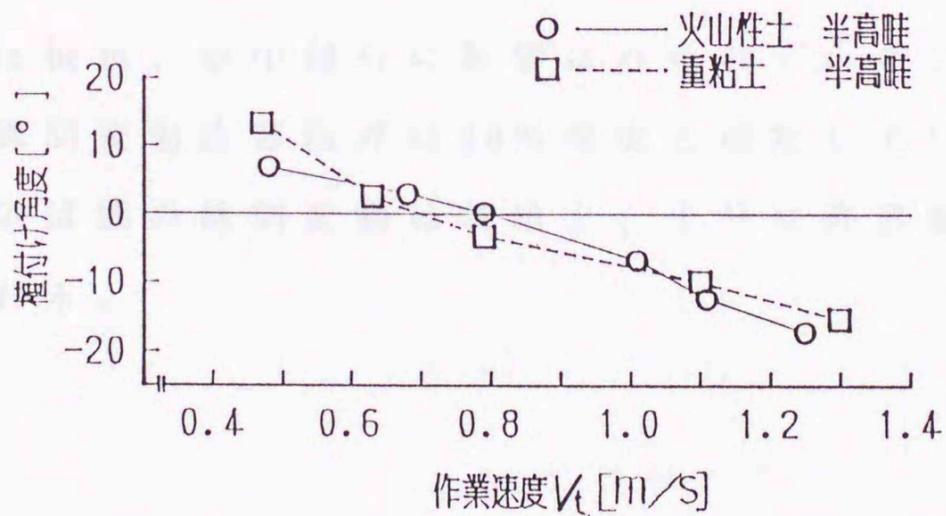


図 6 - 6 作業速度と植付け角度 (半高畦)

2) 植付け高さ

植付け高さのばらつきは実験全体で SD 7.1mm、最大 SD 10mm、最小 SD 5mm であり、良好であった。

3) 株間

図 6-7 は土壌条件別に作業速度に対する株間の変動を調査したものである。作業速度の違いによる平均株間のばらつきが 5~10mm みられるが、土壌条件に対する傾向はみられない。図 6-8 は作業速度の違いに対する株間のばらつきをみたものである。作業速度の増加に伴い株間のばらつきも大きくなる。株間の変動についてはホルダ式が SD 3.0 ~ 7.9% と良好な値⁹⁾を示し、ゴム円板式は 6.2~17.0% である¹⁰⁾。供試機のそれは 8.4~18.2% であり、ゴム円板式とほぼ同等である。供試機の株間変動は 1) チェーンポット苗を個々の苗に分離する際の僅かな時間のずれ、2) 苗落下管を滑走するときの速度の変動、の 2 つに起因する。株間変動が栽培上どの範囲まで許されるかについては井村^{8,3)}らが変動係数が 30% までは根重、根中糖分に影響はみられず、テンサイ移植機の株間変動許容限界は 30% 程度と推定している。従って、供試機の株間変動は栽培上、十分に許容範囲内と考えられる。

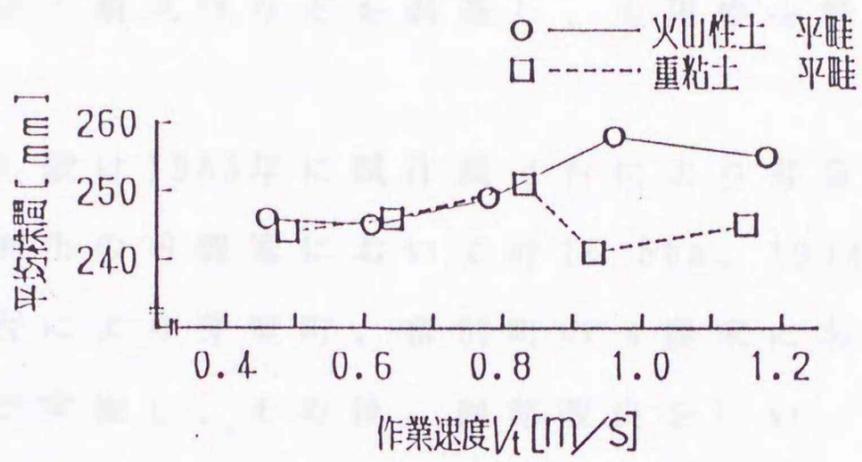


図 6 - 7 作業速度と株間変動

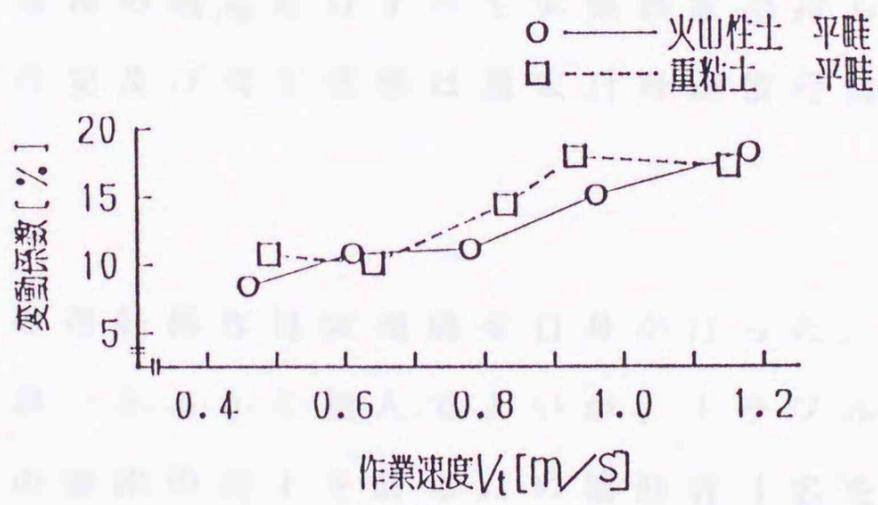


図 6 - 8 作業速度と株間のばらつき

6.2.3 実証実験

6.2.3.1 実験目的

本研究の最終段階として、チェーンポットと試作機の性能確認と耐久性などを調査し、実用性を総合的に評価する。

実証実験は1983年に試作機3台により芽室町、幕別町及び士別市の9農家において計16.5ha、1984年に前年と同様3台により芽室町、幕別町の4農家において計14haの規模で実施し、その後、細部改良を行い、1987年日甜清川農場において1.6ha、1988年には芽室町、幕別町の6農家において2台により5ha、1989年には前年同様、芽室町、幕別町の4農家において5haの規模で実施した。実験結果は1989年のデータを中心に論ずる。

6.2.3.2 実験方法

1) 土詰・播種・育苗

土詰・播種の機器類はすべて実施農家手持ちのものを使用し、作業及び育苗管理は農家自身が慣行法に準じて行った。

2) 移植

試作機の運転操作は実施農家自身が行った。本機は全自動移植機であるから無人でよいが、トラブル時の監視と苗補給の能率の向上を計るため補助者1名を搭乗させた。

3) その他の作業

テンサイ栽培に必要なその他の作業、即ち耕起・碎土

整地・施肥・中耕除草・防除・収穫はすべて実施農家慣行に準じ、農家自身が行った。

実験条件を表6-3、表6-4、表6-5に示す。

表6-3 育苗土

| 場 所 | | 含水比 [%] | PH | EC |
|-----|----------|---------|------|------|
| 芽 室 | 坂の上 農家A | 58.5 | 5.68 | 1.00 |
| | 祥栄高台 農家B | 58.7 | 5.43 | 1.50 |
| 幕 別 | 白人西部 農家C | 29.7 | 5.63 | 1.05 |
| | 途 別 農家D | 51.3 | 5.52 | 1.00 |

表6-4 得 苗 率

| 場 所 | | 種 子 | 播種粒数 [粒] | 得苗率 [%] |
|-----|----------|-------------|----------|---------|
| 芽 室 | 坂の上 農家A | モノエースコーティング | 1.0 | 93.0 |
| | 祥栄高台 農家B | 〃 | 1.0 | 88.3 |
| 幕 別 | 白人西部 農家C | モノエース | 1.93 | 96.7 |
| | 途 別 農家D | 〃 | 2.79 | 94.7 |

表6-5 圃場の土壌条件

| 場 所 | | 含 水 比 [%] | | | 土壌の 種 類 |
|-----|----------|------------------|--------|---------|------------|
| | | 深さ (cm) 0 ~ 5 | 5 ~ 10 | 10 ~ 15 | |
| 芽室 | 坂の上 農家A | 55.9 | 56.6 | 56.1 | 乾性火山性土 |
| | 祥栄高台 農家B | 63.1 | 63.2 | 63.6 | 湿性火山性土 |
| 幕別 | 白人西部 農家C | 32.5 | 30.4 | 32.2 | 沖 積 土 |
| | 途 別 農家D | 52.2 | 56.0 | 56.1 | 乾性火山性土 |

6.2.3.3 結果及び考察

1) 植付け精度

植付け精度を表6-6、株間精度を表6-7に示す。植付け角度は在来機種 of CT-4型（ゴム円板式）が作業速度0.75～0.82 m/sにおいて平均2.4°で-16～25°の範囲にあり¹⁾、STP型（ゴム円板式）が作業速度0.74 m/sで平均5.2°で-4～18°の範囲である⁸⁾。データのとりまとめ方法が異なり、正確な比較は出来ないが、供試機はこれらの機種と同程度と思われる。

株間の変動は変動係数が14～19.5%の範囲にあり、6.2.2項の植付け精度実験の結果とほぼ同じであった。

表6-6 植付け角度

| 場 所 | 植 付 け 角 度 [°] | | | | | 苗の露出 高さ [cm] |
|--------|---------------|---------|---------|-----|-----|-----------------|
| | 0~±14 | ±15~±29 | ±30~±44 | 倒 れ | 埋 没 | |
| 芽室 農家B | 93.9 | 4.6 | 1.5 | 0 | 0 | 0.5 |
| 幕別 農家D | 91.7 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | -0.2 |

注) 1. 農家B、農家Dとも各60本について調査した。

2. 「苗の露出高さ」とは紙筒上端部と地表面との高さの差を示す。

表6-7 株 間 精 度

| 場 所 | | 株 間 | |
|-----|-------|---------|--------|
| | | 平均 [cm] | CV [%] |
| 芽 室 | 農 家 A | 23.2 | 19.4 |
| | 農 家 B | 23.6 | 14.0 |
| 幕 別 | 農 家 C | 22.8 | 14.5 |
| | 農 家 D | 21.3 | 14.5 |

苗の引抜き抵抗力の平均は、農家Aで1.07kgf、Bで1.01kgf、Cで1.28kgf、Dで1.17kgfの値を示し、目標どおりの鎮圧力が得られた。

2) 作業能率

供試機の作業能率を表6-8に示す。在来機種は北海道の農業試験場の成績書^{10)・11)・23)}によると2条用移植機において20a/hから30a/hであり、供試機もほぼ同程度の能率である。ただし、在来機種はトラクタ運転者のほか1条当り1名の補助者を必要とし、2条用の場合、合計3名の人員を必要とする。これに対し、供試機はトラクタ運転者のほか監視役として1名を要するのみで所要人員は2/3と少なくなり、この分省力化されている。また、補助者は監視役のため苗供給作業から解放され、労働の質的改善にも寄与する。作業状態を写真6-2と写真6-3に示す。表6-9は実証試験の移植面積と実用上の作業能率を示したもので、この結果から供試機の1日当りの能率は1.5～2ha程度と判断された。

表 6 - 8 作 業 能 率

| 場 所 | トラクタ | エンジン 回転数 rpm | 変速 位置 | 畦長 m | 畦幅 cm | 面 積 a | 作業 速度 m/s | 内 訳 % | | | | | 作 業 能 率 a/h |
|-----|-------|--------------------|----------|---------|----------|----------|-----------------|-------|------|-----|----|-----|-------------------|
| | | | | | | | | 苗供給 | 移植 | 回行 | 停止 | 計 | |
| 農家B | DB885 | 950 | L-2 | 321 | 66 | 16.95 | 0.85 | 26.8 | 66.5 | 6.7 | 0 | 100 | 26.9 |
| 農家C | MF135 | 1,000 | L-4 | 268 | 60 | 12.86 | 0.83 | 27.0 | 63.7 | 9.3 | 0 | 100 | 22.6 |



写真 6 - 2 移植作業（沖積土）



写真 6 - 3 移植作業（火山性土）

表 6 - 9 移植面積及び作業能率

| 場 所 | | 圃場長 m | 畦幅 cm | 株間 cm | 株立本数 本/ha | 畦数 畦 | 面積 ha | 実作業 時間 h | 実作業 能 率 a/h |
|-----|-----|----------|----------|----------|--------------|---------|----------|----------------|-------------------|
| 芽室 | 農家A | 212 | 63 | 23.2 | 68,418 | 126 | 1.68 | 8.8 | 19.1 |
| | 農家B | 321 | 66 | 23.6 | 64,201 | 56 | 1.19 | 5.5 | 21.6 |
| 幕別 | 農家C | 268 | 60 | 22.8 | 73,099 | 60 | 0.96 | 5.3 | 18.1 |
| | 農家D | 182 | 66 | 21.3 | 71,133 | 38 | 1.06 | 7.5 | 14.1 |
| | | 220 | | | | 10 | | | |
| | | 248 | | | | 28 | | | |

注) 農家Dは苗取り時の灌水過多により水分調整に時間を要し、移植機への苗の補給が間に合わず、作業能率を落とした。

3) 生育及び収穫調査

実証試験における生育調査の結果を表6-10、収穫調査の結果を表6-11に示す。慣行区との差はいずれも見られなかった。

表 6 - 10 生 育 調 査

調査日1989年6月27, 28日

| 場 所 | 区分 | 定植日 | 葉 長 | | 葉 数 | | |
|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|
| | | | cm | 指 数 | 枚 | 指 数 | |
| 芽室 | 農家A | 慣行区 | 4.22 | 37.1 | 100 | 13.5 | 100 |
| | | 試験区 | 4.21 | 38.0 | 102 | 13.4 | 100 |
| | 農家B | 慣行区 | 4.26 | 34.7 | 100 | 13.6 | 100 |
| | | 試験区 | 5.2 | 37.1 | 107 | 13.8 | 101 |
| 幕別 | 農家C | 慣行区 | 4.23 | 39.6 | 100 | 15.1 | 100 |
| | | 試験区 | 4.23 | 38.2 | 96 | 15.1 | 100 |
| | 農家D | 慣行区 | 4.20 | 38.3 | 100 | 15.8 | 100 |
| | | 試験区 | 4.26 | 41.7 | 109 | 15.4 | 97 |

表 6 - 11 収 穫 調 査

| 場 所 | 区 分 | 根 重 | | 根 中 糖 分 | | 糖 量 | | 株立本数 本/ha | |
|-----|-----|------|------|---------|-------|------|-------|--------------|--------|
| | | t/ha | 指数 | % | 指数 | t/ha | 指数 | | |
| 芽室 | 農家A | 慣行区 | 56.6 | 100 | 16.71 | 100 | 9.46 | 100 | 65,100 |
| | | 試験区 | 53.3 | 94 | 16.77 | 100 | 8.94 | 95 | 77,300 |
| | 農家B | 慣行区 | 52.6 | 100 | 16.52 | 100 | 8.69 | 100 | 62,500 |
| | | 試験区 | 51.5 | 98 | 17.11 | 104 | 8.81 | 101 | 64,800 |
| 幕別 | 農家C | 慣行区 | 65.5 | 100 | 15.90 | 100 | 10.41 | 100 | 74,600 |
| | | 試験区 | 66.0 | 101 | 15.93 | 100 | 10.51 | 101 | 75,300 |
| | 農家D | 慣行区 | 58.8 | 100 | 16.81 | 100 | 9.88 | 100 | 73,800 |
| | | 試験区 | 58.9 | 100 | 16.57 | 99 | 9.76 | 99 | 81,400 |

以上のことから供試機は実証実験においても、予定どおりの性能を発揮し、本研究によるチェーンポットとその分離装置及び植付け装置は実用に十分供し得ることが立証されたものと判定できる。

6.3 6条用移植機の試作及び実証

6.3.1 試作目的及び構造の概要

テンサイの紙筒移植栽培法は欧米においても各国で試験的に数多く栽培され、画期的な増収技術として認識が定着している。しかし、実用技術として普及するに当り、移植栽培の経済性とこれに関連する移植の省力化が課題となり、欧米の栽培実態に則した自動移植機による作業体系の確立が求められている。

欧米などの大規模化への対応に当り、6.2節で試作した直装式では被装着トラクタ側の制約から 1) 最大畦数は4畦が限度であり、2) 苗の搭載量に制限を受け、3) 作業効率上からも大規模化の対応には限度がある、などの問題があった。

そこで、欧米での大規模な紙筒移植栽培に対応する高能率な多条用(6条)移植機の試作を行い、性能を調査した。

構造の概要を図6-9、仕様諸元を表6-12に示す。基本構造は作業時に直進性と植付け深さを安定させるためけん引式とし、回行時に旋回半径を減少させ、かつ、後進を容易にさせるため半装着式とした。また、植付け部は1畦毎ユニット化し、Uボルトでメインフレームに固定するように構成し、45~65cmまでの畦間に対応可能とした。苗分離部及び植付け部の基本寸法は6.2節の直装型と同様とした。①はけん引桿、②は第1ゲージホイールでメインフレームに取り付けてあり、回行時には油圧

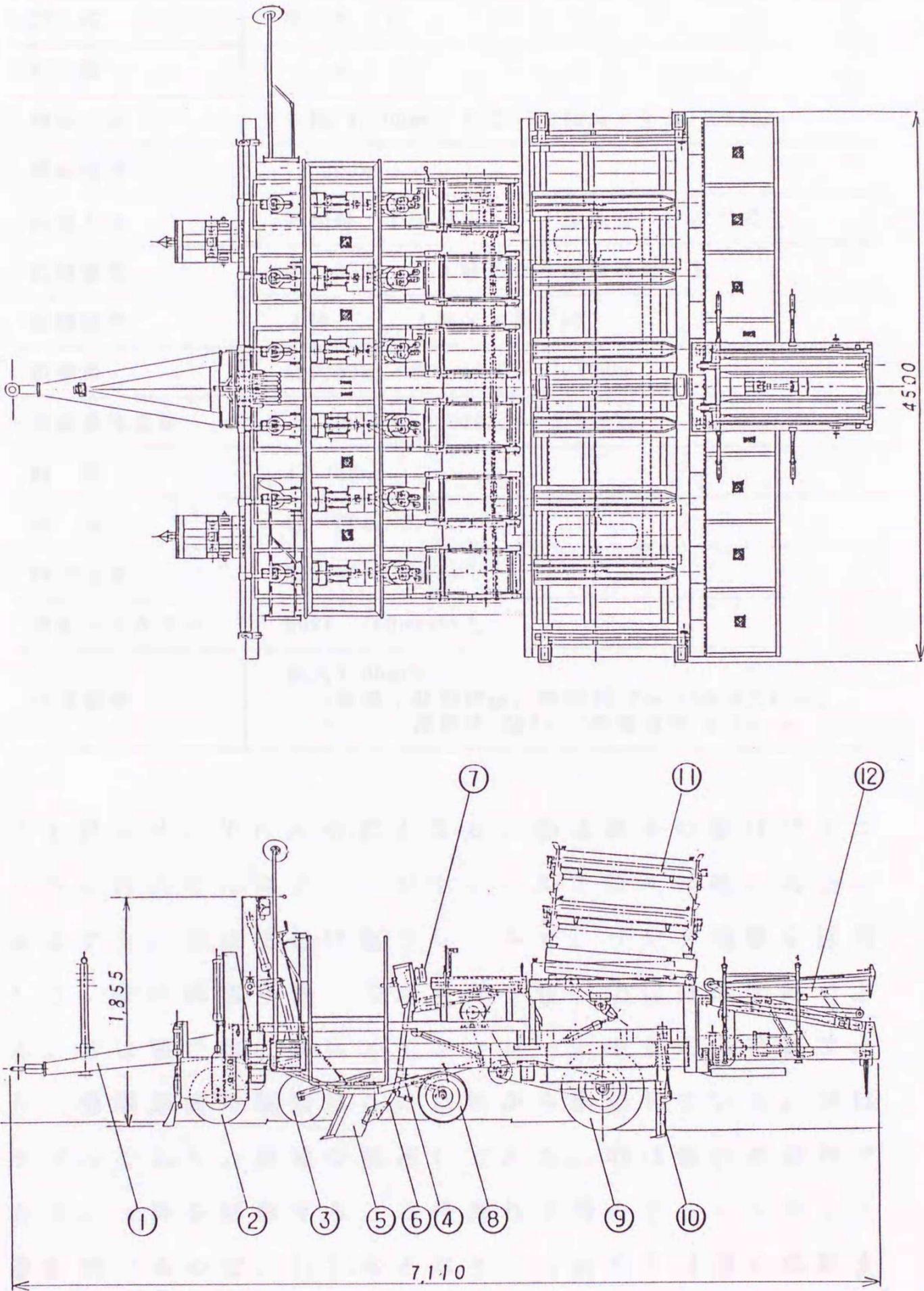


図 6 - 9 6 条用移植機の概要

表 6 - 12 6 条用移植機仕様諸元

| | |
|---------|--|
| 型 式 | N R B - 6 |
| 畦 数 | 6 |
| 機体寸法 | 全幅 4,500mm × 全長 7,110mm × 全高 1,855mm |
| 機体重量 | 2,000kg |
| 装着方法 | 旋回時 半装着式, 移植時 けん引式 |
| 苗積載量 | 最大30冊, 1畦あたり苗積載量 4冊 |
| 苗補給量 | 4 枠, 4 枠 × 6 冊 / 枠 |
| 苗重量 | 最大50kg / 冊 × 30冊 = 1,500kg |
| 苗積載時重量 | 2,000kg + 1,500kg = 3,500kg |
| 畦 間 | 45 ~ 66cm |
| 株 間 | 10 ~ 60cm |
| 作業速度 | 0.6 ~ 1.0 m / s |
| 適応トラクター | 60kW (80ps)以上 |
| 作業能率 | 最大1.0ha/h { 条件 : 畦間66cm, 株間30.3cm (50,000本/ha) } { 圃場長 800m, 作業速度 0.9m/s } |

で上昇させ、半けん引式となる。③は個々の植付けユニットに付設した第2ゲージホイールで個々の畦の凹凸に追従する。④は植付け部フレームで、リンク機構を採用した。⑤は溝切り器、⑥は苗落下管、⑦は分離装置である。⑧は鎮圧輪、⑨はメインフレームを支える後輪であり、分離装置の駆動はこの車輪から供給している。⑩はチゼルであり、後輪の跡消しである。⑪は苗の運搬枠であり、4枠を搭載する。1枠当たり6冊のチェーンポットを収納するので、計24冊となり、1畦当たり4冊を供給す

る。株間を24cmとすると1,344mを無補給で作業可能となる。⑫は苗補給装置であり、運搬枠から苗を引出し、移植機本体へ苗を供給する。苗補給装置の昇降にはアキュムレータを採用した。

6.3.2 実証実験

6.3.2.1 実験条件

日甜総合研究所の重粘土圃場において、欧米での栽培条件を想定して、畦幅45cm、株間31.5cm、作業速度0.75m/sで実施した。圃場面積が14m×100mと小さいため、くり返し使用し、実験の合計面積を1.5haとした。

6.3.2.2 結果及び考察

1) 苗取り作業

苗取り2名、運搬枠への苗供給1名、フォークリフト運転1名、計4名の構成で苗運搬用トラック1台分の積載量である48冊を1単位とし、2.5単位、120冊を連続して作業した。

苗取り作業の能率は表6-13に示す。作業の回数を重ねるごとに所要時間が減少しているが、これは作業員の慣れにより準備時間と苗取り時間が共に減少したことによる。また、作業員の疲労は聞き取り調査によるとそれほど大きなものでなく、終日作業に十分耐えるが、適当な休憩も必要であることが判った。従って、終日行われる実作業における1冊当りの苗取り所要時間は65秒程度と推定された。苗取り作業の様子を写真6-4に示す。

フォークリフトの実稼動時間は運搬枠運搬作業の内の

59%であり、あとは休止時間である。作業中も余裕があり、2倍の能率を出せるものと推定された。フォークリフト作業の様子を写真6-5に示す。



写真6-4 苗取り作業



写真6-5 フォークリフト作業

表 6 - 13 苗取り作業能率

| | 処 理 冊 数 〔冊〕 | 処 理 時 間 | 1 冊 当 り 所 要 時 間 〔s/冊〕 |
|---------|----------------|---------------|-----------------------------|
| 1 単 位 目 | 4 8 | 5 8 ' 5 3 " | 7 3 |
| 2 " | 4 8 | 5 5 ' 1 6 " | 6 9 |
| 3 " | 2 4 | 2 1 ' 5 6 " | 5 4 |
| 計 | 1 2 0 | 2 5 6 ' 0 5 " | 6 8 |

2) 苗運搬作業

4 t 積みトラックによる運搬作業の所要時間は次のとおりである。①育苗場所における荷積み（48冊）：7分6秒、②荷締め：1分29秒、③（運搬）④荷外し：1分、⑤荷降ろし：7分28秒、⑥空運搬枠荷降ろし：8分33秒、⑦荷締め：2分35秒、⑧（運搬）⑨荷降ろし：49秒、⑩空運搬枠荷降ろし：6分33秒 計35分33秒

しかし、作業の慣れと荷台の一部の改造で27分程度にまで短縮できるものと推定された。トラック運転時の速度は30km/h程度が限界であった。

運搬能力は圃場までの運搬距離に大きく影響されるが本作業体系において運搬距離15kmまでは、4t積みトラック1台で6条用移植機の最大能力に対応できると推定された。

3) 移植作業

作業能率は表6-14に示す。1回（24冊）の苗補給時間は6分11秒、また、1回の回行時間は2分14秒であり、

いずれも妥当な値である。作業能率は0.34ha/hと低いが、これは供試圃場長が100mと短く、回行回数が多いためである。次項で詳述するが、圃場長を欧米並の500mと設定すると0.54ha/hとなる。移植機への苗の積込み作業の様子を写真6-6、移植作業時の様子写真6-7に示す。

表6-14 移植作業能率

| 供試面積 ha 圃場長 m | 平均作業 速度 m/s | 圃場内作業時間 | | | | | 作業能率 ha/h |
|------------------------|-------------------|---------|---------|--------|----|---------|--------------|
| | | 移植 | 回行 | 苗補給 | 停止 | 計 | |
| 1.46 | 0.76 | 118分10秒 | 120分36秒 | 18分33秒 | 0秒 | 257分19秒 | 0.34 |
| 100 | | 45.9% | 46.9% | 7.2% | 0% | 100% | |

4) 植付け精度

a. 株間の平均は31.42cmで、設定した値(31.2cm)とほぼ等しく、SDは4.25cmであった。

b. 植付け角度は81%以上の苗が0~±14°の範囲に、また、0~±29°の範囲には97%以上の苗が含まれた。44°以上の傾斜苗や倒れ苗の発生は見られなかった。

c. 植付け深さの平均は3.4mmで、SDは8.1mmであった。

d. 鎮圧力を示す苗の引抜き抵抗力は、平均1.21kgfで目標値の1kgfを上回った。SDは0.23kgfであった。

以上、植付け精度は6.2節の直装2条用機と同等であり、安定した植付けを示した。



写真 6 - 6 苗の積み込み作業



写真 6 - 7 移植作業

6.3.3 供試機の効率利用法

供試機を効率的に利用するため、供試機用の作業能率の算出式⁸⁴⁾を導き、解析を試みた。

1) 算出式

ただし

$$n_a = \frac{2.016 \times 10^7 \cdot i \cdot v_t}{5.6 \times 10^3 \cdot i (\ell + t_a \cdot v_t) + t_b \cdot \ell \cdot v_t} \quad (6-1)$$

$$n_b = \frac{3.6 \times 10^3 \cdot \ell \cdot v_t}{5.6 \times 10^3 \cdot i (\ell + t_a \cdot v_t) + \ell \cdot v_t} \quad (6-2)$$

$$C = n_a \cdot \ell \cdot w \cdot 10^{-4} \quad (6-3)$$

C : 圃場作業量 [ha/h] , ℓ : 圃場長 [m]

v_t : 作業速度 [m/s] , w : 作業巾 [m]

i : 株間 [m] , t_a : 回行時間 [s/回]

t_b : 苗補給時間 [s/回]

n_a : 走行回数 [回/h] = 回行回数 [回/h]

n_b : 苗補給回数 [回/h]

2) 圃場長と圃場作業量

圃場長が長いほど能率が上がるのは当然であるが、図6-10に示すごとくその関係は曲線となり、400m以下では急速に能率を下げることが判った。

3) 株間と圃場作業量

株間を広げると(当然、栽植密度も低くなる)能率は上がるが、図6-11に示すごとくその割合は小さい。このことは栽植密度に関連する苗補給が効率的に行われて、能率に余り影響しないことを示している。

4) 作業速度と圃場作業量

作業速度と圃場作業量はほぼ直線的に変化し、図 6-12 に示すごとく変化の割合は大きい。

5) 畦間及び株間と圃場作業量

栽植密度を一定とし、畦間を変化させた場合の圃場作業量を調べた。図 6-13 に示すごとく畦間を広げると能率は直線的に増大し、その割合は大きい。

6) 効率利用のための最適条件

供試機の効率的利用のための最適条件についてまとめると下記のようなになる。

- a. 畦間を大きくする。
- b. 栽植密度を少なくする。
- c. 圃場を長くする。特に 400 ~ 500 m 以上が望ましい。

(ただし、1 回の苗補給で片道または往復の植付けが可能な範囲で)

- d. 作業速度を高くする。

これらの内 a. c. d. が要因として大きい。

[例] 現実的な範囲内で適条件と不適条件を設定し、その効率を比較してみた。

| | 適条件 | 不適条件 |
|-------|--------------------|--------------------|
| 畦間 | 0.66 m | 0.45 m |
| 栽植密度 | 50,000本/ha | 70,000本/ha |
| 株間 | 0.303 m | 0.317 m |
| 圃場長 | 800 m | 200 m |
| 作業速度 | 0.9 m/s | 0.6 m/s |
| 回行時間 | 134 s/回 (実証実験結果より) | 134 s/回 (実証実験結果より) |
| 苗補給時間 | 370 s/回 (実証実験結果より) | 370 s/回 (実証実験結果より) |

適条件

$$n_a = \frac{2.016 \times 10^7 \times 0.303 \times 0.9}{5.6 \times 10^3 \times 0.303 (800 + 134 \times 0.9) + 370 + 800 \times 0.9} = 3.007$$

$$C = 3.007 \times 800 \times 0.66 \times 6 \times 10^{-4} = 0.95 \text{ [ha/h]}$$

不適条件

$$n_a = \frac{2.016 \times 10^7 \times 0.317 \times 0.6}{5.6 \times 10^3 \times 0.317 (200 + 134 \times 0.6) + 370 + 200 \times 0.6} = 7.072$$

$$C = 7.072 \times 200 \times 0.45 \times 6 \times 10^{-4} = 0.38 \text{ [ha/h]}$$

適条件と不適条件で能率に極めて大きな差を生じることが判った。従って、効率的に利用するためには上記条件を整備して運行することが重要なことである。

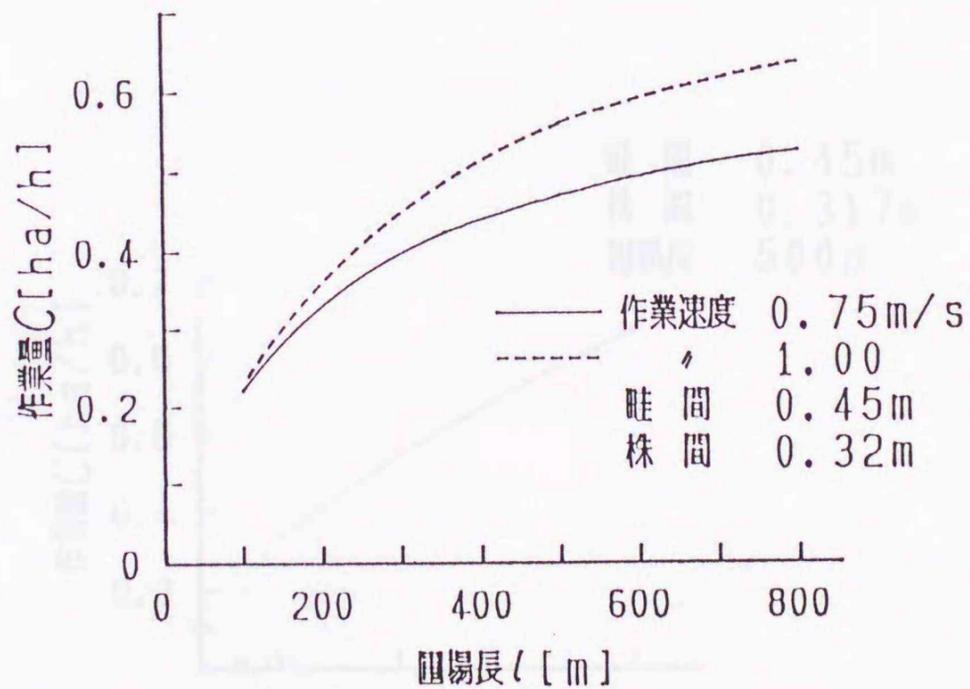


図 6 - 10 圃場長と圃場作業量

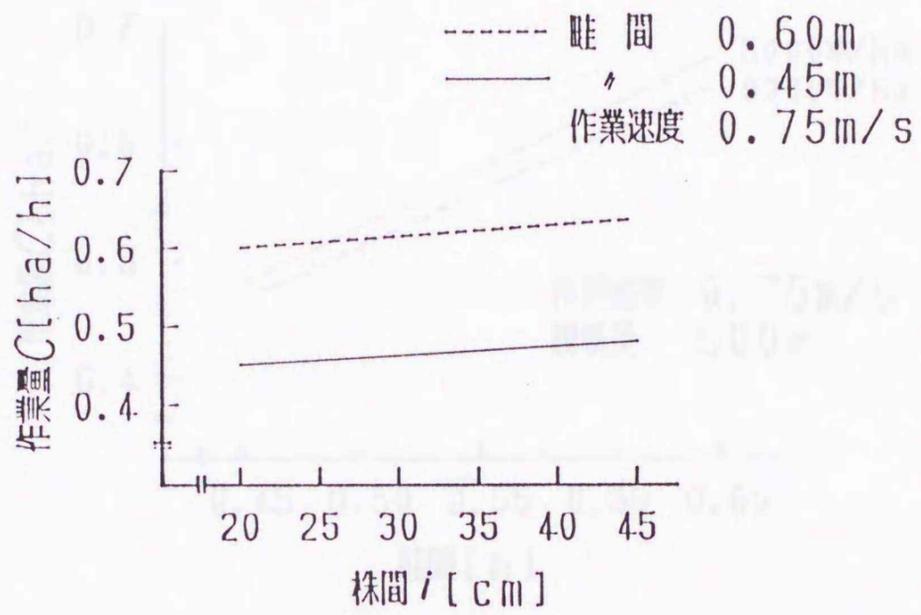


図 6 - 11 株間と圃場作業量

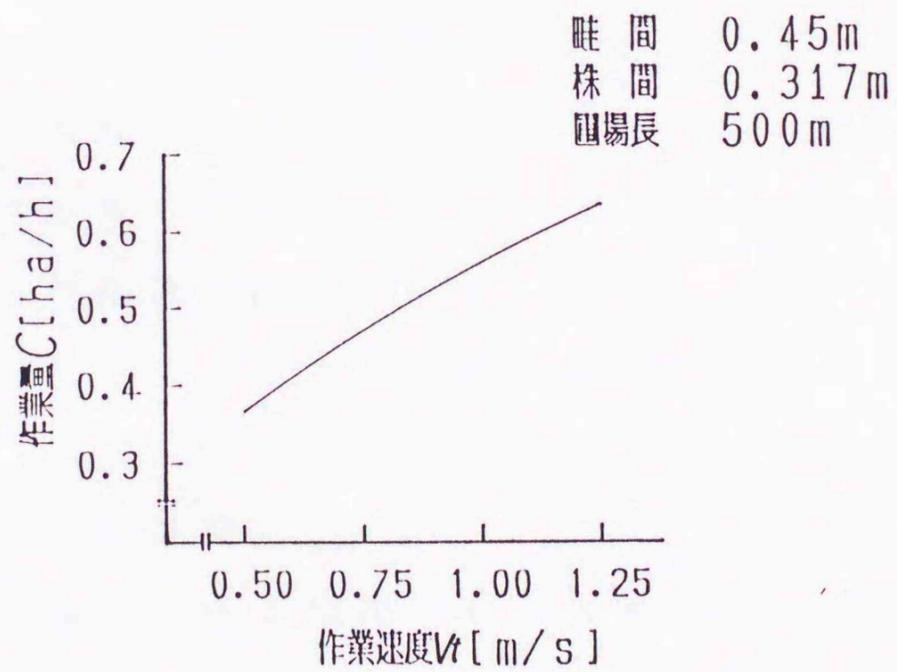


図 6 - 12 作業速度と圃場作業量

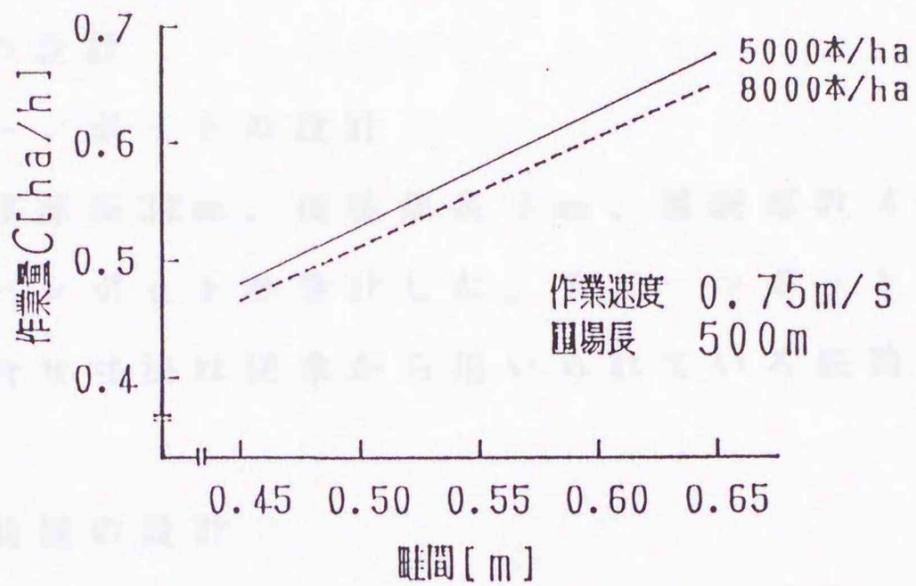


図 6 - 13 畦間と圃場作業量

6.4 本章のまとめ

第3章～第5章の結果を基にチェーンポット及び2条用と6条用の移植機を試作して、性能を調査し、実用性を検討した。結果を要約すると以下のとおりである。

1) 主要部の設計

(1) チェーンポットの設計

分離誘導部長32mm、接続部長3mm、接続部数4箇所としたチェーンポットを設計した。チェーンポットの口径、高さ、綴合せ寸法は従来から用いられている紙筒と同じとした。

(2) 分離装置の設計

分離角度を 12° 、速度比を6とする実用機搭載のための分離装置を設計した。

(3) 植付け装置の設計

設定作業速度を 0.95 m/s として、これに対応する背面角度 65° を有する植付け装置を設計した。なお、苗落下管は機長の短縮を目的に曲管とした。

2) 2条用移植機の試作及び実証

(1) 2条用移植機の設計

1)の設計に基づきトラクタ直装型の2条用移植機を試作した。

(2) 植付け精度実験

火山性土及び重粘土圃場で行ったところ、第5章の結果と同様土壌の種類による差はみられなかった。植付け角度のばらつきは実験全体で $SD\ 6.9^\circ$ であり、第5章

の基礎実験結果よりやや大きかった。直立植えとなる作業速度は0.7～0.8m/sであり、0.95m/sとした設計基準と異なる結果となった。これは、くり返し用いた第5章の土壌と実際の圃場とは土壌の物理性が異なるためと推測された。従って、実用機設計にあたっては、このことを考慮し、溝切り器背面角度に対する適応速度を0.15～0.2m/s程度減じる修正が必要である。

株間の変動は在来機種のごム円板式とほぼ同等であり、栽培上、十分に許容範囲内であった。

(3) 実証実験

試作機を用い5年間にわたり計42.1haの実証実験を十勝を中心に日本甜菜製糖(株)管内24農家で実施した。植付け精度は(2)の植付け精度実験とほぼ同じであった。作業能率は在来機種とほぼ同等で、1時間当り18～22aの能率であった。ただし、作業員数が減った分、省力となった。

3) 6条用移植機の試作

欧米などの大規模圃場に対応するため、トラクタけん引型の6条用移植機を試作した。装着方法は作業時に直進性と植付け深さを安定させるためけん引式とし、回行時は旋回半径の減少と後進を容易とするため半装着式とした。苗の搭載量は24冊であり、株間24cmで約1.3kmを無補給で作業可能とした。

(1) 実証実験

苗取り作業は3名で6条用移植機に対応できることが

判った。苗運搬トラックの走行速度は30 km/h程度が限界と知った。苗の運搬は運搬距離15 kmまでは、4 tトラック1台で6条用移植機の最大能力に対応できることが判った。移植作業能率は1時間当り0.54 haであり、目標どおりであった。植付け精度は2条用移植機とほぼ同じであった。

(2) 効率利用

大型機を効率的に利用するために、本機用の作業能率の算出式を導いた。効率を大きく左右する要因は畦間、圃場長、作業速度であることが判った。従って、上記条件を整備して運行することが重要であることを知った。

以上のことから、供試機は実証実験においても、所期の性能を発揮し、本研究によるチェーンポットとその分離装置及び植付け装置は実用に十分供し得ることが立証されたものと判断した。

第7章 総括

世界でおよそ 870万 ha栽培されているテンサイは日本では北海道でのみ栽培され、その面積は 7.2万 haである。そして、その栽培方式は紙筒移植方式が広く定着しており、この点は諸外国での直播方式と比べ大きな相違がある。

移植方式は直播方式における播種及び間引き作業が不要となり、かつ、中耕除草に要する時間も減じた反面、育苗施設における床土準備、紙筒への土詰播種、育苗及び移植の各作業が必要となり、労働時間は逆に増加した。この労働時間増加の対応として、省力化の努力が続けられ、今日では直播栽培とほぼ同等となっている。移植機械についても、その改良に大きな進展をみせ、作業時間は半減している。しかし、人手により苗の補助供給を行う現状の半自動方式においては、苗供給での新たな技術革新がない限り、自動化への飛躍は望めない。

そこで、移植機の自動化と高速化を目標に、自動化に必須な苗供給部の無人化を計るため、紙筒の構造と移植機械の両面から考察し、新発想のもとに連続した紙筒（チェーンポット）と、これを個々の苗に高速分離する装置を開発した。あわせて、上記分離装置の能力に呼応する、機構が簡単で、高速植付けに適する苗落下方式による新たな植付け装置を開発した。次に、これらの装置を搭載したトラクタ直装式の2条用移植機とトラクタけ

ん引式の6条用移植機を試作し、実証実験を行い、省力性はもとより移植機としての基本性能においても実用に十分供し得る内容であることを確認した。

I チェーンポット式自動移植機構

(第2章の要旨)

1) チェーンポットを用いた既往の自動化研究は宿命的に苗間隔の狂い易い性質に逆らって、無理にピッチを合せて分離しようとするところに基本的な誤りがあった。そこで、苗間に分離誘導部と呼ぶ切込みを入れ、その上部を数箇所接続し、分離誘導部を手掛りに最初の接続部に応力を集中させて、順次接続部を切断することにより、小さな力で、かつ、苗間のピッチを合せずに分離可能と考察した。そして、この考えに基づく新しいチェーンポットと高速処理可能なローラの組合せによる実用的な分離装置を提案した。

2) 植付け部は機構が極めて簡単で、土中において可動部分がなく、分離機構に対応して自動化・高速化の可能な苗落下式植付け機構に着目した。しかし、従来の機構は移植機の進行に伴う苗の慣性力についてほとんど考慮されていなく、そのため、植付けは不安定であった。実用上は慣性力によって転倒がしづらい口径の大きい、長さの短い鉢体苗の使用に限られ、かつ、作業速度は大きな制約を受けていた。そこで、本機構を高速化するについては、①苗が所定角度で所定位置に落下すること、②溝

切り器の後方に発生する植付け穴の位置が一定であること、の2つの条件を満たすことが必須と考えられた。①に関しては、速度の遅い苗の落下軌跡を基準にして、溝切り器背面の曲面を作り、速度の速い苗をこの曲面で姿勢と位置の制御をさせることにより、また、②に関しては、溝切り器の長さを開溝部が最大となる長さに設定して、この溝切り器側壁により土壌の流れが制御されることにより、上記の条件を満たすことが可能と考察し、この考えに基づく植付け機構を提案した。

II チェーンポットと分離機構の実用化の検討

(第3章の要旨)

チェーンポットの分離について基礎実験を行い、チェーンポット設計のための基礎資料を得るとともに、これらの結果を基に3種のチェーンポットと高速分離を可能とする実験装置を試作し、実用的なチェーンポットと分離装置について検討した。結果を要約すると以下のとおりである。

- 1)チェーンポットの接続部の強度は苗の引出し距離に対応し、8～14Nを必要とすることが判った。実用には更に安全率を考慮して決定する必要がある。
- 2)接続部を一点とした実験において、分離力の点から分離誘導部の長さは30mm以上あることが望ましく、この時の分離力は分離誘導部のない場合と比べ1/3～1/5に減少することが判った。また、接続部の長さは正常な分離

が行われる 3 mm 以下が適当であった。

3) 接続部を多点とした実験においても、2) とほぼ同様の結果が得られ、接続部を分散させ分離誘導部を介して経時的に分離させることにより、その分離力は約 1/5 に減じ、分離について極めて有利な方法であることが明らかとなった。

4) 以上の結果から接続部の長さを 3 mm、接続個所を 4 箇所、分離誘導部の長さを 3 種類としたチェーンポットを試作するとともに、連続的に分離可能な実験装置を試作し、分離ローラの速度比及び角度について検討した。あわせて、育苗鉢体としての機能面からも検討を加えた。その結果分離角度は $12 \sim 15^\circ$ 、速度比は 6 ~ 7、また、分離誘導部は 30 mm が最も許容度が高く、安定した分離の得られることが判明した。

Ⅲ 苗落下式植付け機構の基礎的な検討

(第 4 章の要旨)

苗落下式植付け機構について、その理論的検討を行うとともに実験により実用機への適用に必要な基礎資料を得た。要約すると以下のとおりである。

1) 溝切り器の後方に出現する植付け穴は溝切り器の進行に伴い定常的に発生するので、苗が溝切り器の背面に沿って落下するならば必ず溝底に達する。そして、この植付け穴は時間の経過とともに埋め戻され、同時に苗もこの埋め戻される土壌により徐々に拘束され、苗の持つ慣

性力と戻り土の保持力が平衡したとき苗は固定されるものと考察された。

2) 溝切り器背面に沿って苗を落下させるには、苗落下管から放出される時の速度と角度を決定すればよい。このうち速度については苗落下管と苗との動摩擦係数を知ることにより所要速度を得るための高さが決まる。そこで動摩擦係数を求める関係式を導き、実験により本植付け機構に適用できる実用的な動摩擦係数を求めた。また、苗落下管から放出された苗は放物落下運動となる。従って、溝切り器背面に沿って苗を落下させるに必要な苗の放出角度、放出速度、着地角度を算出する関係式を求めた。

3) 溝切り器による土壌の流れとその制御

本植付け機構を実用機構に発展させるには、溝切り器の走行によって生じる土壌の開溝部の形状を定常化する必要がある。そこで、まず、溝切り器として半円柱を用いて、その後方に生じる開溝部の形状が半円柱の大きさや作業速度、土壌の種類によってどのように変化するかを実験により調べ、以下の知見を得た。

- a. 開溝部の長さは移動速度の増加に比例して長くなり、その増加割合は土質により異なる。
- b. 同一土壌での土壌水分による開溝部長さへの影響は極めて小さい。
- c. 開溝部の輪郭曲線を求める式が火山性壤土と沖積土のそれぞれについて得られた。

次に、開溝部の土壌の流れを制御する目的で、上記の知見をもとに、形状を輪郭曲線とした溝切り器と製作上の有利性を考慮して直線とした溝切り器を供試したところ、いずれも期待どおりの結果が得られ、開溝部の形状を定常化することが可能となった。

IV 植付け理論の実用化の検討

(第5章の要旨)

第4章の結果をもとに植付け装置を試作し、苗が植付けられる条件とその精度について実験により検討を行い、実用機設計の資料を得た。結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 移動速度が増すに伴い、各溝切り器とも植付け角度はほぼ直線的に減少した。そして、その減少割合は移動速度 0.1 m/s の増加に対して、 $4\sim 5^\circ$ であった。
- 2) 背面角度が小さくなれば植付け角度は増大し、溝切り器の背面角度と植付け角度は逆比例の関係にあることが明らかとなった。そして、その減少割合は背面角度 1° の増加に対して、植付け角度は約 2° であった。
- 3) 土壌水分の違いによる植付け角度に大きな差はみられず、これによる影響はほとんどないものと判定された。また、火山性壤土と沖積土との間にも植付け角度の差はみられなかった。
- 4) 植付け角度の標準偏差は $3\sim 7^\circ$ の範囲であり、在来移植機と比べても遜色なく、十分に実用範囲内であると

判定された。また、植付け高さもその標準偏差は2～6 mmの範囲にあり、植付け精度は高いと判断された。

5)本章と第4章から、溝切り器の移動速度を設定すると、①溝切り器の背面角度と幅、②溝切り器の平面形状と長さ、③溝切り器の高さ、④苗落下管の溝切り器からの高さと角度、⑤苗の放出速度と苗落下管末端の溝切り器からの位置、⑥苗落下管の長さ、の順で植付け装置の設計が可能となった。

V 試作機の性能

(第6章の要旨)

第3章～第5章の結果を基にチェーンポット及び2条用と6条用の移植機を試作して、性能を調査し、実用性を検討した。結果を要約すると以下のとおりである。

1)トラクタ直装型の2条用移植機を試作し、火山性土及び重粘土圃場で植付け精度を調査したところ、第5章の結果と同様に土の種類による差はみられなかった。植付け角度の標準偏差は実験全体で 6.9° であり、第5章の基礎実験結果よりやや大きかった。直立植えとなる作業速度は $0.7 \sim 0.8 \text{ m/s}$ であり、 0.95 m/s とした設計基準と異なる結果となった。これは、くり返し用いた第5章の土壌と実際の圃場とは土壌の物理性が異なるためと推測された。従って、実用機設計にあたっては、溝切り器背面角度に対する適応速度を $0.15 \sim 0.2 \text{ m/s}$ 程度減じる修正が必要である。株間の変動は在来機種のコム円板式

とほぼ同等であり、栽培上、十分に許容範囲内であった。

2) 5年間にわたり合計42.1haの実証実験を24農家で試みたところ、省力性は在来機種に優り、また、さまざまな移植条件に対する許容度も高く、十分な実用性を確認した。

3) 欧米などの大規模圃場に対応するため、トラクタけん引型の6条用移植機を試作した。装着方法は作業時に直進性と植付け深さを安定させるためけん引式とし、回行時に旋回半径の減少と後進を容易とするため半装着式とした。移植作業能率は1時間当たり0.54haであり、植付け精度は2条用移植機と同じであった。また、大型機を効率的に利用するために、本機用の作業能率の算出式を導き、検討した。効率を大きく左右する要因は畦間、圃場長、作業速度であることを知った。従って、上記条件を整備して運行することが重要であると判定された。

以上のことから、供試機は実証実験においても、所期の性能を発揮し、本研究によるチェーンポットとその分離装置及び植付け装置は実用に十分供し得ることが立証されたものと判断した。

謝 辞

本研究は1975年から現在までの18年間にわたって行った全自動移植機の開発に関する研究をまとめたものである。本研究に深い御理解を示され、学位論文としての取りまとめに当り、終始懇切丁寧な御指導を賜った北海道大学大学院農学研究科農業工学専攻、寺尾日出男教授に心から感謝の意を表するとともに、本論文を校閲していただき御助言をいただいた北海道大学大学院農学研究科農業工学専攻、伊藤和彦教授、高井宗宏助教授に深く感謝する次第である。また、本論文を校閲していただくとともに、実験の一部を共同研究として行っていただいた帯広畜産大学畜産学部、宮本啓二教授、実験の御指導をいただいた帯広畜産大学畜産学部、松田清明助教授に深く感謝する次第である。また、北海道大学大学院農学研究科農業工学専攻、南部悟元教授には本論文をまとめるに当り、数々の貴重な助言をいただいた。心から謝意を表す。なお、日本甜菜製糖株式会社、常務取締役総合研究所長増田昭芳博士には本研究の課題を与えられ、終始御指導と御鞭撻を賜り、厚く御礼申し上げる次第である。更に、本研究の実施に当り、日本甜菜製糖株式会社、総合研究所次長鶴龍蔵氏（現十勝鉄道株式会社取締役）、主席研究員谷村正志氏をはじめ多くの方々のご支援をいただいた。心から謝意を表す。最後に、論文の作成に当って多大の援助を受けた森田栄子さんに深謝する。

参 考 文 献

- 1) (社) 北海道てん菜協会編 : てん菜糖業年鑑, 344-347, 1992
- 2) (社) 北海道てん菜協会編 : てん菜糖業年鑑, 256, 1992
- 3) (社) 北海道てん菜協会編 : てん菜糖業年鑑, 354-357, 1992
- 4) ニューカントリー編集部編 : 最先端の農業機械, 125-129, 1990
- 5) (社) 北海道てん菜協会編 : てん菜糖業年鑑, 91-120, 1992
- 6) (社) 北海道農業機械工業会編 : 北海道農業機械発達史, 122-134, 1988
- 7) 北海道立農業試験場十勝支場編 : 昭和38年度てん菜試験成績書, 215-221, 1963
- 8) 北海道立中央農業試験場編 : 昭和39年度試験成績書, 1-22, 1964
- 9) 北海道立十勝農業試験場編 : 昭和50年度農業機械科試験成績書, 68-72, 1976
- 10) 北海道立十勝農業試験場編 : 昭和57年度農業機械科試験成績書, 29-36, 1983
- 11) 北海道立十勝農業試験場編 : 昭和58年度農業機械科試験成績書, 33-38, 1984
- 12) てん菜機械化開発研究協議会編 : 平成2年度てん菜

- 機械化に関する研究報告, 13-15, 1991
- 13) 北海道立十勝農業試験場編: 昭和53年度試験成績,
61-63, 1979
 - 14) 北海道立十勝農業試験場編: 昭和54年度試験成績,
57-59, 1980
 - 15) Werstler, R. N.: Transplanting-Machine, U. S. Patent
1, 192, 140, 1916
 - 16) Bagwill, R. E.: Briquette for Growing of Plants,
U. S. Patent 3, 375, 607, 1968
 - 17) 増田昭芳: 帯状に連続した苗の育成用紙器, 特公昭
46-13, 641
 - 18) Dalton, J. E.: Apparatus and Method for Planting,
U. S. Patent 3, 611, 643, 1971
 - 19) Kesinger, D. A., L. S. Inscho: Transplant Handling
Means, U. S. Patent 3, 906, 875, 1975
 - 20) 増田昭芳, 南部哲男: 連続集合鉢体の分離方法とこ
れに用いる鉢体, 特公昭55-30, 805
 - 21) 増田昭芳, 南部哲男: 移植機の植付装置, 特公昭55-
46, 126
 - 22) 増田昭芳, 谷村正志, 南部哲男: テンサイの全自動
移植方法について, てん菜研究会報 24, 181-185,
1982
 - 23) 北海道立十勝農業試験場編: 昭和57年度農業機械科
成績書, 24-28, 1983
 - 24) Smith, J. A., R. G. Wilson, J. G. Robb: Paperpot

- System for Mechanized Sugarbeet Transplanting,
ASAE Paper No. 84-1, 516, 1984
- 25) Suggs, C. W., J. W. Gore, H. B. Peel, T. Seaboch:
Self-Feeding Transplanter for Tobacco and
Vegetable Crops, ASAE Paper No. 86-1, 095, 1986
- 26) Moden, W. L., V. L. Hauser: An Automatically-Fed
Bandoleer Transplanter, Trans. ASAE 1982, 864-
-867, 1982
- 27) Moden, W. L., V. L. Hauser: Automatically Fed
Transplanter Using the Bandoleer Concept, ASAE
Paper No. 80-1, 554, 1980
- 28) Hauser, V. L.: An Automatic Grass Transplanting
System, ASAE Paper No. 83-1, 520, 1983
- 29) Boa, W.: The Design and Performance of an
Automatic Transplanter for Field Vegetables,
J. Agri. Eng. Res. 30, 123-130, 1984
- 30) 南部哲男: 連続紙筒集合鉢体苗の分離移植装置, 特
公昭63-61, 887
- 31) 南部哲男, 谷村正志: そ菜用全自動移植機の開発,
農機北海道支部報, 第24号, 57-60, 1983
- 32) 南部哲男: 連続紙筒集合鉢体苗の分離移植機におけ
る植付け方法及び装置, 特公昭63-61, 886
- 33) 梶 昌幸, 伊藤泰明, 谷村正志, 南部哲男: 移植機
の苗分離装置, 実公昭63-25, 957
- 34) 少覚三千宏, 増田昭芳, 南部哲男, 梶 昌幸: 連続

- 紙筒苗分離装置，実公昭63-40,089
- 35) 農業機械学会北海道支部編：野菜の特性・作型と機械化及び野菜用機械の特徴と性能，32-35，1986
- 36) ニューカンントリー編集部編：最先端の農業機械，200-205，1990
- 37) Lee, Y., J. Wang, B. A. Kratky: An Improved Seedling Block Transplanter, Trans, ASAE 1982, 313-315, 1982
- 38) Groot, P. F.: Recent Innovations in the stabilized soil Plug Automatic Transplanter, ASAE Paper No. 86-1, 019, 1986
- 39) Brewer, H. L.: Experimental Automatic Feeder for Seedling Transplanter, ASAE Paper No. 87-1, 021, 1987
- 40) Brewer, H. L.: Automatic Cassette-Type Seedling Transplanter Development, ASAE Paper No. 89-1, 082, 1989
- 41) 梶 昌幸，遠藤雅博：苗列分離器，実開昭61-160, 610
- 42) 梶 昌幸，遠藤雅博：移植機の苗送り制御装置，実開昭61-231, 912
- 43) 梶 昌幸，山本信弘，岸田佳剛，川井邦義：苗分離器の苗列への追従装置，特公平3-8, 723
- 44) 遠藤雅博，梶 昌幸：苗の移植装置，特公平3-60, 443

- 45) 遠藤雅博, 梶 昌幸 : 移植機の苗送り装置, 特公平
3-56, 717
- 46) 佐々木 繁, 北口晶一 : 移植機の苗選別供給装置,
特開昭63-71, 611
- 47) 三川 勲, 遠藤雅博, 岸田佳剛, 山本信弘 : 移植機
の紙筒苗選別搬送装置, 実公平2-28, 648
- 48) 三川 勲, 遠藤雅博, 岸田佳剛, 山本信弘 : 移植機
の紙筒苗選別搬送装置, 実公平2-29, 843
- 49) 遠藤雅博 : 苗選別装置, 実開昭61-120, 312
- 50) 岸田佳剛, 梶 昌幸 : 土付苗選別機用ベルト, 実開
昭61-186, 311
- 51) 遠藤雅博, 梶 昌幸, 山本信弘, 越野孝幸 : 紙筒苗
移植機, 実公平3-40, 089
- 52) 三川 勲, 斉木康行 : 紙筒苗の選別供給装置, 実開
昭64-45, 917
- 53) 佐々木 繁, 佐々木孝, 北口晶一 : 移植機の苗選別
供給装置, 特公平3-7, 322
- 54) 佐々木 繁, 北口晶一 : 移植機の苗選別供給装置,
特公平3-62, 365
- 55) 北口晶一, 高橋 清 : 移植機の苗選別供給装置, 特
公平2-35, 007
- 56) 三川 勲 : 選別装置付移植機, 特開昭57-155, 906
- 57) 三川 勲 : 移植機の苗選別装置, 特公昭63-35, 205
- 58) 川井邦義 : 移植機の苗供給装置, 特開平1-168, 203
- 59) 川井邦義 : 苗移植機の苗供給装置, 特開平1-289, 408

- 60) 三川 勲, 遠藤雅博, 梶 晶幸, 岸田佳剛, 山本信
弘 : 多畦用土付苗移植機, 特公平3-4, 162
- 61) 三川 勲, 梶 晶幸, 齊木康行 : 苗自動移植方法及
び苗自動移植機, 特開平2-273, 106
- 62) Ardalan, S. H., A. E. Hassan : Automatic Feeding
and Sorting of Bare Root Seedlings, ASEA 25(2),
266-270, 1982
- 63) Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, W. P. Kabala
: End-Effector Development for Robotic
Transplanting of Seedlings, ASAE Paper No. 88-
1544
- 64) Hwang, H. : Implementation of a Robotic
Manipulator on a Mechanical Transplanting
Machine, SME, MS86-426, 1986
- 65) Stephenson, K. Q. : Transplanter for Balled-Root
Plants, ASAE Paper No. 81-1084, 1981
- 66) Ardalan, S. H., A. E. Hassan : Automatic Feeding
and Sorting of Bare Root Seedlings, ASAE
Paper No. 81-1082, 1981
- 67) 日本規格協会編 : J I S ハンドブック 紙・パルプ,
1985
- 68) 上野桂助 : 紙の強度, 丸善株式会社, 197-211, 1973
- 69) 門屋 卓, 角裕雄一郎, 吉野 勇 : 新・紙の科学,
有限会社中外産業調査会, 301, 1989
- 70) 金原寿郎編 : 一般物理学, 裳華房, 32-53, 1963

- 71) 五百井 仁 : 数学, 学術図書出版社, 34-41, 1963
- 72) 佐藤瑞穂 : 物理学演習 (上巻), 培風館, 48-53,
1981
- 73) 後藤憲一, 山本邦夫, 神吉 健 : 物理学演習, 共立
出版株式会社, 39-56, 1981
- 74) 科学の実験編集部編 : 物理実験, 共立出版, 36,
1977
- 75) Koolen, A. J., H. Kuipers, 木谷 収監訳 : 農業土壌力
学, 養賢堂, 218-219, 1986
- 76) Payne, P. C. J. : The relationship between the
mechanical properties of soil and the
performance of simple cultivation implements,
J. Agri. Eng. Res. 1, 23-50, 1956
- 77) Payne, P. C. J., D. W. Tanner : The relationship
between rake angle and the performance of simple
cultivation implements, J. Agri. Eng. Res. 4,
312-325, 1959
- 78) Strafford, J. V. : The performance of a rigid tine
in relation to soil properties and speed,
J. Agri. Eng. Res. 24, 41-56, 1979
- 79) Willatt, S. T., A. H. Willis : Soil compaction in
front of simple tillage tools, J. Agri. Eng. Res.
10, 109-113, 1965
- 80) 増山元三郎 : 実験公式の求め方, 竹内書店, 14-44,
1962

- 81) てん菜機械化開発研究協議会編：平成元年度てん菜
機械化に関する研究報告，20-31，1990
- 82) 土壌物理研究会編：土の物理学，森北出版，220-221，
311-330，1981
- 83) 井村悦夫，早坂昌志：移植テンサイの株間変動が根
重，品質に及ぼす影響，てん菜研究会報26，65-71，
1984
- 84) 農作業試験法編集委員会編：農作業試験法，農業技
術協会，17-23，1987

DEVELOPMENT OF A CHAIN POT AUTOMATIC TRANSPLANTER

by

Tetsuo NAMBU

SUMMARY

Sugar beet is grown around the world in a total area of about 8.7 million ha. In Japan, Hokkaido is the only place where this crop is grown and the cultivated area covers a total of 72,000 ha. The cultivation method used widely in Hokkaido is the paper pot transplanting method. This makes Hokkaido very different from other countries where direct seeding method is used.

The transplanting method has some advantages over the direct seeding method in such aspects as reducing the time for sowing, thinning and cultivation. On the other hand, the transplanting method requires more time for such labor intensive operations as seed bed preparation at a seeding center, seeding into the paper pots, raising seedlings and finally, transplanting. To deal with this disadvantage, efforts have been made in this studies to reduce the amount of labor required. As a result, the transplanting method now requires only as much time as the direct seeding method. In this studies transplanters were improved so much that working hours have been reduced by 50 %. The existing transplanters however, are still semi-automatic, which requires human labor to feed the seedlings to the planting mechanism.

Unfortunately, complete automation can not be achieved unless there is a radical technical innovation in seeding mechanism.

Therefore, the problem of complete automation was studied both from the aspect of both the paper pot structure and the transplanter itself in order to change the seed feeding process which is currently manual to an automatic operation, this way, the goals of complete automation will be achieved and transplanters speed increased. As a result, continuous paper pots(chain pots) and a device to separate these paper pots at a high speed into individual seedlings were designed. Furthermore, a new planting device was designed to use a drop chute method, which matches the ability of the separating device. It is an easy mechanism to operate and is suitable for high-speed planting. Next, a tractor-mounted 2-row transplanter and a tractor-trailed 6-row transplanter were designed. Both were equipped with these new devices and experimental planting was successfully conducted. This confirmed that these devices are not only labor saving but also highly practical.

I. Automatic Transplanting Mechanism with Chain Pots (Chapter 2)

1) Former chain pot automatic transplanters had a fundamental defect, that is, the tendency to misjudge the distance between each pot. This defect was taken care of by increasing the speed of the transplanter. A way was searched for to separate the pots without an excessive amount of force and without increasing the speed of the transplanter. It was realized that this could be done by putting a slit, called a

separation-guide-portion between the pots, and connecting the top of the pots at a few places. The separation force was then concentrated on the first joint while holding the separation-guide portion, and cutting the joint one after the other. Based on these ideas, a separating device was designed to combine the new chain pots and high-speed processing rollers.

2) The speed of planting aspect of the process with a drop chute mechanism which has no underground movable parts increased. There is also the possibility of further automation and increasing the speed in conjunction with the abilities of the separating mechanisms.

The former mechanism, however, did not have the pot's inertia, accompanied by the transplanter's movement, therefore, planting was unreliable. In practice, this limited the transplanter to the use of short and big-round potted seedlings, which extremely limited the traveling speed of the transplanter. It was assumed that it would be necessary to satisfy the following two conditions to increase the speed of the transplanter; (a) the pots should fall at a designated angle into a designated position. (b) the position of the plant hole, which appears behind the furrow opener, should be uniform. The new planting mechanism was designed to be based on the believe that it was possible to meet the two conditions by: (a) creating a curved surface on the backboard of the furrow opener based on the falling path of the slower pots, and control the posture and position of the slower pots at this curved surface, (b) set the length of the furrow opener at its widest point, and control the flow of the soil with the side wall of the furrow opener.

II. Practical Application of the Chain Pot and the separating Mechanism (Chapter 3)

A basic experiment was carried out on separation of the chain pots to acquire some fundamental data for designing chain pots. At the same time, several kinds of chain pots were designed and fabricated. An experimental device which allows separation of the pots at high-speed was also designed and fabricated. The practical application of the chain pots and the separating device was investigated. The results are as summarized below:

- 1) The strength of the joint of the chain pots has to be between 8-14N, matching the length that seedling rows were pulled out. For practical use, the safety factor must be considered in deciding the strength.
- 2) From an experiment with a single joint it was clear that it is desirable for the length of the separation-guide-portion to be 30 mm or more. It was also discovered that the separating force with the separation-guide-portion could be reduced to 1/3-1/5 of that used for the pots without one. Also the length of the joint should be less or equal to 3 mm for normal separation to occur.
- 3) In an experiment with multiple joints, similar results were obtained as in the experiment described in 2). The separation force can be reduced by 1/5, by tearing apart the joints and separating the pots gradually using the separation-guide-portion. It was proved that the

separation-guide-portion is a very advantageous innovation.

4) Using the results of the above experiments, experimental chain pots were manufactured with 3 mm long joints, four connected spots and with three different lengths of separating-guide-portions. An experimental device was also manufactured which the ability to separate pots continuously. The separating velocity ratio and angle of the separating roller and its capacity for seedling pots were examined. The highest allowable limit and the most stable separation occurred with a separating roller angle of 12-15 degrees with a separation velocity ratio of 6-7, and separation-guide-portions of 30 mm.

III. Drop Chute Type Transplanting Mechanism (Chapter 4)

A theoretical investigation of the mechanism for the drop chute type transplanter was carried out. At the same time, fundamental data of the mechanism were collected through experiments for the purpose of prototype fabrication. A brief summary of the findings is as follows:

1) Since the plant holes behind the furrow opener occur steadily as the furrow opener proceeds, pots will eventually reach the bottom of the furrow if they fall along the side of backboard of the furrow openers. It was observed that the plant holes refilled as time passed, and the soil, which refilled the plant holes, gradually restrained the pots. The pots were stabilized when their inertia and the soil's retention force were equal.

2) To drop the pots along the backboard of the furrow opener, the optimum velocity and the angle at which the pots are to be released from the drop chute pipe was selected. To determine the velocity, there was a need to figure out the necessary height of drop to achieve the required velocity by calculating the coefficient of dynamic friction between drop chute pipes and the pots. Through the experiments a relational formula was derived to calculate the coefficient of dynamic friction that is applicable for a practical transplanting mechanism. The pots, when released from the drop chute pipe describe a parabola, therefore formulae were derived to calculate the release angle, the release velocity and the landing angle, which are necessary for the pots to fall along the backboard of the furrow opener.

To modify the experimental transplanting mechanism into a practical one, the shape of the furrow created as the furrow opener travels needed to be regulated. Therefore, an experimental semi-cylindrical furrow opener was made and the change (depending on the size of the semi-cylinder, operating speed and the type of soil) in the shape of the furrow behind the furrow opener was observed. The results are as follows:

- a) The length of the furrow varies proportionally with an increase in traveling speed, and the rate of increase differs with soil type.
- b) Within the same soil type, moisture content of soil has very little influence on the length of the furrow.
- c) Formulae were derived to calculate the boundary curves of the

furrow for volcanic and alluvial soil.

Using the above findings for the purpose of controlling soil flow at the furrow, furrow openers with boundary curves and ones with a straight shape were manufactured. As expected, satisfactory performance was achieved with both shapes, which made it possible to regulate the shape of the furrow.

IV. Investigation of the Practical Application of the Transplanting Theory (Chapter 5)

The findings mentioned in the previous chapter were used during the manufacture of an experimental planting device. The conditions and the accuracy of planting were investigated and data for building working models were collected. The results obtained are as follows:

- 1) Each furrow opener's planting angle kept decreasing as the traveling speed increased. The rate at which the angle decreased with relation to the increase of traveling speed was about 4-5 degrees per 0.1 m/s.
- 2) As the backboard angle decreased, the planting angle increased. The backboard angle and the planting angle had an inverse relationship. The rate of increase in the planting angle to the decrease in the backboard angle is about 1-2 degrees.
- 3) There was no much difference in planting angles for different soil moisture contents, and there was almost no relationship between them.

Also no much difference in planting angles for volcanic and alluvial soils.

4) The standard deviation of planting angles is within the range of 3-7 degrees. This is equal to that of existing transplanters, which shows the suitability of the new transplanter is very for practical use. Also, the standard deviation of the planting depth is within the range of 2-6 mm, and this demonstrates that the transplanter has a very high planting accuracy.

5) Using the findings outlined in this chapter and the previous one, a traveling speed that enabled the design of the planting device was established. The following points were considered: (1) the angle and the width of furrow openers, (2) flattening furrow openers and their length, (3) the thickness of furrow openers, (4) the height and angle of drop chute pipes from furrow openers (5) the release speed of pots and the position of the end of the drop chute pipes in relation to the furrow openers, and (6) the length of drop chute pipes.

V. Performance of the Experimental Transplanters (Chapter 6)

The data collected and summarized in chapters 3-5 were used to manufacture chain pots, 2-row and 6-row transplanters so that their performance and utilization were investigated. The results are as follows:

1) Tractor-mounted 2-row transplanter was manufactured as reported

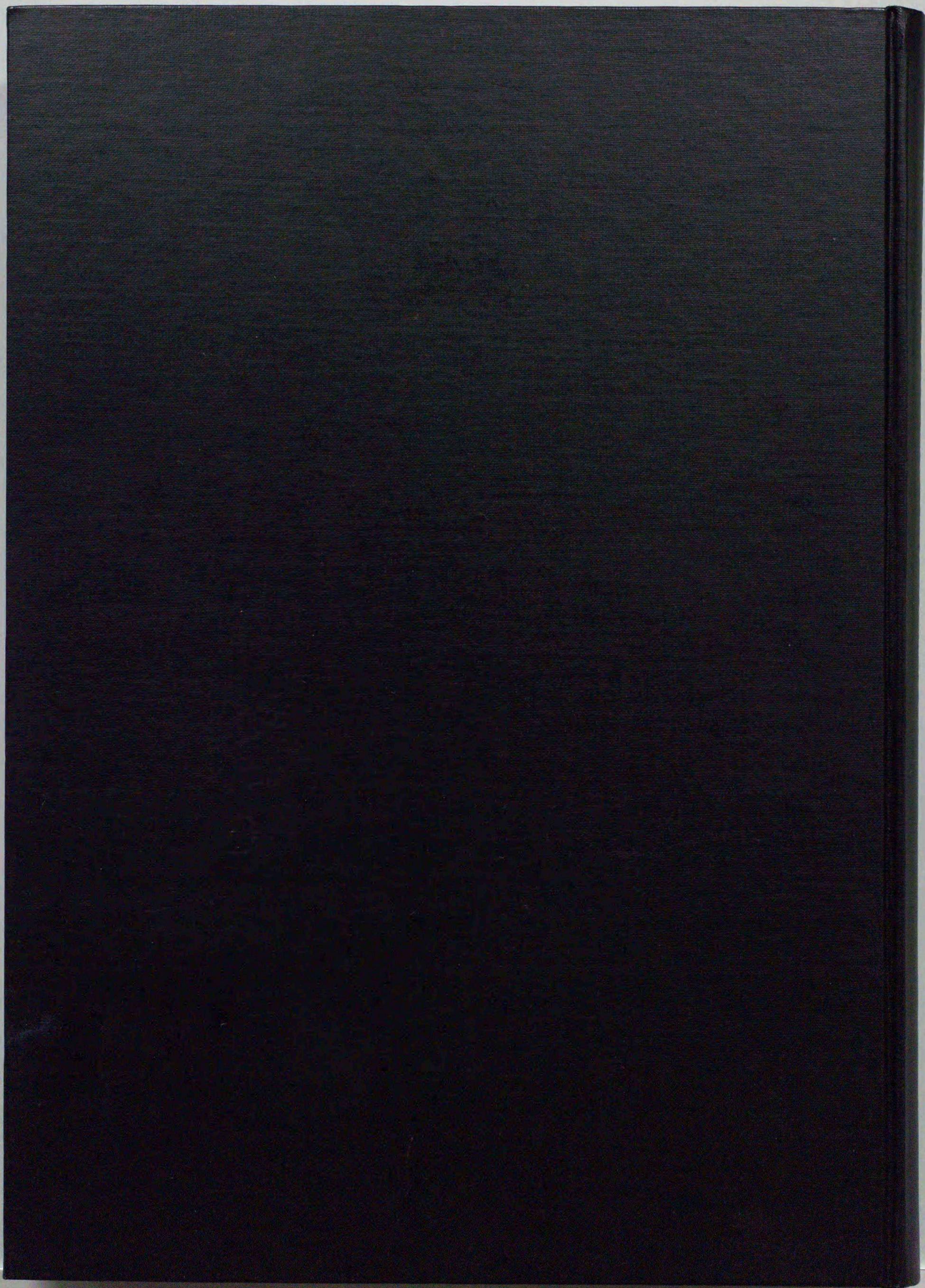
earlier and its planting accuracy in volcanic loamy and heavy soil fields was tested. The soil type did not affect planting accuracy. The standard deviation of planting angles was 6.9 degrees, which is a little more than the one in experiments explained earlier. The operating speed of the upright planting device was 0.7-0.8 m/s and was different from the design value of 0.95 m/s. This is probably due to the difference in the physical properties of the experimental soil, which was subjected repeated use, and the soil in an actual field. Therefore, it is necessary to decrease the adaptive speed of the furrow opener's backboard by about 0.15-0.20 m/s when designing the working models. The variation of intra-row spacing was equivalent to that of the existing models that use rubber discs. The effect on cultivation was acceptable.

2) Experiments were conducted over a period of 5 years at 24 farms on a total area of 42.1 ha. As a result, it was confirmed that the new models are highly practical, having reduced labor more than the existing models and showing high tolerance for different transplanting conditions.

3) To accommodate larger fields in European countries and America, a tractor-trailed 6-row transplanter was manufactured. A trailed type was employed, so that the machine will stay in a straight line as it proceeds and maintain a stable planting depth. Also, a semi-mounted mechanism was also employed to reduce the turning radius at headlands. The field efficiency was 0.54 ha per hour, and the planting accuracy was as good as that of the 2-row transplanter. To use bigger machines more efficiently, a formula to calculate the operating efficiently for the machine was derived. The main factors determining the efficiency are

row width, field length and operational speed. Therefore, it is important to take into consideration these factors before operating the machines.

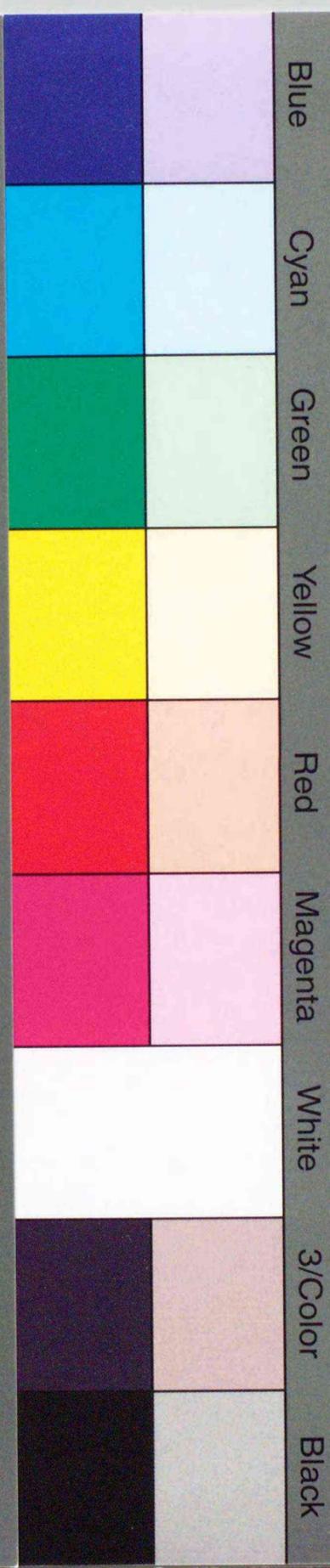
From the above data it was concluded that the experimental machines displayed the expected capabilities and that the chain pots, the separating device and planting devices proved highly useful.



inches
cm
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19

