

北海道自動車短大 ○笠井 博、北海道大学工学部 勇田敏夫、菊田幸明

1. はじめに

心臓代用弁(人工弁)の開発において最も重要視すべき問題のひとつに耐久性が挙げられる。従来、耐久性評価は主として加速耐久試験などの実験によって検討が為されてきたが、弁開発の立場からみた場合、試作・実験の繰り返しは必ずしも効率的な弁開発とは言えない。そのため、コンピュータ・シミュレーションを用いた試作前の応力解析は耐久性評価において非常に有効な方法とされており、効率的な弁開発が可能となる。

従来、人工弁材料として特に弁葉には高硬度材料である脆性材料が使用されてきたが、心臓弁のように衝撃的な繰り返し荷重が作用する条件では必ずしも適切な材料選択とは言えない。そこで、我々は弁材料として靱性を有し一般的な工業材料として広く使用されているアルミニウム合金の応用を試みている。本研究はアルミニウム合金を用いた新しい人工弁の開発を目的とし、人工弁の耐久性評価としてシミュレーションによる解析を導入したものである。第1報において既存弁をモデルとした応力解析シミュレーションを行い、加速耐久試験による実験結果とも合わせてシミュレーションの有効性について確認を行った。本報では我々が開発を試みているアルミニウム合金を用いた中心開放型人工弁をモデルとして、静的な負荷を与えた場合に生じる弁閉鎖時の拘束条件の違いによる弁葉上の応力分布状態および変位状態について調べ、中心開放型人工弁の弁閉鎖機構について検討したので報告する。

2. 解析方法

解析は静的荷重条件下で構造物に生じる応力状態を調べることから、せん断ひずみエネルギー説に基づいた最も一般的な降伏条件の一つである von Misesの降伏条件を用いて行った。式(1)に von Misesの式を示す。

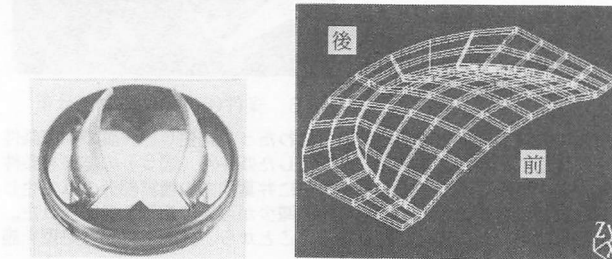
$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad \text{ここで、}\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \text{は主応力} \quad (1)$$

式(1)は、せん断ひずみエネルギーがある限界値に達した時に破壊が生じるという仮定を基に3次元応力状態を単軸応力状態に相当させた降伏条件式であるが、実験的にも検証された式としてアルミニウムなどの靱性を有する材料の応力解析に多く用いられている。なお、応力解析を行なうにあたっては汎用有限要素法解析プログラムNISA II (EMRC社開発)を使用し、SONY PWS-1560 上で計算を行なった。

3. 実験条件

我々が開発を進めている中心開放型人工弁は写真1に示すようなピボット機構を有する2葉式の人工弁である。解析は、写真2に示すように弁閉鎖状態を仮定した厚さ0.4mmの弁葉モデルを作成し、図1に示すように外力として100mmHgの圧力を弁葉上に作用させた。また、以下に示す条件で弁葉閉鎖時の拘束状態を仮定し、拘束条件の違いによる弁葉上の応力集中変化について観察を行なった。なお、拘束条件はピボット位置のみ回転方向以外の5自由度を拘束し、他の場合は6自由度すべてを拘束した。

- 条件① ピボットおよびピボット周辺の拘束
- 条件② ピボットおよびピボットより弁葉前縁下面の拘束
- 条件③ ピボットおよびピボットより弁葉後縁上面の拘束
- 条件④ 条件②と条件③両方の拘束



(写真1)

(写真2)

試作された中心開放型人工弁 弁葉のシミュレーションモデル

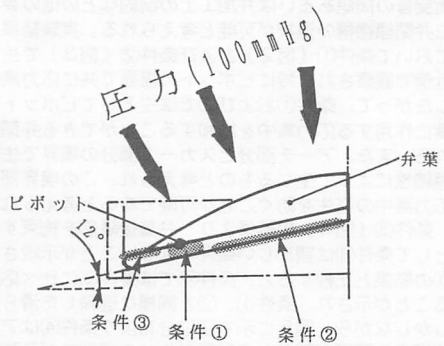


図1

解析を行なった弁葉モデルの実験条件

4. 実験結果

図2~5に解析結果を示す。また、図中の白い三角形は応力集中箇所を示している。これらの結果より応力分布状態について比較すると条件①(図2)および条件②(図3)では比較的類似した結果が得られており、特に応力集中場所もピボット周辺部とその近傍のアーチ部分とスカート部分の境界で生じているのが分かる。条件③(図4)では、応力集中と見られる場所が数カ所観察され、図4に示した角度からは観察しづらいがピボット下面で広範囲に亘って比較的高い応力状態が確認された。条件④(図5)では、応力状態はこれまでとは異なり応力集中はピボット周辺部と特に弁前縁のアーチ部分とスカート部分の境界で高いことが示され、図6に示すように最大変位もアーチ部分の両わきで生じることが観察された。また、条件④以外の条件では変位量の差は見られたが、いずれの場合も変位傾向にあまり大きな変化は示されなかった。

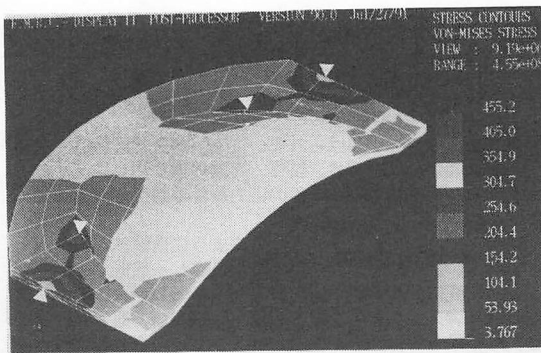


図2 条件①における応力分布結果

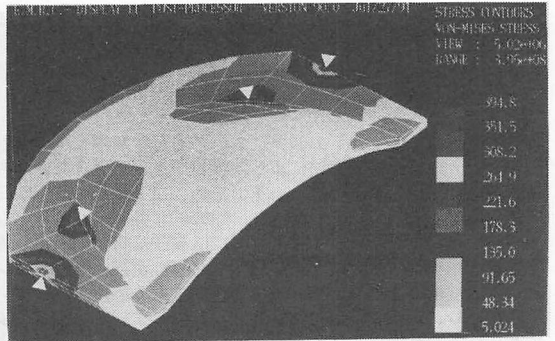


図3 条件②における応力分布結果

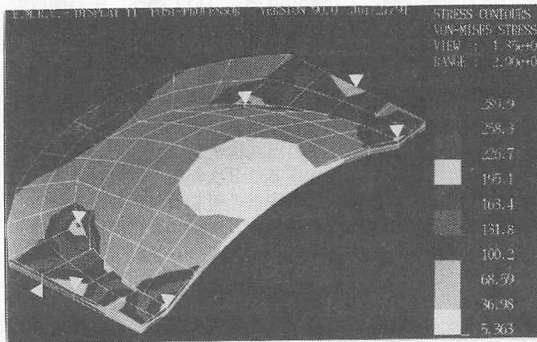


図4 条件③における応力分布結果

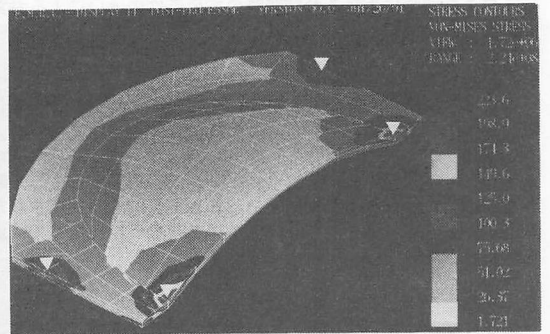


図5 条件④における応力分布結果

5. 考察

実験結果よりいずれの拘束条件においても応力集中は観察されており、応力集中の有無で最適な拘束条件の選択を行なうことは難しい。しかしながら、弁閉鎖時の衝突音の問題あるいは弁加工上の制約などの他の要因を併せて考慮することで適した弁閉鎖機構の選択が可能と考えられる。実験結果で示したように、静的荷重条件において条件①(図2)および条件②(図3)で生じる応力集中の発生場所は同一近傍で観察され、特にピボットの裏面に共に応力集中が大きいたことが確認された。したがって、条件①および②では主としてピボットまわりの耐久性を補うことで弁葉に作用する応力集中を緩和することができる弁閉鎖機構が得られることが示唆された。また、アーチ部分とスカート部分の境界で生じた応力集中は主に曲面間の不連続性によって生じると考えられ、この境界部分を滑らかな曲面にすることで応力集中の発生を防ぐことが可能であると考えられた。

条件③(図4)の結果より、弁葉後縁部を拘束することで弁葉上に応力集中が数カ所にわたって発生し、弁葉の拘束条件として条件③は望ましい条件ではないことが示唆された。さらに、条件②と条件③を満たした条件④(図5)の結果を条件③の結果と比較すると、条件④では条件③に比べ応力集中発生場所も減り、応力集中は主に弁葉前方の境界部分のみで生じることが示され、条件①、②と同様に連続した滑らかな曲面に改善することで応力集中の減少が可能であると考えられた。しかしながら、図6に示す変位分布より条件④はアーチ部分でうねった変位が生じることから、弁葉上に表面処理を施す場合に薄膜剥離などの問題が生じる可能性が示唆された。

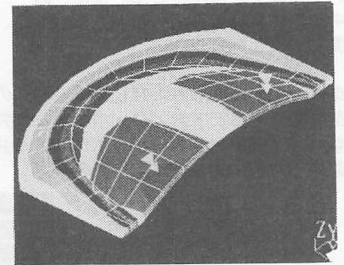


図6 条件④における変位分布

6. まとめ

本報では、アルミニウム合金を用いた中心開放型人工弁の弁葉応力分布状態について静的荷重条件で基礎的解析を行なった。これより、弁葉の拘束条件の違いによって応力集中場所が異なることが示され、ピボット周辺部あるいはピボットおよび弁葉前縁下面を拘束する条件が弁閉鎖機構として適していることが示唆された。今後は繰り返し荷重のような動的な荷重条件で解析を行ない、応力分布状態および応力値結果について材料の疲労限との比較を踏まえ評価を行なう予定である。

参考文献

菊田、下岡、勇田、上野：コンピュータ・シミュレーションによる心臓代用弁の耐久性評価(第1報)
1990年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集 pp1077-1078

平 修二：「現代 材料力学」 オーム社
葉山益次郎：「大学課程 塑性学と塑性加工(第2版)」 オーム社
西田正孝：「応力集中 増補版」 森北出版株式会社