二つの動輪を用いたピッチングマシンの動特性*1

Dynamic Characteristics of Pitching Machine

Using Two Wheels with Offset Shafts

○正 馬場豊治 1 (ジャイロ技研), 馬場晴雄 2 (ジャイロ技研), 正 吉永崇 3 (ジャイロ技研, 顧問)
Toyoji Baba #1, Gyro-Giken, 414-1, Kuchido, Oita-City, 870-1162
Haruo Baba#2, Gyro-Giken, 414-1, Kuchido, Oita-City, 870-1162
Takashi Yoshinaga #3, 202 Windom Hasama, 1-5-13, Takeshita Oita-City, 870-0265

Ordinary pitching machines using two wheels with parallel rotating shafts throw only balls with spinning axis perpendicular to the thrown directions. A pitching machine using two rotating wheels arranged with offset shaft angles is developed to throw various curving balls such as gyro ball, slider ball, cut ball and so on. The machine pitches various balls as if they were thrown by real pitchers in spite of its simple mechanism. Assuming that velocities at two contact points on a ball with wheel surfaces are instantly accelerated to the wheel surface velocities, characteristics of the pitching machine are analyzed by using schematic and vector analysis.

Key Words: Pitching Machine, Slider Ball, Gyro - Ball.

1. 緒言

ピッチャーは、ボールの縫目への指のかけ方、回転のさせ方、投球速度などを変え、ストレート、カーブ、スライダ、ナックル、ジャイロ、カット、チェンジアップなど多種多様な変化球を投球する。一方、打者はこれらの変化球に対してバッティング練習で打撃力を鍛える。この打撃練習のため、これまでに様々な形式、すなわち、エアガン式、バネ反発式、動輪式、アーム式などの多くのピッチングマシンが開発されてきた。現在では、回転軸が平行で同じ直径の2つの動輪を正と負の方向に異なる角速度で回転させ、動輪間にボールを押込み加速回転させる二動輪式ピッチングマシンが広く使用されている。しかし、この機種の欠点はボールの投球方向に対して垂直な軸周りに回転するボールだけが投球できることである。この欠点を無くするため、2つの動輪の回転軸を互いに適切な角度に傾けることによって、進行方向に対しても傾いた角速度を持つボールの投球が可能なピッチングマシンが発明され¹⁾。ここでは、ボールの加速と回転の原理を解析し、動輪の角速度と交叉角に対してどのようなボールが投球されるかを図式とベクトル表現で解析する。

2. 交叉角のある2動輪式ピッチングマシン

Fig. 1 Pitching machine using two wheels with offset rotating axes.

Fig. 1 に、交叉角付き二動輪式ピッチングマシンを示す。動輪の回転方向は動輪の片側から見て右ねじの進む方向を正とする。角速度ベクトル ω と速度ベクトル V の添え字は動輪 WA では A で、動輪 WB では B で示す。速度ベクトル V_A と V_B は2つの動輪の交叉角 θ で交叉している。ボールの接点 A では動輪 WA によって瞬時に $V_A = \omega_A \times R_A$ に加速され、接点 B では動輪 WB によって瞬時に $V_B = \omega_B \times R_B$ に加速されると仮定する。C.G.は重心を表す。動輪の半径は $R_A = R_B = R$ 、ボールの半径は $r_A = r_B = r$ とする。

3. 動輪の角速度 ω_A , ω_B と交叉角 θ が与えてボールの重心速度 V , ライフル角 θ_1 と角速度 ω を求める方法

Fig. 2 に、Fig. 1 を右斜め上から見て、ボール上のベクトルを拡大表示する。

Fig. 2 Vector components at A and B on the ball surface.

ボールの重心速度 $V_{c.g.}$ を省略して V と書くことにする。物体の運動はその重心速度 V と重心周りの角速度 ω による

速度の和で表される。このような2点接触の場合、Fig. 2に示すような図式解法がベクトル解析法よりも直感的で分かりやすい。ボールの半径ベクトルは $\mathbf{r}_A = -\mathbf{r}_B = \mathbf{r}$ 、動輪の半径ベクトルは $\mathbf{R}_A = -\mathbf{R}_B = \mathbf{R}$ であるから、

$$\mathbf{V}_A = \boldsymbol{\omega}_A \times \mathbf{R} \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_B = \boldsymbol{\omega}_B \times (-\mathbf{R}) \quad (2)$$

$\mathbf{V}_A$ と $\mathbf{V}_B$ の2つの先端を結ぶ線分の中点を $\mathbf{P}$ とする。 $\mathbf{OP}$ を $\mathbf{V}$ とする。これがボールの重心速度である。 $\mathbf{A}$ 点から $\mathbf{V}$ に平行で等しい大きさのベクトル $(\mathbf{V})_A$ を、 $\mathbf{B}$ 点から $\mathbf{V}$ に平行で等しい大きさのベクトル $(\mathbf{V})_B$ をとる。 $\mathbf{A}$ 点で $\mathbf{V}_A$ と $(\mathbf{V})_A$ によって平行四辺形を作ると $\mathbf{V}_{A\omega}$ が得られる。 $\mathbf{B}$ 点で $\mathbf{V}_B$ と $(\mathbf{V})_B$ によって平行四辺形を作ると $\mathbf{V}_{B\omega}$ が得られる。 $\mathbf{V}_A$ と $\mathbf{V}$ と $(\mathbf{V})_A$ の3頂点の作る三角形と $\mathbf{V}_B$ と $\mathbf{V}$ と $(\mathbf{V})_B$ の3頂点の作る三角形が合同であるから $\mathbf{V}_{A\omega} = -\mathbf{V}_{B\omega}$ である。 $\mathbf{V}_{A\omega}$ と $\mathbf{V}_{B\omega}$ はボールに回転を与える速度成分である。 $\mathbf{A}$ 点と $\mathbf{O}$ 点と $\mathbf{P}$ 点の速度、 $(\mathbf{V})_A$ と $\mathbf{V}$ と $(\mathbf{V})_B$ はボール全体が重心速度 $\mathbf{V}$ で移動することを表す。ボールの進行方向 $\mathbf{V}$ と動輪の速度方向 $\mathbf{V}_A$, $\mathbf{V}_B$ とのなす角 θ_1 , θ_2 はライフル角と呼ばれ、 $\mathbf{V}_A$, $\mathbf{V}_B$ と交叉角 θ から決まる。

3.1 重心速度 $\mathbf{V}$

Fig. 2 に示す2つの動輪とボールとの接触点の速度ベクトルを真上から見ると Fig. 3 のベクトル図で表される。 $\mathbf{A}, \mathbf{O}, \mathbf{B}$ は同一点とみなす。

Fig. 3 Perspective of velocity vectors on the ball.

重心速度 $\mathbf{V}$ の方向を $\mathbf{X}$ 軸とする。 $\mathbf{Y}$ 軸は $\mathbf{X}$ 軸と線分 $\mathbf{BOA}$ に垂直な方向に取る。 $\mathbf{Z}$ 軸は紙面に垂直で手前方向が正方向である。重心速度 $\mathbf{V}$ の大きさとボールの発射方向のライフル角 θ_1 , θ_2 を求めるため三角形 $\mathbf{ALP}$ に余弦定理を適用する。 $\angle \mathbf{ALP} = 180^\circ - \theta$ であるから

$$V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta = (2V)^2 \quad (3)$$

$$\therefore V = (1/2)(V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \quad (4)$$

重心速度 $\mathbf{V}$ は交叉角 θ と動輪の2点での接触速度 $\mathbf{V}_A$, $\mathbf{V}_B$ によって決まる。重心速度は2動輪の接触点速度の平均速度である。

3.2 ライフル角 θ_1 , θ_2

次に三角形 $\mathbf{LAP}$ に余弦定理を適用して θ_1 を求める。

$$V_A^2 + (2V)^2 - (2V_A)(2V) \cos \theta_1 = (V_B)^2 \quad (5)$$

(5)式に(4)式を代入して

$$\cos \theta_1 = (V_A + V_B \cos \theta) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \quad (6)$$

次に三角形 $\mathbf{NBP}$ に余弦定理を適用して θ_2 を求める。

$$\cos \theta_2 = (V_B + V_A \cos \theta) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \quad (7)$$

したがって

$$\theta_1 = \cos^{-1} \{ (V_A + V_B \cos \theta) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \} \quad (8)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \{ (V_B + V_A \cos \theta) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \} \quad (9)$$

$$\theta_1 + \theta_2 = \theta$$

3.3 ボールのスピン角速度 $\boldsymbol{\omega}$ の成分

Fig. 2 の大きさが等しく逆向きの2つのベクトル $\mathbf{V}_{A\omega}$, と $\mathbf{V}_{B\omega}$ とがボールのスピン角速度ベクトル $\boldsymbol{\omega}$ を与える。

$\mathbf{V}_{A\omega} = -\mathbf{V}_{B\omega}$ である。それぞれを $\mathbf{X}$ 成分と $\mathbf{Y}$ 成分に分ける。

Fig. 4 Components of angular velocity.

$V_{A\omega x} = -V_{B\omega x}$, $V_{A\omega y} = -V_{B\omega y}$, である。これらの $\mathbf{Y}$ 成分が $\boldsymbol{\omega}$ の $\mathbf{X}$ 成分を、 $\mathbf{X}$ 成分が $\boldsymbol{\omega}$ の $\mathbf{Y}$ 成分を与える。角速度の定義から、 $\boldsymbol{\omega} = \omega_x \mathbf{i} + \omega_y \mathbf{j}$

$$\omega_y = (V_{A\omega x} / r) \mathbf{j} = -(V_{B\omega x} / r) \mathbf{j}, \quad (10)$$

$$\omega_x = (V_{A\omega y} / r) \mathbf{i} = -(V_{B\omega y} / r) \mathbf{i} \quad (11)$$

途中の計算を略して結果だけを示す。

$$\omega_y = (1/2r)(V_A^2 - V_B^2) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \quad (12)$$

$$\omega_x = (1/r)(V_A V_B \sin \theta) / (V_A^2 + V_B^2 + 2V_A V_B \cos \theta)^{(1/2)} \quad (13)$$

4. まとめ

ピッチングマシンの動輪に交差角を持たせることによりボールに傾いた角度の回転を与えることができ、実際のピッチャーと同様の変化球の投球できるようになった。

5. 謝辞

論文作成に際し、福岡工業大学大学院の溝田武人教授から何度も激励をいただいた。心から感謝いたします。

6. 参考文献

- 1) 馬場豊治, 出願番号特願平 9-181102, 特許取得番号 PAT3986124