

ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に関する研究 — Ceramic bracket と Fiberglass Reinforced Plastic bracket —

山口 和憲, 河田 俊嗣, 吉田 恵, 小田 義仁
京面 伺吾, 森本 徳明, 山内 和夫

Study on Frictional Force between Bracketts and Wires — Ceramic brackets and Fiberglass Reinforced Plastic bracket —

Kazunori Yamaguchi, Toshitugu Kawata, Satoshi Yoshida, Yoshihito Oda,
Shingo Kyomen, Noriaki Morimoto and Kazuo Yamauchi

(平成5年1月20日受付)

序 文

近年, 成人の矯正治療が盛んに行なわれ, 装置自身(ブラケット)の審美性を考慮して, plastic あるいは ceramic bracket が前歯部に用いられている。しかし, stainless steel bracket に比べて plastic あるいは ceramic bracket はワイヤーとの滑りが悪く, 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¹⁻⁴⁾。

著者らは⁴⁻⁸⁾, bracket と wire とのスライディング法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。このような摩擦に関与する一つの因子として, bracket の傾きによって bracket と wire との間に生ずる接触力が考えられる⁹⁻¹⁵⁾。著者らは wire と bracket との間に生ずる接触力に及ぼす要因に bracket の幅に加えて, 矯正力の作用ポイントと歯の抵抗力の大きさが考えられることを報告した。また, もう一つの要因として wire と bracket の接触部の摩擦係数 (μ) が挙げられる。ceramic bracket と stainless steel bracket の wire に対する滑りの違いは表面の円滑さによって説明されているが^{2,3,10,12,13,15,16)}, ceramic bracket の stainless steel wire や Ni-Ti 系 wire に対する摩擦力の違いは表面の円滑さだけでは説明できない^{2,4,15)}。

Kusy ら¹⁶⁾ は ceramic bracket に結紮した wire を牽

引し, bracket の slot 表面に wire に由来した金属屑 (debris) が残留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 の硬さあるいは接触部位の形状などが摩擦力の大小に影響すると考えられる。

本研究では, slot の edge 部分の形状の異なる ceramic bracket の摩擦力の違いを比較検討した。さらに, slot の edge の類似した ceramic bracket と fiberglass reinforced plastic bracket の摩擦力の比較を行なった。

方 法

用いた bracket (図1) は幅 3.2 mm の 0.018×0.025 インチの slot をもち, slot の edge 形態が異なる三種の ceramic bracket と一種の fiberglass reinforced plastic bracket (以下 FRP) である。図2の上段に示す二つの ceramic bracket の主成分は酸化ジルコニウムで, slot の edge に角があるものを CM-e, 丸くなっているものを CM-s とし, 下段左側は酸化アルミニウムを主成分とし, 右側の FRP と同様に slot の edge が直角に近い ceramic bracket を CM-A とした(図2)。Bracket をスライドさせる wire には 0.016×0.016 インチの Stainless steel wire (3M-ユニテック社)を用いた。Bracket の固定法と牽引方法(牽引ポイントと抵抗荷重)はすでに報告した方法^{5,6)}に従った。

計測した各 bracket の摩擦力に対する抵抗荷重の大きさと矯正力の作用ポイント, さらに bracket 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。

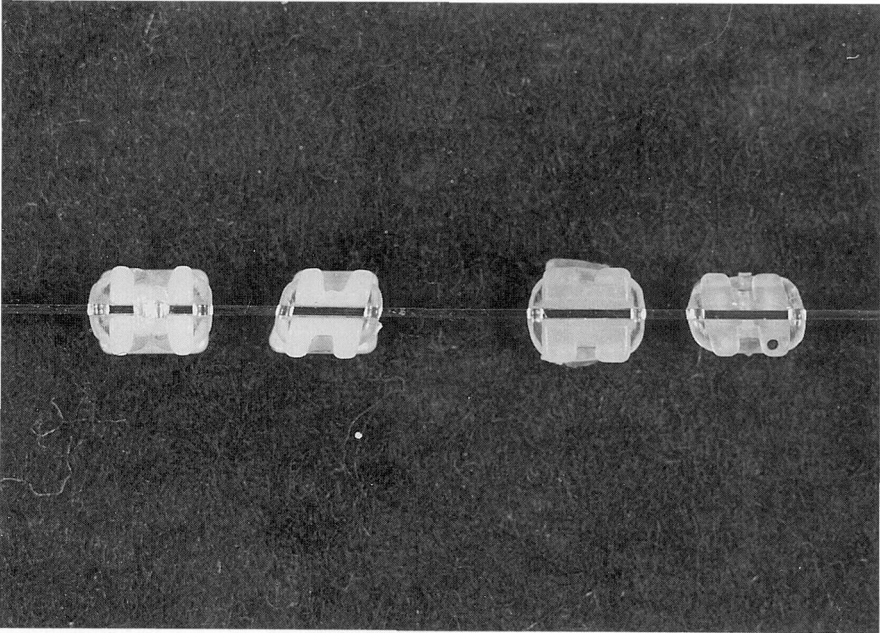


図1 使用した四つの bracket.
左より CM-e, CM-s, CM-A, FRP

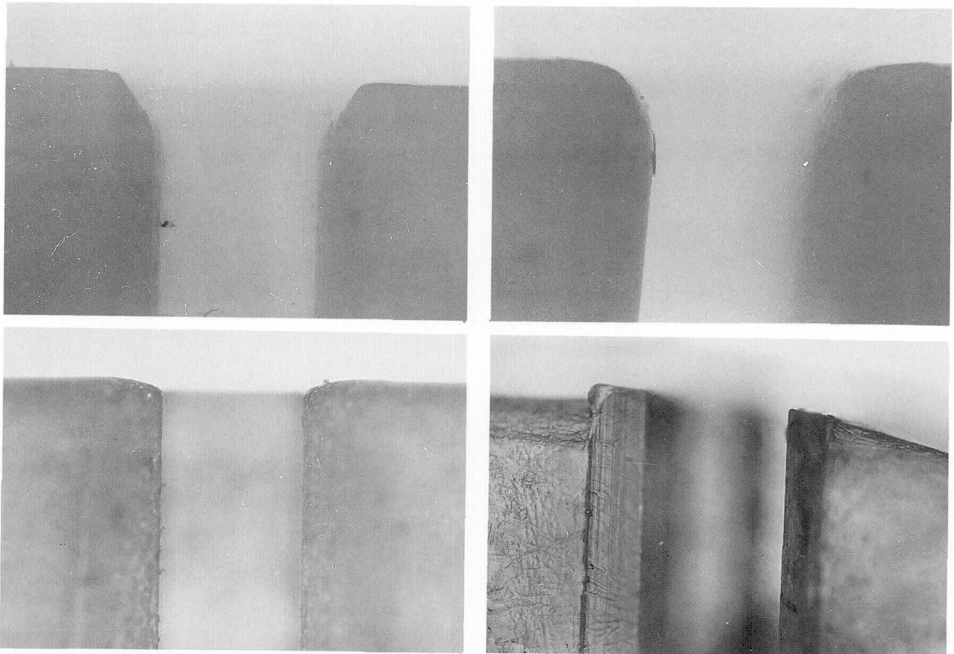


図2 使用した四つの bracket slot の edge の拡大写真 (40倍).
左上: CM-e, 右上: CM-s, 左下: CM-A, 右下: FRP

なお、CM-e の摩擦力はすでに報告した結果⁶⁾を用いた。

結 果

I. 各 bracket の摩擦力に対する矯正力の作用 point の違いと抵抗荷重の大きさの影響

図3にCM-sとCM-e、図4にCM-AとFRPの摩擦力を牽引 point と抵抗荷重の大きさごとに示している。すでに報告した stainless steel bracket や Friction free bracket, Activa の摩擦力と同様にいずれの ceramic bracket においても bracket に近い point 2 の牽引では抵抗荷重の大きさが増加すると共に摩擦力は増加する傾向を示し、抵抗中心に近い point 3 の牽引では逆に抵抗荷重が増加するとともに摩擦力は減少していた。しかし、FRP ではいずれの牽引 point においても抵抗荷重の増加と共に摩擦力が増加していた。さらに、CM-e 及び CM-A では抵抗荷重が 100 g の場合、point 2 を牽引するより point 3 を牽引の方が大きな摩擦力を示し、抵抗荷重が 400 g の場合には逆に point 3 を牽引の方が摩擦力が小さかった。一方、CM-s ではいずれの抵抗荷重においても point 3 を牽引の方が摩擦力が大きく、FRP ではいずれの抵抗荷重においても point 3 を牽引の方が point 2 より摩擦力が小さかった。

II. CM-e と CM-s との摩擦力の比較

図5のCM-eとCM-sの摩擦力を比較すると、

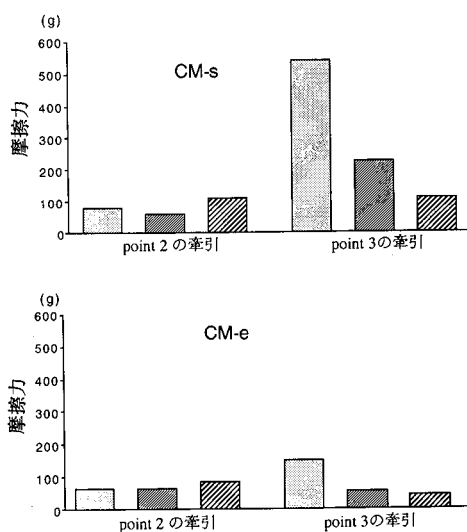


図3 組成が同じ(酸化ジルコニウム) ceramic bracket の摩擦力。
□：抵抗荷重；100 g, ■：抵抗荷重；200 g, ▨：抵抗荷重；400 g

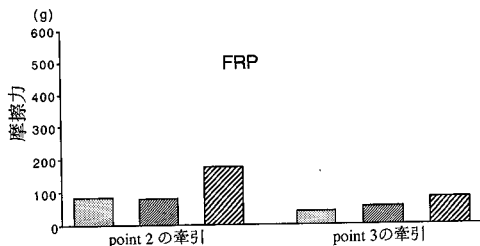
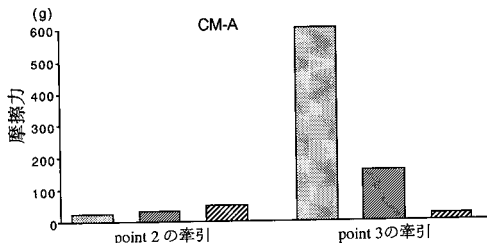


図4 CM-A (酸化アルミニウム) と FRP の摩擦力。
□：抵抗荷重；100 g, ■：抵抗荷重；200 g, ▨：抵抗荷重；400 g

いずれの牽引 point 及び抵抗荷重の大きさにおいても CM-e の摩擦力が CM-s のそれより有意に小さかった。

III. CM-A と FRP の摩擦力の比較

図6にCM-AとFRPの摩擦力の比較を示した。point 2 の牽引では FRP の摩擦力が CM-A のそれより大きく、point 3 では抵抗荷重が CM-A のそれより大きく、point 3 では抵抗荷重が 100 g 及び 200 g の場合には FRP の摩擦力が CM-A のそれより小さかった。また、抵抗荷重が 400 g の場合には、FRP の摩擦力が CM-A より大きかった。

考 察

Bracket と wire の間に生ずる摩擦力は、両者間の接触部位での接触力と摩擦係数に依存していることが知られている。著者らは⁵⁻⁸⁾、bracket の中心あるいは抵抗中心の位置に対する矯正力の作用 point の違いと抵抗荷重の大きさが、bracket と wire の間の接触力に大きく関与すると考え、各種 bracket を用いて摩擦力を検討してきた。

今回、ceramic bracket の stainless steel wire に対する摩擦力が、既報の stainless steel bracket⁶⁻⁸⁾ や摩擦力を抑える為に考案された Friction free bracket 及び Activa⁵⁾ などの摩擦力と同様に、矯正力の作用 point と抵抗荷重の大きさの影響を受けることがわかった。

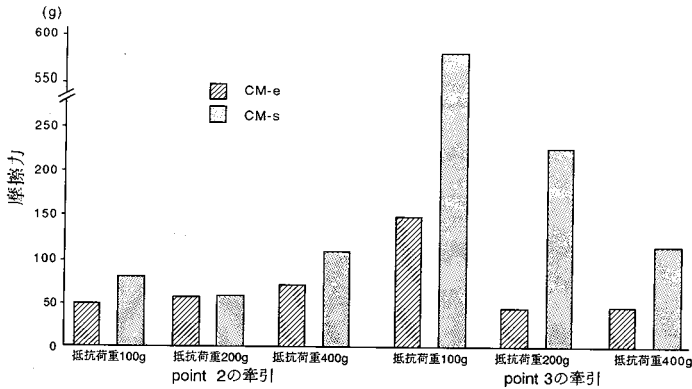


図5 slotのedgeの異なるceramic bracket (CM-e, CM-s)の摩擦力。

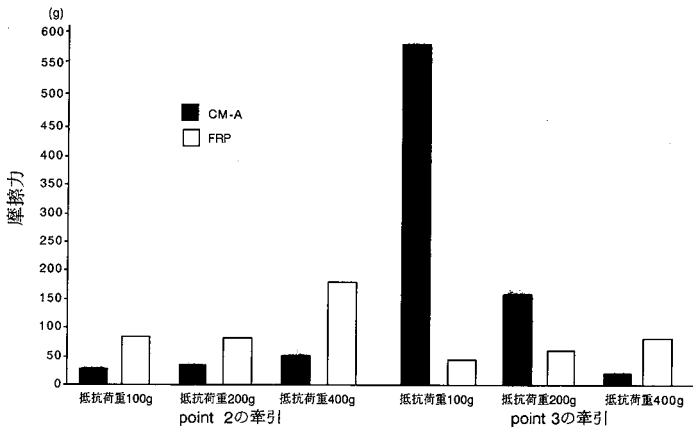


図6 ceramic bracket (CM-A)とFRPの摩擦力。

すなわち、小さい抵抗荷重では point 2 を牽引した方が、また大きな抵抗荷重では point 3 を牽引した方が摩擦力が小さかった。しかし、FRP ではこれらの二つの要因の影響は明かではなかった。Ceramic bracket は stainless steel bracket に比べ摩擦力が大きいのといわれ、Pratten²⁾、Kusy ら³⁾ は bracket slot の表面の円滑さをその理由に挙げている。著者らは⁶⁾、stainless steel wire に対する組成の異なる二種類の ceramic bracket と stainless steel bracket の摩擦力を比較し、各 bracket の摩擦力の大小は矯正力の作用 point あるいは抵抗荷重の大きさによって左右されることがわかった。また、Kusy ら¹⁶⁾ は wire 牽引後 bracket slot 内に残留する金属片を見出している。これは ceramic bracket の slot の edge によって wire の一部が削りとられたのではないかと推察され、bracket slot と wire の接触部位の性状が摩擦力に影響を及ぼすのではないとも考えられる。

そこで、本研究では bracket slot の edge の形状が

摩擦力にどのような影響を与えているか、組成の同じ ceramic bracket で検討した。図2に示したように、CM-e の slot の edge は slot に対して45度に角がとられており、CM-s ではさらにその面が丸く処理してある。CM-e と CM-s の摩擦力を比較すると、slot の edge が丸くなっている CM-s の摩擦力がいずれの牽引 point 及び抵抗荷重においても大きかった。CM-e と CM-s の摩擦力の差は特に、100 g 荷重で point 3 を牽引した場合に大きかった。この時の wire に対する歯の長軸の傾斜は牽引方向であり(図7)、bracket と wire の接触力が最も大きいと考えられる。一方、400 g 抵抗荷重で point 2 を牽引した時には wire に対する歯の長軸は傾斜は牽引方向とは逆となる(図7)。このような wire と bracket の接触状態は、bracket slot の edge の形状にも左右されると考えられ、bracket の slot edge の形状の異なる二つの ceramic bracket の摩擦力に差が現れたと推察される。

次に、slot の edge の構造がほぼ類似する ceramic

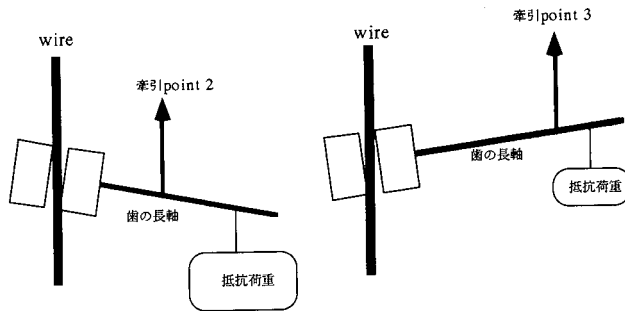


図7 牽引 point と抵抗荷重の大きさによる wire に対する歯の長軸の傾きの変化。

bracket (CM-A) と FRP を比較すると、牽引 point と抵抗荷重の大きさによって両者の摩擦力に差が見られた。特に、100 g の抵抗荷重で point 3 を牽引した場合には CM-A の摩擦力が FRP のそれよりはるかに大きかった。このときの wire に対する歯の長軸の傾斜の方向を考えると、前述の CM-e と CM-s の摩擦力の比較のように、100 g の抵抗荷重で point 3 を牽引した場合には、歯の長軸は上方に向き、bracket を牽引していく方向に対する bracket と wire の接触様相が異なることがわかる。また、CM-A の組成は酸化アルミニウム (Al_2O_3 : アルミナ) であり stainless steel bracket 及び FRP よりも硬さにおいて勝っている¹⁷⁻¹⁹⁾。このため、接触力が大きくなる牽引方法に加え、接触面の円滑さ及び硬さが要因として働き、この牽引方法で CM-A の摩擦力の方が大きくなったと考えられる。

ま と め

Bracket slot の edge の形状の異なる同種の ceramic bracket の摩擦力の比較、及び slot 形状のほぼ等しい ceramic bracket と fiberglass reinforced plastic bracket の摩擦力の比較から、以下の結果を得た。

1. いずれの ceramic bracket においても、摩擦力に与える牽引 point の違い及び抵抗荷重の大きさの影響はすでに報告した各種の bracket のそれに対するものと同様であった。

2. Slot edge の丸い ceramic bracket の摩擦力は edge の角張った同種の bracket のそれよりも大きかった。特に、それは抵抗荷重 100 g で point 3 を牽引したときに顕著であった。

3. Slot edge の形状の類似する ceramic bracket (CM-A) と fiberglass reinforced plastic bracket (FRP) では、point 2 を牽引した場合に FRP の摩擦力が CM-A より大きかった。しかし、point 3 を牽引した場合には CM-A の摩擦力が大きく、特に抵抗荷重 100 g

でその差が顕著であった。

以上のことより、bracket と wire との間の摩擦力には抵抗荷重の大きさ及び牽引 point の違いと、接触部位での bracket slot の性状が関与していると考えられた。

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. and Dentofac. Orthop.* **98**, 499-506, 1990.
- 2) Pratten, D.H., Popil, K., Germane, N. and Gunsolley, J.C.: Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am. J. Orthod. and 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. and 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. and Dentofac. Orthop.* **90**, 199-203, 1986.
- 5) 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**, 263-272, 1992.
- 6) 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—セラミックブラケットとステンレスブラケットの比較—. *広大歯誌* **24**, 273-280, 1992.
- 7) 小田義仁, 森本徳明, 山口和憲, 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—幅径の異なる三種類のステンレスブラケットの摩擦力の比較—. *中四国矯歯誌* **4**, 印刷中, 1992.

- 8) 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.
- 9) Nicolls, J.: Frictional forces in fixed orthodontic appliances. *Dent. Pract (Trans BSSO)*. 18, 362-366, 1968.
- 10) 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.
- 11) Tidy, D.C.: Frictional force in fixed appliances. *Am. J. Orthod. and Dentofac. Orthop.* 96, 249-254, 1989.
- 12) 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. and Dentofac. Orthop.* 98, 117-126, 1990.
- 13) Drescher, D., Bourauel, D.P. and Schumacher, H.: Frictional force between bracket and arch wire. *Am. J. Orthod. and Dentofac. Orthop.* 96, 397-404, 1989.
- 14) 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.
- 15) Andreasen, G.F. and Quevedo, F.R.: Evaluation of friction forces in the $0.022" \times 0.028"$ edgewise bracket in vitro. *J. Biomech.* 3, 151-160, 1970.
- 16) 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.
- 17) 青木秀希: インプラント用セラミックの材料科学, 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.
- 18) Westbrook, J.H. and Conrad, H.: The science of hardness testing and its research application. *Metals Park, Ohio, USA*, 121, 254, 1973.
- 19) Kusy, R.P.: Morphology of polycrystalline alumina bracket and its relationship to fracture toughness and strength. *Angle Orthod.* 58, 197-204, 1988.