



Title	キャストクラスプの維持力に及ぼす鉤歯形態の影響
Author(s)	小野, 高裕
Citation	大阪大学, 1987, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/35335">https://hdl.handle.net/11094/35335</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 小野高裕 論文

(図・表)

86. 5-6



図 1 鉤齒模型

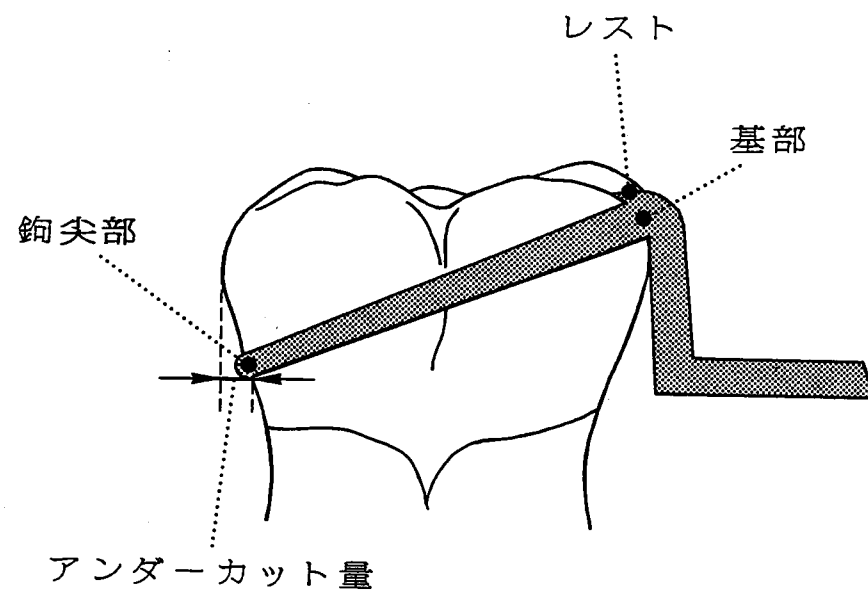


図2 キャストクラスプの形態（側面観）

鉤尖部の断面寸法 (mm)

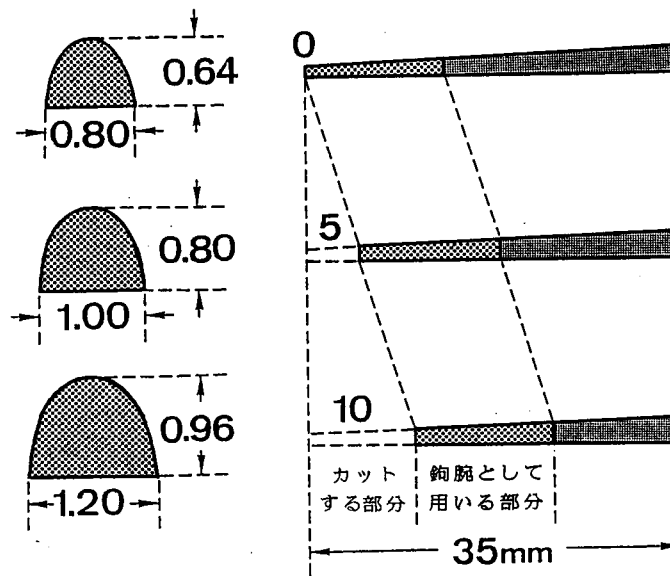


図3 BIOSパターンのカット量と鉤尖部の断面寸法

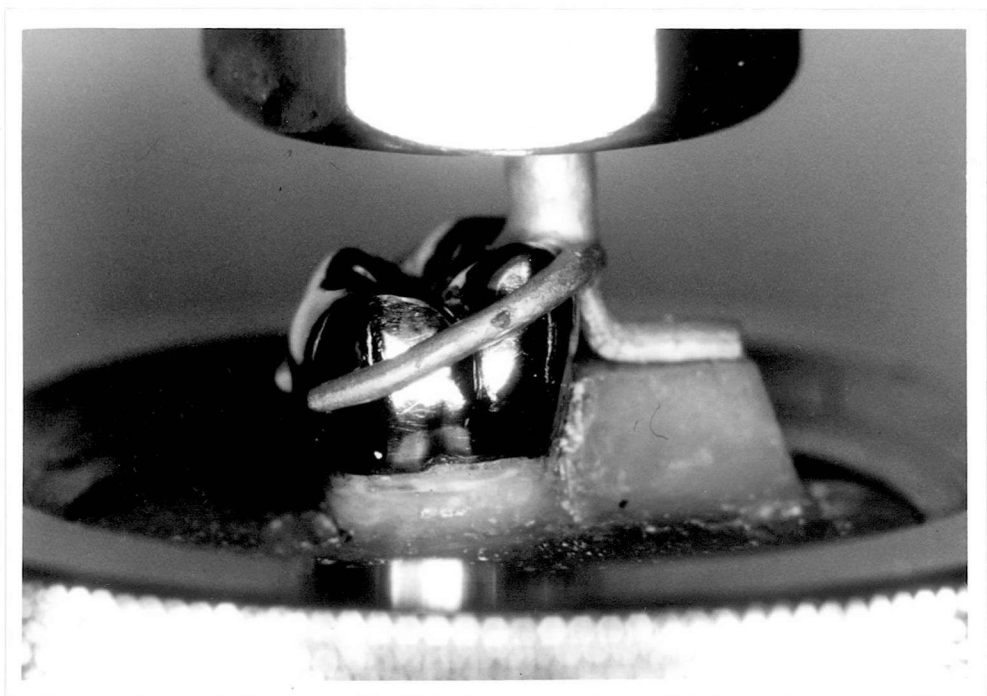


図 4 維持力測定装置に固定したキャストクロスプ

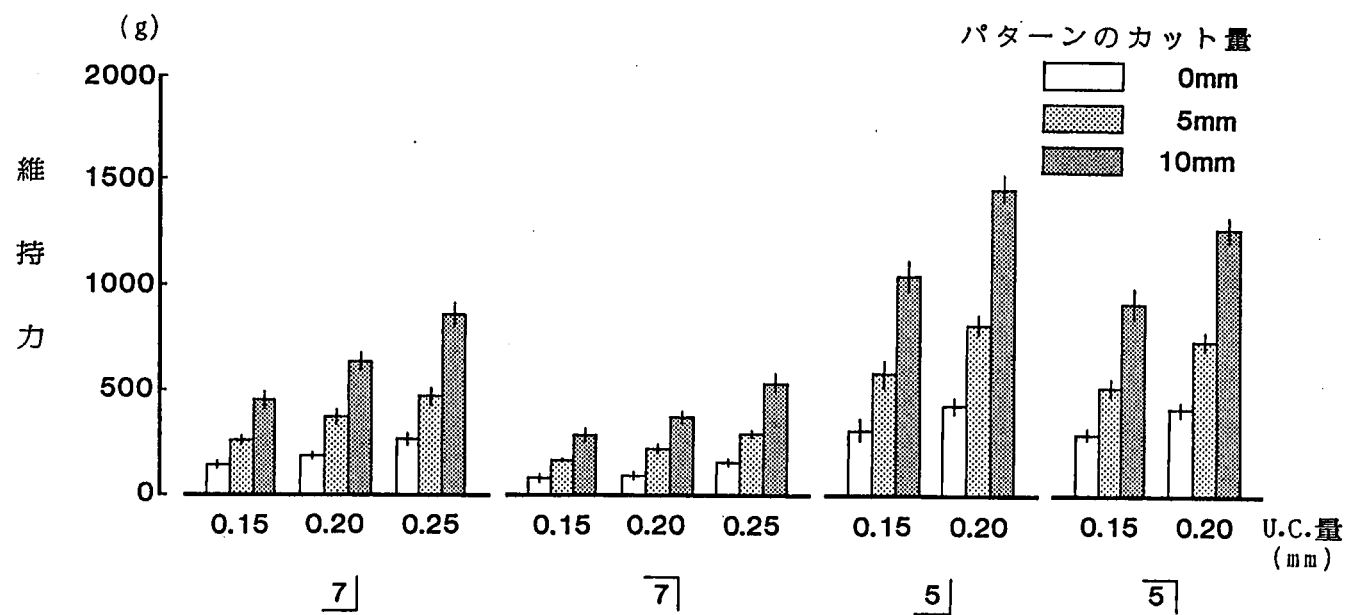


図5 キャストクラスプの維持力  
(u.c.量：鉤尖部のアンダーカット量)

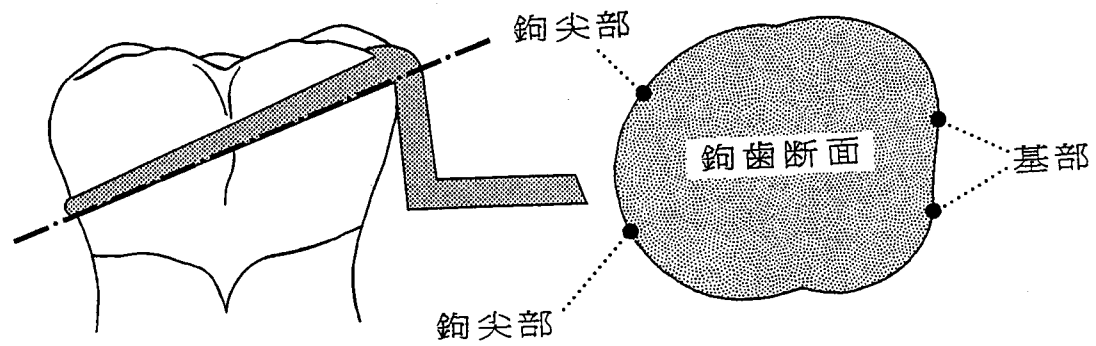


図 6 鉤腕下縁に沿った鉤齒断面



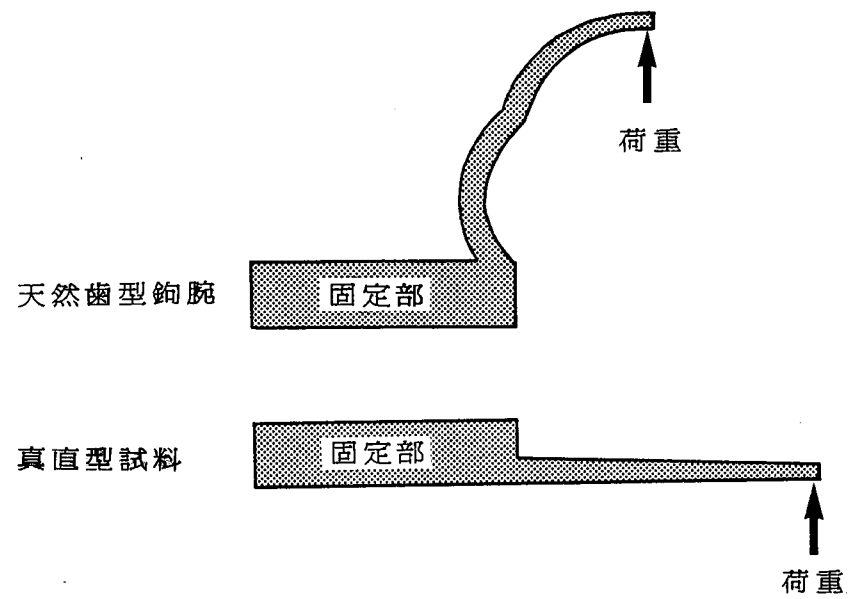


図 7 曲げ試料ならびに荷重方向

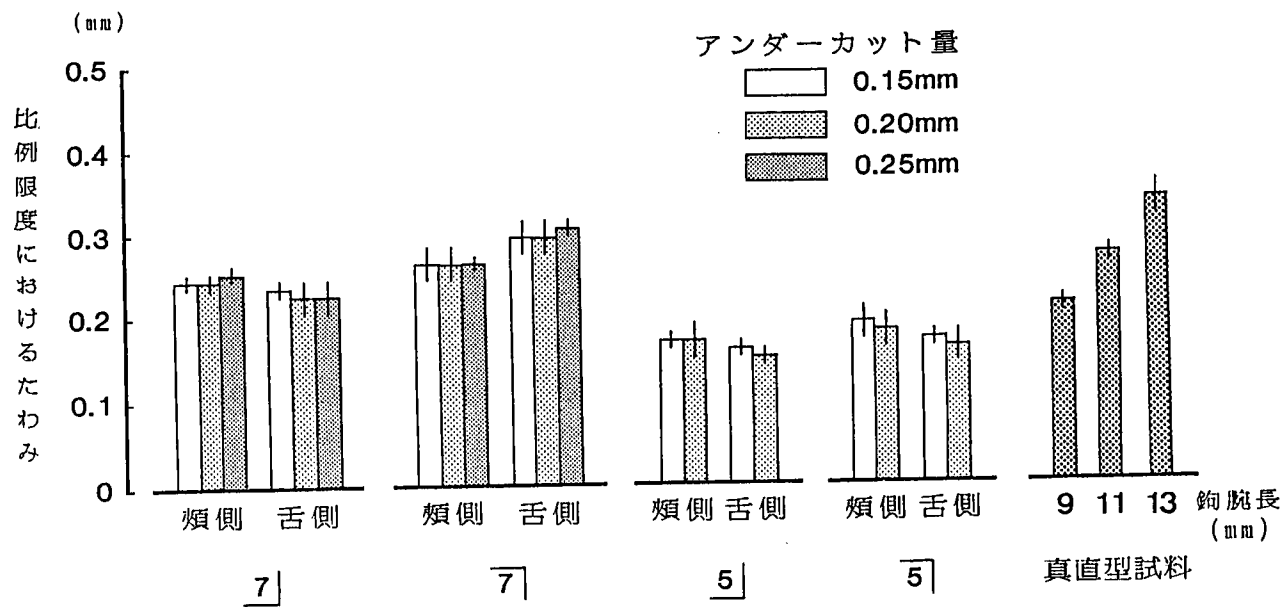


図8 天然歯型鉤腕と真直型試料の比例限度におけるたわみ  
(パターンのカット量 5mm)

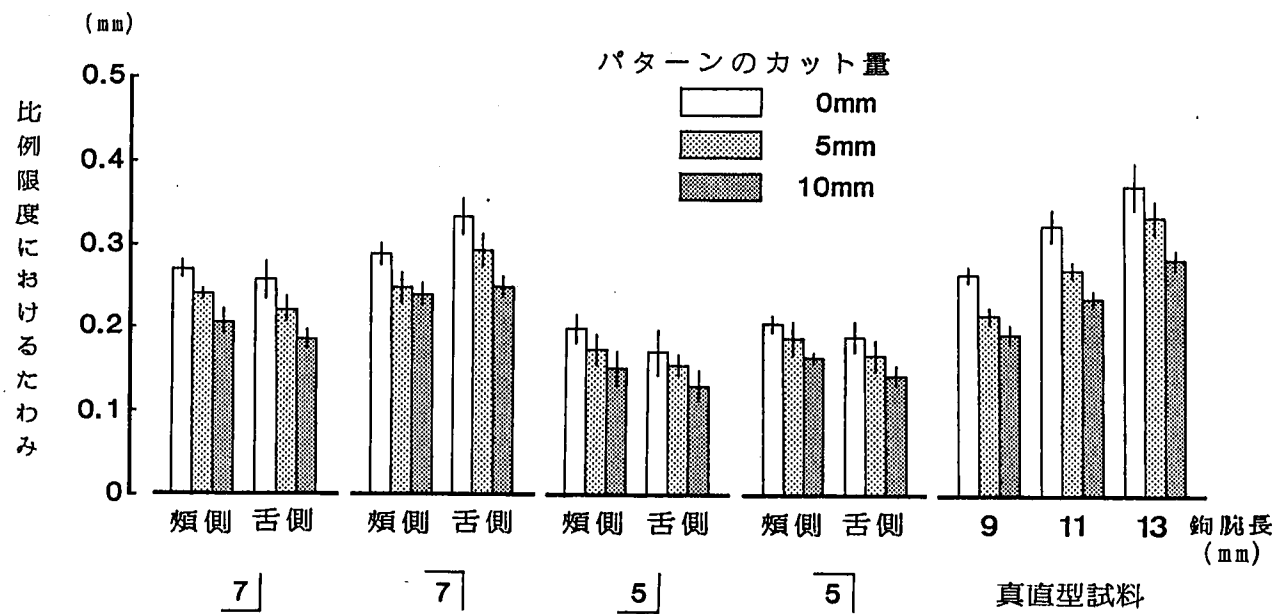


図 9 天然歯型鉤腕と真直型試料の比例限度におけるたわみ  
(アンダーカット量 0.20mm)

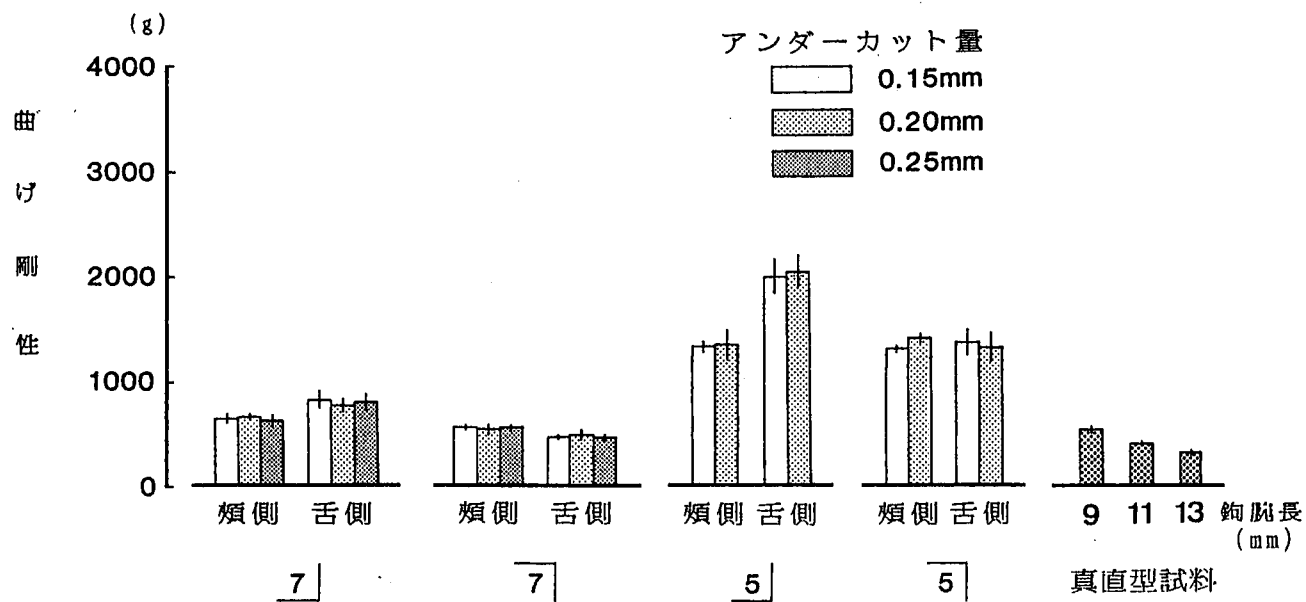


図10 天然歯型鉤腕と真直型試料の曲げ剛性  
(パターンのカット量 5mm)

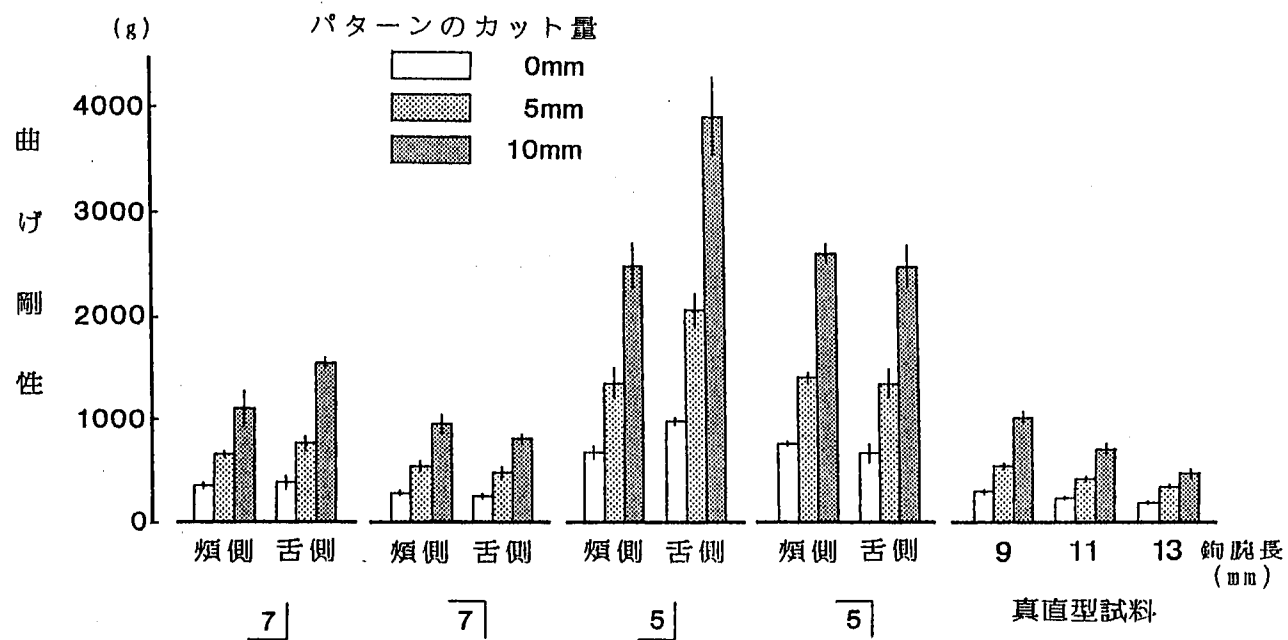


図11 天然歯型鉤腕と真直型試料の曲げ剛性  
(アンダーカット量 0.20mm)

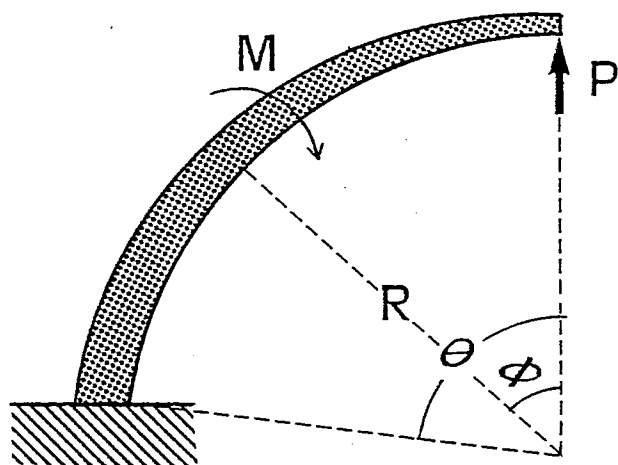
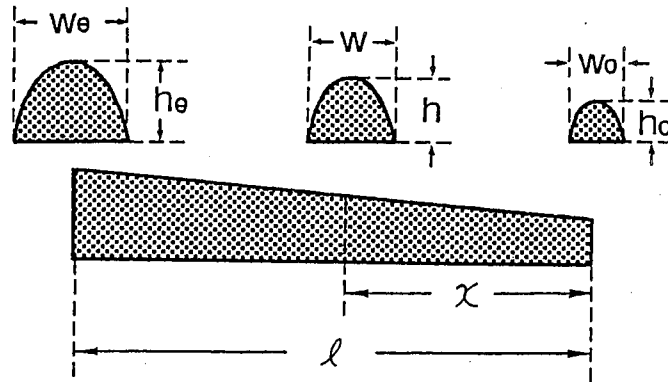


図12 円弧型鉤腕の解析モデル



$l$  : 鉤腕長

$x$  : 中心角 $\phi$ なる鉤腕の長さ

$h_o, w_o$  : 鉤尖部の断面厚さ, 幅

$h_e, w_e$  : 鉤腕基部の断面厚さ, 幅

$h, w$  : 中心角 $\phi$ なる鉤腕の断面厚さ, 幅

図13 鉤腕断面の変化

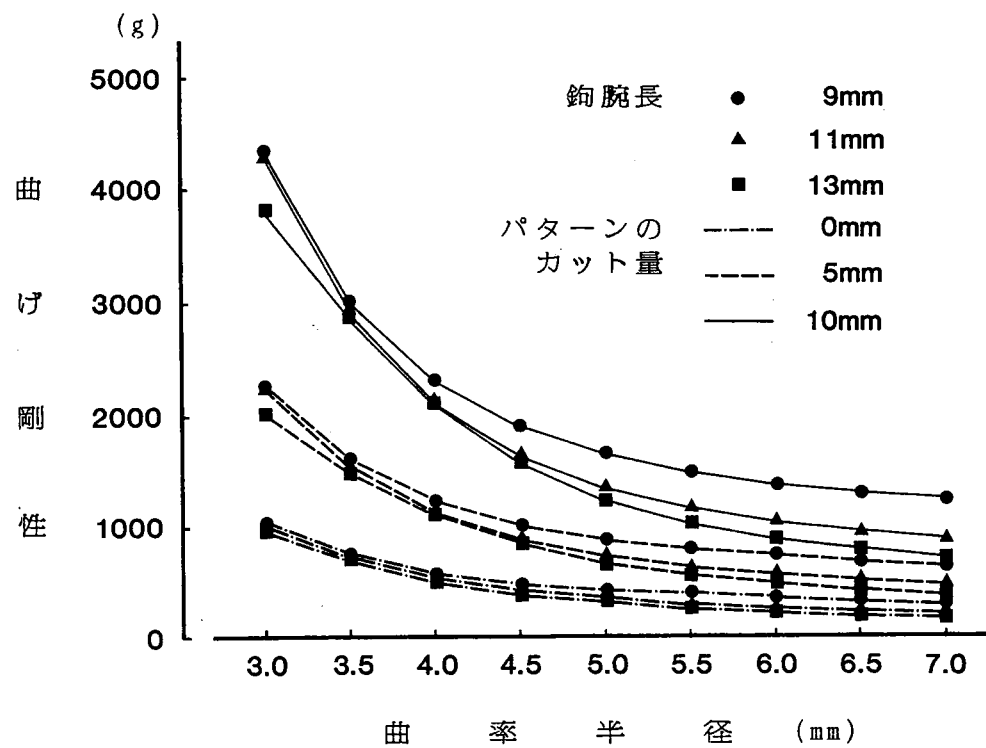
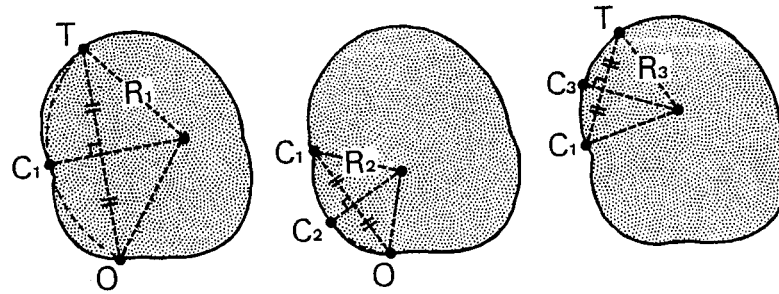


図14 理論式から得た円弧型鉤腕の曲げ剛性に対する各因子の影響





O: 基部 T: 鉤尖部

$C_1, C_2, C_3$ : OT, OC<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>T の各垂直二等分線と鉤齒断面の輪郭の交点

$R_1$ : O, C<sub>1</sub>, T を通る円弧の曲率半径

$R_2$ : O, C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub> を通る円弧の曲率半径

$R_3$ : C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, T を通る円弧の曲率半径

図 15 鉤腕の彎曲の分析方法

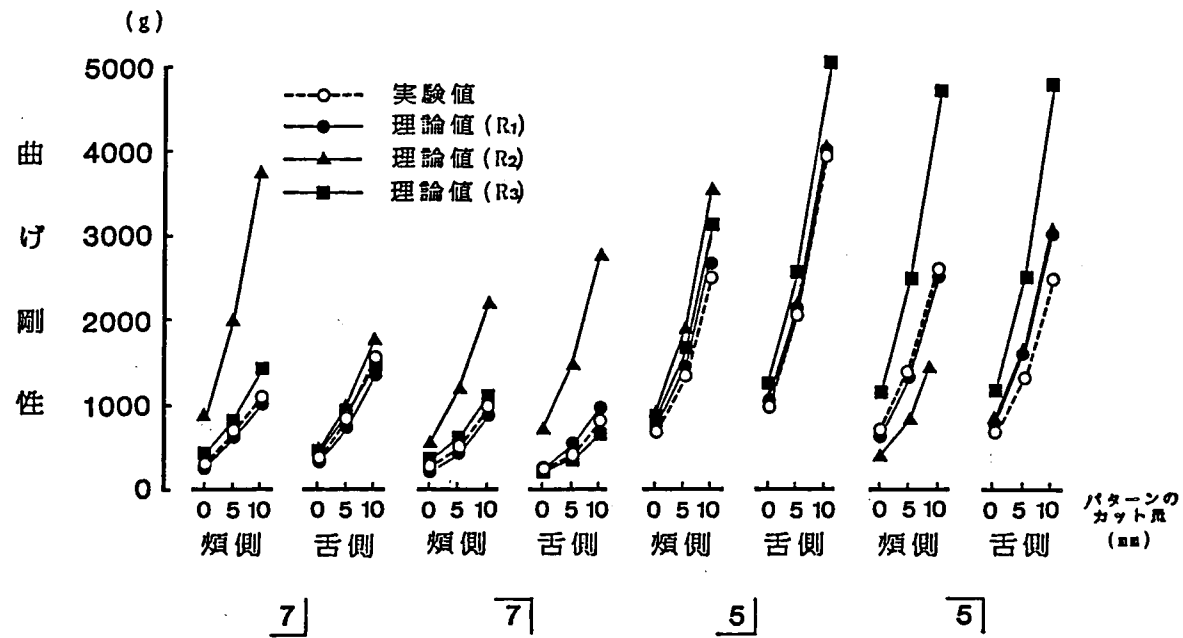


図16 曲げ剛性の実験値と理論値との比較

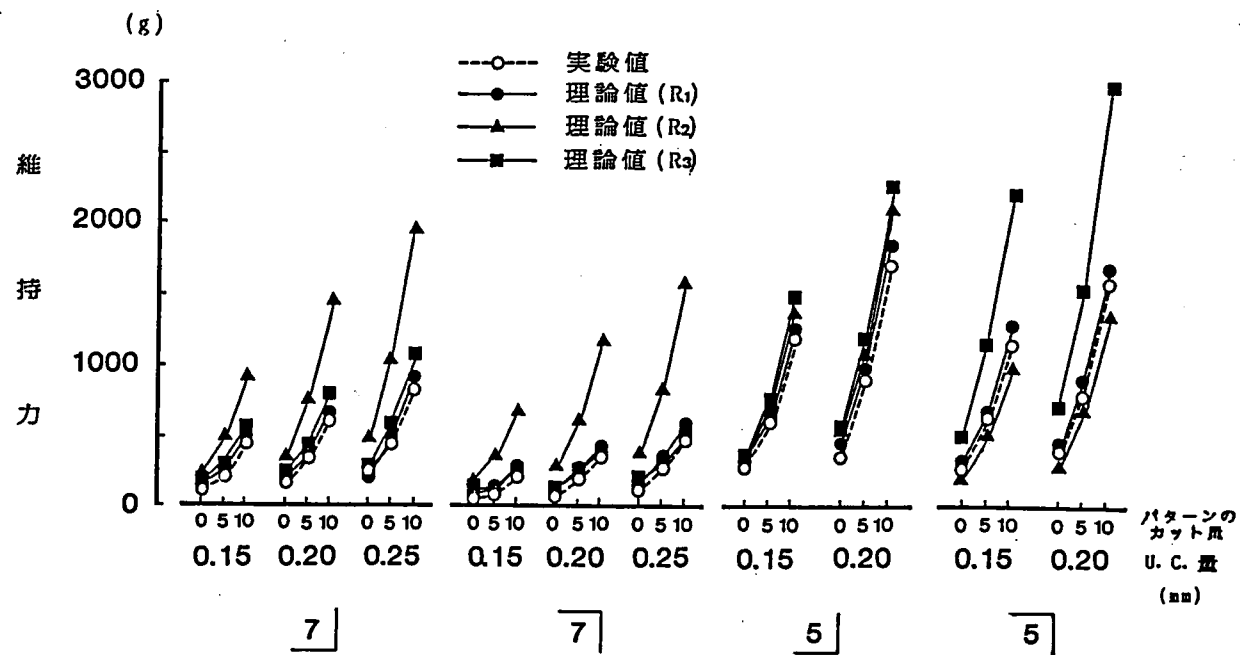


図17 維持力の実験値と理論値との比較  
(u.c.量：鉤尖部のアンダーカット量)

表1 キャストクラスプの設計条件

鉤 歯		鉤 腕 長	アンダーカット量	パターンのカット量
7	頬側	1 3	0 . 1 5	0 5 1 0
	舌側		0 . 2 0	
7	頬側		0 . 2 5	
	舌側			
5	頬側	1 1	0 . 1 5 0 . 2 0	
	舌側	9		
5	頬側	1 1		
	舌側	9		

(mm)

表 2 各鉤腕の断面寸法

パターンの カット量  鉤腕長	0 mm				5 mm				10 mm			
	鉤尖部		基部		鉤尖部		基部		鉤尖部		基部	
	幅	厚	幅	厚	幅	厚	幅	厚	幅	厚	幅	厚
9	0.80	0.64	1.16	0.93	1.00	0.80	1.45	1.16	1.20	0.96	1.74	1.39
11			1.24	0.99			1.55	1.24			1.86	1.49
13			1.32	1.06			1.65	1.32			1.98	1.58

( m m )

表3 各鉤歯におけるキャストクラスプの維持力 (g)

鉤 歯		7]			7]			5]		5]	
アンダーカット量		0.15	0.20	0.25	0.15	0.20	0.25	0.15	0.20	0.15	0.20
パターン の カット量	0mm	117 (17)	168 (17)	245 (30)	68 (19)	99 (16)	145 (18)	299 (53)	419 (38)	284 (28)	406 (36)
	5mm	242 (22)	352 (36)	472 (39)	133 (6)	202 (18)	282 (16)	568 (63)	804 (47)	506 (43)	727 (43)
	10mm	434 (41)	619 (43)	844 (53)	252 (4)	360 (27)	524 (43)	1038 (71)	1447 (63)	909 (70)	1258 (56)

( ) 内は S . D .

表4 天然歯型鉤腕の比例限度におけるたわみ（パターンのカット量5mmの場合：mm）

鉤歯 アンダー カット量	7]		7]		5]		5]	
	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側
0.15 mm	0.24 (0.01)	0.23 (0.01)	0.26 (0.02)	0.29 (0.02)	0.17 (0.01)	0.16 (0.01)	0.19 (0.02)	0.17 (0.01)
0.20 mm	0.24 (0.01)	0.22 (0.02)	0.26 (0.02)	0.29 (0.02)	0.17 (0.02)	0.15 (0.01)	0.18 (0.02)	0.16 (0.02)
0.25 mm	0.25 (0.01)	0.22 (0.02)	0.26 (0.01)	0.30 (0.01)	—	—	—	—

（ ）内はS. D.

表5 天然歯型鉤腕の比例限度におけるたわみ（鉤尖部のアンダーカット量0.20mmの場合：mm）

鉤 歯 パターンの カット量	<u>7</u>		<u>7</u>		<u>5</u>		<u>5</u>	
	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側
0 mm	0.27 (0.01)	0.25 (0.02)	0.29 (0.01)	0.33 (0.02)	0.19 (0.02)	0.17 (0.03)	0.20 (0.01)	0.19 (0.02)
5 mm	0.24 (0.01)	0.22 (0.02)	0.26 (0.02)	0.29 (0.02)	0.17 (0.02)	0.15 (0.01)	0.18 (0.02)	0.16 (0.02)
10 mm	0.20 (0.02)	0.18 (0.01)	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)	0.15 (0.02)	0.13 (0.02)	0.16 (0.01)	0.14 (0.01)

（ ）内はS. D.



表 6 真直型試料の比例限度におけるたわみ (mm)

長さ パターンの カット量	9 mm	11 mm	13 mm
0 mm	0.26 (0.01)	0.32 (0.02)	0.37 (0.03)
5 mm	0.21 (0.01)	0.27 (0.01)	0.33 (0.02)
10 mm	0.19 (0.01)	0.23 (0.01)	0.28 (0.01)

( ) 内は S . D .

表7 天然歯型鉤腕の曲げ剛性（パターンのカット量5mmの場合：g）

鉤齒 アンダー カット量	7		7		5		5	
	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側
0.15 mm	614 (22)	789 (90)	538 (17)	435 (15)	1297 (59)	1983 (166)	1322 (36)	1350 (122)
0.20 mm	619 (26)	738 (58)	514 (42)	442 (52)	1314 (141)	2025 (161)	1402 (43)	1302 (150)
0.25 mm	601 (56)	766 (78)	523 (16)	436 (33)	—	—	—	—

( )内はS. D.

表 8 天然歯型鉤腕の曲げ剛性（鉤尖部のアンダーカット量0.20mmの場合：g）

鉤 歯 バターの カット量	7		7		5		5	
	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側	頬側	舌側
0 m m	326 (33)	351 (55)	254 (24)	217 (11)	648 (51)	925 (41)	718 (24)	619 (85)
5 m m	619 (26)	738 (58)	514 (42)	442 (52)	1314 (141)	2025 (161)	1402 (43)	1302 (150)
10 m m	1083 (178)	1528 (57)	924 (89)	787 (39)	2457 (231)	3886 (367)	2580 (83)	2449 (203)

（ ）内は S . D .

表9 真直型試料の曲げ剛性 (g)

長さ パターンの カット量	9 m m	11 m m	13 m m
0 m m	233 (5)	189 (18)	147 (9)
5 m m	497 (30)	412 (21)	287 (18)
10 m m	897 (34)	638 (46)	458 (34)

( ) 内は S . D .

表10 各鉤腕における円弧の曲率半径

鉤 齒		アンダー カット量	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	鉤 齒		アンダー カット量	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
7	頬 側	0.15	5.45	2.93	4.87	5	頬 側	0.15	3.58	3.19	3.29
		0.20	5.38	3.05	4.74			0.20	3.64	3.26	3.43
		0.25	5.38	3.06	4.68			0.25	—	—	—
	舌 側	0.15	4.97	4.27	4.49		舌 側	0.15	3.01	3.13	2.81
		0.20	4.87	4.32	4.68			0.20	3.06	3.06	2.81
		0.25	4.87	4.26	4.59			0.25	—	—	—
7	頬 側	0.15	6.44	3.82	5.47	5	頬 側	0.15	3.85	5.04	2.88
		0.20	6.73	3.96	5.41			0.20	3.80	4.90	2.88
		0.25	6.53	4.03	5.52			0.25	—	—	—
	舌 側	0.15	5.69	3.73	7.46		舌 側	0.15	3.58	3.62	3.06
		0.20	5.70	3.59	7.46			0.20	3.52	3.50	2.90
		0.25	5.75	3.71	7.38			0.25	—	—	—

( m m )

表11 天然歯におけるキャストクラスプの維持力の実験値と理論値の比較 (g)

	実験値	理論値 (R <sub>1</sub> )	理論値 (R <sub>2</sub> )	理論値 (R <sub>3</sub> )
<u>7</u>	1 8 8 (18)	1 5 4	2 4 2	1 5 7
<u>6</u>	1 3 7 (20)	1 3 1	2 4 3	2 0 8
<u>5</u>	4 6 1 (26)	5 1 1	5 3 4	5 5 7
<u>5</u>	5 0 5 (55)	5 5 4	5 7 1	5 8 6

( ) 内は S . D .

• 小野高裕 論文

( 2 補 )

論文表題

キャストクラスプの維持力に及ぼす鉤歯  
形態の影響

所属

大阪大学歯学部歯科補綴学第二講座

著者名

小野高裕



## 緒 言

キャストクラスプは部分床義歯の維持装置として広く用いられており、義歯の重要な構成要素の一つである。一般にクラスプは、安静時においては歯面に対して緊密に接しながらも歯に力を及ぼさず、義歯に機能力が作用した時にのみ、その剛性によって維持力、支持力、把持力を鉤歯に伝達する装置であり、良好な適合性と適切な機能性が要求される<sup>1,2)</sup>。すなわち、クラスプは機能時における義歯の維持安定をはかるための十分な剛性と、鉤歯ならびにその周囲組織に対して有害となる過大な力を及ぼさず、変形や破折を生じない良好な弾性とを同時に備えていなければならない。

これまで、鉤腕の力学的性質やクラスプの維持力に関して多くの研究が行われてきた。すなわち、鉤腕の力学的性質については、応力塗料法<sup>3)</sup>、光弾性実験法<sup>4~9)</sup>、ストレイン

ゲージ法<sup>10,11)</sup>、有限要素法<sup>12~14)</sup>などによって、鉤尖部への荷重時における鉤腕の応力分布に対する鉤腕断面の寸法や形態、テーパ一度などの影響について分析が行われている。また、鉤腕の曲げ試験<sup>15~18)</sup>や力学的な理論解析<sup>12)</sup>によって、鉤腕の比例限度におけるたわみと荷重に対する鉤腕断面の寸法や形態、鉤腕長、彎曲度などの影響について検討されている。

一方、クラスプの維持力に関しては、理論的検討<sup>19~25)</sup>やクラスプの引き抜き試験<sup>16, 17, 26~30)</sup>によって、維持力に対する鉤腕断面の寸法や形態、鉤腕長、アンダーカット量、使用金属の弾性係数、クラスプの種類、鉤歯の歯軸方向の曲率半径などの影響について報告されている。これらの報告は、鉤歯形態を単純化したモデルにおける各因子の影響について分析検討したものであり、鉤歯として天然歯を用いた研究<sup>29,30)</sup>もわずかにみられるが、いずれも各因子単独の影響についての報

告にとどまっております、これまでクラスプの維持力に対する鉤歯形態の影響について検討した報告はほとんどみられない。

実際の臨床において適用されるクラスプの鉤腕は、鉤歯の種類によってさまざまな彎曲を呈している。したがって、維持力に対する鉤歯形態の影響について検討することは、臨床上重要な課題であると考えられる。また、鉤腕の力学的性質や維持力に対する鉤腕断面の寸法やアンダーカット量など製作上の各因子の影響が、鉤歯の形態によってどのように変化するかについても不明な点が多く、臨床においてより正確かつ適切な維持力を有するキャストクラスプを製作するためには、これら各因子間の影響についても検討する必要があると考えられる。

本研究は、これらの点を明らかにするために、部分床義歯の維持装置として最も多用されているエーカースクラスプを用いて、解剖学的形態の鉤歯における維持力の測定ならび

に鉤腕の曲げ試験を行い、鉤腕断面寸法、鉤腕長、鉤尖部のアンダーカット量の影響について検討するとともに、鉤腕の曲げ剛性に対する鉤腕の弯曲の影響について理論的解析を行い、キャストクラスプの維持力に対する鉤歯形態の影響について検討を行ったものである。

#### I. キャストクラスプの維持力の測定

本実験では、解剖学的形態の鉤歯におけるキャストクラスプの維持力に対する鉤腕断面寸法と鉤尖部のアンダーカット量の影響について検討するとともに、各鉤歯間におけるキャストクラスプの維持力についても比較検討を行った。

## 1. 実験材料ならびに方法

### 1) 鉤齒模型の製作

解剖学的形態の鉤齒原型には、臨床において鉤齒として使用される頻度の高い上下顎第二大臼齒と第二小臼齒（ともに右側）の4種類のエポキシ樹脂製齒牙模型（ニッシン社製、B3-305）を用いた。まず、上下顎第二大臼齒の近心側ならびに上下顎第二小臼齒の遠心側の辺縁隆線上に、臨床的通法にしたがってレスト座を形成したのち、この齒冠部をコバルト・クロム合金にて複製し、齒軸方向と平行にレジンプロックに植立して、図1に示す鉤齒模型を完成した。

### 2) キャストクラスプの設計ならびに製作

本実験におけるキャストクラスプの設計条件は、図2と表1に示した通りである。

すなわち、鉤尖部の位置はその下縁を基準とし、その下縁のアンダーカット量を上下顎第二大臼齒では0.15mm, 0.20mm, 0.25mmの3種

類、上下顎第二小白歯では0.15mm,0.20mmの2種類に設定した。また、鉤腕の走行は、クラスプの側面観において、その下縁を鉤尖部下縁とレスト座下縁を結ぶ直線上に設定した。この結果、上下顎第二大臼歯の鉤腕長は頬側腕、舌側腕ともに13mm、上下顎第二小白歯の鉤腕長は頬側腕が11mm、舌側腕が9mmとなった。

次に、各鉤歯模型において設計した鉤腕下縁に沿ってステップ状にブロックアウトを行ったのち、ポリサルファイドラバー印象材（而至社製、シュールフレックスF）にて印象し、リン酸塩系埋没材（松風社製、ハイベスト-D）により複模型を製作し、その複模型上でワックスパターンの製作を行った。

まず、キャストクラスプ用既製ワックスパターン（ピオス社製、ラピッドフレックスー以下、BIOSパターンと略す）を、以下の条件にしたがって鉤腕下縁を想定したステップに沿って注意深く貼付して、鉤腕のワックスパ

ターンを製作した。このBIOSパターンは、良好な寸法安定性を有していることから<sup>31,32)</sup>、図3に示すようにその先端から所定の長さだけを切捨て、残った部分の先端を鉤尖とすることによって、鉤腕断面寸法の調節ができる特長を備えている。本研究においては、先端から切捨てる部分の長さ（以下、パターンのカット量と略す）として、0mm, 5mm, 10mmの3種類を設定し、各鉤歯に対して異なる3種類の鉤腕断面寸法（表2）を有するキャストクラスプを製作した。なお、各鉤腕中央部には、各クラスプの適合性を確認するための半球状の標点（直径0.5mm）1個を付与した。

次に、鉤体、アップライト、鉤脚、レストは既製ワックスパターン（而至社製、レディーキャストینگワックス HR28）を用いて製作した。なお、スプルーはレスト上に既製ワックスパターン（而至社製、レディーキャストینگワックス R32）を歯軸方向に植立し、鑄造後約10mmの長さをレスト側に残して

切断して維持力の測定装置（万能材料試験機）との接続部として利用した。

ついで、ワックスパターンを複模型とともに同種埋没材にてリングレス埋没を行った。キャストクラスプの使用金属には、市販のコバルト・クロム合金（松風社製、スマロイコバルト）を用い、また鑄造には高周波吸引加圧鑄造機（松風社製、アルゴンキャスター D X）を使用して、鑄造温度約 1350℃にて鑄造を行った。鑄造後の試料の研磨は、サンドブラスト処理のみとした。なお、完成したクラスプを鉤歯に試適し、その前後における標点間距離の変化量が  $10\mu\text{m}$  以下を示したクラスプのみを測定試料とし、試料数は各条件について 5 個ずつとした。

### 3) 維持力の測定

維持力の測定は、万能材料試験機（島津製作所社製、オートグラフ S-500）を用いて行った。まず、歯軸方向が垂直となるようにクロスヘッド上に固定した鉤歯模型にキャスト



クラスプを適合させた（図4）。次に、レスト上のスプルーを、クロスヘッドに設定した垂直誘導装置の負荷棒の下端に即時重合レジンをを用いて固定し、垂直上方に引き抜く際の最大荷重をクラスプの維持力として測定した。クロスヘッド・スピードは50mm/min.、チャート・スピードは250mm/min.、フルスケールはキャストクラスプの維持力の大きさに応じて2kgあるいは5kgとし、1個の試料について5回測定を行って、その平均値を求めた。

なお、本研究に先立って鉤歯表面の状態と維持力との関係について検討するために、西山<sup>18)</sup>の報告と同様に予備実験を行った結果、乾燥状態と、鉤歯表面に生理食塩水や唾液を塗布した状態では、各維持力にほとんど差が認められなかったことから、本実験においても乾燥した歯面における維持力の測定を行った。

## 2. 実験結果

各鉤歯におけるキャストクラスプの維持力を測定した結果（図5、表3）、その大きさは上顎第二小白歯、下顎第二小白歯、上顎第二大臼歯、下顎第二大臼歯の順となり、明らかに鉤歯の形態による差が認められた。すなわち、第二小白歯における維持力は第二大臼歯と比較して、上顎では2.3～2.7倍、下顎では3.5～4.2倍と大きな値を示した。さらに、上顎第二大臼歯は、鉤腕長が等しい下顎第二大臼歯と比較しても、1.6～1.8倍と明らかな差が認められた。

次に、鉤腕断面寸法（パターンのカット量）の影響については、パターンのカット量を0mmから5mm、または0mmから10mmに増加させると、維持力は各鉤歯ならびに各アンダーカット量において1.8～2.1倍と3.1～3.8倍を示し、いずれの条件においてもほぼ同様の増加傾向を示した。

一方、鉤尖部のアンダーカット量の影響については、アンダーカット量を0.15mmから0.20mm、または0.15mmから0.25mm（上下顎第二大臼歯のみ）に増加させると、維持力は各鉤歯ならびに各パターンのカット量において、約1.5倍と約2.0倍を示し、前述の鉤腕断面寸法の影響と同様に近似した増加傾向を示した。

### 3. 小 括

4種類の解剖学的形態の鉤歯におけるキャストクラスプの維持力を測定した結果、その維持力に対する鉤腕断面寸法と鉤尖部のアンダーカット量の影響が認められたが、これらは相互に影響を及ぼさず、各鉤歯においてほぼ近似した傾向を示した。

また、これらの条件が一定の場合、各鉤歯間において、キャストクラスプの維持力に明らかな差が認められ、鉤歯の形態が維持力に対して大きく影響を及ぼしていることが示唆

された。

## II . 鉤腕の曲げ試験

本実験では、キャストクラスプの維持力に対して最も関係の深い鉤腕の力学的性質と鉤歯形態との関係を明らかにするために、各鉤歯模型から得た各鉤腕の曲げ試験を行った。

### 1 . 実験材料ならびに方法

#### 1) 鉤歯断面模型の製作

まず、鉤尖部のアンダーカット量に応じてブロックアウトを行った各鉤歯模型を即時重合レジンにて複製した。次に、複製した各鉤歯模型の歯冠部を鉤腕の下縁に沿って切断し（図6）、上下顎第二大臼歯についてはそれぞれ3種類（アンダーカット量：0.15mm, 0.20mm, 0.25mm）、上下顎第二小臼歯についてはそれぞれ2種類（アンダーカット量：

0.15mm, 0.20mm)、合計10種類の鉤歯断面模型を製作した。

## 2) 鉤腕の製作

製作した鉤歯断面模型をキャストクラスプの製作と同様に印象して埋没材模型を製作し、頬、舌各側面にそれぞれ所定の長さのBIOSパターンを注意深く貼付した。さらに、各鉤腕基部にはパラフィンワックスによる固定部を付与して、頬、舌側鉤腕試料のワックスパターンとした。

アンダーカット量が0.20mmの鉤歯断面模型については、パターンのカット量を0mm, 5mm, 10mmとした3種類の鉤腕を製作した。また、アンダーカット量が0.15mmと0.25mmの鉤歯断面模型については、パターンのカット量5mmの鉤腕を製作した。

埋没、鑄造、研磨などは、すべて前実験と同条件で行い、各鉤歯の頬側腕ならびに舌側腕の曲げ試料（以下、天然歯型鉤腕とする）を完成した。

また、弯曲した鉤腕の力学的性質を検討する場合、この弯曲の影響を知るために、その対照として、パターンのカット量などを同条件とした長さ9mm, 11mm, 13mmの真直型試料を製作し、比較検討を行った。試料数は、各条件につき5個ずつとした。

### 3) 鉤腕の曲げ試験

各天然歯型鉤腕ならびに真直型試料の固定部を万能材料試験機（インストロン、IT-1113）に固定し、図7に示すように鉤尖部内面に対して法線方向（外側）に荷重を加えて、曲げ試験を行った。クロスヘッド・スピードは1mm/min.、チャート・スピードは100mm/min.、フルスケールは鉤腕の曲げ剛性に応じて1kg, 2kg, 5kgとした。記録された荷重-たわみ曲線より、比例限度におけるたわみと、さらに0.1mmのたわみに対する荷重、すなわち鉤腕の曲げ剛性をそれぞれ求めて比較検討を行った。

## 2. 実験結果

### 1) 比例限度におけるたわみ

天然歯型鉤腕ならびに真直型試料の比例限度におけるたわみを、図8,9ならびに表4～6に示した。

まず、各天然歯型鉤腕における比例限度のたわみは、パターンのカット量が5mmと一定の場合（図8、表4）、各アンダーカット量においてほぼ一定の値を示した。しかし、各鉤歯間において比較すると、上下顎第二大臼歯の鉤腕では0.22～0.30mmのたわみを示したのに対して、上下顎第二小白歯の鉤腕では0.15～0.19mmと明らかに小さなたわみを示した。また、鉤腕長の等しい各鉤腕間において比較した場合、上顎第二大臼歯の舌側腕は下顎第二大臼歯の舌側腕と比較して、0.06～0.08mm（21～27%）小さい値を示したが、その他の鉤腕間においては、統計的にほとんど差が認められなかった。

次に、アンダーカット量が0.20mmと一定の場合（図9、表5）、パターンのカット量を増加させるにしたがって8種類の各鉤腕における比例限度のたわみは減少し、その減少傾向は各鉤腕においてほぼ近似した傾向を示した。すなわち、パターンのカット量を0mmから5mm、または0mmから10mmに増加させた場合、比例限度におけるたわみの減少率は、各鉤腕において10～14%と20～28%を示し、ほぼ一定の減少傾向を示した。

また、各パターンのカット量において、4種類の各鉤歯間で比較すると、上下顎第二大臼歯の鉤腕では0.18～0.33mmのたわみを示したのに対して、上下顎第二小白歯の鉤腕では0.13～0.20mmと明らかに小さな値を示した。

また、鉤腕長の等しい各鉤腕間で比較した場合、上顎第二大臼歯の舌側腕は下顎第二大臼歯の舌側腕と比較して、0.07～0.08mm（24～28%）小さい値を示したが、その他の鉤腕間においては、統計的にほとんど差が認められ



なかった。

一方、天然歯型鉤腕の比例限度におけるたわみは、同一条件における真直型試料（表6）と比較すると、いずれも小さな値を示した。すなわち、鉤腕長13mmの上下顎第二大臼歯の4種類の鉤腕は、真直型試料と比較して11～33%小さい値を示し、さらにその他の鉤腕長においても、11mmでは30～41%、9mmでは24～35%と、有意に小さいたわみを示した。

## 2) 鉤腕の曲げ剛性

天然歯型鉤腕ならびに真直型試料の曲げ剛性を、図10,11ならびに表7～9に示した。

まず、各天然歯型鉤腕における曲げ剛性は、パターンのカット量が5mmと一定の場合（図11、表7）、各アンダーカット量の間において有意の差は認められなかったが、8種類の各鉤腕間において明らかな差が認められ、さらに鉤腕長が等しい鉤腕間においても有意の差が認められた。すなわち、鉤腕長13mmの上下顎第二大臼歯の4種類の鉤腕では、上顎第

二大臼歯舌側腕、同・頬側腕、下顎第二大臼歯頬側腕、同・舌側腕の順に大きな曲げ剛性を示し、特に舌側腕については上下顎間の差が大きく、上顎は下顎と比較して1.7~1.8倍の曲げ剛性を示した。また、鉤腕長11mmの上顎第二小臼歯の頬側腕ならびに鉤腕長9mmの舌側腕では、上顎が下顎に対して1.1~1.2倍と1.5~1.6倍を示し、いずれの鉤腕も上顎の方が有意に大きな曲げ剛性を示した。

次に、アンダーカット量が0.20mmと一定の場合（図11、表8）、パターンのカット量を増加させるにしたがって天然歯型鉤腕の曲げ剛性は増加したが、その増加傾向は8種類の各鉤腕においてほぼ近似した傾向を示した。すなわち、パターンのカット量を0mmから5mm、または0mmから10mmに増加させた場合、鉤腕の曲げ剛性は、各鉤腕において2.0~2.2倍と3.6~4.2倍を示し、ほぼ同様の傾向を示した。

また、各パターンのカット量において、8種類の各鉤腕間で比較すると、前述のパター

ンのカット量を一定にした場合（図10、表7）と同様に、曲げ剛性に明らかな差が認められ、さらに鉤腕長が等しい鉤腕間においても有意の差が認められた。

一方、天然歯型鉤腕の曲げ剛性は、同一条件における真直型試料（表9）と比較して、いずれも大きな値を示した。すなわち、鉤腕長13mmの上下顎第二大臼歯の4種類の鉤腕は、真直型試料と比較して1.5～3.3倍の曲げ剛性を示し、さらにその他の鉤腕長においても、11mmでは3.2～4.0倍、9mmでは2.6～4.3倍と有意に大きな曲げ剛性を示した。

### 3. 小 括

4種類の解剖学的形態の鉤歯模型から製作した8種類の天然歯型鉤腕の曲げ試験を行い、その力学的性質を比較検討した結果、鉤腕の比例限度におけるたわみならびに鉤腕の曲げ剛性に対する鉤腕断面寸法の影響が認められ

たが、その影響は各鉤腕においてほぼ近似していた。

また、鉤腕断面寸法と鉤腕長が一定の場合、鉤腕の形態が異なる鉤歯において、各力学的性質に明らかな差が認められ、鉤腕の形態がその力学的性質に対して大きく影響を及ぼしていることが示唆された。

### Ⅲ．円弧型鉤腕の曲げ剛性に関する理論解析

本解析では、鉤歯形態に基づく鉤腕の形態が、その力学的性質に対してどのように影響するかについて分析検討するため、形態的に最も単純な彎曲を呈する円弧型鉤腕の解析モデルを設定し、鉤腕の曲げ剛性に対する円弧の曲率半径ならびに鉤腕断面寸法、鉤腕長などの影響について検討を行った。

## 1. 解析方法

本解析に用いた円弧型鉤腕の解析モデルを図12に示した。すなわち、鉤腕下縁に沿った鉤齒断面の形態を半径Rの円弧と想定し、鉤尖部内面に法線方向の荷重Pを与えた場合の法線方向のたわみ $\delta$ について、片持ちはりの原理を用いて解析を行った。通常、曲りはりの場合は主軸と中立軸が一致しないために、真直はりの理論をそのまま用いることはできない。しかし、円弧の曲率半径に対して鉤腕断面の厚さが比較的小さい場合、真直はりの原理を用いてもたわみの誤差は数%以下となり、実用上支障はないものと考えられる<sup>33)</sup>。また、垂直力ならびに剪断力によるたわみは、曲げモーメントによるたわみと比較して非常に小さいため、本解析では除外した。

まず、任意の断面に作用する曲げモーメントMは、

$$M = P R \sin \phi \quad (1)$$

で表わされる。

次に、鉤腕の微小部分  $dS$  にたくわえられる内部エネルギーを  $dU$  とすると、

$$dU = \frac{M^2}{2EI} dS$$

$I$  : 断面 2 次モーメント

で表わされる。したがって、中心角  $\theta$  なる鉤腕にたくわえられる内部エネルギー  $U$  は、次のように表わすことができる。

$$U = \frac{R}{2E} \int_0^\theta \frac{M^2}{I} d\phi$$

そこで、荷重  $P$  に対するたわみ  $\delta$  はカステリアノの定理により、

$$\delta = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{R}{E} \int_0^\theta \frac{M}{I} \frac{\partial M}{\partial P} d\phi \quad (2)$$

で表わされる。ここで、(1)式より、

$$\frac{\partial M}{\partial P} = R \sin \phi$$

となるので、(2)式は、

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{R}{E} \int_0^\theta \frac{P R^2 \sin^2 \phi}{I} d\phi \\ &= \frac{P R^3}{E} \int_0^\theta \frac{\sin^2 \phi}{I} d\phi\end{aligned}\quad (3)$$

となる。

次に、断面寸法の変化（図13）による断面2次モーメントの変化について検討を行った。本研究で用いたBIOSパターンは、断面形状が半楕円であり、断面寸法は直線的なテーパのもとに変化しているため<sup>31,32)</sup>、任意の断面における断面2次モーメント  $I$  は次式で与えられる。

$$I = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) w h^3 \quad (4)$$

ここで、鉤腕断面の厚さ  $h$  は、

$$\begin{aligned}h &= h_0 + x \tan \phi \\ &= h_0 + \frac{x}{\ell} (h_\theta - h_0)\end{aligned}\quad (5)$$

であり、一方円弧型鉤腕の鉤腕長  $\ell$  と  $x$  は、

$$\ell = R \theta$$

$$x = R \phi$$

であるから、(5)式は次式のように表わすことができる。

$$h = h_0 + \frac{\phi}{\theta} (h_\theta - h_0)$$

さらに、鉤尖部の断面 2 次モーメントを  $I_0$  とすると、(4)式より、

$$\frac{I}{I_0} = \frac{w h^3}{w_0 h_0^3} \quad \therefore I = \frac{w h^3}{w_0 h_0^3} I_0 \quad (6)$$

と表わされるが、鉤腕断面は相似形であることから、

$$\frac{w}{h} = \frac{w_0}{h_0} \quad \therefore w = \frac{w_0}{h_0} h$$

となり、(6)式は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} I &= \frac{h^4}{h_0^4} I_0 = \frac{I_0}{h_0^4} \left\{ h_0 + \frac{1}{\theta} (h_\theta - h_0) \phi \right\}^4 \\ &= \left( 1 + \frac{1}{\theta} \frac{h_\theta - h_0}{h_0} \phi \right)^4 I_0 \end{aligned}$$

ここで、

$$\nu = \frac{h_\theta - h_0}{\theta h_0}$$



とおくと、断面 2 次モーメント  $I$  は、

$$I = I_0 (1 + \nu \phi)^4$$

と表わすことができる。

したがって、(3)式は次のように表わすことができる。

$$\delta = \frac{P R^3}{E I_0} \int_0^{\theta} \frac{\sin^2 \phi}{(1 + \nu \phi)^4} d\phi \quad (7)$$

法線方向のたわみ  $\delta$  は、(7)式を数値積分することによって求めることができるが、原始関数を求めることは不可能であるため、近似積分を行うことが必要である。本解析では、円弧型鉤腕の曲げ剛性に影響を及ぼす因子について検討するために、上記の理論式を用いて  $\delta = 0.1 \text{ mm}$  の場合の荷重  $P$  を求めた。近似積分はシンプソンの解法にしたがい、計算にはパーソナルコンピュータ（日本電気社製，PC-9801E）を用いた。なお、使用金属（コバルト・クロム合金）の弾性係数はメーカー公表値の  $2 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$  を使い、近似解法における分割数は 20 とした。

## 2. 解析結果

図14は、前実験で製作したキャストクラスプと同条件の3種類の鉤腕断面寸法と鉤腕長を有する合計9種類の円弧型鉤腕について、上記の解析方法にしたがって曲げ剛性の理論値を求め、各鉤腕における円弧の曲率半径の影響について比較したものである。

各鉤腕において、円弧の曲率半径を3mmから7mmまで0.5mmずつ増加させるにしたがって鉤腕の曲げ剛性は徐々に減少する傾向を示した。さらに、その減少率は曲率半径が大きくなるにしたがって小さくなった。すなわち、曲率半径3mmの場合と比較して、曲率半径5mmの場合の曲げ剛性はその32～39%と著しく減少したのに対して、曲率半径の大きい7mmの場合の曲げ剛性は曲率半径5mmの時の59～77%を示し、前者よりもその減少率は低下した。

また、パターンのカット量を0mm, 5mm, 10mmと増加させるにしたがって鉤腕の曲げ剛性は

増加したが、その増加傾向は各鉤腕において近似した傾向を示した。すなわち、パターンのカット量を0mmから5mm、または0mmから10mmに増加させた場合、鉤腕の曲げ剛性は、各鉤腕長ならびに各曲率半径において2.0～2.2倍と3.6～4.1倍を示し、ほぼ一定の増加傾向を示した。

一方、鉤腕長を9mm, 11mm, 13mmと増加させるにしたがって鉤腕の曲げ剛性は減少したが、その減少傾向は曲率半径が大きくなるにしたがって小さくなった。すなわち、鉤腕長を9mmから11mmに増加させた場合、鉤腕の曲げ剛性は曲率半径7.0mmの鉤腕においては72～74%に減少したのに対して、曲率半径3.0mmの鉤腕においては98～99%とほとんど変化を示さなかった。さらに、鉤腕長を13mmに増加させた場合においてもほぼ同様の傾向を示した。また、曲率半径が一定の場合、鉤腕長の変化の曲げ剛性に対する影響は、各パターンのカット量においてほぼ近似した傾向を示した。

### 3. 小 括

キャストクラスプの維持力の測定ならびに鉤腕の曲げ試験の結果より、キャストクラスプの維持力に対する鉤腕の弯曲の影響が示唆されたことから、円弧型鉤腕の曲げ剛性について材料力学による理論解析を行った結果、鉤腕の曲げ剛性に対して、円弧の曲率半径が鉤腕断面寸法、鉤腕長とともに大きな影響を及ぼしていることが理論的にも明らかとなった。

### IV. 鉤齒形態の分析

円弧型鉤腕の理論解析（Ⅲ）によって、円弧の曲率半径が鉤腕の曲げ剛性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。したがって、本研究で使用した鉤齒の形態、特に鉤腕の弯曲がどのような曲率半径の円弧に近似しているかについて形態分析する必要がある。

そこで、本実験では、鉤腕下縁に沿って切断した鉤齒断面模型のうちから3カ所の彎曲部を選び、それぞれを円弧に近似させて各円弧の曲率半径を求めた。ついで、前解析で得た理論式から、各円弧の曲率半径における鉤腕の曲げ剛性の理論値を求め、この値と曲げ試験（Ⅱ）で得た実験値との比較検討を行った。

## 1. 分析方法

実験（Ⅱ）で製作した鉤齒断面模型の上面を水平面として万能投影機（日本光学社製、V-12）を用いて10倍に拡大し、断面の輪郭をトレースした。次に、トレースした線上において（図15）、鉤腕基部Oと鉤尖部Tを結ぶ線分の垂直二等分線と断面の輪郭の交点を $C_1$ とし、以下同様に $C_1$ とOについてはその中間点を $C_2$ 、 $C_1$ とTについては $C_3$ とした。ついで、O、 $C_1$ 、Tの3点、O、 $C_2$ 、 $C_1$

の3点、 $C_1$ 、 $C_3$ 、 $T$ の3点を通る円弧を想定し、デジタイザ（渡辺測器社製、DT-1000）とパーソナルコンピュータ（日本電気社製、PC-9801E）を用いて、図15に示したように各円弧の曲率半径 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ を算出した。

次に、8種類の各鉤腕における円弧の曲率半径 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ と、実験（Ⅱ）で設定した鉤腕断面寸法、鉤腕長などの条件を前述の理論式に代入し、鉤腕の曲げ剛性の理論値を求めた。

## 2. 分析結果

各鉤腕における3種類の円弧の曲率半径（ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ）の測定結果を表10に示した。

まず、各曲率半径の大きさを上下顎第二大臼歯と上下顎第二小臼歯の間で比較すると、 $R_1$ は、第二大臼歯では4.9～6.7mmに分布したのに対して、第二小臼歯では3.0～3.9mmと

明らかに小さな値を示した。また、 $R_2$ は、第二大臼歯では2.9~4.3mmに分布したのに対して、第二小白歯では3.1~5.0mmと比較的近似した範囲に分布していた。さらに、 $R_3$ は、第二大臼歯では4.5~7.5mmに分布したのに対して、第二小白歯では2.8~3.4mmと明らかに小さな値を示しており、両者において、 $R_3$ の分布範囲は $R_1$ のそれに比較的近似した傾向を示した。

次に、各鉤腕における3種類の円弧の曲率半径の大きさを比較すると、上顎第二大臼歯類側腕、下顎第二大臼歯類側腕のように $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_2$ の順となるもの、下顎第二小白歯類側腕のように $R_2$ 、 $R_1$ 、 $R_3$ の順となるもの、下顎第二大臼歯舌側腕のように $R_3$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ の順となるもの、その他の鉤腕のように $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ がほぼ等しいものなどさまざまな傾向がみられた。

以上のように、3種類の曲率半径の大きさのうち $R_1$ と $R_3$ については、上下顎第二大臼

歯と上下顎第二小臼歯の間で差が認められたが、その大小関係については、鉤歯あるいは頬舌側の違いによってさまざまな傾向を示した。また、本研究で設定したアンダーカット量では、各鉤腕の $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ にほとんど差が認められなかった。

次に、アンダーカット量 $0.20\text{mm}$ の各鉤腕を円弧に近似した場合の鉤腕の曲げ剛性の理論値と実験(Ⅱ)で得た鉤腕の曲げ剛性の実験値との比較を図16に示した。この図からも明らかのように、 $R_1$ による理論値は、すべての鉤腕において実験値とよく近似していた。一方、 $R_2$ による理論値については、上顎第二大臼歯と上下顎第二小臼歯の舌側腕を除いて、実験値との間には明らかな差が認められた。また、 $R_3$ による理論値については、上下顎第二大臼歯の各鉤腕において実験値とよく近似していたが、第二小臼歯の各鉤腕においては実験値との間には明らかな差が認められた。



### 3. 小 括

以上の結果より、解剖学的形態の鉤齒におけるキャストクラスプの鉤腕は、各鉤腕の各測定部位において異なる彎曲を有していることがわかった。その中で鉤腕全体の彎曲を円弧に近似させた曲率半径  $R_1$  を利用することによって、理論解析(Ⅲ)で得た理論式に代入して求めた鉤腕の曲げ剛性の理論値と、曲げ試験(Ⅱ)で得た実験値とはよく近似することが明らかとなった。

### 考 察

一般に、クラスプの維持力は、義齒の離脱力により鉤腕が安静時の位置から咬合面(切端)側に向かって歯面上を移動し、歯冠の最大豊隆部を越えて完全に歯面から離脱するまでの抵抗力と定義されている(16, 17, 26~30)。また、この間における鉤腕の力学的性質、す

なわち鉤腕に加わる荷重とたわみとの関係は、クラスプの維持力と密接な関係を有しているが、通常この時に生じる鉤腕のたわみは弾性領域内の挙動でなければならない。

したがって、鉤腕の力学的性質について種種検討する場合、この性質としては主に鉤腕の比例限度における荷重とたわみ、さらには一定量のたわみに対する荷重、すなわち曲げ剛性が用いられている。この点に関して、Bates<sup>15)</sup>は、断面厚さの異なる鉤腕の比例限度におけるたわみについて、また西山<sup>16)</sup>、山賀<sup>17)</sup>は、鉤腕の比例限度における荷重とたわみに対する鉤腕断面寸法、鉤腕長、使用金属の弾性係数の影響についてそれぞれ実験的に検討を行っている。さらに、堤ら<sup>34)</sup>、野首ら<sup>35)</sup>は真直型試料における力学的性質について材料力学による理論解析を行い、ノモグラムによって鉤腕の曲げ剛性を求める方法を報告している。

一方、クラスプの維持力に関する実験的研

究においては、鉤齒を想定したさまざまな形態の模型におけるクラスプの引き抜き試験が行われている。

まず、鉤齒形態を単純化した模型による研究として、Firtell<sup>28)</sup>は金属球を鉤齒としてエーカースクラスプ、パークラスプなど9種類のキャストクラスプの維持力について、宝田<sup>26)</sup>は球体ならびに回転体を鉤齒としてワイヤークラスプの維持力についてそれぞれ検討している。また、杉山<sup>27)</sup>はボールベアリングを鉤齒として、エーカースクラスプにおける使用可能なアンダーカット量と義歯の維持安定に必要な維持力の関係について、さらに西山<sup>16)</sup>はI・パークラスプにおいて、また山賀<sup>17)</sup>はエーカースクラスプにおいて、それぞれ樽状回転体を鉤齒として鉤腕断面寸法、鉤腕長、アンダーカット量などが各クラスプの維持力にどのように影響を及ぼしているかについて検討している。

一方、鉤齒に天然歯を用いた研究としては、

河上<sup>29)</sup>はエーカースクラスプの維持力に対する鉤腕長と鉤尖部の位置の影響について検討し、また松田<sup>30)</sup>は各種金属によるエーカースクラスプの繰返し引き抜き試験を行い、維持力に対する使用金属の弾性係数の影響について検討している。

以上のように、鉤腕の力学的性質やクラスプの維持力に影響を及ぼすと考えられるさまざまな因子のなかで、鉤腕断面寸法、鉤腕長、アンダーカット量、使用金属の弾性係数など製作上の因子の影響については明らかにされてきたが、解剖学的形態におけるこれら因子の影響、さらには鉤歯の形態、特に鉤腕の彎曲の影響についてはいまだ不明な点が残されている。一方、実際の臨床においてキャストクラスプが適用される鉤歯はさまざまな形態を有していることから、鉤腕の曲げ剛性やクラスプの維持力を考慮に入れた合理的なキャストクラスプを製作するためには、鉤歯の形態が曲げ剛性や維持力に対してどのように影

響するかについて検討し、明らかにする必要がある。

そこで、本研究は、鉤腕の曲げ剛性や維持力に対する鉤歯形態、鉤腕断面寸法、鉤腕長、アンダーカット量の影響を明らかにするために、解剖学的形態の鉤歯を用いて鉤腕の曲げ試験とクラスプの維持力に関する実験を行った。さらに、鉤腕の曲げ剛性に対する鉤腕の彎曲、鉤腕断面寸法、鉤腕長の影響について検討するために、模型分析ならびに円弧型鉤腕の理論解析を行った。以上の実験ならびに解析から得られた結果をもとに、鉤腕の曲げ剛性ならびにキャストクラスプの維持力に対する鉤歯形態の影響について、さらに鉤腕断面寸法、鉤腕長、アンダーカット量の影響が鉤歯形態によってどのように変化するかについて考察を行う。

## 1. 研究方法について

### 1) 鉤齒模型

本研究においては、解剖学的形態の鉤齒におけるキャストクラスプの維持力を測定するために、市販のエポキシ歯牙模型の中で解剖学的に最も標準的な形態を選択し、これを原型とする鉤齒模型を製作した。

鉤齒の種類については、遠藤<sup>36)</sup>、尾花<sup>37)</sup>、久保田<sup>38)</sup>、佐藤<sup>39)</sup>、McArthur<sup>40)</sup>、石井<sup>41)</sup>によって報告されているように、実際の臨床において口腔内に長く残存し、しかも維持歯として利用される頻度が高いことなどを参考にして、上下顎第二大臼歯と第二小臼歯の4種類を選択した。

鉤齒模型の製作に際しては、歯牙模型の歯冠部をコバルト・クロム合金にて複製し、その表面を通法にしたがって研磨した。

### 2) キャストクラスプの種類と設計

現在臨床で一般的に用いられているキャス

トクラスプは環状タイプとバー・タイプに大別される。大阪大学歯学部附属病院第二補綴科一診において、過去3年間に製作された部分床義歯405症例の維持装置に関する石井ら<sup>41)</sup>の報告によれば、861個のキャストクラスプのうち環状タイプは約72%を占め、このうちエーカースクラスプならびに双子鉤（合計596個）は環状タイプの約96%、キャストクラスプ全体の約69%と、間接維持、直接維持を問わず高い頻度を示したことから、本研究におけるキャストクラスプの種類としては、環状タイプのエーカースクラスプを選択した。

キャストクラスプの維持力に影響を及ぼす因子としては、前述のように鉤腕断面の寸法ならびに形態、鉤腕長、アンダーカット量など製作上の因子のほかに、鉤歯の形態的因子が考えられる。この因子は、鉤腕の走行に沿った歯面の彎曲と鉤尖部付近における歯軸方向の歯面の彎曲の2種類に分けることができる。このうち後者について、山賀<sup>17)</sup>は、歯

軸方向の曲率半径を小さくすると維持力はわずかに増加したと報告している。一方、前者は鉤腕の彎曲として表わされ、その力学的性質や維持力に対して影響を及ぼすものと考えられるが、この点についての研究報告はみられない。そこで、本研究では、鉤腕の彎曲が鉤腕の曲げ剛性や維持力に対してどのように影響するかについて、実験的にも理論的にもその解析が可能なように、鉤腕の走行はクラスプの側面観において、その下縁を鉤尖部下縁とレスト座下縁とを結ぶ直線上に設定した（図2）。

一方、使用する金属によって、その力学的性質、特に比例限度におけるたわみが異なることから、一般臨床において鉤尖部のアンダーカット量を設定する場合、各金属に応じて変化するが、常にそのたわみより小さい値にする必要があるといわれている<sup>42)</sup>。この点に関しては、単純な曲げ試験<sup>15~18)</sup>や、繰り返し曲げによる疲労試験<sup>43~45)</sup>などによる研



究が種々行われており、使用金属に加えて、  
鉤腕断面の寸法や鉤腕長なども比例限度にお  
けるたわみに大きく影響すると報告されてい  
る。そこで、本研究においてコバルト・クロ  
ム合金を用いたキャストクラスプのアンダー  
カット量としては、これらの研究結果を参考  
にして鉤腕長の比較的長い上下顎第二大臼  
歯では0.15mm, 0.20mm, 0.25mmの3種類を、また  
比例限度におけるたわみがやや小さくなると  
思われる鉤腕長の比較的短い上下顎第二小  
臼歯では、0.15mm, 0.20mmの2種類をそれぞれ  
設定した。

### 3) キャストクラスプの製作方法

鉤腕のワックスパターンとして使用した  
BIOSパターンについて、野首<sup>46)</sup>は材料力学  
による鉤腕の曲げ剛性の理論解析から独自の  
チャートを製作し、真直型試料による理論的  
な曲げ剛性と各症例におけるアンダーカット  
量や鉤歯の歯軸方向の形態などを考慮した係  
数などを用いることによって、同パターンの

カット量とキャストクラスプの維持力との関係を知る簡便な方法を発表している。しかも鉤腕の曲げ剛性やキャストクラスプの維持力を検討する上で、所定の曲げ剛性や維持力が得られる一定のテーパ度を有するワックスパターンは、欠くことのできない材料であると述べている。

そこで、著者らは<sup>31, 32)</sup>、本研究に先立ってBIOSパターンの寸法安定性について検討し、断面の幅と厚さが良好な寸法安定性を有しており、その先端から一定の比率で増加していること、また鑄造による寸法変化も小さく鉤腕の力学的性質にほとんど影響を与えないことを明らかにした。したがって、実際の臨床において、パターンの先端から所定の長さを切捨てることによって、残った部分の先端を鉤尖とする鉤腕の断面の幅と厚さを適確に知ることができる同パターンは合理的なキャストクラスプの設計製作に適したものであることが認められた。

一方、鉤腕の曲げ剛性ならびにキャストクラスプの維持力に対する使用金属の影響については、実験的ならびに理論的にも検討されており、これらの数値はいずれも実際に使用する金属の弾性係数とは比例関係にあると報告されている<sup>30, 46)</sup>。本研究におけるキャストクラスプならびに鉤腕試料の金属は、金属床ならびにクラスプの材料として一般に広く用いられているコバルト・クロム合金を選択したが、特に鉤腕の曲げ剛性やキャストクラスプの維持力の理論解析においては、使用金属の弾性係数を因子として考察しており、得られた結果は他の金属に対しても汎用できるものと考えられる。

次に、キャストクラスプにおける良好な適合性は、その維持力を検討する研究において欠くことのできない条件である。この点に関して、本研究においては、野首<sup>47)</sup>、山田ら<sup>48)</sup>の報告に基づき、埋没材模型の膨張率を調節した上で、各鑄造体の両腕に付与した標

点間の距離を測定し、適合性の確認を行った。  
また、鑄造体の研磨については、川畑<sup>49)</sup>、  
野首ら<sup>50)</sup>の報告に基づき、極力変形を生じ  
させないようにサンドブラストにおける噴射  
時の圧力、時間、方向などの条件を参考に行  
った。

#### 4) 研究項目

本研究において、鉤腕を片持ちはりとして  
行った曲げ試験は、クラスプの維持力を検討  
する際の力学的挙動全体を表わしているとはい  
えないが、鉤腕の力学的性質を表わすパラ  
メータとして、特に比例限度におけるたわみ  
や曲げ剛性について検討するためには最も有  
効な方法である<sup>13, 15~18, 34, 35)</sup>。前者は、  
特に義歯の着脱に際して鉤腕を変形させない  
ために最大限利用可能なアンダーカット量を知  
る上で重要であり、また後者はクラスプの  
維持力をあらかじめ推定する際に必要な資料  
である<sup>46)</sup>。したがって、臨床においてクラ  
スプの維持力を決定する場合、義歯の維持安

定に対して十分であると同時に、鉤齒に対して有害とならない範囲にその大きさを設定しなければならないが、適切な維持力の大きさの基準やその測定方法についてはいまだ十分に確立されているとはいえない。

一方、クラスプの維持力に関する理論解析は、これまで多くの研究者によって行われている<sup>6, 16, 17, 19~26</sup>)。これらの研究においては、鉤腕が片持ちはりとして扱われており、特に西山<sup>16)</sup>と山賀<sup>17)</sup>は、I・バークラスプとエーカースクラスプにおいて、各鉤腕の曲げ剛性と歯面において鉤腕に作用する力のつりあいから求めた維持力の理論値と実験値とがよく近似していたと報告している。したがって、維持力と鉤腕の曲げに対する力学的性質とはきわめて密接な関係にあることが考えられる。

従来<sup>6)</sup>の報告においては、円弧型鉤腕を用いたキャストクラスプの理論解析に際して、鉤腕断面寸法の変化を指数関数に近似させて扱

っている<sup>25)</sup>。しかし、臨床において、この指数関数的な断面寸法の変化を有する解析結果をキャストクラスプの製作に適用することは困難である。しかも、ある一定の鉤腕長における解析結果の妥当性は確認されているものの、各種鉤歯形態において、臨床では種々の鉤腕長のクラスプが必要であることから、鉤腕長の変化に対しても汎用の可能な解析法でなければならない。したがって、鉤腕の力学的性質やクラスプの維持力に関する実験的ならびに理論的な研究を行う上で、この指数関数的な断面寸法を与えた近似解法は十分であるとはいえない。そこで、本研究においては、実際の臨床において入手可能で、良好な寸法安定性を有する<sup>31, 32)</sup> BIOSパターンをモデルとして、その断面寸法の直線的な変化が断面2次モーメントにどのように影響するかについて、円弧型鉤腕の理論解析を行った。

また、従来の理論解析は、その解析モデルが円環等非常に単純な形態にとどまっており、

臨床上汎用性に乏しいものと考えられる。実際の鉤齒形態が維持力に及ぼす影響を考慮したものとしては、宝田<sup>28)</sup>が天然歯における歯軸方向の歯面の彎曲を分析し、ワイヤークラスプの維持力に対する影響を検討しているにすぎず、特に鉤腕の彎曲について分析検討した研究はみられない。鉤腕の彎曲は、鉤齒形態によって異なり、さらに鉤腕の各部において変化している。そこで、本研究においては、円弧型鉤腕の解析結果を解剖学的形態の鉤齒に応用するために、鉤腕全体、鉤腕基部側1/2の部分、鉤尖部側1/2の部分の3種類の彎曲をそれぞれ円弧に近似させ、各部の曲率半径を求めた。さらに、各曲率半径を理論解析(Ⅲ)で得た理論式にその他の条件とともに代入し計算することによって、鉤腕の曲げ剛性の理論値を算出した。これにより、鉤腕のいずれの部分の彎曲が実際の曲げ剛性によく対応するかについて検討した。

## 2. 実験結果について

キャストクラスプの維持力に影響を及ぼすと考えられる多くの因子の中で、クラスプの製作上任意に設定し得る代表的な因子として鉤腕断面寸法とアンダーカット量があげられる。実験（Ⅰ）の結果から考察すると、これらの因子の維持力に対する影響は、各鉤歯においてそれぞれ近似した傾向を示し、さらに互いに独立した影響であることが認められた。

次に、各鉤歯間において維持力を比較した場合、その維持力は鉤歯の種類によって大きく異なり、さらに鉤腕断面寸法、アンダーカット量、鉤腕長がともに一定の場合においても、維持力に明らかな差が認められ、鉤歯形態が維持力に対して大きく影響していることが示唆された。

エーカースクラスプの維持力に影響を及ぼすと考えられる鉤歯の形態的因子としては、前述したように鉤腕の弯曲と鉤尖部付近にお



ける歯軸方向の歯面の彎曲があげられる。山賀<sup>17)</sup>は、鉤歯を想定した樽状回転体において、歯軸方向の曲率半径を10mmから7.5mm、または10mmから5mmに減少させると、維持力はわずかに3~7%と10~16%増加したと報告している。本研究で用いた鉤歯模型の鉤尖部付近における歯軸方向の曲率半径を測定したところ、上下顎第二大臼歯では約10mm、上顎第二小臼歯では約7.5mm、下顎第二小臼歯では約5mmであった。したがって、本研究において得られた鉤歯形態のちがいによる維持力の著明な差に対しては、歯軸方向の曲率半径よりも鉤腕の彎曲が大きく影響しているものと考えられる。

次に、クラスプの維持力ときわめて密接な関係を有する鉤腕の曲げに対する力学的性質が、鉤歯形態によってどのように影響されるかを検討するために、前実験(Ⅰ)と同一の鉤歯形態を用いて製作した鉤腕の曲げ試験(Ⅱ)を行った。その結果から、特に鉤腕の

比例限度におけるたわみと鉤腕の曲げ剛性について考察する。

まず、弯曲した天然歯型鉤腕における比例限度におけるたわみは、真直型試料と比較して明らかに小さな値を示し、しかも鉤腕の弯曲が異なる鉤歯の種類によっても、そのたわみに差が認められた。すなわち、本研究のようにコバルト・クロム合金を使用した場合、その比例限度におけるたわみは、上顎第二大臼歯では $0.18 \sim 0.27 \text{ mm}$ 、下顎第二大臼歯では $0.24 \sim 0.33 \text{ mm}$ 、さらに上顎第二小白歯では $0.13 \sim 0.19 \text{ mm}$ 、下顎第二小白歯では $0.14 \sim 0.20 \text{ mm}$ を示しており、鉤腕断面寸法や鉤腕長のみならず、鉤腕の弯曲によっても影響を受けることが示された。

この点について、野首ら<sup>12)</sup>、山賀ら<sup>13)</sup>、堤ら<sup>14)</sup>は、有限要素法による応力解析において、真直型鉤腕では比較的均一な応力分布を示したのに対して、円弧型鉤腕においては鉤尖部側約 $1/3$ の付近に高い応力が認められ

ており、このことに起因してその差が生じたものと述べている。したがって、キャストクラスプの設計において利用可能なアンダーカット量を設定する場合、従来基準として用いられた真直型試料よりも、弯曲した天然歯型鉤腕の比例限度におけるたわみを基準とする必要のあることが明らかとなった。

一方、天然歯型鉤腕の曲げ剛性に対する鉤腕断面寸法の影響は、各鉤歯における8種類の鉤腕において近似した傾向を示した。また、鉤腕断面寸法と鉤腕長を一定とした場合、8種類の各鉤腕間において曲げ剛性に明らかな差が認められた。これらの結果は、実験（I）における維持力に対する各因子の影響と一致しており、このことは解剖学的形態の鉤歯におけるキャストクラスプの維持力と鉤腕の曲げ剛性とは密接な関係にあることを示し、さらにその両者に対して鉤歯形態が同様に大きな影響を及ぼしていることを示唆している。

また、山賀<sup>17)</sup>によれば、円弧型鉤腕にお

いては、曲げ剛性に対する鉤腕長の影響は真直型試料と比較して小さいと報告していることから、実験（Ⅰ）と（Ⅱ）で認められた鉤歯形態の違いによる維持力や鉤腕の曲げ剛性の差は、主として鉤腕の弯曲の影響によるものであると考えられる。

したがって、より正確な鉤腕の曲げ剛性やキャストクラスプの維持力を求めるためには、鉤腕断面寸法、鉤腕長、アンダーカット量などとともに鉤腕の弯曲の影響も考慮する必要性が示唆された。

次に、これらの因子の相互の関係をより詳細に検討するために、最も単純な弯曲である円弧型鉤腕を想定して、材料力学による理論解析（Ⅲ）を行った結果から、その曲げ剛性に対する鉤腕断面寸法、鉤腕長、円弧の曲率半径の影響について考察を行う。

円弧型鉤腕の理論解析の結果（図14）、曲げ剛性に対する鉤腕断面寸法の影響は各鉤腕長や各円弧の曲率半径において近似した傾向

を示し、この点については、実験（Ⅱ）における曲げ試験の結果と一致していた。また、曲げ剛性に対する鉤腕長の影響は円弧の曲率半径が減少するにしたがって小さくなる傾向を示し、鉤腕の彎曲の大きさによって曲げ剛性に対する鉤腕長の影響が異なることが理論的に明らかとなった。

一方、鉤腕長やパターンのカット量を一定にした場合、図14からも明らかなように円弧の曲率半径は曲げ剛性に対して明らかに影響を及ぼしていることがわかる。このことは、実験（Ⅱ）において、彎曲が比較的大きい上下顎第二大臼歯と比較的小さい上下顎第二小臼歯の鉤腕の曲げ剛性に大きな差が認められたことを裏付けており、鉤歯の形態的因子としての円弧の曲率半径は、鉤腕断面寸法と同様に曲げ剛性に対して重要な因子であることが示唆された。さらに、曲率半径の変化による曲げ剛性の変化率は、曲率半径が小さくなるにしたがって増加する傾向が認められた。

このことは、曲率半径が比較的小さい小白歯においては、その曲率半径のわずかな変動によって鉤腕の曲げ剛性が大きく変化することを示唆している。

次に、本研究で使用した天然歯型鉤腕の弯曲を形態分析し、各計測部位における曲率半径を、曲げ剛性に関する理論式に代入して得た理論値と曲げ試験（Ⅱ）で得た実験値を比較検討した結果から、各計測部位の曲率半径の影響について考察する。

理論解析においては、その解析を可能にするために、天然歯型鉤腕の弯曲を単純な円弧に想定して検討を行ったが、そこで得られた理論式を実際の解剖学的形態の鉤歯に応用するために、まず、鉤腕下縁に沿った各部の弯曲を分析した結果（表10）、各鉤歯において、その測定部位間で著しい相違が認められた。

一方、各アンダーカット量における鉤腕の弯曲は8種類の鉤腕においてほぼ一定しており、これは曲げ試験（Ⅱ）において、鉤腕の

比例限度におけるたわみと鉤腕の曲げ剛性は、アンダーカット量に関係なくほぼ一定であったことを裏付けている。

次に、理論解析（Ⅲ）によって得た理論式に各鉤腕の3種類の曲率半径（ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ）ならびに鉤尖部の断面寸法、鉤腕長などの条件を代入して求めた曲げ剛性の理論値と曲げ試験（Ⅱ）で得た実験値とを比較した結果、 $R_1$ による理論値は実験値とよく近似していた。すなわち、鉤腕全体の弯曲から求めた円弧の曲率半径が鉤腕の曲げ剛性に対して大きく影響を及ぼしており、これを理論式に代入して計算することによって、より正確な鉤腕の曲げ剛性を予測し得ることが示唆された。

また、上下顎第二大臼歯において、 $R_1$ と比較的近似していた $R_3$ による各理論値はともにも実験値とよく近似していたが、両者と比較して小さな値を示した $R_2$ による理論値は実験値との間に明らかな差が認められた。こ

の点に関して、堤ら<sup>14)</sup>は下顎第一大臼歯におけるキャストクラスプを想定した2次元有限要素モデルにおいて応力解析を行った結果、鉤尖部側約1/3付近により高い応力が認められたと述べていることから、大臼歯における鉤腕の曲げ剛性は、鉤腕基部側 ( $R_2$ ) よりも鉤尖部側の彎曲 ( $R_3$ ) にやや大きく影響を受けたものと考えられる。

一方、上下顎第二小臼歯においては、理論解析 (Ⅲ) でも明らかなように各部の曲率半径の値が3~4mmと小さいため、各部の曲率半径の間におけるわずかな差によっても曲げ剛性が大きく影響を受けることから、 $R_1$ と $R_2$ がほぼ等しい舌側腕を除いて、 $R_2$ 、 $R_3$ による理論値と実験値の間に明らかな差が認められたものと考えられる。

そこで、山賀<sup>17)</sup>が報告したエーカースクラスプの維持力を求める理論式に、曲げ剛性の理論値 (Ⅲ) を利用して得たキャストクラスプの維持力 (理論値) と、実験 (Ⅰ) で得



た実験値とを比較検討した。その結果は図17に示したとおり、維持力に関しても、曲げ剛性と同様に4種類の鉤齒において、鉤腕全体の曲率半径  $R_1$  を用いて得た理論値は実験値とよく近似していた。

したがって、鉤腕全体の彎曲を円弧に近似させた場合の曲率半径は、鉤腕の曲げ剛性とキャストクラスプの維持力に対して重要な影響を及ぼす因子であり、これを、鉤腕断面寸法、鉤腕長、材料の弾性係数などの各因子とともに理論解析(Ⅲ)で得た理論式

$$\delta = \frac{P R^3}{E I_0} \int_0^{\theta} \frac{\sin^2 \phi}{(1 + \nu \phi)^4} d\phi$$

に代入することによって、きわめて近似した鉤腕の曲げ剛性が得られ、さらにこの曲げ剛性を利用して所定のキャストクラスプの維持力の理論値をより正確に求め得ることが明らかとなった。

そこで、本研究で選択した解剖学的形態の

鉤齒模型による解析方法が実際の天然歯においても適用可能かどうかを検討するために、齲蝕や磨耗がなく、形態的にもほぼ標準と思われる抜去歯を4種類（7、6、5、5）選択し、本研究で用いた方法と同様にキャストクラスプ（パターンのカット量：0mm、アンダーカット量：0.20mm）をコバルト・クロム合金にて製作し、それぞれの鉤齒における維持力を測定するとともに、各鉤腕の彎曲を分析し、本研究で得た方法に基づいて求めた維持力の理論値との比較を行った。その結果、表11に示したとおり、全歯において各鉤腕全体の彎曲を表わす円弧の曲率半径 $R_1$ による理論値が実験値とよく近似していることが認められた。したがって、本研究で得られた曲げ剛性や維持力を求める解析方法は、各天然歯においても十分適用できることが確認された。すなわち、実際の臨床において利用される鉤齒形態は、天然歯自体の持つばらつきや、歯冠修復などによってさらに変化しており、

このような変化に富んだ鉤齒形態に対しても、所定のキャストクラスプの維持力をより正確に求めることが可能となった。

以上のことから、鉤齒の形態、特に鉤腕の彎曲がその曲げ剛性ならびにキャストクラスプの維持力に対して大きく影響を及ぼし、鉤腕断面寸法、鉤尖部のアンダーカット量、鉤腕長などとともに重要な因子であることが判明した。また、鉤腕断面寸法やアンダーカット量の影響は鉤腕の彎曲によってほとんど変化しないが、鉤腕長の影響は鉤腕の彎曲によって明らかに変化することが認められた。さらに、鉤腕全体の彎曲を表わす円弧の曲率半径による曲げ剛性ならびに維持力の各理論値は、同一条件における各実験値とよく近似しており、本研究における理論解析法は、臨床上きわめて有用であることが示唆された。

## 総括ならびに結論

キャストクラスプの維持力に対する鉤歯形態の影響について明らかにするために、上下顎第二大臼歯と第二小臼歯の4種類の鉤歯にエーカースクラスプを用いて、これら鉤歯形態がクラスプの維持力にどのように影響を及ぼすか、さらにクラスプの製作上任意に設定し得る代表的な因子である鉤腕断面寸法とアンダーカット量の維持力に対する影響が、鉤歯形態によってどのように変化するかについて、実験的ならびに理論的に検討を行った結果、以下のような結論を得た。

1. 4種類の解剖学的形態の鉤歯におけるキャストクラスプの維持力を測定した結果、鉤腕断面寸法とアンダーカット量の維持力に対する影響は、各鉤歯において近似した傾向を示した。また、鉤腕断面寸法とアンダーカット量をともに一定とした場合、各鉤歯間において維持力に明らかな差が認められた。

2. 8種類の天然歯型鉤腕において曲げ試験を行い、鉤腕の比例限度におけるたわみと曲げ剛性について検討した結果、鉤腕断面寸法の影響は、各鉤腕において近似した傾向を示した。また、鉤腕断面寸法と鉤腕長をともに一定とした場合、各鉤腕間においてその力学的性質に明らかな差が認められた。

3. 材料力学による円弧型鉤腕の理論解析を行った結果、曲率半径を増加させると鉤腕の曲げ剛性は減少し、その減少率は徐々に小さくなる傾向を示した。また、鉤腕断面寸法の影響は曲率半径と鉤腕長に関係なく一定の傾向を示したが、鉤腕長の影響は曲率半径によって変化する傾向を示した。

4. 各鉤腕について、その鉤腕全体、鉤腕基部側1/2、鉤尖部側1/2の各部における形態分析を行い、それぞれの彎曲を円弧に近似させた結果、鉤腕の各部分において円弧の曲率半径は異なり、また各鉤歯間においても差が認められた。

5. 各鉤腕において近似させた3種類の円弧の曲率半径を、理論解析で求めた鉤腕の曲げ剛性の理論式に代入して、その理論値を求め実験値と比較した結果、実験に使用した8種類の鉤腕において、各鉤腕全体の弯曲を表わす円弧の曲率半径による理論値は実験値とよく近似した。

6. 曲げ剛性の理論値を用いて求めたキャストクラスプの維持力の理論値は、曲げ剛性の場合と同様に実験値とよく近似した。

以上の結果より、鉤歯形態に基づく鉤腕の弯曲は、鉤腕の曲げ剛性とキャストクラスプの維持力に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなり、これらに対して重要な因子の一つであることが判明した。また、鉤腕全体の弯曲を円弧に近似させた場合の曲率半径を本研究で得た理論式に代入して求めた曲げ剛性と維持力の理論値は、これらの実験値とよく対応していることから、鉤腕断面寸法、アンダーカット量、使用金属の弾性係数など、

従来から既知である因子に加えて鉤齒の形態的因子を考慮することによって、鉤腕の曲げ剛性とキャストクラスプの維持力をより正確に求め得ることが示唆された。

稿を終えるにあたり、終始懇篤なる御指導と御鞭撻を賜りました大阪大学歯学部歯科補綴学第二講座奥野善彦教授、野首孝祠助教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究に際して、終始御理解、御協力を頂きました同学歯科補綴学第二講座の教室員の皆様に厚く御礼申し上げます。

# The Influence of Morphological Factor of Abutments on the Retentive Force of Cast Clasps

Takahiro ONO

*The Second Department of Prosthetic Dentistry  
Osaka University Faculty of Dentistry  
1-8, Yamadaoka Suita Osaka, 565, Japan*

key words: cast clasp, retentive force, bending rigidity,  
morphological factor of abutments, theoretical  
analysis

Cast clasps are one of the most common retainers for removable partial dentures. From the past study, it has been considered that the retentive forces of clasps are closely influenced by the dynamical properties of clasp arms, and the effects of several factors on these retentive forces and dynamical properties, such as cross-sectional dimension, shape, length and tapering ratio of clasp arm, amount of undercut, alloy's elastic coefficient, and so on, have come to be known in fabrication of cast clasps. But little information explaining the influence of the shape of natural abutments on the retentive force of cast clasps can be found.

The purpose of this study is to investigate the morphological factor of abutments on the bending rigidity of clasp arms and the retentive force of Akers clasps.



Akers clasps were applied to four abutments of upper and lower second molars and second premolars. Measurements of the retentive force of cast clasps and a bending test of clasp arms were performed. Theoretical analysis of load and deflection of circular type clasp arms and morphological analysis of eight clasp arms designed on four abutments were done to investigate the influence of curvature of clasp arms on the bending rigidity with the use of theoretical equation.

The following results were obtained.

- 1) The effects of cross-sectional dimensions of clasp tips and amounts of undercut on retentive force of cast clasps were not affected by kinds of abutments. The retentive forces, however, were clearly different among four abutments, even though two factors on cast clasps were the same.
- 2) The effect of cross-sectional dimensions of clasp tips on the dynamical properties of clasp arm was not affected by kinds of abutments. But the deflections at the proportional limit and bending rigidities of clasp arms were clearly different among eight clasp arms, even though cross-sectional dimension and length of clasp arm were the same.
- 3) The effect of radius curvature, cross-sectional dimension and length of clasp arm on bending rigidity were made clear by the theoretical analysis.
- 4) There was difference of the radius curvature among eight clasp arms. It was found that the

theoretical value of bending rigidity of clasp arms calculated with the use of the radius curvature obtained from the whole of clasp arm was similar to the experimental value of clasp arms made by the same conditions.

These results indicate that consideration should be done on the morphological factor of abutments, particularly on the curvature of clasp arms for reasonable designing of cast clasps.

## 参 考 文 献

- 1) 奥野善彦、野首孝祠 (1978) : クラスプ・ワークにおける理論と実際(1). 歯科技工, 6, 241~252, 昭和53.
- 2) 奥野善彦、野首孝祠、山賀 保 (1983) : クラスプ・ワークの現状と展望(I). 日歯評論, 486, 85~95, 昭和58.
- 3) 宝田 勇 (1963) : 応力塗料のクラスプに対する応用. 歯科学報, 63, 629~633, 昭和38.
- 4) The J.M.Ney Company (1959) : Planned Partial. 84~88, The J.M.Ney company, Conn.
- 5) 宮内孝雄、久保田英雄、関根 弘、安藤義夫 (1959) : クラスプの光弾性実験(第1報). 歯科学報, 59, 1243~1244, 昭和34.
- 6) 村松篤良、安達和子 (1962) : 切り口を有する変断面円環の曲げ (cast clasp 設計への一寄与), 歯理工誌, 3, 51~55, 昭和37.
- 7) 村松篤良、安達和子 (1963) : Cast Claspの

光弾性的応力解析．歯材研報，2,484～490，  
昭和38．

8)奥野善彦(1968)：鑄造鉤の形態に関する力  
学的研究．阪大歯学誌，13,341～352,昭和  
43．

9)Morris,H.F.,Farah,J.W.,Craig,R.G.and  
Hood,J.A.A.(1976)：Stress distribution  
within circumferential clasp arms. J.  
Oral Rehabil.,3,387～394．

10)関根 弘、田島 篤治、柳川 浩、高梨  
恒一、宮下恒太、竹井正章(1963)：義歯の  
力学的研究．(第7報)クラスプの力学的  
考察(その1)．補綴誌，7,83～88,昭和  
38．

11)関根 弘、田島 篤治、柳川 浩、高梨  
恒一、竹井正章、山田洋文、溝上隆男(196  
3)：義歯の力学的研究．(第8報)クラス  
プの力学的考察(その2)．補綴誌，7，  
169～175,昭和38．

12)野首孝祠、堤 定美、山賀 保、奥野善

彦(1976): クラスプの力学的研究.

(第1報) 有限要素法の適用性. 補綴誌,  
19, 611~617, 昭和51.

13) 山賀 保、堤 定美、野首孝祠、奥野善  
彦(1976): クラスプの力学的研究.

(第2報) 鉤腕の外形・寸法について. 補  
綴誌, 19, 618~626, 昭和51.

14) 堤 定美、野首孝祠、山賀 保、奥野善  
彦(1976): コンピューターによるクラスプ  
の力学解析. 日齒評論, 403, 75~83, 昭和  
51.

15) Bates, J.F. (1963): Retention of cobalt  
-chromium partial dentures. Dent.  
Practit., 14, 168~171.

16) 西山 暲(1976): 鑄造鉤の維持力に関す  
る実験的研究. - gingivally approaching  
clasp(I-bar type)について-. 補綴誌,  
20, 43~62, 昭和51.

17) 山賀 保(1979): 鑄造鉤に関する力学的  
研究. - 鉤腕の力学的性質ならびに維持力

に影響する因子について - . 補綴誌, 23,  
271~287, 昭和54.

18) Johnson, D.L., Stratton, R.J. and

Duncanson, Jr., M.G. (1983): The effect  
of single plane curvature on half-  
round cast clasps. J.Dent.Res., 62, 833  
~ 836.

19) 河邊清治 (1970): 線鉤. 9版, 38~41, 日  
本歯科評論社, 東京, 昭和45.

20) 三浦維四 (1956): クラスプの力学的理論.  
口病誌, 23, 179~180, 昭和31.

21) 野口八九重 (1957): 成形せるクラスプの  
弾力について. 歯科学報, 57, 302~303, 昭  
和32.

22) Warr, J.A. (1959): An analysis of clasp  
design of partial denture. Physics Med.  
and Biol., 3, 212~232.

23) Warr, J.A. (1961): Numerical system of  
clasp design. J.Prosthet.Dent., 11, 1105  
~ 1111.

- 24) 福井 彰一 (1960) : クラスプの力学的解析 .  
歯材研報 , 2, 161 ~ 173, 昭和 35 .
- 25) 宮入 裕夫、村松 篤良 (1969) : クラスプの  
変形と強度 . (第 4 報) 水平加重をうける  
鉤尖間距離をもたない変断面クラスプ . 歯  
理工誌 , 10, 1 ~ 6, 昭和 44 .
- 26) 宝田 勇 (1964) : クラスプの維持力に関  
する研究 . 歯科学報 , 64, 148 ~ 172, 昭和 39 .
- 27) 杉山 伸顯 (1964) : 鑄造鉤の維持力に関す  
る研究 . 歯学 , 52, 97 ~ 114, 昭和 39 .
- 28) Firtell, D.N. (1968) : Effect of clasp  
design upon retention of removable  
partial dentures . J. Prosthet. Dent. , 20,  
43 ~ 52 .
- 29) 河上 正人 (1969) : クラスプの維持につい  
て . 口病誌 , 36, 165 ~ 181, 昭和 44 .
- 30) 松田 浩一 (1975) : クラスプ用金属材料の  
機械的性質に関する研究 . (第 2 報) 鑄造  
クラスプの維持と弾性的性質について . 口  
病誌 , 42, 22 ~ 41, 昭和 50 .

31)小野高裕、野首孝祠、奥野善彦(1984):

キャストクラスプのワックスパターンに関する研究。(第1報)断面寸法およびテーパー度について。補綴誌, 28,137,昭和59.

32)野首孝祠、小野高裕、奥野善彦(1986):

既製ワックスパターンによるキャストクラスプの寸法安定性。歯科技工, 14,840~846,昭和61.

33)S.Timoshenko(1957): Strength of

materials. チモシェンコ 材料力学 上巻  
(鶴戸口英善、国尾 武訳)。367~377,  
東京図書, 東京, 昭和32.

34)堤 定美、竹内正敏、野首孝祠、山賀

保、井田一夫、山賀礼一(1976): 各種断面  
形状を有する漸縮真直クラスプの変位と応  
力を求めるノモグラム。歯材器誌, 33,152  
~158,昭和51.

35)Nokubi,T., Yamaga,T., Okuno,Y.,

Takeuchi,M., Tsutsumi,S.,Ida,K. and  
Yamaga,R.(1977): Nomograms for



determining deflections and stresses  
in tapering clasps.J.Osaka Univ.Dent.  
Sch.,17,43~53.

36)遠藤泰生(1977):少数残存歯症例に対する部分床義歯の予後に関する臨床的研究.

補綴誌, 21,127~141,昭和52.

37)尾花甚一、楊箸明朗、小暮穀仁、岡信哲也、高山 修、神吉ゆかり、杉本真理、天日雄二、小岸和澄、宮田孝義(1982):部分床義歯症例の統計的観察(第1報). 鶴見歯学, 8,329~333,昭和57.

38)久保田佳孝、平田正憲、新妻靖仁、平井克明、宇田川源衛、木村倫子、熊沢智子、松本敏彦、池田 直(1983):遊離端義歯症例における欠損形態と欠損歯数に関する統計的観察. -特にKennedy分類Class I, Class IIについて-. 日大口腔科学, 9,432~438,昭和58.

39)佐藤恵子、高山 修、天日雄二、池谷完治、高山 昌、神吉ゆかり、楊箸明朗、宮

田孝義、尾花甚一(1984): 総合診断室来院患者の統計的観察。 - 特に歯の欠損を有する患者について - 。 鶴見歯学, 10, 285~290, 昭和59.

40) McArthur, D.R. (1986): Canines as removable partial denture abutments. Part 1: Tooth rank and canine incidence. J. Prosthet. Dent., 56, 197~199.

41) 石井和雄、伊堂寺茂、大谷隆之、中平良基、箕浦正孝、小野高裕、岡田正俊、真喜志彰彦、前田芳信、野首孝祠、奥野善彦(1986): 有床義歯臨床実習症例の設計に関する検討 - 維持装置の選択について - 。 第33回大阪大学歯学会総会講演抄録集, 6, 昭和61.

42) 平沼謙二、服部正巳、金沢俊文、栗本清勝、佐藤志貴、長谷川幸洋(1977): 鑄造鉤に与えるアンダーカット量について - 変位を加えた場合の永久変形量の推移より - 。 日歯評論, 415, 41~45, 昭和52.

- 43)服部正巳(1976): 鑄造鉤における永久変  
形量の推移について. 補綴誌, 20,672~  
688,昭和51.
- 44)高間龍彦(1980): 鑄造鉤の鉤腕断面形態  
に関する研究. 補綴誌, 24,716~734,昭和  
55.
- 45)Morris,H.F.,Asgar,K. and Tillitson,E.  
(1981): Stress-relaxation testing.  
Part I : A new approach to the testing  
of removable partial denture alloys,  
wrought wires and clasp behavior. J.  
Prosthet.Dent. 46,131~141.
- 46)野首孝祠、奥野善彦(1986): 合理的なキ  
ャストクラスプを製作する必要性和その方  
法. 歯科技工, 14,831~839,昭和61.
- 47)野首孝祠(1975): 鑄造鉤の製作過程にお  
ける寸法変化とその適合性について. 補綴  
誌, 18,363~381,昭和50.
- 48)山田隆司、奥野善彦、野首孝祠、西山 暲、  
山賀 保(1977): コバルト・クロム鑄造鉤

の適合性に関する研究．補綴誌，21,246～  
253,昭和52．

49)川畑直嗣(1981)：コバルト・クロム合金  
鑄造体におけるサンドブラストについて．  
阪大歯学誌，26,148～167,昭和56．

50)野首孝祠、川畑直嗣、山田隆司、奥野善  
彦(1978)：コバルト・クロム合金鑄造体  
の表面あらさに関する研究．補綴誌，22,  
777～789,昭和53．

脚 注

大阪大学歯学部歯科補綴学第二講座

（主任：奥野善彦教授）

本論文の要旨は、第75回日本補綴歯科学会  
学術大会（昭和61年6月、大阪）において発  
表した。