

波力発電用揺動形ベーンポンプ（油圧ポンプ）の メタリングシールの製作

建設・機械系（機械システム工学科）小西 敏幸

1 はじめに

波力発電用揺動形ベーンポンプ¹⁾（図1、油圧ポンプで実機の2分の1スケールでシール漏れ実験用）のメタルリングシールについて、今まではリングシールが入る溝（外径160mm・内径144mm・幅8mm・深さ10mm）に1個のリングシール（シングルリング）が入っていて、激しく油が漏れる状態である。そこで、少しでも漏れを防ぐために、溝に2個のリングシール（ダブルリング）が入るようにして、新たにリングシールが設計され、その製作を実習工場に依頼されてきた。

ここで言うメタルリングシールとは、ポンプの高圧室の圧油がローター軸方向の漏れ、及び低圧室への円周方向の漏れを阻止するための金属部品であり、表面は研削加工等で傷ひとつなくきれいに仕上げられている。

製作するリングシールは4種類（図2～5）各2個ずつ計8個であり、内訳は、インナーリング2種類・アウターリング2種類である。その中で図2のインナーリングについて製作方法および実験結果について報告する。

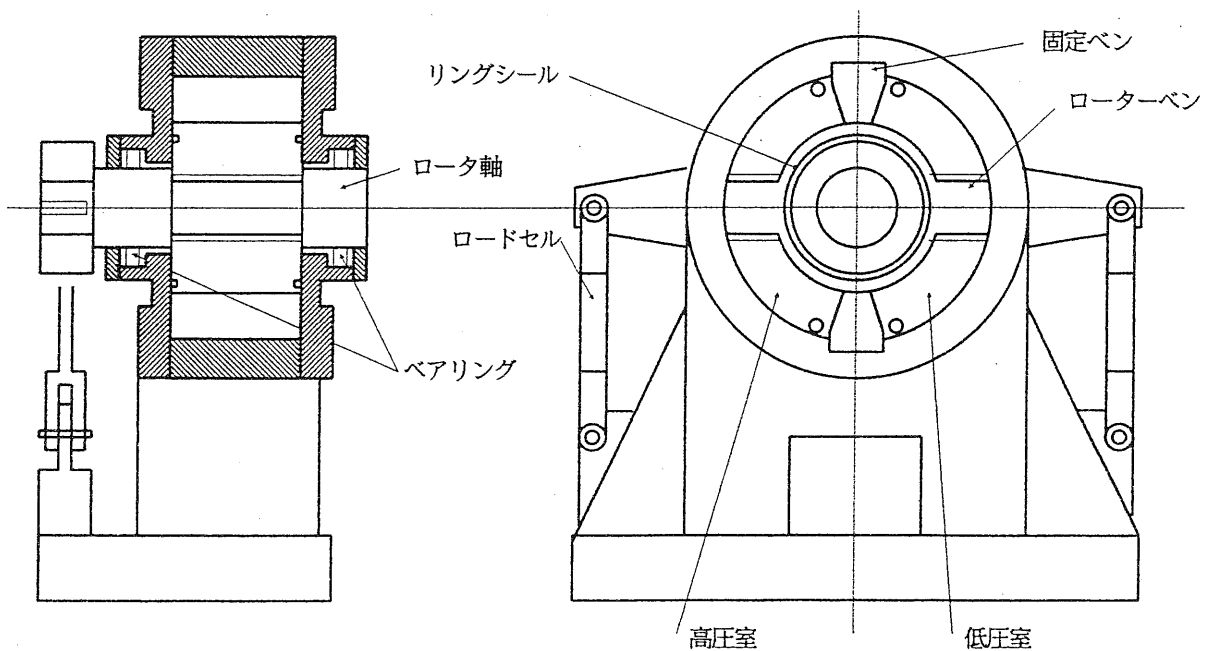


図 1 揺動形ベーンポンプ

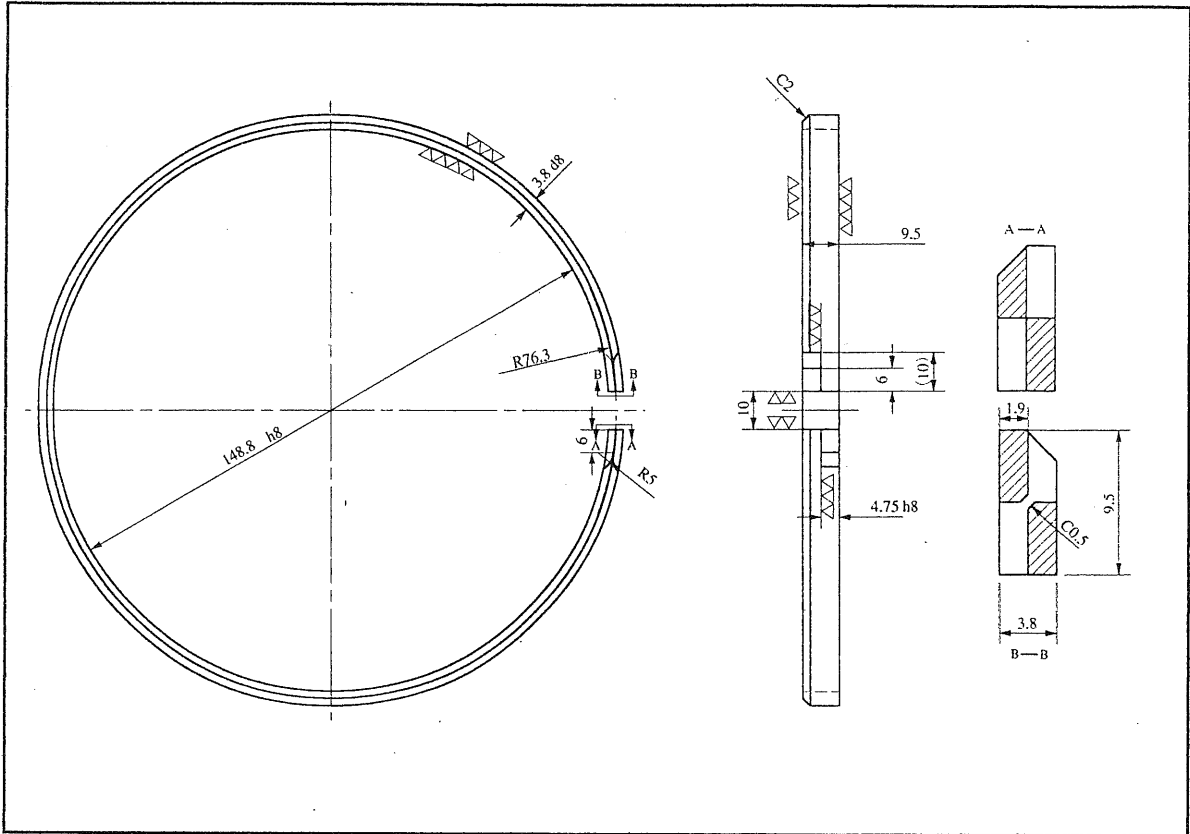


図 2 インナーリング 1 (クロスタイプ)

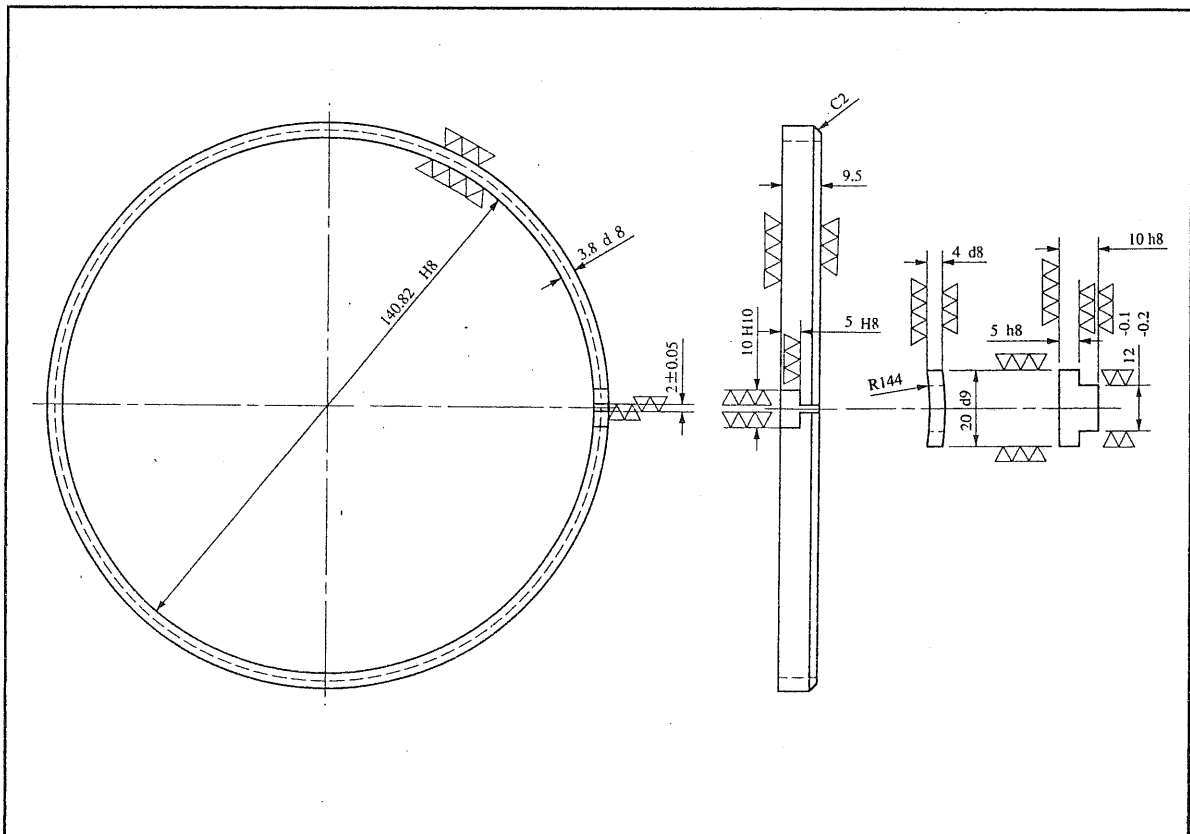


図 3 インナーリング 2 (駒入れタイプ)

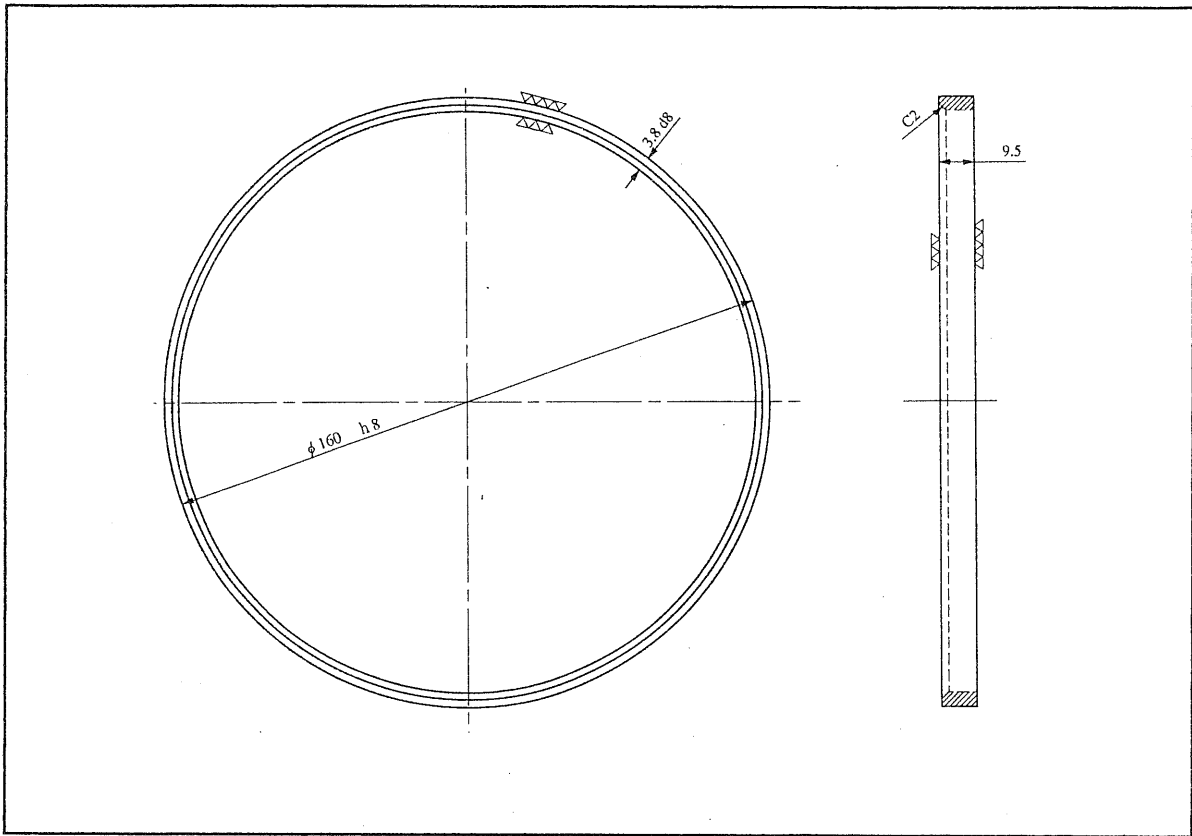


図 4 アウターリング 1

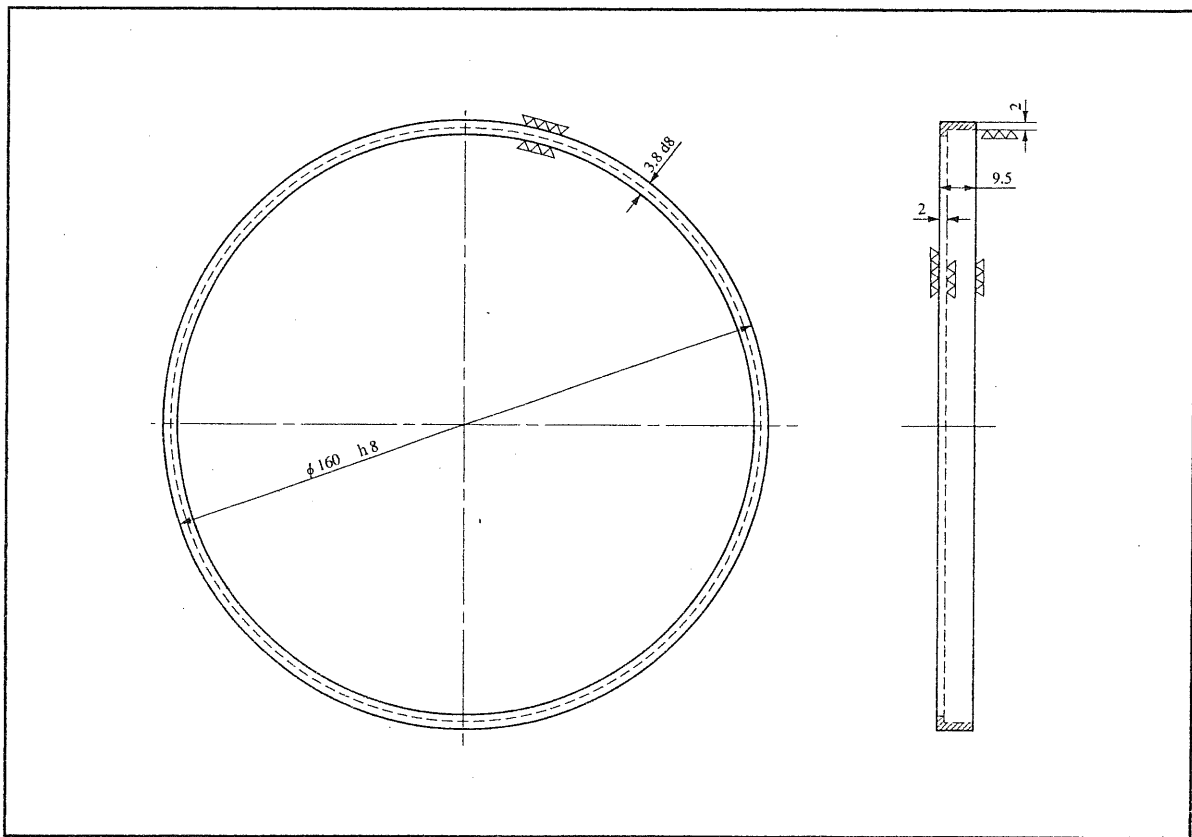


図 5 アウターリング 2 (L字形)

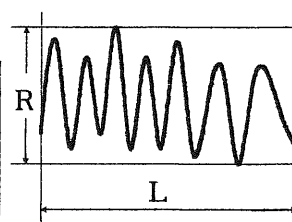
2 製作

図面を見てまず気になるのは仕上記号 (▽) である。これは表面の粗さ (表 1) を表していて三角記号 (▽) の数が多い程、表面を精密に仕上げなければならない。図面には仕上記号 (▽▽▽▽・精密仕上) があり、研削加工 (円筒研削盤等) でしか得られないものであり、本実習工場では平面研削盤しかなく、旋盤では仕上記号 (▽▽▽・上仕上) までしか出来ないの、依頼者と相談のうえ旋盤で出来る限り、良い仕上げとした。

最大高さ (Rmax) : 断面曲線から基準長さ L を抜きとり、その部分の最大高さを求め、これを μm であらわす。

表 1 表面粗さ (最大高さ Rmax)

最大高さ (Rmax) (μm)	0.005~0.8	1.6~6.3	12.5~25	50~100
基準長さ (mm)	0.25	0.8	2.5	8
仕上記号	▽▽▽▽	▽▽▽	▽▽	▽



インナーリング (図 2) の製作について、加工工程・工作機械・使用工具・測定器具は次の様になった。

2.1 切削加工～普通旋盤

- 切削順序 a、円筒 (外径) 削り b、中ぐり (内径) 削り
c、端面削り d、面取り e、突切り (切断)
- 使用工具 外径・端面バイト (超硬・スローアウェイバイト)
中ぐり (内径) バイト (超硬・スローアウェイバイト)
突切りバイト 2 種類 (高速度工具鋼)
- 測定器具 スケール・ノギス
棒形内側マイクロメータ・棒球面マイクロメータ
ダイヤルゲージ (心出し)

上仕上にするためには、送りを小さくし、びびりに注意しながら切削条件を決める。

旋盤では、突切り (切断) した面 (寸法・面粗さ) を仕上げる事が出来ない (リングの幅が薄く、チャッキングすると変形するため) ので、次の平面研削盤を使用した。

2.2 研削加工～平面研削盤

- 使用工具 研削砥石 (WA)
測定器具 デプスゲージ

2.3 切削加工～立形フライス盤

使用工具 フラットエンドミル（高速度工具鋼・φ10）

円テーブル

測定器具 デプスマイクロメータ・デジタルノギス

てこ式ダイヤルゲージ（心出し）

円テーブルに乗せ、てこ式ダイヤルゲージで心出しをし、変形しない様に固定、切削する。裏面も同様である。

リングの一部を切断するにはエンドミルでも出来るが、リングの断面を見て分かる様にテーブルに固定されない部分があり、切削力に耐えきれずにリングが動いてエンドミルに食い込むおそれがある。従って放電加工を採用することにした。

2.4 特殊加工～放電加工機

使用電極 □10mm弱（リングの一部切断、幅10mm）

2.5 成形加工～曲げ加工

使用道具 ピストンリングコンプレッサー

型（φ128×100）

ピストンリングコンプレッサーでインナーリング（内径148mm）を型（外径128mm）に合うまで荷重を加え、変形させる。徐荷すると、スプリングバックしてリングは設計値の内径141mmとなる。なお、型の外径は後述の様に曲がり梁の曲げの計算によって求めた。

材料について

寸法	外径165 (mm)	内径123 (mm)	長さ155 (mm)
材質	FCD450（球状黒鉛鑄鉄）		
機械的性質	引張強さ	472 (MPa)	58.71(kgf/■)
	耐力	318 (MPa)	32.49(kgf/■)
	伸び	22 (%)	
	硬さ	163 (HB)	
	縦弾性係数	15400 (Kgf/mm ²)	

曲り梁のスプリングバックについて²⁾

リングシールが入る溝（内径144mm）に密着させるために、インナーリング（内径148.8mm）をある径まで、理想的には純曲げで塑性変形させ、スプリングバックした後、リング内径141mmになるような曲げ径を求める。内径141mmという根拠は溝に装着したとき、丁度弾性曲げ限界となる値である。

上記での材料の機械的性質から、応力-ひずみ曲線を近似的に次の様に求めた。

$$\sigma = 7.7 + 70.4 (\varepsilon - 0.0005)^{0.2} \dots \dots \dots (1)$$

σ : 真応力 ε : 真ひずみ

図6の(a)幅: b 、高さ: h の長方形断面が、一様のモーメント: M を受けて中立軸の曲率半径 R が R_d になったとして中立軸は伸縮しないが、中立軸から距離: y の所のひずみは次式で表される。³⁾ ただし、中立軸と図心間の距離 e ($\approx 0.016\text{mm}$)は小さいので無視している。

$$\varepsilon = \frac{y}{R+y} \cdot \frac{\Delta R}{R_d} \dots \dots \dots (2)$$

曲げ半径を R_d (曲率 $1/R_d$)、スプリングバック後の半径を R_r (曲率 $1/R_r$)、弾性回復による曲率変化を M/EI すると、次式で表される。

$$\frac{1}{R_r} = \frac{1}{R_d} - \frac{M}{EI} \dots \dots \dots (3)$$

M : 曲げモーメント E : 縦弾性係数
 I : 断面二次モーメント

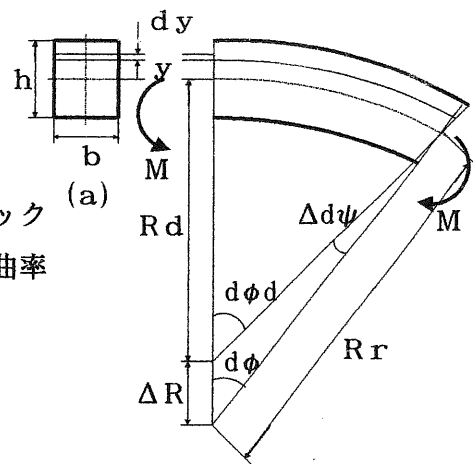


図 6 均等曲げ変形

M は次式で表される。

$$M = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma y dy \dots \dots \dots (4)$$

(4) 式の積分は解析的には得られないので、(3)式において R_d を変数として解くことは出来ない。従って、 R_d を適当に定めて ε (2式)、 σ (1式) を求め(4)式に代入する、(4)式は y のみの関数になるが定積分は数値積分により求めた。

定めた R_d に対する R_r の対を 2~3 得れば、 $R_r = 72.4\text{mm}$ (曲率半径) に対する R_d を内挿的に得ることが出来る (図7)。このようにして得られた R_d は

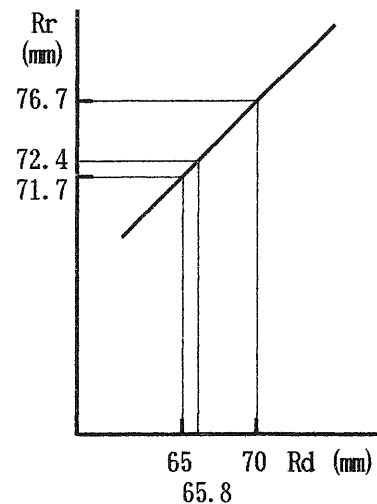


図 7 R_r - R_d 線図

$Rd = 65.8$ となって、内径 128 mm となる。これが前述の型の外径である。

型（円筒丸棒）を旋盤で作し、ピストンコンプレッサーでリングをコイル状にしながら型の径まで曲げていった。

ピストンコンプレッサーは、内燃機関のピストンのピストンリングに装着してシリンダーに納めるとき、このリングを全円周から一様に圧縮するとき用いられる道具であり、スチールベルトを均等に締め付けて固定する構造となっている。

グリスを用いて十分な潤滑のもとに曲げが実行され、スプリングバック後の径はほぼ 140 mm に落ち着き、(1) 式の近似式も妥当なことがわかった。

他のリングの製作に関しても、指定の公差内に充分納まり、仕上面粗さも満足するものであった。

3 実験結果

ここでは詳しい数値データは省略することにする。

種々のメタルリングシールをベーンポンプに装着して、圧油の漏れが計測された。その結果、インナーリングについて述べると、クロスタイプのインナーリングは当初から予想されていたのであるが、溝に装着すると2ヶ所に $0.2 \sim 0.3\text{ mm}$ のすき間が生じて真円ではなかった。それは曲げ加工時に純曲げが実現されないからである。また初期接触が不十分なため相当の漏れが生じた。一方、駒入れタイプのインナーリングにおいては良い結果が得られた。クロスタイプのリングは、部分的に曲率を修正して十分な初期接触を得ることは可能であるが、このリングはこれ以上試されなかった。なぜならクロスタイプは製作が困難であり、駒入れタイプの方がはるかに容易であるからである。

4 あとがき

最も製作に苦心を要したクロスタイプインナーリングシールは、継目における密封性は最良と考えられるが、この様な洗練された設計形状を失敗なく製作できたことは、製作技術の向上のために非常に貴重な経験を積んだものと考えている。

本報告に当たり、本学機械システム工学科横内弘宇助教授には御指導、御助言を頂き心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 渡部 富治 氏による私信
- 2) 葉山 益次郎：塑性学と塑性加工 オーム社
- 3) S. TIMOSHENKO : STRENGTH OF MATERIALS PART I
(THIRD EDITION), 1955