

バドミントンシャトルの数値モデリングと 飛翔軌道の妥当性検証

身体運動科学研究領域

5017A061-8 堀内 天真

研究指導教員：矢内 利政教授

【緒言】

ネットショットは自陣ネット付近から敵陣のネット付近へ向けてネットに沿うように打つ低速度の打球である。これはバドミントン競技において多用され自身が攻撃をしかけるための布石として使用される(Lu and Huang, 2005)。ネットショットにさらに技術を加えたショットとしてスピネットショットが存在する。これは打者がネットショットを打つ際に故意に短軸まわりに回転をさせる打球である。スピネットショットは相手にとってコルク部の打撃を困難にさせることで打球方向の選択肢を制限することが可能である。これらのことからスピネットショットは試合を自分にとって有利な状況にするために重要なショットであると言える。

これまでバドミントン競技で用いられるシャトルに関する研究は多く行われてきた。その理由として異なる球技で使用される球体状のボールの飛翔軌道とバドミントン競技で使用されるシャトルの飛翔軌道が大きく異なることが挙げられる(Claret, 2015; Cohen et al. 2013)。異なる特性として減速特性と整列特性が挙げられる。シャトルはその形状により大きな抗力を発生させることから減速特性を持つ。また、シャトルは打ち出されるとインパクト直後に急激に仰角(シャトルの長軸と速度ベクトルの間の角度)を変化させながら飛翔していく。次第にこの振動は減衰していき、やがてシャトルの長軸と速度方向は一致する(Cohen et al., 2015)。これが整列特性である。

これまでに行われたシミュレーション研究ではシャトルの飛翔運動は2次元平面内の運動に簡略化されていた。回転運動のシミュレーション研究についても同様に2次元平面における運動に簡略化されていたため3次元空間での運動は明らかにされていない。さらにシャトルの回転運動を対象とした研究では短い時間(0.065 s 以下)での運動に限定されていたがシャトルの飛翔運動を明らかにするためにより長時間のシミュレーションが必要であると言える。

そこで本研究の目的は3次元空間におけるシャトルの飛翔軌道をシミュレーション分析するための流体力モデルを構築し、その妥当性をスピネットショットの実測値を用いて検証することとした。

【実測値の測定】

フォアハンドによるスピネットショットを4台の高速度カメラ(Vision Reserch 社製, Phantom MiroEX4-C)を用いて撮影した(240fps)。高速度カメラによる映像から画像解析ソフトウェア(DKH 社製, FrameDIAS V)を用いてシャトルのコルクと羽根の先端部の3点、計4点をデジタル化した。デジタル位置からDLT法によりそれぞれのポイントの3次元位置座標を取得した。また、取得した位置座標からシャトルの位置・速度・方位・角速度を算出した。

【シミュレーション】

スピネットショットにおけるシャトルの挙動を分析するため、4つの数値モデルを

用いてシミュレーションを行った。モデルⅠは先行研究(Cohen, et al. 2015)により定義された球体と質点で構成されるモデルである。モデルⅡは円錐と質点を用いたモデルであり、モデルⅢとモデルⅣは円錐台と球体を用いて定義した。モデルⅢとモデルⅣで考慮する流体力の係数は中川ら(2017)の論文に示された抗力係数・揚力係数・ピッチングモーメント係数と仰角の関係を使用した。スピネットショットインパクト直後のシャトルの実測値から算出したキネマティクス変数を初期値として、その後のシャトルの飛翔軌道をニュートン・オイラーの運動方程式を用いて各モデルについて算出した。その際、数値積分は4次のRunge-Kutta法を使用した。また、刻み時間 dt は $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}$ とし、シミュレーション時間は 0.375 s とした。

【飛翔軌道の最適化】

実測値と各モデルを用いたシミュレーション結果の飛翔軌道の差を減らすことを目的として流体力の最適化を行った。設計変数は各モデルにおける抗力係数、揚力係数、ピッチングモーメント係数とした。目的変数はシミュレーションによる飛翔軌道の時系列データと実測値の差分の絶対値和とした。演算はMATLAB R2017a(MathWorks社製)のOptimization Tool Boxを用いて行った。最適化手法は内点法アルゴリズムを適用した。

【結果】

最適化をすることで、最適化前に比べて3次元空間における実際の飛翔軌道とシミュレーションの結果を全てのモデルにおいて近づけることができた。また、最適化後に最も実測値による飛翔軌道との誤差が小さかったものはモデルⅢであった。シャトルの回転運動に関しては実際の運動に近いシミュレーション結果を得ることはできなかった。

本研究よりバドミントン競技におけるスピネットショットの飛翔軌道をシミュレーション分析するには中川ら(2017)の論文に示された抗力係数・揚力係数と仰角の関係をそれぞれ0.76倍・2.8倍し球体に作用する抗力の抗力係数は0.019に設定したモデルⅢを使用するべきである。

【考察】

シャトルの回転運動が実際の運動とは異なった理由として、最適化問題における目的変数が飛翔軌道の誤差の総和であったことが挙げられる。また、モデルⅢでは筒型円錐台に作用する流体力の作用点である風圧中心が一定であったことも要因として考えられたが、風圧中心の推移を考慮した各仰角とピッチングモーメント係数の関係を使用したモデルⅣでも減衰は見られなかった。そこで実測値に近いシャトルの減衰を再現するためにはどれだけの流体力が作用する必要があるのかをモデルⅢを用いて調べたところ、先行研究で提示された抗力・揚力係数を90倍した値が必要であることが明らかとなった。しかし、これだけ大きな流体力が作用してしまうと飛翔軌道が実際の軌道とは大きく異なる結果となった。

本研究では加速度依存項となる付加質量は考慮しなかった。鉛直上向きにシャトルを射出した場合におけるシャトルの付加質量は $0.4g$ で、シャトルの質量の約8%となることが報告されている(板倉ら, 2016)。これはシャトルの外形の体積比に換算すると球体の体積比に比べ6倍程大きな値である。

今後、最適な流体力モデルを完成させることで、大がかりな機材を使用することなく優れた打球に必要な条件を明らかにすることが可能となる。そこから、その打球を打つためにはどのような動作が必要となるかを仮定することができ、さらなる競技力向上の手助けとなり得る。