

A Study of Durability Improvement for Spectacle Frames

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-09-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 岡田, 庸敬, 岩井, 善郎, 前川, 紀英, 小幡谷, 洋一, 河野, 信夫, 堀田, 紀好, 井町, 正樹 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/4156

眼鏡枠の耐久性向上に関する研究

岡田庸敬* 岩井善郎* 前川紀英* 小幡谷洋一**
河野信夫** 堀田紀好*** 井町正樹****

A Study of Durability Improvement for Spectacle Frames

Tsunenori OKADA, Yoshiro IWAI, Norihide MAEKAWA
Yoichi OBATAYA, Shinobu KOHNO, Kiyoshi HORITA
Masaki IMACHI

(Received Aug.31, 1983)

This joint research was performed in order to study several problems of durability for temple and hinge of spectacle frames from the standpoint of mechanical, chemical and material engineering. Bending deflection test, corrosion test, corrosion fatigue test, test for bonding strength of hot-melt adhesion of plastics and wear test were carried out by using the practical temples and the hinge materials, and the useful basic data for material selection and design to produce spectacle frames of high quality were obtained.

1 ま え が き

眼鏡枠は一見単純な医療器具のように見受けられるが、レンズの高性能化とともに眼鏡枠にも高度の機能性や耐久性が要求されるようになった。たとえば快適なかけごちを保持するためのテンブルの適度なばね性と復元力、丁番のなめらかな回転、眼鏡の着脱に伴う疲労変形抵抗や疲労破損強度、汗や化粧品などの薬品に対する耐食性や腐食疲労強度、さらに多くの箇所での溶接強度や高分子材料と金属材料の接着性など枚挙にいとまがない。これらの問題解決には機械工学、材料工

* 産業機械工学科
** 機械工学科
*** 工業化学科
**** 附属繊維・機能性材料研究施設

学，化学工学，人間工学などの広範な立場から総合的に検討する必要がある。

本研究では，これらの問題点における基礎的資料把握のため，手始めに実用のテンブル材料および丁番材料について次の諸テーマに関する共同研究を行った。

1. テンブル材料のばね特性
2. テンブル材料の腐食試験
3. テンブル材料の腐食疲労試験
4. 金属芯と眼鏡枠用プラスチック材料の接着特性
5. 丁番材料の摩耗試験

(1)では，テンブルは接触圧が過度とならないようある程度のばね性（弾性）と初期調整時に必要な程度の可塑性が要求されるが，可塑性が逆に眼鏡着脱時などの曲げ変形による残留たわみを生じ，接触圧の低下をもたらす原因ともなるので，その適正量を見出すため，材質，形状の異なるテンブルのばね性試験を行い，弾塑性曲げ変形挙動の近似解析プログラムによるシミュレート計算と合わせて，テンブルに生じる残留たわみの発生要因について検討した。

一方，眼鏡枠は直接肌にふれ，人間の汗や分泌物，化粧品や整髪剤などの種々の腐食性環境にさらされることになるので，眼鏡枠材料の耐食性を単一環境下の結果で論じることは非常に危険である。(2)ではテンブル材料を酸性からアルカリ性に至る種々の溶液中で腐食試験を行い，環境の影響について検討した。

(3)では，眼鏡の着脱に伴なって大きな変形や応力が繰返し作用すると，テンブルは疲労変形や破損する危険性のみでなく，表面に割れを生じて腐食が促進されることも考えられるので，大気中と3%食塩水中における疲労強度を調べるとともに，動的な耐食性について検討した。

(4)では，セルロイドテンブルや金属枠の耳掛部（セル）など金属芯とプラスチックが一体化されて用いられる箇所は金属芯とプラスチックの界面の縮みやはく離が問題となるので，接着強度とテンブル材料の材質や溶融接着温度との関係について検討した。

丁番は非常に小さな部品であるが，摩耗すると眼鏡枠のなめらかな動きやかけごちを著しく低下させる。(5)では，丁番の摩耗状態や丁番材料の耐摩耗性の基礎的なデータを得る目的で種々の丁番材料についてピン，ディスク型の摩耗試験を行い，丁番材料の選択基準を検討した。

2 供試材料

試験に用いたテンブル材料は実用に供されている洋白材，洋白ばね材，ブロンズ材，サンブラチナ材，12K金張り材（洋白の母材に厚さ約25 μ mの金張りが施されている）で化学成分を表1に示す。これらの試料はいずれもプレス加工後定寸切断し，テン

表1 テンブル材料の種類と化学成分(%)

	Cu	Ni	Zn	Cr	Ag	Sn	Mn
洋 白	64.5	10	25	—	—	—	0.5
洋 白 ば ね	56	18	25	—	—	—	—
ブ ロ ン ズ	82.5	2.5	10	—	—	5	—
サンブラチナ	1	83	—	14	1	—	0.5
12K 金張り	洋白の母材に12K金が重量比1/20で金張りされている						

ブルに成形加工したもので，丁番ろう付け直前のものである。テンブル形状の一例を図1に示す。形状は材質によって若干異なるが，いずれも断面は角に丸みをもつ長方形である。表2に機械的性質を示す。縦弾性係数，弾性限（耐力）および加工硬化指数は4点曲げ試験装置を用いて応力-ひずみ曲線を

表2 テンプル材料の機械的性質

	引張強さ σ_B (kgf/mm ²)	硬さ Hv (25g/15秒)	弾性限基準			0.02%耐力基準		
			Y (kgf/mm ²)	E (kgf/mm ²)	n	Y (kgf/mm ²)	E (kgf/mm ²)	n
洋白	69.8	213						
洋白ばね	81.3	320	46.4	14350	0.617	58.0	13910	0.350
ブロンズ	82.2	243	21.5	8410	0.823	38.8	8080	0.469
サンブラチナ	90.6	368	37.7	15900	0.710	58.1	15090	0.406
12K金張り	78.9	281						

求め、これを(1)式のn乗
硬化型の曲線で近似して
求めたものである。

$$\sigma = E \epsilon \quad : \sigma < Y$$

$$= Y \left(\frac{E}{Y} \epsilon \right)^n \quad : \sigma \geq Y$$

.....(1)

E : 縦弾性係数
Y : 弾性限または耐力
n : 加工硬化指数

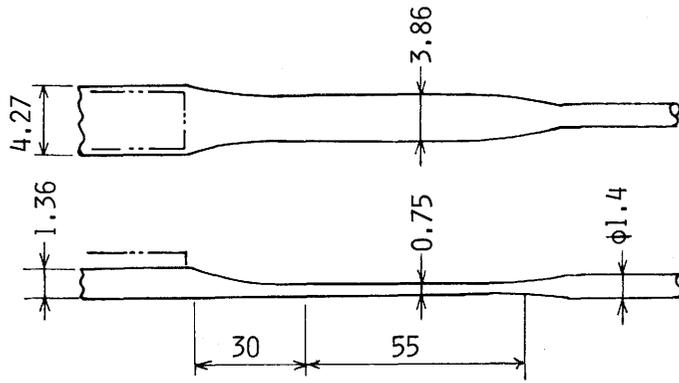


図1 テンプルの形状

3 テンプル材料のばね特性

3.1 試験方法

図2にばね性試験装置の概略を示す。テンプレの丁番取付部を固定し、固定端から90 mmの位置でロードセルを取付けた加圧子によってテンプレにたわみを与えた。表面ひずみはテンプレの表と裏に貼りつけたストレーンゲージから読取った。また適なたわみ量を与えたときのテンプレのたわみ曲線および除荷後の残留たわみ曲線の形状は写真撮影によって測定した。

3.2 試験結果および考察

図3に最大たわみ $\delta_{max} = 50$ mmにおけるたわみ曲線を、ま

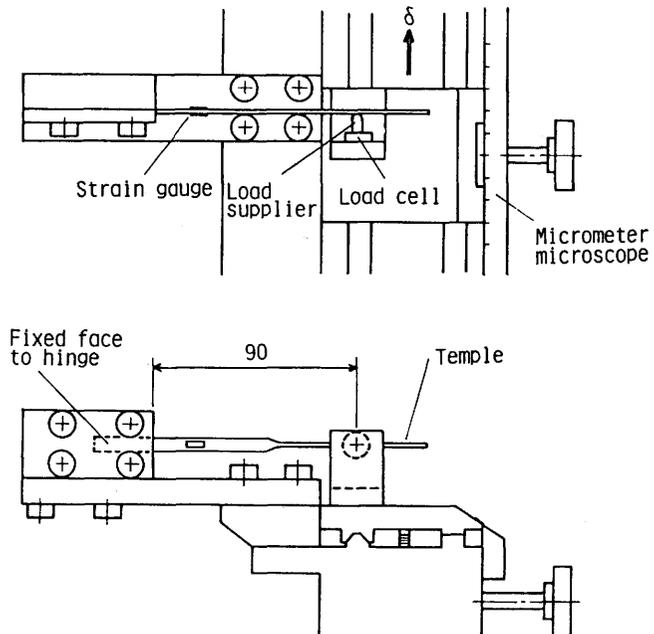


図2 ばね性試験装置

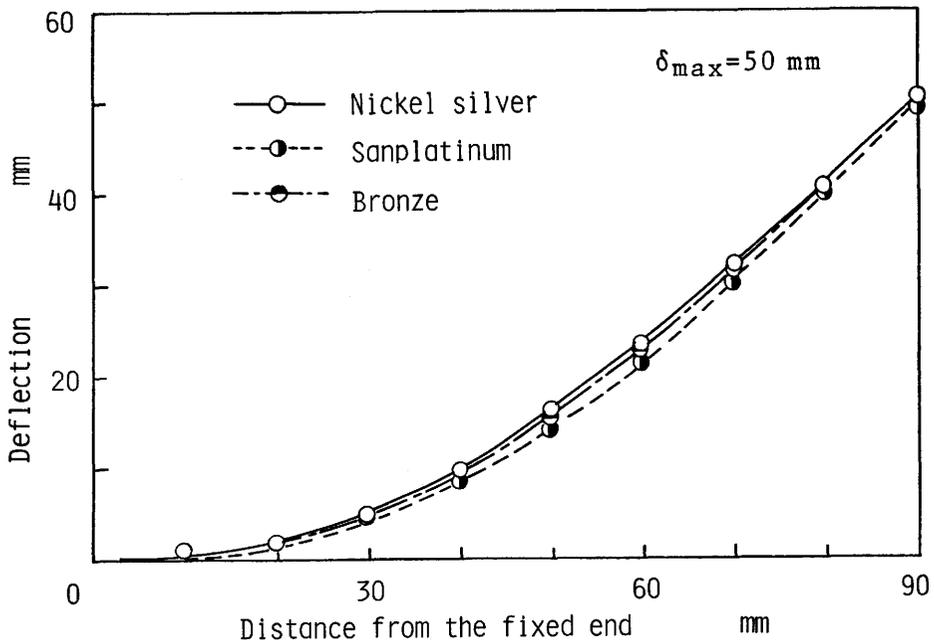


図3 たわみ曲線

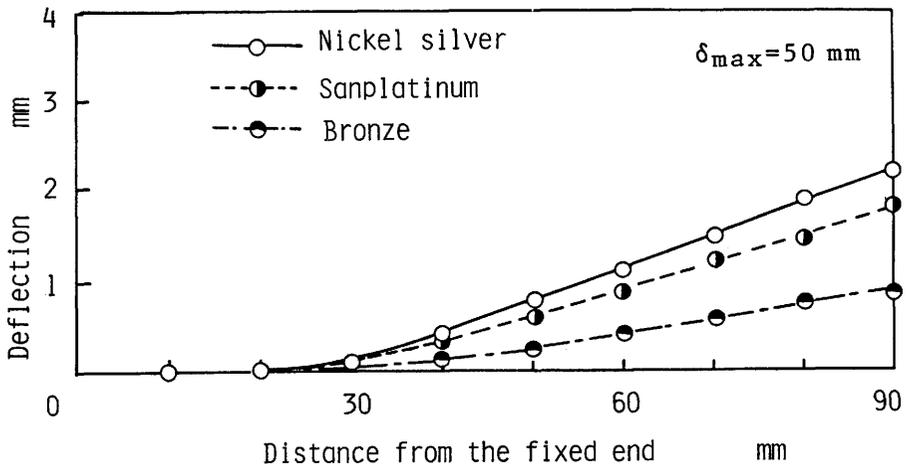


図4 残留たわみ曲線

た図4に除荷後の残留たわみ曲線を示す。たわみ曲線には材質および形状の違いはみられないが、残留たわみ量はブロンズ材で小さくなっている。また最大たわみ $\delta_{\max} = 50$ mmにおけるテンプレのひずみ集中部周辺の軸方向に対する全ひずみおよび塑性ひずみの分布状態を調べると図5のようである。図にはシミュレート計算結果(実線)も示す。いずれのテンプレ材でも実測値と比較的良好な対応関係がみられ、最大全ひずみは材質によらずほぼ等しいが、最大塑性ひずみは残留たわみ量の小さいブロンズ材で小さくなっている。

そこで残留たわみ量 δ_r と最大塑性ひずみ $\varepsilon_{p\max}$ の関係を一般化するために材料定数 (E, Y, n)

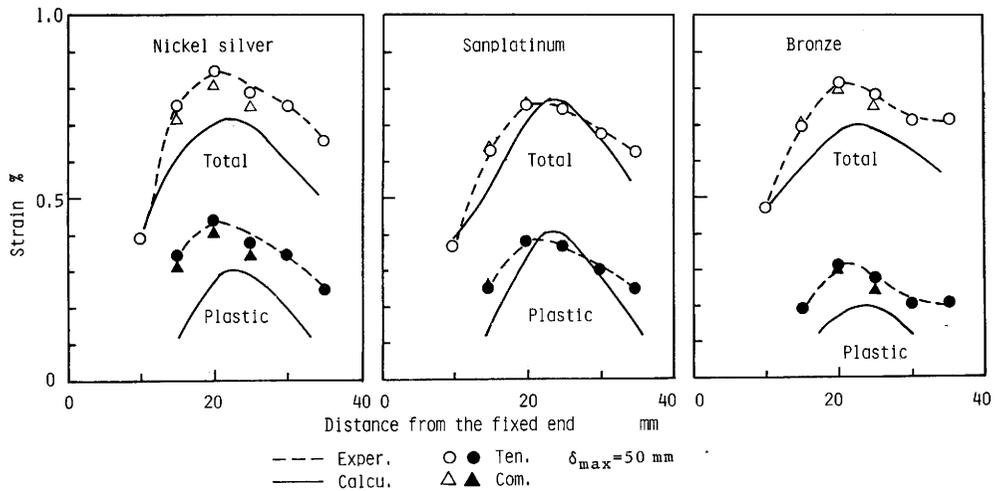


図5 全ひずみおよび塑性ひずみの分布状態

を種々変化させてシミュレート計算した。結果を図6に示す。 δ_r と ϵ_{pmax} の間には n が同じであれば、 E と Y の組合せによらない一義的な関係があり、残留たわみの大きさは最大塑性ひずみが大きくなると増大することがわかる。次に残留たわみ δ_r とテンブル材料の機械的性質(E/Y)の関係を調べると、図7のようである。 n が同一であれば、 δ_r は E/Y が小さくなるほど減少する。したがってテンブルの残留たわみを小さくすることが主要な目的である場合には E/Y の値の小さい材料ほど適当である。

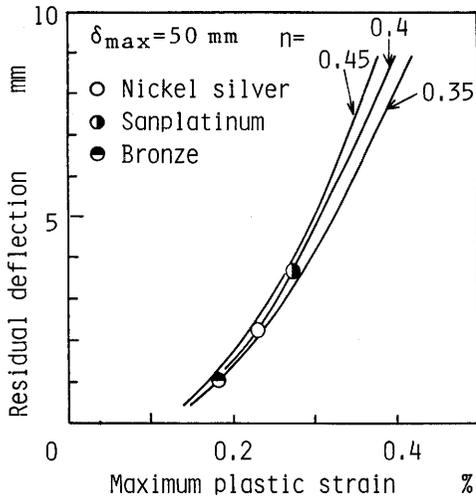


図6 残留たわみと最大塑性ひずみの関係

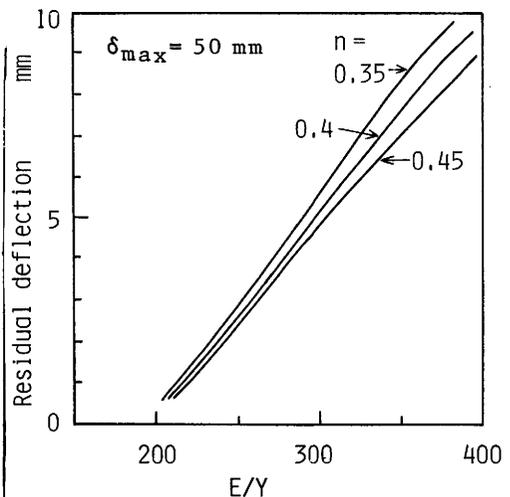


図7 残留たわみ E/Y の関係

4 テンプル材料の腐食試験

4.1 試験方法

図8に試験装置の概略を示す。25℃に保持した恒温水槽に入れた大型試験管に種々の腐食液を50 ml入れ、試料のテンブルを約30 mm程度浸漬させた。図のようにカロメル電極(Hg/Hg₂Cl₂/KCl)とルギン毛細管を取付け、腐食溶液中の腐食電位をデジタルマルチメーターと6打点記録計を用いて測定記録した。腐食液は水道水(PH=7.80), 0.05N-NaCl(PH=5.98), 0.05N-NaOH(PH=13.0), 0.05N-NaHSO₄(PH=1.88), 0.05N-H₂SO₄(PH=1.60), 0.01N-KMnO₄(PH=6.90), 0.05N-KMnO₄(PH=6.70)である。KMnO₄の濃度は酸化剤としての濃度である。なお試料のテンブル材料は表面をメタノールでよくふき、洗浄溶液で30分間煮沸したのち、水洗しさらにメタノールで洗浄乾燥させ、試験に供した。

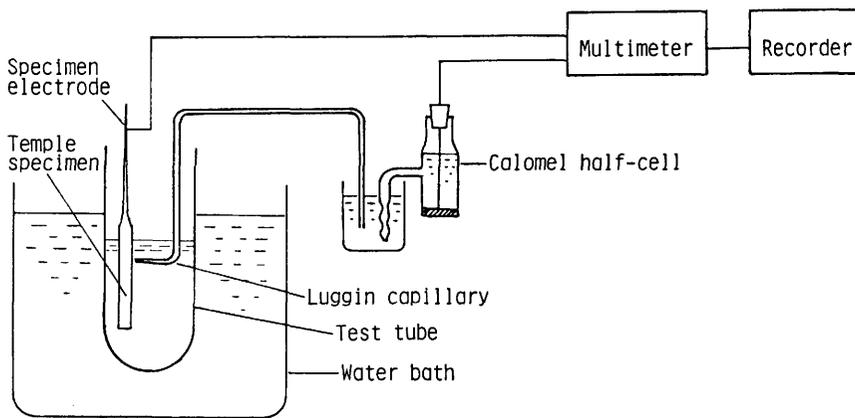


図8 腐食試験装置

4.2 試験結果および考察

腐食液中に72時間浸漬後のテンブル表面のマクロ写真を図9に示す。また肉眼観察によるテンブル

表3 腐食試験結果

溶 液	アルカリ		塩 類		酸 性		酸 化 性	
	0.05N-NaOH	Tap Water	0.05N-NaCl	0.05N-NaHSO ₄	0.05N-H ₂ SO ₄	0.01N-KMnO ₄	0.05N-KMnO ₄	
PH	13.00	7.80	5.98	1.88	1.60	6.90	6.70	
洋白ばね	一部さび付着 (-96)	先端部が黒く変色 (-82)	さび付着 (-135)	溶 解 光沢消失 (20)	溶 解 光沢消失 (-134)	溶 解 光沢消失 (20)	全 面 が 黒く 変 色 (340)	
ブロンズ	全 面 が 黒く 変 色 (-150)	さび付着 (-126)	さび付着 (-100)	溶 解 光沢消失 (6)	溶 解 光沢消失 (10)	○ (630)	○ (640)	
サンブラチナ	○ (-115)	○ (-160)	○ (22)	○ (95)	一 部 光 沢 消 失 (-245)	一 部 分 が 黒く 変 色 (150)	全 面 が 黒く 変 色 (370)	
金 ば り	○ (-42)	○ (-35)	先 端 部 が 一 部 光 沢 消 失 (-20)	先 端 部 が 一 部 光 沢 消 失 (60)	○	一 部 分 が 黒く 変 色 (190)	全 面 が 黒く 変 色 (396)	

※ ○は変化なし。すなわち安定であることを示す。
()内は腐食電位 mv vs S.C.E

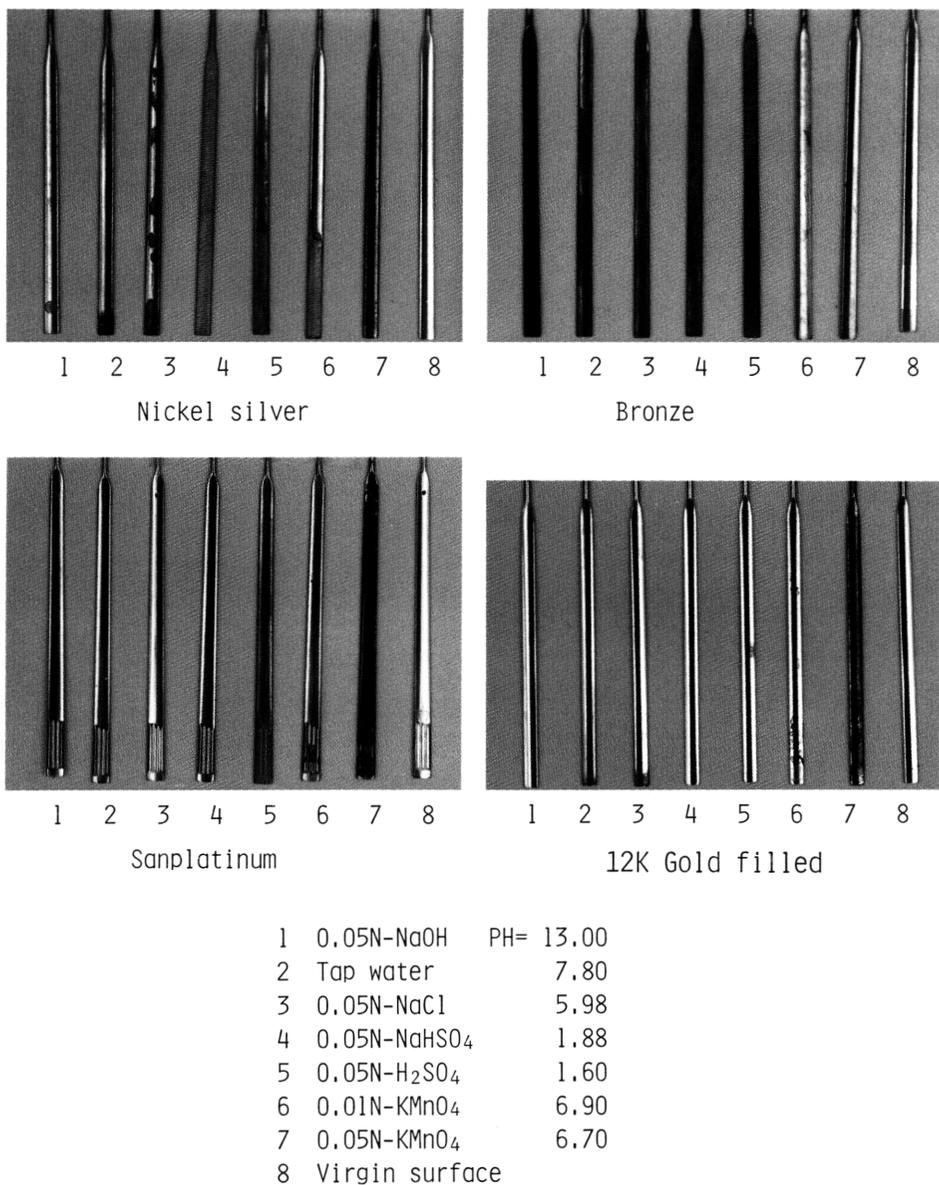


図9 溶液中に72時間浸漬後のテンブル表面

ル材料の腐食状況および腐食電位の測定結果をまとめて表3に示す。腐食電位は高いほど酸化性の強い環境であることを示している。洋白ばね材は全ての溶液中で腐食し、水中でさえも黒く変色する。酸性溶液中では溶解によって金属光沢が消え梨地状となる。とくに強い酸化性の溶液中では黒い変色がみられ、被害は最も大きい。これに対して洋白の母材に金張りを施した金張り材は、アルカリ性や一部の酸性溶液中でも腐食被害はあられず安定で、金の被膜は防食効果をもつことがわかる。ブロンズ材も洋白材と同様に耐食性は悪いが、酸化性溶液中では腐食被害は示さない。これは腐食電位

が試験開始直後に急上昇しその後一定値をとることから、ブロンズ材表面に酸化膜が形成されて防食効果をもつためと考えられる。サンプルチナ材は4種類のテンブル材料の中で耐食性は最もよいが、酸化性溶液中での変色は非常に激しく、一たん腐食がおこると、その被害は大きくなることが推測される。いずれのテンブル材料もそれぞれに特有な環境中で特色のある腐食被害を生ずるが、耐食性はサンプルチナ材が最もよく、洋白ばね材が最も悪い。金張り材の耐食性はかなり改善されるが、被膜が破断したときの挙動についてはさらに検討を要する課題である。

5 テンブル材料の腐食疲労試験

5.1 試験方法

図1に示したテンブル形状の平行部の両端を平板のチャックで押え、電気油圧サーボ式引張圧縮疲労試験機を用いて、テンブル中央部の約80mmに繰返し速度300cpmで片振り引張荷重を負荷した。3%食塩水中の試験は直径15mm、長さ20mmの円筒の亚克力製の環境槽を試験片の中央部に取付け、食塩水を密封した状態で行った。ふん囲気温度は大気中、液中とも室温(15~25℃)である。

5.2 試験結果および考察

表4に大気中と3%食塩水中における 1×10^6 時間強度および後者の前者に対する比、すなわち腐食環境中での強度低下率を示す。

表4 1×10^6 時間強度と低下率

	大気中 (kgf/mm ²)	3%食塩水中 (kgf/mm ²)	強度低下率
洋白	8.1	8.4	1.03
サンプルチナ	12.2	9.5	0.78
金張り	7.9	7.8	0.98

大気中ではサンプルチナ材が

洋白材および金張り材の約1.5倍の疲労強度をもつ。洋白の母材に金張りを施した金張り材の強度は素材と同じで、金張りは疲労強度に影響を及ぼしていないことがわかる。

3%食塩水中では、大気中に比べサンプルチナ材の疲労強度は著しく低下するが、洋白材、金張り材はほとんど変わらない。そのため材質による疲労強度の差は大気中より小さくなる。前節の0.05N-NaCl中の腐食試験では、洋白ばね材に腐食被害がみられ、サンプルチナ材と金張り材は変化しなかったが、疲労強度ではサンプルチナ材にのみ腐食の影響がみられる。しかし試験終了後のテンブル表面を観察すると、さびや溶解は生じておらず、サンプルチナ材の腐食疲労強度低下の原因は多分機械構造用ステンレス鋼などの場合と同じように表面薄膜の破壊によるものと推察される。また金張り材では引張り荷重の繰返しによって、表面被膜の割れやはく離が生じて腐食疲労強度は低下することが予想されたが、時間強度や表面観察ではこのような傾向は認められず、金張りの接着性は動的な荷重に対してもかなり有効であることが明らかになった。

6 金属芯と眼鏡枠用プラスチック材料の接着特性

6.1 試験片および試験方法

図10は試験片を作製するために用いたテンブルとプラスチックを熔融接着させる装置の概略である。テンブルの端面を治具上に置かれた厚さ4.1mmの供試プラスチックに接触させ、この状態で治具を接着用容器に入れ、さらにこれを恒温槽内に保持した。接着用容器内は真空排気した後、アルゴンガスを送入しながら恒温槽によって温度を上昇させた。テンブルはプラスチックが軟化、熔融し

た時点で底部まで侵入するが、試料が所定の接着温度に達してから10分間保持し、その後6℃/minの割合で室温まで冷却した。このようにして作られた試験片を室温(23℃)で引張試験(引張速度5mm/min)して、テンプレをプラスチックから引抜くのに要する荷重を測定し、これをテンプレ周囲の接触面積で除して接着強度とした。供試プラスチックは、タキロン製セルロースプロピオネート樹脂で、その熔融温度は166℃である。

6.2 試験結果および考察

図11は種々の温度で熔融接着された4種類のテンプレ材料と供試プラスチックの接着強度である。それぞれの結果はおおよそ5回の試験の平均値である。プラスチック試料の厚さは、周囲への流動とテンプレのまわりにくぼみを生じるため減少する。

しかしこの現象は前者では接着温度が高いほど、後者では逆に低いほど著しくなるため、結局試料の厚さは接着温度によってあまり差がみられなかった。

いずれのテンプレ材料でも、接着温度が上昇すると接着強度は増加するが、ある温度以上では逆に低下する。たとえば198℃の接着強度は188℃や205℃の約3倍程度も大きく、接着強度を最大にする接着温度が存在することがわかる。接着温度が205℃になると接着強度が再び低下した理由については、本実験で得た結果からでは明らかでなく、界面組織や接着後の冷却時に生ずる熱応力などの面からさらに検討を要する課題である。またテンプレ材料の材質による接着強度の差は小さいが、高温での結果をみるとサンプラチナ材の強度が最も大きく、洋白ばね材が最も小さい。眼鏡用プラスチック材料と金属芯の熔融接着強度には金属芯の材質が関与していることが推測される。

7 丁番材料の摩耗試験

7.1 試験片および試験方法

供試材料は実用の丁番に用いられている黄銅、洋白、Snが添加されたSn入り洋白およびサンプラ

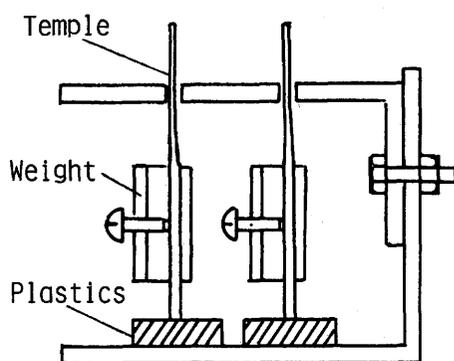


図10 熔融接着装置

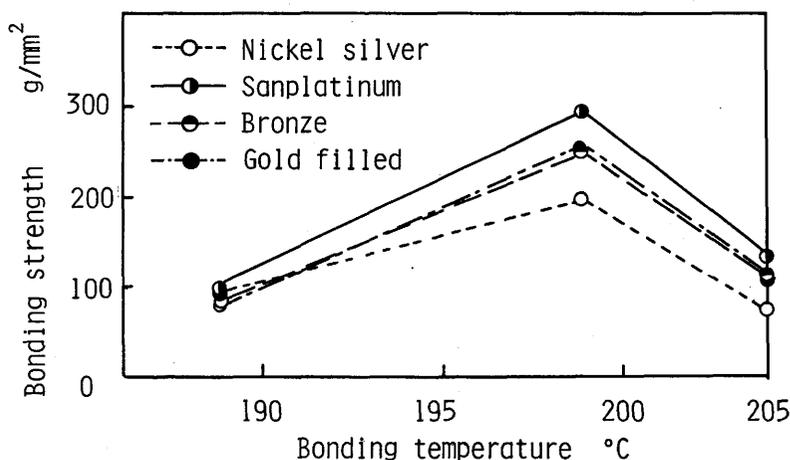


図11 各種テンプレ材料の接着強度

チナの線材と板材である。表5に化学成分とピッカースかたさ(100g30秒)を示す。直径4mmの線材を定寸切断したピン試験片のほうが厚さ2

表5 丁番材料の化学成分とピッカースかたさ

	化 学 成 分 %								ピッカース硬さ (100g・30秒)	
	Cu	Ni	Zn	Cr	Ag	Sn	Fe	ピン	ディスク	
黄銅	64.0	—	36.0	—	—	—	—	172	150	
洋白	60.8	18.9	18.3	—	—	0.2	0.5	225	164	
Sn入洋白	58.5	24.2	13.3	—	—	2.0	0.3	182	190	
サンブラチナ	1.0	82.3	0.3	14.8	1.6	—	0.2	292	200	

mmの板材から切出したディスク試験片よりも若干かたい。摩耗試験はピン-ディスク方式によって行い、接触荷重は $P=500\text{g}$ 一定、平均周速は $v=0.43\text{m/s}$ 一定とした。摩擦係数はピン支持アームの板ばねに貼ったひずみゲージにより測定した。ピンの直径は4mm、ディスクはほぼ $35\text{mm}\times 35\text{mm}$ 、厚さ2mmの平板で、ディスクに生ずる摩耗痕の平均直径は22mmである。試験片表面は#1000エメリー紙で仕上げた。とくにピン端面は摩擦開始時のあたりをよくするため、ディスク面に両面接着テープで貼りつけた#1000エメリー紙と摩擦することによって研磨した。

7.2 試験結果および考察

図12に摩耗曲線の一例として同質材のピンとディスクを摩擦したときの結果を示す。黄銅、洋白およびSn入り洋白材では、試験開始直後ほとんど摩耗しないが、100~200m摩擦後にピン端面が全面接触し、その後摩耗量は直線的に増大する。サンブラチナ材では、摩擦開始直後から著しい摩耗量を示す。このように銅合金とニッケル合金の摩耗進展挙動には違いがみられる。摩耗曲線の直線の勾配から単位摩擦距離あたりの摩耗量(摩耗率)を求めると表6のようである。表には異種材のピンとディスクを摩擦した結果および耐摩耗性を評価するため黄銅どうしを摩擦したときのピンの摩耗率を基準とした各種材料の摩耗率の相対比も示してある。銅合金では黄

表6 丁番材料の摩耗試験結果
銅合金

ピン	ディスク	摩耗率 $\times 10^{-2}\text{mg/m}$		摩擦係数	耐摩耗性の評価値	
		ピン	ディスク		ピン	ディスク
黄銅	黄銅	5.1	0	0.30	1	0
	洋白	5.7	0	0.28	1.1	0
	Sn入洋白	4.6	0	0.24	0.9	0
洋白	黄銅	8.9	1.6	0.31	1.8	0.3
	洋白	16.5	0.4	0.38	3.2	0.08
	Sn入洋白	0.13	0.02	0.38	0.03	0.004
Sn入洋白	黄銅	0	3.1	0.39	0	0.6
	洋白	0.4	7.6	0.69	0.08	1.5
	Sn入洋白	1.5	4.2	0.69	0.3	0.8

ニッケル合金

ピン	ディスク	摩耗率 $\times 10^{-2}\text{mg/m}$		摩擦係数	耐摩耗性の評価値		
		ピン	ディスク		ピン	ディスク	
サンブラチナ	黄銅	0	3.1	0.42	0	0.6	
	洋白	0.3	7.9	0.69	0.06	1.5	
	Sn入洋白	10.2	7.5	0.57	2.0	1.5	
	サンブラチナ	15.2	26.8	0.57	3.0	5.3	
黄銅	サンブラチナ	黄銅	5.3	0	0.26	1.0	0
		洋白	14.4	0.04	0.38	2.8	0.008
		Sn入洋白	11.0	32.6	0.52	2.2	6.4
		サンブラチナ	15.2	26.8	0.57	3.0	5.3

銅や洋白材のピンで摩擦したとき、ピンは比較的大きな摩耗率を示すが、ディスクはほとんど摩耗しない。これはピンから発生した摩耗粉がディスク表面に付着してディスク材料を防護するためである。これに対しSn入り洋白材のピンでは、摩擦係数は洋白材の約2倍程度も増大するにもかかわらず摩耗率は減少するが、Ni含有量の増大のためか微量なSnの添加によるものかわからない。しかし後述のニッケル合金の摩擦係数と摩耗率が大きいことから、軟かいSnが洋白材の耐摩耗性向上に関与しているものと考えられる。とくに常に摩擦する面（ピンに相当する）に洋白材を、その相手面（ディスクに相当する）にSn入り洋白材を組合せたとき、耐摩耗性は著しく向上している。

次にニッケル合金（サンプルチナ材）の摩耗率をみると、同質材どうしで摩擦したとき摩耗率は大きく、本実験の全ての組合せのなかで耐摩耗性は最も劣る。また銅合金との摩擦では相手材のNi含有量が増すほど耐摩耗性は低下する。サンプルチナ材はCrやAgの添加によって、洋白材に比べ切削性が著しく改善されているが、これが逆に摩耗粉の付着を弱め摩耗量を増大させる一因となっているものと考えられる。したがってサンプルチナ材どうしの摩擦は極力避けるよう注意すべきである。

8 ま と め

長期間の使用により眼鏡枠の機能を著しく低下させるテンプルの弾力性、耐食性、疲労破損強度およびプラスチックとの接着特性、さらに丁番の耐摩耗性の諸問題について、総合的に検討して、より適切な眼鏡枠材料の選択法とより耐久性のある眼鏡枠の設計基準を確立するための基礎的資料を得た。

福井県は我国眼鏡枠生産高の90%以上を占める産地であり、本研究の成果は地場産業の発展にも貢献できるものと考えられる。これらの研究は着手されたばかりで、研究は継続されており、いっそうの成果が期待できる。なお今後の成果は各課題別に発表する予定である。

本研究は昭和57年度福井大学特定研究（代表者 岡田庸敬）として実施されたもので、研究費の助成に対し謝意を表します。また供試材料の提供と有益な御助言をいただいたツーリング眼鏡株式会社 丹羽康博社長に感謝いたします。

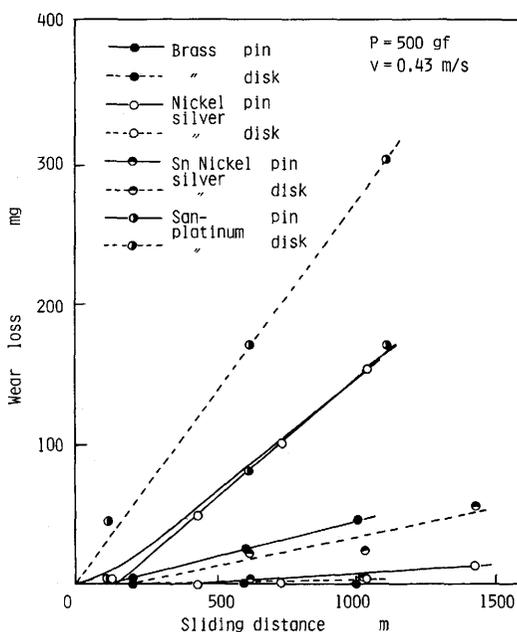


図12 丁番材料の摩耗曲線

