B17 サッカースパイクソール設計のための基礎研究

Basic research on sole design in soccer boots

○松尾弘毅 (アシックス スポーツ工学研), 森安健太, 正 西脇剛史

Koki MATSUO, Kenta MORIYASU, and Tsuyoshi NISHIWAKI

ASICS Corporation, 6-2-1, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe

Traction between footwear and surface is crucial to improving performance and preventing lower limb injuries. In field sports such as soccer, the cleats penetrate and interlock with the playing surface. The purpose of this study is to obtain elementary information for sole designing in soccer boots. Soccer boot traction depends on cleat geometry and arrangement. The proposed technique with miniature sensors measures ground reaction force (GRF) distribution. By using test boots with 16 cleats and miniature sensors, the force components loaded on each cleat are measured in the side step motion. Length of step are 70,90,110cm. GRF distributions are also measured using boots with different cleat arrangements. The effects of cleat arrangement on GRF distributions are quantitatively evaluated.

Key Words: foot ball, soccer, soccer boots, cleats, traction, grip property

1. 緒言

近年, サッカースパイクへの要求機能として, ブレ球に代表されるボールの操作性や, 軽量性に注目が集まりがちであるが, サッカースパイクを設計する上で最も重要とされる機能として, グリップ性が挙げられる. このグリップ性は, シューズ底面に取り付けられたクリーツと呼ばれる突起物を, 芝に貫入させることで発現される. これまで, サッカースパイクのクリーツ形状がシューズのグリップ性に及ぼす影響は, いくつか報告されており, パフォーマンスに関しては, グリップ性の向上による走速度の上昇が指摘されている¹⁾. その一方で, グリップ性の向上は, 関節への負担が増大するという報告²⁾もあるため, グリップ性を考慮したサッカースパイクのクリーツ設計は, パフォーマンス向上及び障害予防の両側面からも重要といえる.

シューズのグリップ性は, 通常フォースプレートで測定された接地面全体の水平方向荷重や, 水平方向荷重を鉛直方向荷重で除することで得られるトラクション係数などにより評価されている. しかし, この評価手法では, 接地エリア全体にかかる荷重を用いることになり, クリーツの最適配置や最適形状をより詳細に検討するためには, クリーツ単体に作用する3次元的な荷重情報の取得が望ましい.

3次元的な荷重情報の取得に関しては, ゴルフシューズのクリーツにひずみゲージを貼付し測定した報告がある³⁾. しかし, 歪ゲージをクリーツに直接貼付するため, 実験準備に多くの時間を要する上に, ゲージの出力と地面反力を直接関連づける事は, 困難である. 筆者らはこれまでに, 小型3軸力覚センサを搭載したシューズを開発し, ランニング動作中の接地エリア内の3

Fig.1 Sensor boot construction used in evaluation

方向荷重分布について報告している^{4),5)}。また、既報において、サイドステップ時の接地エリア内の荷重分布測定を行い、グリップ性に影響を及ぼすエリアが前足部内側、特に拇趾球近傍であることを確認した。また、クリーツの有無にともなう近接クリーツの影響についても定量的に確認した。

本報告では、サイドステップにおけるステップ幅を変化させた際の、地面反力、及び接地エリア内の荷重分布を明らかにした。更にクリーツ高さを変化させることで、局所的にグリップ性を変化させた際の、近接するクリーツへの影響をステップ幅変化と共に議論した。

2. 横方向ステップ動作実験

2-1 センサシューズ

Fig.1 に開発したサッカースパイクをクリーツ形状と共に示す。サッカースパイクの底面には、5 個の小型 3 軸力覚センサ(USL06-H5, テック技販社製、サイズ: 20mm x 20mm x 5.0mm)が同時に取り付け可能であり、センサ位置を変化させることで、クリーツ毎に作用する荷重が取得できる。小型 3 軸力覚センサは、出力される荷重 f_x , f_y 及び f_z がそれぞれシューズの足幅、足長及び鉛直方向に対応するように配置した。使用したセンサ配置を Table1 に示す。センサの位置番号 $i=1-16$ は、ソール底面画像内に示す番号に対応しており、本実験では 4 タイプのセンサ配置にて測定を実施することで、計 16 箇所のクリーツに作用する 3 方向荷重分布を算出した。尚、爪先部内側のセンサ $i=15$ は動作の再現性確認のため全試技にて配置した。センサが配置されていないエリアには、センサ取り付け部との高さを保持させるために 3 次元造形機 Objet(Objet 社製)を用いてセンサと同一形状を有する PMMA 製のダミーを作製し、配置した。センサ部は 3mm 厚の PMMA 板、力覚センサ並びに円柱状のクリーツ部(上面 $\phi 8$ mm, 下面 $\phi 16$ mm, 高さ 10mm)で構成される。シューズ重量は、258.8g である。

Table1 Sensor configurations

	Sensors' position numbers
	Type1 $i = 1, 2, 3, 4, 15$
	Type2 $i = 5, 6, 7, 8, 15$
	Type3 $i = 9, 11, 13, 15, 16$
	Type4 $i = 10, 12, 14, 15, 16$

2-2 実験方法

開発したスパイクを用い、人工芝上でのサイドステップ動作を行い、16 箇所のクリーツに作用する 3 方向荷重分布を測定した。ステップ幅は、70cm, 90cm, 110cm とした。試技は、メトロノームにて 50bpm を指示することで、一定のリズムで実施した。本実験では、3 方向荷重分布測定と同時に、汎用のフォースプレート(9287C, Kistler 社製)を用いて接地面全体の地面反力も測定した。使用した力覚センサ及びフォースプレートのサンプリング周波数はいずれも 1.0KHz とした。

Fig.2 The whole GRF obtained from side step motion

Fig.3 Time histories of local horizontal GRF obtained from force sensor at $i=8, 9$ and 12

(a) 1st peak (b) 2nd peak

Fig.4 Comparison of peak value

2-3 実験結果

Fig.2 に、ステップ幅を変化させた際のサイドステップ動作時におけるフォースプレートより得られた地面反力の時系列変化を示す。Fig.2 中の太線は鉛直方向反力 Fz 、細線は水平方向反力 Fh を表す。 Fh は、Eqn.1 で定義した。

$$Fh = \sqrt{fx^2 + fy^2} \quad (\text{Eqn.1})$$

ここで、 Fh は、フォースプレートの Fx 及び Fy 成分の合力を意味する。全ての試技において、接地後と離地直前にピークが見られた。 Fh においては、ステップ幅が増加するに従って、1st ピーク値、2nd ピーク値ならびに支持期全体の力積値共に、増加することを確認した。一方、鉛直方向反力のピーク値及び力積値は、僅かに増加する程度であった。これは、ステップ幅の増加に従い、体勢を維持するためにより大きなグリップ力が必要になったためであると推察される。

Fig.3 に $i=8, 9, 12$ に位置するクリーツより得られた水平方向荷重成分 fhi の時系列変化を示す。Fig.3 によれば、サイドステップ動作においては、クリーツ単体に作用する荷重の変化は、Fig.2 のフォースプレートより得られた地面反力の時系列変化と同様に、二峰性のピークを有することが分かる。本結果は、全てのクリーツ位置において同様の傾向を示すことが確認された。Fig.4 に各クリーツに作用する水平方向荷重のピーク値とステップ幅の関係を示す。Fig.4 (a), (b) はそれぞれ 1st ピーク値、2nd ピーク値を示す。ステップ幅の増加に対する水平方向荷重変化を比較した結果、1st ピーク値、2nd ピーク値ともに踵部に位置する $i=1,2,3,4,5$ のク

リーツは、ピーク値が減少していることが分かる。一方、中足部、前足部に位置する $i=9,11,12,15,16$ クリーツは、いずれのピーク値も、増加傾向を示した。特に $i=9,12$ において増加率は顕著であることが確認できた。

3. クリーツ形状と地面反力の関係

前章において地面反力及び3方向荷重分布を基に、サイドステップ動作の接地エリアの変化を明らかにし、グリップ性に影響の大きいクリーツエリアを抽出した。次に、抽出したクリーツの高さ変化が、周辺のクリーツに作用する荷重に与える影響を検討する。

3-1 実験方法

シューズのクリーツ高を変化させるために、Fig.5. に示すように、上面と下面のサイズが一定で、高さのみを変化させたクリーツを PMMA にて作製した。取り付け条件は、全面が 10mm のクリーツ高で構成された TypeA に対し、TypeB, C には、それぞれ $i=9, i=12$ にのみ高さ 5mm のクリーツを配し、クリーツ高を変化させた。実験は、前章と同一の手法で実施し、ステップ幅 90cm における、荷重分布及び地面反力を測定した。

Fig.5 Cleats types of shape

Fig.6 Time histories of Horizontal ground reaction force obtained from force sensor

3-2 水平方向地面反力分布に与える影響の検証

クリーツ高を部分的に変化させた3タイプのシューズより得られた水平方向荷重成分の時系列変化をFig.6に示す。Fig.6によれば、TypeB及びCのいずれにおいても、クリーツ高が低い*i*=9,12の接地圧が減少し、出力値が低くなることが確認できる。また、それに伴い、他のクリーツに作用する水平方向荷重の挙動及びピーク値に差異が生じることが分かる。

クリーツに作用する水平方向荷重を比較した結果、TypeBの*i*=10において、ピーク値がTypeAに比べ約3.3倍、TypeCに比べ約2.9倍増加することが分かった。TypeCにおいては*i*=9においてTypeAに比べピーク値の出現時間が約5.4割早くなることが分かった。このように、クリーツ高さの局所的な減少は、周囲のクリーツに対して、負荷が増大することや、接地のタイミングを早めるといった影響を与える事が分かった。

そこで、シューズに対するクリーツの荷重負担関係を検討すべく、クリーツ*i*(*i*=7-16)に作用する水平方向荷重の力積 $\sum f_{hi}$ を比較した。

Fig.7に、TypeA,B,Cより得られた $\sum f_{hi}$ を示す。TypeAとTypeBを比較すると、各クリーツの力積の関係が大きく異なる。特に、クリーツ高を低下させた*i*=9周辺(*i*=10,12,13)の値が増大していることが分かる。その一方で、*i*=11は、TypeAに比べ減少していることから、*i*=9のクリーツ高の低下により、シューズと路面の接地状態が変化し、前足部内足側の広範囲で水平方向荷重の力積を獲得したことが分かる。また、TypeAとTypeCを比較した結果、TypeBと同様に、クリーツ高を低下させた*i*=12の周辺に位置する*i*=13,15,16の値が増加す

ることが分かった。

以上の結果から、局所的にクリーツ高を変化させることで、シューズと路面との接地状態を変化させ、クリーツが負担する水平方向荷重分布が変化することが確認された。本手法により、クリーツ高の変化やクリーツ配置とクリーツ単体に作用する3方向荷重との関係を明らかにすることで、より精度の高いサッカースパイクのグリップ性設計の実現が期待される。

4. 結言

グリップ性を考慮したクリーツの設計指針を構築すべく、ステップ幅を変化させた際の、地面反力、及び接地エリア内の荷重分布を明らかにした。更にクリーツ高を変化させることで局所的にグリップ性を変化させた時の近接するクリーツへの影響、及びステップ幅変化について述べた。得られた、知見を以下に述べる。

- (1) ステップ幅の増加と共に、水平方向地面反力の1stピーク値、2ndピーク値ならびに支持期全体の力積値共に、増加することを確認した。ステップ幅の増加に従い、体勢を維持するためにグリップ力が必要になったためであると推察される。
- (2) クリーツ高さの局所的な減少は、周囲のクリーツに対して、負荷が増大することや、接地のタイミングを早めるといった影響を与える事が分かった。
- (3) 局所的にクリーツ高を変化させることで、シューズと路面との接地状態を変化させ、クリーツが負担する水平方向荷重分布が変化することが確認された。

5. 参考文献

- 1) Sterzing, T., Actual and perceived running performance in soccer shoes, *Footwear science* (2009), 1(1):5-17
- 2) Stefanyshyn, D. The influence of soccer cleat design on resultant joint moment, *Footwear science* (2010), 2(1):13-19
- 3) Edward M., Development of three axis spike force sensor and design of an asymmetric golf shoe outer sole, *Footwear science* (2011), 3(S1):117-120
- 4) Kenta Moriyasu and Tsuyoshi Nishiwaki, *Footwear science* (2009), 1(1):109-111
- 5) 森安健太, 西脇剛史, 日本機会学会 (No.09-45) シンポジウム講演論文集 (2009), 277-280

Fig.7 Comparison of Horizontal impulses under wearing