

新規衝撃試験機を用いる屋外スポーツサーフェスの衝撃度の評価

青木豊明¹⁾

Estimation of Impact for Outdoor Sports Surfaces with New Impact Hammer Equipment

Toyoaki AOKI

Abstract

In this research, a new impact hammer equipment was applied to study the surface impact of the outdoor sports surfaces such as the artificial turf, the natural turf, the artificial athletic track, the clay track, and the tennis court in Biwako Seikei Sport College. The values of impact acceleration (I_a) which were outputs from the detector with the impact hammer, were the same within one day at the same site of the tested sports surfaces. The values of I_a at the outdoor sports surfaces were as follows ; tennis court>artificial athletic track>clay track>natural turf>artificial turf. The force reduction ratio (Fr) derived from the value of I_a was effective in estimating the impact of the sports surfaces.

Key words : New Impact Hammer Equipment, Outdoor Sports Surfaces, Impact, Force Reduction Ratio.

1) 生涯スポーツ学科

1. はじめに

人がスポーツをおこなう際、スポーツサーフェスなどのスポーツ環境の条件から様々な影響を受ける。スポーツサーフェスである人工芝と天然芝の表面温度の検討結果について、青木ら（2005）は先に報告した。その中で、夏季の人工芝の表面温度が65℃近い高温になることを紹介した。その後、青木（2005）は主にサッカー競技がおこなわれている人工芝、および天然芝、陸上競技の全天候型トラック、およびクレイトラック、そして砂入り人工芝テニスコートのそれぞれのサーフェスの熱特性比較についても報告した。これらスポーツサーフェスの中で特に有機ポリマー製の屋外サーフェスの表面温度が、夏季において異常に高い温度になることを示した。

上に記した熱的な影響だけでなく、サーフェスの力学的な特性もスポーツ活動に影響する。この力学特性としては、着地の衝撃性や水平面の滑り特性などがある。衝撃性に注目した場合、運動時に足の踵にかかる衝撃が少ないサーフェスは、一般的には身体の安全性が高い場合が多い。このような観点も含めて

近年、陸上競技場に全天候型トラックを導入する所が増えてきているが、現在までのところスポーツサーフェスの衝撃度などの力学特性について評価の比較は充分なされていない。

小林（1998）は、衝撃試験が全天候型トラックの着地衝撃の定量化に役立つことを報告した。現在、学校のグラウンドにも種々のスポーツサーフェスが導入されており、宇治橋（1996）は運動のパフォーマンスだけでなく人体へのやさしさも重要との観点から衝撃試験の幅広い適用を訴えている。また、海外においてもGibbs（1997）は乗馬クラブの馬場の評価を、またCarreとHaake（2004）はクリケット場のグラウンドの評価を、それぞれ小型のシュミットハンマーを用いる衝撃試験法を適用して、その有効性について報告した。

今回、著者はびわこ成蹊スポーツ大学内の屋外スポーツサーフェスを対象に、サーフェスの持つ衝撃度の測定に舗装路面を評価する重錘測定機をスポーツサーフェスの新規衝撃試験機として適用し、比較検討したので以下に報告する。

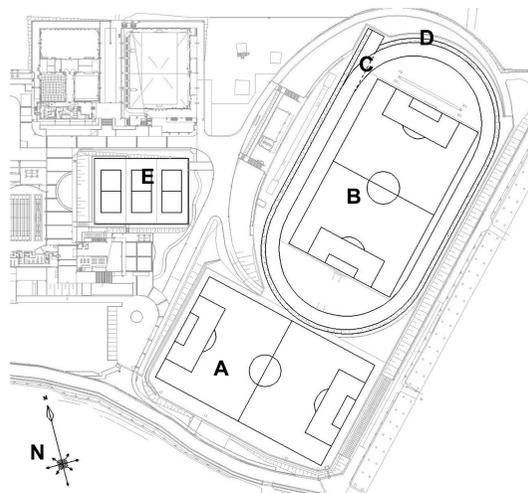


Fig. 1 Schematic diagram of outdoor sport fields in Biwako Seikei Sport College.

- A : Artificial turf, B: Natural turf,
- C : Artificial athletic track,
- D : Clay track, E: Tennis court.

2. 研究方法

2.1 測定場所

測定対象とした屋外スポーツサーフェスの概略配置図を図1に示した。人工芝（A：artificial turf）は、SRIハイブリッドの施工したロングパイル型ハイブリッドターフ（LP-65C型）である。ポリエチレン製で芝丈は65mm、底面から20mm厚さで特殊珪砂、さらにその上に20mmの厚さで黒色ゴムチップが、それぞれ充填されている。天然芝（B：natural turf）は、バミューダグラス種が植栽されている。天然芝の外側に全天候型トラック（C：400m、6レイン、artificial athletic track）と、その外周にクレイトラック（D：clay track）が、奥アンツーカーによって施工された。全天候型トラック（TOP ACE-CB）は、表層の4mmがポリウレタン製で、その下に空隙式のゴムチップ層が9mmとつづき、さらにその下は開粒度のアスファルトとなっている。クレイトラックは、最上層にわずかの砂を置いた土層が

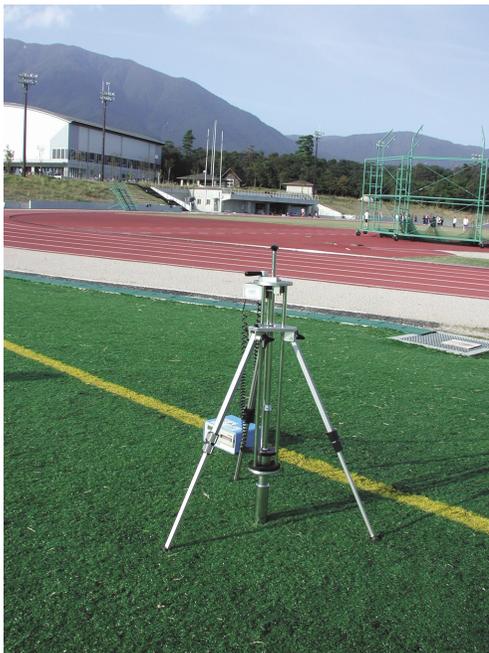


Fig.2 Photograph of impact acceleration detector on artificial turf in BSSC

100mmと、その下に100mm厚さの碎石層からなっている。テニスコート（E：tennis court）は、奥アンツーカーによって施工された砂入り人工芝（D120型）である。50mmのアスファルト層の上に19mm丈のポリプロピレン製の人工芝が敷かれ、その芝の間に砂が入れられている。

以上のスポーツサーフェスだけでなく、大学外のコンクリートおよびアスファルト道路についても、一部を測定対象とした。その理由としては、衝撃値の比較対象基準にするためと、現実に陸上競技のロードレースとしても使用されているためである。

2.2 測定方法

測定器には舗装路面の衝撃試験に使用されているマルイ製の簡易支持力測定器（MIS-244-0-61型）を2.1節に記載したスポーツサーフェスに適用した。衝撃試験に用いた測定器の写真を図2に示した。測定方法としては、4.5kgの重錘を45cm高さから測定対象体に落下させて跳ね返りの衝撃加速度（ I_a ，単位： $m \cdot s^{-2}$ ）を測定する。但し、本論文では測定機からの出力電圧値を使用して、相対比較として議論している。図2は、重錘が人工芝上に落下した状態である。測定は、2003年9月から2004年2月にかけておこなった。

また測定値の以下の議論の中で、バラツキを表す標準偏差を平均値で割った変動係数を百分率化した相対標準偏差（RSD：relative standard deviation）を使用した。この算術処理によりバラツキを相対化しやすいと考えたためである。

3. 結果および考察

3.1 衝撃加速度の日内変動

青木（2005）は先に報告したように、屋外スポーツサーフェスの表面温度は一日の間でも時刻とともに変化する。その理由としては、表面温度が太陽高度の違いによって表面の受ける太陽光エネルギーが変化するためであ

る。例えば、2004年10月1日の全天候型トラックの表面温度（赤外線放射温度計による計測）は、9:00, 13:00, 17:00の時刻で36.1, 49.9, 26.8℃と変化している。昼の13:00と夕方17:00の表面温度の差は23.1℃もある。この温度変化がサーフェスの材質弾性に影響して、硬さの日内変動として現れないか調べる必要がある。そこでまず屋外スポーツサーフェスの衝撃加速度の日内変動を検討した。

図3には検討したサーフェスの結果を示した。各サーフェスでの衝撃加速度の測定は5回おこない、図3にはそれらの平均値を図示した。

全天候型トラックを除いた他のサーフェスの日内変動は、これらのサーフェスでの測定値の相対標準偏差（5.2%）内であった。この5.2%は、測定対象系内の主に測定法に因る変動と考えられる。しかし、全天候型トラックについては大きく変動した。日内の最大変動幅は33%であり、このトラックの各時刻測定の相対標準偏差4.5%よりもかなり大きかった。各時刻での実際の測定は、6レーンあるトラックのほぼ均等距離の5ヶ所でおこない、平均値、相対標準偏差を求めている。この計測場所の違いが変動に影響したかを検討

した。

図4に検討した結果（測定日の制約から3時刻での測定）を示した。全天候型トラック5ヶ所での衝撃加速度の日内変動は相対標準偏差内にあり、変動を受けていなかった。しかし、測定点No.1, 2, 5とNo.3およびNo.4の衝撃加速度の平均値の差の検定をおこなったところ、これらの間には有意な差（有意水準0.05）があった。その理由として、全天候型トラック表面が足の滑りを押さえるためのエンボス加工を施しており、このことが各測定点での衝撃加速度の微妙な違いをもたらし、図3に示した時刻での変動を示す結果になったと考えられる。

以上の検討結果より、各サーフェスの同じ場所で測定するかぎり、この時期に予想される23℃幅の温度変化においても、衝撃加速度の日内変動は、測定対象系内の測定法自身の有する変動内に収まったと推定される。

また、砂入り人工芝の三面のテニスコートに関して衝撃加速度の測定（ $n=10$ ）をおこなったが、三面の各コートの衝撃加速度と相対標準偏差はそれぞれ36.4, 37.8, 36.6および1.4%, 2.2%, 1.9%であり、各コート間の平均値の差の検定をおこなったところ、これら

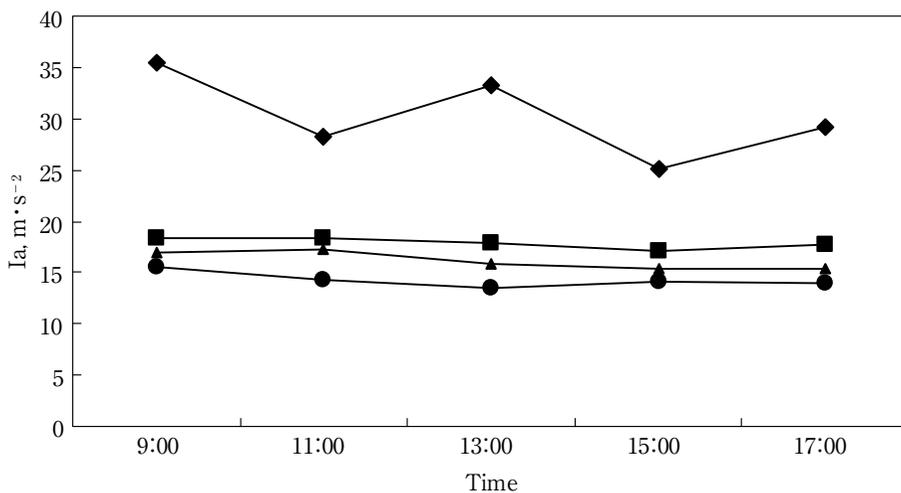


Fig. 3 Change in impact accelerations with time at outdoor sports surfaces (Oct.17,2003)
 ◆ : art.track, ■ : clay track, ▲ : natural turf, ● : art.turf.

の間には有意な差（有意水準0.05）が見られなかった。

3.2 サーフェスの衝撃加速度比較

陸上競技種目にはロードレースもあり、競技者は種々のサーフェスを運動することになる。そこで、びわこ成蹊スポーツ大学外のコンクリート道路およびアスファルト道路についても衝撃加速度の測定をおこなった。ただしアスファルト道路に関しては、細かな材質と粗い材質のものが散見されるので、両者について測定をおこなった。

図5には道路での測定値と同時に、前節で示した学内のスポーツサーフェスでの衝撃加速度の測定値も図示した。測定は各測定場所で5回おこない、平均値と測定バラツキを示す相対標準偏差を同時に示した。

コンクリート道路の測定値が最も大きく、続いてアスファルト道路であり、砂入り人工芝のテニスコート、全天候型トラックが中程度で測定値が低く、最も低いサーフェスとしてクレイトラック、天然芝、人工芝となった。

ドイツの工業規格（DIN18032）では、ある舗装体での衝撃がコンクリートでの場合と比べて、どの程度減衰するかをの相対値でランニング時の着地衝撃を決めている（1991）。

この着地衝撃力の減衰率（Fr：force reduction）は次のように定義されている。ただし、この減衰率を百分率（%）で表した数値を日本サッカー協会は衝撃吸収性として定義している。

$$Fr = (F_c - F_i) / F_c \quad (1)$$

ここで F_c はコンクリートの床に重錘を落下したときの反射衝撃力で、 F_i は比べたい材質での反射衝撃力である。本研究の舗装体のFrを以下のようにして求めた。

衝撃力（F）は、衝撃加速度（ I_a ）と重錘の質量（M）を用いて、次のように定義できる。

$$F = I_a \times M \quad (2)$$

(I_a 単位： $m \cdot s^{-2}$)

同じ質量の重錘を用いる時は、以上の二式より次の関係式が誘導できる。

$$Fr = 1 - I_{a-i} / I_{a-c} \quad (3)$$

図5に示した衝撃加速度の測定値を式（3）に代入して求めた各舗装体の衝撃減衰率を表

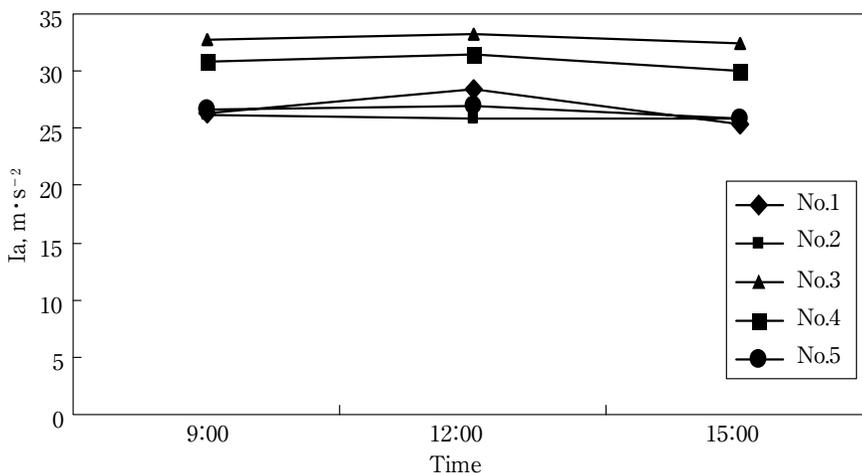


Fig. 4 Change in impact accelerations with time at artificial athletic track lanes (Oct.20,2003)

1)にまとめた。同時に5回測定における最大値と最小値の差 (range) についても記載した。

Table 1 Force reduction ratio (Fr) on sports surfaces

material	Fr	
	mean	range
artificial track	0.561	0.033
clay track	0.767	0.017
natural turf	0.792	0.025
artificial turf	0.822	0.028
tennis court	0.523	0.021
asphalt road (fine)	0.059	0.368
asphalt road (rough)	0.444	0.225
concrete road	0	

$$\text{range} = \text{Fr}(\text{maximum}) - \text{Fr}(\text{minimum})$$

舗装体がコンクリートと同じ衝撃度であればFr=0になり、逆に完全に力が吸収されればFr=1となる。現行の人工芝衝撃吸収性は、天然芝にかなり近い状態であると考えられる。両芝の得られたFrの値はともに0.5以上で、日本サッカー協会 (2003) が人工芝特性

試験で定めている衝撃吸収性 (50%以上, 即ち0.5以上) に合致するものであった。また、砂入り人工芝であるテニスコートは、クレイトラックや全天候型トラックよりも衝撃吸収性の低い結果となった。その理由として、砂の柔軟な動きを人工芝が支持体として抑えているためと考えられる。また、アスファルト舗装道路の値の変動幅が大きいのは、大学外の道路で長年の使用による舗装面の不均一性が大きいことによると考えられる。ちなみに本学は、2003年4月に開学し、今回、検討対象としたスポーツサーフェスは敷設してまだ新しい。

このようにサーフェスの持つ衝撃吸収性などを評価する際に、Frは簡便な指標になりうることが示唆される。今後、Ia値およびFr値と各スポーツサーフェスの素材との関連性について検討を進めたい。

4. まとめ

今回、種々のスポーツサーフェスの持つ力学的な衝撃度の指標として、重錘による舗装

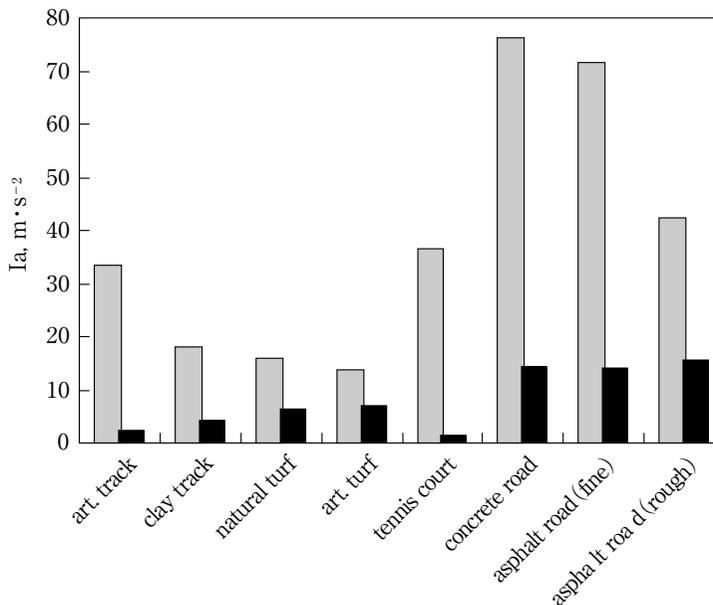


Fig. 5 Comparison with impact accelerations of sports surfaces (Nov.4. 2003)
 □ : Ia (n=5), ■ : Relative standard deviation (%)

路面の衝撃加速度を検出する測定機をサーフェス衝撃試験に応用し、得られた結果を検討した。

適用した人工芝、および天然芝、全天候型トラック、およびクレイトラック、そしてテニスコートのそれぞれのスポーツサーフェスでの衝撃加速度を同じ場所で測定するかぎり、23℃幅の温度変化においても日内変動は、測定対象系内の測定法自身の有する変動内であり、この温度幅内であれば屋外スポーツサーフェスの衝撃加速度は温度の影響をほとんど受けないと考えられる。ただし、サーフェス面が不均一な場合、測定値の取り扱いに注意する必要がある。

また、ある舗装体での衝撃がコンクリートの場合と比べて、どの程度減衰するかの相対値で、運動時の着地衝撃を定義しているドイツの工業規格の衝撃力減衰率 (F_r) を、今回得られた測定値に適用した。その結果、サーフェスの持つ衝撃吸収性などを評価する際に F_r は簡便な指標になりうることが示唆された。

また、人工芝および天然芝で得られた F_r の値はともに0.5以上の妥当な値であり、日本サッカー協会 (2003) が人工芝特性試験で定めている衝撃吸収性 (0.5以上) に合致するものであった。

現在、日本においては、全天候型トラックの反射衝撃特性や水平方向の滑り特性などの力学特性に関する規定はなされていない。運動時に足の踵にかかる衝撃が少ない、安全性の高いサーフェス素材の評価に、今回検討した方法が参考になればと考える。

謝 辞

本研究を遂行することにあたり、簡易支持力測定器を貸与して頂いた奥アンツカ株式会社技術部開発課長の森石清氏に感謝いたします。

引用文献

- ・青木豊明・松田保・豊田一成 (2005) キッズのスポーツ環境—特に人工芝の表層温度に焦点をあてて、びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 2: pp.93-98.
- ・青木豊明 (2005) 有機ポリマー製の屋外スポーツサーフェスは熱い, Training Journal, No. 312: pp.38-39.
- ・Carre, J.M. and Haake, S.J. (2004) An examination of the Clegg impact hammer test with regard to the playing performance of synthetic sports surfaces, Sports Engineering, 7: pp.121-129.
- ・Gibbs, J.R. (1997) Equestrian surface evaluation, NZ turf management journal, 11 (3): pp.21-23.
- ・小林一敏 (1998) 全天候トラックの選択や改良のためには着地衝撃の物理量測定が役立つ, 体育施設, No.345: pp.48-53.
- ・小林一敏・土居陽二郎・柴田薫 (1991) 施設と競技成績, 体育の科学, 41 (5): pp.346-352.
- ・日本サッカー協会 (2003) 人工芝ピッチ公認に関するガイドブック, 9月発刊.
- ・宇治橋 (1996) 学校スポーツ・サーフェスの現状と今後, School Amenity, 9月号: pp.21-27.