

## テニススタジアム内の風環境が競技に及ぼす影響に関する 三次元流体解析による基礎的研究

### Basic research by three-dimensional fluid analysis on the influence of the wind environment in the tennis stadium on the competition

○石田涼将<sup>1</sup>,石鍋雄一郎<sup>2</sup>,中島肇<sup>3</sup>\*Suzumasa Ishida<sup>1</sup>, Yuichiro Ishinabe<sup>2</sup>, Hajime Nakajima<sup>3</sup>

In tennis competitions, the wind speed and direction of the wind blowing on the stadium greatly affects the competition results. Since tennis is a ball-handling game, a ball away from the player is easily affected by the wind. Therefore, it tends to be unignorable in tennis competitions that require precise ball control, and the stronger the wind speed, the easier it is for luck to intervene rather than the ability.

The purpose of this study is to understand the effects of the stadium roof, stand shape and wind speed on the wind flow on the court and around the stand by three-dimensional fluid analysis, and to realize the optimum competition environment for tennis players. In this report, we made a calculation and analysis model of wind speed, which has an adverse effect on athletes, and grasped the basic wind flow in the tennis court.

#### 1. はじめに

テニス競技において、スタジアムに吹く風の風速、風向は競技結果に大きく影響を及ぼす。テニス競技はボールを扱う競技であるため、競技者から離れたボールは風の影響を受けやすい。そのため、精密なボールコントロールを要求されるテニス競技において風の影響が大きく、風速が強いほど実力よりも運が介在しやすくなる。

本研究では、スタジアムの屋根やスタンド形状および風速が、コート上およびスタンド周りの風の流れに及ぼす影響を三次元流体解析によって把握し、テニス競技者にとって最適な競技環境を実現することを目的とする。本報では、競技者にとって悪影響となる風速の算定と解析モデルを作成し、テニスコート内の基本的な風の流れの把握を行った。

#### 2. 規定風速の算定

##### 2-1. 前提条件

テニス競技者がコート上で明確に影響を受ける風速を規定する必要がある。しかし、陸上競技のように公式の規定がないため、本研究での規定風速を算定する必要がある。規定風速を算定するにあたって、テニス競技において最も風環境の影響を受けやすいと考えられるサーブトスを行った際の、風の影響によるボールの水平移動距離を計算し、これを基に規定風速を決めるものとする。

空中でボールが風の影響を受ける時間を計算するために、前提条件として、サーブトスを行う人物の身長を180cmとする。180cmの人物の頭の大きさを約23cm、首の長さは7cm、腕の長さは約54cmとする。ラケットの長さは約70cmとし、ボールを打つスイートスポ

ットの位置をラケットの頭から12cm、サーブを打つ際にジャンプする高さを20cmとする。また、ボールが頂点から打つ位置まで落下する距離を20cmとする。よって、地面からボールの頂点までの距離が309cmとなる。

ボールを投げ上げる位置を肩の高さとすると、ボールの滞空距離が約180cmとなる。この滞空距離から、等加速度直線運動の公式より、ボールが風の影響を受ける時間は約0.72sとなる。

##### 2-2. 移動距離の算定

ボールが上下運動をしている間に真横からの風が吹いた場合、どの程度移動するか算出する。移動距離の評価の目安として、テニスラケットのスイートスポットエリアを考慮する。競技を行う上で、スイートスポットエリアにボールを収めることで、効率よく力を伝え意図するコントロールを行うことができる。このスイートスポットエリアの幅は約12cm、ボールの直径が約7cmであるとする、ボールの水平移動の許容幅は約±2.5cmとなる。

移動距離を算定するにあたり空気抵抗を考慮する必要がある。力Fには抗力 $F_d$ 、揚力 $F_l$ 、重力 $F_g$ があるが、ここでは鉛直方向と水平方向の運動は相互作用しないものとして、揚力 $F_l$ と重力 $F_g$ は0とする。運動方程式に抗力 $F_d$ の(1)式を用いて計算を行う。また、レイノルズ数Reを用いてClift and Grauvinの式(2)式より抗力係数 $C_d$ を求める。

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad (1)$$

$$C_d = \frac{24}{Re} (1 + 0.15Re^{0.687}) + \frac{0.42}{1 + 4.25 \times 10^4 Re^{-1.16}} \quad (2)$$

$\rho$  : 空気密度,  $A$  : 球の投影面積,  $V$  : 風速と球の速度の相対速度

以上に示した式を用いた運動方程式を解き移動距離を算定した結果, ボールを約±2.6cm 移動させる風速 2.5m/s が規定風速として適当と考えられる (Table 1).

### 3. 数値解析概要

スタンドの平面寸法や角度を既存のスタジアムを参考にスタンド形状を設定し, モデルを作成する (Figure 1, Figure 2). 解析モデルは一段スタンドの形状とし, 屋根のないモデルを対象とする. 計測地点は, 競技者がサーブを行う両側のベースライン (BL) 付近とする. 風の流入方向は, スタジアムの長手方向の風で三次元流体解析を行う. Table 2 に基本条件を示す.

### 4. 解析結果

Figure 3 に, 高さ約 3m での風速分布の解析結果を示す. スタジアム内の風の流れは, コート中央部において, 流入方向とは逆向きに風が流れており, その後左右に分かれ渦を巻いているように見られる. これは, 流入した風がそのままスタジアム内に侵入したわけではなく, スタジアムの裏に回った風が衝突しあい, 一部の風が逆流し, スタジアム内に侵入してきているためだと考える. Figure 4 に, Figure 3 と同じ高さかつ, コート中央部での風速分布を示す. 流入風の風上側の BL 付近では 1.0m/s 近くだが, 風下側の BL 付近では 3.0m/s を超えていることがわかる (Figure 4).

### 5. まとめおよび今後の検討

本報では, 競技者にとって悪影響となる風速の算定を行い, 規定風速を決定した. また既存のスタジアムを参考に解析モデルを作成し, 三次元流体解析を行うことで, コート内の風の流れを把握した.

今後は, 基本モデルの寸法をもとにスタンドの段数や形状の違い, 屋根の有無, 風の流入方向および風速が, テニスコート内の風の流れや風速にどのような影響を与えるかを把握し, 競技者が風の影響を受けにくいスタジアム形状を検討する.

Table 1. The distance the ball moves due to the wind

	レイノルズ数 $Re$	抗力係数 $C_d$	移動距離 (m)
$V=3$ (m/s)	$1.39 \times 10^4$	0.436	0.0383
$V=2.5$ (m/s)	$1.16 \times 10^4$	0.425	0.0261
$V=2$ (m/s)	$9.26 \times 10^3$	0.412	0.0162

Table 2. Basic conditions for analysis

離散化手法	有限体積法
乱流モデル	0方程式
圧力解放	Gauss-Seidel法
移流項	一次精度風上差分
解析空間	112(m) × 112(m) × 45(m)
流入条件	地表面粗度区分Ⅲ, 基準高さ15m, 風速8.0m/s
側壁境界条件	Free Slip
天井境界条件	Free Slip
床面境界条件	No Slip
計算時間	120秒

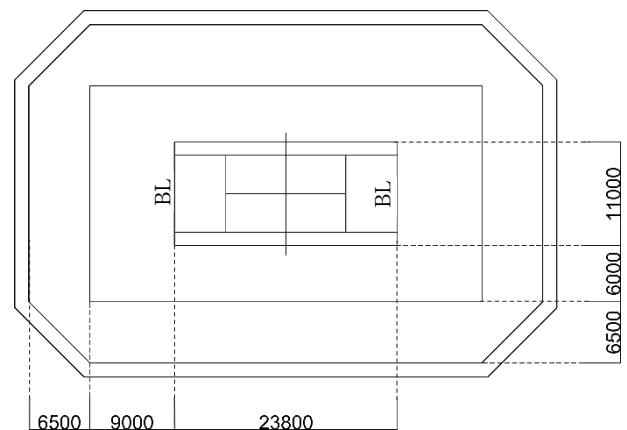


Figure 1. Floor plan of the stadium

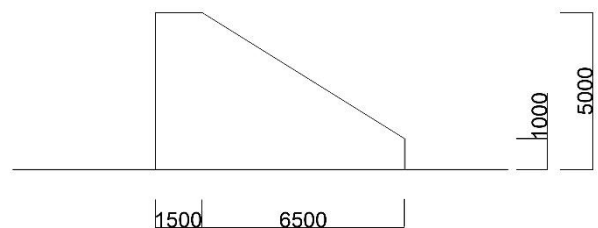


Figure 2. Cross section of the stadium

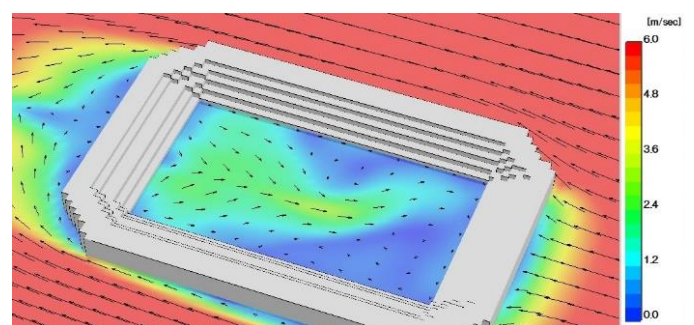


Figure 3. analysis result of one-stage stand

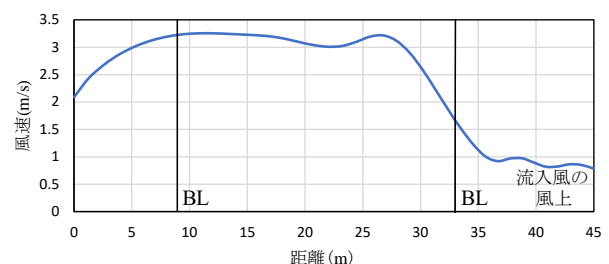


Figure 4. Wind speed distribution on the play court