

# ひずみゲージによる測定値の変動に関する基礎実験

## Fundamental Experiment on Variation in Values Measured by Strain Gauges

高橋 秀幸\* 百瀬 敏彦\*  
Hideyuki TAKAHASHI Toshihiko MOMOSE

### Summary

Strain measurement implies using a bridge circuit to measure variations in resistance values due to the expansion and contraction of a gauge, the measured values being the resistance values of the strain gauge and the lead wire. The values read are very misleading because apparent resistance values change due to the changes in the location and temperature of the lead wire and in the temperature of the gauge.

Therefore, an experiment, though very basic, to determine how the apparent resistance values vary has been performed and the results are reported in this paper.

### 1. まえがき

日本におけるひずみゲージによる測定方法は、戦後その技術が導入されたものである。その原理はゲージの伸縮による抵抗値の変化をブリッジ回路により読み取るもので、そこに生じている応力、荷重、変形状態を知ることができ、これらを応用することにより温度などの測定もできる。

この利用範囲は広く、土木、建築、造船、機械など多方面に亘り、特に鋼板への適用については精度の高い結果が得られる。

古くは、ブリッジ回路に組み込まれた可変抵抗を手で操作して、ブリッジのバランスを取り、その可変抵抗の変化量から、ひずみゲージの抵抗値の変化を知っていたが、現在では複雑な回路を組み、即座にその値を知り、自動記録ができるようになり、ますます適用例が増えている。

しかるに、この計測法における抵抗値はひずみゲージとそのリード線からなる回路の抵抗値で判断するものであるから、ひずみゲージに結線したリード線の移動やリード線さらにはひずみゲージの温度変化によっても見掛上、回路の抵抗値が変わり、測定しようとする応力などが変わったものと誤った判断をすることになってしまう。

この度、(財)鉄道総合技術研究所『古材に対する現場継手試験作業』の委託研究において軸力試験経時変化を測

定中、データ異常が発生した。軸力の管理はひずみゲージによるものであり、データ異常は上記の影響ととらえ、今後測定を行うにあたり見掛ひずみを定量的に把握することが必要となる。そこで測定に使用したひずみゲージ付高力ボルトを使い、实际的に影響を及ぼすと思われる温度変化やリード線移動等の基礎的な実験を行ったので報告する。

### 2. 測定概要

#### (1) 使用ひずみゲージ

“ボルト締付軸力測定用ゲージ” BTM-6 C

ゲージ長：6 mm

ゲージ抵抗：120±0.5Ω

ゲージ率：2.1

接着材：BTMシリーズ A-2

〈(株)東京測器研究所〉

#### (2) ひずみゲージ取り付け状況

高力ボルト軸芯に孔径2.0φをあけ、ひずみゲージを埋込式で取り付けた。取り付け状況を図-1に示す。

#### (3) 結線方法

ひずみゲージの結線方法は表-1のように分類できる。

\* 千葉工場製造部生産技術課

表-1 ひずみゲージの結線方法

結線法	備考
<p>① 1ゲージ法 2線式 (1G2W)</p>	<p>アクチブゲージ以外のブリッジ辺は、内蔵の固定抵抗を共通に使用し、ブリッジを構成していません。 ゲージまでのリード線の抵抗は、アクチブゲージにのみ直列に入りますので細い線や、長いリード線を使用しますと初期平衡調整がとれなかったり、温度変化によりゲージはもちろん、リード線の抵抗変化が、そのまま見かけひずみとして測定値に混入してきます。</p>
<p>② 1ゲージ法 3線式 (1G3W)</p>	<p>1の接続法のリード線の温度補償を行うための方法で、ゲージの接続には3平衡線を使用します。リード線の抵抗が内部の固定抵抗を用いたダミー辺側にも入りますので、リード線の温度補償ができるわけです。ただし、ゲージの温度補償は行えません。</p>
<p>③ 2ゲージ法 4線式 (2GCD)</p>	<p>リード線の長さが同じならば、ダミーのリード線をアクチブゲージと同じ長さ、同じ場所を通るようにすれば、かなりの温度でリード線は温度補償されます。 また、ダミーゲージをアクチブゲージの接着場所と同じ温度変化を受ける場所で、同じ材質のものに接着しますとゲージの温度補償も行えます。</p>
<p>④ 2ゲージ法 3線式</p>	<p>アクチブ及びダミー以外の辺は、内部の固定抵抗を共通にし、ブリッジを構成します。 ゲージ接続に3平衡線、同一ロットのゲージを使用すれば、リード線とゲージの温度補償を行います。</p>
<p>⑤ 4ゲージ</p>	<p>内蔵抵抗を使用せずに、ひずみゲージのみでブリッジを構成する方法です。この場合、ひずみゲージを接着した場所でブリッジを組んでリード線を延長する事が大切です。</p>
<p>ε：ひずみ                      K：ゲージファクタ                      R：ゲージ抵抗 r：コード抵抗(Ω)              Ei：ブリッジ電圧(V)                      Eo：ブリッジ出力電圧</p>	

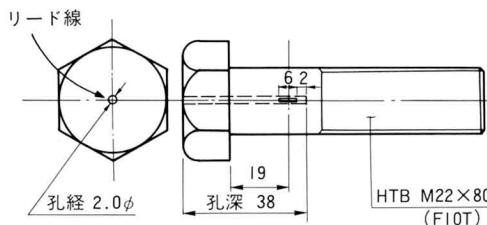


図-1 実験ゲージのボルトへの埋め込み

#### (4) 使用機器

基礎実験を行うにあたり下記の機器を使用した。

デジタルひずみ測定器：TDS-301

スイッチボックス：ASW-50A

〈株東京測器研究所〉

データ採取用コンピュータ：PC9801VX

外部GP-IBコントローラ：GP-IB

〈NEC〉

軸力試験に使用した結線方法は2GCD法であり、比較のため代表的な結線方法である1G2W法、1G3W法を加え、3種類について実験を行った。

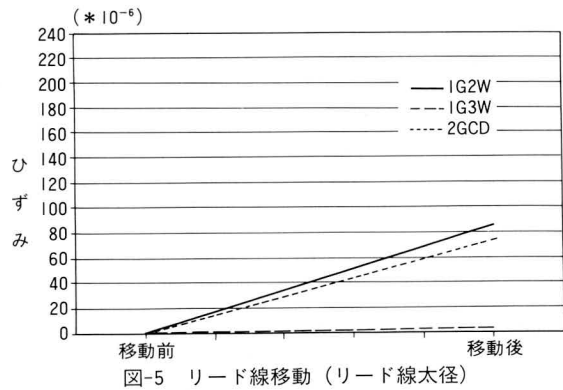
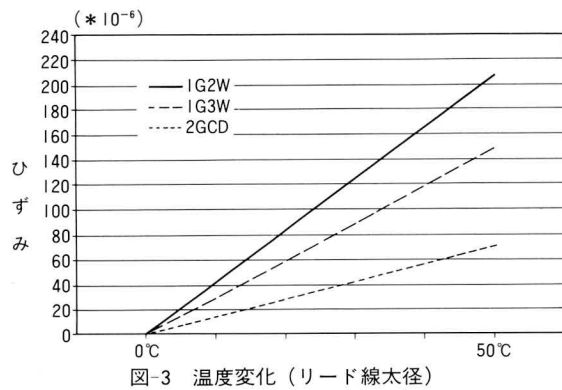
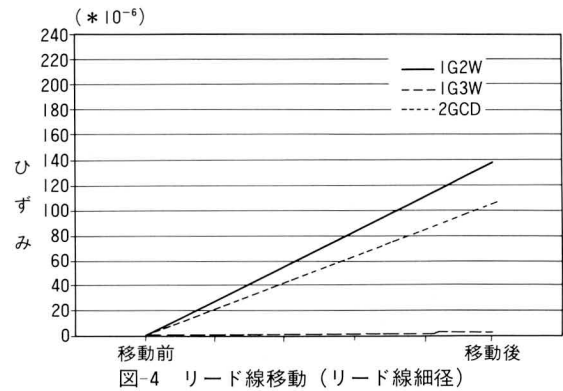
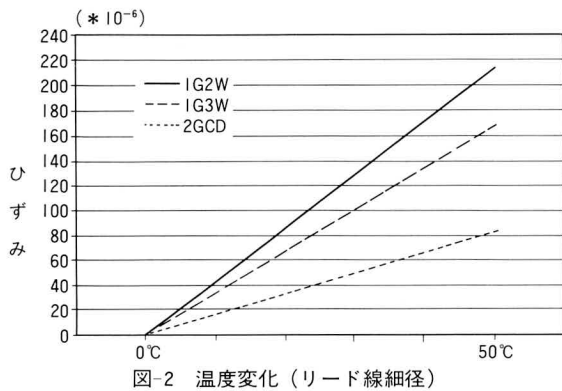
1G2W法とは1本のひずみゲージに2線のリード線を結線して測定する方法であり、そのため、ひずみゲージやリード線の見掛ひずみを直読してしまう。1G3W法は1本のひずみゲージに3線のリード線を結線するものでありブリッジ回路内でリード線の見掛ひずみはを除去する方法である。2GCD法はアクティブゲージとダミーゲージを使用して測定するもので、ひずみゲージとリード線の温度影響による見掛ひずみを理論上、除去する方法である。

### 3. 実験結果

ひずみゲージの値に影響を及ぼす因子として、温度変化、リード線の移動、測定器の電圧変動に着目して実験を行い基礎的な特性を調べた。

#### (1) 温度変化にともなう見掛ひずみ

ひずみゲージに結線するリード線に細径(0.2φ)および太径(0.8φ)の2種類を使用し、各結線方法に対して約50℃の温度変化を与えたときのひずみ変化量を測定した。結果を図-2、図-3に示すが、ひずみゲージおよびリー



ド線の温度が変わると、1 G 2 W法、1 G 3 W法、2 GCD法の順に顕著に見掛ひずみが発生してしまう。1 G 2 W法はひずみゲージおよびリード線の抵抗値が変わるのでブリッジ回路としての抵抗値が変わりひずみ値が変化することは解るが、リード線の影響を除去している1 G 3 W法において大きな変化をすることは予想外であった。これは実験ゲージが自己温度補償型(ひずみ変化 $\pm 1.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )でないことに起因していると考えられる。また、2 GCD法は、リード線の温度変化は除去していると思われるが上記と同様に自己温度補償型でないためアクティブゲージとダミーゲージの間に差が生じてひずみ値が変化したものと考えられる。

リード線の太さも多少影響され必要な太さを有しないと問題となるひずみ値になることが推定される。

### (2) リード線移動にもなう見掛ひずみ

温度変化の測定と同様に2種類のリード線を結線し、それらをリード線の届く範囲(5 m)で移動を行い、その内でのひずみ変化最高値を測定した。結果を図-4、図-5に示すが、この実験から1 G 3 W法は実験的証明がなされていることがわかった。1 G 2 W法は、リード線移動により抵抗値が変化していることが解り、2 GCD

表-2 1次電圧変動 ( $\times 10^{-6}$ )

結線方法	100 V	90 V	110 V
1 G 2 W	0	2	3
2 GCD	0	1	3

法はダミーゲージを移動させなかったため、1 G 2 Wと同様の傾向を示している。このことにより軸力試験経時変化測定は細径のリード線を使用し2 GCD法の結線方法であるため、データ異常はこのリード線移動時の抵抗値変化であることが考えられる。

### (3) 1次電圧変動にもなう見掛ひずみ

スライダを用いて測定器TDS-301の電圧を、100 V  $\rightarrow$  90 V  $\rightarrow$  110 Vに変動させたときのひずみ変化量を測定した。結線方法は1 G 2 W法、2 GCD法の2種類とし、結果を表-2に示す。

電圧変動後のひずみ値の変化は極く小さく、一般の工場電源でも問題はない。これは測定器TDS-301内の定電圧装置(100 V  $\pm$  10%)が正常に働いていることによる。

### (4) 気温変化とひずみ値

24時間の気温変化を測定し、それにあわせ1 G 2 W法、

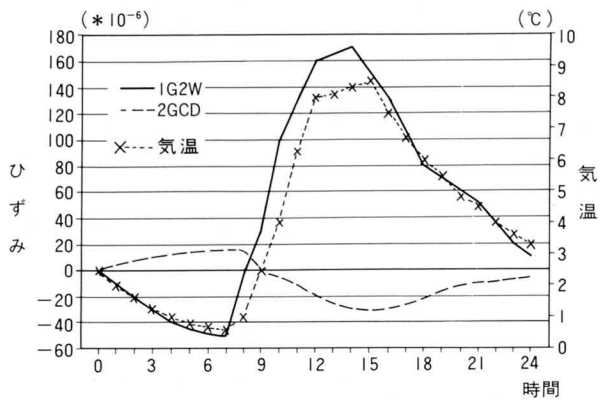


図-6 気温変化とひずみ値

2GCD法のひずみ値変化を測定した。測定結果を表-3、図-6に示す。1日の気温変化は約8℃でありこのとき1G2W法で大きなひずみ値を示しており、これは(1)温度変化にともなう見掛ひずみの結果と同様のものである。2GCD法はわずかに変化しており自己温度補償型のゲージでないためアクティブゲージとダミーゲージの間に差が生じたものと考えられる。

#### 4. まとめ

以上、ひずみゲージ読取り値に及ぼす温度変化、リード線移動、1次電圧変動の影響について述べたが、今後のひずみ測定における結線方法の選択について整理すると以下ようになる。

##### (1) 1G2W法

ひずみゲージおよびリード線の抵抗値が温度変化により変化しひずみ値に直接加わるため温度変化のないようにする(測定を短時間に終わらせる)。また、温度変化と同様にリード線移動による抵抗値変化もひずみ値に加わるためリード線移動は行わない。

この結線方法はなるべく使用せず、1G3W法または2GCD法を使用する。

##### (2) 1G3W法

リード線の抵抗値変化を補正する方法であるためリード線の温度変化や移動による抵抗値変化は消去できる。ひずみゲージの抵抗値変化については補正を行わないため長時間の継続測定を行う場合は自己温度補償型ゲージを使用する。

表-3 気温変動とひずみ値 (\*10<sup>-6</sup>)

時間	1G2W	2GCD	温度(℃)
0	0	0	2.5
1	-10	4	2.0
2	-20	7	1.6
3	-30	10	1.3
4	-40	12	1.0
5	-45	14	0.8
6	-49	15	0.7
7	-51	16	0.6
8	-5	15	1.0
9	30	0	2.5
10	100	-5	4.0
11	130	-10	6.3
12	160	-20	8.0
13	165	-25	8.1
14	170	-30	8.3
15	150	-32	8.5
16	130	-30	7.5
17	105	-27	6.7
18	80	-22	6.0
19	70	-17	5.5
20	60	-12	4.8
21	50	-10	4.5
22	35	-8	4.0
23	20	-7	3.6
24	10	-6	3.3

##### (3) 2GCD

温度によるひずみゲージおよびリード線の抵抗値変化をアクティブゲージ全てについて1本のダミーゲージで補正する方法であるため、局所的な温度変化やリード線移動がないようにする。

長時間の継続測定は可能であり、この結線方法については自己温度補償型ゲージでなければ使用できない。

#### 5. あとがき

本実験は温度変化、リード線移動、1次電圧変動等の影響による見掛ひずみを定量的に把握することを目的で行ったものであるが、発生量は結線方法やひずみゲージ種類選択等により左右されることがわかり、ひずみ値の零点移動やデータのバラツキもこれらに含まれてくるものと考えられる。

今後、ひずみ測定を行う上でリード線移動を余儀なくされるときや、日照や冷暖房器具で局所的な温度変化を受けるとき及び長時間を要する測定など、その都度検討の上、結線方法、ひずみゲージ種類選択等を想定するこ

とが必要である。

簡単な実験報告であるが、今後の参考になれば幸いである。

1990.10.31受付

## グラビア写真説明

### 新那覇大橋

沖縄県は人口百二十四万人、なかでも県都那覇市は人口三十一万人を数え、沖縄海洋博・沖縄国体を経て、目覚ましい発展をとげている。

沖縄は、戦前は軽便鉄道が走っていたが、現在は沖縄新交通が計画されているものの、電車がなく、まったくの車社会それもアメリカ型車社会と言える。

現国道329号は、那覇市街地を通過、南部地域からの交通を受けるとともに、昭和62年の沖縄自動車道の開通に伴い、交通事情は悪化を極め、朝夕のラッシュ時には車線変更規制を行って対処しているが、主要交差点の渋滞は非常に厳しいものとなっている。

本橋はまた、漫湖公園・奥武山公園に隣接し、野鳥の楽園（夏には黄足シギ、子アジサシ、キジバト、冬にはムナグロ、浜シギ、小鴨等30数種類）でもあり、自然保護と景観が重視された。

本橋の延長には、沖縄県内で初めての斜張橋も計画、工事着手されており、那覇東バイパス・漫湖局改の一日も早い完成により、交通渋滞の緩和と市民に親しまれる憩いの場所として期待されている。（尾崎）

### 鹿ヶ城大橋

宮城県は、「行政の文化化」の一環として、同県の豊かな自然と歴史的、文化的風土と調和した景観づくりを行っていく方針を固め、土木部が中心となり地域の特徴を表現した土木構造物を造る手始めとして鹿ヶ城大橋を完成させた。鹿ヶ城大橋は、迫川に飛来するハクチョウのはばたく姿をイメージした六基の高欄（高さ8メートルが特徴）歩道の4ヶ所にはバルコニーを張り出させ、ベンチも置いた。高欄やバルコニーの分だけ費用は割高になった。だが土木部では費用が掛からず丈夫なものを造ればいいという発想を捨て美しい魅力ある橋を完成させた。

鹿ヶ城大橋は宮城県を代表する美しい橋の一つである。（田村）