原著論文

陸上競技場人工サーフェスの損傷分類と摩耗試験装置の開発[†]

内 山 了 治* 芳 賀 武** 宮 尾 芳 一*
青 木 博 夫* 渡 辺 誠 一* 川久保 洋 一***

Classification of the Scars on Athletic Surfaces and Development of
Wear Testing Devices[†]

Ryoji UCHIYAMA *, Takeshi HAGA **, Yoshikazu MIYAO *,
Hiroo AOKI *, Seiichi WATANABE * and Yoichi KAWAKUBO ***

Abstract

The surfaces of athletic stadiums have improved since 1970. However, no classification has been made regarding the scars on surfaces. A standard of the surface was announced by the IAAF(International Association of Athletics Federations) in 1998. This standard consists of 10 properties such as force reduction, friction and modified vertical deformation. These properties and precedence studies are mostly in regard to vertical direction but few are related to the characteristics of level direction. The purposes of this study were to classify the scars on surfaces of athletic stadiums and to develop a wear test device. The characteristics of 3 kinds of track surfaces were investigated by using this device.

The results are as follows;

- 1) Scars on surfaces of the athletic stadiums were classified into three categories, a) abrasive wear (scratch damage), b) abrasive wear (brake damage), c) fatigue wear.
- 2) The wear test device is able to simulate the contact phase of human running and can carry out various tests. This device detects the forces of spike pins and surface.
- 3) It became clear that the vertical direction force is big on a hard surface.

Key words : Original Testing Device, Track Surface, Wear, Spike Pin, Crack

1. は じ め に

国内における全天候型陸上競技場は1968年に初めて施工されて以来, 施工技術, 安全性および競技記録の向上等を課題として1970年代

後半から改良が進み現在に至っている. 近年の全天候舗装材(以下, サーフェス)は, 弾性層を含めたフルウレタンのタイプと, コンポジットタイプ(軟らかめな下層とポリウレタンの上層を組み合わせた複合弾性構造)に大別される¹⁾.

[†]原稿受付 2005年3月7日

*長野工業高等専門学校 〒381-8550 長野県長野市大字徳間 716

**ハーガードサイエンスアカデミー 〒381-0057 長野県長野市浅川西条 895

***信州大学 〒381-8553 長野県長野市若里 4-17-1

Nagano National College of Technology, 716, Tokuma, Nagano, Japan (381-8550)

Hargard Science Academy, 895, Asakawa, Nishijo, Nagano, Japan (381-0057)

Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano, Japan (381-8553)

トラック表面は、1990年代以降、表面を粗面に仕上げるエンボス工法が主流となっている。また、サーフェスのリサイクルシステムや熱中症の発生原因である表面温度の上昇を防止する表面処理を施したサーフェス²⁾なども実用化されている。

これらの陸上競技場サーフェスに関する研究は、1970年代から2つの観点で進められてきた。1つは、実験室を中心としたスポーツ工学、運動力学・運動生理学的アプローチ³⁾⁴⁾であり、他方は施工現場のプリスタリング（ふくれ）対策、ポリウレタン粘性弾性特性とサーフェスの厚みなど施工上の技術的な課題に重きを置くものであった。

近年では、田中、宇治橋⁵⁾らが、ランニング・シューズの機械的特性を明確にする中で、シューズとサーフェスの緩衝特性を報告している。また、ランニングシューズの力学的特性および機能の評価方法の先行研究⁶⁾⁹⁾においてもサーフェスとの垂直方向における衝撃緩衝性に焦点が当てられて報告されている。

一方、国際陸上競技連盟（以下、IAAF）では、「全天候舗装材」と「陸上競技場」に関する認証制度¹⁰⁾を1998年に公表し、IAAF公認国際競技会開催会場のサーフェスはこれらの規格に合格することを求めている。性能規格は耐摩耗性、垂直水平変位量、衝撃吸収性等の物性および機械的特性に関する10項目からなっている。

上述した先行研究やIAAFの規格は、垂直方向の衝撃力の緩衝性と反発性が中心となっており、水平方向の滑り性能の評価項目は摩擦係数が見受けられる程度である。一般に摩擦係数は荷重と接触面積には依存しないと考えられているが、古川¹¹⁾は、各種の人工芝のサーフェスで実施したテストでは荷重、シューズの材質、表面のパターンで大きく変化することを報告し、評価試験はできるだけ実際の運動状態に近い条件で実施することを推奨している。また、世界的トップスプリンターのスパイクシューズを設計製作した金子¹²⁾は、その足裏に関する

バイオメカニクスデータの収集として、圧力分布のほかに、水平方向の力を同時に計測し、キック力の向きと走路間の滑りの瞬間をスパイクピンの位置決定に活用したことを報告している。

さらに、陸上競技場の損傷状態を調査すると、水平方向のひっかき傷、ブレーキ傷、あるいは全体的な摩耗など、現場では垂直方向より相対的な移動を伴う損傷が多く見受けられる。しかしながら、新設時には舗装表層材標準物性値¹³⁾やIAAFの基準は存在するが、使用頻度や摩耗損傷程度に応じた補修に関する明確な基準はない。また、水平方向の相対的な移動を伴う摩擦、摩耗、潤滑（以下、トライボロジー）の観点からのサーフェスを研究した報告は少ない。

従って、より安全で、好記録を狙いやすいサーフェスの開発や維持管理を行うためには、従来の機械的特性に加え、トライボロジーの観点から検討することも重要である。そのためには、より走動作に近い動きを再現できる装置による定性・定量的な繰り返し試験や摩擦・摩耗試験を行うことが必要となる。

そこで、本研究では、まず、陸上競技場の損傷状態から、傷の発生・摩耗状況を分類することを目的とした。そして、ランニング動作に近い動きを再現できる摩耗試験装置を設計製作し、タイプが異なるサーフェスに関する比較検討と本装置の評価およびこれらの基礎的な機械的特性を明らかにすることを目的とした。

2. トラックサーフェスの摩耗形態

内山¹⁴⁾はゴムの摩耗形態を次のように分類している。①アブレシブ摩耗（abrasive wear）：硬く鋭い突起がゴム表面を引っ掻く時に生ずる摩耗。②凝着摩耗（adhesive wear）：滑らかな相手面と摩擦するときに生ずる摩耗。③疲労摩耗（fatigue wear）：表面の疲労によって起きる摩耗。④ころ状摩耗粉生成による摩耗（wear by roll-formation）：ころ状摩耗粉を生ずる摩耗。

これらの分類をもとに陸上競技場のトラックサーフェスの摩耗形態を以下のように分類し

Fig. 1 Scars of surface. (a)Take off point of long jump. (b)Javelin throw release area. (c)1st-lane. (d)9th-lane.

た。また、摩耗状態を Fig. 1 に示した。

1) アプレシブ摩耗（引っかき傷）

- ・100m, 200m, 400m スタート地点
- ・リレーブルーゾーンスタート地点
- ・固定障害踏切地点, 着地地点
- ・走幅跳踏切地点など

スタートの加速過程, 踏切地点での引っ掻きを繰り返すことにより Fig. 1(a) のような摩耗状況と方向性を確認できる。

2) アプレシブ摩耗（ブレーキ傷） Fig. 1(b)

- ・槍投踏切地点
- ・走高跳, 棒高跳踏切地点など

この傷は、槍投, 走高跳, 棒高跳などの踏切動作において、進行方向に発生し、長さ5～8cm 程度の筋状の傷が特徴的である。この摩耗を放置すると、ここから水が浸透しサーフェス損傷範囲を拡大する。

3) 疲労摩耗（引っかき+ブレーキ）

- ・トラック全般 Fig. 1(c)(d)

・スターティングブロック使用地点

この摩耗状態は、使用頻度が高くなり、引っ掻く動作やブレーキ動作も含め、いくつかの摩耗現象が複合して生じている。

3. 試験装置の製作および評価実験

3.1 摩耗試験装置の製作

ランニング動作における支持期（接地局面）は、キック前半（足が地面に接地した瞬間から、身体重心が支点に対し鉛直の位置になるまで）と、キック後半（身体重心が鉛直の位置から足が離地するまで）に分けて捉えられる。本研究でもこれらに即して、クランクに取り付けたスパイクピン（以下、ピン）が、ランニング支持期の動作に類似するようなピン・サーフェス摩耗試験装置を製作した。この装置の機構上の特徴は、ターンディスクの回転運動を、ピンの上下運動を伴う回転運動に変換することである。Fig. 2 に本装置の概要を示した。(A) は、

Fig. 2 The wear test system to measure mechanical properties of spike pin and artificial track surface. (A)Running model of the foot and pin. (B)Movement of the crank and pin. (C)Photograph of the test device.

ランニングの接地直前から離地までをモデル化し、右から左方向に走る場合の足、ピンとサーフェスの位置関係を示したものである。(B)のブロック図はターンディスク、クランク、ピンなどを示し、それぞれ(A)の動きと対応している。また、(C)には本装置の右斜め前方からの写真を示した。

本装置の機構は、モータ、ターンディスク（クランク取り付け円盤）、クランク、スライダ、リニアガイド、ピン側およびサーフェス側ロードセル、トリガーセンサの部品からなる。クランクはターンディスクとスライダを連結し、リニアガイドに沿ってスライダを上下動させる。クランクはヒトの脚に、スパイクピン固定部は足部に相当し、回転数は脚のピッチと見なすことができる。

ピッチは1秒間あたりの脚の回転数であり、 $\text{ピッチ (Hz)} = 2/T$ で表される。

(T: 1 ランニングサイクル = 右足離地～左足接地・離地～右足接地・離地までの時間)

なお、回転数の制御は無段変速機（TSUBAKI-DZ007 AMR5）で行った。

本装置のパラメーターおよび本研究における設定は Table 1 に示した。パラメーターは、ターンディスク上のクランク取り付け位置 (E: ターンディスク中心からクランク取り付け軸の中心までの距離)、クランク取り付け位置からスライダ軸の中心までの距離 (F)、スライダ軸の中心からピン先端までの距離 (G)、ピンのサーフェスへの食い込み長さ (H)、ターンディスクの回転数である。これらのパラメーターを変化させることにより、クランクに取り付けられたピンの動作が様々なランニングを再現する。ランニング動作の再現と変化については、クランクのターンディスク取り付け位置を規定する (E) の値が小さく（クランクがターンディスクの中心に近づく）なれば、ピンは上下運動に近くなり、逆に大きくなればピンの水平方向への相対運動が大きくなる。ピンの取り付け位置については、(G) = 0（ピンの先端がスライダ

Table 1 Parameters of test device and setting in this study.

Parameters	Setting range	Setting in this study
E; Between distance of turn disk center to attachment position of crank.	40mm~70mm	40mm
F; Between distance of attachment position of crank to slider center.	120mm~300mm	220mm
G; Between distance of slider center to pin edge.	-200mm~100mm	-125mm
H; Intrusion length of pin.	0mm~30mm	8mm
Round per minute of turn disk.	0~360rpm	50rpm

Table 2 Characteristics of load cells.

		Pin side	Surface side
1	Model No.	LMC-21044 NISSHO ELECTRIC WORKS CO., LTD	ATS-ZGS10 Sato mashinari CO., LTD
2	Rating load	Fx $\pm 600\text{N}$	Fx $\pm 100\text{N}$
		Fz $\pm 600\text{N}$	Fz $\pm 200\text{N}$
3	Rating output	3000×10^{-6}	350×10^{-6}
4	Non linearity	$\pm 0.2\% \text{FS}$	$\pm 0.2\% \text{FS}$
5	Hysteresis	$\pm 0.2\% \text{FS}$	$\pm 0.2\% \text{FS}$
6	Interference factor	$\pm 0.5\% \text{FS/FS}$	$\pm 2\% \text{FS/FS}$

軸中心と一致)の場合、ピンは水平方向への相対運動をせずに上下に角度を変化させながら移動する。(G)が(+)および(-)の場合は、ピンの水平方向への相対運動が加わり、回転方向は(+)の場合はターンディスクと同一方向で、(-)の場合は逆回転となる。また、クランクではなくスライダに取り付けた場合は、ピンは鉛直方向の上下運動を繰り返す。回転数は初心者から世界の一流競技者のピッチに対応している。本研究では、スパイクピンをクランク先端に取り付け ($G = -125\text{mm}$)、回転数は50rpm、サーフェスへの最大食い込み長さを8mmに設定した。

データ収集は次のように行った。2方向ロードセルをピン側 (LMC-21044 日章電機株) およびサーフェス下面 (ATS-ZGS10 株佐藤マシナリー) に設置し、これらに加わる垂直力とそれと直角の方向の力を測定した。検出した力は増幅器 (NR-ST04 キーエンス株)、レコーダ (NR-500, キーエンス株) を介してパーソナルコンピュータで収集した。なお、接地回数をカウントするためにトリガーセンサ (LV-21A, LVH62 キーエンス株) をレコーダに接続した。ロードセルの精度は Table 2 に示したとおりである。

以上のように、本装置は、サーフェスへのく

Fig. 3 Angle between the force and horizontal during contact surface.

い込み試験, スパイクピンの摩耗試験, サーフェスの摩耗耐久試験など応用範囲が広く, 様々なサーフェスやピンの種類について実験, 測定が可能である.

3.2 試験装置の評価実験

(1) スパイクピンのサーフェスへの荷重

スパイクピンがサーフェスに接触中 (以下, 接地) に加える力と水平線のなす角度を Fig. 3 に示した. 力の方向は, サーフェス側の鉛直, 水平成分から算出した. 横軸は接地後の時間を示している. この力の方向は, 金子¹²⁾が報告した世界のトップアスリートのキック後半の力曲線に類似しており, 実際のキック動作とほぼ同等と見なすことができた. ランニングのキック前半においては, 接地直後に, 進行方向とは反対のブレーキ要素を伴う. この力はスタート直後の加速面では小さいが, 走速度が高まるにつれ大きくなることが報告¹⁵⁾されている. 本試験装置の今回の設定ではこの衝撃を捉えることはできなかったが, スパイクピンの取り付け位置とサーフェスに移動機構を備えることにより, キック前半の走動作の再現は可能である.

(2) ピンの形状と力発揮

陸上競技の競技会や練習で使用頻度が高く形状が異なる2つのスパイクピンについて, それ

Fig. 4 Relation between the shape and force of the spike pin. Spike pin shapes ; (D) Two steps of pin. (S) Straight pin.

ぞれの力を測定した. Fig. 4 の (D) が2段平行ピン, (S) は平行ピンである. ピンの長さはともに 8mm とした. DPz (SPz) は2段平行ピン (平行ピン) の垂直方向の力, DPx (SPx) は2段平行ピン (平行ピン) の水平方向の力を示している. 垂直方向では, 2段平行ピンが最大値で 10N, 全体では 583.5N・s と大きな値を示した. 水平方向に関してはスパイクピンの形

状による大きな差は見受けられなかったが、離地直前にピンが受ける力は2段平行ピンが大きかった。これらのことから、スパイクピンの形状はおもに鉛直方向に関与することが考察された。

(3) ピンのくい込み量と力発揮

Fig. 5 にスパイクピンがサーフェスに食い込む長さでサーフェスが受ける力の関係を示した。スパイクピンは8mm 2段平行ピンを使用した。鉛直方向では、食い込み長さで力に次の近似式 $y = 8.6869x$ ($R^2 = 0.98$) が得られ相関が認められ、測定される鉛直方向の力はピンの食い込み長さに依存することが明らかになった。しかし、水平方向に関しては、食い込み長さが2mm 以上でほとんど同様な値を示し、食

Fig. 5 Relation between intrusion length of spike pin and maximum force.

い込み長さには依存しないことが示唆された。このことは、実際のランニングにおいて使用するピンの形状選択にも影響を与えることが予測され、今後、様々な形状のピンを調査し検討することが課題としてあげられた。

4. 3種類のサーフェスに関する基礎的な機械的特性

4.1 試料

今回比較検討した試料は、IAAF（国際陸上競技連盟）の認証（2004. 9. 01 現在で14カ国, 24社, 39品目）¹³⁾を受けたフルウレタンタイプのサーフェス（以下、(A)とする）と、下層にゴムチップ層を使用したコンポジットタイプ（複合弾性）のサーフェス（以下、(B)および(C)とする）の3種類とした。物性特性等はTable 3に示した。いずれも公認陸上競技場に施工されているサーフェスである。3試料とも表層ウレタンは同一素材であり、表面も、試験に支障がないようフラット仕上げとした。厚さは13mmに統一した。

4.2 結果と考察

Fig. 6に本試験装置によるピンとサーフェスの力特性を示した。Az(Bz, Cz)は試料A(B, C)の垂直方向の力、Ax(Bx, Cx)は試料A(B, C)

Table 3 Properties of artificial track surfaces.

Items \ Sample No.	A	B	C
Type	Full Polyurethane	Composite	Composite
Surface	Smooth & Flat	Smooth & Flat	Smooth & Flat
Base	Polyurethane	Rubber	Rubber (Factory product)
Hardness (JIS K6253)	52	56	48
Force Reduction (%) (DIN 18032 Teil2)	40.7	35.4	42.0
Tensile Strength (kgf/cm ²) (JIS K6251)	38.0	≥ 5.0kg/cm ²	5.1
Scratch test (kgf/cm ²) (JIS K6252)	19.0	-	7.9

Fig. 6 Force of vertical and horizontal direction of each surfaces.
(Surface ; No. A. Pin ; D)

の水平方向の力を示している。垂直方向では、試料Bの値が大きく、試料AとCについては、ピーク値で試料Aが8N大きかったが、全体的に大きな差は認められなかった。水平方向でも、試料Cが全体的に大きな力を発揮したが、試料AとCについては、ほとんど類似したパターンを示した。また、ピンはサーフェスから離地する直前で1～10N程度の力を受けていることが判明した。垂直方向よりこの水平方向の力を大きくすることが、ランニング速度向上に関与する。従って、水平方向の力を大きくできるサーフェスの構造について検討することも必要であると思われる。

Fig. 7 には、IAAF 認証基準値¹⁰⁾¹⁶⁾の中で、合格基準を満たすのが難しいとされる衝撃吸収性と垂直、水平方向の力積および力の関係について示した。衝撃吸収の試験方法は、IAAF が

Fig. 7 Relation between force reduction and maximum force.
(Surface ; No. A. Pin;D)

定める方法によるもので、20kgの重量を鉄敷きの上に落下させ、その加重がスプリングを経由して舗装面に載せてある球状の基底を持ったテストフットに伝えられる。テストフットには衝突したときの最高衝撃力を記録できる重力の変換装置が取り付けられている。この衝撃力は、堅固なフロア（コンクリート）で得られた結果と比較され、人工表層の衝撃吸収率として次のように算出される。

$$\text{衝撃吸収 (\%)} = (1 - \text{FS}/\text{FC}) \times 100$$

FS：人工サーフェスでの試験値

FC：コンクリート上での試験値

今回の実験結果より、衝撃吸収性(x)と垂直方向の力の最大値(Y)に関しては、 $Y = -8.2163x + 459.25$ ($R^2 = 0.9969$) という回帰式が得られ、サーフェスが硬く衝撃吸収性が低いほど大きな力を発揮していた。水平方向に関しては、力とサーフェスの硬さや衝撃吸収性との関連は見受けられなかったが、今後、実験条件を設定する中で詳細に検討していきたい。

5. ま と め

本研究では、陸上競技場の損傷状態の把握を行い、傷の発生頻度や摩耗状況を分類すること、ランニング動作に近い動きを再現できる摩耗試験装置を設計製作すること、そして、この装置を評価し、3種類のトラックサーフェスの摩擦、摩耗特性を比較検討した。これらから以下のとおりまとめられた。

1) 陸上競技場のトラックサーフェスの摩耗形態を, 次のように3分類した.

- ①アブレシブ摩耗 (ひっかき傷)
- ②アブレシブ摩耗 (ブレーキ傷)
- ③疲労摩耗 (全体的摩擦, 摩耗)

2) 設計製作した摩耗試験装置は, ランニングのキック後半の動きを再現でき, 様々な設定に対応できる.

3) 本装置は, ピンおよびサーフェスに加わる2方向の力をそれぞれ定性的, 定量的に検出することができた.

4) 硬度および衝撃吸収性が異なるサーフェスを比較すると, 垂直方向については, サーフェスが硬いほど大きな力を発揮していた.

謝 辞

本研究の遂行にあたり, トラックサーフェス試料および適切なご指導ご助言を賜った奥アンツーカ株式会社技術顧問 奥眞純氏, 技術部開発課課長 森石清氏, 並びに長野営業所長 赤沼賢一氏に深く感謝の意を表します. また, 摩耗試験装置の製作にご尽力頂いた 長野高専技術室第一技術班主任技術専門職員 深井郁夫氏に心からお礼申しあげます.

参 考 文 献

- 1) 奥 眞純; 全天候トラック時代へ, 月刊体育施設, No.371, pp.76-84, 2000.
- 2) 熱中症を防ぐ遮熱トップコート「フィルクール」誕生, 月刊体育施設, No.428, pp.76-84, 2005.
- 3) MacMahon TA. et.al.; Fast Running Tracks, Science America, Dec. 239, pp.148-163, 1978.
- 4) 小林一敏他; 身体に与える合成樹脂系舗装材の力学的特性, 順天堂大学保健体育紀要, 第18号, pp.24-35, 1975.
- 5) 田中克昌 他; ランニング・シューズの機械的特性とランナーによる官能評価との相関—トラック弾性の影響—, スポーツ産業学研究, Vol.10, No.1, pp.35-43, 2000.
- 6) Sock Heng WOO 他; ランニング・シューズの力学特性の計測と評価法, 日本機械学会論文集 (C編), 64巻623号, pp.85-92, 1998.
- 7) 小林一敏他; 筋肉特性を考慮した粘弾性モデルによるランニングにおける能動力の推定, 日本機械学会論文集 (C編), 64巻623号, pp.114-118, 1998.
- 8) 福岡正信; シューズはどう科学されるのか—シューズ機能の評価法—, 日本機械学会誌, Vol.95, No.888, pp.28-32, 1992.
- 9) 西脇剛史; FEMを用いたシューズの機能性評価法, バイオメカニズム学会誌, Vol.24, No.2, pp.82-86, 2000.
- 10) 鈴木 存他; IAAF 認証制度の概要や現状, 月刊体育施設, No.426, pp.16-24, 2005.
- 11) 古川源蔵; スポーツサーフェスと安全性, 快適性, 日本機械学会誌, Vol.95, No.888, pp.33-35, 1992.
- 12) 金子靖仙; 速く走るためのシューズ, 精密工学会誌, Vol.63, No.4, pp.460-465, 1997.
- 13) (財) 日本体育施設協会屋外体育施設部会; 「屋外体育施設の建設指針 H11 年改訂版」, pp.215-257, 1999.
- 14) 内山吉隆; ゴムの摩耗と摩擦, 日本ゴム協会誌, 第61巻, 第5号, pp.315-326, 1988.
- 15) 福田厚治他; 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか, 体育学研究, 49, pp.29-39, 2004.
- 16) I.A.A.F.; PERFORMANCE SPECIFICATION FOR SYNTHETIC SURFACED ATHLETICS TRACKS, 1990.