

助成番号：163

## 超音波による除礫機の施工深検出に関する研究

佐藤 禎 稔

農業工学科農業作業機械学研究室

### 1. 目 的

深層処理自走式の除礫機は十勝地方の石礫圃場で大きな実績を上げている。しかし、除礫機自体が大型なため、一定の施工深の維持が困難となり、作業能率や経済性の向上を防げている。また、各種農業機械の自動制御の面からも、直接土表面から施工深を検出する方法が必要とされている。

近年、電子工学の進歩に伴い、各種の電子装置や様々なセンサユニットが開発され実用化されている。現在、非接触形の地上高検出の測距法としては、レーザー光線、赤外線、超音波や2つの像のずれを電気的に測定する方法等がある。このような電気的測距法の利点は、測距精度が高いこと、圃場作業中に摩耗や破損が少ないことが上げられる。反面、電子装置を必要とするため製造コストが高くなることが考えられる。

本研究はこれらの中で比較的、利用可能な超音波による施工深検出装置の実用化を目的とし、超音波の土壌条件別の反射特性を明らかにし、次に、空中送波用の超音波センサによる施工深検出装置を試作しその概要と基本的精度について検討することを目的とした。

### 2. 方 法

#### 1) 土壌条件に対する超音波の反射特性

スピーカ（スーパーツイータ）から超音波を出し、反射面で反射して戻って来た超音波をマイクロホンにより受信した。この時のスピーカ入力端子の電圧とマイクロホンの出力電圧をシンクロスコープにより測定し、反射特性を求めた。なお、周波数は20 kHz から46 kHz まで2 kHz ごとに、

また、反射面までの往復距離を40cmから200cmまで10cmごとに測定を行なった。反射面として鉄板と3種類の条件の土壌で実験を行ない、表1にその条件を示す。

表1. 供試反射面の諸条件

		湿潤密度 ( $g/cm^3$ )	含水比 (%)	間隙率 (%)
鉄	板	7.9 (密度)		
湿	硬土	1.2	49.2	68.4
湿	軟土	1.1	48.3	72.3
乾	軟土	0.8	30.1	75.9

## 2) 超音波センサによる施工深検出装置の作動原理と校正

超音波施工深検出装置は超音波を送信し反射面に当て、反射して戻って来た音波を受信し、この間の時間差から距離を算出する方法を採用した。この装置の概要を図1に示す。超音波センサは中心周波数40kHzのものを使用し、超音波の送信制御、受信時の割り込み、および伝播時間の計測を8ビットのワンボードマイクロコンピュータにより行なった。また、プログラム言語は図2に示

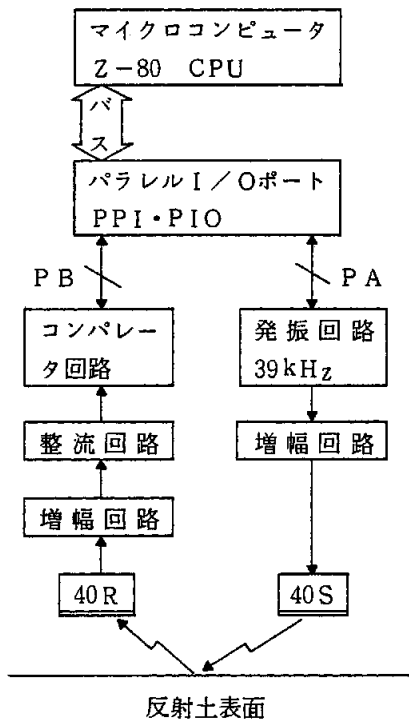


図1. 装置の概要

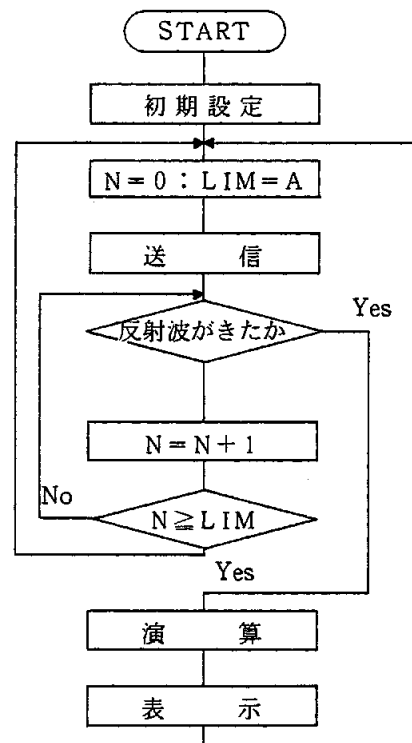


図2. プログラムのフローシート

すフローシートに従い、ビット制御と高速化のために機械語を採用した。

試作装置の作動原理はマイクロコンピュータより送信開始信号をパラレルインターフェースに送り、同時に、CPUはループ回数カウント（伝播時間の計測）を開始する。次に、C-MOSICの発振器より39 kHzの方形波を発振し増幅器で増幅し送信素子に170 Vの交流を与える。送信素子から超音波が土表面に向って送信され、反射波を受信素子で受信し、2段のオペアンプで52 dB増幅し、整流回路により交流成分をカットして、一定電圧の入力で低レベルになるコンパレータ回路によってTTLレベルに交換し、インターフェースに入力する。特にパラレルインターフェースがPIOの場合には低レベルで反射波が戻って来たことを判断し、CPUに対して割り込みをかけるループカウントルーチンから脱け出して、その時のループ回数から距離を算出するのがこの装置の作動原理である。

CPUの動作クロック数の違いとパラレルインターフェースの違いによりプログラムの処理速度が変化する。そこで、3種類のCPU動作クロック数における測距精度を求めるために、任意の高さに装置のセンサ部を固定し、反射面までの高さとその時のループ回数との間で較正を行なった。次に、適当に凹凸のある土表面を作り、実測の高さと試作装置による測定値の誤差について実験を行なった。また、送受信素子の位置と反射面の傾斜角度による誤差の関係を実測した。

### 3. 結果と考察

#### 1) 土壌条件に対する超音波の反射特性

周波数が20 kHzから46 kHzの範囲で、土表面で超音波は確実に反射することが認められた。また、超音波の距離に対する減衰はスピーカ端子入力電圧とマイクロホン出力電圧をdB値で表わすと対数的に減衰することが明らかになった。

往復距離100 cmの理論的に全反射する鉄板に対する各土壌条件別の反射特性を図3に示す。湿潤密度1.2 g/cm<sup>3</sup>の湿硬土の減衰量が最も少なく-2 dB、次に1.1の湿軟土が-3 dB、最も反射

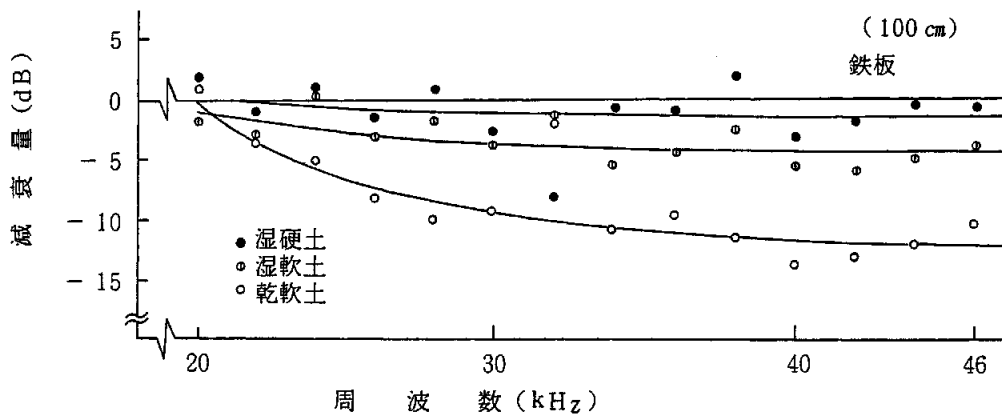


図3. 土壌条件別の反射特性

特性の悪い0.8の乾軟土では最大 $-13\text{dB}$ の減衰となり、密度が小さいほど反射特性が悪くなる傾向を示している。また、周波数が $30\text{kHz}$ までは、減衰量が $-2\text{dB}$ から $-10\text{dB}$ に減少し、 $30\text{kHz}$ では $-10\text{dB}$ から $-13\text{dB}$ と減衰量の変化割合が少ない。

音波の反射特性は周波数や反射物体の密度に関係が深く、密度の小さい土壌ほど土粒子の動きが自由となり、音のエネルギーを粒子の振動として吸収してしまうために、乾軟土のような密度の小さい土壌では超音波の反射特性を低下させると考える。

従って、乾燥して膨軟な土壌条件の圃場では、超音波の減衰も大きくなるので、発信出力を大きくする必要がある。

## 2) 超音波施工深検出装置の較正

3種類のマイクロコンピュータのCPU動作クロック数の違いとパラレルインターフェースの違いによるループ回数と実測距離の関係を図4に示す。Z-80CPU  $2\text{MHz}$ で割り込みモードがないPPI (8255 A)の場合、プログラムの負荷が大きくなるので分解能が $4.7\text{mm}$ に留った。一方、 $2.5\text{MHz}$ の場合は $2\text{MHz}$ より処理速度が25%向上し分解能が $3.8\text{mm}$ となり、さらに割り込み機能付のPIOを使った場合、分解能が $1.4\text{mm}$ となり約4倍向上した。また、 $4\text{MHz}$ PIOの場合は分解能が $1.1\text{mm}$ となり十分な精度を得た。このように、精度を向上させるためにはCPUのクロック数を大きくし、パラレルインターフェースとして割り込み制御が可能なPIOを利用することが上げられる。しかし、一般的に農業機械の施工深検出において、CPUクロック数 $2\text{MHz}$ でPIOを利用することで十分な性能が得られると考える。

## 3) 供試土表面の高さと試作装置による測定値

実測の高さと試作装置による測定結果を図5に示す。土表面が比較的平らな部分では実測値と一

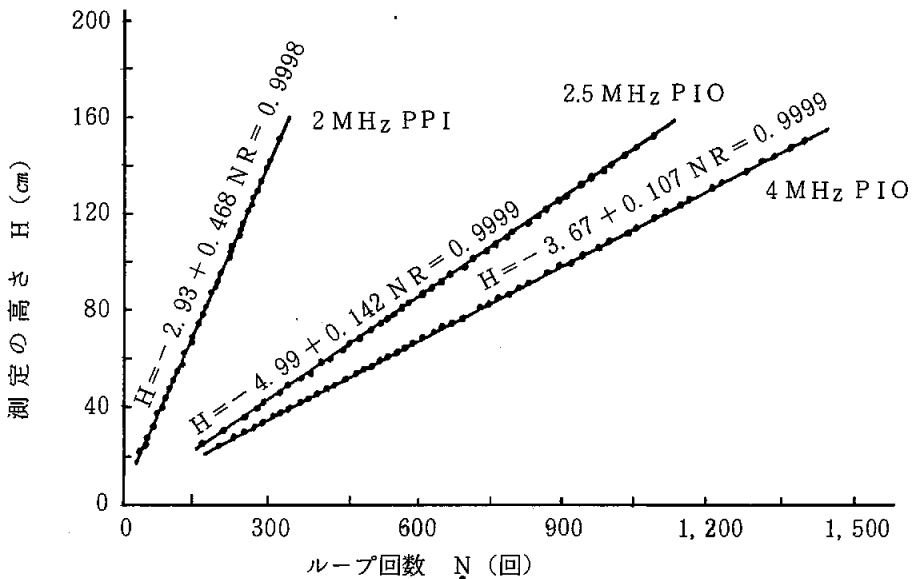


図4. ループ回数と実測高さの関係

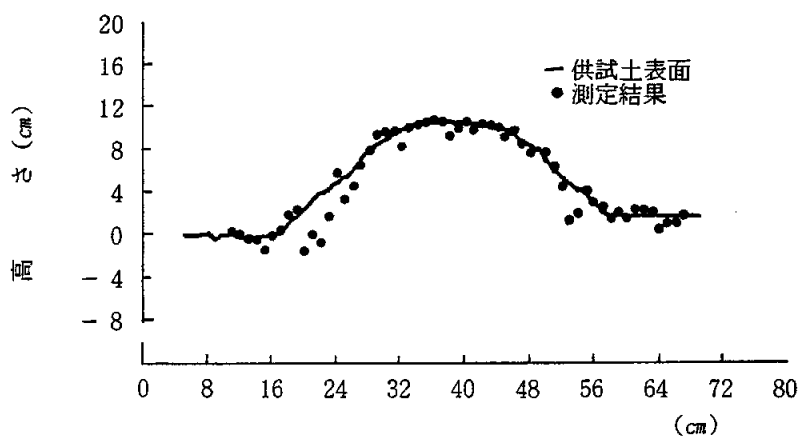


図5. 供試土表面の高さと試作装置による測定結果

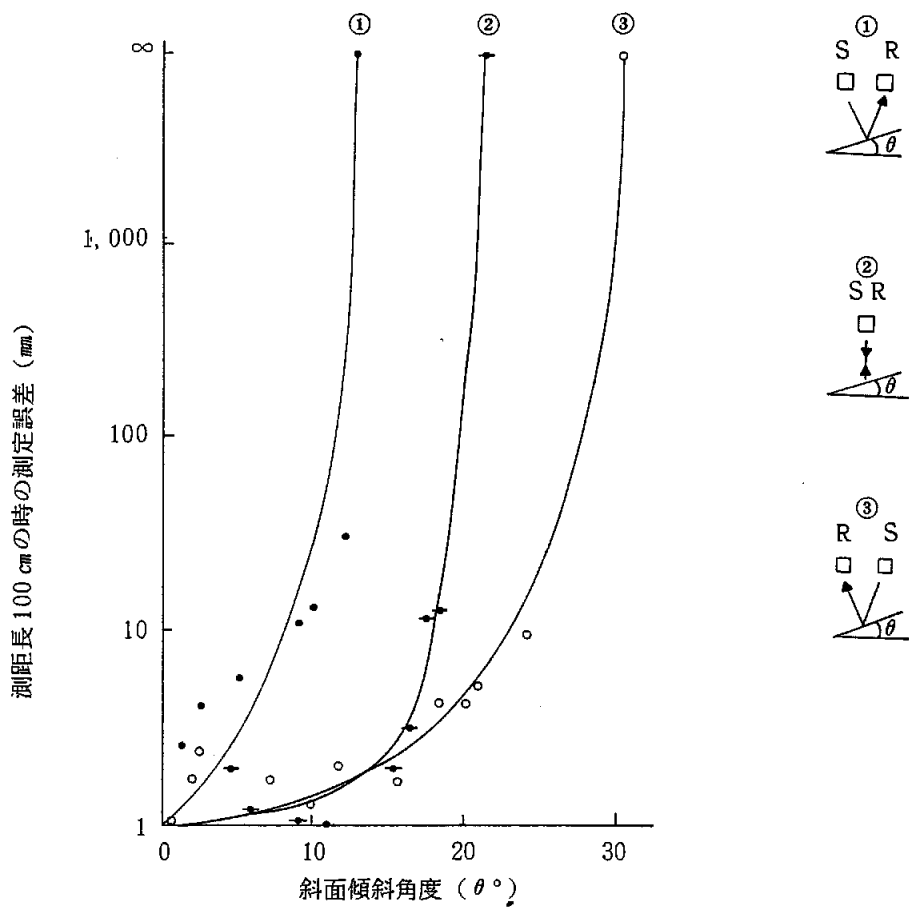


図6. 斜面の傾斜角と送受信素子の位置に対する測定誤差

致しているが、斜面では最大4 cm (10%) の誤差を生じている。誤差の原因としては、斜面ではセンサー部と反射面の相対角度が変化し超音波が垂直入射に対し、斜面で横方向に反射するために受信が不確実となり誤差が生じたと考える。

#### 4) 斜面の傾斜角と送受信素子の位置に対する測定誤差の関係

斜面に対する送受信素子の位置による測定誤差を図6に示す。送受信素子の位置が①のように斜面に対して送信素子が谷側に位置する場合には傾斜角 $10^{\circ}$  前後まで受信が可能である。他方、①とは反対の位置③の場合は $25^{\circ}$  まで確実に測定可能である。なお、図中の無限大の誤差は反射波が戻って来ないことを意味している。

実際の圃場では凹凸も多いが、ごくわずかでも平らな部分が存在すると思われ、その部分で超音波が反射し、測距が可能と考える。また、受信素子の周りに複数個配置することにより土表面の凹凸が激しくとも測定が可能であると考ええる。

以上の結果より、超音波による施工深検出方法が可能と思われるが、今後とも風や雑音の影響を調査するとともに、実際の農業機械の地上高制御についても研究を拡張する予定である。最後に、本研究にあたり、後援会の賛助に対し紙面をかりて感謝の意を表す。