原著論文

重粘土壌におけるトラクタ作業の 所要動力測定システムの開発

深見公一郎*・杉本光穂*・新里良章**

* (独)農業・生物系特定産業技術研究機構 九州沖縄農業研究センター 畑作研究部

**沖縄県農業試験場

Development of Power Requirements Measurement System in
Heavy Clay Soil for Tractor Work.

Koichiro FUKAMI*, Mituho SUGIMOTO* and Yoshiaki SHINZATO**

*Dept. of Upland Farming Research, National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa

**Okinawa Prefectural Agricultural Experiment Station

1. 緒言

沖縄本島中南部地域に分布するジャーガル (Jahgaru soil) は、粘土を 50% 以上含み、土壌含水比が 25 から 35% に増加すると一軸圧縮強度、せん断抵抗、コーン指数等が 2 分の 1 程度に減少し、逆に付着力が 2 倍程度増加する重粘土である (泉ら 1981)。また、透水係数が 10^{-8} ~ 10^{-6} cm/sec と非常に小さい (宮城調勝 1976) ため降雨後何日間も機械作業を行えないことが多く、特に沖縄の基幹作物であるサトウキビの収穫時期は雨が多いため機械の稼働率が極端に低下する。さらに、圃場の排水不良はサトウキビの発芽不良や糖度低下の要因になる (大城・浜川 1980) ことから、著者らは、ジャーガル地域における簡易な排水対策技術として、暗渠を施工せず、重カルチ (ブラソイラ : スガノ農機) による心土破碎とトレンチによる明渠を組み合わせた圃場排水改善技術の開発を行っている。

ジャーガルは他の火山灰土壌に比べてけん引比抵抗 (kg/cm^2) が 2 ~ 3 倍程度大きく (上原ら

1985b)、耕うん比エネルギー (単位耕うん体積当たりの耕うんエネルギー : $\text{k J}/\text{m}^3$) が内地の干拓地の重粘土壌の 1.2 ~ 2 倍程度大きい (薬師堂ら 1994)。したがって、この地域で使用例がない重カルチおよびトレンチの適用トラクタや安全な作業条件を明らかにするためには、作業に要する動力 (けん引抵抗と PTO 軸トルク) の測定が不可欠になる。

作業機のけん引抵抗の測定法には、作業機をつけたトラクタをもう 1 台のトラクタでけん引し、2 台のトラクタの間に取付けたロードセルで作業中 (負荷時) と作業機を上げた状態 (無負荷時) のけん引抵抗を測定し、その差から作業時のけん引抵抗を求める間接法 (上野ら 1982, 上原ら 1985b) がある。この手法は簡便な測定法として広く利用されているが、①無負荷時と負荷時測定時の計測条件を一致させることが困難② PTO 軸トルクとの経時的な解析が不可能③人手と大きな試験圃場が必要等の問題がある。そこで本研究では、上記の問題を解決するために開発された、トラクタと作業機の間に作用する力を直接測定する 3 点リンク・ダイナモメータ方式 (金須正幸 1971, 森本・唐橋 1985, 木谷ら 1986, 生研センター 1990, 長崎ら 1996) を採用した。

PTO 軸の所要動力を求めるためには、PTO 軸のトルクと PTO 軸の回転数を計測する必要がある。PTO 軸トルクを測定する方法には、ドライブシャフトに歪ゲージとスリップリング (回転体

平成 17 年 8 月 8 日受付
平成 18 年 2 月 20 日受理

Corresponding author

深見公一郎 Koichiro FUKAMI

〒 885-0091 宮崎県都城市横市町 6651-2

6651-2, Yokoichi, Miyakonojo, Miyazaki, 885-0091, Japan

E-mail :

用信号伝達装置)を直接取付ける方法(上原ら1985a, 薬師堂ら1994)とPTO軸の形状に加工したシャフトとスリップリングが一体となったトルク変換器(長崎ら1999, 後藤ら2004)を使用する方法等がある。前者は、歪ゲージの貼り付けや校正が難しいことから現在では後者による測定が一般的であり、本研究でも後者のトルク変換器を採用した。

PTO軸の回転数の計測には、トルク変換器のシャフト部に取付けた歯車の山を磁電式検出器で検出しPTO回転数を直接計測する方法(小中ら1986, 後藤ら2004)がある。一方、エンジン回転数をエンジン回転計で測定しギア比からPTO軸回転数を換算する方法があり、本研究では後者を採用した。

ジャーガル圃場でのけん引作業においては、けん引抵抗の増大によって前輪が浮き上がってしまうことが度々ある。このような状況は機械作業において非常に危険であるため、けん引抵抗と車両のピッチングとの関係を解析し、より安全な作業条件を明らかにする必要がある。そこで本研究では、前述したけん引抵抗およびPTO軸トルクに加え、作業時の車両のピッチングおよび作業深さ等も測定可能な所要動力測定システムを開発し、ジャーガルにおける心土破碎機および溝堀機の適用可能条件について検討を行った。本報では、本計測システムの精度確認結果およびジャーガルでの測定結果について報告する。

図1 3点リンク式けん引抵抗計

2. システムの概要

沖縄の農業法人で主に使用される58.8～73.5kW(80～100PS)級のトラクタによる作業を想定し、けん引抵抗40kNとPTO軸トルク1400N・mが計測できるシステムを作成した。

1) けん引抵抗計

試作した3点リンク式けん引抵抗計の全体図を図1に示す。本抵抗計は、トラクタ側の3点リンクに装着されるフレーム部と、作業機を装着する測定部から構成される。図2にロアリンク測定部を示す。ロアリンク取付部とフレーム取付部の間に圧縮引張用ロードセル(LTZ-5TA:共和電業)を取付け、ロアリンク台座とロアリンク取付部をリニアベアリング(HSR20TA:THK)により固定し、一方向の力だけを測定できるようにする。トップリンク測定部も同様の構造をしており3つのリニアベアリングが平行になるように取付ける。そして、測定時には水準器等を用いてリニアベアリングが水平になるように調整する。また、ロードセルは1箇所力が集中しても計測できるように定格容量50kNのものを採用する。

2) トルクメータ

トルクメータは、定格容量2000N・mのトルク変換器(TCR-2000N:NTS)のシャフト部にPTO用のドライブシャフトを溶接したカップリングをボルトで固定する。図3にトルクメータの全体図

図2 ロアリンク測定部

1. トルク変換器: TCR-2000N (NTS)
2. 動力伝達用カップリング
3. ユニバーサルジョイント(PTO軸側)
4. ユニバーサルジョイント(作業機側)
5. ドライブシャフト

図3 トルクメータ

1. トラクタ
2. 傾斜計: D5R-L02-60 (オムロン)
3. 傾斜計固定部
4. 3点リンク式けん引抵抗計
5. トップリンク
6. ロアリンク

図4 傾斜計取付位置

D: センサ取付位置から轍までの鉛直距離(mm)

図5 超音波距離計取付位置

を示す。

エンジン回転数は圧電型振動検出器 (CP-044 : 小野測器) を燃料噴射管に取付けて計測する。

PTO 軸の所要動力 P (kW) は、エンジン回転計の N (rpm), PTO トルク T (N・m) ギヤ比 G より次式を用いて算出した。

$$P = 2 \pi T N / 60000 G \quad (1)$$

3) 傾斜計

トラクタ車内に傾斜計 (D5R-L02-60 (検出範囲 $\pm 60^\circ$) : オムロン) を設置し、けん引作業時のピッチングを測定する。また、作業機のピッチングが所要動力に及ぼす影響をみるために、けん引抵抗計に傾斜計を設置し間接的に作業機のピッチングを測定する。図4に傾斜計の取付位置を示す。数値は進行方向に対して上方向に傾いた時が正、下方向の時が負となる。

4) 超音波距離計

作業中の作業深さの経時変化を測定する方法として超音波距離計を用いる。使用する超音波距離計 (UD-320 : キーエンス) の分解能は 1 mm で、測定範囲は 200 ~ 1300mm である。本センサをトラクタ後輪の轍の真上になるように設置して轍からの距離 D を計測する。図5に超音波距離計の取付位置を示す。トラクタを静止させた状態で、作業深さと D の関係式を作成 (例: 作業深さ = $-0.8957 \cdot D + 733.21$) し、得られた関係式と D の経時変化より、作業深さの経時変化を推定する。

5) 計測およびデータ処理

図6および7にシステムの外観と構成を示す。データの収集には、多チャンネルデータロガ (DC31-203A : NEC 三栄) を用いる。各センサのサンプリング周期を 2 Hz とし、ノイズの影響を小さくするために5点の移動平均処理を行う。各センサより得られたデータは、USB 接続されたノートパソコンにリアルタイムで表示・記録 (CSV ファイル形式) される。

3. 試験方法

1) けん引抵抗計の精度試験

実際の作業では、3点リンクにはけん引抵抗のほかには作業機の質量による鉛直力や作業機と土壌との間で発生する応力およびモーメントがかかる。そこで、鉛直力として質量の異なる2種類の作業機 (ブラソイラ: 3PY3K (2本爪 2.95kN) : スガノ農機, オフセットブラウ: HOB01814 (1連

図6 所要動力測定システムの外観

5.03kN)：スガノ農機)をけん引抵抗計に装着させることで、また、モーメントとしてトップリンク用ロードセルとロアリンク用ロードセルとの中心から負荷作用点までの距離 L を3段階(ブラソイラ:0.19, 0.47, 0.77m ブラウ:0.47, 0.62, 0.91m)に変えることで、けん引抵抗(0～30kN)の計測精度に及ぼす影響を検討する。図8に精度確認試験の模式図を示す。けん引抵抗計にかかるモーメントは、負荷用ロードセル値に L を乗じた値(kN・m)である。

2) トレンチャの所要動力試験

本計測システムを用いてジャーガル圃場(具志頭村)におけるオーガ式トレンチャ(OM1000：ニプロ)の所要動力を測定した。供試トラクタ(M8160：ニューホランド)の出力は73.6kW(100PS)、試験条件は、エンジン回転数1500rpm(PTO軸回転数540rpm)、作業速度0.1m/s、土壌含水比27.3%、土壌貫入抵抗0.9MPa、作溝深780mm、上溝幅260mm、下溝幅150mmである。

4. 結果及び考察

1) けん引抵抗計

図9に $L = 0.47\text{m}$ における3点リンク式けん引抵抗計の測定値と負荷用ロードセル値の比較結果を示す。同図よりいずれの作業機(ブラソイラおよびブラウ)においても、トップリンク側のロードセルの値は負の値(圧縮)を示し、ロアリンク側は正の値(引張)を示した。ブラウにおいて左右のロアリンクにかかるけん引抵抗値に差があるのは、けん引負荷の作用点であるブラウの爪位置

図7 所要動力測定システムの構成

図8 3点リンク式けん引抵抗計の精度確認試験

が左右ロアリンクの中心から左側にオフセットしているためである。しかし、ブラソイラと同様3つのロードセルのトータル値と負荷用ロードセル値は高い相関(決定係数0.99以上)を示したことから、本研究では、けん引抵抗=トータル値とした。

図10にモーメントと誤差率の関係を示す。誤

図9 3点リンク式けん引抵抗計の測定結果($L = 0.47\text{m}$)

図10 3点リンク式けん引抵抗計の誤差率の分布

差率 e (%) は負荷用ロードセル値 P_i (kN) と3つのロードセルのトータル値 P_t (kN) より次式で算出した。

$$e = (P_t - P_i) / P_t \cdot 100 \quad (2)$$

同図より、誤差率は鉛直荷重およびモーメントの大きさに関わらず5%以内であることがわかった。したがって、本抵抗計は実際の圃場作業においても安定した精度のけん引抵抗値を測定できる。

2) トレンチャの所要動力測定

図11に本計測システムを用いてオーガ式トレンチャの所要動力を測定した結果を示す。作業距離0～1.5mの範囲においてPTO軸トルクは900N・mから1200N・mまで増加し、これに伴ってエンジン回転数は1500rpmから1000rpmに低下し、けん引抵抗が16kNから23kNまで増加し、さらに車内の傾斜計が0°から2.4°に増加することから、けん引負荷増大に伴うピッチングの発生が確認できる。一方、けん引抵抗計のピッチングは車両に比べると小さく、また、作溝深は全体的にはば一定の値で推移することから、トルクの増加が作溝深の変化ではなく、主にオーガ部と土壌とのせん断摩擦等の変化によって発生したとことが推察できる。以上のように本計測システムは、けん引抵抗およびPTO軸トルクの経時変化を総合的に解析することが可能である。

5. 摘要

圃場排水対策に利用する心土破碎機および溝堀機のジャーガル地域土壌における適用可能条件を明らかにするために、トラクタの姿勢と作業深さ

図11 所要動力測定システムによる測定例(トレンチャ)

をあわせて計測する所要動力測定システムを開発し、その妥当性について検討した。以下に主な結果を示す。

- (1) 本計測システムは、所要動力を測定する3点リンク式けん引抵抗計とトルクメータ、作業状態を測定する傾斜計と超音波距離計、データを記録・表示する多チャンネルデータロガとノートパソコンから構成される。
- (2) 試作したけん引抵抗計は、水平負荷0～30kNにおいて最大鉛直力5kNおよび最大モーメント20kN・mの範囲で誤差率5%以内であった。
- (3) トレンチャ作業に本測定システムを用いた結果経時的にけん引抵抗、PTO所要動力、作業深さ、傾斜を同時に計測・記録でき、作業状態と所要動力との局所の変化を把握することができた。

今後は、様々な作業条件および土壌水分条件におけるデータを蓄積して、ジャーガルにおける土破碎機および溝堀機の適用可能条件を明らかにしていく。

謝 辞

本研究で試作した3点リンク式けん引抵抗計に関しては、農林水産技術会議事務局の長崎裕司氏、近畿中国四国農業研究センターの田中宏明氏、また、トルクメータに関しては、北陸研究センターの細川寿氏に協力を得た。記して関係各位に謝意を表する。

キーワード

ジャーガル、重粘土、心土破碎機、溝堀機、所要動力測定システム

引用文献

- 後藤隆志・堀尾光広・市川友彦ら (2004) : 高速耕うんロータリの開発 (第1報) - つめの形状と配列に関する基礎試験 -, 農業機械学会誌 66 (3) : 111-120.
- 泉裕巳・秋永孝義・國府田佳弘ら (1981) : ジャーガル地帯における農業の機械化に関する研究 - ジャーガルの物理的性質 -, 琉球大学農学部学術報告 28 : 163-171.
- 金須正幸 (1971) : トラクタ性能の向上に関する研究, 農業機械化研究所報告 : 88-89.
- 木谷収・米川智司・岡本嗣男 (1986) : トラクタ三点ヒッチ用六分力計の開発, 農業機械学会誌 47 (4) : 514-518.
- 小中俊雄・湯沢昭太郎・長沢教夫ら (1986) : マイコンによる回転数・トルク測定, 農業機械学会誌 47 (4) : 507-513.
- 宮城調勝 (1976) : ジャーガル土壌の物理性改良について, 第47回農業土木学会九州支部講演会シンポジウム「沖縄の特殊土壌」前刷 : 41-46.
- 森本國夫・唐橋 需 (1985) : 三点リンク・ダイナモメータの開発, 農業機械学会誌 47 (1) : 104-106.
- 長崎裕司・岡崎紘一郎・宮崎昌宏 (1996) : 土中耕うんに関する作業技術の開発 (第1報) 振動式全層破砕機の作業特性, 四国農業試験場報告 60 : 89-104.
- 長崎裕司・猪之奥康治・宮崎昌宏ら (1999) : 稲跡野菜作における機械定植精度向上のための耕うん・畝立て技術に関する研究 (第1報) - 耕うん作業への狭切削幅爪ロータリの適用効果 -, 農作業研究 34 (2) : 95 - 102.
- 大城喜信・浜川謙 (1980) : よみがえれ土沖縄の土壌とその改良, 新報出版.
- 生研センター (1990) : トラクタ用作業機の測定・評価法の研究 - 簡易3点リンクダイナモの試作 -, 平成2年度事業報告 : 239-240.
- 上原数見・赤嶺文夫・森田孟治 (1985a) : 沖縄の土壌における耕うん作業の特性 I. 国頭礫層土壌におけるロータリーの諸特性, 沖縄県

農業試験場報告 10 : 111-116.

上原数見・赤嶺文夫・森田孟治 (1985b) : 沖縄の土壌における耕うん作業の特性 1. 土壌型別プラウのけん引比抵抗, 沖縄県農業試験場報告 10 : 117-122.

上野正実・泉裕巳・國府田佳弘ら (1982) : 客土によるジャーガル畑の走行性向上に関する研究, 琉球大学農学部学術報告 29 : 169-175.

薬師堂謙一・大城健・赤地徹ら (1994) : 沖縄特殊土壌における耕うん用作業機の耕うん特性 (第1報), 九州農業研究 56 : 145.

Summary

A measurement system that measures the power requirement of a work machine was developed to clarify the conditions of applicability of pan breakers and trenchers. These implements are used for the improvement of field drainage in the Jahgaru soil region. This measurement system is composed of a multi-channel data logger, a notebook computer, a clinometer, an ultrasonic distance meter that measures the depth of work, a three-point linkage type traction resistance meter, and a torque meter that measures the power requirement. The traction resistance meter that was prepared for a trail product had an error rate within 5 %; the range of the maximum vertical load was 5 kN, and the maximum moment 20 kN · m in the horizontal load was in the range 0-30 kN. The time series of the traction resistance, PTO axis torque, work depth, and inclination (pitching) could be measured simultaneously, which facilitated the understanding of the local change in the state of work and the power requirement since this measurement system was used in measuring the work of trenchers.

Key words

Jahgaru soil, heavy clay soil, subsoil breaker, trencher, power requirements, measurement system