

駆動型ディスク作用力の計測システム

上 出 順 一
(農業機械学研究室)

Data Aquisition System for a Powered Tillage Disk

Junichi KAMIDE
(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture,
Yamagata University)

1. は し が き

耕耘時の土の切削力及び牽引抵抗の解明は、これら機械の設計及び利用のためにも極めて重要であり、土の切削¹⁾²⁾、機械の力学的特性³⁾⁴⁾⁵⁾、測定法及び測定装置⁶⁾⁸⁾などに関する研究が種々行われている。

ここでは、駆動型ディスクの土-ディスク相互作用力の測定及びデータ収録・処理システムを、陳らの方法⁷⁾を参考に製作したので、その概要を報告する。駆動型ディスクは一定の角度のついた数枚のディスク群を順方向に強制的に回転させながら牽引する耕耘用機械である。本機は、近年土づくり機械として注目を集めているが、その特性は十分に明らかにされていない。

実験装置の製作には学生佐藤農君の協力を得た、謝意を表する次第である。

2. 6分力測定装置

本装置は実機のおよそ1/3縮尺の模型単一ディスクを対象にしたものであり、土槽実験用の台車に取り付けられる。実験装置は図-1に示す。ディスクは作用力測定

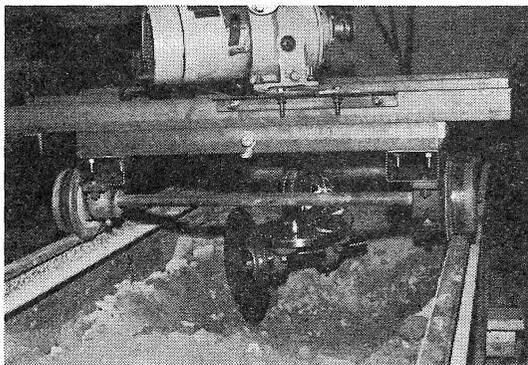


図-1 実験装置

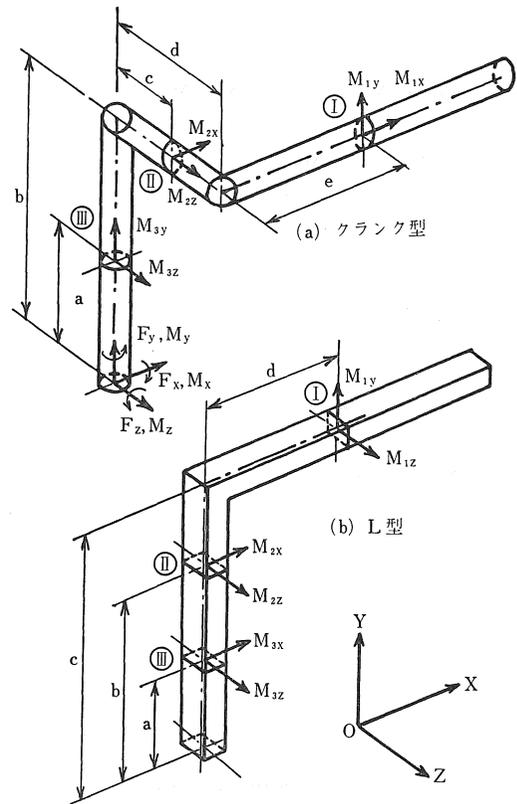


図-2 6分力測定ビーム

ビームの先端に装着される。ディスクの作用力は、図-2に示すような(a)クランク型あるいは(b)L型ビームの断面に働く曲げあるいはねじりモーメントを測定することによって求められる。

ディスク面に作用する力はビーム先端における6つの分力、すなわちx, y, z軸方向の力及びモーメントとして表すことができる。そして、この6つの分力は幾何学的条件及び変換法則により、ビームの水平及び垂直部の断面Ⅰ, Ⅱ, Ⅲに曲げ及びねじりモーメントを生じさせ

る。すなわち次の関係がある。

$$\{M\} = [C] \cdot \{F\} \quad (1)$$

これより

$$\{F\} = [C]^{-1} \cdot \{M\} \quad (2)$$

ただし

{M} : ビーム断面のモーメントベクトル

{F} = {F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z}^T : ビーム先端の6分力ベクトル

[C] : 6分力-モーメント伝達マトリックス

いま、各断面のモーメントを図-2のようにとるとクランク型ビームでは

$$\{M\} = \{M_{1x}, M_{1y}, M_{2x}, M_{2z}, M_{3y}, M_{3z}\}^T \quad (3)$$

またL型ビームでは

$$\{M\} = \{M_{1y}, M_{1z}, M_{2x}, M_{2z}, M_{3x}, M_{3z}\} \quad (3')$$

ビームの変形が弾性限界内にある限り、モーメント(ねじり : M_t, 曲げ : M_b)とひずみ ε の間には次式の線形関係がある。所定の各断面にはひずみゲージが貼ってあり、これによって測定されたひずみから6分力が求められる。

$$M_t = 2GZ_p \varepsilon \quad (4)$$

$$M_b = EZ \varepsilon \quad (4')$$

ただし

E, G : 弾性率

Z, Z_p : 断面係数

座標軸を、ビームの先端を原点に、右手系にとると、クランク型ビームの伝達マトリックスは(5)で表わされる。

$$[C] = \begin{bmatrix} -0 & d & -b & 1 & 0 & 0 \\ -d & 0 & e & 0 & 1 & 0 \\ 0 & c & -b & 1 & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. 合力の作用線及び作用点

6分力から

$$\left. \begin{aligned} \vec{F} &= F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \\ \vec{M} &= M_x \mathbf{i} + M_y \mathbf{j} + M_z \mathbf{k} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

また

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 \quad (7)$$

ただし

i, j, k : x, y, z 軸方向の単位ベクトル

M₁ : **M** の **F** 方向ベクトル

M₂ : **M** の **F** に垂直方向ベクトル

図-3から

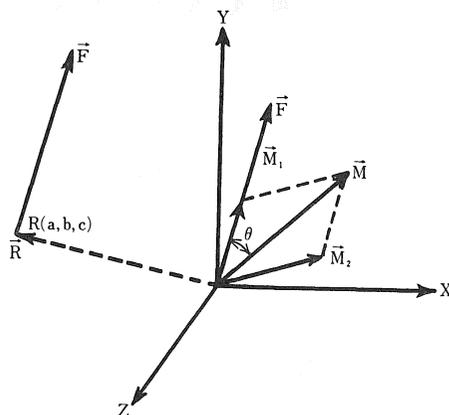


図-3 合力の作用線

$$\cos(\vec{F}, \vec{M}) = \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}| \cdot |\vec{M}|} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} |\vec{M}_1| &= |\vec{M}| \cdot |\cos(\vec{F}, \vec{M})| \\ &= |\vec{M}| \cdot \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}| \cdot |\vec{M}|} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}|} \end{aligned} \quad (9)$$

$$M_1 = |\vec{M}_1| \cdot \frac{\vec{F}}{|\vec{F}|} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}|^2} \cdot \vec{F} \quad (10)$$

合力の作用線が点R (a, b, c) を通るとすると

$$\vec{R} \times \vec{F} = \vec{M}_2 = \vec{M} - \vec{M}_1 \quad (11)$$

ただし

R : 点Rの位置ベクトル

(11)式より、各成分について表すと

$$\left. \begin{aligned} x &: bF_z - cF_y = M_x - (FM)F_x \\ y &: cF_x - aF_z = M_y - (FM)F_y \\ z &: aF_y - bF_x = M_z - (FM)F_z \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

ただし

$$(FM) = \frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}|^2}$$

点Rを通る合力の作用線の方程式は

$$\frac{x-a}{F_x} = \frac{y-b}{F_y} = \frac{z-c}{F_z} \quad (13)$$

これから、

$$\left. \begin{aligned} xF_y - yF_x &= aF_y - bF_x \\ zF_x - xF_z &= cF_x - aF_z \\ yF_z - zF_y &= bF_z - cF_y \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(12)と(14)式から、合力の作用線の方程式が求められる。

$$\left. \begin{aligned} yF_z - zF_y &= M_x - (FM) \cdot F_x \\ -x F_z - z F_x &= M_y - (FM) \cdot F_y \\ x F_y - y F_x &= M_z - (FM) \cdot F_z \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

なお、空間での直線を表すには上式のうちいずれか2式でよい。

ディスク面上の合力の作用点は、力の作用線とディスク面の交点として求められる。ディスクは球面の一部とみなせる、中心が (X_0, Y_0, Z_0) で、半径 r の球の方程式は

$$(y - X_0)^2 + (y - Y_0)^2 + (z - Z_0)^2 = r^2 \quad (16)$$

したがって、合力の作用点は(15)と(16)式の連立解により求められる。

4. 6分力測定結果

ビームの各断面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおけるモーメントはストレンメータにより測定される。測定は各断面2点で合計6点である。ビーム先端及び先端から一定距離はなれた点に種々の荷重をかけて行ったクランク型ビームによる測定結果を表-1に示す。荷重と(2)式より求められた計算値を比較すると F_x, F_y, F_z は誤差5%以内でほぼ一致したが、モーメントに差がみられた。これは荷重がビーム主軸に平行に加えられなかったことによるほか、ストレンゲージとビーム主軸の不一致、ビームの製作時の残留歪みが影響しているとみられる。

5. データ収録装置

牽引力等の測定における出力機器として、一般に電磁オシログラフやデータレコーダが利用されている。前者は比較的高速現象の記録が波形として直視でき、数値の大小関係が容易に比較できる点などで優れているが、チャートの保存性、読み取り精度、取扱い性に問題がある。一方、データレコーダは7ch程度で小型のものが、現場での取り扱い性、S/N比、周波数特性なども

優れており、しかも電気信号で記録するため、データ処理でコンピュータの利用と結びつきやすい。とくに、野外実験でデータを収録し、オフライン処理する場合にはデータレコーダは威力を発揮する。しかし、収録データの再生には若干面倒な手順が必要である。

したがって、本システムでは、ストレンメータの出力はA/Dコンバータを介して直接パソコン(if-800-10)に取り込み、ミニフロッピーに収録する方法をとった。プログラム(MADC61)をRUNさせた後、入力促進プロンプトに従い、データ名につづいてディスク番号、ディスク角、耕深、耕巾、回転速度、進行速度などの実験条件を入力する。実験条件は収録されるデータの頭にメモとして記録される。また、実験に先立ってデータ組数及びサンプリング間隔(ms)を入力する。

データの取り込み開始はポート61への出力信号のH→Lによって行われる。このため、実験台車にマイクロスイッチを取り付け、所定の位置に来たときに自動的にスイッチが入りサンプリングが開始されるようにした。

主プログラムはBASICで組んだが、高速サンプリングのためA/D変換部は機械語によった。しかし、コンバータの特性から、1組のデータ(6ch)のサンプリング速度は1.5ms以上に高めることは出来なかった。サンプリング間隔は1.5msから300msまで任意に設定できるようにした。また、サンプリングの高速化を図るため、データはまずRAMに読み込み、全データが取り込まれた後にディスクに移すようにした。RAM容量の制限から収録データは500組、総数3,000個までであり、その範囲でデータ数は任意に設定できる。

多チャンネル測定では、1組のデータの同時性が問題になるが、本A/Dコンバータでは各サンプリングの時間的ずれは242μs(966ステート)である。したがって、進行速度1m/sの場合、隣り合うサンプル点の距離は0.24mm、また、1chと6chでは1.45mmになる。

表-1 測定結果

No.	荷 重						計 算 値					
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
1	0	0	0	0	0	0	0.3	-10.1	-0.3	-67.9	-8.3	-13.5
2	0	-10	0	500	0	0	0.2	-10.2	-0.3	413.2	0.5	-27.0
3	0	-10	0	0	0	500	0.3	-10.3	-0.3	-95.7	-8.4	494.6
9	0	0	10	-500	-500	0	0.2	-0.6	9.7	-620.0	-472.7	-42.5
14	0	0	-10	500	500	0	0	0.5	-10.2	514.4	494.5	-12.2
19	-10	0	0	0	500	0	-9.9	0.7	0.2	111.2	523.8	-23.9

単位；力—kg，モーメント—kg・mm

6. データ処理及び作用力のグラフィックス表示

if-800により収録されたデータは、RS-232Cを介してPC-9801へ転送し、計算処理を行なった。ここでは、原波形あるいは加工されたデータを、チャンネル別に色分けして、ディスプレイ表示することができるようにした(GMADC)。これにより、高速現象の波形が、オシログラフの場合以上に明瞭に直視することができる。

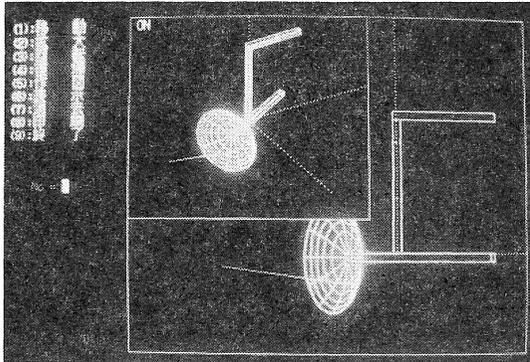


図-4 作用力のグラフィックス例

また、測定ビームの各断面におけるモーメントとして得られたデータから、前述の手順により、ビーム先端の6分力ベクトル及びディスク面上の作用点及び作用力等を計算し、その結果をカラーディスプレイにグラフィックス表示し、ディスク作用力の状況を視覚的に把握できるようにした(PDISK)。なお、図形は移動、拡大、回転及び任意の大ききで分割表示ができる。一例を図-4に示す。

7. む す び

駆動型ディスクの作用力を測定するため、ビーム型6分力計及び計測システムを製作した。測定原理は(1)~(5)式に示される。荷重と計算値を比較するとモーメント

を除きほぼ一致した。データはストレンメータ、A/Dコンバータを介してミニフロッピーディスクに収録した。データ数は500組、総数3,000個である。サンプリング間隔は6チャンネルを1くみとし、1.5~300msの範囲で設定できる。また、収録データ波形のディスプレイ表示及びディスク作用力のグラフィックス表示プログラムを開発した。

文 献

- 1) 畑村洋太郎・千々岩健児(1974~1976); 土の切削機構の解明(I)~(V), 機論 40(338), 41(349), 42(355), 42(357), 42(359)
- 2) 橋口公一・森本国夫・王 康男・守島正太郎(1977): 土の2次元切削理論, 農機誌 37(2), 179-186
- 3) Paul E. Young(1976); A Machine to Increase Productivity of a Tillage Operation, Trans. of ASAE, 19(6), 1055-1061
- 4) William R. Gill, Carl A. Reaves, Alvin C. Bailey(1980); The Effect of Geometric Parameters on Disk Forces, Trans. of ASAE, 23(2), 266-269
- 5) Carl A. Reaves, William R. Gill, Alvin C. Bailey(1980); Influence of Width and Depth of Cut on Disk Forces, Trans. of ASAE, 24(3), 572-578
- 6) J. V. Perumpral, L. C. Chance, F. E. Woeste, C. S. Desai(1980); A Matrix Method for Force and Moment Analysis on a Tillage Tool, Trans. of ASAE, 23(5), 1072-1075
- 7) 陳 鈞・寺尾日出男・松居勝広(1982); フリーボディ法と最小エネルギー原理での土の2次元切削抵抗の研究, 農機北支報 23, 15-20
- 8) 小林 一・三輪精博・後藤俊孝(1982); 振動形サブソイラーにおける二次元力の測定に関する研究, 農機関西支報 52, 83-84

Summary

The paper describes a data acquisition system based on a cranked beam, for a powered tillage disk. The theory and procedure is discussed in details. The computed results agreed approximately with the applied load except the moment compo-

nent.

The data were recorded on the diskette of a microcomputer through a strain meter and A/D convertor.