

令和6年 3月29日

## 令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	Hi ! 5! スパイク!	
研究課題名	スパイクの秘密を解き明かせ!!	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B24M048
	氏 名	拝郷真杜
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	境 英一

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

## スパイクの秘密を解き明かせ！！

システム科学技術学部 機械工学科  
2年 拝郷 真杜

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

准教授 境 英一 准教授 伊藤 伸 教授 邱建輝

学生支援スタッフ システム科学技術学部 機械工学科  
修士2年 佐藤 奨真 大江 冨都

### 1. 研究の背景および目的

本研究テーマは、将来はサッカースパイクの開発職に就きたいと考え、それを研究の題材としたいという思いから提案したテーマである。研究を通して、スパイクの素材の物性や形状による機能などについて理解を深めるとともに、研究に必要な知識や技術を学ぶことで、エンジニアにとって必要な能力の習得と向上を図り、将来へと役立てたいと考えた。

本研究では、サッカースパイクのスタッドの材質、配置によって、応力のかかり方やその値にどのような違いがみられるのかを調べる。市販のサッカースパイクを3D-CADによりモデリングし、一定の圧縮荷重をかけたときに発生する応力分布の違いなどをシミュレーションする。このときに必要な材料物性を実際のスパイクから試験片を切り出して材料試験に供することで明らかにする。材料試験は圧縮試験とし、弾性率とポアソン比を得る。縦ひずみと横ひずみは、デジタル画像相関法（DIC）により得る。

### 2. 供試材料

本研究では市販のスパイク（ミズノ製モレリア2、ヤスタ製リガスタプロ、ウールシュポルト製トルクラレジャパン GK MD）を用いた。図1(a)~(c)にスパイクの実物の写真を示す。表1に各スパイクの概要を示す。



(a) ミズノ製モレリア2



(b) ヤスタ製リガスタプロ



(c) ウールシュポルト製トルクラレジャパン GK MD

図1 用いたスパイクの外観

表1 各スパイクの概要

	モレリア	リガスタ	トルクラレ
スタッド形状	丸型	丸型	丸型、ブレード型
スタッド本数	13	13	20
おおよその材質	合成樹脂	合成樹脂	ゴム

### 3. 実験方法および解析方法

#### 3-1 試験片の作製

試験片はスパイクのアウトソールから直接スタッドを鋸で切断することによって得た。各スパイクから三本ずつ、A,B,Cを用意した。切断後、やすりで切断によって生じたバリを取り除き、電子マイクロメータによって形状を測定した。その結果を表2~3に示す。ただし、簡単のためリガレスタは楕円形であるが、長軸と短軸の長さの平均をとって円に近似した。また、スタッド外径は接地側を $D_{上}$ 、ソール側を $D_{下}$ 、内径は接地側のみで $d$ 、高さを $h$ 、穴の深さを $z$ と定義した。

#### 3-2 試験片の着色

圧縮試験中のひずみ分布をDICで解析するために、試験片の表面にドットのラ

ンダムパターンを与えた。まず切り出した試験片にプライマーを塗布した。これによって試験片表面の凹凸を取り除き、均一に着色できるようにした。次に下地として全体を黒に着色し、最後にメッシュの上から白の着色料を吹きかけ、ドットパターンを表面につけた。

#### 3-3 圧縮試験およびDIC解析

着色した試験片を圧縮試験に供した。試験速度は10mm/minとした。このときの圧縮過程をデジタルカメラで動画撮影し、ドットパターンの変化を市販のDIC解析ソフト(ディテクト製 Dipp Strain)で解析した。撮影速度は1fpsとした。これにより得られた縦ひずみと横ひずみの結果から、各試験片のポアソン比を算出した。

表2 モレリア試験片測定結果

回数	1			2			3			平均		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$D_{上}$	12.83	12.44	12.38	12.01	12.38	12.42	12.82	12.18	12.66	12.553	12.333	12.487
$D_{下}$	17.21	17.49	16.50	17.16	18.34	17.54	17.09	17.48	18.04	17.153	17.770	17.360
$h$	11.76	12.25	13.44	11.77	12.42	13.33	11.83	12.41	13.35	11.787	12.360	13.373
$z$	2.13	2.45	13.18	2.03	2.63	3.38	2.13	2.78	3.26	2.097	2.620	6.607
$d$	8.49	7.41	8.52	8.81	8.12	8.56	8.75	7.92	8.58	8.683	7.817	8.553

表3 リガレスタ試験片測定結果

回数	1			2			3			平均		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$D_{上}$	12.18	12.06	11.55	12.13	11.68	11.81	12.24	12.17	12.50	12.183	11.970	11.953
$D_{下}$	18.92	18.75	18.74	18.97	19.085	18.53	18.96	19.12	18.61	18.947	18.983	18.627
$h$	13.56	13.69	14.26	13.56	13.64	13.97	13.56	13.66	14.31	13.560	13.663	14.180
$z$	6.47	6.38	6.21	6.11	6.51	5.97	6.53	6.51	6.15	6.370	6.467	6.110
$d$	9.86	9.37	9.23	9.69	9.88	9.75	9.40	9.46	9.88	9.647	9.565	9.617

表4 トルクラレ試験片測定結果

回数	1			2			3			平均		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$D_{上}$	12.00	13.04	13.20	11.89	13.20	12.79	11.68	12.34	13.22	11.857	12.860	13.070
$D_{下}$	16.02	17.57	17.78	16.21	17.93	17.70	16.80	17.02	18.26	16.343	17.507	17.913
$h$	12.50	12.20	12.60	11.59	12.43	12.58	12.01	12.46	12.50	12.033	12.363	12.560
$z$												
$d$												

### 3-4 応力解析

SOLIDWORKS で各スパイクのアウトソールの3Dモデルを作成し(図2), そのモデリングデータを用いて応力分布を解析した. この際, ソール中央がたわんでしまうことを考慮し, 便宜上フルレングスのものと中央部を切断したセパレート状態でのデータを作成した. 紙面の関係上, 図はフルレングスのもののみである.

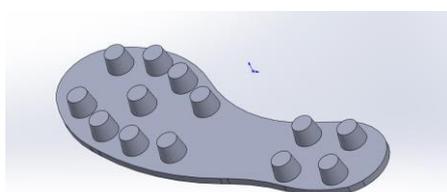


図2 3Dモデルの一例(モレリア)

## 4. 結果および考察

### 4-1 縦弾性係数とポアソン比

圧縮試験をした結果(図は紙面の都合上割愛する), 公称応力と公称ひずみから計算した縦弾性係数は, 3つの試験片でほぼ同一なものとなった. しかし, 商品説明にはトルクラレはゴム, モレリアとリガレスタは合成樹脂という記載があったことから, 実際にはトルクラレが最も小さい値を示すと考えられる. このような結果になってしまった要因としては, 断面形状が真円でなかったことや表面の凹凸を取り除き切ることができなかったことなどが挙げられる.

圧縮試験中の動画をDIC解析に供することで縦ひずみと横ひずみを測定し(図3), ポアソン比を算出した. このとき, DICの解析結果はいずれもCが最も信憑性の高い値を示したため, これを採用した. ここで, “信憑性の高い”というのは, 一般的なポアソン比の理論値を超えない

ような, という意味である. その結果を表5~7に示す.

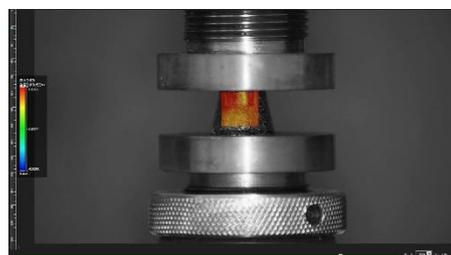


図3 DICによるひずみの測定

表5 モレリアのポアソン比

回数	1	2	3	平均
$\epsilon$	0.024044	0.018815	0.017619	
$\epsilon'$	0.011777	0.009271	0.008093	
$\nu$	0.489810	0.492745	0.459334	0.4806297

表6 リガレスタのポアソン比

回数	1	2	3	平均
$\epsilon$	0.035170	0.042220	0.029495	
$\epsilon'$	0.016147	0.020047	0.012592	
$\nu$	0.459113	0.474822	0.426920	0.4536184

表7 トルクラレのポアソン比

回数	1	2	3	平均
$\epsilon$	0.008763	0.011667	0.007533	
$\epsilon'$	0.004096	0.005750	0.003340	
$\nu$	0.467420	0.492843	0.443382	0.4678818

モレリアとリガレスタに関しては, 明らかに合成樹脂のポアソン比の理論値からずれていることがわかる. これは, ドットパターンの剥がれや, 光の反射による映像データの不鮮明さ, 形状の近似が曖昧であったことなどが挙げられるだろう.

### 4-2 応力解析結果

解析結果をまとめたものを表8に, 図3~6に各々の拘束条件図, 荷重状態図, 応力分布図を示す. ここで, 縦弾性係数はポリエステル樹脂の値  $1.9 \times 10^4$  (MPa) を

採用し、拘束条件はスタッドが変形しないものと仮定するためのスタッド表面の固定条件を用いた。また、荷重をアウトソールの裏側(足との接触面側)から全体に与えることで応力解析を実施した。

表 8. モデリングデータの解析結果

	モレリア	リガレスタ	トルクラレ
ポアソン比	0.48	0.47	0.45
加えた荷重 (kgf)	30	30	30
応力 (N/m <sup>2</sup> )			
max 10 <sup>6</sup>	2.230	2.442	3.271
min 10 <sup>4</sup>	1.234	1.383	1.470
変形スケール	1848.40	1382.89	3131.23

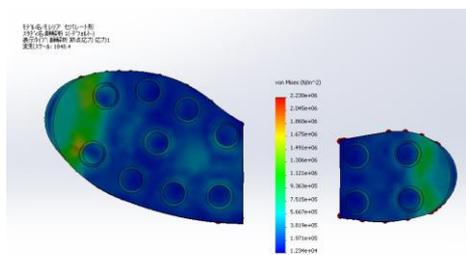


図 4 モレリアの解析結果

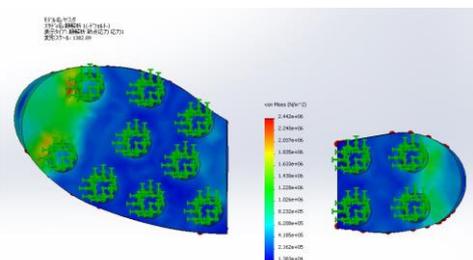


図 5 リガレスタの解析結果

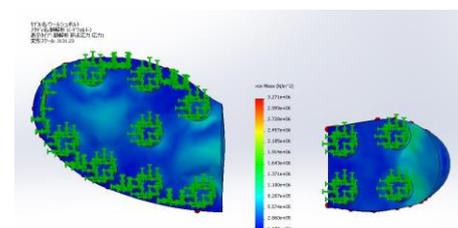


図 6 トルクラレの解析結果

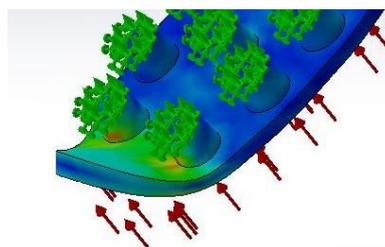


図 7 たわみの様子

図より、どのスパイクでも応力は特にソールの前足部に集中していることがわかる。これによって、前足部に変形が生じている。原理としてははりのたわみの現象と同じものであると考えられる。ここで梁のたわみとは、梁に荷重を加え、変形が生じたときの変形の変化量のことである。今回の場合、拘束条件よりスタッドが固定されているため、スタッド側が固定端となってアウトソール前足部がたわんでいる(図6)。図5のトルクラレの結果をみると、先端のかぎづめのようなスタッドに最も応力が集中していることがわかる。すなわち、前足部に応力が集中することを考慮して設計されているのがトルクラレであると考えられる。応力は断面積が小さいほど大きくなるため、このスタッドによって地面へのグリップを高めることができることがわかる。

## 5. 結論

本研究の結果から、応力がかかりやすいエリアにスタッドを配置することによってグリップ力の向上を期待できることがわかった。用いたスパイクの中では、トルクラレが最もこれに配慮した設計となっていることが分かった。