

おしらせ

食品冷凍技術普及講習会開催

水産庁委託による、食品冷凍技術普及講習会は「冷凍水産物の流通技術」をテーマとして、福岡(9/18日開催)に引き続き、大阪・名古屋・仙台の消費地における冷蔵倉庫を中心としての輸送配送に重点をおいて講習会を開催いたすこととなりました。

本講習会は、第3年度目に当り、53、54年度には延1,000名に近い受講生が参集、非常に好評を得ました。絶好の機会ですので、奮って御参加されるようおすすめいたします。

主催：社団法人 日本冷凍協会

開催日	テーマ "冷凍水産物の流通技術"	あいさつ 開催主旨説明	講義 "流通過程における品質管理"	休憩	講義 "冷蔵倉庫と業務用冷蔵庫"	講義 "輸送配送"	講師による質疑応答
10/16日(木)	大阪 大阪府商工会館 7F第2講堂	副会長 加藤舜郎	小嶋 秩夫 (東京水産大学)		河合 豊昭 (河合製水冷蔵)	手塚 芳明 (富士重工業)	
11/6日(木)	名古屋 愛知県産業貿易館 西館4F	副会長 橋爪源一郎	尾藤 方通 (東海区水産研究所)		三橋 奨 (東洋工機)	黒田 長治 (流通システム研究センター)	
12/4日(木)	仙台 宮城県労働福祉会館 5F大会議室	副会長 石渡 憲治	田中 和夫 (東京水産大学)		五味 正人 (東京豊海冷蔵)	川村 久雄 (日本冷凍食品検査協会)	

午前10時より午後5時まで講義時間は各1時間30分、質疑応答のため1時間を予定し、受講者各位の積極的なご質問を歓迎いたします。

テキスト：テキスト作成委員会委員の分担執筆によるテキストを当日会場にて頒布いたします。テキストは受講者のおまけにいたします。

参加料：受講料、テキスト代は無料です。

申込先：東京都新宿区三栄町8番地 三栄ビル

社団法人 日本冷凍協会 TEL 03 (359) 5231

申込締切：大阪 昭和55年10月9日(木) 名古屋 昭和55年10月30日(木)  
仙台 昭和55年11月27日(木)

昭和55年度 食品冷凍技術普及講習会申込書

ふりがな氏名			
勤務先及びその住所	〒	TEL ( )	
受講希望地	大阪・名古屋・仙台 (○を付して下さい)		

研究論文

冷凍圧縮機用腕付環状吐出弁の変形と応力

Deformation and Stress of Flexible Ring Valve used for Refrigeration Compressor

二 川 暁 美\*  
Akemi FUTAKAWA

苗 村 康 次\*  
Koji NAMURA

江 本 浩 徳\*\*  
Hironori EMOTO

Summary

The purpose of this study is both theoretically and experimentally to present the deformation and stress of a flexible discharge ring valve, and to get design concept on this type valve and its backer plate. The strain measurements of the valve were carried out on the strain gauges mounted at the root of the spoke and at the transmission point in the spoke. The deflection measurement was also performed by electrodes and then the relationships among strain, deflection, and pressure were examined. Moreover, the stress and deformation of the valve were statically calculated by the finite element method. These calculations were performed against various drag forces under three different supporting conditions. Comparing the theoretical results with the experimental results, the relationship between the valve deformation and stress was discussed over a wide range of operating pressures. The design concept of the backer plate was also discussed in conjunction with the valve deformation and stress.

1. 緒 言

冷凍圧縮機的设计では、構成要素の信頼性の評価と圧縮機の最大効率の追求という二つの問題を検討する必要がある。冷凍圧縮機的设计や開発段階で、これらの問題を効果的に検討する目的で、これまでに冷凍圧縮機のシミュレーションや弁の応力に関する研究が多くの研究者によってなされている<sup>(1)~(5)</sup>。そして、冷凍圧縮機の作動特性や効率に関する各部の挙動がかなり予測できるようになっている。しかし、これらの研究は、リード弁を対象にしたものが大部分であり、腕付環状弁を対象にした研究<sup>(6)~(9)</sup>は、ほとんどないのが現状である。これは、腕付環状吐出弁が三次元的な変形挙動を示し、しかも弁の変形とともに拘束状態が複雑に変化するもので、それらの実験的・解析的検討が非常に困難であるためと考えられる。

最近、腕付環状吐出弁は、冷媒流量が比較的大きな冷凍圧縮機に広く適用されるようになってきている。この

形式の弁的设计では、二律背反する二つの条件を満足させて弁および弁まわり構造の寸法を決定しなければならない。その第1の条件は、弁の信頼性の観点から、弁揚程を出来るだけ小さくし、弁応力を疲労限度以下に抑制することである。その第2の条件は、冷凍圧縮機の効率の観点から、出来るだけ大きな変形を弁に生ぜしめて、開口流路面積を大きくすることである。これらの二律背反する条件を満足するように弁および弁まわり構造を決定するには、弁に対する拘束状態の変化を明らかにし、これと関連させて弁の変形や応力の発生状態を明らかにしておく必要がある。

本研究では、上記の観点から、腕付環状吐出弁の変形と応力の発生状態を明らかにし、弁押えの設計概念を導出することを意図した。そこで、まず、実際の冷凍圧縮機と同じ弁まわり構造の実験装置を用いて、供

\*三菱電機株式会社 中央研究所  
\*\*三菱電機株式会社 長崎製作所  
原稿受理 昭和55年6月2日

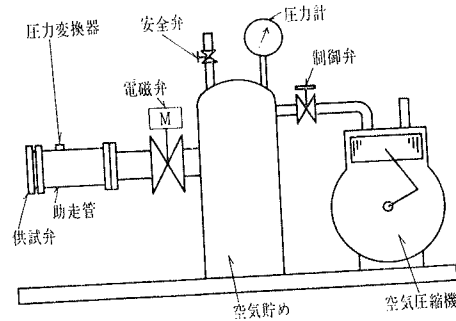


図1 実験装置の概略

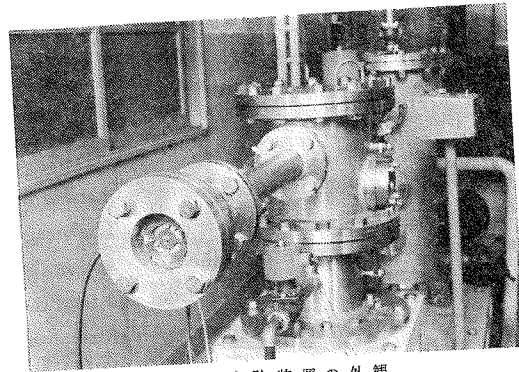


図2 実験装置の外観

試弁に分布荷重を作用させ、その変形と応力を測定した。つぎに、供試弁の変形と応力を有限要素法で計算した。これらの計算は、弁が自由に変形する場合、腕方向のリングの外周で弁が弁押えに支持されて変形する場合、および腕と直角方向のリング中央部の外周で弁が弁押えに支持されて変形する場合、について行った。また、これらの計算結果と実験結果を比較して、計算結果の妥当性を検討した。さらに、支持条件が弁の変形と応力の発生状態に及ぼす影響を明らかにし、これらの結果に基づいて、弁および弁押えの設計概念を導出した。そして、実際の冷凍圧縮機に供試弁を組み込んで、ひずみの発生状態を調べ、本研究で示した弁および弁押えの設計概念の妥当性を検証した。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 実験装置

実験装置の概略を図1に示す。また、実験装置の外観を図2に示す。本実験には、腕付環状吐出弁を供試した。この供試弁は、助走管の端部に取り付けた。空気貯めと助走管の間には、電磁弁を取り付け、空気貯めより供試弁に供給する空気の管路を開閉できるようにした。供試弁には、空気貯めに蓄えた圧縮空気を導き、実際の冷凍圧縮機の弁の変形に近い変形を供試弁

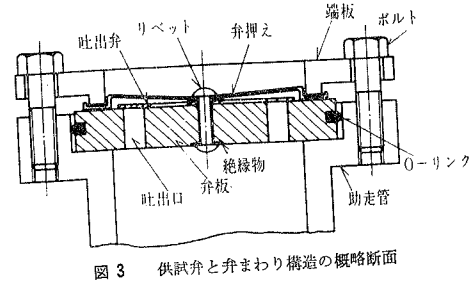


図3 供試弁と弁まわり構造の概略断面

に生ぜしめられるようにした。

### 2.2 供試弁および弁押えの構造

本実験に用いた供試弁と弁まわり構造の概略断面を図3に示す。図3は腕に直角方向の断面である。供試弁の外径は63mm、リングの内径は45mm、腕の幅は6.4mm、板厚は0.5mmである。弁押えの揚程はC点で0.5mm、D点で2.0mmであり、C点とD点の間は3次元的に変化している。供試弁は、弁板と弁押えの間にはさみ、中央部でそれらをリベット締めた。

### 2.3 実験方法

#### 2.3.1 ひずみの測定方法

本実験に用いた腕付環状吐出弁の外観を図4に示す。実験では、2種類のひずみゲージを用いた。その一つは2軸のひずみゲージである。このひずみゲージは、腕とリングの付け根付近に一つの軸が腕の方向と一致するように貼り付けた。他のひずみゲージは単軸のひずみゲージである。これは腕の根元付近に腕の方向と一致させて貼り付けた。これらのひずみゲージは、予備計算で大きなひずみが生じると予測された位置に貼り付けた。本報告では、図4に示すように、各ひずみゲージの貼り付け位置は、腕とリングの付け根付近をA点、また、腕の根元付近をB点と呼ぶことにする。

これらのひずみゲージは、いずれも供試弁の弁板側の表面に貼り付けた。このため、均一な接触圧で供試

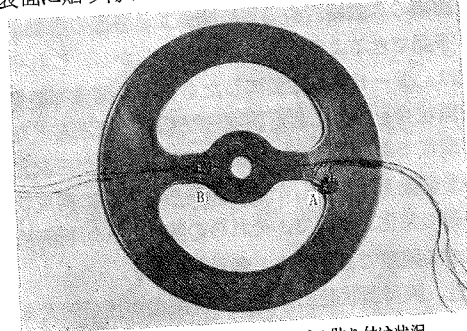


図4 供試弁へのひずみゲージの貼り付け状況

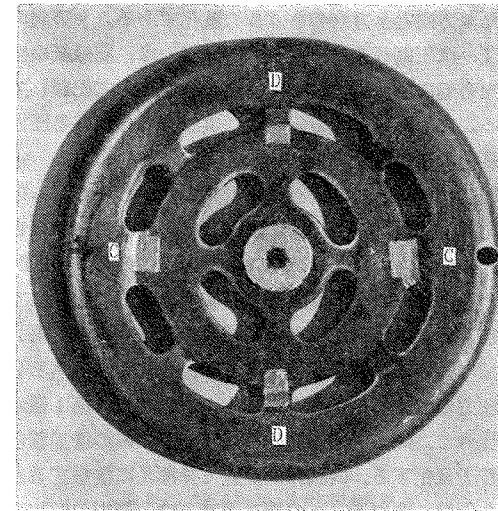


図5 電極の貼り付け状況

弁を弁座の周囲に接触させるようにひずみゲージのリード線を引き出す必要が生じた。そこで、弁板の表面にリード線が挿入できる程度の細い溝を機械加工し、この溝からリード線を取り出した。ひずみゲージの出力は、動ひずみ計で増幅し、この出力を電磁オシログラフで記録した。

#### 2.3.2 変位の測定法

本実験では、供試弁の変位は、供試弁と電極を一对にして、ON-OFFスイッチとして働かせるようにした簡単な回路を用いて測定した。したがって、この方法では、電圧の変化から供試弁が弁押えに接触する瞬間を知ることができる。図5に電極を貼り付けた弁押えの外観を示す。同図にみられるように、供試弁が弁押えに接触する時点は、弁の外周付近に貼り付けた四つの電極で検出した。本報告では図5に示すように腕の方向の外周付近に貼り付けた電極の位置をC点、また、リングの中央の外周付近に貼り付けた電極の位置をD点と呼ぶことにする。電極は、裏側に絶縁物の箔を貼り付けたアルミ箔で構成した。このアルミ箔を弁押えに貼り付けると、弁揚程が変化する。そこで、電極と同じ厚さの絶縁物の箔を弁押えの中央にも貼り付けた。そして、弁板と弁押えの間に供試弁をはさみ込み、絶縁チューブを被せたリベットでこれらを固定した。このリベットには1.5Vの電池の陰極を接続し電極には電池の陽極を接続して、供試弁と電極の間に1.5Vの電位差を与えた。

#### 2.3.3 圧力の測定法

圧力は、供試弁から80mm隔だてて取り付けられた圧力変換器を用いて測定した。この圧力変換器は、3kHzの周波数までほぼ平坦な応答特性をもつひずみ

ゲージ式の検出器である。

### 2.4 実験手順

供試弁の変形と応力の発生状態を明らかにするため、次の手順で実験した。まず、空気圧縮機を稼働させ、所定の圧力になるまで圧縮空気を空気貯めに送り込んだ。つぎに、電磁弁を開いて空気貯めより圧縮空気を供試弁に供給し、供試弁に変形を生ぜしめた。そして、供試弁に作用する圧力は圧力変換器で、ひずみはひずみゲージで、また変位は電圧の変化で、それぞれ測定した。これらの圧力、ひずみおよび電圧の出力は、電磁オシログラフで同時に記録した。

### 3. 弁の変形および応力の計算

本研究では、供試弁の変形と応力は有限要素法で計算した。有限要素法の詳細については文献(10)~(11)に述べられているので、本報告ではその説明は省略する。図6は、供試弁の4分の1の部分の要素分割図である。本報告では、図6に示すように、弁の中心に原点を、また腕方向にy軸、これと直角方向にx軸を取ることとする。供試弁は、各要素の節点で定義される四角形要素で分割した。計算精度をあげるために、応力が急激に変化すると予測された箇所では、若干細かい要素に分割した。

弁の中央では、弁は弁押えと弁板の間にはさまれている。したがって、半径Rの範囲では、弁は弁押えや弁板に接触しており、それ以上の半径の部分では、弁の動作時には、弁は弁押えや弁板と接触していないと考えられる。このため、厳密な計算モデルでは、半径Rの範囲は、弁と弁押え、あるいは弁と弁板の境界線上の節点をこれら三つの部材の共通節点であるとみな

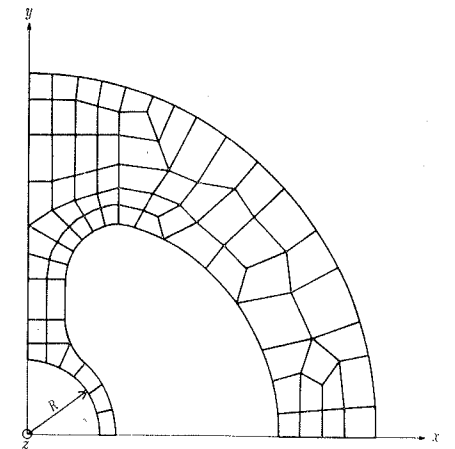


図6 要素分割図

す必要がある。また、半径R以上の部分では、各部材の境界線はそれぞれ独立しているとみなす必要がある。

しかし、本実験に供試した弁押えと弁板の厚さは、弁のそれに比べて非常に厚いので、本計算では、計算時間を短縮するために、弁押えと弁板は剛体であるとみなした。そこで、本計算では、半径Rの位置で弁は固定されていると考えてその変形と応力を求めた。また、荷重条件は、リングの部分に等分布荷重が作用するとみなした。

本計算で用いたプログラムでは、各節点における変位とx方向とy方向の応力が求まるようにした。これらの出力は、プロッタで図形として表わした。すなわち、変位の出力は、弁の4分の1部分を斜視図でプロットした。また、応力の出力は、その分布状態を把握しやすくするために、等応力線としてプロットした。これらの弁の変形と応力は、次の三つの支持条件の下で計算した。第1の支持条件は、弁が自由に変形する場合である。これは、弁の変形と応力の発生状態の間の関係を明らかにする目的で行った。第2の支持条件は、弁が腕方向の外周、すなわち、図5のC点で支持されて変形する場合である。第3の支持条件は、弁がリングの中央の外周、すなわち、図5のD点で支持されて変形する場合である。第2と第3の支持条件の下での計算は、支持条件が弁の変形や応力の発生状態に及ぼす影響を明らかにする目的で行った。

### 4. 結果および考察

#### 4.1 応力の発生状態

図7は、図1と3に示す実験装置を用いて求めた実験結果の一例である。同図の上から二つの記録は、C点とD点に貼り付けた電極で検出した電圧の変化である。電圧が急変している時点は、弁が弁押えにC点とD点でおのおの接触する瞬間を示している。第3と4番目の記録は、A点に貼り付けたひずみゲージで測定

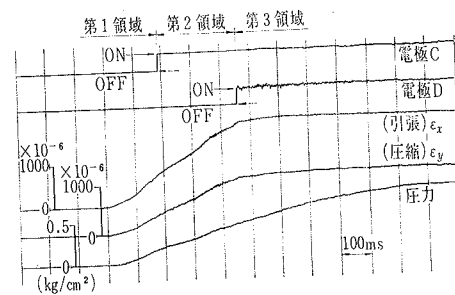


図7 実験結果の一例

したx方向とy方向のひずみの変化である。y方向のひずみは圧縮ひずみであるが、同図では、記録紙の空間を有効に利用するために、符号を逆にして記録してある。また、最下段の記録は、供試弁に作用する圧力の変化である。

図7から明らかなように、供試弁に生じるひずみの変化は、次の三つの領域に分けて考えることができる。すなわち、第1領域は、弁が自由に変形する区間である。ここでは、供試弁のひずみは圧力に比例して増加する。供試弁がC点で弁押えに接触すると、第2領域にはいる。この第2領域では、ひずみは依然として圧力の増加に比例して増加する。しかし、第1領域に比べて、同じ圧力の変化に対するひずみの増加割合が若干変化する。供試弁がD点で弁押えに接触すると第3領域にはいる。この第3領域では、圧力の増加にかかわらず供試弁に生じるひずみは、ほぼ一定値に保たれる。この結果は、本実験に供試した弁押えが供試弁の変形を非常によく抑制していることを示している。

#### 4.2 実験結果と計算結果の比較

図8はひずみの計算値と実験値の比較である。同図に示す結果は、弁がC点とD点で弁押えに接触し、さらに、弁押えに一緒に押し付けられるまでのひずみの変化である。この計算では、弁に作用する抗力係数は、弁揚程によって変化させ、0.75~0.80の間の値<sup>(6)</sup>を用いた。

図8から、計算値は実験値とよく一致することがわかる。したがって、本計算で想定した弁の支持条件は、実際の弁のそれをよく模擬していると考えられる。この結果から、弁の変形や応力の発生状態は、計算でよく推定できると考えられる。そこで、以下の検討では、計算結果に基づいて弁の変形と応力の発生状態を調べることにする。

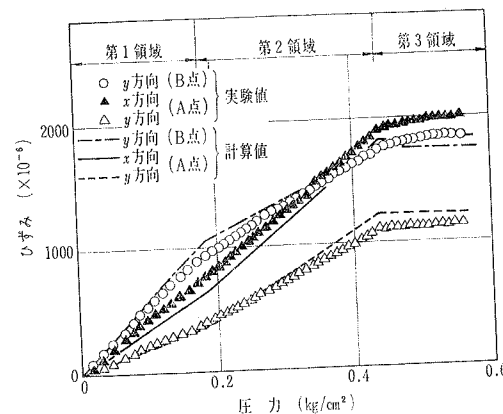


図8 供試弁に生じるひずみの計算値と実験値の比較

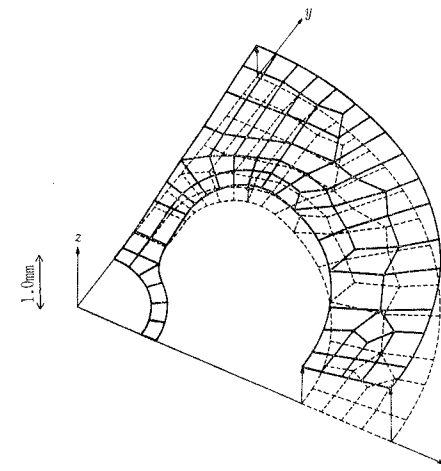


図9 弁押えがない場合の弁の変形

態を調べることにする。

#### 4.3 弁押えがない場合の弁の変形と応力

##### 4.3.1 弁の変形

図9は弁押えがない場合の弁の変形を計算で求めた結果である。同図では、弁の4分の1部分の変形を斜視図で示している。図9の破線は初期状態での弁の形状であり、また、実線は0.1 kg/cm<sup>2</sup>の等分布荷重が作用したときの弁の変形である。

図9にみられるように、弁の腕は、中央部に固定され、リングの外周で自由に変形する、いわゆる片持ちり状の変形をする。一方、リングは、腕の位置から円周方向に隔たるにしたがって、その変位が次第に増大し、かつ振り角も次第に増大するような変形をする。この結果から、腕付環状弁に等分布荷重が作用すると、リングは曲げ変形と同時に振り変形をすることがわかる。

##### 4.3.2 弁に生じる応力分布

図10と11は、x方向とy方向の弁の等応力線図を計算で求めた結果である。これらの結果は、リングの部分に0.1 kg/cm<sup>2</sup>の圧力を作用させた場合の値である。x方向の等応力線が最も密になり、かつ応力が最大になるのはA点である。また、B点でも応力は比較的高くなる。一方、y方向では、応力はB点で最大になり、A点では圧縮応力が生じる。これらの応力の高い箇所は、いずれも複雑な形状をした穴が打ち抜かれた内側の空間に隣接しているので、この打ち抜き面をパレル加工で仕上げるのが困難である。このため、弁の設計では、冷媒ガスの流路面積が減少しない範囲で、この部分の応力を出来るだけ小さくし、弁の信頼性を向上させることが一つの重要な課題になる。そこ

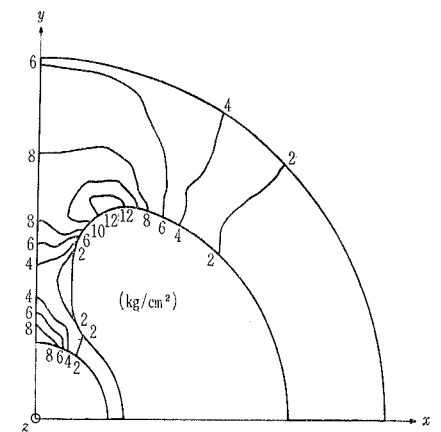


図10 弁押えがない場合の弁のx方向の等応力線図

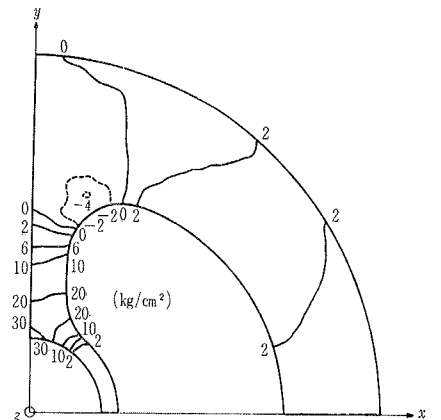


図11 弁押えがない場合の弁のy方向の等応力線図

で、以下にこの問題を解決するための基礎的知見を得る目的で二、三の検討を行う。

#### 4.4 変形が拘束される場合の弁の変形と応力

弁の弁押えへの接触状態の変化やそれに伴う応力の変化は、これまでほとんど明らかにされていない。そこで、弁に対する拘束条件と弁の応力の関係を明らかにする必要がある。このため、本節では、二つの異なる支持条件の下で、弁の変形と応力を計算し、これらの結果を比較することによって、支持条件が弁の変形や応力に及ぼす影響を明らかにする。

##### 4.4.1 腕方向のリングの外周で弁が支持されて変形する場合

図12は、腕方向のリングの外周、すなわち弁がC点で支持されて変形する場合の弁の変形である。同図では、弁の4分の1部分の変形をプロッタで斜視図として描かせた。図12と9を比較すると、弁がC点で支持されて変形する場合には、腕の変形はかなり小さく

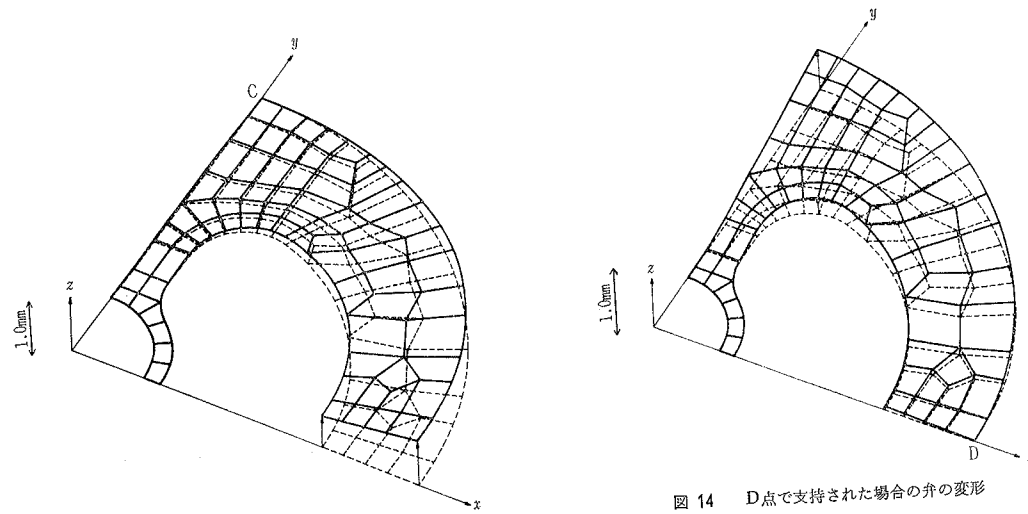


図12 C点で支持された場合の弁の変形

図14 D点で支持された場合の弁の変形

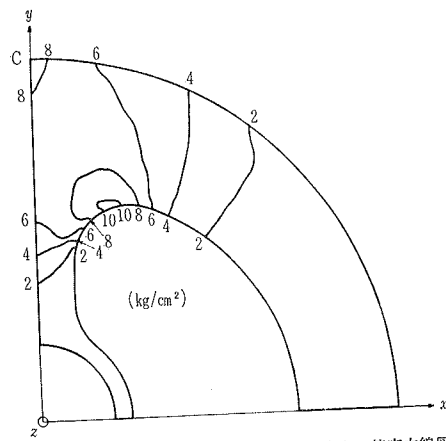


図13 C点で支持された場合の弁のx方向の等応力線図

なっていることがわかる。これに対して、リングの曲げ変形による変位は、腕の位置から隔だたるにしたがって次第に増大し、しかも、リングの捩り変形による捩り角も増大する。

図13は、弁がC点で支持されて変形する場合の等応力線図である。この図では、弁の4分の1の部分の応力を二次元モデルを用いてプロットしてある。なお、y方向の応力は、x方向の応力に比べて小さいので、ここでは図示を省略した。図13から明らかなように、C点、すなわち、腕方向のリングの外周で弁が支持されて変形する場合には、弁の応力はA点付近、すなわち、腕とリングの付け根付近で最大になる。これは、図12と13を比較すると明らかなように、弁がC点で支持されて変形する場合には、リングに大きな曲げ変形と捩り変形が重畳して生じ、これに伴って腕とリングの付け根付近に大きな応力が発生するためである。

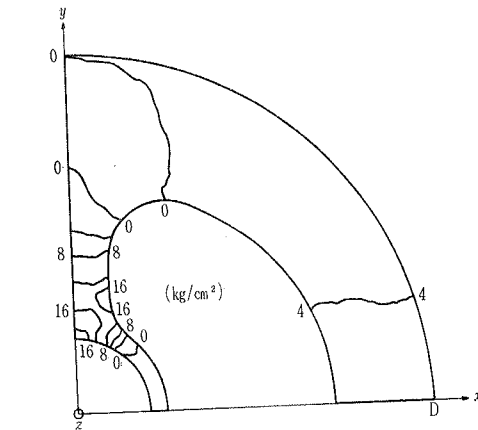


図15 D点で支持された場合の弁のy方向の等応力線図

4.4.2 リングの中央部の外周で弁が支持されて変形する場合

図14はD点、すなわち、リングの中央部の外周で支持されて変形する場合の弁の変形である。図14にみられるように、この支持条件の場合には、腕に大きな曲げ変形が生じる。図15はこの支持条件で弁が変形したときのy方向の等応力線図である。この支持条件では、x方向の応力は、y方向のそれに比べて小さいので、本報告では、その図示は省略した。図15から明らかなように、弁に生じる応力は、腕の長さ方向に沿って著しく変化し、腕の根元付近で最大になる。これは、図14と15を比較すれば、腕の曲げ変形によって生じていることが明らかである。

4.5 弁押えの設計概念

以上の検討により、腕付環状吐出弁の変形と応力の発生状態を明らかにした。そこで、これらの検討結果

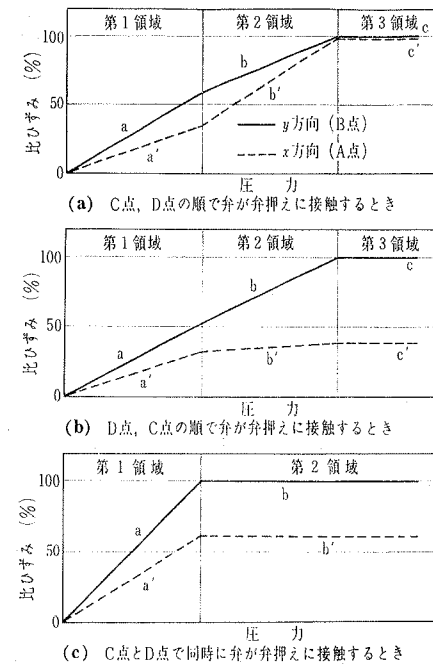


図16 A点とB点に生じる応力と圧力の関係を示す概略図

に基づいて、開口流路面積をできるだけ大きくし、かつ弁の応力を許容応力以下に抑えることが可能な弁押えの設計概念を導出する。

まず、弁の応力の発生状態と支持条件の関係をより理解しやすくする目的で、三つの支持条件について、弁のA点とB点に生じる応力の変化を図16(a)~(c)に概略図で示す。図16の縦軸は、弁材料の許容応力に対する弁の応力の比であり、本稿では、これを比ひずみと定義している。また、横軸は弁に作用する圧力である。図16(a)は弁が弁押えにC点で接触し、つぎにD点で接触する場合の弁のA点とB点に生じるひずみの変化である。また図16(b)は、図16(a)の場合とは逆に、弁が弁押えにD点で接触し、つぎにC点で接触する場合のひずみの変化である。これらの図では、ひずみの変化は、支持条件の変化と対応させて三つの領域に分けて示してある。これらの各領域でのひずみの変化は、三つの折線で示し、各折線にはアルファベットのa, b, c, およびa', b', c' を付けている。たとえば、図16(a)に示す第1領域では、弁が自由に変形する場合のひずみの変化を示す。また、第2領域では、腕方向のリングの外周で弁押えに支持されて弁が変形する場合のひずみの変化を示す。さらに、第3領域では、リングの中央部の外周で弁が弁押えに接触した後、弁の変形が弁押えによって完全に拘束される場合のひずみの変化を示す。

いま、弁がD点で弁押えに接触し、その後C点で接触するように弁押えの形状を設定すると、図16(b)に示すように、B点、すなわち腕の根元付近に非常に大きなひずみが生じ、A点、すなわち腕とリングの付け根付近のひずみは比較的小さくなる。このため、この場合には、C点における弁揚程を出来るだけ小さくして、B点の応力を抑制する必要がある。したがって、この場合には弁の開口流路面積をそれほど大きくすることは期待できない。一方、C点とD点で弁が弁押えに同時に接触するように弁押えの形状を設定すると、図16(c)に示すように、B点で非常に大きなひずみが発生する。このため、C点での弁揚程を出来るだけ小さくして、B点に生じるひずみを抑制する必要がある。したがって、この場合にも、弁の開口流路面積をそれほど大きくすることは期待できない。一方、弁がC点で弁押えに接触し、その後D点で接触するように弁押えの形状を設定すると、図16(a)にみられるように、A点とB点に生じるひずみをほぼ同程度にすることができる。そこで、この場合には、C点における弁揚程に比較してD点におけるそれをかなり大きくすることができる。A点とB点での応力がほぼ同時に許容応力に達して飽和するように弁揚程を定めると、弁の開口流路面積は最も大きくすることができる。したがって、弁押えは、弁がC点で接触した後、D点に接触するときの三次元的変形と同じ形状にすれば最も妥当であると云える。

しかし、弁が弁押えに接触したときに生じる衝撃応力を出来るだけ緩和するためには、上述の方法で定まる弁揚程より若干小さい値にするように弁押えの形状を設定すればよいと考えられる。これは、弁が弁押えに弁揚程の低いほうから順次接触するようにして、弁に衝撃的なひずみが生じないようにするためである。

5. 本設計方式の妥当性の検討

本研究で示した腕付環状吐出弁の設計方式の妥当性を検証する目的で、供試弁を実際の冷凍圧縮機に組込んで、種々の運転条件でひずみの発生状態を調べた。以下にその概要を述べる。

5.1 実験方法

図4に示すようにひずみゲージを貼り付けた腕付環状吐出弁を実際の冷凍圧縮機に組込んだ。図17はその弁まわり構造の外観とピックアップの取付け状態である。この実験では、ひずみの測定に加えて、シリンダ圧力、弁変位、上死点の位置、なども同時に測定した。ひずみは、その出力を動ひずみ計で増幅し、シン



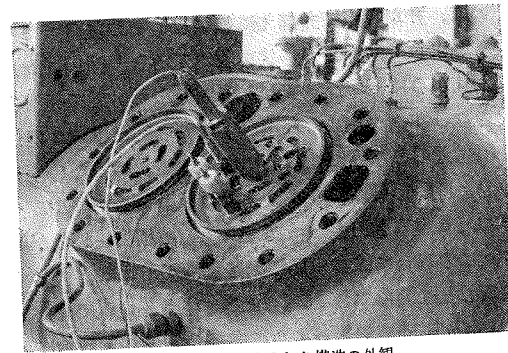


図 17 供試弁まわり構造の外観



図 18 吐出弁のひずみ波形の一例  
吸入圧力 2.0 kg/cm² 吐出圧力 11.8 kg/cm²  
掃引時間 1 ms/div

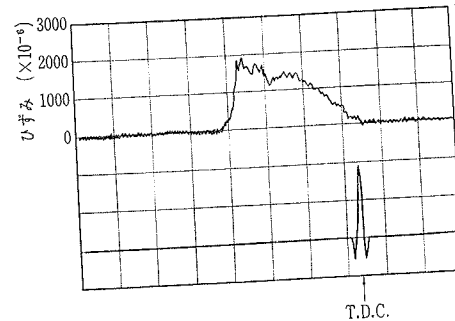


図 19 吐出弁のひずみ波形の一例  
吸入圧力 0.5 kg/cm² 吐出圧力 11.2 kg/cm²  
掃引時間 1 ms/div

クロスコープで上死点位置の信号とともに記録した。ひずみの測定は、吸入圧力を 0~5 kg/cm² の範囲で、また吐出圧力を 10~21 kg/cm² の範囲で、それぞれ変化させて測定した。供試冷凍圧縮機の回転数は、1720 rpm とした。

### 5.2 実験結果

ひずみの変動と上死点の位置の関係を記録した一例を図18と図19に示す。図18は吸入圧力が 2.0 kg/cm²、吐出圧力が 11.8 kg/cm² の運転条件で、また、図19は吸入圧力が 0.5 kg/cm²、吐出圧力が 11.2 kg/cm²

の運転条件で、それぞれ測定したひずみの変化である。これらのひずみは、図4のA点、すなわち腕とリングの付け根付近の腕に直角方向のひずみである。図18と19から、ひずみ変動には衝撃的なひずみがほとんど生じていないことがわかる。また、図18と19から、供試弁に生じるひずみの最大値は  $1,700 \times 10^{-6}$  程度であり、この値は図8に示すひずみの計算値とよく一致することがわかる。これらの結果から、本研究で示した腕付環状吐出弁および弁押えの設計概念は妥当であることがわかる。

### 6. 結 論

本研究では、腕付環状吐出弁の変形と応力の発生挙動を明らかにし、それらに及ぼす拘束条件の影響を検討した。さらに、これらの結果に基づいて、弁および弁押えの設計概念を導出し、その妥当性を検証した。本研究で得られた結果を要約すれば次のようになる。

- (1) 腕付環状吐出弁は、吐出行程時には、リングの中央で大きく、腕方向には比較的小さな三次元的変形をする。
- (2) 弁の腕は、中央部から外周部へ行くにしたがって次第に変位が増加する、いわゆる片持はり状の変形をする。このため、腕の根元付近には、腕の曲げ変形によって大きな曲げ応力が生じる。
- (3) 弁のリングは、腕を対称軸として曲げと振りが重畳した変形をする。このため、腕とリングの付け根付近には、曲げ変形による応力に振り変形による応力が重畳して生じる。
- (4) 弁が自由に変形する場合には、腕の根元付近の応力は、腕とリングの付け根付近のそれより大きくなる。したがって、弁の開口流路面積を大きくして冷凍圧縮機の効率を改善し、かつ弁の信頼性を向上させるためには、弁の最大応力が各部分でほぼ同時に飽和するような最適形状の弁押えを提供する必要がある。
- (5) 弁の応力を許容応力以下に抑え、かつ、開口流路面積を出来るだけ大きくするには、弁が腕方向のリングの外周でまず接触し、次第に弁押えに巻きつきながら変形し、ついにリングの中央で接触するようにするのが望ましい。このような条件を満足する弁押えの形状は、本研究で示した手法で、弁がリングの中央の外周で接触したときの三次元的変形を求めることにより定めることができる。
- (6) 供試冷凍圧縮機の実働時に腕付環状吐出弁に

生じるひずみは、弁押えの形状で定まる静的ひずみが支配的であり、衝撃的なひずみは非常に小さい。また、実働時のひずみの最大値は、本研究で示した手法で求めた計算値とよく一致する。これらの結果から、本研究で示した弁および弁押えの設計概念の妥当性が明らかになった。

これまで腕付環状吐出弁および弁押えの設計は、一般に試行錯誤的に行われていた。しかし、本研究により、腕付環状吐出弁や弁押えの形状・寸法を定量的に決定できるようになり、冷凍圧縮機の信頼性や効率の改善を図るうえで非常に有用な基礎的知見を集積することができた。

### 文 献

- (1) Costagliola, M., ASME Transactions, Journal of Applied Mechanics, Vol. 72, December, 415 (1950).
- (2) MacLaren, J. F. T., and Kerr, S. V., Journal of Refrigeration, Vol. 11, No. 6, June, 153 (1968).
- (3) Wambsganss, M. W., Jr., Ph. D. Thesis, Purdue University, (1966).
- (4) Gatecliff, G. W., Ph. D. Thesis, The University of Michigan, (1969).
- (5) Qvale, E. B., Soedel, W., Stevenson, M. J., Elson, J. P., and Coates, D. A., ASHRAE Transaction, Vol. 78, Part 1, 75 (1972).
- (6) Payne, J. G., Ph. D. Thesis, Purdue University, (1967).
- (7) Elson, J. P., Soedel, W., and Cohen, R., An ASME Publication, Paper No. 75-DET-26, (1975).
- (8) Adams, J. A., Hamilton, J. F., and Soedel, W., Proceedings of the 1974 Purdue Compressor Technology Conference, Purdue University, July 10-12, 303 (1974).
- (9) Friley, J. R., and Hamilton, J. F., Proceedings of the 1976 Purdue Compressor Technology Conference, Purdue University, July 6-9, 295 (1976).
- (10) Zienkiewicz, O. C., McGraw Hill, London, (1967).
- (11) Przemieniecki, J. S., McGraw Hill, New York, (1968).