

金属材料のひずみ測定法について

— ひずみゲージを用いた場合 —

工学部 機械システム工学科

宮島雅博

1. はじめに

機械および構造物を設計するうえで最も必要とされることは、安全性ならびに機械強度の評価を行うことである。機械・構造物の各部に生ずるひずみや応力の状態が強度的に十分な安全性を確保していない場合には、機能を失うことはもちろんのこと、場合によっては重大な事故につながる。したがって、本来の機械・構造物の機能を果たすためには、合理的な設計と安全に対して十分な強度や剛性を備えることが必要である。

つまり、機械・構造物の各部に生ずる応力・ひずみの大きさと状態などを測定することによって、正確に把握・評価することが安全で経済的な設計・製作・改良につながっていくことになる。

表 1. 1 は応力・ひずみ測定法を原理から分類したものである。また測定領域からは、表 1. 2 の全面測定型と点測定型に大別される。前者は対象領域の応力・ひずみ分布を知る方式であり、後者は着目した点のみの値を求める方法である。

今回はその中で特に電気抵抗ひずみ計すなわちひずみゲージを用いた場合について述べる。

表 1.1 応力・ひずみ測定法の分類 (原理による)

電 磁 気	— 電 気 抵 抗 —	— 電気抵抗ひずみ計
	— 電 磁 誘 導 —	— 差動トランス, りぢ電流型ひずみ計
	— 磁 気 ひ ず み 効 果 —	— 磁気ひずみ型ひずみ計, ストレステスタ
	— 電 気 容 量 —	— 電気容量型ひずみ計
光 (波動)	— 光 弾 性 効 果 —	— 光弾性法 (光弾性皮膜法を含む)
	— 光 干 渉 —	— モアレ法
		— スペックルパターン法
— コースティックス法		
被 膜 媒 体	— 被 膜 の き 裂 —	— 応力塗料膜法
	— 被 膜 の 腐 食 疲 れ —	— 銅めっき法
	— (被膜の光弾性効果) —	— (光弾性皮膜法)
X線(波動)	— X 線 回 折 —	— X線応力測定法
熱 放 射	— 熱 弾 性 効 果 —	— 熱弾性応力測定法
超 音 波	— 音 響 弾 性 効 果 —	— 音響弾性応力測定法

表 1.2 応力・ひずみ測定法の分類 (測定領域による)

全面測定型	— 光弾性法 (光弾性皮膜法を含む)
	— 応力塗料膜法
	— 銅めっき法
	— モアレ法, ホログラフィ法
	— 熱弾性応力測定法
点測定型	— 電気抵抗ひずみ計
	— 磁気ひずみ型ひずみ計, ストレステスタ
	— 差動トランス, りぢ電流型ひずみ計, 電気容量型ひずみ計
	— X線応力測定法
	— スペックルパターン法
	— コースティックス法

2. 応力とひずみ

(1) 応力 (stress)

図1に示すように断面が一様な平行部を持つ丸棒の両端に大きさPの引張荷重を加えた時、軸方向に垂直な断面A-Bを考える。この断面には引張荷重Pに対して抵抗する内力が働いている。物体が平衡状態にあれば、この内力は引張荷重Pと釣り合う。ある断面の単位面積当たりの内力を応力という。

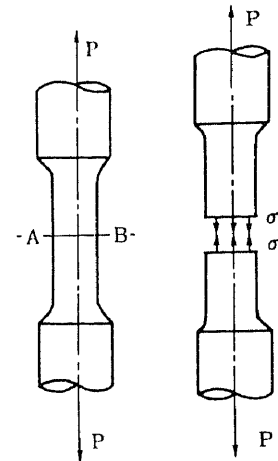


図1

(2) ひずみ (strain)

構造物や機械を構成する材料は剛体ではないから、荷重に応じて生ずる応力によって変形する。この変形の量は応力の大きさが同じであっても物体の大きさによって異なり、大きなものほど大きな変形を生ずる。

図2に示すように丸棒に引張荷重Pを負荷する前の長さを l_0 とし、負荷後丸棒が軸方向に Δl だけ伸びることによって、この丸棒の長さは

$$l_0 + \Delta l = l \text{ となる。}$$

このとき軸方向のひずみ ε は

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

で定義される。したがって、ひずみの単位はmm/mmのように無次元の量である。

(3) 応力とひずみの関係

「応力とその材料によって定まる一定値（比例限度）を越えない範囲ならば、応力とひずみの比は、応力の種類と材料の種類が同じ場合はつねに一定の値になる」という関係をフックの法則（Hooke's law）といい、この応力とひずみの一定の比を弾性係数（modulus of elasticity）という。図1のような場合

（一軸応力、あるいは単軸応力状態）では垂直応力 σ とその方向のひずみを ε とすれば

$$\sigma = E \varepsilon$$

と表され、この式の比例定数Eを縦弾性係数（modulus of longitudinal elasticity）またはヤング率（Young's modulus）ともいう。

表2には主な工業材料の弾性係数を示す。

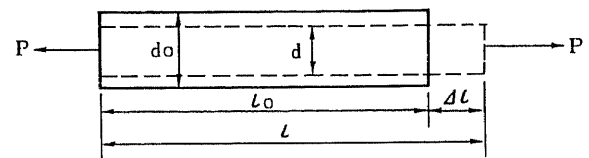


図2

表2 弾性の諸係数

材 料	E GPa	G GPa	K GPa	$\frac{1}{m}$
軟 鋼	206	82	158	0.28
ニッケル鋼	205	82	—	—
鋳 鋼	211	81	—	—
鋳 鉄	98	37	—	0.1~0.2
銅	123	46	130	0.34
青 銅	88	—	—	—
砲 金	80	28	—	—
アルミニウム	73	26	68	0.34

3. ひずみゲージ

(1) 特徴

ひずみゲージは、作用するひずみによって金属抵抗線または箔・半導体などの電気抵抗が変化する現象を利用したものである。応用範囲も広く、圧力計・荷重計・加速度計などにも活用されている。表1.2の点測定型に属し以下のような特徴がある。

長所

- ・実物構造物について直接ひずみを測定できる。
- ・接着剤などの進歩改良により接着が容易になり用途が広い。
- ・安価で取り扱いも容易である。
- ・ひずみを電気量に変換して測定するので遠隔操作や記録が容易である。
- ・静的および動的ひずみはもとより、塑性ひずみも測定できる。

短所

- ・点測定型であり、得られるひずみはゲージ長の平均ひずみである。
- ・内部応力は測定できない。
- ・ゲージ自身の抵抗変化が小さく、適当な増幅器を用いなければならない。

(2) 構造と種類

図3に代表的なひずみゲージである箔ゲージの構造を示す。プラスチック

などのベースに接着された数ミクロン厚の抵抗箔は、フォトエッチングの技術によって必要なパターン形状に加工されている。パターンの形状や寸法は使用目的によって種々のものがあり、また抵抗値やゲージ長によっても格子（グリッド）の幅や本数が異なってくる。

抵抗素子の一端にはハンダ付け、点溶接などで細いゲージリードが取り付けられている。また、抵抗素子を保護するために、薄いプラスチックフィルムでラミネートされている。最近ではあらかじめ必要な長さのリード線が付属しているものが主流となっている。ひずみゲージは通常、接着剤で被測定物に取り付けるが、高温ゲージなどベースに金属を用いたものでは点溶接で取り付けて使用する。

抵抗体・形状・ベース材料・用途から表3のように、ゲージの形状からは図4のように分類される。

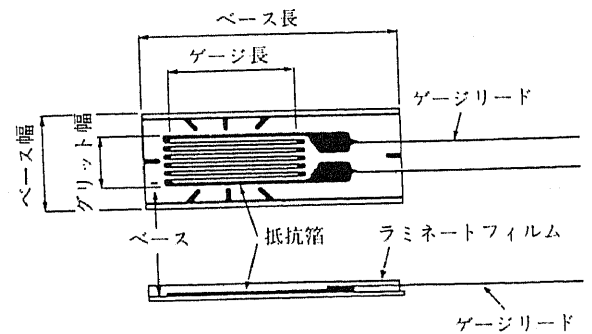


図3 箔ゲージの各部の名称

表3 ゲージの種類

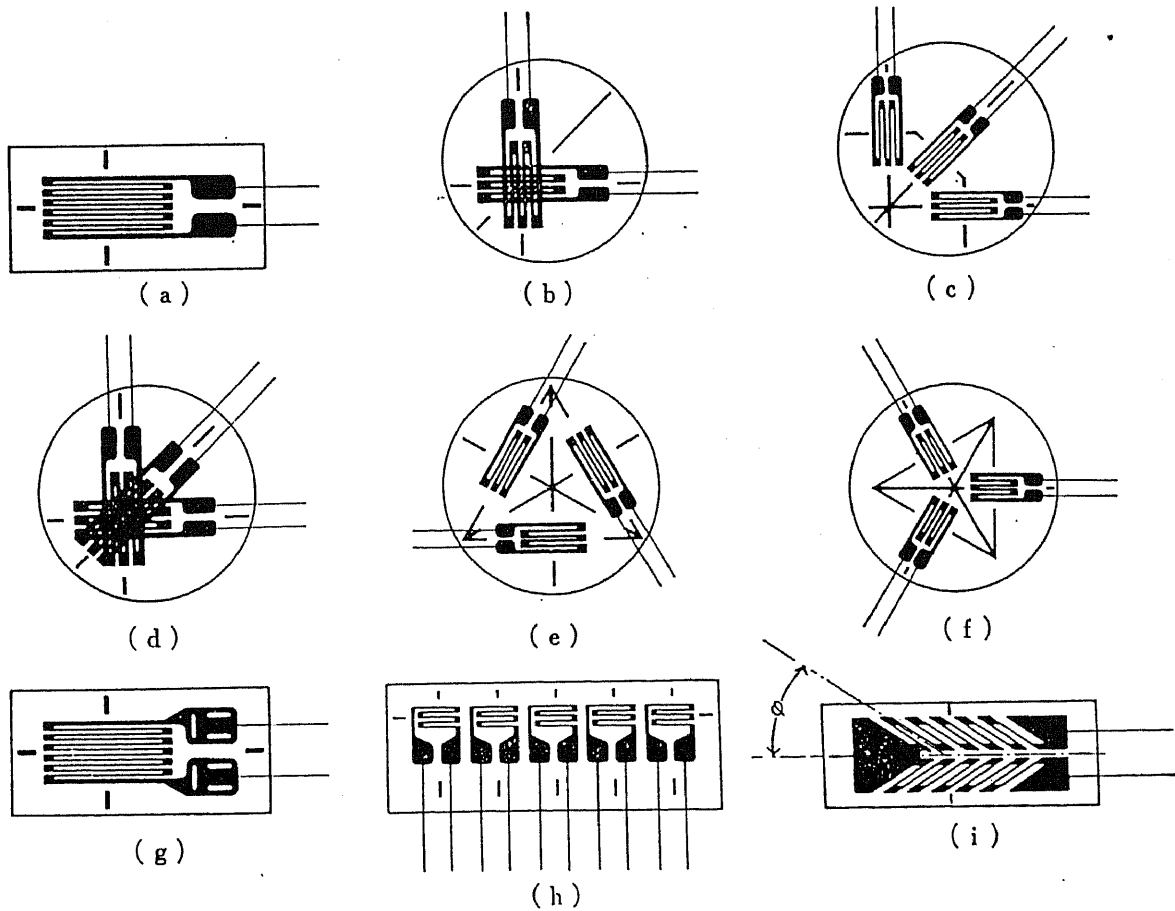
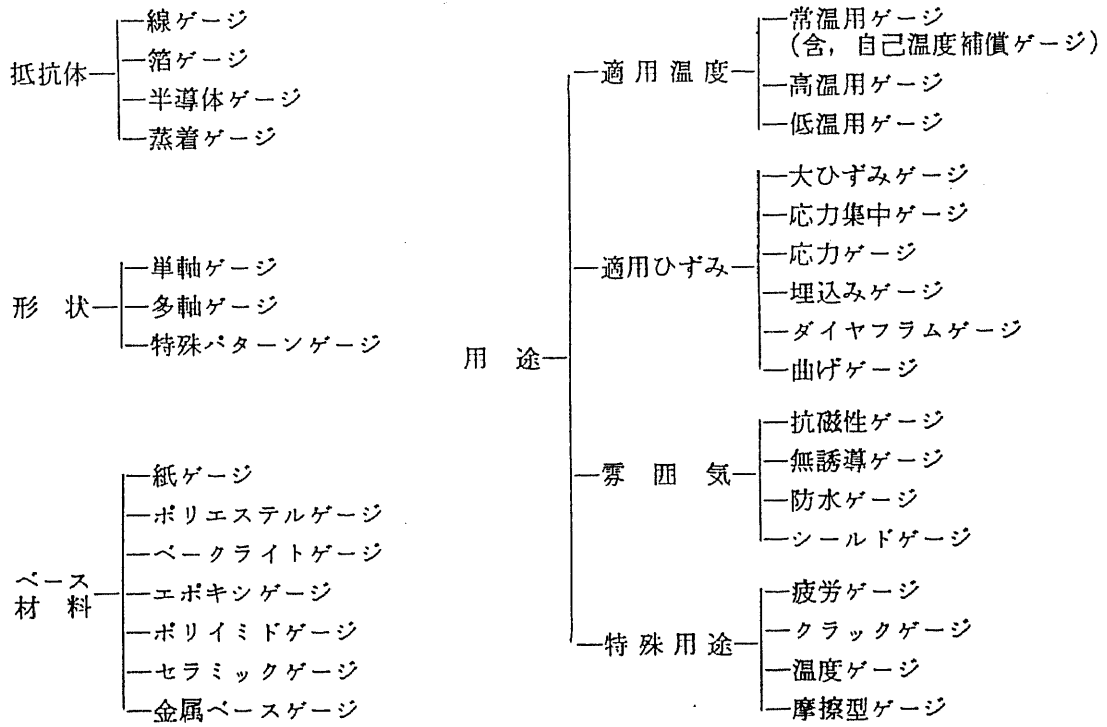


図4 ゲージの代表的パターン

(3) ブリッジ回路

ゲージに生ずる微小な抵抗変化を求めるには、電圧または電流に変換してから測定する必要がある。例えば $120\ \Omega$ のひずみゲージが $1,000 \times 10^{-6}$ のひずみを受けた場合に生ずる電気抵抗の変化は $0.24\ \Omega$ と、きわめて微小である。これを電気信号として取り出すために、一般にホイートストンブリッジ回路 (wheatstone bridge circuit) (または略して単にブリッジ回路という) が用いられる。

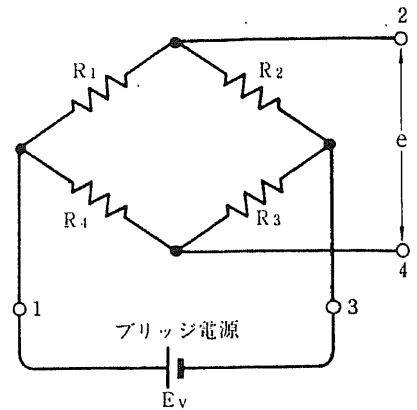


図5 ホイートストンブリッジ回路

ブリッジ回路は図5のように $R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4$ の4つの抵抗辺から成り、接続点の1・3にブリッジ電源を印加し、接続点2・4をブリッジの出力端とする。

いま、ブリッジの各辺の抵抗値が

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$$

の条件が成り立つ時、ブリッジの出力電圧 e は、ブリッジ電源 E の大きさにかかわらず

$$e = 0$$

となり、ブリッジが平衡状態にあるという。

さて、ひずみゲージでブリッジ回路を構成する場合には、測定目的や物体のひずみ状態に応じて1・2・4ゲージ法が用いられる。

4. おわりに

最近の機械や構造物では安全に対する関心が高まる一方、高温・低温中など過酷な条件で使用される機会も多く、また経済性や性能面からは軽量化が要求されており、互いに矛盾するこれらの条件を満足させるためにはより高度の設計が要求されている。そのため応力測定的重要性はますます高くなり、自動車・航空機はもとより橋梁・ダムなどの巨大構造物にいたるまでひずみゲージは広く利用されている。しかし、すべての問題がひずみゲージのみによって解決されるわけではない。応力・ひずみの解析手段は、それぞれ特徴があるので、その目的に応じて各種の方法を適用すればきわめて有効である。

参考文献

1. 菅野 昭・高橋 賞・吉野利男著：応力ひずみ解析 朝倉書店
2. 高橋 賞・河井正安著：ひずみ測定入門 大成社
3. 川田雄一著：材料力学－基礎と強度設計－（改訂版） 裳華房