

# テニスストリングスの剛体との反発挙動の測定

鮑 力民\*, 高寺 政行\*\*, 飯田 一\*, 篠原 昭  
信州大学繊維学部 機能機械学科(\*) 感性工学科(\*\*)

## 1. 緒言

スポーツ用品や楽器には、モノフィラメント繊維あるいは合撚糸された繊維からなるストリングの反発挙動を利用したものが広く見られる。テニスやバドミントンラケットのストリングス、釣り糸、弦楽器の弦などがその例である。しかし、ストリングスの物性と反発挙動の関係についての十分な検討はなされていない<sup>1-2)</sup>。

一方、繊維材料の衝撃挙動に関する研究はいくつか見られる<sup>3-4)</sup>。これらの研究は、主として防弾服を対象とする弾丸の速度領域のもので、ストリングとボール等の衝撃速度とはかなりの差があり、メカニズムは異なるものと考えられる。

本研究では、ストリングスの反発性能と材料の力学特性との関係を明らかにするために、その反発挙動を測定する装置を提案し、測定への影響要素を検討した。この装置を利用して、市販テニスストリングスについて、その反発挙動の測定を行い、力学モデルとの比較検討を行った。

## 2. 測定理論

図 1 に示したように両端を固定した試料ストリングのスペンを  $L$ 、初期張力を  $F_0$  とする。ストリングの粘弾性特性を、弾性を表すスプリングと、粘性を表すダッシュポットを並列した Voigt モデルで表現し、ハンマがストリングの中心にストリングと垂直に衝突する場合を考える。ストリングは縦弾性係数  $E$ 、断面積  $A$ 、伸び粘性率  $\lambda$  を有し、ハンマの質量は  $m$  とすると、ストリングスの運動方程式は

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + 2 \left\{ F_0 + 2EA \left( \frac{x}{L} \right)^2 + \frac{4\lambda Ax}{L^2} \cdot \frac{dx}{dt} \right\} \cdot \frac{2x}{L} = 0$$

になる。

この方程式を 4 次 Runge-Kutta 法により時間と変位、速度および加速度の関係が解析でき、ストリングの反発挙動が求められる。

ストリングの反発係数は  $e = v_1 / v_0$  として求められる。

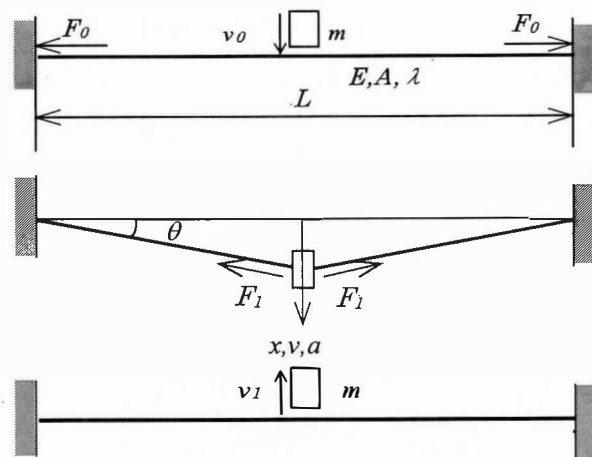


Fig. 1 Geometry of the impact test.

## 3. 実験

図 2 に示したストリングスの初期張力と衝突速度を調節できる反発特性を測定装置が作製し、いくつかのサンプルを測定した。

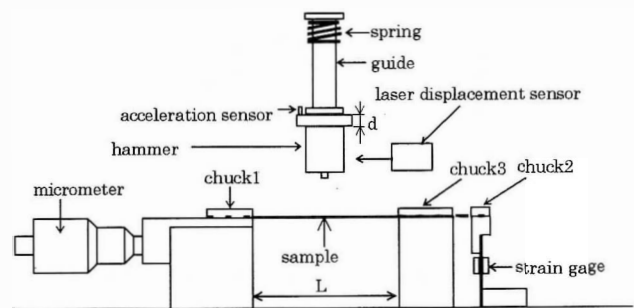


Fig. 2 Experimental Apparatus

試料には、表 1 に示す 4 種類の市販テニスストリングを用いた。Nylon1, Nylon2 および Nylon3

の材質はいずれもナイロンで、断面構造が異なる。Kevlar の材質はケブラーであり、断面構造は Nylon2 と同じである。

Table 1 Details of samples

Sample name	Yarn diameter(mm)	Material	Structure	Trade name
Nylon 1	1.30	Nylon	Mono-filament	OG-SHEEP 2700 (GOSEN)
Nylon 2	1.30	Nylon	Multi-filament	OG-SHEEP 6000 (GOSEN)
Nylon3	1.35	Nylon	Mono+ Multi-filament	OG-SHEEP 7000 (GOSEN)
Kevlar	1.10	Kevlar	Multi-filament	OG-SHEEP 5800 (GOSEN)

## 4. 結果と考察

### 4.1 実験におよぼす影響因子

ストリングスの反発測定に影響要素として、衝突するハンマの材質、チャック部の滑りなどを実験し、検討した。チャック部の滑りを低減する方法を提案し、確認した。

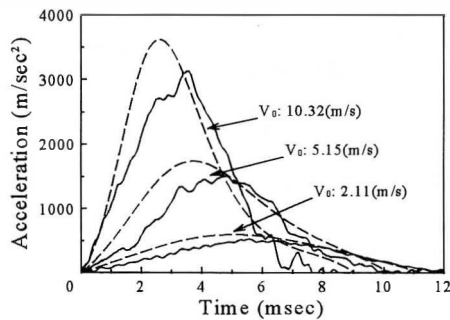


Fig. 3 Acceleration of system for Nylon1(initial tension: 156.8N); (—) experimental; (---) theoretical.

Acceleration of system for Nylon1(initial tension: 156.8N).

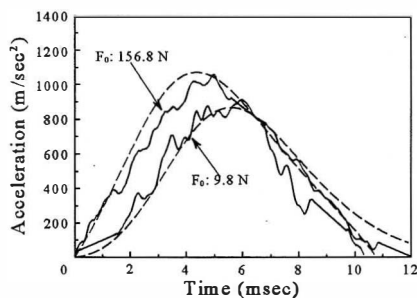


Fig. 4 Acceleration of system for Nylon1(velocity: 3.5m/s); (—) experimental; (---) theoretical.

### 4.2 反発実験結果

図 3.4 はハンマがストリングと衝突された際、ハンマにつけた加速度センサによるシステムの加速度と時間の関係である。衝突速度と初期張

力が大きくなるにしたがって、最大加速度は大きくなり、ハンマとストリングの接触時間は短くなる。

図 10 は各試料の初期張力 156.8N での衝突速度－反発係数の関係である。図 11 は衝突速度 3.5m/s で測定した初期張力－反発係数の関係である。いずれの試料においても、張力が大きくなるにしたがって反発係数は大きくなる。衝突速度の増加につれ反発係数は小さくなっていく。また、理論のシミュレーション結果と同じ傾向を示している。

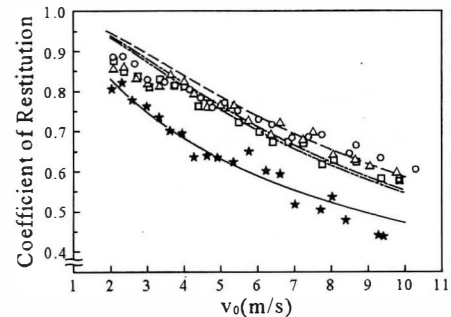


Fig. 5 Relationship between initial velocity and coefficient of restitution; experimental : (○)Nylon1, (△)Nylon2, (□)Nylon3, (☆)Kevlar;

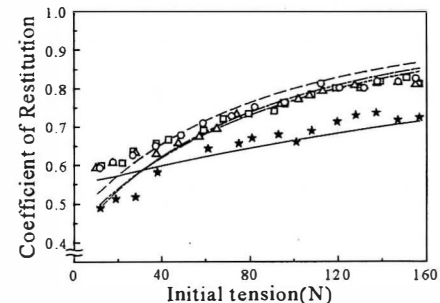


Fig. 6 Relationship between initial tension and coefficient of restitution for various samples; experimental : (○)Nylon1, (△)Nylon2, (□)Nylon3, (☆)Kevlar;

## 参考文献

1. 川副 嘉彦, 機論, 58-552, C, 2467(1992).
2. 神田 芳文, 高塚 正則, 機論, 62-598, C, 2164(1996).
3. Roylance, David, Wilde, Anthony, and Tocci, Gregory, *Text. Res. J.*, 43, 41(1973).
4. Isaias Sidney Chocron-Benloulou, J.Rodriguez and Vicente Sanchez-Galvez, *Text. Res. J.*, 67, 520(1997).