



UDC 620.172.222.082.731
621.317.79.084.87

試作せる電気抵抗線歪計用歪指示器 及び切換調整装置について

正員 成岡昌夫*
准員 米沢博**

要旨 電気抵抗線歪計に関する研究の第2報として歪指示器及び切換調整装置の試作について述べ、これを用いて行つたパイプ試験の測定成績に言及したものである。

1. まえがき

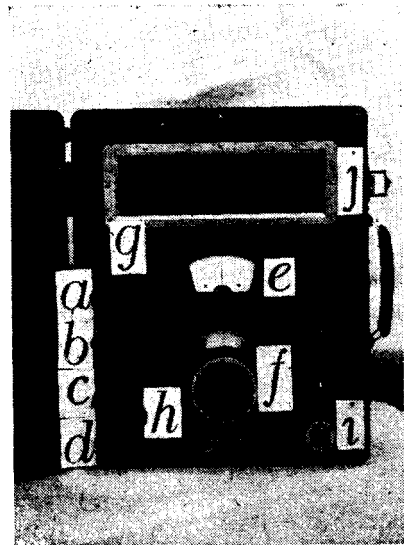
電気抵抗線歪計—以下歪計と略称する—用の歪指示器 (strain indicator)—以下インジケータ—と略称する—及び多点測定用の切換調整装置 (switching and balancing unit) は、米国ではすでに商品化され、土木、建築、機械、航空、船舶等の各方面で、非常に広範囲に使用され、各種構造物、機械部分の応力測定や金属のクリープ測定等に利用されている。わが国でも米国における進歩発達に刺戟されて、歪計に対して多大の関心が払われるようになってきたが、現場においてしかも多くの測定点を連続的に測定できるインジケータについては、あまり関心が払われていないようである。この点にかんがみ、現場用のインジケータ及び切換調整装置を試作し、2, 3の実験室及び現場測定を行つたところ、相当よい結果を得たので、試作品の内容と測定結果の1つを御報告したい。

2. 歪指示器 (Strain indicator)

a. 試作装置の概略 装置全体の外観は写真-1のごとき持ち運びできるもので、電源には A. C. 100V を用いる。歪計には、抵抗 120Ω , gage factor 2.0 のアドバンス線の歪計を使用するものとして設計してある。測定しうる歪の範囲は $0\sim 1.0\times 10^{-3}$ と $0\sim 5.0\times 10^{-3}$ の2段に切換えうるようになっていた。例えば鋼構造物では、ヤング係数を $2.1\times 10^6\text{kg/cm}^2$ とすれば、切換えずに $0\sim 2\text{100kg/cm}^2$ の応力が測定できることになる。

写真-1 について説明すると、a, b は active gage 用ターミナル、c, d は dummy gage 用 (温度補償

写真-1



用) ターミナル、e は bridge balance を指示する直流メーター、f は歪を指示するダイヤル、g は押ボタン式スイッチ (これは gage にいつも電流が流れ、発熱するのを防ぐ)、h が測定範囲切換スイッチ、i は電源受入口、j は放熱窓である。

なお試作品である関係上、後から部品を追加しなければならぬ場合を見込んで、ケースを必要以上に大型にしてあるので、実際にはさらに相当小型になるはずである。

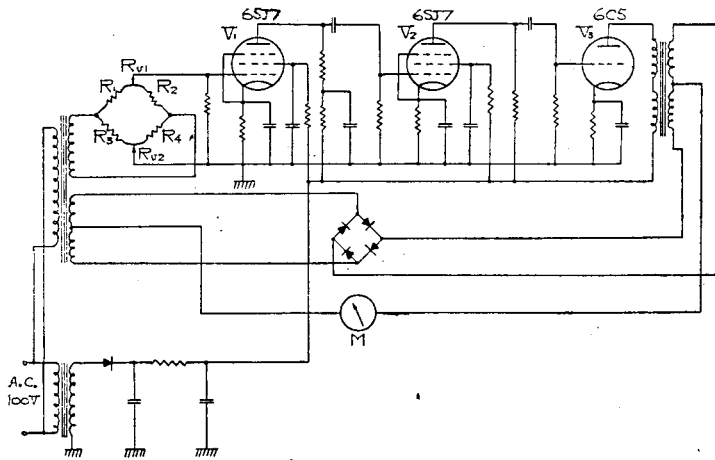
b. 測定回路 これは図-1 に示すような回路であつて、bridge は active gage (これは切換調整装置につなぐ)、dummy gage 及び2個の 120Ω の抵抗よりなる。bridge の unbalance による電圧の変化を交流増巾し、これを整流して直流メーターをふらせ、次に歪指示用の可変抵抗を変化させて、メーターのふれを0として bridge を balance させて、歪を指示させるのである。

各部にわたつて詳しく説明しよう。まず交流増巾用

* 京都大学助教授、工学部土木工学教室

** 山口大学講師、工学部土木工学教室

図-1



のオシレーターとして、電源の 60 サイクルをそのままとることとする。次に bridge に流れる電流を 10mA にするために、bridge に与える電圧は 2.4V とする。アドバンス線 50 番線の安全電流は 25mA であるので、電圧をもつと高めてよいわけであるが、温度上昇を避けるため、できるだけ電流を小さくしてある。 R_{01} は歪計の抵抗の若干の不同、リード線のための抵抗の不そろいを balance させるための可変抵抗で $\pm 0.3\Omega$ のものを使用している。歪指示用ダイヤルに直結する可変抵抗 R_{02} は、最大 $\pm 1.0 \times 10^{-3}$ 及び 5.0×10^{-3} の歪まで測定するために、 $\pm 0.24\Omega$ 及び $\pm 1.2\Omega$ のものを用いる。0.24 Ω のものを用いる場合を説明しよう。すなわちダイヤルの目盛を ± 100 まで刻んでおけば、一目盛で 0.24/100 Ω 変化し、gage factor を 2.0 とすれば、 $\Delta R/R = 2.0 \times \epsilon$ より、 $\epsilon = 0.0024 / 2.0 \times 100 = 1.0 \times 10^{-5}$ すなわち 1 目盛が 1.0×10^{-5} の歪 (鋼材では約 21kg/cm² に相当する) を示すことになり、半目盛まで目測すれば、 5.0×10^{-6} の歪まで読めることになる。次に増巾度の問題であるがこの程度の抵抗変化のために生ずる電圧変化を増巾して、直流メーターをふらせるために必要な増巾度は、デモジュレーター (demodulator) による増巾度の低下を計算に入れて、約 55dl 必要であり、図-1 のごとく 6SJ7 2 個、6C5 1 個の 3 段増巾を行つている。増巾された電流は、デモジュレーター装置のついた整流回路にて直流メーターをふらせるのである。

なお切換スイッチにより R_{02} の抵抗を切換えて、 $\pm 5.0 \times 10^{-3}$ までの歪を測定しうようになっている。

c. 使用方法 まず図-1 の R_{01} (この部分は切換調整装置の中にある) により、gage の不同、リード線等のために生ずる unbalance を調整して、メーターの読みを零にする。次に歪によつて active gage

の抵抗が変わるから、balance が破れることになる。この unbalance を R_{02} の可変抵抗のついた微調整ダイヤルをまわして balance させ、ふたたびメーターの読みを零にする。このときのダイヤルの読みで歪を示させるのである。いわゆる零位法であるので、非常に急激な電源の変動さえなければきわめて安定に作動する。

d. 感度 感度試験として、実際の歪計を使う代りに、歪計より信頼度の高い電位差計を active gage の代りに用い、電

位差計の抵抗を種々変化させて、これに伴う歪指示用ダイヤルの回転目盛数をプロットしてみた。その結果は、120 Ω を基準として $\pm 0.048\Omega$ ($\pm 0.24\Omega$) 変化するごとに 20 目盛ずつ回転し、 $\pm 0.24\Omega$ ($\pm 1.2\Omega$) 変化して 100 目盛回転した。従つて gage factor を 2.0 として、1 目盛が 1.0×10^{-5} (5.0×10^{-5}) の歪に相当するわけである。なおこの 1 目盛は相当大きいので、1/2 あるいは 1/3 目盛まで注意して読めば 5.0×10^{-6} あるいは 3.0×10^{-6} の歪まで測れるわけである。

3. 12 点測定用切換調整装置

外観は写真-2 のようである。その内部回路を図-2, 3 に示す。12 点の歪の測定を、連続的に迅速に行うように設計したもので、図について説明すると次のようである。a, a' は 12 点の測定個所に貼付けた active gage につなぐためのターミナルで、12 組のうち a は内部において共通になつていて、インジケーターへのターミナルを兼ねている。k は図-1 の可変抵抗 R_{01} で、ドライバーで調節するようになっている。b はインジケーターの増巾回路へ、c はインジケーターの dummy gage 用ターミナルへつなぐためのターミナルである。これらのターミナルは接触抵抗を極力小さくするために特に大きなものを用い、かつドライバーでしめうるようにしてある。

原理は図-1, 図-2, 図-3 等を併せて参照すれば、おのずから明らかであろう。その使用法の概略を述べると、次のようである。a, a' の各ターミナルへ active gage をつなぎ、a, b, c をインジケーターのターミナルへつなぐ。次に無載荷の状態において、1 を切換えながら、1, 2, 3, ……、12 と順次 k をドライバーにてまわして、インジケーターの直流メーター M のふれを零にする。荷重がかかつてからは k を一

写真-1

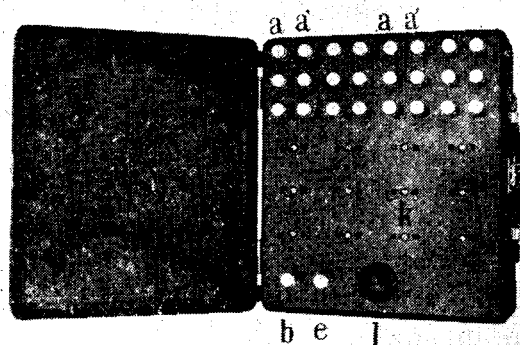


図-2

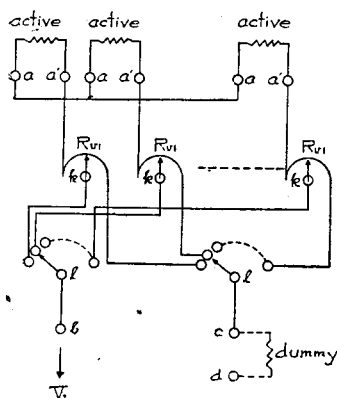
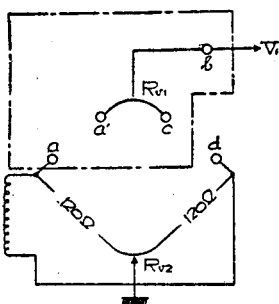


図-3



切動かさず、1を順次切換えて、インヂケータの歪指示用ダイヤルをまわす操作を行えば、12点の歪が連続的に測れるわけである。

以上の歪指示装置及び切換調整装置は、橋梁、建築物、船舶等の応力測定の場合、抵抗線と被測定物との間の電気容量の影響や、絶縁度のちがひ等の影響をなくするために、地面もしくは被測定物と装置との間には、ゴムによつて絶縁するようにしてある。

4. Baldwin SR-4 Strain Indicator (Type L) との比較

米国では早くから Baldwin 社が SR-4 Strain Indicator の名の下に商品化しており、その他 Strain Meter と称して真空管電圧計に歪を目盛つたものに 48 点用のスイッチボックスを併用して、Baldwin のものとは全く別種の製品もある。ここでは最も普及している Baldwin の Strain Indicator と試作品の主な相違点を述べよう。

まず Baldwin のものは、電源が交直両用となつており²⁾、またオッシレーターに 1000 サイクルを用いている。試作品は交流 60 サイクルとしている。直流

電源があれば、電灯線のないところでも測定可能であるが、一面電源用電池の補充の点を考えて交流 1 本としたのである。1000 サイクルを使用すれば、周波数特性がよくまたオッシログラフを併用して dynamic の測定にまで使用する場合には、この方が高い周波数まで測れる等の利点があるが、反面シールド、リード線の分布容量その他で、いろいろな面白くない問題が生ずるので、dynamic strain の測定を併用しないこととして、60 サイクルを選んだものである。次に測定可能な歪の範囲については Baldwin では切換せずに 2×10^{-3} の歪まで、次に thousand switch によつて 10 段切換えて 12×10^{-3} まで、さらに range extender によつて 20×10^{-2} の歪まで測り得るようになってゐる。試作品では、測定範囲をあまりよくばらず、 1×10^{-3} 及び 5×10^{-3} の 2 段切換として設計した。これらの範囲は別の可変抵抗を用いることによつて変え得るものであつて、さして問題ではない。

次に Baldwin では gage factor adjuster がついていて、1.7~2.2 の範囲内の gage factor に対して調節しうよになつてゐる。このようにするのが理想的であ

るが、これは計算によつて容易に換算しうるので、設計製作の簡易の点に重点をおいて、本試作品では、gage factor 2.0 の一定値に対して設計してある。従つて gage factor 1.9 の歪計を使用の場合は読みを 2.0/1.9 倍すればよい。増巾回路の増巾度、整流回路等ではほとんど同一と思われる。

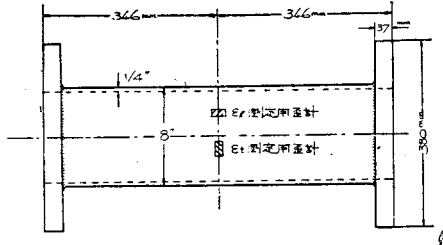
以上主な点について、文献によつて比較したのであるが、昭和 27 年 2 月には、著者の 1 人(成岡)に配当された文部省科学研究費(輸入機械購入費)による輸入機械 Baldwin SR-4 Strain Indicator, Switching and Balancing Unit, SR-4 Strain Gage 等一式が入手できる予定であるから、これらと詳細に比較研究して、本試作品の改善を計りたいと考えてゐる。

5. 本試作品を使用した実験結果の 1 例

本試作品を完成後、若干の実験室及び現場実験を行っているが、ここではそのうちの 1 例であるパイプ試験について述べよう。実験に使用したパイプは図-4のごときもので、両端はフランジ(37mm)を当て溶接してある。使用した歪計は共和無線研究所の K-

22 (アドバンス線, 抵抗 120 Ω , gage factor 20, gage length 9.5mm) のものであつて, これを軸方向及び円周方向に多数接着し, なおフランジにも使用した。内圧 0~30kg/cm² は 5kg/cm² ごと, 30~100kg/cm² は 10kg/cm² ごと, それ以上は 20kg/cm² ごとに測定した。ここではフランジの影響を無視しようとするパイプ中央の歪について述べよう。

図-4



パイプの内圧を p , 半径を r , 厚さを t とする。軸方向及び円周方向の応力及び歪を σ_t, ϵ_t 及び σ_l, ϵ_l とし, パイプを無限に長いとすれば

$$\sigma_t = pr/t, \sigma_l = pr/2t$$

また応力と歪の関係は

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_t + \nu\epsilon_l), \sigma_l = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_l + \nu\epsilon_t)$$

上式に $\sigma_t/\sigma_l = 2, \nu = 0.3$ の関係を代入すると, $\epsilon_t/\epsilon_l = 4.25$ となる。

表-1

区 分	単 位	水 圧 (kg/cm ²)						
		40	60	80	100	120	140	
実 験 値	ϵ_t	10 ⁻⁵	21.5	41.5	55.5	69.0	84.3	97.7
	ϵ_l	"	4.5	8.0	10.0	13.1	14.7	16.0
	ϵ_t/ϵ_l		4.8	5.2	5.5	5.3	5.7	6.1
実 計 算 値 上 下 限 値	σ_t	kg/cm ²	690	970	1290	1610	1920	2260
	σ_l	"	330	450	620	760	880	1000
	σ_t/σ_l		2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3
理 論 値	σ_t	kg/cm ²	640	960	1280	1600	1920	2250
	σ_l	"	320	480	640	800	960	1125
	σ_t/σ_l		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

測定値 ϵ_t 及び ϵ_l の若干を表-1 に示してあり, その下に $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とし上式で求めた σ_t 及び σ_l の値を示してある。実験値より求めた ϵ_t/ϵ_l の値は 4.25 でなく, 4.8~6.1 と広範囲に変化しているが, 実験値より求めた σ_t/σ_l は 2.1~2.25 と比

較的よくあつている。また実験値 σ_t, σ_l は理論値 σ_t, σ_l と低圧では相当よく一致しており, 高圧で σ_t が一致するに反し, σ_l は理論値より相当低くなつている。これはフランジの影響のためと考えられ, むしろ σ_l は実験値が理論値より小さいのが当然であろう。

表-1 よりみてわかるように, 現場実験としてはまず満足すべきものであろう。

本実験は中日本重工株式会社神戸造船所で行われたものであつて, 地面を流れる溶接電流の電磁的影響, 近くの工場で使用される大電力のための急激な電源の変動等, 実験室では直面しない問題を経験したことを記しておこう。

6. む す び

本試作品の内容は上記のとおりで, 全く試作の域を出ないが, 若干の使用経験からして, 充分実験応力解析学 (Experimental Stress Analysis)³⁾ に役立つものと思われる。なお輸入機械到着の上は比較検討を加えて, 本試作品を完全なものにしたいと念願している。

本研究は文部省科学研究費 (総合研究) による研究の一部として実施したものであり, 増巾回路の設計には京大助教授大谷泰之氏の御指導を仰ぎ, 島津製作所取締役工博上西亮二氏をわずらしたものであり, ここに附記して謝意を表したい。

本試作品を用いた各種実験を目下続行中であり, 逐次発表して, 大方諸賢の御批判を仰ぎたいと考えている。また著者はわが国においても, 米国のごとく, 実験応力解析学の盛んになることを熱望してやまない。

註

1) 第1報は SR-4 歪計に関する研究として本誌第 36 巻第 3 号に発表してある。gage factor, gage length, active gage, dummy gage 等の用語については同誌を参照されたい。なお, 機械学会誌第 54 巻第 394 号 (昭 26.11) にもこの歪計のことがでている。

2) Type K では電池を用いて, 直流電源である。Type L の方が新しい。

3) 新しい言葉のようではあるが, 内容は新しいことでもなく, 構造物や機械部分に生ずる応力を実験的に研究解析し, これらの強度を改良することを目的とした工学の一部門である。米国ではこの工学の学会 Society for Experimental Stress Analysis が 1943 年創立され, Proceeding を毎年 2 回出している。また M. Hetényi 編 Handbook of Experintal Stress Analysis が 1950 年に出版されている。