

## 全天候型テニスコートの力学的特性 に関する一考察

小林 一 敏      前 田      寛      宮 地      力  
浅 井      武      中 田      了

### A Study on Mechanical Characteristics of All-weather Type Tennis Court

Kazutoshi KOBAYASHI, Hiroshi MAEDA, Chikara MIYAJI  
Takeshi ASAI and Satoru NAKATA

Recently all-weather type tennis court has become popular but its biomechanical characteristics in playing are few known. This study is to clarify the characteristics of collision and friction between the court and the shoes. As an analysis of this study, the acceleration of last at the collision and static and dynamic coefficient of friction were measured. The experiment was done under these condition; 1) four different type tennis court materials, 2) two surface conditions (dry, wet), 3) two kinds of shoes (Fresh and tired sole).

The results were summarised as follows;

- 1) From the experiment of collision, the mean of maximum acceleration at each collision by falling the last directly on the court is  $715.1 \text{ m/s}^2$  and that of the last weared shoe is  $209.3 \text{ m/s}^2$ . This results means that the main factor of shock absorbing ouws to the characteristics of the sole of shoes.
- 2) In every condition of the experiment, the diviation of the coefficient of static and kinetic friction which was measured at the various sort of load were small. The results mean that the frictionnal force between shoes and tennis court is almostly under the Coulomb's law in this experiment.
- 3) On the dry surface, the coefficient of friciton between the court and the sole of fresh shoes was greater than that of tired. This result is not always sure in every condition of the experiment.
- 4) Generally speaking when the surface becomes wet the coefficient of friction decreases, but in a certain condition of this experiment the coefficient of friction increases.

### I 緒 言

最近のテニスコートには、耐水性・耐久性に優れ、維持管理の容易な高分子化合物を用いた全天候型舗装材が頻繁に用いられてきている。この新しい舗装材は、陸上トラック、スポーツフロアなどにも用いられ、競技記録の向上につながる例も

多いが、逆に、疲労しやすく、事故・傷害の原因となる例も少なくない。

一般に、全天候型テニスコートの舗装材は、陸上トラックの場合の半分以下の厚さのものがコンクリート基礎面に直接加工されている場合が多く、傷害の原因となることも十分に考えられる。

しかし、この舗装材が、テニスのプレーにいか

なる影響を与えているかについては明らかではない。

テニスコートがプレー時の身体におよぼす影響には、第一に、プレーヤーとコートが直接に接する靴底とコートの衝撃特性や摩擦特性などの物理的要因があげられよう。

しかし、現在まで、陸上トラックの舗装材に関して力学的特性を考察した研究が2, 3に見られるだけで<sup>2), 3), 4)</sup>テニスコートに関する研究はほとんど見当たらない。

そこで、本研究では、各種の全天候型テニスコートの物理的特性を、衝撃、摩擦の観点から、コートの条件、テニスシューズの条件を様々に変化した場合についての実験を行うことにより、明らかにしようとした。

## II 実験方法

### 1. 実験に用いたテニスコート舗装材の種類

全天候型テニスコートとして現在40種類以上のものが商品化されており、すべてのものについて資料を得ることは難かしい。

本実験においては、表層の厚さのうすい舗装例として、表面に樹脂乳剤系のコーティングが3mmほどこされているが表面のざらつきの異なるものとして、Material BとDを選び、厚い表層の舗装がほどこされている例として、Material AとCを選んだ。

すべての実験に用いた舗装材は、実際の使用条件と同じくアスファルトコンクリート（厚さ60mm）の上に加工してある。

試材の組成をFig-1に示す。

### 2. 衝撃特性に関する実験

実験装置は、Fig-2に模式的に示すように、木

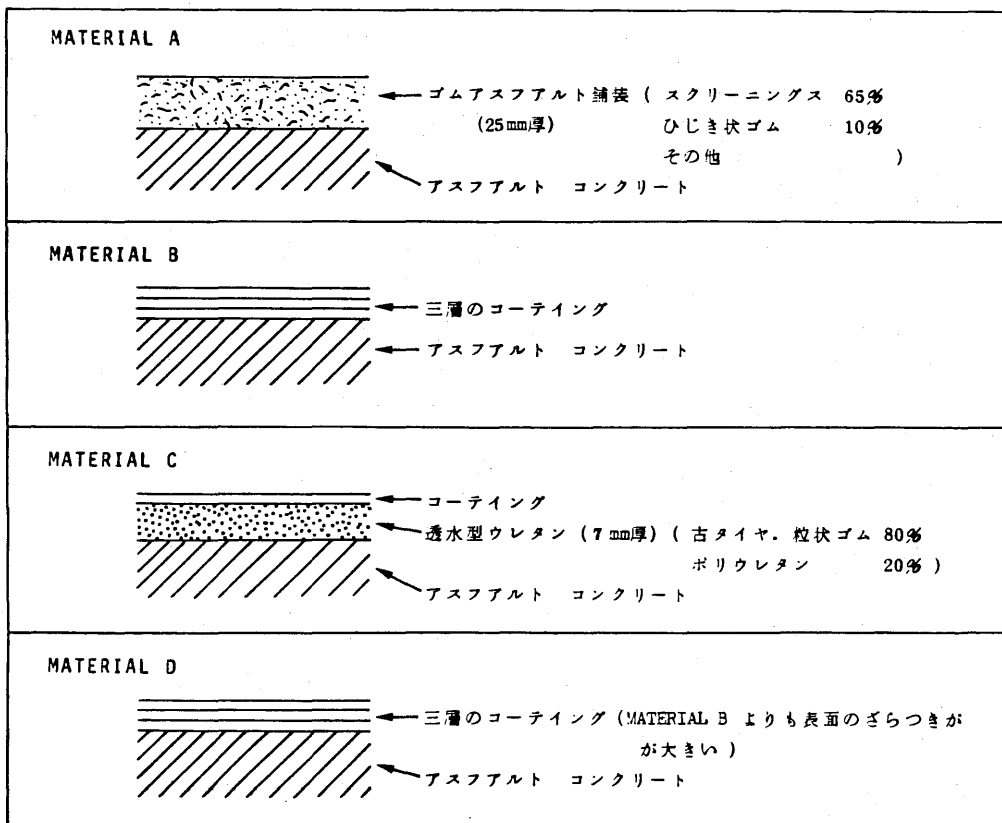


Fig. 1 Structures of surface of the materials using in this experiment.

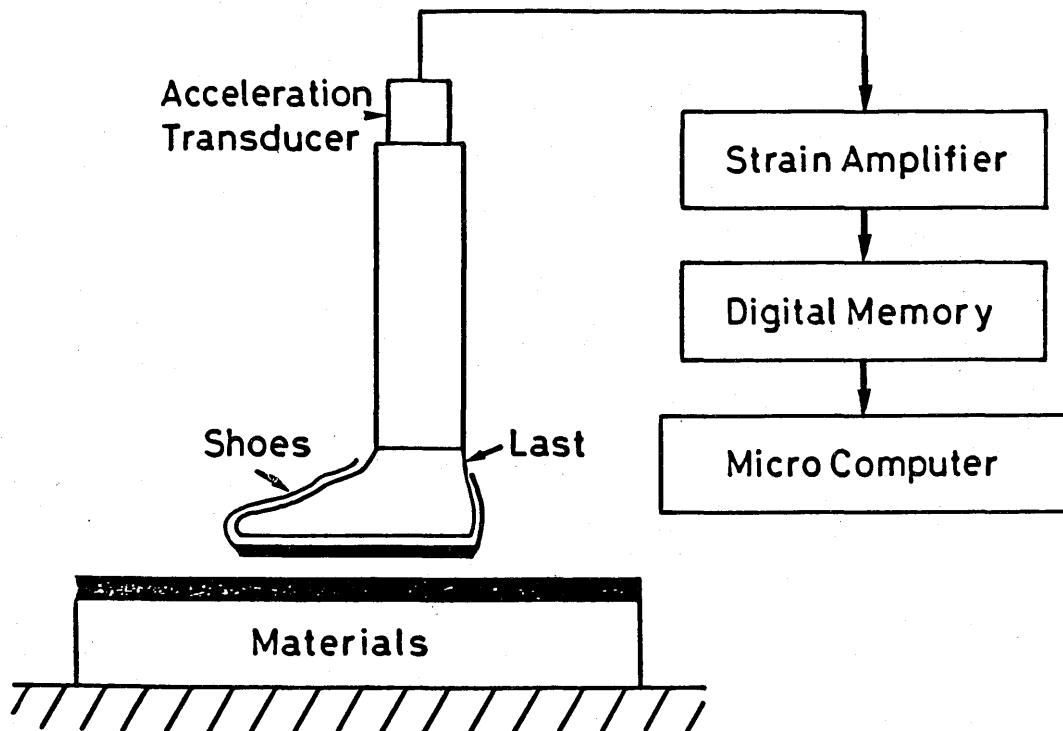


Fig. 2 Schematic representation of the experiment of collision.

製の足型 (Last) に鉄のシャフト (長さ 1 m, 直径 30 mm) をとりつけ, その上部に加速度計を固定したものを使用した。鉄のシャフトはガイドパイプを通し, 靴底と試材の面が平行に接触するように設定して, 5.0 cm の高さから試材に落とし, 足型のみと, 足型に靴 (アシックス社製, ローンスリップライト 26.5 cm) を装着したものが衝撃した時の衝撃加速度を検出した。

試材と靴底との落下距離は, 現実の条件に合致するように設定すべきであるが, テニスプレー中の身体重心の速度は明らかではない。そこで, 普通の疾走状態での重心の垂直方向の速度が約 1 m/s であることから, 実験においても衝突直前の靴底の速度が 1 m/s になるように落下距離を 5.0 cm に設定した。

加速度計の信号は, ストレインアンプにより増幅し, A/D 変換してデジタルメモリーに取り込んだ後, マイクロコンピュータに転送した。

### 3. 摩擦特性に関する実験

実験装置の模式図を Fig-3 に示す。実験はテニスシューズに 10~50 kg の重量を負荷し, それをロードセルを介したワイヤーロープによって索引し, その時の張力をロードセルにより検出した。検出された信号は, ストレインアンプにより増幅し, A/D 変換してデジタルメモリーに取込んだ後, マイクロコンピュータに転送した。

実験は, 前述の 4 種類の試材について, 以下の条件を設定して行った。

- 1) 試材の表面は乾いており, テニスシューズは, 底面の摩耗が少ない場合
- 2) 試材の表面は濡れており, テニスシューズは, 底面の摩耗が激しい場合
- 3) 試材の表面は乾いており, テニスシューズは, 底面の摩耗が激しい場合
- 4) 試材の表面は濡れており, テニスシューズは, 底面の摩耗が少ない場合

試材の表面の濡れ具合については, 正確な条件設定が難しいが, 本実験においては, 試材を一

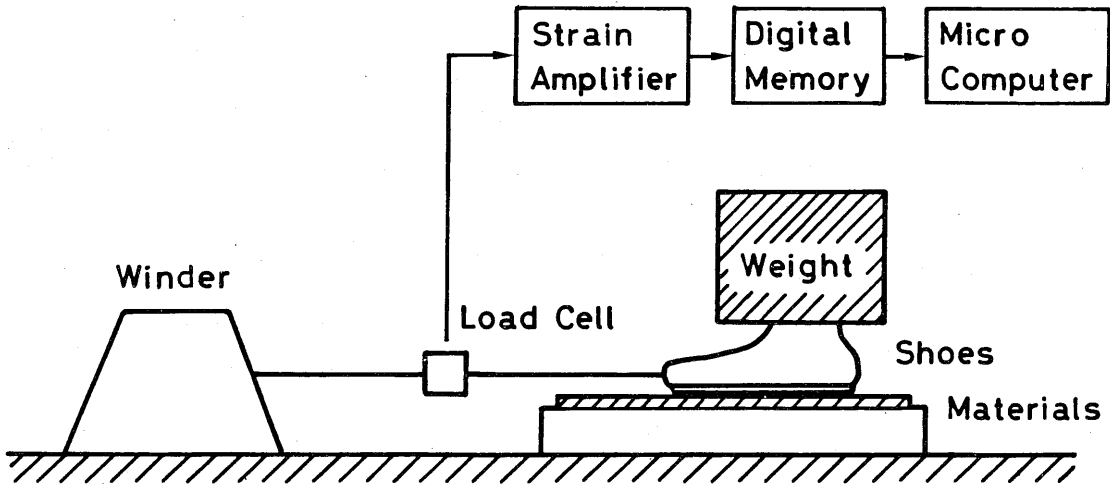


Fig. 3 Schematic representation of the experiment of friction.

且、充分に水に濡らした後、表面の余分な水分をぬぐった状態に設定した。

また、摩耗の激しいテニスシューズには、底面溝パターンの全く消えた面積が靴底全体の約40%にわたるものを用い、摩耗の少ないテニスシューズには、溝のパターンが全面にある新品同様の靴を用いた。

### III 結果および考察

#### 1. 衝撃特性

4種類の試材での衝撃加速度波形をFig-4に、接触時間、加速度の最大値をTable-1に示す。

木製のラストが直接に試材に衝突した場合の加速度の波形は、テニスシューズを装着した場合に比べ、著しく立ち上りの鋭い、ピーク値の大きな波形となっている。しかし、試材Cにおいては、他の波形に比べ、いく分立ち上がりがなめらかになり、ピーク値も $465 \text{ m/s}^2$ と減少している。これは試材B、Dが固いアスファルトコンクリート上に3層のコーティングのみをほどこしてあることや試材Aが少量のゴム細片を混合したアスファルトコンクリート上に厚さ7mmのウレタンゴムを主体とした弾性体をはってあるため、その弾性体の特徴があらわれ、ピーク値が減少したものと考えられる。

ラストにテニスシューズを装着した場合の加速

度の波形は、非常になめらかで、ピーク値は、ラストの場合の $\frac{1}{4}$ 以下の $200 \text{ m/s}^2$ 程度の似かよった波形となった。これは、衝突時にラストと試材の間に直列に挿入されたテニスシューズの底面が衝撃を緩衝し、その底面の弾性特性が波形を特徴づけているためと考えられる。ラストが直接に衝突した場合、試材AとCにおいて最大加速度は $401.6 \text{ m/s}^2$ もの違いがあるにもかかわらずテニスシューズを装着した場合、 $4.2 \text{ m/s}^2$ の相違しかみられない。

小林・菅原<sup>4)</sup>によれば、比較的軽い運動での運動者にとって適した加速度の範囲は $10 \sim 20 \text{ g}$  (gは重力加速度)にあることから、このテニスシューズを装着した場合の $200 \text{ m/s}^2$ の加速度は、テニスにおいても運動に無理のない大きさに収まっていると言えよう。

以上の結果から、テニスコートにおけるプレー中のコートから身体に加わる衝撃は、テニスコートの特性よりも、テニスシューズの特性によって、運動に無理のない大きさに緩衝されていると考えられる事ができる。

#### 2. 摩擦特性の負荷重量による変化

負荷重量を増加していった場合のロードセルの波形の一例をFig-5に示す。負荷重量の増加に伴い、牽引力 (Traction Force) も増加する傾向がみられた。

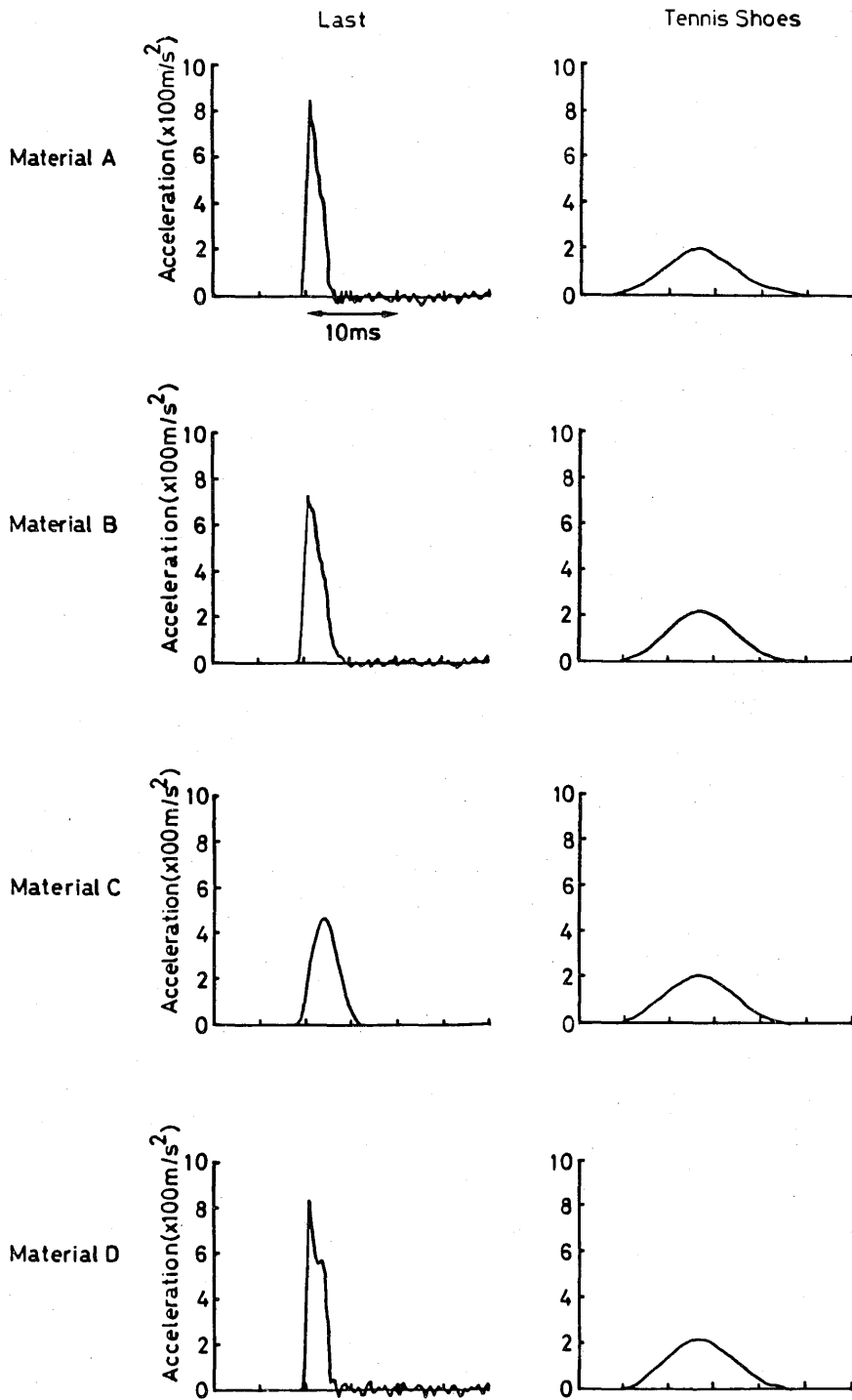


Fig. 4 Acceleration curves of the last at the collision with the test materials of tennis court in two cases of experiment, the collision with the last directly and the one worned tennis shoes.

Table 1 Maximum acceleration and contact time measured from the experiment of collision.

	MAX ACCELERATION (m/s <sup>2</sup> )		CONTACT TIME (ms)	
	LAST	TENNIS SHOES	LAST	TENNIS SHOES
MATERIAL A	867.4	200.2	3.18	20.0
MATERIAL B	711.4	217.1	4.00	18.5
MATERIAL C	465.8	204.4	6.65	19.0
MATERIAL D	815.7	215.5	3.60	17.0

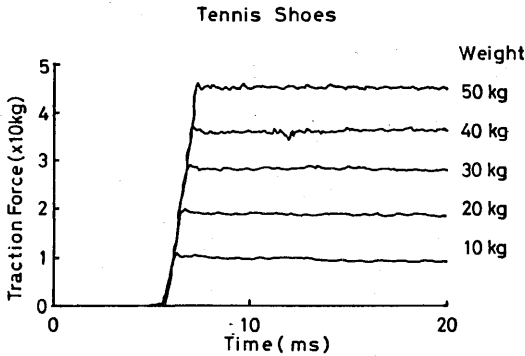


Fig. 5 An example of traction force in the experiment of friction with various virtual load, from 10 Kg to 50 Kg.

ここで、牽引力の最大値 (Fmax) と、牽引期間の後半10秒間の牽引力の平均値 (Fmean) を求め、以下の式により 2 つの摩擦係数を算出した。

$$\text{最大静止摩擦係数 (Coefficient of Static Friction)} = F_{\text{max}}/N$$

$$\text{動摩擦係数 (Coefficient of Kinetic Friction)} = F_{\text{mean}}/N$$

N : 負荷重量

本実験の結果から、試材、表面の状態が一定である場合、負荷重量の増加にかかわらず静・動摩擦係数は大きく変動しない傾向がみられた。

負荷重量を変化させて得られた摩擦係数を平均したものを、平均摩擦係数 ( $\bar{X}$ ) として標準偏差 (S · D) とともに Table-2 に示した。

この Table から、各摩擦係数の標準偏差は、全条件において、最大のものでも 0.053 であることから、負荷重量による摩擦係数の変動が少ないと言える。

プラスチックの摩擦は、一般にクーロンの法則に従わないとされているが、<sup>1)</sup> 本実験における荷重変化、すべり速度の範囲では、試材とテニスシューズ間の摩擦力は、近似的にクーロンの法則に従っていると考えることができる。

### 3. 摩擦特性のシューズの摩耗度による変化

靴底の摩耗の少ないシューズ (Fresh Shoes) と、摩耗の激しいシューズ (Tired Shoes) による摩擦係数の違いを、試材の条件 (Dry, Wet) に分けて棒グラフに表わしたものを Fig-6 に示す。

試材が乾いている状態 (Dry Surface) において、試材 D が最も大きな摩擦係数を示した。また、全試材において、摩耗の少ないシューズが摩耗の激しいものよりも大きな摩擦係数を示した。この結果は、靴底の摩耗したシューズは滑りやすいという一般的印象とも合致するものである。

しかし、試材が濡れた状態 (Wet Surface) においては、摩耗の少ないシューズが必ずしも大きい摩擦係数を示すわけではなく、試材 B, C, D においては、逆に摩擦係数がやや小さくなる傾向がみられた。また、試材 B は、静、動摩擦係数の差が、摩耗の激しいシューズで 0.094、摩耗の少ないもので 0.122 と大きかった。

### 4. 摩擦特性の試材表面の濡れによる変化

試材表面の、乾いている状態と濡れている状態 (Dry, Wet) による摩擦係数の違いを、摩耗の少ないシューズ (Fresh Shoes) と摩耗の激しいシューズ (Tired Shoes) とに分けて棒グラフに表わしたものを Fig-7 に示す。

摩耗したシューズでの場合、試材面が濡れると摩擦係数の大きくなるものに、試材 B, C, D の静摩擦係数、小さくなるものに試材 A と B の動摩擦係数があった。

特に試材 C においては、表面が濡れることによ

Table 2 Coefficients of friction measured from the experiment of friction.

Material		Tired Shoes				Fresh Shoes				
		A	B	C	D	A	B	C	D	
Dry Surface	Coefficient of Static Friction	$\bar{X}$	0.860	0.832	0.821	0.919	0.894	0.845	0.843	0.968
	S. D.		0.046	0.032	0.031	0.031	0.029	0.013	0.012	0.018
Dry Surface	Coefficient of Kinetic Friction	$\bar{X}$	0.814	0.785	0.760	0.873	0.832	0.811	0.815	0.872
	S. D.		0.036	0.019	0.023	0.017	0.025	0.003	0.013	0.017
Wet Surface	Coefficient of Static Friction	$\bar{X}$	0.784	0.851	0.940	0.948	0.846	0.856	0.915	0.918
	S. D.		0.011	0.010	0.023	0.017	0.033	0.053	0.009	0.049
Wet Surface	Coefficient of Kinetic Friction	$\bar{X}$	0.717	0.757	0.889	0.896	0.778	0.734	0.886	0.869
	S. D.		0.014	0.009	0.012	0.037	0.021	0.034	0.011	0.027

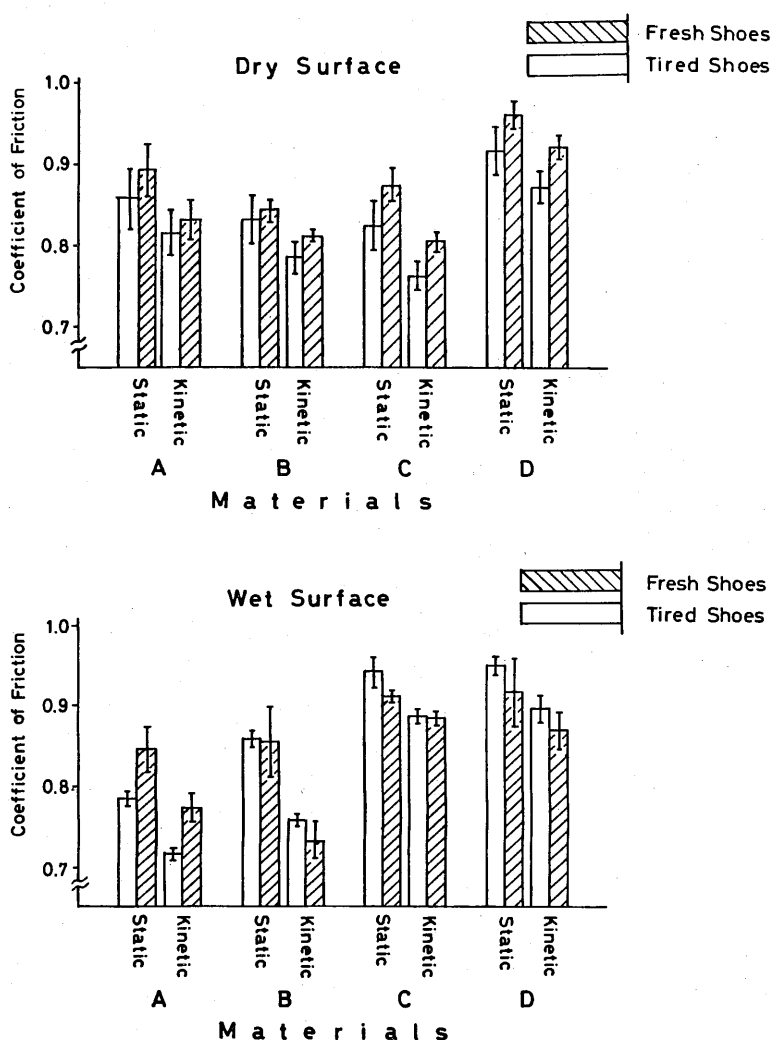


Fig. 6 Changes in coefficient of static and kinetic friction according to the sole condition of tennis shoes (fresh and tired shoes)

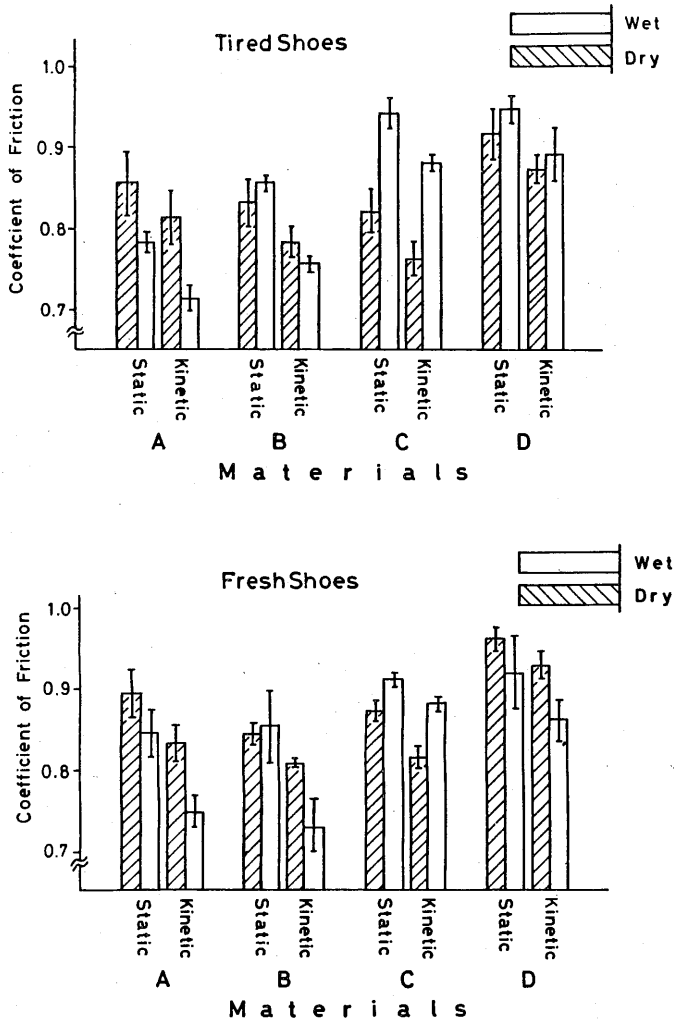


Fig. 7 Changes in coefficient of static and kinetic friction according to the surface condition of materials (dry and wet surface).

る摩擦係数の上昇が大きく、静摩擦係数において0.119の増加、動摩擦係数において0.129の増加を示した。

一般には、表面が濡れた場合、摩擦係数は小さくなり滑りやすくなると考えられているが、本実験においては、正反対の結果も得られている。しかし、久内、小林<sup>2)</sup>は、タータントラックとコールテン、牛革の摩擦実験において、濡れた場合の静止摩擦係数の方が大きくなるという結果を報告しており、試材Cの表面がタータンと類似のゴムを主体とした透水型ウレタンであることが関係して

いるのではないかと考えられる。

摩耗の少ないシューズにおいては、表面が濡れることによる変化は、ほぼ摩耗の激しいシューズの場合と同様であるが、係数の差は縮まる傾向にあった。また、試材Dの場合では、摩耗の激しいシューズにおいては、濡れることにより摩擦が大きくなったが、摩耗の少ないシューズにおいては濡れることにより摩擦が小さくなる傾向がみられた。

以上のように、全天候型テニスコートといえども表面の濡れ具合によって摩擦係数は変化することがわかる。また、この他にも摩擦のすべり速度



依存性や温度依存性など、今後考慮すべき複雑な問題が関係していると考えられる。

#### IV 結 論

全天候型テニスコートの力学的特性を、テニスシューズとコート間に生ずる摩擦特性と衝撃特性との面から明らかにしようとした。

実験は、4種類のテニスコート舗装材を用い、表面の状態(乾燥している、濡れている)や靴底の状態(底面が激しく摩耗している、底面の摩耗が少ない)を変化させて、静・動摩擦係数、最大衝撃加速度を測定した。

結果を以下に要約する。

(1) 衝撃実験により、木製の足型を直接コート舗装材に落下した場合の最大衝撃加速度は、平均で $715.1 \text{ m/s}^2$ であるが、足型に靴を装着した場合には平均 $209.3 \text{ m/s}^2$ となり、身体にかかる衝撃は、コートのもつ緩衝特性よりも、靴による緩衝特性が大きい影響をもつことが明らかになった。

(2) 摩擦実験において、負荷を $10 \sim 50 \text{ kg}$ まで変化した時の静・動摩擦係数は、すべての条件において変動が少なく(標準偏差の最大値 $0.053$ )、このことから、摩擦力は、実験の範囲においてクーロンの法則に従うと考えられた。

(3) 舗装材が乾いている状態において、摩耗の少ないシューズが摩耗の激しいシューズに比べ大きな摩擦係数を示したが、舗装材が濡れた状態においては、必ずしも摩耗の少ないシューズが大きい摩擦係数を示すとは限らなかった。

(4) 一般に、表面が濡れた場合、乾いた場合に比べ摩擦係数が低下すると考えられるが、本実験においては、舗装材の種類によっては、摩擦係数が増加するものもあり、透水型ウレタンを使った舗装材では、表面が濡れることにより、静摩擦係数で $0.119$ 、動摩擦係数で $0.129$ もの増加がみられた。

#### 引 用 文 献

- 1) F. P. ボーデン, D. ティバー著  
原 康夫訳: 摩擦の話. 河出書房新社, 1974.
- 2) 久内 武, 小林一敏: タータントラックおよび競技シューズの力学的考察. 順天堂大学保健体育紀要 第12号, 1969.
- 3) 小林一敏ほか4名: 全天候型走路用シューズの力学的考察. 順天堂大学保健体育紀要 第15号, 1972.
- 4) 小林一敏, 菅原秀二: 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, 1975.