

# 大型踏力計による歩行トルク線図について

眞 武 友 一\*・谷 口 敏 郎\*\*

## On the Torque Diagram in the Locomotion by the Large Force Plate

by

Tomokazu MATAKE\*, Toshiro TANIGUCHI\*\*

Although the force plate method is so simple as to step on it, the many dynamical behaviors of human locomotion have been analyzed by this method. And their results are reported on the subjects much more with the compressive component of the step force and scarcely with the others, especially the transcurrent one and the torque on the floor.

In this paper, there is mentioned about the method of torque measurement and about the behavior of torque in the locomotion by the large force plate. The locomotion might be combined with many torsional motions about the axis of body, which are caused by the swing of shoulder, arms, waist and legs. Their motions should be balancing each other, but a part of them will transmit the torque on the floor, especially in the double stance phase. The torque is obtained by the calculation with data at each support and the characteristic torque diagram can be drawn distinguishing from the other step force diagrams reported formerly.

### 1. 緒 言

踏力計を用いた研究は、床を踏むという簡単な方法にもかかわらず、ヒトの歩行に関しては多大の成果を挙げている。歩行現象は体重をかけて前進することであるから、床圧力が最も大きく、これに関係した研究が甚だ多いのは当然のことである。歩行三分力中左右方向のものは最小で、進行方向に直角であるため前進力に直接の関係がないこともあって、左右分力の歩行に及ぼす影響を系統的に調査したものは殆んどない<sup>1)</sup>

ヒトの歩行がロボットの進行と基本的に異なるのは身体がねじれることである。ヒトの歩行は重量のある

左右脚を交互に前方に振り出すため、身体の中心軸に関してトルクが発生する。このトルクとバランスをとるために左右の腕が左右脚と反対方向に振られるようになる。すなわち骨盤の回転と肩の回転が同期で位相が反対の場合が円滑な歩行となる。しかし、歩行中に全くバランスがとれているわけではなく、特に強い力を出す踏切り時の着点と身体の重心の位置の関係からわかるように、その時のバランスは難しい。従って、不釣合の分は床面との摩擦でもたねばならない。このような歩行中の床面に及ぼすトルクの研究は他に例がないので、前報で手の振り方の影響<sup>2)</sup>及び小型踏力計

昭和59年10月1日受理

\*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

\*\*機械工学専攻 (Graduate Student, Mechanical Engineering)

を用いたねん転力<sup>3)</sup>について基本的な問題を報告した。

本論文では、大型踏力計及び新しく開発した計測システムを用いて、踏力三分力の測定とこの測定値から計算したトルク及び三分力とトルクを組み合わせた踏力線図を作成し歩行中のトルクの挙動を単歩及び複歩

の各場合について調査した結果を述べる。

## 2. 測定装置及び実験方法

前報<sup>1)</sup>に示したように、大型踏力計を用いた実験のシステムはこれまでオフラインであったため、本実験ではコンピュータのみをA/Dコンバータを内蔵したPC9801Eに変えて、システムをオンライン化し、画像処理やデータ処理が迅速に行なえるようになった。前報<sup>1)</sup>で述べたように、自然歩行には一定の規則があり、その規則に従って歩調を合わせるビープをコンピュータ(PC6001)を用いて任意に設定することを可能にした。これらの実験システムのブロック図をFig.1に示す。

歩行方法及び歩行条件の設定は前報<sup>1)</sup>と同様に行ない、歩行直後の画像で正常歩行の確認を行なった後データを採取した。

トルクは各支点で計測される値を用いて前報<sup>3)</sup>の式で計算によって求めるので、各支点の三方向分力の測定値の精度がトルクの値に大いに影響を与える。そのため大型踏力計の中心を原点にして進行方向を $x$ 、これに直角右方向を $y$ 、下方に $z$ 軸を設定し、各方向に検定荷重を加えて測定の較正を行った。

## 3. 実験結果及び考察

歩行実験によって得られた結果の一例をFig.2に示す。これは、縦軸に歩行運動の際、床面上に及ぼす踏力3成分(垂直力 $Z$ 、前後力 $X$ 、左右力 $Y$ )及び床

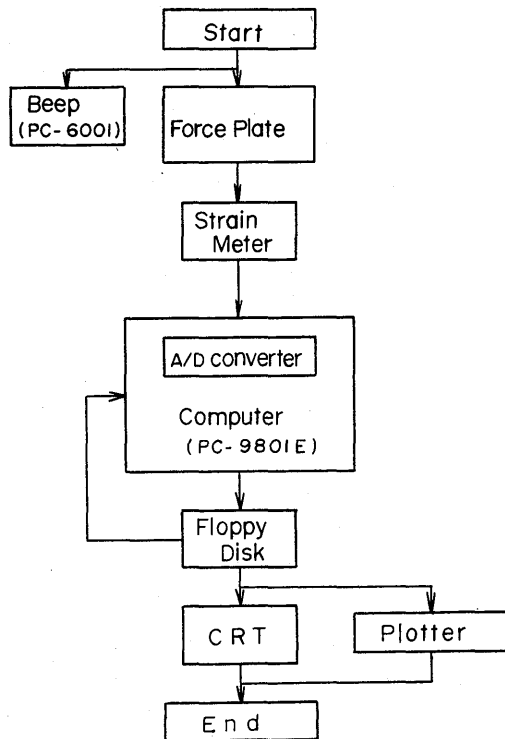


Fig. 1 Block diagram of experiment procedure.

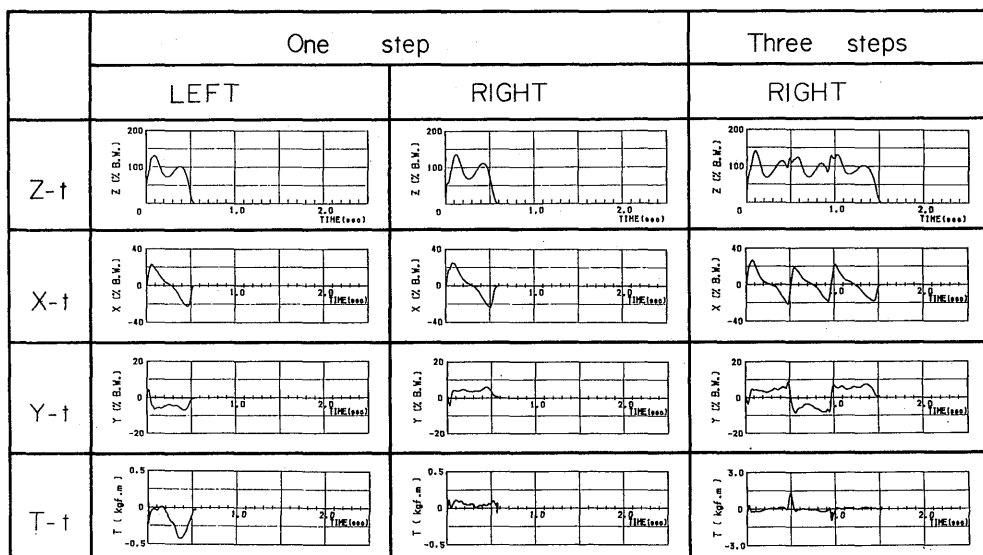


Fig. 2 Diagrams of step force components and torque in the cases of left and right leg, and three steps.

面上のトルク  $T$  を、横軸に時間をとって表わしたものである。Z, X, Y 及び  $T$  はそれぞれ  $z, x, y$  軸及び時計回りを正方向としている。図中の X, Y, Z の線図は左足、右足の単歩及び 3 歩の複歩とも前報<sup>1)</sup>と全く同じ挙動を示している。しかし単歩のトルク  $T$  については、左右脚は形状も大きさも異なっている。符号は左脚負、右脚正となっているが、両脚とも踵接地と踏み切り時では外転である。また左脚の外転トルクは右脚より大きく、この大きさの差は利足など個人差によるものであろう。

3 歩の場合のトルクも左右単歩の線図の合成になるはずである。図からわかるように、歩行の大部分の期間はトルクのバランスがとれているが、Z- $t$  線図からみて、遊脚が着地して立脚が踏切までの期間に、高いトルクが観測される。これは制動・駆動の急速な力の変化に、身体の各部の運動によるトルクが釣合わないために起る現象と思われる。

大型踏力計では両脚の力が作用している状態を計測するから、この状態での合成トルク  $T$  の式を次に示す。添字 1, 2, 3, 4 は支点、L, R は左及び右脚を示し、着力点の座標が  $x, y$  である (Fig. 3 参照)。

$$M = a(Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) + b(X_1 + X_2 - X_3 - X_4) \quad (1)$$

$$T = T_L + T_R = M + X_L y_L + X_R y_R - Y_L x_L - Y_R x_R$$

この式の左右脚の X, Y の分力はそれぞれは計測され

てはいないので、一義的には  $T_L, T_R$  を求めることは不可能である。しかし左右脚による合力として計測されているので合力によるトルクを求めることは前報<sup>3)</sup>の式を用いれば可能である。大型踏力計においては両脚立脚期の計測値から左右脚別々の踏力三分力及びトルクを分解することは今後の課題である。

踏力三分力の組合せである  $\alpha, \beta, \gamma$  線図については良く知られ、その特性についての研究<sup>1)4)5)</sup>も多い。トルクの解析を行なう場合も、トルクだけでは歩行の形態を明らかにできないので、他の三分力と関連している様子を線図に表わし、解析することは意義があり、トルクと Z, X 及び Y の組合せとして得られる線図が  $\xi, \eta, \zeta$  線図である。Fig. 4 は Fig. 2 のデータを用いて作製したもので、各線図は  $\alpha, \beta, \gamma$  線図に比べ複雑で、1 歩の左脚と右脚では形状が殆んど異なっている。これは Fig. 2 からわかるように、トルクが敏感で左右の対称性がないことに起因している。

一方、3 歩の場合は、Fig. 4 にも見られる両脚立脚期に生ずる大きなトルクが  $\eta$  及び  $\zeta$  線図にそれぞれ特色ある包絡線をつくっている。これらの線図の特性や線図形状の特徴及び他の踏力線図との関係の調査などについてはさらに実験数を増やして解析すべきであろう。

Fig. 5 は右脚から踏み込んだ 3 歩の場合の踏力の中心の軌跡である。この図を見てもわかるように、立脚期に身体は右前方向に移動している。左脚は前方に揺動して、着地の時身体は左前方に回転する。その時期に右脚のトルクを発生する。すなわち正トルクの外転状態になる。

従来、踏力三分成分の場合は再現性があることが確認されたため 3 回の平均データを使用して解析を行なった。トルクについてもその再現性の状態を調べるため、この被験者についての 3 回の実験の結果を Fig. 6 に示す。これらからわかるように、左脚単歩では同一傾向を示し、ある程度の再現性が見られるが、右脚単歩では毎回の線図の形状が異なっている。これはトルクが歩行に敏感であることに原因があり、左右脚の差は利足にも関係すると思われる。しかし、3 歩の場合には他分力と同様に再現性がみられる。

#### 4. 結 論

大型踏力計を用いた歩行システムを開発し、それを用いた 1 被験者の歩行実験から主として床面上に及ぼすトルクの現象を解明した。そこでトルクは歩行に敏感で、左右脚単歩の場合はトルク線図に差があり利足

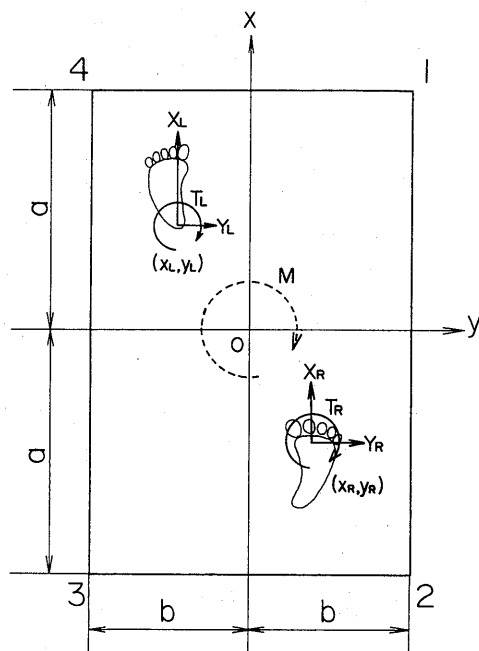


Fig. 3 Schematic diagram of step force components and torques in the double stance phase.

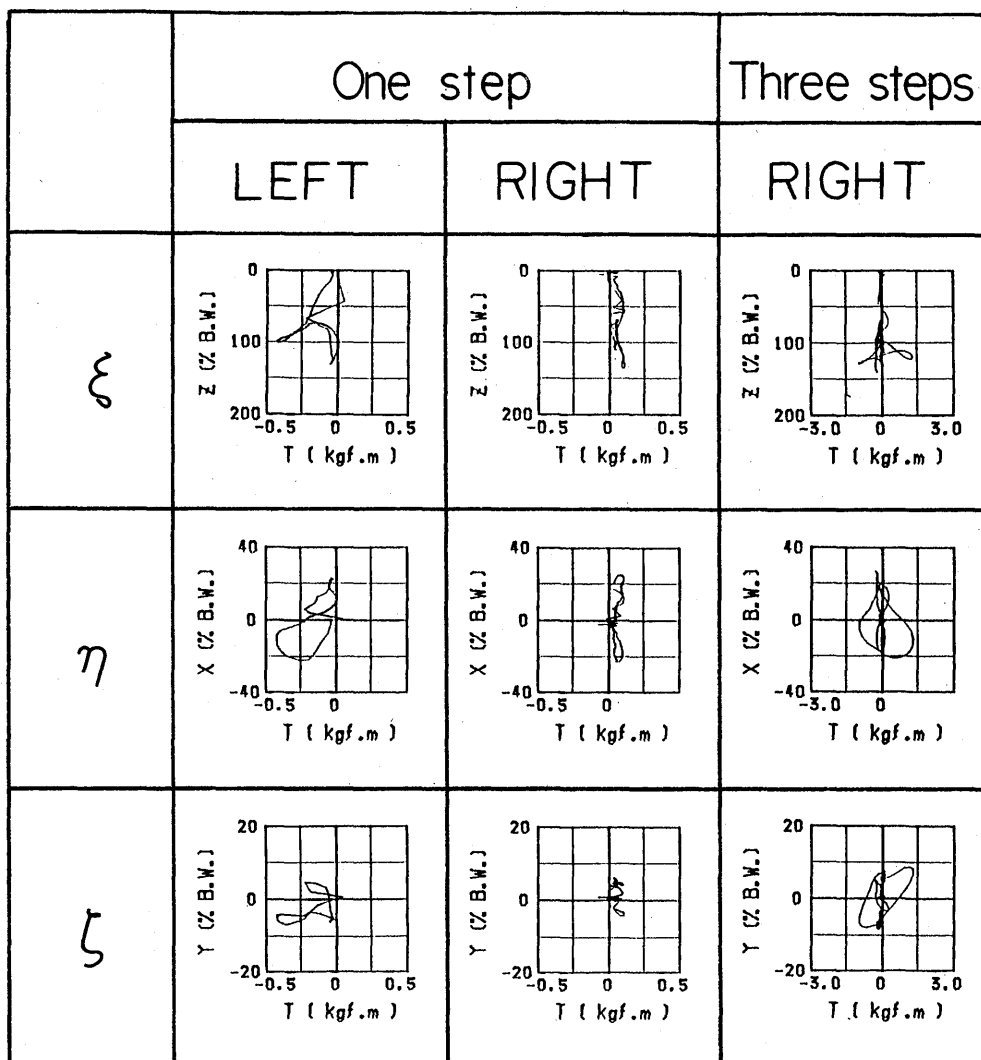


Fig. 4  $X$ ,  $\eta$  and  $\zeta$  diagrams of torque combined with step force components in the cases of left and right leg, and three steps.

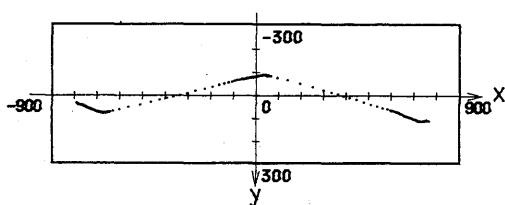


Fig. 5 Locus of the resultant step force in the locomotion on the large force plate.

等の影響が顕著に現われていること、しかし複歩の場合には再現性はあるが両脚立脚期に大きなトルクが現われることなどがわかった。また、トルクと前後力 $X$ 及び左右力 $Y$ を組合せたり及び $\xi$ 線図はトルクの特徴を知る上で最も適した線図である。これらの踏力線図の特性や線形状を定量的に特定するためには今後多くの実験値が必要である。

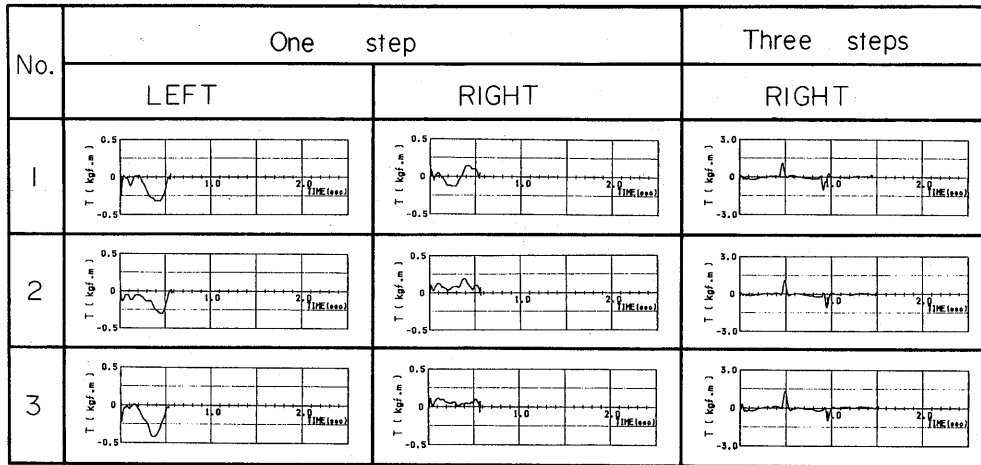


Fig. 6 Torque diagrams in the cases of left and right leg, and three steps.

## 参考文献

- 1) 眞武, 谷口 ; 長大工研究報告, 14, 23 (昭59-7), 91
- 2) 眞武, 今井, 高瀬, 松本 ; 長大工研究報告 14 (昭55-1), 1
- 3) 眞武, 御手洗, 今井, 大浦, 尾北 ; 長大工研究報告13, 20 (昭58-1), 1
- 4) Mataka, T ; Biomechanics V (ed. Paavo, V. Komi, 1970, University Park Press), B-426
- 5) 吉田 ; 三重医学, 26 (1982), 296

