

サッカーのボレーキックにおける足部の速度およびインパクト位置が ボール速度に及ぼす影響

谷 茂樹^{*1}, 城所 収二^{*2}, 矢内 利政^{*3}

The effect of foot velocity and impact point on kicked ball velocity in soccer volley kick

Shigeki TANI^{*1}, Shuji KIDOKORO^{*2} and Toshimasa YANAI^{*3}

^{*1} Waseda Univ. Dept. of Sports science
Mikajima 2-579-15, Tokorozawa, Saitama, 359-1192 Japan

The purpose of this study was to describe the characteristics of the ball impact in soccer volley kick. Nine experienced male soccer players performed volley kicks. The ball was projected by soccer machine at three speeds (9.0m/s for Low speed condition: 11.5m/s for Middle speed condition: 15.0m/s for High speed condition). The volley kick performances were recorded with three high-speed cameras. Ball velocity after impact had a significant correlation with the foot velocity in each speed condition. Ball-foot speed ratio (= ball speed after impact / foot speed before impact) had a quadratic relation to the impact point of the ball on the foot along the short-axis and it was high when the ball impact point was near the mid-sagittal plane of the foot.

Key Words : Soccer, Volley Kick, Ball Velocity, Impact Point, Foot Velocity

1. 緒 言

サッカーにおいてシュートは重要な技術である。シュートに用いるキックには、ボールを足部の甲で蹴るインステップキック、足部の内側面で蹴るインサイドキックなどがある。中でもインステップキックは、最も大きなボール速度を得られるキックであり⁽¹⁾、相手のゴールキーパーのセービング動作時間を短縮できることから、シュートに最適なキックであると考えられる。

これまでに、インステップキックのボール速度に着目した研究が数多く報告されている。Bull-Andersen et al.⁽²⁾や Asami et al.⁽³⁾は、足部の速度がボール速度に及ぼす影響を明らかにしており、大きなボール速度を得るためには足部の速度を大きくすることが重要であると報告している。また、石井ら⁽⁴⁾は足部長軸方向におけるインパクト位置がボール速度に及ぼす影響を明らかにしており、足部質量中心付近でインパクトすることが重要であると報告している。さらに、Asai et al.⁽⁵⁾は足部の左右方向のインパクト位置がボール速度に及ぼす影響を明らかにしており、ボールの速度を高めるには足部の甲の左右中心付近でボールをインパクトすることが重要であると報告している。しかしながら、これらの研究は静止しているボールをキックする技術を対象としているため、その知見が試合で活用される局面はペナルティーキックやフリーキックなどプレースキック（静止しているボールへのキック）に限られる。田中⁽⁶⁾は、1986年メキシコワールドカップの全132ゴールを分析し、ゴールの約60%がグラウンダーのボール（静止または地面を転がっているボール）をキックしたものであり、約20%のゴールがボレーキックによるものであったと報告している。このように、相手ゴール前では選手が密集しプレーエリアが狭められ時間的にも制限されるため、飛来するボールをキック（ボレーキック）しなければならない場面も多い。

^{*1} 一般学生, 早稲田大学大学院 (〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15)

^{*2} 一般学生, 早稲田大学大学院・日本学術振興会特別研究員

^{*3} 正員, 早稲田大学

E-mail: tyanai@waseda.jp

ボレーキックは、飛来するボールに合わせて予測したインパクト位置にタイミングよく足部を高速度で移動させて行うキックであるため、試合でゴールの枠を大きく外すことも多く、プレースキックに比べて正確なインパクトが困難であると考えられる。そのため、ボレーキック後のボール速度に及ぼす影響は、プレースキックに比べて足部の速度による要因が小さくなり、インパクト位置による要因が大きくなると推察される。さらに、インパクト前のボール速度が大きくなるにつれて正確なインパクトが困難になるため、この傾向はより顕著になると推察される。しかし、ボレーキックにおいて足部の速度やインパクト位置がインパクト後のボール速度に及ぼす影響は明らかにされていない。また、ボレーキックはプレースキックとは蹴り方が異なるため、足部の速度やインパクト位置に加えて足部の速度の方向といった視点が必要になる可能性が考えられる。そこで本研究は、ボレーキックにおいて大きなボール速度を得ることのできるインパクト特性を明らかにするために、①ボレーキックにおける足部の速度およびインパクト位置がインパクト後のボール速度に及ぼす影響、②インパクト前のボール速度の違いによるインパクト後のボール速度に影響を及ぼす要因の変化を検討する。

2. 方 法

2・1 被験者

被験者は、サッカー競技歴が6年以上の男子学生9名（身長 $1.725 \pm 0.049\text{m}$ 、体重 $65.9 \pm 4.9\text{kg}$ 、競技歴 13.0 ± 3.5 年、年齢 22.1 ± 1.4 歳）とした。なお、すべての被験者の利き脚（蹴り脚）は右脚であった。本実験の実施にあたり、早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得た。また、被験者には本研究の目的や実験方法などを事前に説明し、実験参加への書面による同意を得た。

2・2 実験試技

被験者には十分なウォーミングアップを行わせた後、屋内練習場にて被験者の蹴り足の側方に設置したサッカーボール発射マシン（JUGS 社製、M1800）より発射されたボールを、4m前方に設置したターゲット（ $1.3 \times 1.3\text{m}$ ）を狙い、インステップキックを用いたボレーキックをさせた（図1）。この時、被験者には大きなボールの速さで、フットサルゴールの中央に設置したターゲットに当たるように指示を与えた。ボレーキックするボールの速さは、 9.0m/s （低速条件）、 11.5m/s （中速条件）、 15.0m/s （高速条件）の3種類とした。サッカーボール発射マシンは、被験者がボールの発射を確認してからボレーキック動作を行えるようにするため、試技位置から10m（低速条件）、15m（中速条件）、22m（高速条件）の位置に設置し、試技位置（地面からの高さが 0.5m ）へのボールの入射角度が各速度条件間において一定となるように設定した。また、発射するボールは、センタリングを想定できるようなサイドスピンで発射させた。本研究では、足部に貼付したマーカから足部座標系を定義する。そのため、シューズの形状の違いによる足部座標系への影響を考慮し、被験者間において統一された足部座標系を定義するために、試技中に使用するシューズはすべての被験者において同一のモデル（ミズノ社製、12KF-20662、質量 0.25kg ）とした。フットサルゴールの幅3mの範囲内をボールが通過した試技を成功試技とし、各速度条件につき8本、計24本のデータを収集した。なお、成功試技のうちターゲットに当たった試技を各速度条件につき2本以上収集できるまで試技を継続した。収集したデータは、各速度条件につき72本（ $= 8\text{本/被験者} \times 9\text{被験者}$ ）、計216本であった。

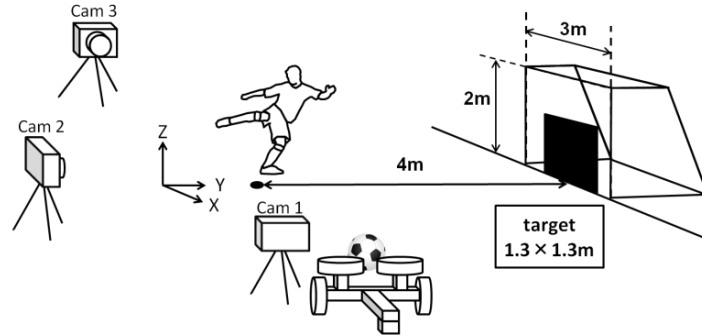


Fig.1 Experimental setup

2・3 データ収集

試技の撮影は、高速度カメラ3台（Vision Research社製，Phantom Miro）を用いて、撮影速度1000Hzで行った。カメラは、インパクト前後の局面で蹴り足の足部が明瞭に撮影できるように設置した（図1）。ボレーキック動作中の蹴り足とボールの挙動を分析するために、被験者の蹴り脚のつま先、第5中足骨骨頭、踵骨外側部、踵、外果、腓骨頭の計6箇所に直径0.01mのマーカを貼付した。また、サッカーボール（アディダス社製，AS565，質量0.426kg，空気圧9.7psi）にはボール表面上に複数のマーク（直径約0.01m）を印した。

2・4 データ処理

全成功試技のうち、3次元分析に必要なデジタイズ点が明瞭に確認できる映像のみを分析対象とした。そのため、分析対象は低速条件が72試技、中速条件が72試技、高速条件が69試技、計213試技であった。静止座標系は、試技位置からターゲットへ向かうベクトル \mathbf{R}_y をY軸、鉛直上向きへ向かうベクトル \mathbf{R}_z をZ軸、 \mathbf{R}_y と \mathbf{R}_z の外積によって得られるベクトル \mathbf{R}_x をX軸として定義した（図1）。撮影した映像をもとに画像解析ソフトウェア（DKH社製、Frame-DIAS IV）を用いて蹴り脚とボールの挙動を分析した。蹴り脚のデジタイズ位置は、上記の標認点とした。ボールのデジタイズ位置は、ボール表面上に印したマークのうち3点（各点の間隔は約0.08m以上）とした。ボール中心の座標は、石井ら⁽⁷⁾と同様にデジタイズしたボール表面上の3点からボール半径0.11mの距離にある点として推定した。足部には、踵からつま先に向かうベクトルを \mathbf{f}_y 、 \mathbf{f}_y と踵から第5中足骨骨頭に向かうベクトルの外積により得られるベクトルを \mathbf{f}_z 、 \mathbf{f}_y と \mathbf{f}_z の外積により得られるベクトルを \mathbf{f}_x とする足部座標系を定義した（図2）。なお、足部座標系の原点は、阿江の身体部分慣性係数（踵からつま先方向へ59.5%の位置）を用いて⁽⁸⁾、つま先と踵の座標から算出した足部質量中心とした。

インパクト前のボール速度と足部の速度（ \mathbf{v} ）は、インパクトの6フレーム前からインパクト開始フレームまでにおけるボール中心と足部質量中心の変位から算出した。インパクト後のボール速度はインパクト最終フレームからインパクトの6フレーム後までにおけるボール中心の変位から算出した。また、足部の速さに対するインパクト後のボール速さの割合を速度比として算出した。これは、インパクトの質を示す指標であり、石井ら⁽⁴⁾や磯川ら⁽⁹⁾においても用いられている。

インパクト前のボール速度の方向を表すため、ボール速度ベクトル \mathbf{V}_{ball} を水平面に投影したベクトル \mathbf{V}'_{ball} とY軸とのなす角の大きさを水平角、 \mathbf{V}_{ball} と \mathbf{V}'_{ball} がなす角の大きさを鉛直角として算出した（図3）。このとき、水平角は \mathbf{V}_{ball} が被験者の蹴り脚の方向（X軸）であったときを正とし、鉛直角は \mathbf{V}_{ball} が鉛直上向き方向であったときを正とした。また、足部の速度の方向もインパクト前のボール速度の方向と同様の方法で算出した。

インパクト位置は、足部座標系におけるボール中心の位置として算出した。インパクト中における足部の変形が足部座標系へ及ぼす影響を考慮して、インパクト開始フレームにおける位置とインパクト最終フレームにおける位置の midpoint とした。また、被験者間におけるシューズのサイズの違いが足部座標系で定義した座標値に及ぼす影響を考慮し、すべての被験者が同じサイズ（0.265m）のシューズを履いていたと仮定したインパクト位置に正規化した。なお、インパクト位置は足部座標系に対するボール中心の座標のx成分をインパクト位置「短軸」、y成分をインパクト位置「長軸」と定義した。

インパクト時の足関節の運動を記述するため、インパクト開始フレームでの足関節底背屈角度（外果から腓骨頭に向かうベクトルと踵骨側面から第5中足骨骨頭に向かうベクトルがなす角度）と、インパクト中における足関節角度変化量を算出した。このとき、底屈方向への角度変化を正、背屈方向への角度変化を負とした（図4）。

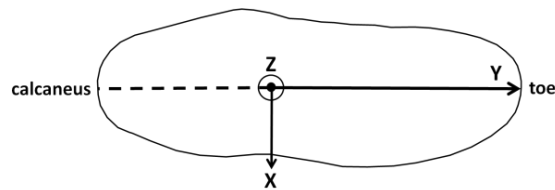


Fig.2 Local coordinate system embedded to the foot

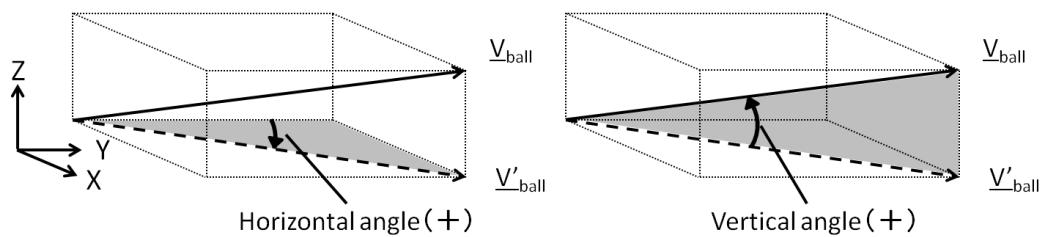


Fig.3 Horizontal angle and vertical angle of ball velocity after impact

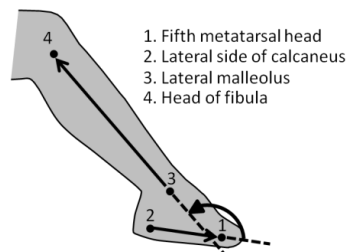


Fig.4 Definition of ankle angle

2・5 統計処理

インパクトした瞬間のボールの高さ、足部の速さ、足部速度の水平角における各速度条件間の差を分析するために、対応なし（各被験者における成功試技の本数が7~8本であり、被験者によって偏りがないため）の一元配置の分散分析を行った。ターゲットに当たり、かつインパクト後のボールの速さが最も大きかった試技を各被験者について選択し、足部の速さとインパクト後のボールの速さとの関連、および各被験者におけるインパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との関連を Pearson の相関係数を用いて分析した。また、各被験者における全試技を対象に、足部の速さとインパクト後のボールの速さとの関連、および各被験者におけるインパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との関連を分析した。各被験者における速度比とインパクト位置との関連については、石井ら⁽⁴⁾や Asai et al.⁽⁵⁾の報告と同様に最適値が存在すると考えられることから、2次の曲線回帰分析を用いて分析した。インパクトした瞬間の足関節角度、足部の速度とインパクト前のボール速度の相対速度、足関節最大角度変化のそれぞれについて各速度条件間で差があるかどうかを分析するために、対応なしの一元配置の分散分析を行った。なお、いずれの分析も有意水準は5%未満とした。

3. 結果・考察

3・1 サッカーボール発射マシン

各速度条件の成功試技におけるインパクト前のボールの速さ、ボール速度の方向、インパクト時のボールの高さの平均値±標準偏差、最大値、最小値を表1に示した。インパクト前におけるボールの速さの平均値は、低速条件で9.0m/s、中速条件で11.5m/s、高速条件で15.0m/sであり、各速度条件における変動係数(標準偏差/平均値)は2.0~3.3%であった。以上のことから、インパクト前のボールの速さは設定どおりの3条件に分類できていて、かつ各速度条件において再現性が高いものであったことが示された。

インパクト時のボールの高さの平均値は、低速条件で0.50m、中速条件で0.45m、高速条件で0.55mであり、各速度条件間において有意な差が認められなかった($p>0.05$)。この結果から、各速度条件間において被験者は同じボールの高さでボレーキックしていたことが示された。しかし、すべての速度条件において標準偏差が約0.14mであり、ボール半径分程度のばらつきがあった。本研究は試合でのボレーキックを想定していたため、被験者に対して数歩の助走および指定した試技位置から数歩移動することを認めていた。そのため、概ね被験者は被験者にとってインパクトしやすいボールの高さでインパクトしていたものと考えられる。したがって、インパクト時のボールの高さのばらつきを示した本結果は、インパクトしやすいボールの高さが被験者によって異なる可能性を示唆するものと考えられる。

Table.1 Characteristics of the projected ball in each condition

	Ball speed(m/s)			Impact high(m)		
	low	middle	high	low	middle	high
Mean±SD	9.0±0.3	11.5±0.3	15.0±0.3	0.50±0.14	0.45±0.14	0.55±0.15
Max	9.6	12.5	16.5	0.77	0.79	0.89
Min	8.4	10.9	14.4	0.23	0.2	0.16
	Horizontal angle(rad)			Vertical angle(rad)		
	low	middle	high	low	middle	high
Mean±SD	1.55±0.04	1.51±0.05	1.49±0.03	-0.59±0.04	-0.64±0.03	-0.52±0.02
Max	1.43	1.39	1.42	-0.52	-0.58	-0.42
Min	1.63	1.61	1.56	-0.81	-0.70	-0.58

3・2 インパクトパラメータ

各速度条件の成功試技における足部の速さ、足部の速度の方向、インパクト後のボールの速さ、速度比(インパクト後のボールの速さ/足部の速さ)、インパクト時間の平均値±標準偏差、最大値、最小値を表2に示した。

インパクト後のボールの速さの平均値は、低速条件で21.5m/s、中速条件で22.2m/s、高速条件で22.7m/sであり、石井ら⁽⁴⁾が報告した19.6~22.6m/sと類似していた。足部の速さの平均値は、低速条件で16.9m/s、中速条件で17.0m/s、高速条件で16.4m/sであった。各速度条件における足部の速さは、石井ら⁽⁴⁾が報告した13.7~17.1m/s、磯川ら⁽⁹⁾が報告した18.6m/sと類似していた。以上のことから、ボールインパクト時の足部の速さは、ボレーキックとプレースキックとの間に大差がないことが示された。また、各速度条件間において有意な差が認められなかった($p>0.05$)。この結果から、インパクト前のボールの速さが変化しても、被験者は足部の速さを大きく調整することなくボレーキックを行うことが示された。

足部の速度の水平角の平均値は、低速条件で0.38rad、中速条件で0.45rad、高速条件で0.50radであった。プレースキックの場合、足部の速度の方向がターゲットの方向と概ね一致すると考えられる。しかし、ボレーキックは蹴り足側方から飛来するボールの方向を約1.57rad(90°)変化させて蹴り返さなくてはならないため、足部をターゲット方向ではなく、その方向から飛来するボールの方向へ約0.44rad(25°)近づく方向に高速度で移動させながらボールにインパクトさせていたものと考えられる。また、足部の速度の水平角は各速度条件間において有意な差が認められ($p<0.01$)、インパクト前のボールの速さが大きくなるにつれて大きくなった。この結果は、ボレーキックでは飛来するボールの速さに応じて、被験者が蹴り足の足部の移動方向を変化させてインパクトすること、及び飛来するボールの速さが大きい時ほど、足部の移動方向がより飛来するボールの方向に近づくことを示している。足部の速さとインパクト後のボールの速さとの速度比の平均値は、低速条件で1.27、中速条件で

1.31, 高速条件で 1.39 であり, 石井ら⁽⁴⁾が報告している平均値 1.32~1.43 と類似していた. しかし, 速度比の最大値は, 低速条件で 1.55, 中速条件で 1.56, 高速条件で 1.76 であり, すべての速度条件において石井ら⁽⁴⁾が報告している最大値 1.52 よりも大きかった. 特に, 高速条件では 16 試技 (全 70 試技, 23%) において速度比が 1.52 を超えていた. 以上の結果は, ボレーキックは質の高いインパクトによって大きなボール速度を得ることができることを示すものである.

インパクト時間の平均値は, 低速条件で 9.3ms, 中速条件で 9.1ms, 高速条件で 8.7ms であった. インパクト時間は, インパクト前のボール速度と足部の速度の相対速度に依存すると考えられる. そのため, インパクト前にボールが高速で移動することにより, 相対速度が大きくなり, 足部の速度が類似していた石井ら⁽⁴⁾が報告している約 10ms よりも短くなったと考えられる. また, 各速度条件間の足部の速さに有意な差が認められなかったことから ($p>0.05$), インパクト前のボールの速さが大きくなるにつれて相対速度も大きくなり, インパクト時間が短くなったものと考えられる.

Table.2 Impact parameters in each condition

	Foot speed(m/s)			Horizontal angle(rad)			Vertical angle(rad)		
	low	middle	high	low	middle	high	low	middle	high
Mean±SD	16.9±1.8	17.0±1.6	16.4±2.1	0.38±0.11	0.45±0.10	0.50±0.12	-0.06±0.10	-0.05±0.08	0.02±0.13
Max	21.1	19.9	21.2	0.56	0.69	0.73	0.16	0.11	0.61
Min	10.5	13.7	11.4	0.13	0.18	-0.01	-0.36	-0.23	-0.28

	Ball speed(m/s)			Ball-Foot speed ration			Impact time(s)		
	low	middle	high	low	middle	high	low	middle	high
Mean±SD	21.5±3.8	22.2±3.6	22.7±3.1	1.27±0.16	1.31±0.16	1.39±0.17	9.29±0.64	9.13±0.63	8.67±0.83
Max	28.7	30.0	28.7	1.55	1.56	1.76	0.010	0.010	0.011
Min	12.7	12.6	14.9	0.81	0.74	0.89	0.008	0.008	0.007

3・3 インパクト位置

表 3 に各速度条件のターゲットに当たった試技におけるインパクト位置「長軸」「短軸」の平均値±標準偏差, 最大値, 最小値を示した. インパクト位置「長軸」の範囲は, 低速条件で 0.097m (0.005~0.102m), 中速条件で 0.105m (0.012~0.117m), 高速条件で 0.127m (0.000~0.126m) であった. プレースキックにおけるインステップキックはサッカーにおいて基礎的な技術であるため, インパクト位置の範囲はある程度一定になると考えられ, 磯川ら⁽⁹⁾はインステップキックにおける足部長軸方向のインパクト位置の範囲は約 0.07m であったと報告しており, 本研究と比較して狭い範囲であった. 一方, 石井ら⁽⁴⁾はボール設置の高さを変化させ (0~0.12m まで 0.02m 刻み), かつ被験者に同じスイング軌道でキックするように指示することによって, 本研究と同様に約 0.1m を超える幅広いインパクト位置を確保している. また, インパクト位置「短軸」の範囲は低速条件で 0.140m (-0.054~0.086m), 中速条件で 0.135m (-0.066~0.069m), 高速条件で 0.157m (-0.067~0.090m) であった. 使用したシューズの短軸方向における幅は約 0.1m であり, すべての速度条件におけるインパクト位置「短軸」の範囲はシューズの幅よりも広がった. 以上のことから, ボレーキックはインパクト位置が広い範囲に渡り, 正確なインパクトが困難な技術であると考えられる.

Table.3 Impact point of the ball on the foot along the long-axis and the short-axis in each condition

	Impact point of the ball on the foot along the long-axis(m)			Impact point of the ball on the foot along the short-axis(m)		
	low	middle	high	low	middle	high
Mean±SD	0.053±0.026	0.069±0.027	0.055±0.033	0.011±0.039	0.004±0.047	0.004±0.046
Max	0.102	0.117	0.126	0.086	0.069	0.090
Min	0.005	0.012	0.000	-0.054	-0.066	-0.067

3・4 足部の速度とボール速度

各被験者, 各速度条件についてターゲットに当たりかつインパクト後のボールの速さが最も大きかった試技を選択して分析した結果 (足部の速さとインパクト後のボールの速さとの関係) を図 5 に示した. すべての速度条

件において足部の速さとインパクト後のボールの速さとの間には有意な相関関係 ($r > 0.75$) が認められた ($p < 0.01$). これは、各被験者が最高速度でターゲットに命中させた試技において、足部の速さの大きい被験者ほどインパクト後のボール速度が高いことを示すものである. Levanon et al.⁽¹⁰⁾が報告した結果 (足部の速さとインパクト後のボールの速さとの相関係数 = 0.83) と類似している. 一方、各被験者の速度条件ごとに実施された全成功試技を対象に足部の速さとインパクト後のボールの速さとの関係を検討した結果、低速条件では4人、中速条件では3人、高速条件では3人において有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$). これは、成功試技の中で足部の速さの大きい試技ほどインパクト後のボール速度が高くなった被験者が、全体の約半数であったことを示すものである. 磯川ら⁽⁹⁾は、足部長軸方向のインパクト位置によって足関節に底屈方向への角度変化が生じたため、足部の速さとインパクト後のボールの速さとの相関係数が 0.472 であったと報告している. 以上のことから、ボレーキックにおいて大きなボールの速さを得るためには、足部の速さを大きくすることが重要であると考えられる.

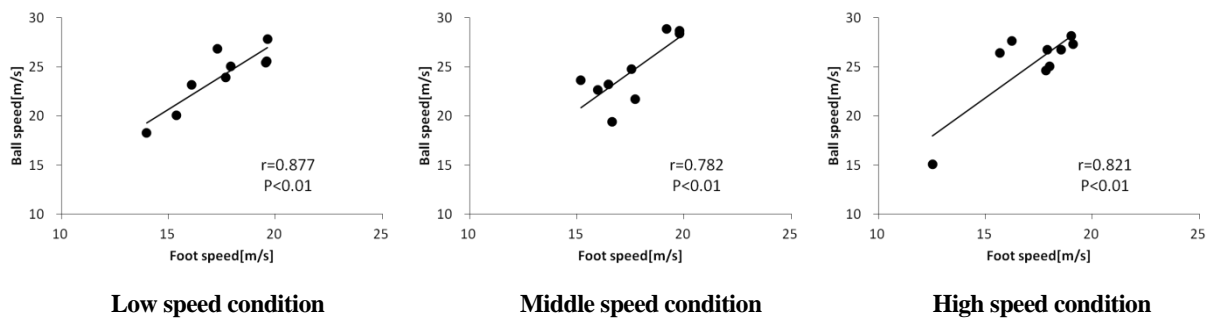


Fig.5 Relationship between foot speed and ball speed after impact in each condition

3・5 インパクト位置「短軸」と速度比

各被験者の速度条件ごとに速度比とインパクト位置「短軸」との関係を検討した. 低速条件では5名、中速条件では5名、高速条件では1名の被験者において速度比とインパクト位置「短軸」との間に図6のような有意な2次式の関係が認められた ($p < 0.05$). このとき、2次回帰曲線の頂点はインパクト位置「短軸」が0となる付近と概ね一致した. 高速条件において速度比とインパクト位置「短軸」との間に有意な関係が認められた被験者は1名であり、ほかの速度条件と比較して少なかった. これは、外果でインパクトした試技 (図7、インパクト位置「短軸」: 0.05~0.10m, インパクト位置「長軸」: 0.00~0.05m) において、足部長軸から離れていたにも関わらず大きな速度比となった試技が多かったことが1つの要因と考えられる. 以上のことから、ボレーキックにおいて大きなボールの速さを得るためには、中・低速度条件では足部の甲の左右中心付近でインパクトすることが、高速度条件では足部の甲の左右中心付近または外果付近でインパクトすることが重要である可能性が示された.

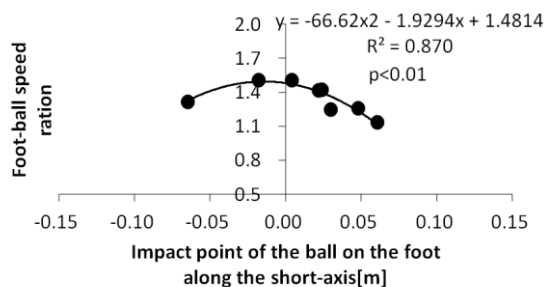


Fig.6 A typical relationship between impact point of the ball on the foot along the short-axis and the foot-ball speed ratio

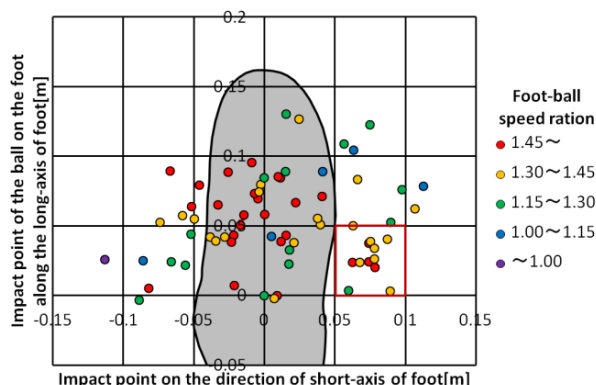


Fig.7 Relations between impact point and the foot-ball speed ratio in high speed condition

3・5 インパクト位置「長軸」と速度比

各被験者の速度条件ごとに速度比とインパクト位置「長軸」との関係を検討した。低速条件では2名、中速条件では3名、高速条件では1名において速度比とインパクト位置「長軸」との間に図8のような有意な2次式の関係が認められた ($p < 0.05$)。速度比との関係が認められた被験者の数はインパクト位置「短軸」と比較して少なかった。また、すべての速度条件においてインパクト位置「長軸」は、インパクト位置「短軸」と比較してばらつきが小さかった。以上のことから、試合でボレーキックを行う際は、足部長軸方向のインパクト位置よりも、インパクト位置がばらつきやすかつボール速度に及ぼす影響が大きい足部左右方向のインパクト位置の正確性を高めることが重要であると考えられる。

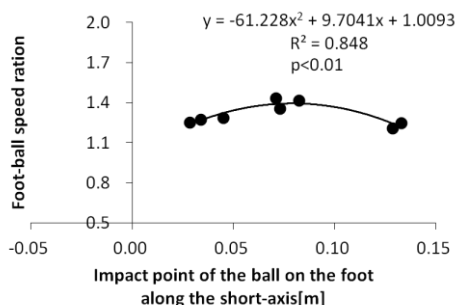


Fig.8 A typical relationship between impact point of the ball on the foot along the long-axis and the foot-ball speed ratio

3・6 足関節角度変化

各被験者、各速度条件についてターゲットに当たりかつインパクト後のボールの速度が最も大きかった試技を選択して分析した結果（インパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との関係）を図9に示した。すべての速度条件においてインパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$)。この結果は、各被験者が最高速度でターゲットに命中させた試技について、インパクト位置がつま先に近い位置であった被験者ほど底屈方向への角度変化が大きく、足関節に近い位置であった被験者ほど背屈方向への角度変化が大きかったことを示している。また、各被験者の速度条件ごとにインパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との関係を検討した。低速条件では5名、中速条件では7名、高速条件では7名においてインパクト位置「長軸」と足関節最大角度変化との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.05$)。これは、成功試技の中で、インパクト位置がつま先に近い試技ほど底屈方向への角度変化が大きく、足関節に近い試技ほど

背屈方向への角度変化が大きかった被験者が大半を占めていたことを示すものである。これらの結果は、インパクト中の足関節には背屈トルクが作用していることを示唆した石井ら⁽⁴⁾を支持するものである。

インパクトした瞬間における足関節角度を図 10 に示した。インパクトした瞬間の足関節角度は、低速条件で 2.27rad, 中速条件で 2.21rad, 高速条件で 2.17rad であり, 低速条件と中速条件 ($p<0.05$), 低速条件と高速条件 ($p<0.01$) との間に有意な差が認められた。磯川ら⁽⁹⁾は, インパクト前に足関節を底屈することによってインパクト時の足関節の固定を強固にでき, インパクト中の足関節底屈を小さくできる可能性を示唆している。以上のことから, インパクト前のボールの速さが大きい条件の時に, 被験者は足関節が底屈方向へ角度変化しやすい状態でインパクトすることが示された。また, 足部の速度とボール速度との相対速度は, 各速度条件間において有意な差が認められ ($p<0.01$), インパクト前のボール速度が大きい条件ほど相対速度は大きかった。各速度条件においてインパクト位置「長軸」が同じであった場合, 相対速度が大きくなるにつれてボールが足部に作用する底屈方向へのモーメントが大きくなり, 足関節の底屈方向への変化は大きくなると考えられる。しかし, 足関節最大角度変化(底屈方向: +, 背屈方向: -)は高速条件が中速条件よりも有意に小さく ($p<0.01$), 高速条件の方が底屈方向への角度変化が小さかった。他の速度条件間においては足関節最大角度変化に有意な差が認められず ($p>0.10$), インパクト前のボールの速さが大きくなったとしても, 足関節の角度変化は底屈方向へ大きくならなかった。以上のことから, インパクト前のボールの速さが大きくなるにつれて, 足関節を強く固定した状態でインパクトしている可能性が示唆された。

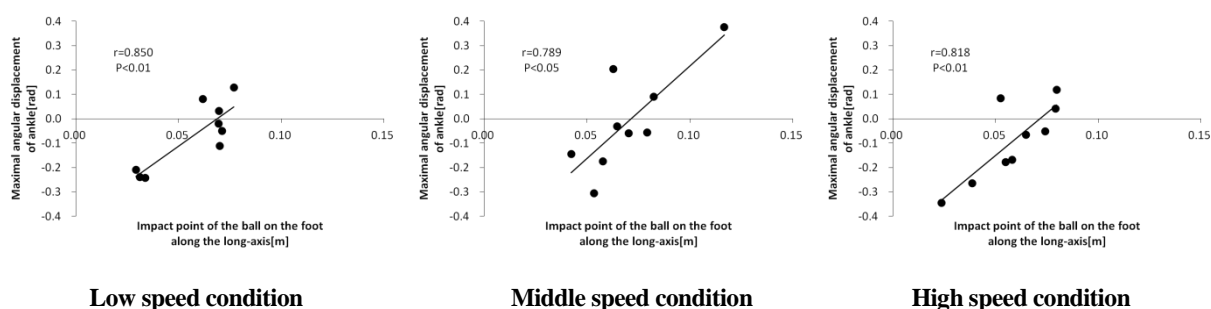


Fig.9 Relationship between the impact point of the ball on the foot along the long-axis and the maximal angular displacement of ankle in each condition

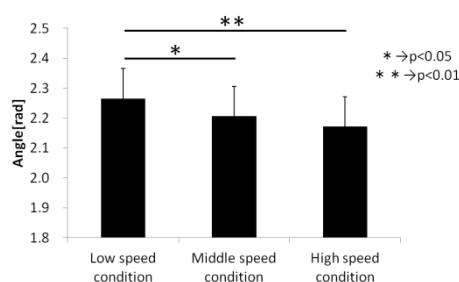


Fig.10 Ankle angle at ball impact in each condition

4. 結論

本研究の目的は, サッカーのボレーキックにおいて大きなボール速度を得ることができるインパクト特性を明らかにすることであった。本研究の結果から, ボレーキックにおいて大きなボール速度を得るためには, 足部質量中心の速度を大きくし, かつ足部の甲の左右中心付近でインパクトすることが重要であると示唆された。また, ボレーキックは飛来するボールの速さに応じてインパクト前の足部の移動方向を変化させていること, および足関節の固定具合を変化させてインパクトしている可能性が示された。

参考文献

- (1) Nunome,H., Asai,T., Ikegami, Y., and Sakurai, S., “Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks”, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 34, (2002), pp. 2028-2036.
- (2) T.Bull Andersen, H.C.Dorge and F.I.Thomsen, “Collisions in soccer kicking”, *Sports Engineering*, Vol. 2, (1999), pp. 121-125.
- (3) Toshio Asami and Volker Nolte., “Analysis of powerful ball kicking”, *Biomechanics*, Vol. 8, No. B, Eds: Matsi, H. and Kobayashi, K. Champaign IL: Human Kinetics, (1983), pp. 695-700.
- (4) 石井秀幸, 磯川正教, 丸山剛生, “インステップキックにおけるインパクト位置がボール速度に及ぼす影響とインパクト中の衝撃力の解析”, *バイオメカニクス研究*, Vol.11, No. 3, (2007), pp. 170-182.
- (5) Asai,T., Nunome,H., Maeda,A., Matsubara,S., and Lake,M., “Computer simulation of ball kicking using the finite element skeletal foot model”, In T. Reilly & , J. Cabri,& D. Araujo, *Science and football*, Vol. 5, (2005), pp. 77-82.
- (6) 田中和久, “MEXICO’86 全 132 得点の傾向分析”, *サッカー医・科学研究会報告書*, Vol. 7, (1987), pp. 47-56.
- (7) 石井秀幸, 丸山剛生, “インサイドキックにおけるインパクト中のボール変形量と衝撃力の解析”, *スポーツ産業学研究*, Vol. 17, No.2, (2007), pp. 13-23.
- (8) 阿江通良, “日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数”, *Jpn J Sports Sci*, Vol. 15, No. 3, (1996), pp. 155-162.
- (9) 磯川正教, 小嶋武次, “インステップキックにおけるインパクトの力学的分析”, *Journal of sport science*, No. 22, (1997), pp. 13-17.
- (10) Levanon, Jacob and Dapena, Jesus, “Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer”, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 30, (1998), pp. 917-927.