

大型踏力計の特性(Ⅱ)

— 圧縮荷重の検定と設計上の問題点 —

眞 武 友 一*

On the Characteristics of Large Force Plate (II)

— Inspection of Compressive Force and Problem of Its Design —

by

Tomokoza MATAKE*

It is well known that the large and wide force plate has many merits to measure and analyze the walking force. However, it indicates some demerits caused by its large scale, contrary.

In this paper, it is mentioned that the inspections at 19 points on the surface are researched by 20, 40, 60, 80 and 100 kg weight, and the effects on the loading position and the increasing load are analyzed from these results.

Total value of four supports is correct, but each value is different from the theoretical one in the case of loading along the edge of the force plate.

The ratio of bearing load is not same each other and converges to some value with increasing load respectively. It is considered for this phenomenon to be caused by its inadequate structure. Thus, the rigidity of the force plate will be important, then the new model with the circular plate is proposed.

1. 緒 言

歩行はその形態と力学的挙動によって解明されているが、後者の解析には簡便で精度もあり、広く測定に使用されているのが踏力計^{1)~9)}である。踏力計は歴史も古く、従って形式も多種多様で、細かく言えば一利一害があるが、小型の踏力計が普及した今日では、大型踏力計や小型を集合させた広い踏力面をもつ測定方法に関心が高まっている。

機械発達の歴史をみると、1ランク上の容量の機械を製作した場合にトラブルが発生し、これを克服することによって大型化に成功している。すなわち、造船や発電機にその例をみることが出来る。踏力計についても同様のことが言えるように思う。また、計装化が進むにつれて、データ処理が便利になり、いろいろな

数値を簡単に取扱い、それをもとにして判断する機会が多いが、この基本になる測定値に誤りがあるか否かの信頼性は、メーカーに一任された形になっている。メーカー側では各ゲージの測定値をコンピューターで合計して、その方向の合力を求める方法で検定を行っているが、果して個々の測定値は正しい値を計測しているのであろうか。

これらの疑問を明らかにするために、当方で作製した踏力計³⁾の9倍の広さをもつ大型踏力計について検定した結果の一部を前に報告¹⁰⁾した。本報告では、前報告中に生じた疑問点を再検討し、前回の大型踏力計に検定荷重の積載方法、データの整理法を変えて検討した結果について述べ、新しい大型踏力計について提案する。

昭和58年9月30日受理

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

2. 検定方法

Fig. 1は使用した大型踏力計で、検定点の位置は番号で示したが、これは前報¹⁰⁾と同一ではない。破線の長方形は踏力板を支えている固定枠で、G₁, G₂, G₃, G₄のゲージボックス中には x, y, z 方向の力を測定できるゲージ付きの支点が格納されている。Gを含む細い実線はゲージボックスを示し、1, 3, 13, 15は z 方向の支点の位置を示している。

前回の検定は、外径40mmの中空円筒を用いてその中心で位置決めした上に外径240mmの分銅を100kgまで載せたのである。分銅の積載の途中及び積上げた状態は不安定で、分銅重心の移動も考えられるので、今回は測定点を中心に240mmの円を描いて、分銅を直接踏力計に置くことにした。この際分銅が踏力板から大きく出ないように考えて測定点を決めた。すなわち、Fig. 1のように、4ヶ所の z 方向支点とその中間点、支点外側、踏力板中央の計15点、及び台秤の検定点として通常用いられる対角線上の中点を追加した計19点である。検定荷重は、20, 40, 60, 80および100kg

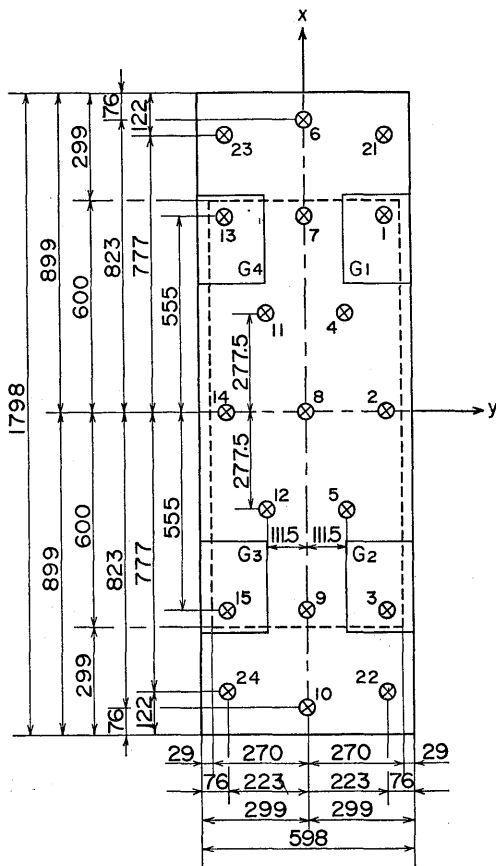


Fig. 1 The large force plate used and loading positions.

の5通りである。

ストレインメーターは、3方向計測のゲージボックス4個の計12個のゲージからの値を測定するが、前報¹⁰⁾で用いたのは共和電業製 DPM-E 型と DPM-310A であったのを、今回は DPM-310A と 310B の同機種にそろえた。

初めストレインメーターを1000 $\mu\epsilon$ を1500mVに設定した。一定の荷重を加えた場合、ゲージ率が同一ならば、各ゲージは同一値を示すはずである。しかし、ゲージ率が不明の上に各ゲージの測定値もそろわないので、検定点1, 3, 13, 15の各直上に100kgの荷重を載せた時の各ゲージの測定値の和がこの4検定点で同一になるように、逆に各ストレインメーターのゲインを調整して使用した。

3. 測定結果及びその考察

3.1 検定点の位置による影響

検定荷重による各ゲージの値はストレインメーター、データロガーを通してテープに記録される。その値のうち検定荷重100kgの場合の z 方向の合力を求めたのが Table 1 である。この表では、100kg の分銅が場所によってどのように測定されるかを示している。縦二重線の内側が固定枠上の検定点であり、その外側は踏力面が突出している部分である。この表よりわかることは、固定枠上ではいずれも1%以内の精度であるのに、突出し部では約2%の誤差を示している。すなわち、ゲージボックス上での荷重の測定値が最もそろうようにストレインメーターのゲインを調整した結果、このように踏力板上のいずれの場所でも、同一の値が計測されることを示している。しかし、突出し部の上では誤差が生じることが明らかである。

3.2 x 方向列の測定値の比較

剛体の踏力板の z 方向4支点の座標を No. 1 (a,

Table 1 Measuring value (kg) of 100 kgwt. at the loading position

No.	22	3	2	1	21
	102.10	100.68	99.83	100.85	101.94
No.			5	4	
			99.88	100.02	
No.	10	9	8	7	6
	101.57	100.71	99.79	100.60	101.56
No.			12	11	
			99.83	99.96	
No.	24	15	14	13	23
	101.74	100.63	99.68	100.60	101.43

b), No. 3 (-a, b), No. 13 (a, -b), No. 15 (-a, -b) とし, 荷重点Pの座標を (x, y) とすれば, 各支点の荷重Wの分担荷重 Z_1, Z_3, Z_{13}, Z_{15} は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= (ab+bx+ay)W/4ab \\ Z_3 &= (ab-bx+ay)W/4ab \\ Z_{13} &= (ab+bx-ay)W/4ab \\ Z_{15} &= (ab-bx-ay)W/4ab \end{aligned} \right\} (1)$$

踏力板が剛体で, 理想的に固定枠に支持されており, 踏力板上の任意の点 (x, y) に検定荷重Wを置けば各支点は(1)式の分担荷重を示すはずである。ここで測定値の検定荷重との比, すなわち, 荷重の分担比と(1)式の Z_i/W とを比較検討してみる。

まず, x軸上の検定点, No. 10, 9, 8, 7, 6について(1)式と比較すれば, 測定値は(1)式にほぼ一致し, 最大誤差も突出し部の No. 6 の2%である。すなわち, 踏力板の中央線上では理論値に等しい値が測定できる。

つぎに, $y=223\text{mm}$ の線上の検定点 No. 22, 3, 2, 1, 21の荷重分担比を表したのが Fig. 2である。この図では各支点の分担比は検定位置の座標に比例してはいるが, (1)式の線からはいずれも離れ, 突出し部が最も悪く約10%の誤差になっている。 $y=-223\text{mm}$ の線上の No. 24, 15, 14, 13, 23でもこれとほぼ同じである。すなわち, 踏力板の端に沿って測定した場合には, 測定値と理論値は一致しなくて, 荷重が支点に近づくればその支点は計算値よりも過大に負担し, 荷重点が遠いと過小な値になることを示している。

3.3 踏力板中央での荷重増加試験

検定荷重は Fig. 1の19点について, 20, 40, 60, 80, 100kg の5段階で検定を行ったが, 中央点 No. 8

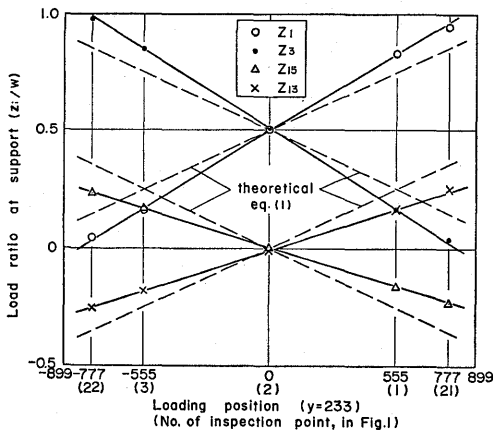


Fig. 2 Behavior of load cell concerned with loading position.

は踏力測定の際たびたび検定を行うので, 特にこの点の値に注目してみよう。この点での荷重と分担比の関係を示したのが Fig. 3である。この点は踏力板の中央であるから荷重は4支点に均等に負担され, 理論的には0.25である。しかるに測定値は, ゲージ G_1, G_3, G_2, G_4 の順序で, G_1, G_3 は平均値より増加し, G_2, G_4 は減少している。これは2節で述べたように, 4個のゲージの測定値が同一になるように各ストレインメーターのゲインを調整したために起ったことなのか, あるいは本当に, このような荷重分担の構造になっているかは明らかではない。

Fig. 3からわかるように, 荷重が増加するにつれて各支点の分担比は0.25に近づく, 100kgの荷重で各支点の分担比は一定にはなるが, 0.25にならない。

分担比が0.25でない理由は上述のようであるが, 荷重によって分担比が変化することは, 4支点での合計値では精度があっても, 各支点の測定値は必ずしも正確でないことを示している。特に歩行時の踏力のように, 時間とともに変化する力の計測には問題があることを示す。

4. 荷重点の位置と支点の関係

荷重点の位置 (x, y) は(1)式を用いれば次のように求まる。

$$\left. \begin{aligned} x &= (Z_1 - Z_3 + Z_{13} - Z_{15})a/W \\ y &= (Z_1 + Z_3 - Z_{13} - Z_{15})b/W \end{aligned} \right\} (2)$$

a, bは, 座標原点からz方向支点までのx, y方向の距離である。これは Fig. 1のように, $a=555\text{mm}$, $b=223\text{mm}$ である。

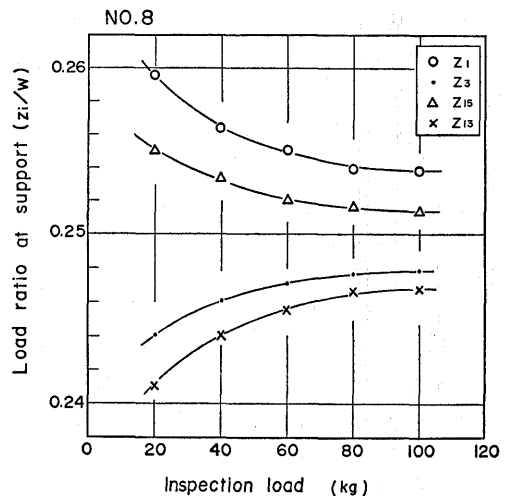


Fig. 3 Bearing load of the support in the case of loading at the center of force plate, No. 8.

Table 2 Co-ordinates of the supports calculated by eq. (2) with loading position

No.	22	3	2	1	21
a	554	550	—	551	554
b	221	222	—	221	223
No.		5	4		
a		550	547		
b		216	218		
No.	10	9	8	7	6
a	554	551	—	550	555
b	—	—	—	—	—
No.		12	11		
a		549	546		
b		224	224		
No.	24	15	14	13	23
a	555	551	—	550	557
b	224	227	—	225	226

検定点の位置は、Fig. 1 でわかるように明確であるから、100kg の分銅を用いて測定した各支点の負担荷重（あるいは分担比）から、踏力板の支点の位置を求めたのが Table 2 である。この表によれば突出し部の検定点の方がよく合っており、踏力板の中央付近の方が誤差が大きい。a の最大誤差は No. 11 の 1.6% で、b の最大誤差は No. 5 の 3.1% である。

この原因も、上述のようにゲインの設定に問題があるのか、ゲージボックスの複雑な構造からくるものかは不確かであり、見かけ上の支点距離を計算に採用すべきかもしれない。

逆に、支点距離が正しいとすれば、測定値から(2)式を用いて、検定位置が求まる。その値を図示したのが Fig. 4 である。大体 1% 前後で最大 5 mm の誤差である。

歩行中のねん転力を算出するには次式¹⁰⁾を用いる。

$$T = M + X \cdot y - Y \cdot x \quad (3)$$

ここで、X、Y は x、y 方向の踏力分力であり、M は計測値から求まる踏力板の回転モーメントである。この式でねん転力を求めるためには、正確な x、y が必要である。特に、歩行時におけるねん転力は、足首の機能から考えても微妙であるので、この値を正確に把握するには、x、y の高い精度が不可欠な条件になってくる。

5. 大型踏力計の問題点

踏力計が大型になることによって、歩行解析上いろいろな有利な面があることは前報¹⁰⁾で述べた。しか

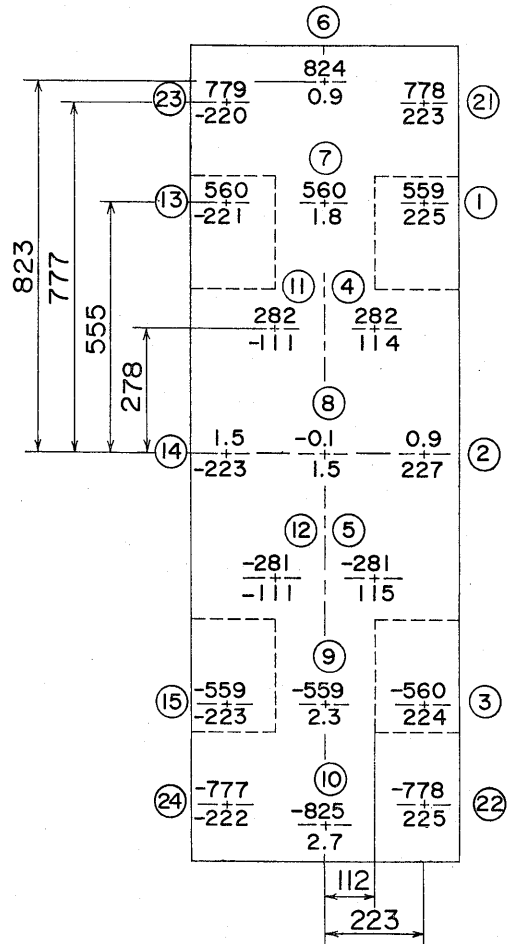


Fig. 4 Co-ordinates of loading position calculated by eq. (2).

(a=555 mm, b=223 mm, $\frac{\text{ordinate}}{\text{abscissa}}$)

し、大型になることによって新たに問題が生ずることもある。踏力計が大型になれば、健常者の正常歩行においては、2歩あるいは3歩の歩行が測定される。すなわち、両脚立脚期が1回あるいは2回記録されるので、このデータから左右脚それぞれの踏力を分離しなければならない。

3節で述べたように、突出し部の測定値には誤差が大きくなり易いこと、中央線上の歩行と端の方の歩行とは差があること、測定値の合計は正確であるが、各支点の値は不正確であること、着地点が正確に測定できないことなどが考えられる。

これらの欠点を除くためには、たとえば片脚の踏力を測定するために、よく Fig. 5 (a) のような方法が用いられているが、Fig. 5 (b) のように歩行すれば、本踏力計でも十分精度よく測定できる。

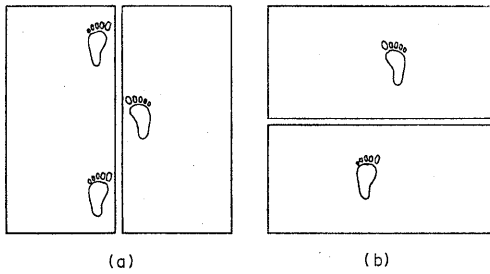


Fig. 5 Measuring method of a foot force by two large force plates.

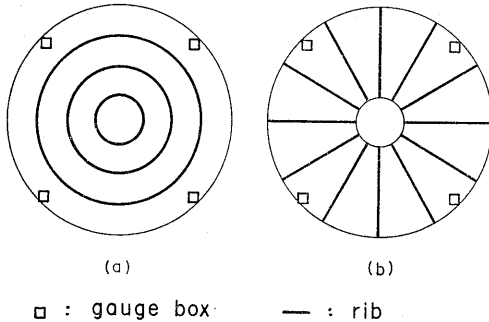


Fig. 6 New model of the large force plate.

また、これらの測定値より推定できることは、ゲージボックスの構造や突出し部など、本踏力計の構造には、剛性などに問題があるように思われるので、極端な表現をすれば、Fig. 6のように軸対称なリブをもつ踏力板であれば、どの方向にも同じような剛性をもつことができるし、また、どの方向にも同じように歩行力の測定ができる。

本踏力計のように、 x , y , z 方向の力が3方向に連結棒で測定される場合には、測定方向のほか直角2方向の値も同時に測定されている。すなわち、踏力のように3軸の力とモーメントが加わる場合には、その

方向の分力のほかに直角方向の分力も作用して干渉をうける。この欠点を避けるためには、前に報告した踏力計³⁾のように、3分力や回転力を別々に計測できる構造の方が高い精度の測定値が得られると考えられる。

本検定および測定値の整理には、助手御手洗忠君及び大学院学生谷口敏郎君の熱心な協力を得た。ここに厚く感謝したい。

文 献

- 1) Winter, D. A.; Biomechanics of Human Movement (1979), 5, John Wiley & Sons
- 2) Asmussen, E.; Biomechanics V (ed. Paavo, V. Komi, 1970), A-23, University Park Press
- 3) Mataka, T.; ibid. 2), B-426
- 4) Dagg, A. I.; Running, Walking and Jumping (1977), 38, Wyheham Publication
- 5) 真武友一; 整形外科バイオメカニクス, 2, (昭57-4), 1
- 6) Mataka, T.; Biomechanics VIII (ed. Matsui, H. and Kobayashi, K., 1983), B-1115, Human Kinetics Publishers
- 7) Harris, G. F., Salamon, N. J., and Weber, R. C.; Transactions of the ASME, Journal of Biomechanical Engineering, 103, 3 (1981-8), 213
- 8) 吉田清和; 三重医学, 26, (1982), 296
- 9) 真武, 御手洗, 今井, 大浦, 尾北; 長大工研究報告, 13, 20 (昭58-1), 1
- 10) 真武, 御手洗, 谷口, 井上; 長大工研究報告, 13, 21 (昭58-8), 1