アネロイド空ごうのダイヤフラム熱変形

岡 田 芳 隆*

Diaphragm Temperature Deformation of the Aneroid Capsule

Yoshitaka OKADA*

1. ま え が き

2枚の金属ダイヤフラムの周辺を接合し内部を真空にした空ごうは、気圧計感部として実績がある。本報告は、空ごうの温度誤差（常温～約 -40°C ）の一原因を検討するためになされた試験の結果に関する。

著者は高層気象観測に用いる空ごう（恒弾性材料製で常圧 $\sim 5\text{ mbar}$ で動作し、高度直線形の変位特性をもつ）の温度特性を吟味し、若干の結果を発表した^{1)~3)}。すなわち、温度誤差の構成を

1. Young 率の温度係数による効果
2. 内部真空度による効果
3. ダイヤフラム熱変形による効果：空ごうのダイヤフラムに差圧が働かないときの温度による変形（Diaphragm Temperature Deformation, DTD と略記）に基づく効果と考え、低圧下にある空ごうの温度誤差で卓越する2, 3の効果を分離評価して DTD の重要性を指摘し、DTD 値（定義は3章参照）とダイヤフラムの絞り上り形状との関係について経験則を示した。すなわち「成型されたダイヤフラムの中心付近の形状寸法を Fig. 1 の a, b とすれば、形状因子 $b-a$ が大あるいは小なるダイヤフラムの空ごうは、小あるいは

Fig. 1 Illustration of the dimensions a and b near the center of a diaphragm. The difference $b-a$ defines the inherent shape factor of a capsule.

は大なる DTD 値を示す」である。恒弾性材料の空ごうでは小なる DTD 値は温度特性の改善をもたらす。経験則は追試され妥当性が確かめられた⁴⁾。DTD を考慮すると、Kleinschmidt の理論式⁵⁾は付加項を要する。また、空ごうの内部真空度の簡便な測定法を示した。

しかし、DTD の上記経験則の物理的説明は与えられていない。接近として各種の材料を試験することが必要と考え実行した（1975～1978）。結果から DTD の機構について推論がなされる。

2. 試 料

試料空ごうはすべて有効径 60 mm で 5 個の波 (corrugation) をもつ。多く使われる圧力直線形の変位特性をもつ空ごうと異なり、波は一樣ではない。ダイヤフラムは金型とゴムを用いて絞り加工で製造されている。材料は Table 1 に示す 6 種類とし、数種類の金型を用いて材料ごとに各種形状の 8～12 個の試料空ごうが製作された。同表は材料および空ごうの明細を示す。

Table 1 Specifications of the tested materials and the capsules made of ones.

CEMA: Precipitation hardening constant elastic modulus alloy

Dms: Diaphragms

EB: Electron beam method

Material	Spec. of the material	Spec. of the capsule
Phosphor-bronze	Spring use, JIS PBS-H, 0.14 mm thick	Dms welded by EB
Beryllium copper	0.15 mm thick	Dms heat-treated in 300°C 2h, welded by EB
Sumi Span	CEMA, 0.12 mm thick, EL-3 (Sumitomo)	Dms heat-treated in 550°C 1h, welded by EB or soldered
Ni Span-C	CEMA, 0.15 mm thick, imported	(Same as the above)
Stainless steel	JIS SUS 304-CP, 18-8, 0.1 mm thick	Dms soldered
Carbon steel	Soft steel, JIS G 3303, 0.18 mm thick, plated with Sn, 0.02～0.08% C	Dms soldered

* 気象研究所 茨城県筑波郡谷田部町長峰 1-1

* Metrological Research Institute, Tsukuba-gun, Ibaraki

(Received June 23, 1980)

(Revised December 16, 1980)

Fig. 2 DTD (Diaphragm Temperature Deformation) values of the capsules made of Sumi Span, Ni Span-C and carbon steel.
Abscissa: shape factor $b-a$ in mm (cf. Fig. 1)
Ordinate: DTD value in $\mu\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$
The values have correlation with $b-a$ and follow the known empirical rule.

3. 測 定

DTD に伴って生ずる空ごうの変位の減少 (温度低下 1°C 当り) をもって、その空ごうの「DTD 値」と定義する。

DTD 値の測定はつぎのように行う。完成された真空空ごうに電気スパークでピンホールをあけ、穴あき空ごうにする。この穴あき法は空ごうに加える外力なくダイヤフラムの性能を害ねない。穴あき空ごうは、変位測定器により常温から約 -40°C に温度変化を与えつつ、中心金具 (Fig. 1) 先端の軸方向変位の減少を測定する。測定値に変位測定器の温度補正を行い DTD 値 ($\mu\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) を算出する。詳細は文献¹⁾を参照されたい。穴あき空ごうについて形状寸法 a, b を測定する。

試料空ごうの測定結果から、材料は 2 群に分れることがわかった。すなわち

1. DTD の経験則に従うもの ; Sumi Span, Ni Span-C, 炭素鋼
2. 同則に従わないもの ; 磷青銅, ベリリウム銅, ステンレス鋼

経験則に関する形状因子 $b-a$ を変数として、これら 2 群の空ごうの DTD 値を **Fig. 2, 3** に示す。差は明らかである。ステンレス鋼の測定では温度的ヒステリシスがみられたので平均値まわりの範囲を示した。

4. 検 討

測定結果から、DTD の経験則に従う材料はいずれも強磁性材料である。一方、非強磁性材料は **Fig. 3** のように、DTD 値はばらつきはあるとしても形状因子 $b-a$ に依存せずほぼ一定値をとり、その値は公称線膨張係数から期待される値^(注 1)に近いことがわか

Fig. 3 DTD values of phosphor-bronze, beryllium copper and stainless steel. They do not follow the empirical rule.

った。すなわち、非強磁性材料では DTD は第 1 近似として線膨張に従う。

強磁性材料の DTD の機構はつぎのように推測できる。一般に強磁性体は不規則な方向の磁区構造を有し、その内部には自発磁化による磁歪を生じている。自発磁化は温度の関数 (キュリー点で零、絶対零度で最大) だから、温度変化により磁歪が変化し変形を生ずるが、不規則な方向性のために変形は巨視的に一様である。ダイヤフラムの場合もこのような不規則性が成り立てば、DTD 値は形状因子 $b-a$ よりむしろ a に依存し、経験則に反する特性を示すはずである。

しかるに、ダイヤフラムの絞り工程でブランクが受ける reduction は、絞り後の板厚分布からみて、中心付近は常に周辺より大きい¹⁾。それゆえ、中心付近ではいわゆる圧延磁気異方性から自発磁化による磁歪の方向が統計的に規則性をもちえ、これは温度変化に伴いダイヤフラム面内に引張力または圧縮力を生む。金戸⁶⁾ は、Sumi Span ダイヤフラムの測定から、温度低下に伴い波が平坦になるような曲げ変形 (波の峰で表面歪 $6 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 程度とみられる) がおきるとしたが、これは面内引張力発生を意味する。引張力はダイヤフラム中心を軸方向に変位させ、この変位量、したがって DTD 値は形状因子 $b-a$ に依存しえ経験則が成立する。これが強磁性材料の DTD の機構である。

Fig. 2 で炭素鋼の DTD 値の変化範囲は他より小さい。これは試料炭素鋼が α 鉄に近く、キュリー点が 770°C と高いことが一原因と解される。Sumi Span では約 190°C 、Ni Span-C も同程度のようなものである。

経験則に従う材料と従わない材料の判別要因として結晶構造の単純な差は採択しえない。試験結果は前者

(注 1) この値は材料別試料の寸法 a の平均、stud (Fig. 1) の長さ、材料の公称線膨張係数から計算し、磷青銅では 0.23 、ステンレス鋼では 0.21 、ベリリウム銅では $0.24 \mu\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ をえた。ベリリウム銅の公称値は不明のため磷青銅の値で計算。

材料として面心立方，体心立方両者を含む。

5. 結 論

有効径約 60 mm，5 個の波の空ごうのダイヤフラム熱変形 (DTD) について

1. 各種材料の試験により，強磁性材料では DTD はすでにえられた経験則に従い，非強磁性材料ではほぼ線膨張に従うことがわかった。

2. 強磁性材料の DTD の機構を推論した。

今後の仕事として推論の実験的・理論的確かめがある。

【付記】

一連の試験と並行して，Sumi Span の DTD 値に及ぼすダイヤフラム熱処理温度の影響が検討された。要因は金型種類 2 水準，熱処理温度 2 水準 (650°C と 550°C) とし 8 個の空ごうを試験した。結果の分散分析では，経験則を支持して，金型種類は 1% 有意，寄

与率 95% で他は有意でなかった。したがって DTD 値に及ぼす熱処理温度の影響は無視できる。

本報告に関する試験材料入手につき天野一郎氏，空ごう製作につき野沢浩氏の援助をうけた。謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Y. Okada, et al.: An Experimental Study on Temperature Characteristics of Aneroid Capsule, Geophysical Magazine, **37-4**, 309/333 (1976)
- 2) 岡田芳隆：ゾンデ用空ごう (1)，天気，**20-5**, 21/38 (1973)
- 3) 岡田芳隆：ゾンデ用空ごう (2)，天気，**20-6**, 21/25 (1973)
- 4) 岡田芳隆：空ごうの温度特性と差圧センサーとしての考察，気象庁測器技術資料，No. 5209, 1/8 (1977)
- 5) E. Kleinschmidt: Die Temperaturekorrektur von Vidibarometern, Beiträge zur Physik der Freien Atmosphäre, **14**, 183/190 (1928)
- 6) 金戸 進：空盒気圧計の温度特性，昭和 48 年度気象大学校卒業論文 (1974)