

波型ダイアフラムに関する基礎研究

松 尾 征 夫*
下 村 修 二**

A Basic Study on Corrugated Diaphragms

Yukio MATUO
Shuzi SHIMOMURA

要 旨

本論文で、波型ダイアフラムの加工法を提案し、波型ダイアフラムの性質のいくつかについて論じる。

Synopsis

In the paper, we suggested an alternative method to form corrugated diaphragms, and discussed the some properties of the corrugated diaphragms.

1. 緒 言

弾性体が圧力を受けて変形する際の変位量から圧力を測定する素子として、ブルドン管、ペローズ、ダイアフラムがある。

ブルドン管は比較的高い圧力(普通, $0 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$)の測定に適し, ダイアフラムは低い圧力 ($0 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$) の測定に用いられ, ペローズは両者の中間の圧力 ($0 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$) の測定に使われる。

この中で、ダイアフラムの研究は実験上及び理論上等で興味深い問題の一つである。

実験上の問題として、ダイアフラムの断面形状の選択、ダイアフラムの製作法及びダイアフラムの特性に及ぼす Drift, Creep, Hysteresis, After-effect 等の問題である。^(4,5)

又、理論上の問題としては、ダイアフラム問題の近似解析法として、次元解析法仮想平板法⁽³⁾、エネルギー法等⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁷⁾があるが厳密な解を得る為には直交異方性の回転殻の問題となり更に、大撓み、塑性の問題も含まれるので解析解を得るのは非常に困難である。

著者等は基礎研究としてダイアフラムの試作を中心に実験をおこなったので報告する。

2. 実験方法

2-1 ダイアフラム製作法

* 助手 機械工学科

** 教授 機械工学科

ダイアフラムの断面形状には波型、三角波型、短形波型、梯形波型等があるが⁽⁴⁾ 本研究で用いた形状、は剪断破壊の可能性が少く、成形が容易である波型(Corrugation)を使用し又、ダイアフラムの製作法としては一般には絞り、スタンピング、油圧成形、爆発成形があるが、著者等は圧縮加工を考え実験した。

この方法は、ダイス材料として選んだアクリル板を旋盤のチャックに固定し、PHOTO 1. に示されてい

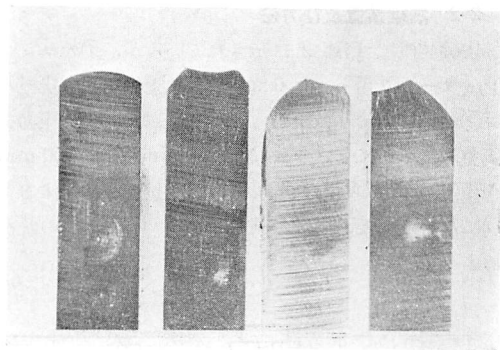


PHOTO. 1

る如くの種類のバイトを用いて波の山の部分、谷の部分及び縁の部分进行々切り込み深さが 1 mm になるまで注意深く切削して波型(ダイス)を製作するもので、本実験では波の山の数が 1 山 ~ 5 山まで 5 種類の型を製作した。

ダイアフラム材料としては厚さ 0.1 mm の銅板を使用し、Fig. 1 の如くに耐圧板(厚さ 16 mm)、波

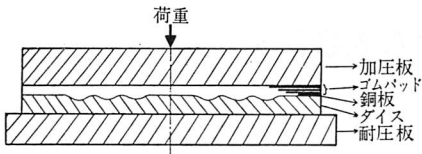


Fig. 1 ダイアフラムの成形

型ダイス、ダイアフラム材料の銅板及び5枚の板ゴム(厚さ 1 mm×5)を重ね更に、16 mm の加圧板をのせ、この上に波型の数により 6～10 t の圧縮荷重をかけてダイアフラムを作った。

製品の一例として5山のダイアフラムの写真を PHOTO. 2 に示す。

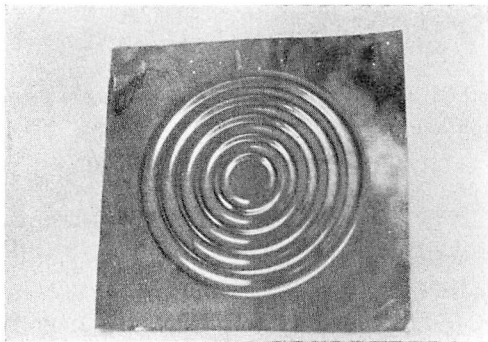
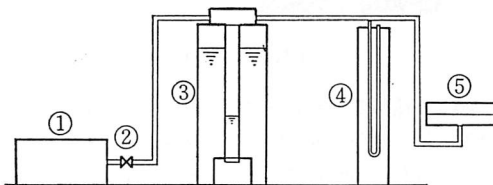


PHOTO. 2

尚、圧縮加工の際波の数が3山まではうまくいったが、4山以上の場合は外側の波の形状が一部崩れ、今後更に検討を加えなければならない。

2-2 実験装置及び方法

実験装置は Fig. 2 に示されているが、①のコンプレッサーより得られた 6 kg/cm² の空気圧を調圧バルブ②の操作により減圧し、調圧タンク②により圧力を調整して、ダイアフラム⑤に 200 mm Aq., 400 mm Aq, 600 mm Aq. の各々一定な空気圧が作用するようになっていて、圧力の測定は④のマノメータの読みによった。



- | | |
|-----------|--------------|
| ① コンプレッサー | ④ マノメータ |
| ② 調圧バルブ | ⑤ ダイアフラム負荷装置 |
| ③ 調圧タンク | |

Fig. 2 実験装置

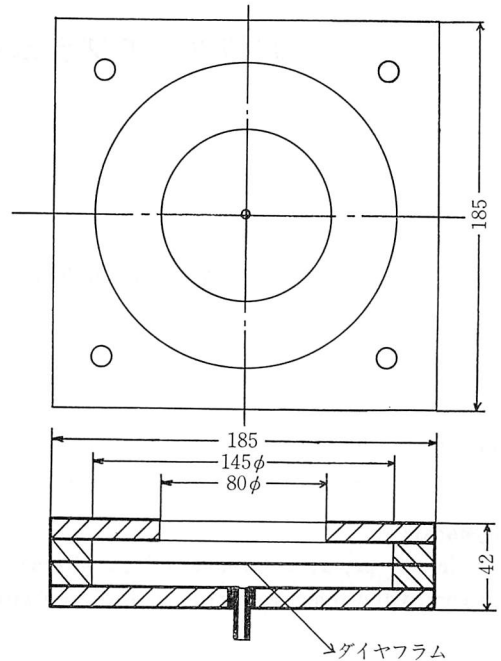


Fig. 3 ダイアフラム負荷装置

ダイアフラムの部分は Fig. 3 の如くアクリル板で作った枠にダイアフラムをはさみ、気密性を保つ為に 1 mm のゴムパッキンを取り付けボルト・ナットで締め付けている。

ダイアフラムの大気側には Fig. 4 の如くに、波型の山の数に従って Strain gauge (KFC-03-C 1-11) が波の山と、波の谷に貼り付けられていて、半径方向及び円周方向の歪を測定する (PHOTO. 3 参照)

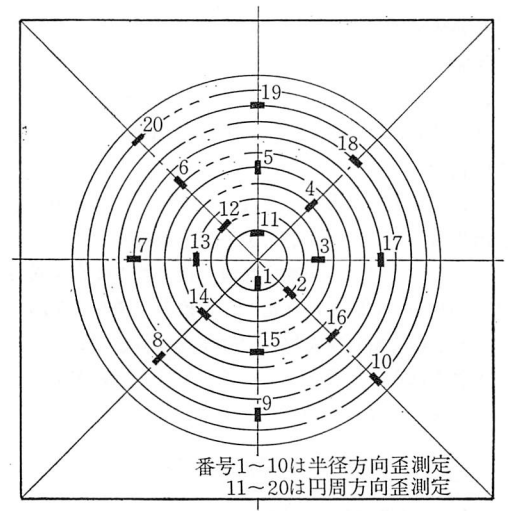


Fig. 4 ダイアフラムのゲージ取り付け位置
(実線は波の山を表し、点線は波の谷を表す)

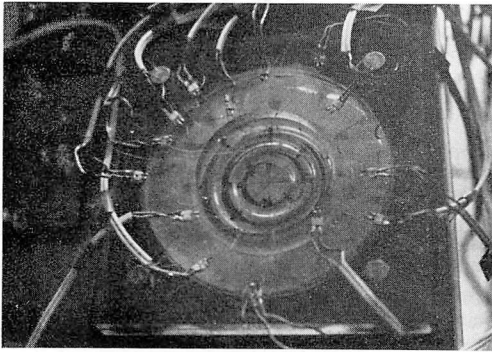


PHOTO. 3

3. 実験結果及び考察

赤坂氏⁽¹⁾の仮想平板理論によると、ダイヤフラムに一樣圧力 p が作用している時、最大の撓みは (Fig. 5 参照)

$$W = \frac{pa^4}{8\sqrt{\alpha+3}(\sqrt{\alpha+1})D_r}$$

$$\left[1 - \frac{(\sqrt{\alpha+3})(\sqrt{\alpha+1})}{(\sqrt{\alpha-3})(\sqrt{\alpha-1})} \eta^4 + \frac{8}{\sqrt{\alpha-3}} \eta^{\sqrt{\alpha+1}} + 0(\eta^{\sqrt{\alpha+3}}, \eta^{2\sqrt{\alpha}}) \right]$$

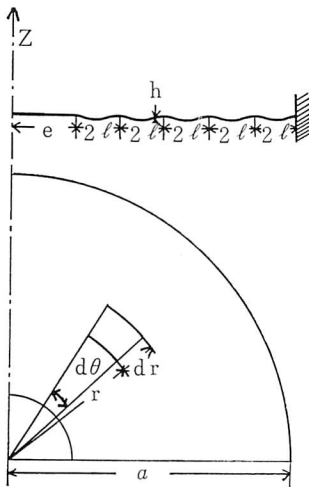


Fig. 5

ここで、

$2b$ = 波の振巾

D_r D_θ = 各々、半径方向及び円周方向の曲げ剛性

$$\eta = \frac{e}{a}$$

$$\zeta = \frac{r}{a}$$

$$\alpha = D_\theta / D_r$$

$$D_r = \frac{E h^3}{12} / \left(1 + \frac{\lambda^2}{4} - \frac{3}{64} \lambda^4 + \frac{5}{256} \lambda^6 \right)$$

$$\lambda = \frac{\pi b}{l}$$

である。

実験結果は赤坂氏の式を使い、表1、表2にまとめた。表1は試験片の寸法と撓み特性を表すもので、表2はダイヤフラムの応力特性を表すものである。

表 1

	赤 坂 氏		著 者 等
hmm	0.4	0.2	0.11
bmm	0.85	0.85	0.42
emmm	18	18	12
ammm	78	78	72.5
ℓmm	6	6	6
$\sqrt{\alpha}$	5.378	10.765	9.44
D_r kg・mm	68.472	8.559	1.31
w/p mm ³ /kg	1.242×10^3	3.299×10^3	18.7×10^3
E kg/mm ²	1.345×10^4		1.248

表 2

r (mm)	δ_r kg/mm ²			
	1 つ山	2 つ山	3 つ山	4 つ山
18	$-5.0 \times 10^3 p$	$-4.729 \times 10^3 p$	$-5.0 \times 10^3 p$	$-6.261 \times 10^3 p$
24	$8.903 \times 10^3 p$	$8.419 \times 10^3 p$	$8.903 \times 10^3 p$	$11.129 \times 10^3 p$
30	$-13.902 \times 10^3 p$	$-13.163 \times 10^3 p$	$-13.920 \times 10^3 p$	$-17.403 \times 10^3 p$
36	/	$18.937 \times 10^3 p$	$20.026 \times 10^3 p$	$25.032 \times 10^3 p$
42	/	$-75.803 \times 10^3 p$	$-27.286 \times 10^3 p$	$-34.108 \times 10^3 p$
48	/	/	$35.612 \times 10^3 p$	$44.516 \times 10^3 p$
54	/	/	$-45.125 \times 10^3 p$	$-56.407 \times 10^3 p$
60	/	/	/	$69.620 \times 10^3 p$
66	/	/	/	$-84.153 \times 10^3 p$

表1について赤坂氏がおこなった実験結果と比較しているが、赤坂氏がヤング率 $E = 1.345 \times 10^4$ kg/mm² のリン青銅を使い、又著者等のダイヤフラム形状と若干異なるが参考の為に載せる。表1よりダイヤフラムの厚さ及び振巾が曲げ剛性及び撓みに及ぼす影響が大きことがわかる。

又、表2は半径方向の応力を、ダイヤフラムの波の

数と、中心からの位置を用いてまとめた。 $r=18\text{ mm}$, 30 mm , 42 mm …は波型の山の位置にゲージを貼ったものであり、 $r=24\text{ mm}$, 36 mm , 48 mm …は波型の谷の位置にゲージを貼ったものである。この表で一記号は圧縮応力を表す。この表より、中心より離れるに従い応力が増し、中心位置からの距離が同じ時には、波型の数の多い方が応力が大きくなることがわかる。

4. 結 言

著者等は波型ダイアフラムの製作法の一つとしてプラスチックダイスによる圧縮加工の方法を提案した。この方法はダイアフラム等を少量製作する時に便利で、今回の実験においても波の数が少い時はうまくいった。

又、出来たダイアフラムの基礎研究をおこない、いくつかの知識を得た。

終りに、日頃お世話いただいている機械工学科教官・職員の皆様に心からの謝意を表する次第です。

参 考 文 献

- (1) 赤坂 隆：“Corrugated Diaphragms の弾性特性について” 航空学会誌, 3, 22-23 (1955) p 279.
- (2) 久保 敦：“波状ダイアフラムの諸特性” 計測, 10, 1, (1960) p 11.
- (3) J. A. Haringx: “Design of Corrugated Diaphragms” Trans. A. S. M. E., 79, JAN., (1957) p 55.
- (4) W. A. Wildhack, R. F. Dressler, & E. C. Lloyd: “Investigations of the Properties of Corrugated Diaphragms” Trans. A. S. M. E., 79, Jan., (1957) p 65.
- (5) A. M. Wahl: “Recent Research on Flat Diaphragms and Circular plates With Particular Reference to Instrument Applications” A. S. M. E., Paper No. 55-A-116.
- (6) R. F. Dressler: “Bending and Stretching of Corrugated Diaphragms” A. S. M. E., Paper No. 58 A-62.
- (7) S. P. Timoshenko, J. N. Goodier: “Theory of Elasticity” McGraw-Hill Book Co. Inc.

(昭和51年12月6日受理)