

## 〔学位論文要旨〕

## 高分子材料の重合収縮と熱収縮によって生じた 金属・レジン接着界面の残留応力とメタルフレームの変形

垣野 健

北海道医療大学大学院歯学研究科

### 目 的

加熱重合法によって接着性レジンを経金属構造物に接着させ場合、レジンの重合収縮と熱収縮によって、接着界面に大きな応力が生ずる。この応力は、接着構造物を変形させる力となるとともに、接着界面からレジン剥離させる原因となる。しかし、接着界面の応力状態についてはほとんど解析されておらず、またメタルフレームの変形についても十分に解明されていない。

本研究では、金属とレジンの厚さの異なる接着試験片について、レジンの重合過程で生ずる収縮に起因するメタルフレームの変形挙動を調べるとともに、接着界面における応力状態の解析を試みた。変形挙動の観察では、リング状試験片、平板状試験片および多数歯ブリッジを想定した湾曲試験片の3種類の試験片を用いた。

### 材料および方法

#### 1. メタルフレームの変形挙動の観察

厚さ0.3mm、高さ10mmの塑性加工で作製した金銀パラジウム合金板に鑲付を施し、直径20mmのリング状試験片を作製した。リング外周に厚さ1mmの接着性加熱重合レジン層を形成した。重合後、刃厚0.5mmのダイヤモンドカッターでリングを切断した。リングを接着させた場合と接着していない場合について、切断後のリングの開きを調べた。

平板状試験には、縦10mm、横50mm、厚さ0.3mmのフレームを用いた。レジン築盛前に金属表面をアルミナサンドブラスト処理し、メタルプライマーを塗布して、硬質レジンを経均一な厚みに築盛した。レジンの厚さは1mm、2mm、3mmの3条件とした。重合後、平板メタルフレームのたわみを万能投影器で計測した。

6歯ブリッジを想定した金銀パラジウム合金製湾曲試験片を鋳造で製作した。基板の厚さを7種類(0.7

mm~2.8mm)とした。レジン前装部には、リテンションビーズを付け、レジンとの機械的維持機構を付与した。レジンの厚さを1.5mmとし、硬質レジンを経築盛して重合後、フレームの変形を経万能投影器で計測した。

#### 2. 超音波顕微鏡による接着界面の応力測定

超音波顕微鏡によって応力の解析を試みた。超音波顕微鏡で測定した表面弾性波の音速VRは、応力状態によって変化するので、VRの変化から応力を求めることができる。ロードセル付の三点曲げ試験装置を用いて、レジンの曲げ試験を行った。引張応力側のレジン表面で音速の測定を行い、応力と音速変化の関係を求めた。

厚さ4mmのステンレス鋼に4-META含有の接着性加熱重合型レジンを経重合し、接着界面における応力測定試験片とした。またリテンションホールを有するメタルフレームについて、レジンを経接着した場合と接着しない場合について、リテンションホールの近傍クラックを観察するとともに、応力状態を経超音波顕微鏡で調べた。

### 結果および考察

#### 1. 超音波顕微鏡による応力測定

音速測定の結果、接着界面の極狭い領域(60μm)内に引張応力が限局していることが明らかになった。リテンションホールを有する試験片では、レジンとメタルフレームが接着している場合では、レジンと合金の界面における接着の影響を受けて、ホール内のレジンの収縮が拘束されるため、同部位のレジン内に引張応力が導入された。

#### 2. 重合収縮と熱収縮によって生じたメタルフレームの変形とクラックの発生

リング状試験片では、レジンが接着していない場合では、金属リングに変形は現れず、隙間はカッター刃の厚み(0.5mm)であった。しかし、レジンと金属が強固に接着している試験片では、リングの切断後における隙

間の開きが大きくなった。レジンの重合収縮と熱収縮によって生じた応力によるメタルフレームの変形を強調して可視化することができた。

平板状試験片では、レジンの厚さが増すにしたがって、レジンの収縮に伴うメタルフレームのたわみは小さくなった。また、レジンの厚さを1.5mm一定にした場合でもフレームの厚さが増大するとたわみが減少した。レジンの断面積の幅と弾性係数が同一だとすると、曲げこわさは、厚さの3乗に比例する。レジンの厚さの増加に伴う応力の増大よりも、曲げこわさの効果の影響が大きいため、レジンの厚さの増大に伴って試験片のたわみが減少したと考えられる。レジンの厚さを一定にし、メタルフレームの厚さを変えた湾曲フレームにおいても、同様の理由でフレームの厚さの大きいほどたわみが小さくなった。

リテンションホールを有するメタルフレームの場合、接着の有無によって、レジンの亀裂の様相が異なった。レジンとメタルフレームが接着していない場合では、レジンの収縮によって合金がたわみ、合金が水平に戻ろうとする力によってレジン内に直線的な微細なクラックが生じた。しかし、レジンとメタルフレームが接着している場合では、ホール内のレジンに引張応力が作用したため、ホールに沿った形でクラックが生じた。

### 3. 硬質レジンの重合過程の収縮によって生ずる臨床的問題

多数歯にわたるレジン前装ブリッジの場合には、レジンの重合収縮にともなうメタルフレームの変形と、その結果として生じるメタルフレームの弾性回復力によって、硬質レジン内に引張応力が発生し、クラックが生ずることが明らかになった。技工段階において生じた歯冠隣接部のクラックは、前装レジンの破折や変色などの原因になる。

## 結 論

本実験では、接着性加熱重合レジンを金属試験片上に重合し、試験片の変形の大きさから、レジンの重合収縮と熱収縮に起因するレジン内の残留応力の大きさを調べるとともに、レジンとメタルフレームの接着の有無とリテンションホール近傍のレジン内における応力状態を超音波顕微鏡法で解析した。また、多数歯ブリッジを想定した硬質レジン前装ブリッジの変形挙動を解析し、レジンの重合収縮と熱収縮に伴う臨床的問題を提起した。

得られた結果は次の通りである。

1) 板状試験片におけるたわみの測定では、レジンの厚

さが薄くなるほど、たわみが増大した。

2) 超音波顕微鏡による音速測定では、金属・レジン接着界面近傍のレジン側で、音速が減少し、引張応力が作用していた。特に接着界面から約60 $\mu\text{m}$ の領域における応力変化が大きかった。リテンションホール近傍のレジン内における応力状態を超音波顕微鏡法で解析したところ、レジンとメタルが接着している場合には、リテンションホールのレジンに引張応力が作用し、ホールに沿ってクラックが発生した。

3) 6本の前装ブリッジに硬質レジンを重合した場合、メタルフレームの曲率半径が減少するように変形した。重合後の形態修正によって、硬質レジンの隣接部にクラックが発生し、発生したクラックの数が多いほど、重合収縮によるメタルフレームの変形が回復した。