

# ブラケットとワイヤーの間の摩擦に関する研究

—セラミックブラケットとステンレスブラケットの比較—

山口 和憲, 小田 義仁, 森本 徳明  
山内 和夫

## Study on Frictional Force between Brackets and Wires

— Ceramic brackets and stainless steel bracket —

Kazunori Yamaguchi, Yoshihito Oda, Noriaki Morimoto  
and Kazuo Yamauchi

(平成4年9月30日受付)

### 序 文

矯正治療の中で、多数の歯を目的の位置に移動するために用いられるマルチブラケット法は歯の移動方法の主流となっている。近年、成人あるいは思春期の患者の矯正治療が盛んに行なわれ、装置自身の審美性を考慮して、金属でなく目立たない材料として plastic あるいは ceramic bracket が前歯部に用いられるようになった。しかし、stainless steel bracket に比べてワイヤーとの滑べりが悪く、スライディング法を用いた歯の移動には問題があることが指摘されている<sup>1-4)</sup>。このような摩擦に関与する因子として wire と bracket の材質によって決る摩擦係数 ( $\mu$ ) と、歯の移動時に wire と bracket との間に生ずる接触力 (F) が考えられる<sup>5-13)</sup>。

著者らは<sup>11,13,14)</sup>、bracket と wire とのスライディングを利用した歯の移動を円滑に進めるための方法を simulation model を用いて検討してきた。その中で bracket あるいは wire の滑べりを抑制している摩擦力は矯正力の作用ポイントと歯の抵抗力の影響を強く受けていることを報告した。本報告では、すでに報告した simulation model を用いて、二種類の ceramic bracket と 3 種類の wire との間の摩擦力を計測し、矯正力の作用ポイントと抵抗荷重の大きさが摩擦力に及ぼす影響と、stainless steel bracket<sup>11)</sup> との違いを比較

検討した。

### 方 法

用いた bracket (図1) は 0.018×0.025 インチの slot をもち、幅 3.2 mm の 2 種類の ceramic bracket (以下 CM1: ジルコニア, CM2: アルミナ) であり, bracket をスライドさせるための wire は 0.016×0.016 インチの Elgiloy wire (ロッキーマウンテン社), stainless steel wire (以下 SSW: 3M ユニテック社) と Nickel-titanium 系 Super Elax wire (以下 SEW: フォレストアデント社) である。図2に示すようにメッシュ付き金属板の中央に直径 2.0 mm のワイヤー (歯の長軸を想定) を鑑着し, bracket の slot がこの長軸に垂直になるように固定し, 直径 2.0 mm のワイヤー (歯の長軸) には bracket の中央相当部 (ポイント0) および, すでに報告した2点 (ポイント1, ポイント2: bracket の slot からの距離が 3.0 mm, 5.6 mm の点)<sup>11,13)</sup> に牽引用フックを設けて bracket を牽引した。スライディング用の wire はワイヤー固定台に 2.0 kg の張力で固定し, この wire と bracket を elastic module で結紮した。また, bracket の slot から 9.6 mm の点 (抵抗中心) にフックを設け, 歯の移動に対する抵抗を想定した抵抗荷重 (100 g, 200 g, 400 g) を吊した。wire と bracket を固定した固定台は精密万能材料試験機インストロン 6022 (インストロン社製) のテーブルに固定し, crosshead と牽引用フックは長さ 25 cm, 直径 1.2 mm の二本のワイヤーで連結した (図2)。crosshead を 1 分間移動し (移動速度: 毎分 2.0 mm), こ

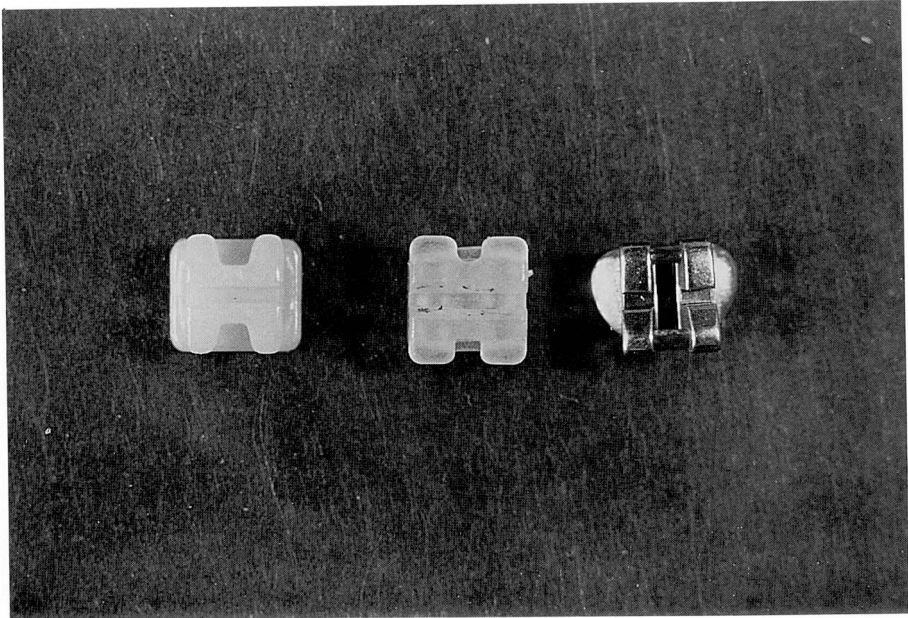


図1 三種類のブラケットの正面観  
 左：ceramic bracket (CM1)，中：ceramic bracket (CM2)，stainless steel bracket (SS)

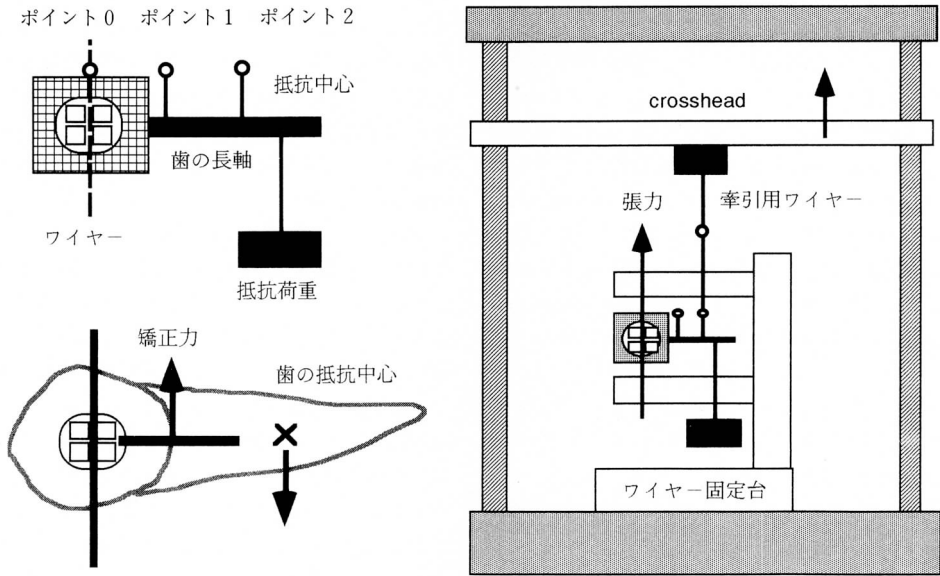


図2 ブラケットに設定した矯正力の作用ポイントと抵抗荷重，および固定台に固定したブラケットの牽引の方法

のときの最大摩擦力を計測し，同時に X-Y plotter には1分間の変化を記録した。計測した摩擦力に与える抵抗荷重の大きさ，矯正力の作用ポイント，bracket および wire の種類などの要因の影響を分散分析に

よって比較検討した。なお，すでに報告した stainless steel 製 medium twin bracket (以下 SS) を用いた場合の摩擦力を ceramic bracket のそれと比較した。

## 結 果

### I. bracket 中央を牽引したときの摩擦力の比較

抵抗中心に抵抗荷重を吊さないで各 bracket の中央を牽引したときの摩擦力を図3に示した。三つの bracket の摩擦力の間に有意な差は見られなかった。

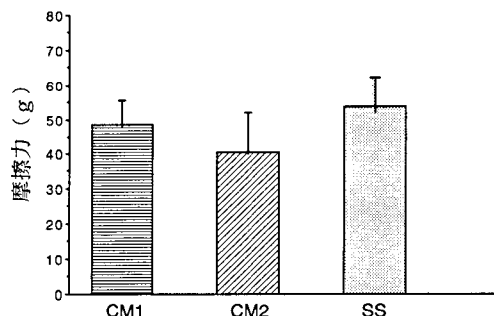


図3 ステンレスワイヤーに沿ってブラケット中央部(ポイント0)を牽引したときの各ブラケットの摩擦力の比較

### II. 矯正力の作用ポイントと抵抗荷重の大きさの摩擦力に及ぼす影響

bracket と wire の間に生ずる摩擦力は歯の移動に対する抵抗の大きさと矯正力の牽引位置の二つの要因に関与していることをすでに報告したが<sup>11,13)</sup>、同様の関係を ceramic bracket について検討した結果は以下の通りである。

表1には、各 bracket の各 wire に対する摩擦力を示した。また、図4は CM1、図5は CM2 の各 wire に対する摩擦力を示している。CM1 では、SEW に対する摩擦力を除いて、ポイント1の牽引では抵抗荷重の増加とともに摩擦力は増加し、ポイント2の牽引では減少した。CM2 では Elgiloy wire に対する摩擦力を除いて CM1 と同様の結果であった。これは、SS

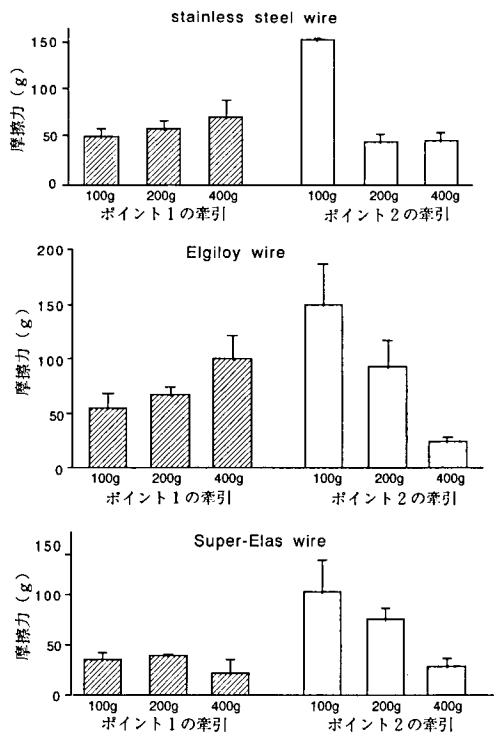


図4 三種類のワイヤーに対する ceramic bracket (CM1) の摩擦力

に見られた矯正力の作用ポイントと抵抗荷重の大きさが摩擦力に及ぼす影響と同様の結果<sup>11)</sup>であった。また、抵抗荷重 100 g でポイント2を牽引したときの摩擦力が特に大きく、CM2 の SSW に対する摩擦力は 600 g にも及んでいた。

### III. wire に対する各 bracket の摩擦力の比較 (表1)

#### 1. 抵抗荷重 100 g の場合 (図6)

抵抗荷重が 100 g のとき一般にポイント1を牽引したときの方がポイント2を牽引したときよりも摩擦力

表1 ブラケットの各ワイヤーに対する摩擦力

bracket	矯正力の作用ポイント	抵抗荷重 100 g			抵抗荷重 200 g			抵抗荷重 400 g		
		Elgiloy	SSW	SEW	Elgiloy	SSW	SEW	Elgiloy	SSW	SEW
ceramic bracket (CM1)	ポイント1の牽引	56.0	51.4	37.0	68.1	58.7	40.0	101.7	71.7	23.5
	ポイント2の牽引	150.4	150.1	104.3	95.0	45.6	77.0	25.6	46.8	29.7
ceramic bracket (CM2)	ポイント1の牽引	45.1	30.4	44.6	36.9	36.9	55.1	23.8	53.2	63.1
	ポイント2の牽引	236.4	598.8	259.3	117.5	161.5	144.4	36.7	36.6	80.6
stainless steel bracket (SS)	ポイント1の牽引	75.4	54.0	55.8	80.3	63.2	48.7	91.3	134.1	47.0
	ポイント2の牽引	165.9	62.0	76.0	51.3	48.2	107.1	82.6	58.8	76.0

SSW : stainless steel wire, SEW : Super-Elas wire

(単位 : g)

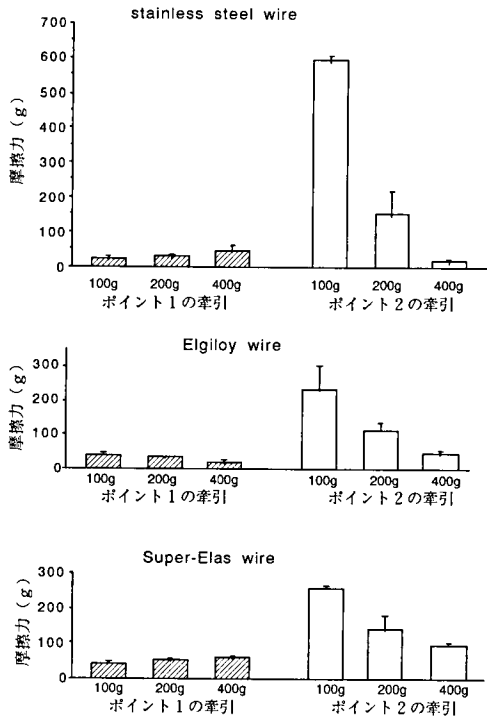


図5 三種類のワイヤーに対する ceramic bracket (CM2) の摩擦力

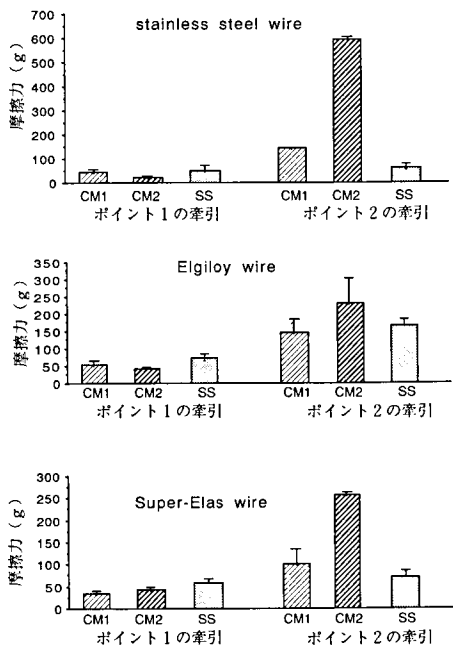


図6 抵抗荷重 100 g における各ブラケットの摩擦力の比較

が小さい値を示した。

1) ポイント1の牽引

ポイント1の牽引ではいずれの wire に対しても、SS の摩擦力は ceramic bracket より大きかった。また、二種類の ceramic bracket 間の比較では有意差は見られなかった。

2) ポイント2の牽引

ポイント2の牽引では、いずれの wire に対しても CM2 の摩擦力が CM1 および SS よりも有意に ( $p < 0.01$ ) 大きく、SSW および SEW に対しては SS の摩擦力が最も小さかった。

2. 抵抗荷重 200 g の場合 (図7)

1) ポイント1の牽引

ポイント1の牽引では、SSW と Elgiloy wire に対する CM2 の摩擦力は CM1 および SS よりも有意に ( $p < 0.01$ ) 小さかった。一方、SEW に対する CM1 の摩擦力は CM2 よりも有意に ( $p < 0.01$ ) 小さかった。

2) ポイント2の牽引

ポイント2の牽引では、抵抗荷重 100 g の場合と同様に、いずれの wire に対しても CM2 の摩擦力が CM1 および SS よりも有意に大きかった。

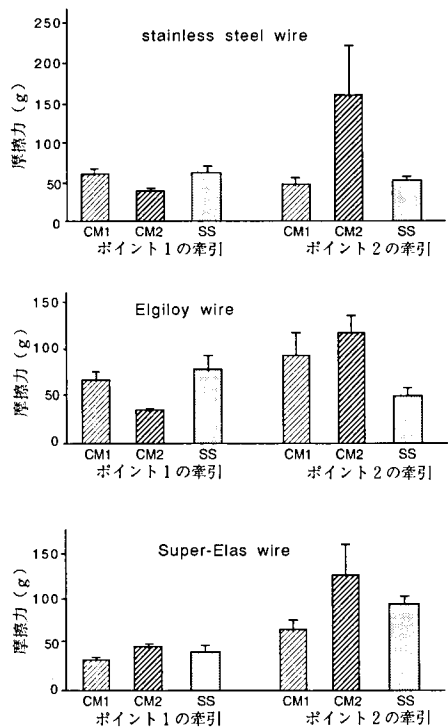


図7 抵抗荷重 200 g における各ブラケットの摩擦力の比較

### 3. 抵抗荷重 400 g の場合 (図 8)

#### 1) ポイント 1 の牽引

ポイント 1 の牽引では抵抗荷重 200 g の場合と同様に SSW および Elgiloy wire に対する SS の摩擦力が最も大きく、CM2 の摩擦力が最も小さかった。一方、ceramic bracket の比較では SSW および Elgiloy wire に対しては CM2 が小さく、SEW に対しては CM1 が小さかった。

#### 2) ポイント 2 の牽引

ポイント 2 の牽引では、SSW および Elgiloy wire に対する SS の摩擦力が最も大きかった。また ceramic bracket の比較では、SSW に対しては CM2 が、Elgiloy wire および SEW に対しては CM1 が小さかった。

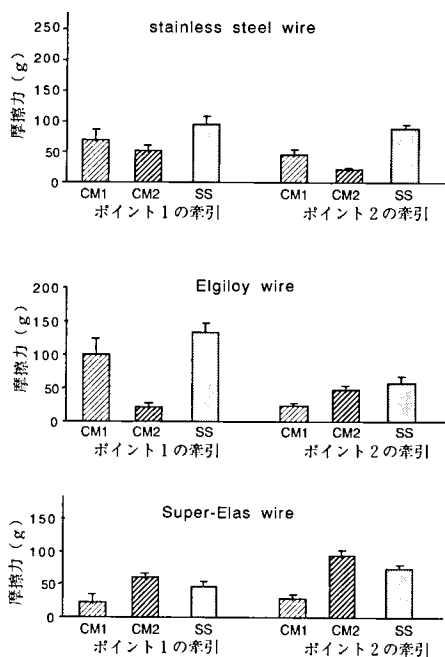


図 8 抵抗荷重 400 g における各ブラケットの摩擦力の比較

## IV. 各 bracket の各 wire に対する摩擦力の比較 (表 1)

### 1. CM1 (図 9)

ポイント 1 の牽引では、いずれの抵抗荷重の大きさにおいても、Elgiloy wire に対する摩擦力が大きく、SEW に対する摩擦力が小さかった。ポイント 2 の牽引では抵抗荷重が 100 g および 200 g の場合、Elgiloy wire の摩擦力が最も大きく、400 g の場合には SSW に対する摩擦力が大きかった。

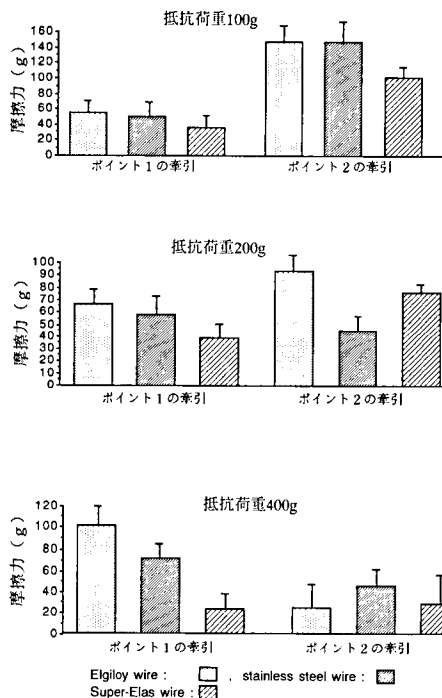


図 9 ceramic bracket (CM1) の各ワイヤーに対する摩擦力の比較

### 2. CM2 (図 10)

ポイント 1 の牽引では、CM1 とは逆に、いずれの抵抗荷重においても SEW に対する摩擦力が最も大きかった。ポイント 2 の牽引では、抵抗荷重 100 g および 200 g のとき SSW に対する摩擦力が最も大きく、抵抗荷重 400 g のときは SEW に対する摩擦力が最も大きかった。

### 3. SS (図 11)

ポイント 1 の牽引では抵抗荷重 100 g および 200 g の場合、Elgiloy wire に対する摩擦力が最も大きく、抵抗荷重 400 g では SSW に対する摩擦力が最も大きかった。ポイント 2 の牽引では抵抗荷重 100 g および 400 g の場合 Elgiloy wire に対する摩擦力が最も大きく、200 g の場合には SEW に対する摩擦力が最も大きかった。

## 考 察

スライディング法において歯の移動を効果的に行なうためには、wire と bracket 間に生ずる摩擦力を最小にする必要がある。摩擦力に及ぼす要因として bracket の性状、すなわち幅径<sup>5-9,11,15)</sup>、slot の大きさ<sup>7,16,17)</sup>、表面の円滑さ<sup>1-4)</sup> とアーチワイヤーの性状、すなわち wire の大きさ<sup>9)</sup>、物理的性質あるいは

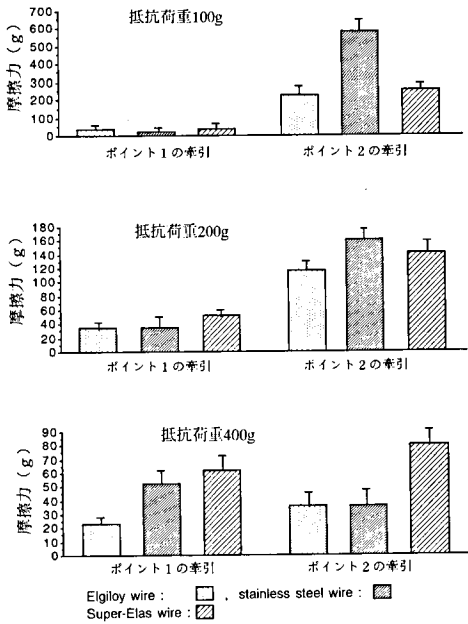


図10 ceramic bracket (CM2) の各ワイヤーに対する摩擦力の比較

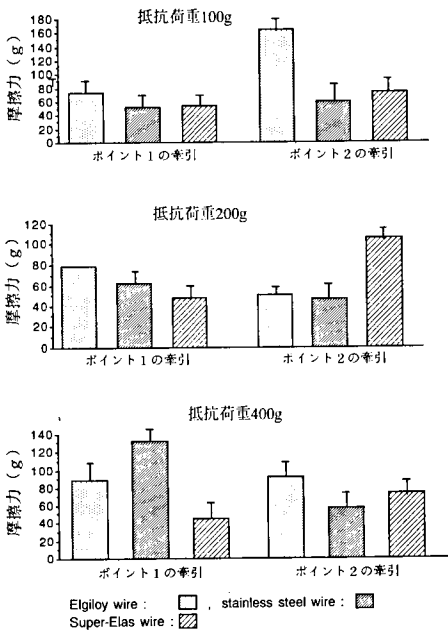


図11 stainless steel bracket (SS) の各ワイヤーに対する摩擦力の比較

表面の円滑さ<sup>6,8,9,12,18</sup>などが取り上げられてきた。

著者ら<sup>11,13</sup>はすでに、歯の移動様式に影響をもつと考えられる歯根の長さ、大きさ、周囲の支持組織の

性状などに依存する歯の移動に対する抵抗力（生力学抵抗）と矯正力の作用ポイントの二つの要因が摩擦力に及ぼす影響を報告した。

今回行った2種類の ceramic bracket においても、bracket の slot に近いポイント1を牽引したとき、抵抗荷重の増加と共に摩擦力は増加した。しかし、抵抗中心に近いポイント2を牽引したとき、摩擦力は抵抗荷重の増加と共に減少した。これは、bracket と wire 間には結紮による抵抗 (F1) が存在するものと考えられ<sup>17</sup>、抵抗中心 (抵抗荷重を吊した点)、矯正力の作用ポイントの三者の間に梃子の原理が働くためと推察される。

本研究で、三つの bracket の中心 (ポイント0) を牽引したとき、その摩擦力には有意な差が見られなかった。このことは、wire に対する bracket の傾斜がなければ、すなわち歯が平行移動すれば bracket に関係なく摩擦力はほぼ等しいといえる。また、本研究で bracket と wire の結紮はエラスチックモジュールで行なったが、結紮による摩擦の違いはなかったものと考えられる。

摩擦力は結紮による抵抗 (F1)、抵抗荷重および矯正力の作用ポイントの三要素に加え、bracket と wire の性状が摩擦力に影響を及ぼすと考えられる。従来の報告<sup>1-4</sup>や臨床経験などで ceramic bracket は摩擦力が大きいといわれている。本研究でも、矯正力の作用ポイントあるいは抵抗荷重の大きさによっては ceramic bracket が stainless steel bracket よりも大きな摩擦力を示していた。しかし、stainless steel bracket の方が大きな摩擦力を示すような条件も多くあった。

また、2種類の ceramic bracket は異なる摩擦力を示していた。stainless steel bracket と ceramic bracket の wire に対する摩擦力の相違は bracket の表面の円滑さから説明されている。すなわち、Pratten<sup>2</sup>、Kusy<sup>3</sup>は走査型電子顕微鏡写真の比較で ceramic bracket の表面が stainless steel bracket の表面より粗造であるため ceramic bracket の方が摩擦力が大きいと説明している。しかし、同時に stainless steel wire と Ni-Ti 系 wire の bracket に対する摩擦力の違い<sup>2,4,12</sup>は表面の円滑さからは説明できなかった<sup>2</sup>と報告している。本研究では、CM1 をポイント1で牽引した場合、Elgiloy wire に対する摩擦力が最も大きく、Super-Elas wire に対するそれが最も小さかったが、CM2 についてはその逆の結果となった。このように ceramic bracket と stainless steel bracket の wire に対する摩擦力の違いは表面の円滑さだけでは説明が困難である。

本研究に用いた CM1 の組成は酸化ジルコニウム

(ZrO<sub>2</sub>:ジルコニア)であり, CM2は酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:アルミナ)であった。これらセラミックスの物理的硬さはアルミナではステンレス鋼やCo-Cr系合金に匹敵するが<sup>19-23)</sup>, ジルコニアではこれらの金属より劣っている<sup>19)</sup>。Kusyら<sup>3)</sup>はstainless steel bracketおよびceramic bracketに結紮したwireを牽引した後, 両bracketのslot表面を走査型電子顕微鏡で検索し, ceramic bracketのslotに残留した金属屑(debris)の成分はwireとbracketの両者に由来していたと報告している。このことから, wireに対してbracketが傾斜して滑るとき, bracketとwireの硬さの違いによる摩耗度(mechanical abrasion)が摩擦力の大小に影響するとも考えられる。

### ま と め

著者らは, stainless steel bracketとwireのスライディングを利用した歯の移動において, いずれのサイズのbracketでも摩擦力に影響を及ぼす要因として, 歯の移動に対する歯の抵抗力の大きさ, 矯正力の作用部位, bracketとwireの結紮法などが大きく関与することを報告してきた。ceramic bracketを使用する場合にも, stainless steel bracketと同様にwireとbracketの接触力を軽減して摩擦力を最小にするために矯正力の作用ポイントと歯の抵抗の大きさを考慮する必要性が示唆された。

### 文 献

- 1) Angolkar, P.V., Kapila, S., Duncanson, Jr. M.G. and Nanda, R.S.: Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 98, 499-506, 1990.
- 2) Pratten, D.H., Popil, K., Germane, N. and Gundersol, J.C.: Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 98, 398-403, 1990.
- 3) Kusy, R.P. and Whitley, J.Q.: Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 98, 300-312, 1990.
- 4) Garner, L.D., Allai, W.W. and Moore, B.K.: A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 90, 199-203, 1986.
- 5) Nicolls, J.: Frictional forces in fixed orthodontic appliances. *Dent. Pract (Trans BSSO)*. 18, 362-366, 1968.
- 6) Frank, C.A. and Nikolai, R.J.: A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am. J. Orthod.* 78, 593-609, 1980.
- 7) Tidy, D.C.: Frictional force in fixed appliances. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 96, 249-254, 1989.
- 8) Kapila, S., Angolkar, P.V., Duncanson, Jr. M.D. and Nanda, R.S.: Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 98, 117-126, 1990.
- 9) Drescher, D., Bourauel, D.P. and Schumacher, H.: Frictional force between bracket and arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 96, 397-404, 1989.
- 10) Drescher, D., Bourauel, C. and Schumacher, H.A.: Optimization of arch guided tooth movement by the use of uprighting springs. *Euro. J. Orthod.* 12, 346-353, 1990.
- 11) Yamaguchi, K., Nanda, R.S., Morimoto, N., Oda, Y. and Yamauchi, K.: Considerations in sliding tooth movement along sliding movement. Submitted to *Angle Orthod*, 1992.
- 12) Andreasen, G.F. and Quevedo, F.R.: Evaluation of friction forces in the 0.022"×0.028" edgewise bracket in vitro. *J. Biomech.* 3, 151-160, 1970.
- 13) 山口和憲, 小田義仁, 森本徳明, 山内和夫: ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に関する研究—simulation modelにおける抵抗荷重と矯正力作用ポイントの影響—. *広大歯誌* 24 掲載予定, 1992.
- 14) 曾 鴻哲, 禎 寛, 他: ブラケットとワイヤーのスライディングを利用した歯牙移動について. *中四国矯歯誌* 1, 83-97, 1989.
- 15) 神山光男, 佐々木俊則: ブラケットの幅と摩擦について. *日矯歯誌* 32, 286-289, 1973.
- 16) Huffman, D.J. and Way, D.C.: A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes. *Am. J. Orthod.* 83, 453-459, 1983.
- 17) Riley, J.L., Garrett, S.G. and Moon, P.C.: Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J. Dent. Res.* A21, 58-98, 1979.
- 18) Kusy, R. P., Whitley, J.Q., Mayhew, M.J. and Bukthal, J.E.: Surface roughness of orthodontic arch wire via laser spectroscopy. *Angle Orthod.* 58, 33-45, 1988.
- 19) 青木秀希: インプラント用セラミックスの材料科学, セラミックインプラントの実際. クインテッセンス, 東京, 63-70, 1983.
- 20) Schwarz, M.L.: Ceramic brackets. *J. Clin. Orthod.* 22, 82-88, 1988.
- 21) Westbrook, J.H. and Conrad, H.: The science of hardness testing and its research application. *Metals Park, Ohio, USA*, 121, 254, 1973.

- 22) Scott, E.G.: Fracture toughness and surface cracks — The key to understanding ceramic brackets. *Angle Orthod.* 58, 5-8, 1988.
- 23) Kusy, R.P.: Morphology of polycrystalline alumina bracket and its relationship to fracture toughness and strength. *Angle Orthod.* 58, 197-204, 1988.