

# 国際公認バレーボールであるゴム製品の 破壊試験と品質保証

沢	勲	<i>Isao</i>	<i>SAWA</i>
黒田	進	<i>Susumu</i>	<i>KURODA</i>
故大森敏行		<i>Toshiyuki</i>	<i>OMORI</i>

Destruction Test and Quality of the Rubber Product Guaranteed  
for International Recognition with Volleyball

## ABSTRACT

In general, the calfskin and rubber products of the volleyball are widely used as a moving material in the game of volleyball. The rubber guaranteed (a stress-strain relation) in volleyballs of four big sports examined and analyzed on the basis of the Japanese Industrial Standard (JIS C 3004 and JIS K 6723). The mechanical properties for the rubber in volleyball have been measured by the tensile test. As a result, it is found that the relation in stress-strain can be numerically expressed by a hyperbola and a parabola equations which are based on the two parallel element Vigot model. Consequently, we found some differences in our measured test data for each analysis of Vigot model.

The relation in the mechanical properties, thickness, specific gravity, hardness and the spring constant with elastic modulus and adashpot with viscosity coefficient in a two parallel element Vigot model has been discussed for the evaluation on mechanical behavior. Additionally, a very useful method for the evaluation of mechanical properties has been developed.

**Key words:** stress-strain relation, Vigot model, elastic modulus, viscosity coefficient

[大阪経済法科大学論集 第77号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 77 (2000), pp. 1-30]

## 1 は じ め に

国際バレーボール連盟の公認球である日本の4大製品は、ミカサ（Mikasa）・モルテン（Molten）・ミズノ（Mizuno）およびタチカラ（Tachikara）である。国際バレーボール連盟規則の付則の5によれば、ボールの特性は、「ボールの形は、球状であり、ゴムまたは類似の物質で作られた中袋を、柔軟な外ゴムで覆ったものでなければならない」である。また、円周は65～67cm、重量は260～280gおよび内気圧は $0.40\sim 0.45\text{kg/cm}^2$ であると規定している。

このゴム製品に対しては、厚さ・比重・硬さおよび引張試験を行った。厚さの試験では、外側の革製品の平均値は、内側のゴム製品の約2.78倍で厚いのである。比重の試験では、外側革製品の平均値は、内側ゴム製品の約0.70倍である。硬さの試験では、外側革製品の平均値は、内側ゴム製品の約1.024倍のほぼ同様である。硬さと比重との相関関係において、一定の相関関係の法則性を導き、実験式によって回帰係数（硬さ $=30.49+49.08$ 比重）を決定した。

次に、引張試験時における荷重を加えた時に、応力の最終切断時の値を引張強さという<sup>1)</sup>。引張強さの値は、ミカサ（皮：2.10、ゴム：1.10）・モルテン（皮：1.75、ゴム：0.56）・ミズノ（皮：2.32、ゴム：0.86）およびタチカラ（皮：2.01、ゴム：0.82）であり、平均値は皮2.05とゴム0.84（ $\text{kg/mm}^2$ ）である。したがって、皮材では、ミズノは強く、モルテンはわずかに弱い値であり、その中間はミカサとタチカラ製品である。一方、ゴムでは、ミカサは強く、モルテンはわずかに弱い値であり、その中間はミズノとタチカラ製品である。モルテンにおける皮とゴム製の引張強さは、両者とも4大メーカーの中で小さい値である。引張試験時における荷重を加えた時に、ひずみの最終切断時の値を伸びという。伸び（%）の値は、ミカサ（皮：26、ゴム：812）・モルテン（皮：52、ゴム：634）・ミズノ（皮：50、ゴム：455）およびタチカラ（皮：35、ゴム：368）であり、平均値は皮41とゴム567である。したがって、モルテンの皮材は強い値で、ミカサは弱い値で、その中間はミズノとタチカラ製品である。ミカサのゴムは強い値、タチカラは弱い値、その中間はモルテンとミズノ製品である。

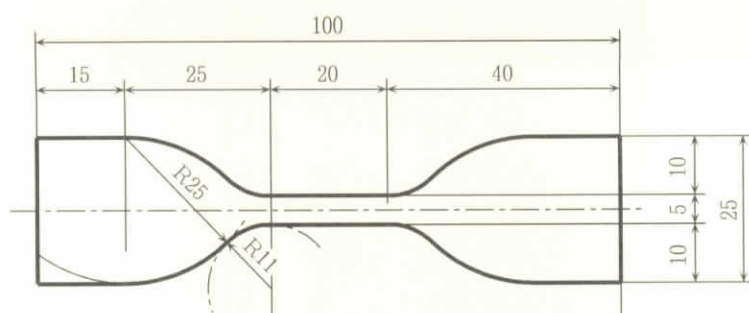
この応力と伸びの関係からダッシュポットのモデル<sup>2, 3)</sup>を引用した。さらに、双曲線方程式の解析モデル<sup>4)</sup>を考案した。その結果としては、世界公認バレーボールの4大製品における弾性率（皮： $k=1/17.24=0.058$ 、ゴム：0.0016）と粘性率（皮： $h=1/0.021=47.30$ 、ゴム：31.01）の平均値を求めた。さらに、各種のモデルを引用した回帰方程式により最小2乗法から回帰係数を計算した。その結果として、皮材における弾性率の平均値と標準偏差は、それぞれ0.058と0.019である。一方、ゴムにおける弾性率の平均値と標準偏差は、それぞれ0.0016と0.0006である。さらに、皮材粘性率における平均値と標準偏差は、それぞれ47.299と49.60およびゴム粘性率における平均値と標準偏差は、それぞれ31.01と19.95を決定した。また、応力とひずみから算出した弾性率と粘性率の逆数は本学総合体育館（尚淑館）にて測定したボールバウンド<sup>5)</sup>との関係において、一定の法則と相関性を導くことを可能にし、実験式によって証明した。この論文では、引張試験によってバレーボール破壊試験の応力やひずみの関係から製品の安全性や信頼性向上に品質保証の指針を与えられる可能性を導いた。同時に、力学的性能の諸特性から相関性の諸問題を明らかにした。日本のバレーボール製品を評価した報告は、大きな意義がある。

## 2 ゴム製品の測定方法と引張試験

### 2.1 試験片の準備と測定方法

#### (a) 試験片の製造工程と採集方法

この研究に用いたバレーボールの構造としての外側は、牛皮とゴムの接着部分からなり、内側は人工ゴムからなり、空気によって膨らましている。製品によっては、外側の皮と内側のゴムとが接着しているところもある。ボールができるまでの製造工程は、ゴムの原料から、①中袋シート押出し、②中袋成形作業、③中袋加硫、④糸巻作業、⑤カバー成形、⑥加硫作業、⑦第一次検査、⑧ゴム工程、⑨ゴムボール成形作業、⑩2次加硫、⑪最終検査および⑫包装作業の順である。この4大製品におけるゴムの各試験片数はそれぞれ5本で、計40本の採集を行ったのである。



**Fig.1** The Specimen of Dumb-bell Shap No.3 Unit used Tensile Testing Machine for the Calfskin Guaranteed in Volleyball (Unit:mm)

## （b） 測厚器の測定方法

測厚器の形状およびその精度は、JIS B 7503（0.01mm目盛ダイヤルゲージ）の2級である。測厚器の加圧力は80gf {0.8}で行ったのである。測定範囲は±15%以内である。

## （c） 抜打型と断面積の計算方法

抜打型は、JIS K 6301（加硫ゴム物理試験方法）のダンベル状3号を用いたFig. 1のとおりである<sup>6)</sup>。試験片の幅は、試験片の中心から両側にそれぞれ10mmの長さである。標線をつける標線間距離は20±1 mmである。標線内における幅は約5 mmであり、厚さはダイヤルゲージにより数カ所を測定した。この幅と厚さによって断面積A（mm<sup>2</sup>）を算出した。

$$A = T * W \dots\dots\dots(1)$$

ここで、Tは厚さの最低値（mm）とWは試験片の幅（mm）である。測定値は試験片が切断された時の応力および標線間の距離である。標線外で切断した時は、その数だけを再試験する。温度係数の補正は本試験での測定温度は22

℃であるが、25℃での温度係数を1.00に換算して行った。

#### （d） 比重の測定方法

比重の測定機はミラージュ製の高精度電子比重計ED-120Tである。測定には、空中および水中において測定物重量の平均値をとる方法を用いた。測定時には、水温設定・比重溶液の比重値設定は自動的に補正ができる仕組みである。測定時間は約60秒である。

#### （e） 硬さの試験方法

硬さの試験機は、TOGOSHI精機製である。硬さの試験値は、平板の上に試料を置き、試料の上層部に対して5カ所測定したデータを平均した値である。

### 2.2 引張試験の方法<sup>8)</sup>

#### （a） 応力の算出方法

試験の条件における測定温度は室温で行い、21℃から22℃までの範囲で行った。また、試料片はダンベル状にしてから室温中に1時間以上も放置しておいた。引張速さは約200mm/minとした。試験片は測定中にゆがみ、その他の不都合を生じないように、正しくかつ確実にチャックに取付を行った。引張試験機の種類は、昭和機器制作所のSSP-1型ショッパ型引張試験機である。測定時には、5秒おきに応力とひずみとの測定を同時に行った。

応力（Stress）とは、岩波理化学辞典によれば、「物体の内部に考えた任意の単位面積を通してその両側の物体部分が互いに相手に及ぼす力を、その面に関する応力という」である。破壊力学では、破壊がはじまり、終了時の値を引張強さという。応力（ $\sigma$ ）の計算は、次の式により単位面積あたりに換算してから求めた。

$$\sigma = P/A \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $\sigma$ は応力（kg/mm<sup>2</sup>）、Pは切断時における荷重（kg）およびAは



試料片の断面積（ $\text{mm}^2$ ）である。応力データの決定は、5本の試料片から算術平均値をもって行った。試験温度に対する補正は、 $25^\circ\text{C}$ を1.00に換算してデータ処理を行った。

### （b） ひずみの算出方法

ひずみ（Strain）とは、岩波理化学辞典によれば、「物体に外圧を加えたとき現れる形状や体積の変化をいう。歪みとも書き、変形ともよばれる」である。ここでは、引張試験機の荷重によって切断されるひずみの終了時の値を伸びとする。ひずみ（ $\epsilon$ ）の計算は、切断時における標線間の長さを測定し、次式により計算を行った。

$$\epsilon = (L_2 - L_1 / L_1) * 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\epsilon$ はひずみ（%）、 $L_2$ は切断時における標線間距離（mm）および $L_1$ は初期荷重時における標線間距離（mm）である。応力時における最初の標線間距離は20mmである。ひずみに関するデータの決定は、5本の試料片から算術平均値をもって行った。試験温度に対する補正は、 $25^\circ\text{C}$ を1.00に換算してデータ処理を行った。

## 3 測定結果

### 3.1 厚さの測定結果

この外部のゴム製品と内部のゴム製品に対する厚さ（Thickness）を測定したのが、Table 1の上段部である。皮材製品の厚さでは、タチカラ（1.63mm）がわずかに薄く、モルテン（2.01mm）はわずかに厚い値であり、その差は0.38mmである。その中間にミカサとミズノ製が存在している。一方、ゴム製品の厚さでは、タチカラ（0.50mm）がわずかに薄く、モルテン（1.02mm）はわずかに厚い値であり、その差は0.52mmである。その中間にミカサとミズノ製が存在している。これは、共に共通している。このバレーボールの全製品に

**Table 1** Comparing the Thickness, Specific Gravity and Hardness for the Rubber Guaranteed in Volleyball

Name		Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD	VAR
Thickness (mm)	Calfskin	1.900	2.010	1.740	1.630	1.820	0.146	0.021
	Rubber	0.540	1.020	0.560	0.500	0.655	0.212	0.045
Specific G (SG)	Calfskin	0.775	0.720	0.758	0.740	0.748	0.020	0.000
	Rubber	1.077	1.052	1.080	1.087	1.074	0.013	0.000
Hardness	Calfskin	84.000	77.900	81.900	81.000	81.200	2.194	4.815
	Rubber	82.900	81.800	83.400	84.400	83.125	0.936	0.877
Ratio (H/SG)	Calfskin	108.387	108.194	108.047	109.459	108.522	0.554	0.307
	Rubber	76.973	77.757	77.222	77.645	77.399	0.317	0.100

対する平均値（Average）、標準偏差（Standard Deviation）および分散（Variance）は、それぞれ（皮材：1.820とゴム0.66mm）、（皮材：0.146とゴム0.212mm）および（皮材：0.021、ゴム：0.045mm）である。皮製品の厚さは、全体としてゴム製品の2.78倍である。

### 3.2 比重の測定結果

バレーボールの国際公認は、ミカサ・モルテン・ミズノおよびタチカラの4大メーカーである。この外部のゴム製品と内部のゴム製品に対する比重（Specific Gravity）を測定したのが、**Table 1** の中段部である。皮材とゴム製品の比重では、モルテン（皮材：0.720とゴム：1.052）が最小値であり、ミカサ（皮材：0.775とゴム：1.077）は最大値である。その中間に皮材はタチカラとミズノ製が存在している。このバレーボールのゴム製品に対する平均値・標準偏差および分散は、それぞれ1.074・0.013およびゼロである。ゴム製品の比重は、全体としてゴム製品の1.44倍である。

### 3.3 硬さの試験結果

この外部のゴム製品と内部のゴム製品に対する硬さ（Hardness）を測定したのが、**Table 1** の下段部である。皮材とゴム製品の硬さでは、モルテン（皮

**Table 2** Typical Stress  $\sigma$  (kg/mm<sup>2</sup>) for Pulling Time  $t$  (sec) of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

Time (sec)	Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD	VAR
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.05	0.03	0.06	0.08	0.06	0.02	0.00
10	0.09	0.06	0.13	0.15	0.11	0.04	0.00
15	0.14	0.10	0.19	0.23	0.17	0.06	0.00
20	0.19	0.13	0.26	0.31	0.22	0.08	0.01
25	0.24	0.16	0.32	0.38	0.28	0.10	0.01
30	0.28	0.19	0.38	0.46	0.33	0.12	0.01
35	0.33	0.23	0.45	0.54	0.39	0.14	0.02
40	0.38	0.26	0.51	0.61	0.44	0.15	0.02
45	0.42	0.29	0.58	0.69	0.50	0.18	0.03
50	0.47	0.32	0.64	0.77	0.55	0.20	0.04
55	0.52	0.36	0.70				
60	0.56	0.39	0.77				
65	0.61	0.42	0.83				
70	0.66	0.45					
75	0.71	0.49					
80	0.75	0.52					
85	0.80	0.55					
90	0.85						
95	0.89						
100	0.94						
105	0.99						
110	1.03						
115	1.08						
at Break	1.10	0.56	0.86	0.82			

材：77.9とゴム：81.8）が最小値であり、ミカサ（皮：84.0）とタチカラ（ゴム：84.4）は最大値であり、その中間に皮材はタチカラとミズノ製が存在している。この平均値、標準偏差および分散は、それぞれ（皮材：81.2とゴム：83.13）、（皮材：2.194とゴム：0.936）および（皮材：4.815とゴム：0.877）である。ゴム製品の硬さは、皮製品の約1.023倍である。ここで、ゴム製品における比（硬さ／比重）の関係を考察した。その結果、タチカラは109.5で大きく、ミズノは108.0で小さく、また、ミカサ（108.4）とモルテン（108.2）はそ



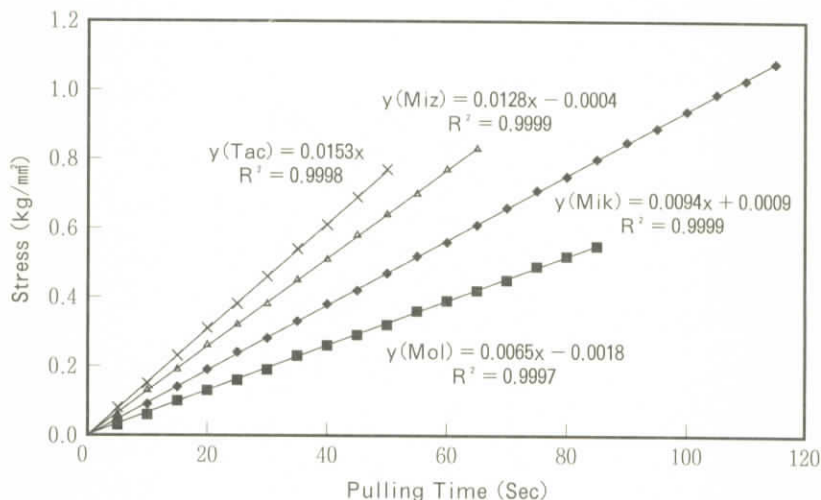


Fig.2 Relation between Stress and Pulling Time  $t$  of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

の中間でわずかな相違が見られた。全平均は108.5である。ゴムと比較すれば、かなりの相違が見られたのである。

### 3.4 測定時間に対する応力との関係

各社のゴム製品に対する応力を測定したデータは、Table 2のとおりである。

Table 2 は各メーカーに対して、測定時間を5秒おきにした応力のデータである。すなわち、平均値 (kg/mm<sup>2</sup>) および標準偏差 (kg/mm<sup>2</sup>) は、5秒では0.06と0.02、10秒では0.11と0.04、15秒では0.17と0.06、20秒では0.22と0.08、25秒では0.28と0.10、30秒では0.33と0.12、35秒では0.39と0.14、40秒では0.44と0.15、45秒では0.50と0.18、50秒では0.55と0.20である。各種のモデルに対して整合性を与えるために、測定時間5秒おきに測定した。Table 2のデータに対して「 $\sigma-t$ 」モデル化し、Fig. 2のように応力 ( $\sigma$ ) と時間 ( $t$ ) との関係を表示した。これらの関係は回帰方程式の最小2乗法によってデータ処理を行った。その結果、一般式と各製品との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次

式のとおりである。

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = a_1 + a_2 t \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Marker)} \cdots (4)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0009 + 0.0094t \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Mikasa)} \cdots (5)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = -0.0018 + 0.0065t \cdots (R^2=0.9997) \cdots \text{(for Molten)} \cdots (6)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = -0.0004 + 0.0128t \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Mizuno)} \cdots (7)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0153t \cdots (R^2=0.9998) \cdots \text{(for Tachikara)} \cdots (8)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.011t \cdots (R^2=0.9998) \cdots \text{(for Average)} \cdots (9)$$

ここで、 $a_1$ は切片であり、 $a_2$ は勾配または回帰係数である。測定時間に対して早くストレスされる製品またはゆっくりストレスされる製品は、回帰係数として、それぞれ最大値のタチカラが ( $a_2=0.0153$ )、最小値のモルテンが ( $a_2=0.0065$ ) である。その中間はミカサとミズノ製である。各製品における回帰方程式より求めた統計の全平均値をまとめた。まず、切片 $a_1$ の平均値と標準偏差はそれぞれ0.011と0.004である。次に、引張試験時における荷重を加えた時に、応力における最終切断時の値とした引張強さ ( $\text{kg/mm}^2$ ) は、それぞれミカサ (1.10)・モルテン (0.56)・ミズノ (0.86) およびタチカラ (0.82) である (Table 2)。したがって、ミカサは強く、モルテンはわずかに弱い値であり、その中間はミズノとタチカラ製品である。時間に対する応力との関係における相関性は、高い決定係数が実験データから確認したのである。

### 3.5 測定時間に対するひずみとの関係

各社のゴム製品に対するひずみを測定したデータの Table 3 は各メーカー製品について、測定時間を5秒おきにしたひずみのデータである。各データに対して「 $\xi$ - $t$ 」モデル化するため、Fig. 3のようにひずみ ( $\xi$ ) と時間 ( $t$ ) との関係を表示した。これらの関係は正規方程式の最小2乗法によってデータ処理を行った。その結果、一般式と各製品との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次式のとおりである。

**Table 3** Typical Strain  $\xi$  (%) for Pulling Time  $t$  (sec) of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

Time (sec)	Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD	VAR
0	0	0	0	0	0	0	0
5	36.5	32.5	31.5	35.5	34.0	2.4	5.7
10	65.5	65.0	68.8	67.0	66.6	1.7	2.9
15	102.0	108.0	102.0	104.0	104.0	2.8	8.0
20	138.0	141.0	136.0	139.0	138.5	2.1	4.3
25	175.0	174.0	170.0	174.0	173.3	2.2	4.9
30	205.0	208.0	204.0	209.0	206.5	2.4	5.7
35	240.0	253.0	238.0	243.0	243.5	6.7	44.3
40	274.0	289.0	272.0	278.0	278.3	7.6	57.6
45	308.0	325.0	306.0	313.0	313.0	8.5	72.7
50	342.0	361.0	340.0	348.0	347.8	9.5	89.6
55	377.0	397.0	374.0				
60	411.0	434.0	408.0				
65	445.0	470.0	442.0				
70	479.0	506.0					
75	514.0	542.0					
80	548.0	578.0					
85	582.0	614.0					
90	616.0						
95	651.0						
100	685.0						
105	719.0						
110	753.0						
115	788.0						
at Break	812.0	634.0	455.0	368.0			

$$\xi (\%) = b_1 + b_2 t \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots (\text{for Marker}) \cdots \cdots (10)$$

$$\xi (\%) = 0.3577 + 6.845t \cdots \cdots (R^2=1.0000) \cdots (\text{for Mikasa}) \cdots \cdots (11)$$

$$\xi (\%) = -5.1618 + 7.301t \cdots \cdots (R^2=0.9998) \cdots (\text{for Molten}) \cdots \cdots (12)$$

$$\xi (\%) = -0.5538 + 6.812t \cdots \cdots (R^2=1.0000) \cdots (\text{for Mizuno}) \cdots \cdots (13)$$

$$\xi (\%) = -0.6667 + 6.915t \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots (\text{for Tachikara}) \cdots \cdots (14)$$

$$\xi (\%) = -1.506 + 6.982t \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots (\text{for Average}) \cdots \cdots (15)$$

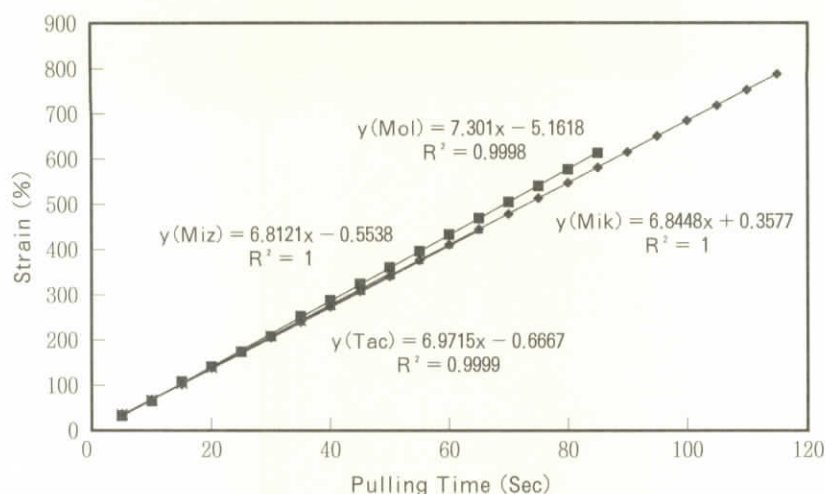


Fig.3 Relation between Strain and Pulling Time  $t$  of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

ここで、 $b_1$ は切片であり、 $b_2$ は勾配または回帰係数である。測定時間に対して早くひずむ製品として、モルテンとミズノの回帰係数は、それぞれ最大係数 $b_2=7.301$ と最小係数 $b_2=6.812$ である。その中間の回帰係数はミカサとタチカラの値である。各製品における全平均値として、まず、回帰係数 $b_2$ の平均値および標準偏差はそれぞれ6.982および0.223である。引張試験時における荷重を加えた時に、引き延ばされた最終切断時の値である伸び(%)は、ミカサ(812)・モルテン(634)・ミズノ(455)およびタチカラ(368)である(Table 3)。したがって、ミカサは強い伸び値であり、タチカラは弱い伸び値である。

### 3.6 測定時間に対する「ひずみ/応力」の比との関係

各社のゴム製品に対する「ひずみ/応力」の比と時間との関係(Fig. 4)は、Table 2とTable 3から算出されたデータである。Fig. 2とTable 3のデータに対して「 $(\xi/\sigma) - t$ 」モデル化し、「 $\xi/\sigma$ 」と時間( $t$ )との関係を表示した。これらの関係は正規方程式の最小2乗法によってデータ処理を行った。その結

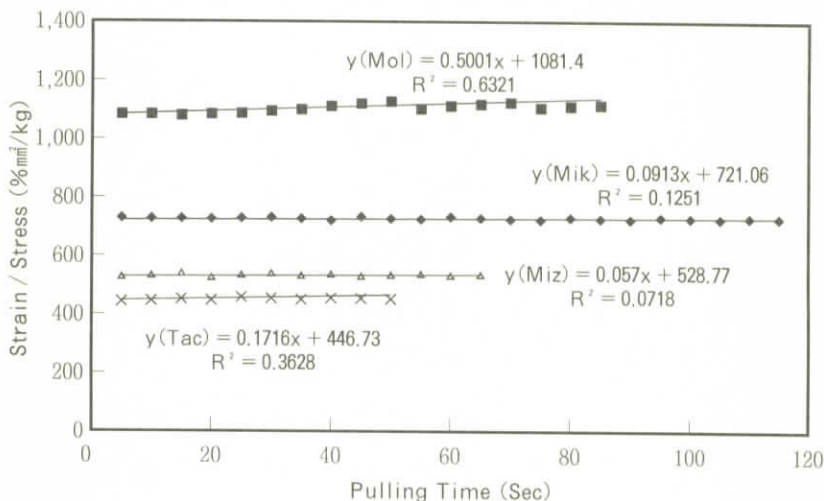


Fig.4 Relation between Strain/Stress and Pulling Time of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

果、一般式と各製品との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次式のとおりである。

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = c_1 + c_2 t \cdots (R^2=0.0000) \cdots (\text{for Makers}) \cdots (16)$$

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = 721.06 + 0.0913t \cdots (R^2=0.1251) \cdots (\text{for Molten}) \cdots (17)$$

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = 1081.40 + 0.5001t \cdots (R^2=0.6321) \cdots (\text{for Mizuno}) \cdots (18)$$

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = 528.77 + 0.0570t \cdots (R^2=0.0718) \cdots (\text{for Mikasa}) \cdots (19)$$

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = 446.73 + 0.1716t \cdots (R^2=0.3628) \cdots (\text{for Tachikara}) \cdots (20)$$

$$\xi/\sigma (\% \cdot \text{mm}^2/\text{kg}) = 694.49 + 0.205t \cdots (R^2=0.2980) \cdots (\text{for Average}) \cdots (21)$$

ここで、 $c_1$ は切片である。 $c_2$ は勾配・回帰係数である。ここでは、測定時間はひずみと正比例するために、切片は弾性率の逆数とし、回帰係数は粘性率の逆数とする。測定時間に対して大きくなる比（ひずみ／応力）の製品として、モルテンの回帰係数は ( $c_2=0.500$ ) であり、次に大きいのは、タチカラの回



帰係数 ( $c_2=0.172$ ) である。モルテンの約3割がタチカラの製品である。さらに、タチカラの約半分がミカサ ( $c_2=0.091$ ) である。一方、タチカラは小さい回帰係数であるが、ミズノはさらに小さい回帰係数である。他の製品とは異なった小さい特性が認められた。各製品における全平均値をまとめる。まず、弾性率逆数 ( $1/k=c_1$ ) の平均値と標準偏差は、それぞれ694.49と282.40である。弾性率 ( $k=1/c_1$ ) の平均値と標準偏差は、それぞれ0.002と0.001である。つぎに、粘性率逆数 ( $1/h=c_2$ ) の平均値および標準偏差は、それぞれ0.205と0.203である。また、粘性率 ( $h=1/c_2$ ) の平均値と標準偏差は、それぞれ9.082および6.730である。

## 4 検 討

### 4.1 硬さと比重との相関分析

比重と硬さは、Table 1 のとおりである。Table 1 における皮とゴム製品の比重では、モルテン（皮：0.720とゴム：1.052）が最小値であり、ゴムのタチカラ（1.087）は最大値である。ゴム製品比重の差は0.035である。その中間にミカサとミズノ製が存在している。このバレーボールのゴム製品に対する平均値および標準偏差は、それぞれ1.074と0.013である。ゴム製品の硬さでは、モルテン（77.9）が最小値で、ミカサ（84.0）は最大値である。その差は6.1である。その中間にタチカラとミズノ製が存在している。この硬さにおけるゴムの平均値と標準偏差は、それぞれ83.13と.936である。ここでは、（硬さ／比重）の比率を検討した。その結果として、モルテンは77.76で大きく、ミカサは76.94で小さい値である。その中間のデータは、タチカラとミズノである。したがって、平均値と標準偏差は、それぞれ77.399と0.317である。つぎに、硬さと比重との相関性を実験式によって確認した（Fig. 5の左部分）。その結果、硬さと比重との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次式のとおりである。

$$\text{皮製の硬さ} = 2.392 + 105.32 \text{ 比重} \cdots (R^2=0.9657) \cdots (22)$$

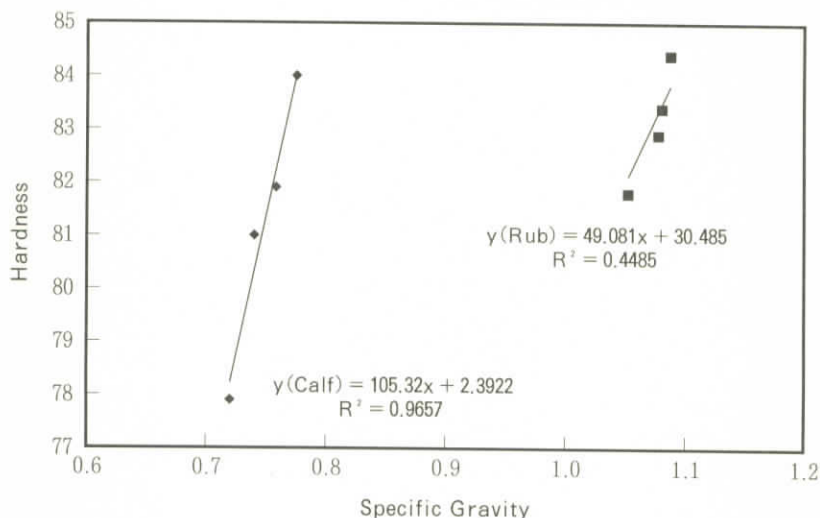


Fig.5 Relation between Specific Gravity and Hardness of the Rubber Guaranteed in Volleyball

$$\text{ゴムの硬さ} = 30.485 + 49.08 \text{ 比重} \cdots (R^2 = 0.4485) \cdots (23)$$

このような回帰係数によって一定の傾向と方向が確認され、同様の傾向がゴム製品に対してFig. 5の右部分にも認められたので表示した。ここで、皮製品の回帰係数は105で大きいのに、ゴムの回帰係数は皮製品の約半分である。それは弾性率の違いが大きいからである。一方、決定係数も約半分である。さらに、皮製品の硬さは大きく変化しているのに、ゴム製品では小さいバラツキである。したがって、この両製品から相違は明確に確認されたのである。

#### 4.2 応力とひずみから求めた弾性率の解析

応力とひずみとの関係において、初期の測定段階では、線形バネモデルにおける弾性率 $k$  (Elastic Modulus) は、次のように定義することができる。

$$k = \tan \theta = d\sigma / d\xi \cdots (24)$$

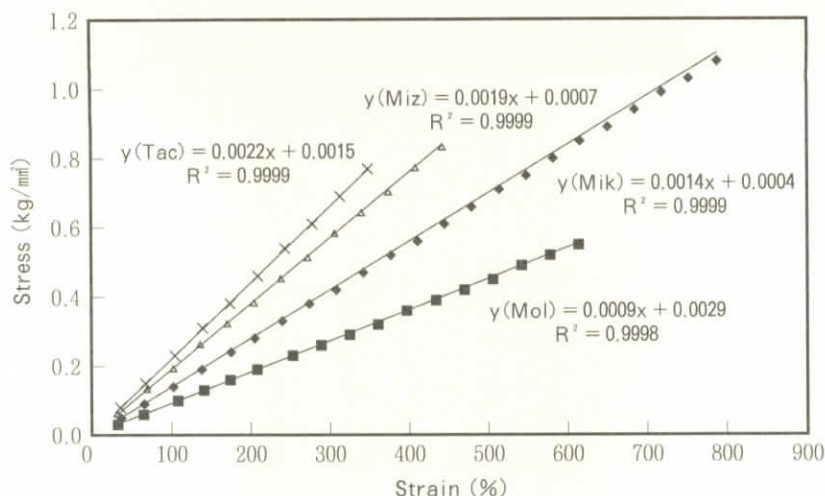


Fig.6 Relation between Stress and Strain of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

ここで、 $(d\sigma/d\xi)$  は測定 of 初期段階にひずみの応力関数である微分係数であり、また、 $\theta$  はひずみ横軸と応力の縦軸の関数として用いられる正接の角度である。実際において、「 $\sigma - \xi$ 」モデル化し、始点での応力関数の正接線は、始点近傍における同じポイントでの応力の値が実験的に求められる。それぞれの測定試験に対する正接線の推定式は、つぎようになる。

$$\sigma = d_1 + k (d_2) \xi \quad \dots\dots\dots(25)$$

ここで、切片 $d_1$ は2点線間にはさみとる縦軸の値であり、また、回帰係数 $k$ は線形モデルにおける弾性率またはバネ定数 ( $d_2$ とする) である。ここで、弾性率とは、理化学辞典によれば「弾性体の応力とひずみの比を表わす定数」という。各社のゴム製品に対する応力 (Table 2) とひずみ (Table 3) との関係は、Fig. 6 のとおりである。Fig. 6 のように応力 ( $\sigma$ ) とひずみ ( $\xi$ ) の関係を表示した。これらの関係を正規方程式の最小2乗法によってデータ処理を

行った。その結果、一般式と各製品との関係式および決定係数（ $R^2$ ）は、次式のとおりである。

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = d_1 + d_2 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Maker)} \cdots \cdots (26)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0004 + 0.0014 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Mikasa)} \cdots \cdots (27)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0029 + 0.0009 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9998) \cdots \text{(for Molten)} \cdots \cdots (28)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0007 + 0.0019 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Mizuno)} \cdots \cdots (29)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.0015 + 0.0022 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Tachikara)} \cdots \cdots (30)$$

$$\sigma \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0.001 + 0.002 \xi \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \text{(for Average)} \cdots \cdots (31)$$

ひずみのデータに対してTable 4から弾性率に関するデータをTable 5に表示したのが2行目である。弾性率が大きい製品はタチカラ（ $d_2=0.0022$ ）である。次に、大きい弾性率はミズノ（ $d_2=0.019$ ）である。モルテン（ $d_2=0.0009$ ）は最小値であり、その中間はミカサ製品である。各製品における全平均値が算出できる。まず、切片 $d_1$ の平均値および標準偏差はそれぞれ0.001および0.001である。つぎに、弾性率 $k$ である $d_2$ の平均値および標準偏差はそれぞれ0.002および0.001である。

#### 4.3 （ひずみ／応力）とひずみから弾性率と粘性率の解析

ひずみと応力に関する実験的なデータは非線形であり、しかも中くぼみである。バレーボールのゴム製品は引張試験によって元に戻れない特性がある。弾性体のひずみは、応力に比例するというフックの法則（Hooke's Law）がある。この法則は、応力が、ある大きさを超えない限り、すべての個体について成立する比例限界がある。すなわち、応力とひずみとの関係は、次式のように表示できる。

$$\sigma = k \xi \cdots \cdots (32)$$

ここで、定数の $k$ は、「弾性体の応力とひずみを表す定数および弾性率また

Table 4 The Statistical Analysis Values with the Elastic Modulus ( $k$ ) and the Viscosity Coefficient ( $h$ ) for the Rubber Guaranteed in Volleyball

Model	Factor	Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD	Ref.
$\sigma - t$	$a_1$	0.0009	-0.0018	-0.0004				
	$a_2$	0.0094	0.0065	0.0128	0.0153	0.011	0.004	
$\zeta - t$	$b_1$	0.3577	-5.1618	-0.5538	-0.6667	-1.506	2.480	
	$b_2$	6.8448	7.3010	6.8121	6.9715	6.982	0.223	
$(\zeta/\sigma) - t$	$c_1 = 1/k_1$	721.06440	1081.40000	528.77000	446.73000	694.491	282.403	Elastic Modulus
	$k = 1/c_1$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.002	0.001	
	$c_2 = 1/h$	0.0913	0.5001	0.0570	0.1716	0.205	0.203	Viscosity Coeff.
	$h = 1/c_2$	10.9553	1.9996	17.5439	5.8275	9.082	6.730	
$\sigma - \zeta$	$d_1$	0.0004	0.0029	0.0007	0.0015	0.001	0.001	
	$1/d_1$	2500.0000	344.8276	1428.5714	666.6667	1235.016	957.967	Elastic Modulus
	$k = d_2$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.002	0.001	
	$1/d_2 = 1/k$	714.2857	1111.1111	526.3158	454.5455	701.565	294.177	
$(\zeta/\sigma) - \zeta$	$\alpha e = 1/k$	721.0854	1081.7000	528.7700	446.7500	694.576	282.534	Elastic Modulus
	$k = 1/\alpha e$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.002	0.001	
	$\beta e = 1/h$	0.0133	0.0687	0.0084	0.0246	0.029	0.027	Viscosity Coeff.
	$h = 1/\beta e$	75.3580	14.5560	119.0476	40.6504	62.403	45.236	
$(1/\sigma) - (1/\zeta)$	$\beta f = 1/k$	707.0934	1080.0000	524.9800	442.5300	688.651	283.348	Elastic Modulus
	$k = 1/\beta f$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0023	0.002	0.001	
	$\alpha f = 1/h$	0.0520	0.0714	0.0298	0.0517	0.051	0.017	Viscosity Coeff.
	$h = 1/\alpha f$	19.2308	14.0056	33.5570	19.3424	21.534	8.393	



**Table 5** The Statistical Analysis Values with the Elastic Modulus ( $k$ ) for the Rubber Guaranteed in Volleyball

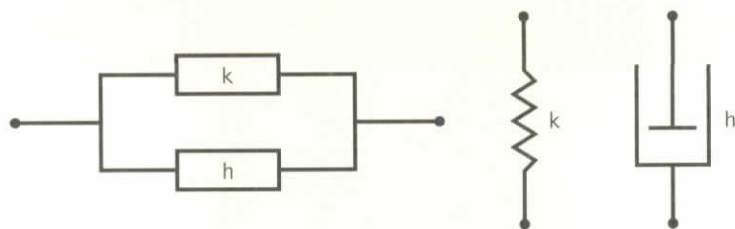
Model	Facter	Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD
$(\xi/\sigma) - T$	$k = 1/c_1$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.0016	0.0006
$\sigma - \xi$	$k = d_2$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.0016	0.0006
$(\xi/\sigma) - \xi$	$k = 1/\alpha e$	0.0014	0.0009	0.0019	0.0022	0.0016	0.0006
$(1/\sigma) - (1/\xi)$	$k = 1/\beta f$	0.0014	0.0008	0.0018	0.0023	0.0016	0.0006
Rubber	AVG	0.0014	0.0009	0.0018	0.0022	0.0016	0.0006
Calfskin	AVG	0.0840	0.0390	0.0510	0.0580	0.0580	0.0190
Total		0.0854	0.0399	0.0528	0.0602	0.0596	0.0192

はバネ定数」である。ひずみが増加されると、応力の増大率は減少される傾向がある。それは、ゴム製品における粘性が存在するからである。粘性材料において、応力はひずみの粘性に依存していることから、次式のような関係が成立する。

$$\sigma = h (d\xi/dt) \dots\dots\dots(33)$$

ここで、係数の $h$ は粘性率とも呼び、ひずみ速度の関数 ( $d\xi/dt$ ) ともいえる。粘性率 (Coefficient of Viscosity) とは、「流体の速度が流れの中の各点で異なると、粘性のために速度の勾配に比例する接線応力が現れるニュートンの粘性法則である」である。また、粘性率は粘度ともいい、比例定数は流体によって定まる物質定数でもある。この粘性物質の力学的モデルはダッシュポットによって説明ができる。ダッシュポットとは、「ピストンをはめたシリンダー (円筒) に流体を出入させ、速度に比例した抵抗を与える装置」である。

もし、バレーボールのゴム製品が大きなひずみの範囲内でニュートニアンあるいは線形粘性材料であるとすれば、粘性率 $h$ は一定である。また、一定の引張速度をもった引張試験の時、ひずみの速度 ( $d\xi/dt$ ) は一定である。それゆえに、応力-ひずみとの関係は、次式によって表示できる。



**Fig.7** The Vigot Model for Stress-Strain Relation of the Rubber Guaranteed in Volleyball (*k*: the Elastic Modulus and *h*: the Viscosity Coefficient)

$$\sigma = (h/\xi) \xi \quad \dots\dots\dots(34)$$

しかしながら、バレーボールのゴム製品には、二つの弾性率と粘性率の特性がある。この場合に、ひずみ-応力の関係は、**Fig. 7**のように二つの並列エレメントによって解析することができる。すなわち、弾性率 $\kappa$ はバネであり、粘性率 $h$ はダッシュポットである。**Fig. 7**は電気回路と同様なモデルであり、並列回路におけるインピーダンスの解析方法と同様な方法であるため、次式のような応力-ひずみの関係式が成立する。

$$\sigma = \xi / [(1/\kappa) + \{1 / (h/\xi)\}] \quad \dots\dots\dots(35)$$

この式は、双曲線の方程式と同様に書き換えられる。

$$\sigma = \xi / (\alpha + \beta \xi) \quad \dots\dots\dots(36)$$

または、次式のような直線の回帰方程式が成立する。

$$\xi / \sigma = \alpha + \beta \xi \quad \dots\dots\dots(37)$$

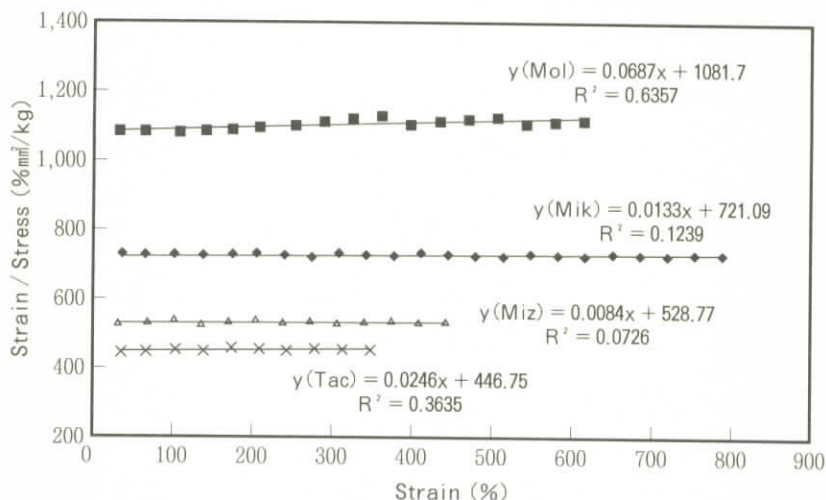


Fig.8 Relation between Strain/Stress and Strain of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

ここで、係数の $\alpha$ は弾性率の逆数 ( $1/k$ ) および係数の $\beta$ は粘性率の逆数 ( $1/h$ ) である。ここで、Table 2 と Table 3 に表示されたデータを用いた比率 ( $\xi/\sigma$ ) に対する $\xi$ との関係をFig. 8のようにプロットしたのである。Fig. 8の4本の直線は、国際公認バレーボールの製品である。「 $(\xi/\sigma) - \xi$ 」モデル化した推定直線は、正規方程式の最小2乗法によってデータ処理を行った。その結果として、弾性率の逆数 $\alpha e$  ( $1/k$ ) と粘性率の逆数 $\beta e$  ( $1/h$ ) が求められたのである。その結果、一般式と各製品との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次式のとおりである。

$$\xi/\sigma = \alpha e + \beta e \xi \cdots (R^2=0.0000) \cdots (\text{for Makers}) \cdots (38)$$

$$\xi/\sigma = 721.09 + 0.0133 \xi \cdots (R^2=0.1239) \cdots (\text{for Mikasa}) \cdots (39)$$

$$\xi/\sigma = 1081.70 + 0.0687 \xi \cdots (R^2=0.6357) \cdots (\text{for Molten}) \cdots (40)$$

$$\xi/\sigma = 528.77 + 0.0084 \xi \cdots (R^2=0.0726) \cdots (\text{for Mizuno}) \cdots (41)$$

$$\xi/\sigma = 446.75 + 0.0246 \xi \cdots (R^2=0.3635) \cdots (\text{for Tachikara}) \cdots (42)$$

**Table 6** The Statistical Analysis Values with the Viscosity Coefficient ( $h$ ) for the Rubber Guaranteed in Volleyball

Model	Factor	Mikasa	Molten	Mizuno	Tachikara	AVG	STD
$(\xi/\sigma) - T$	$h = 1/c_2$	10.96	2.00	17.54	5.83	9.08	6.73
$(\xi/\sigma) - \xi$	$h = 1/\beta_e$	75.36	14.56	119.05	40.65	62.40	45.24
$(1/\sigma) - (1/\xi)$	$h = 1/\alpha_f$	19.23	14.01	33.56	19.34	21.53	8.39
Rubber	AVG	35.18	10.19	56.72	21.94	31.01	19.95
Calfskin	AVG	43.15	7.87	19.79	118.38	47.30	49.60
Total		78.33	18.06	76.51	140.32	78.31	49.93

$$\xi/\sigma = 694.58 + 0.029 \xi \cdots (R^2=0.9999) \cdots (\text{for Average}) \cdots (43)$$

ここで、切片の $\alpha_e$ は弾性率の逆数( $1/k$ )であり、回帰係数の $\beta_e$ は粘性率の逆数( $1/h$ )である。このデータに対してはTable 4 に表示した弾性率に関するデータをTable 5 に表示した。弾性率が大きい製品はモルテン( $\alpha_e=1/k=1082 : k=0.0009$ )であり、小さい製品はタチカラ( $\alpha_e=1/k=447 : k=0.0022$ )である。その中間はミカサとミズノである。弾性率( $k$ )の平均値および標準偏差は、それぞれ0.002および0.001である。Table 4 から粘性率に関するデータをTable 6 に表示した。粘性率が大きい製品はミズノ( $\beta_e=1/h=0.0084 : h=119.05$ )であり、小さい製品はモルテン( $\beta_e=1/h=0.0687 : h=14.556$ )である。その中間はミカサとタチカラである。粘性率( $h$ )の平均値および標準偏差はそれぞれ62.403および42.236である。この回帰係数の傾向は、「 $\xi/\sigma - t$ 」のモデルとよく似た傾向である。

#### 4.4 応力の逆数とひずみの逆数から弾性率と粘性率の解析

バレーボールのゴム製品における応力-ひずみの関係は、全体的な観点の簡単な引張試験から二つの並列エレメントをもったVigotモデルによって説明することができる。ここで、「 $(1/\sigma) - (1/\xi)$ 」モデル化した推定直線は、正規方程式の最小2乗法によってデータ処理を行った。その結果、弾性率の逆数 $\alpha_f (1/k)$ と粘性率の逆数 $\beta_f (1/h)$ が求められる。すなわち、厳密に言えば、

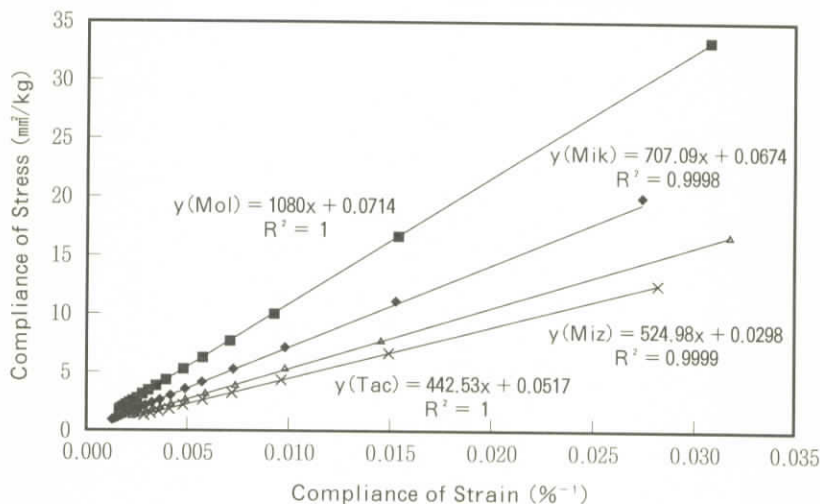


Fig.9 Relation between Compliance of Strain and Compliance of Stress of Tensile Test with the Rubber Guaranteed in Volleyball

応力の逆数はFig. 9のとおりひずみの逆数に比例している。したがって、各測定時間に対する応力-ひずみの実験のデータの逆数から回帰方程式の回帰係数を求められる。その結果、一般式と各製品との関係式および決定係数 ( $R^2$ ) は、次式のとおりである。

$$(1/\sigma) = \beta f + \alpha f (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \cdots (\text{for Makers}) \cdots \cdots (44)$$

$$(1/\sigma) = 0.0674 + 707.09 (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=0.9998) \cdots \cdots (\text{for Mikasa}) \cdots \cdots (45)$$

$$(1/\sigma) = 0.0714 + 1081.00 (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=1.0000) \cdots \cdots (\text{for Molten}) \cdots \cdots (46)$$

$$(1/\sigma) = 0.0298 + 524.98 (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \cdots (\text{for Mizino}) \cdots \cdots (47)$$

$$(1/\sigma) = 0.0517 + 442.53 (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=1.0000) \cdots \cdots (\text{for Tachikara}) \cdots \cdots (48)$$

$$(1/\sigma) = 0.017 + 283.35 (1/\xi) \cdots \cdots (R^2=0.9999) \cdots \cdots (\text{for Average}) \cdots \cdots (49)$$

ここで、切片  $\beta f$  は粘性率の逆数 ( $1/h$ ) であり、回帰係数  $\alpha f$  は弾性率の逆数 ( $1/k$ ) である。このデータに対してはTable 4に表示した。Table 4 から弾



性率に関するデータをTable 5に表示した。弾性率が大きい製品はタチカラであり、小さい製品はモルテンである。その中間はミカサとミズノである。弾性率（ $k$ ）の平均値および標準偏差は、0.002および0.001である。Table 4 から粘性率に関するデータをTable 6に表示した。粘性率が大きい製品はミズノであり、小さい製品はミカサである。その中間はミカサとタチカラである。粘性率（ $h$ ）の平均値、標準偏差および分散はそれぞれ51.476、46.799および2,190.2である。この回帰係数の傾向は、「 $\sigma - t$ 」または「 $\sigma - \xi$ 」モデルとは、逆の傾向である。

#### 4.5 各製品の弾性率と粘性率の特性

##### （a） 各モデルと各製品の弾性率の特性

各製品における各モデルによって算出された弾性率は、Table 4 のとおりである。Table 4 のデータを分類してまとめられた弾性率の値はTable 5である。Table 5における第1行は、「 $(\xi/\sigma) - t$ 」モデルから推定した弾性率の値である（Fig. 4）。弾性率の最大値はタチカラで、最小値はモルテンであり、その中間はミカサとミズノである。この平均値と標準偏差は、それぞれ0.0016と0.0006である。Table 5における第2行は、 $(\xi - \sigma)$ モデルから推定した弾性率の値である（Fig. 6）。弾性率の最大値（タチカラ）、最小値（モルテン）およびその中間は第1行と同様である。Table 5における第3行は、「 $(\xi/\sigma) - \xi$ 」モデルから推定した弾性率の値である（Fig. 8）。弾性率の最大値（タチカラ）、最小値（モルテン）およびその中間は第1・2行と同様である。この平均値と標準偏差は、第1行と同様である。Table 5における第4行は、「 $(1/\sigma) - (1/\xi)$ 」モデルから推定した弾性率の値である（Fig. 9）。弾性率の最大値（タチカラ）、最小値（モルテン）およびその中間は第1・2・3行と同様である。この平均値と標準偏差は、第1行または第3行と同様である。したがって、全体としての弾性率の最大値はタチカラで、最小値はモルテンであり、その中間はミカサとミズノである。この全体の平均値と標準偏差は、それぞれ0.0016と0.0006である。

**Table 7** The Analysis Values with Ball Bounce ( $b$ ), the Elastic Modulus ( $k$ ) and the Viscosity Coefficient ( $h$ ) for the Rubber Guaranteed in Volleyball

Years	Name	Bounce	1/b	K	1/k	h	1/h
1990	Misaka	90.086	0.0111	0.0014	714	35.18	0.028
	Molten	92.251	0.0108	0.0009	1111	10.19	0.098
	Mizuno	90.298	0.0111	0.0018	556	56.72	0.018
	Tachikara	88.875	0.0113	0.0022	455	21.94	0.046
1991	Misaka	94.087	0.0106	0.0014	714	35.18	0.028
	Molten	97.141	0.0103	0.0009	1111	10.19	0.098
	Mizuno	92.773	0.0108	0.0018	556	56.72	0.018
	Tachikara	89.900	0.0111	0.0022	455	21.94	0.046
1992	Misaka	96.584	0.0104	0.0014	714	35.18	0.028
	Molten	96.970	0.0103	0.0009	1111	10.19	0.098
	Mizuno	95.570	0.0105	0.0018	556	56.72	0.018
	Tachikara	96.560	0.0104	0.0022	455	21.94	0.046
1993	Misaka	96.011	0.0104	0.0014	714	35.18	0.028
	Molten	95.464	0.0105	0.0009	1111	10.19	0.098
	Mizuno	94.187	0.0106	0.0018	556	56.72	0.018
	Tachikara	96.267	0.0104	0.0022	455	21.94	0.046

## (b) 各モデルと各製品の粘性率の特性

各製品における各モデルによって算出された粘性率は、**Table 4** のとおりである。**Table 4** のデータを分類してまとめられた粘性率の値は**Table 6** である。**Table 6** における第1行は、「 $(\xi/\sigma) - t$ 」モデルから推定した粘性率の値である (**Fig. 4**)。粘性率の最大値はミズノ (17.54) で、最小値はモルテン (2.00) であり、その中間はミカサとタチカラである。この平均値と標準偏差は、それぞれ9.08と6.73である。**Table 6** における第2行は、「 $(\xi/\sigma) - \xi$ 」モデルから推定した粘性率の値である (**Fig. 8**)。粘性率の最大値 (ミズノ : 109.05)、最小値 (モルテン : 14.58) およびその中間は第1・2行と同様である。この平均値と標準偏差は、それぞれ62.40と45.24である。**Table 6** における第3行は、「 $(1/\sigma) - (1/\xi)$ 」モデルから推定した粘性率の値である (**Fig. 9**)。粘性率の最大値 (ミズノ : 33.56)、最小値 (モルテン : 14.01) およ

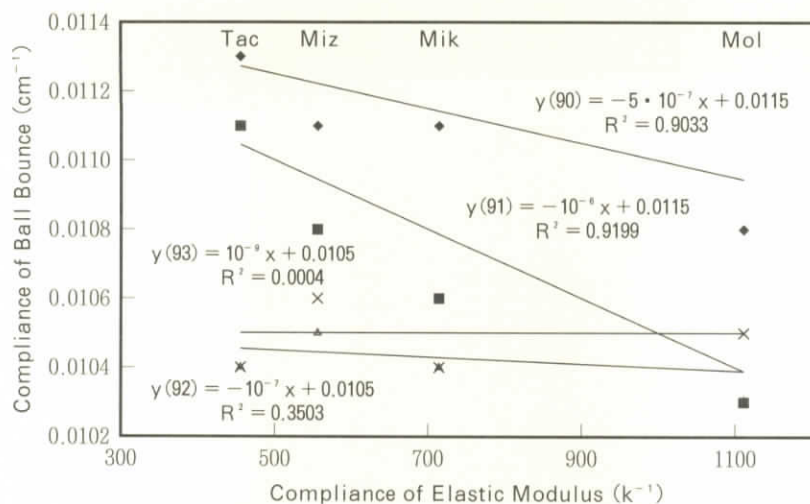


Fig.10 Relation between Compliance of Elastic Modulus and Compliance of Ball Bounce for the Rubber Guaranteed in Volleyball

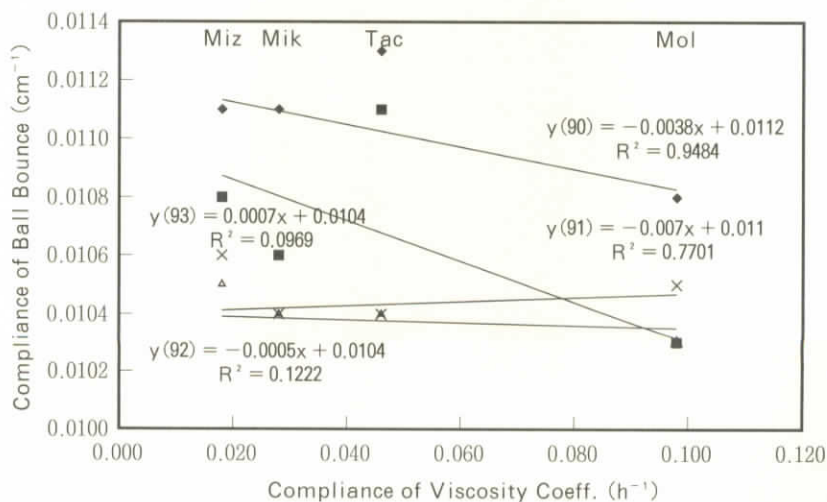


Fig.11 Relation between Compliance of Viscosity Coefficient and Compliance of Ball Bounce for the Rubber Guaranteed in Volleyball

びその中間は第1・2行と同様である。この平均値と標準偏差は、それぞれ21.53と8.39である。したがって、全体としての粘性率の最大値はミズノで、最小値はモルテンであり、その中間はミカサとタチカラの製品である。この全体の平均値と標準偏差は、それぞれ31.01と19.95である。

#### 4.6 弾性率・粘性率とボールバウンド特性<sup>7-9)</sup>との相関分析

弾性率・粘性率とボールバウンド特性との相関分析を行うため、Table 5 と Table 6 から本学で行ったボールバウンド特性値<sup>7-9)</sup>との関係式を導いた。弾性率と粘性率は共にボールバウンドとの関係において、実験データから直線の回帰方程式であることが認められた。この相関性を認定するために、それぞれの値を逆数にしてプロットしたのがFig. 10（弾性率の逆数とボールバウンドの逆数との関係）とFig. 11（粘性率の逆数とボールバウンドの逆数との関係）である。Fig. 10における弾性率の逆数が大きくなるにつれ、ボールバウンドの逆数が小さく、年度は1990年と1991年であり、その逆は1992年と1993年である。さらに、Fig. 11における粘性率の逆数が大きくなるにつれ、ボールバウンドの逆数が小さく、年度は1990年と1991年であり、その逆は1992年と1993年である。この傾向から初期の年では、弾性率・粘性率の逆数が大きくなるにつれ、ボールバウンドの逆数が小さくなる傾向である。一方、後期の年では、その逆であることが確認されたのである。したがって、実験データの弾性率・粘性率とボールバウンド特性との関係から回帰係数を求められたのである。その結果、その関係式および決定係数（ $R^2$ ）は、Fig. 10 と Fig. 11 のとおりである。

## 5 お わ り に

国際公認バレーボールのゴム製品の破壊試験を行った。破壊試験の応力とひずみの関係から各種モデルの係数を決定した。これらのデータから品質の保証ができる特性要因を考案した結果は、次のとおりである。

（a） 厚さ： 皮とゴム製品の厚さでは、共にタチカラが小さく、モルテンは大きい値である。その中間にミカサとミズノ製が存在している。このバレー

ボールの全製品に対する平均値と標準偏差は、それぞれ0.655mmと0.212である。

(b) 比重： ゴム製品の比重では、皮製品と共にモルテンが最小値であり、ミカサは最大値であり、その中間にタチカラとミズノ製が存在している。このバレーボールの全製品に対する平均値と標準偏差は、それぞれ1.074と0.013である。

(c) 硬さ： ゴム製品の硬さでは、皮製品と共にモルテンが最小値であり、タチカラは最大値であり、その中間にミカサとミズノ製が存在している。この平均値と標準偏差は、それぞれ83.13と0.936である。

(d) 比重と硬さの相関性： 皮製品とゴム製品に関する比重と硬さとの相関関係はそれらのデータ処理によって、回帰方程式と決定係数が認められたのである。比重と硬さの関係を解明するのにユニークな方法として活用できる法則性を提供した。

(e) 引張強さ： 引張強さ ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) は、ミカサ (1.10)・モルテン (0.56)・ミズノ (0.86) およびタチカラ (0.82) で、平均 (0.84) である。したがって、ミカサは強く、モルテンはわずかに弱い値であり、その中間はミズノとタチカラ製品である。応力と時間の関係から求めた回帰係数は、引張強さと一定の関係を得られたのである。

(f) 伸び： 伸び (%) は、ミカサ (812)・モルテン (634)・ミズノ (455) およびタチカラ (368)、平均 (567) である。したがって、ミカサとモルテンは強い伸び値、タチカラは弱い伸び値、その中間はミズノ製品である。ひずみと時間の関係から求めた回帰係数は、伸びと一定の関係を求められたのである。

(g) 各モデルの連関性： 各製品に対する回帰係数として、次のモデルから類似の3グループに分類できる。まず、①「 $\xi-t$ 」モデルは「 $1/\sigma-1/\xi$ 」モデルとは同様の傾向である。②「 $\sigma-t$ 」モデルは「 $\sigma-\xi$ 」モデルとは同じ傾向である。さらに、③「 $\xi/\sigma-t$ 」モデルは、「 $\xi/\sigma-\xi$ 」モデルと類似の傾向である。

(h) 弾性率： 応力とひずみによって処理された弾性率の最大値はタチ



カラ、最小値はモルテン、その中間はミカサとミズノである。この全体の平均値と標準偏差は、それぞれ0.016または0.0006である。

(i) 粘性率： 応力とひずみによって処理された粘性率の最大値は皮製品と同様のタチカラ、最小値も皮製品と同様のモルテン、その中間はミカサとミズノである。この全体の平均値と標準偏差は、それぞれ31.01と19.95である。

(j) 弾性率・粘性率とボールバウンドとの相関性： 弾性率・粘性率とボールバウンド特性との相関分析を行うために、極めてユニークな関係式が求められたのである。これらの関係の傾向は、製造年によってわずかに異なっていることが判明した。が、各メーカー順位の質は変わってないことも判明したのである。ゆえに、バレーボール特性をより明らかにすることができる第1歩のデータを提供することが可能になった。

## 謝 辞

この論文作成の測定に当たって、長岡特殊電線株式会社の長岡正児社長と金原英樹氏、さらに本学体育会バレーボール部の皆様に多大なるご協力を賜りました。この論文作成を行なうに当たり資料提供やご助言・ご鞭撻をいただいた関係各位を始め、各バレーボールメーカーの専門家に労をわずらわしました。さらに、データ処理には藤田浩史と肥塚義明君に協力をいただいた。これらの方々に、深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 沢勲・黒田進「国際公認バレーボールである皮製品の破壊試験と品質保証」大阪経済法科大学総合科学研究所年報 14 (1995) p.116-138
- (2) T.L. Smith and A.B Magnusson; Applied Polymer Science 5 (1961) p.218-232
- (3) I. Sawa and H. Mine; Stress-Strain Relation of Polyvinyl Chloride Sheath Used for Electrical Cords」The Memoirs of the faculty of Engineering, Kyoto University, XLVII, Part1 (1985) p.69-78

- (4) M. Zako and I. Sawa; 「Study on Non Linear Properties of Stress and Strain for Polyvinyl Chloride Insulator」 The Bulletin of the faculty of Education of the Mie University, 38 (1987) p.139-146
- (5) 沢勲・黒田進・大森敏行「大阪経済法科大学総合体育館（尚淑館）床の性能とバレーボールのパウンド特性」大阪経済法科大学論集 55 (1994) p.1-30
- (6) JIS K 6723『軟質塩化ビニルコンパウンド』（1976）
- (7) 沢勲・黒田進「国際公認バレーボールの品質保証（1991年）」大阪経済法科大学論集 67 (1997) p.33-61
- (8) 沢勲・黒田進「国際公認バレーボールの品質保証（1992年）」大阪経済法科大学論集 70 (1998) p.1-29
- (9) 沢勲・黒田進「国際公認バレーボールの品質保証（1993年）」大阪経済法科大学論集 73 (1999) p.1-28