

最小応力のクラスプ形態に関する研究

— 必要な曲げ剛性を有するクラスプの寸法の決定法 —

湯浅 良孝, 佐藤 裕二, 赤川 安正
大川 周治, 久保 隆靖, 釜山 憲二
長澤 亨*, 津留 宏道**

A study on the Form of the Clasp with Minimum Stress

— A Selection Method on the Dimension of the Clasp with Necessary Stiffness —

Yoshitaka Yuasa, Yuuji Sato, Yasumasa Akagawa, Shuji Ohkawa, Takayasu Kubo,
Kenji Kamayama, Tooru Nagasawa and Hiromichi Tsuru

(平成 7 年 2 月 13 日 受付)

緒 言

クラスプが変形や破折を起こさずに一定の維持力を保持する要件には、義歯着脱時のクラスプのたわみが弾性限界内に収まるような形態をクラスプに付与すること¹⁾と金属疲労の影響を考慮すること^{2,3)}などが挙げられる。これらの要件の達成にはクラスプに生じる応力を可及的に小さくすることがきわめて重要となる。そこで、クラスプに生じる応力が最小となる形態を明確にすることは、クラスプの最適形態を設計するうえできわめて意義深い。

従来よりクラスプに生じる応力を最小にするために、均一な応力分布を示すクラスプの形態が検討されてきた⁴⁻¹¹⁾。しかし、いずれの研究もクラスプの曲げ剛性を一定にした検討を行っていないため、必要な曲げ剛性を有しながら応力が最小となる形態に関しては不明のままである。

著者らはクラスプの曲げ剛性と形態との関係を定量化した近似式¹²⁾を用いて一定の曲げ剛性を有するクラスプを比較することにより、テーパー比(クラスプ鉤腕の先端と基部の寸法比)および断面形態の影響について検討し、テーパー比が約0.8の時に応力が最小

となること、さらに断面形態を薄く幅広くすることで応力を小さくすることが可能であることなどを明らかにした¹³⁾。本研究では、この近似式¹²⁾と有限要素解析を用いることにより、応力が最小となる形態のクラスプについて、必要な曲げ剛性を有する寸法を求めることにした。

材料ならびに方法

クラスプの形態に影響を与えるパラメータとして鉤腕の基部の厚さ(t_1)、先端の厚さ(t_2)、基部の幅(w_1)、先端の幅(w_2)、曲げ剛性(クラスプ先端を1mm変位させるのに必要な荷重、以下Fdと略する)¹⁴⁾、曲率半径(R)、曲率角度(C)およびヤング率(E)を設定した。

クラスプの曲げ剛性は以下に示す近似式を用いた¹²⁾。

$$Fd = \frac{E \cdot (t_1^{1.87} \cdot t_2^{0.72} \cdot w_1^{0.70} \cdot w_2^{0.30})}{K' \cdot R^{2.50} \cdot C^{1.70}} \dots\dots\dots (1)$$

$$K' = 18.82 \text{ (mm}^{0.09}\text{)}$$

ここでは、クラスプの断面形態を T/W ratio (= $t_1/w_1, t_2/w_2$)、テーパー比を taper (= $t_2/t_1, w_2/w_1$) と定義し、さらにクラスプの形態を示す指標として、 w_1 を選択し、これを他の6つのパラメータによる関数として表現することで、クラスプの形態を規定した。(1)式は4つの形状パラメータ (t_1, t_2, w_1, w_2) を独立して変化させることができるものの、本解析では

広島大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 赤川安正教授)

* 朝日大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 長澤 亨教授)

** 広島大学名誉教授

クラスプの断面形態をすべて相似型とした。この仮定のもとでは、

$$\begin{aligned}
 t_1 &= w_1 \cdot T/W \text{ ratio,} \\
 t_2 &= w_1 \cdot \text{taper} \cdot T/W \text{ ratio,} \\
 w_2 &= w_1 \cdot \text{taper}
 \end{aligned}$$

と表すことができ、4つの形状パラメータ (t_1, t_2, w_1, w_2) を3つのパラメータ (taper, T/W ratio, w_1) で表現できた。すなわち、クラスプの Fd は taper, T/W ratio, w_1, R, C および E の6つのパラメータで表せた。この仮定のもとで式(1)を w_1 について解き、

$$w_1 = 3.59 \sqrt{\frac{Fd \cdot K' \cdot R^{2.50} \cdot C^{1.70}}{E \cdot (T/W \text{ ratio})^{2.59} \cdot \text{taper}^{1.02}}} \dots\dots (2)$$

$$K' = 18.82 \text{ (mm}^{0.09}\text{)}$$

となる。

さらに、乗数を整理し、定数 K' および taper を定数 $K1$ にまとめ、

$$w_1 = K1 \cdot \frac{Fd^{0.28} \cdot R^{0.70} \cdot C^{0.47}}{(T/W \text{ ratio})^{0.72} \cdot E^{0.28}} \dots\dots\dots (3)$$

$$K1 = 3.59 \sqrt{\frac{18.82}{\text{taper}^{1.02}}}$$

を算出した。

さらに、式(3)を以下のように近似的変換した。

$$\begin{aligned}
 w_1 &= K2 \cdot \frac{Fd^{0.25} \cdot R^{0.75} \cdot C^{0.50}}{(T/W \text{ ratio})^{0.75} \cdot E^{0.25}} \dots\dots\dots (4) \\
 &= K2 \cdot \sqrt[4]{\frac{Fd \cdot R^3 \cdot C^2}{(T/W \text{ ratio})^3 \cdot E}}
 \end{aligned}$$

w_1 を決定する6つのパラメータの中で、式(3)および(4)には、T/W ratio, Fd, R, C, E の5つのパラメータが含まれている。したがって、残るパラメータ taper により比例定数 $K1$ および $K2$ が決まる。そこで、taper を0.8とした場合の式(4)の比例定数 $K2$ を以下の手順で有限要素解析を用いて求めた。有限要素モデルおよび解析条件は以前報告したもの¹²⁾を用いた。

有限要素解析では各パラメータ (taper, T/W ratio,

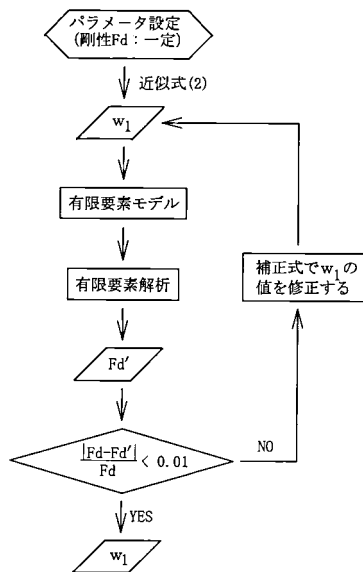


図1 クラスプの曲げ剛性 (Fd) が一定である場合のクラスプの基部の幅 (w_1) を得るためのアルゴリズム

Fd, R, C, E) を表1のように設定し、この全ての組み合わせについて計算を行った。計算には、図1のフローチャートに示すアルゴリズムを用いた。まず、近似式(2)を用いて、taper, T/W ratio, R, C, E を設定した時に、一定の Fd を有するクラスプの w_1 を求めた。その後、この形態のクラスプに対して有限要素解析を行い、曲げ剛性 Fd' を求めた。最初に設定した Fd と有限要素解析で求めた Fd' との間には、近似式(2)の誤差¹²⁾に基づく若干の相違がある場合があるので、より解析の精度を高めるため、クラスプの w_1 の値を補正式により補正することによりモデルの形態を変更して有限要素解析を再度行い、曲げ剛性 Fd'' を求めた。こうして得られた Fd'' は最初に設定した Fd と極めて近似した値を示す。本解析では、最初に設定した Fd と、有限要素法から計算された曲げ剛性 (Fd', Fd'', Fd''', \dots) との差の絶対値を最初に設定した Fd で除したものが、1%以下になるまで w_1 の値の変更を行い計算を繰り返した。このようにして求めた w_1 を式(4)に代入することにより表1の各組に対する $K2$ の値を算出し、その平均値を求めることにより $K2$ の値を求めた。

なお、有限要素プログラムは戸川のプロプログラム¹⁵⁾を参考に著者らが作成し、すべての計算はパーソナルコンピュータ (PC-9801 RA2, 日本電気社製) で行った。

表1 解析条件

taper	0.8	
T/W ratio	0.4,	0.8
Fd (N/mm)	50,	100
R (mm)	4,	5
C (°)	110,	130
E (GPa)	100,	200

結 果

有限要素解析の計算結果より taper が0.8の場合の式(4)の比例定数 K2 は1.75となった。すなわち、応力が最小となる taper (0.8) を有するクラスプの w_1 は以下の式で求めることが可能であった。

$$w_1 = 1.75 \cdot 4 \sqrt{\frac{Fd \cdot R^3 \cdot C^2}{(T/W \text{ ratio})^3 \cdot E}} \dots\dots\dots (5)$$

なお、本式を用いる場合のパラメータの単位は、Fd が N/mm, R が mm, C が radian, E が MPa である。

また、式(5)により求めた w_1 の値は、0.5%以下の精度で有限要素法による計算結果とよく一致した。

考 察

本研究の結果、応力が最小となる0.8の taper を有するクラスプの形態で、必要な曲げ剛性を有するクラスプの寸法を算出できる式を求められた。

ここでは、クラスプの断面形態はすべて相似形に設定したが、断面形態を相似型としない場合に、厚さの taper と幅の taper が異なるために、解析方法と結果が複雑となり、明確な結論を得ることが困難であるきらいがある。さらに、臨床的に断面形態が相似型でない場合は、最適とされる形態のプラスチックパターンを既製のパターンから見つけることは、実際困難であることも考慮した。

本研究では、まず式変形により式(3)を得、近似的変換を行って式(4)を得た。この式(4)は極めて簡単な式であり、taper を最小応力を示す値である 0.8¹³⁾ として求めた比例定数 K2 を用いた式(5)に、T/W ratio, Fd, R, C, E を代入することにより、求めたいクラスプの w_1 を手計算でも算出でき、これによりクラスプ寸法を決定できる。

以前報告した結果¹³⁾によると、同一の曲げ剛性を有するクラスプでも形態の違いにより応力が異なることが判明している。この応力には taper をパラメータとした場合、極小値が存在し、taper が0.8の場合に、極小となった。そこで本研究では、taper を応力が最小となる0.8として比例定数 K2 を求めた。K2 は有限要素法による計算結果から得た w_1 を、近似式(4)の比例定数以外の項で除したものとして求めた。したがって、式(1)が元来有していた誤差¹²⁾ や式(3)から式(4)への近似的変換で生じた誤差などはこの段階で補正されているとみなしうる。

本研究から最終的に得られた式(5)では、 w_1 はクラスプの taper, T/W ratio, Fd, R, C, E などにより決定される。クラスプの R と C は、支台歯形態により、

また、E は使用する材料によりそれぞれ定まる。さらに、臨床的に必要な維持力と利用できるアンダーカット量から Fd は設定できる。その後、鉤歯の大きさと形態、接触滑走運動などを考慮した上で、T/W ratio をできるだけ小さくなるように設定、式(5)に上記の値を代入することにより、 w_1 が決定できる。この操作で w_1 が得られれば、クラスプの他の形状パラメータ (t_1, t_2, w_2) もすべて定まり、クラスプの寸法が求められることになる。

例えば、R が 4 mm の小臼歯¹⁶⁾ に用いる Co-Cr 合金のエーカースクラスプの寸法は、必要な Fd を 30 N/mm¹⁷⁾、クラスプの設計線から計測した C を 120°, 使用する Co-Cr 合金の E を 218 GPa¹⁸⁾ とし、taper が0.8、T/W ratio が0.5のクラスプパターンを用いると、 t_1 が 0.65 mm, t_2 が 0.5 mm, w_1 が 1.3 mm, w_2 が 1.0 mm となり、実際の臨床で応用が可能となる。

総 括

クラスプの形態と形態に影響を及ぼす各パラメータとの関係について検討した。

その結果、断面形態、曲率半径、曲率角度、ヤング率を設定したとき、応力が最小となる0.8のテーパ比を有するクラスプ形態で、必要な曲げ剛性を有するクラスプの寸法を算出できる式を求めた。

文 献

- 1) Bates, J.F.: The mechanical properties of the cobalt-chromium alloys and their relation to partial denture design. *Br. Dent. J.* 119, 389-396, 1965.
- 2) 松田浩一：クラスプ用金属材料の機械的性質に関する研究 第2報 铸造用クラスプの維持と弾性的性質。口病誌 42, 22-41, 1975.
- 3) 自見 忠, 鬼頭 雅, 城崎泰雄, 平安亮造, 寺田善博：歯科用金属の疲れに関する基礎的研究。補綴誌 26, 267-273, 1981.
- 4) 村松篤良, 安達和子：Cast Clasp の光弾性的応力解析。歯材研報 2, 484-490, 1963.
- 5) The J.M. Ney Company: The ney surveyor manual. the J.M. Ney Company, Bloomfield, 1965.
- 6) 奥野善彦：铸造鉤の形態に関する力学的研究。阪大歯学誌 13, 341-352, 1968.
- 7) Morris, H, Farah, R.G., Craig, R.G. and Hood, A.A.: Stress distribution within circumferential clasps arms. *J. Oral Rehabil.* 3, 387-394, 1976.
- 8) 杉山伸顕：铸造鉤の維持力に関する研究。歯学 52, 97-114, 1964.
- 9) 服部正巳：铸造鉤における永久変形量の推移について。補綴誌 20, 672-688, 1976.

- 10) Morris, H.F., Asgar, K., Brudvik, J.S., Winkler, S. and Roberts, E.P.: Stress-relaxation testing. Part IV: Clasp pattern dimensions and their influence on clasp behavior. *J. Prosthet. Dent.* 80, 319-326, 1983.
- 11) Johnson, D.L., Stratton, R.J. and Duncanson Jr, M.G.: The effect of single plane curvature on half-round cast clasps, *J. Dent. Res.* 62, 833-836, 1983.
- 12) 湯浅良孝, 朝原早苗, 佐藤裕二, 大川周治, 長澤 亨, 津留宏道: クラスプの曲げ剛性と形態に関する有限要素解析 — 鉤腕の曲率角度と曲率半径の影響について —. *広大歯誌* 25, 116-120, 1993.
- 13) 湯浅良孝, 朝原早苗, 佐藤裕二, 大川周治, 長澤 亨, 津留宏道: 有限要素法による環状鑄造鉤の応力解析 — 最小応力を示す鉤の形態について —. 補綴誌 35・85回特別号, 94, 1991.
- 14) Yuasa, Y., Sato, Y., Ohkawa, S., Nagasawa, T. and Tsuru, H.: Finite element analysis of the relationship between clasp dimensions and flexibility. *J. Dent. Res.* 69, 1664-1668, 1990.
- 15) 戸川隼人: マイコンによる有限要素解析. 培風館, 東京, 1982.
- 16) Wheeler, R.C.: A textbook of dental anatomy and physiology. ed. 2, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1958.
- 17) 朝原早苗: 有限要素法を用いた I-bar クラスプの力学的解析. *広大歯誌*, 25, 101-115, 1993.
- 18) Morris, H.F. and Asgar, K.: Physical properties and microstructure of four new commercial partial denture alloys. *J. Prosthet. Dent.*, 33, 36-46, 1975.