

地震計に用いる Co-elinvar つる巻ばねについて*

矢 崎 敬 三**

550. 341

On the Co-elinvar Spring for the Vertical Seismograph

K. Yazaki

(Meteorological Instrument Plant)

To remove the unfavourable effects of the temperature change on the main steel helical spring of the present vertical seismograph, a co-elinvar spring is tested. The superior characteristics of the co-elinvar spring to the steel spring and its creep characteristics became clear. The amount of the temperature change in length of the co-elinvar spring is about $-0.6 \mu/\text{°C}$ for the spring of wire dia. 5.9ϕ , coil dia. 41.4ϕ , and effective number of coil 19, and that is about $1/20$ that of the steel spring of the same dimensions. The creep has been observed for about 2,000hrs. After the heat treatment to improve the creep characteristics, creep is not perceptible, and the amount of the temperature change in length became $2.0 \mu/\text{°C}$. From these experiments, it becomes clear that the co-elinvar helical spring improves the characteristics of the vertical seismograph remarkably.

§ 1. は し が き

従来、上下動地震計は特殊のものを除いては、Gray 型あるいは Ewing 型などといったように重錘をつる巻ばねでつり下げる式のものほとんどである。このような地震計にあっては、つる巻ばねを調節して振子を零位に保持するわけであるが、ばねの材料としてはもっぱら鋼線あるいはばね鋼が用いられているために、一度零位に調整しておいても、地震計の設置されている室の温度の変化に影響されてばねが伸縮して零位の変化を生ずる。特に倍率の大きいものになると、この変化は記象紙上に顕著に現れることになるので、温度変化による伸縮の補正装置をつけなければならない。ウィーヘルト地震計がその一例であるが、温度補正器がついているにもかかわらず、常時観測者が重錘を増減していなければ、完全に補正ができない状態である。温度補正器が完全に機能を発揮すれば、これを用いるのも、ばねの温度による伸縮の影響を除く一つの方法であるが、厳密にいえば、温度による材料の弾性係数の変化は周期をも変化させることにもなるので、温度による特性の変化のきわめて小さい材料を用いることができるならば、はるかに抜本的方法と考えられる。このような要求をみたす材料として Co-elinvar を選び、つる巻ばねを試作し、地震計に実用するに先きだつて二、三の実験を行ったので、その結果について報告する。

* Received Jan. 19, 1955

** 気象測器工場

§ 2. 温度変化に伴うばねの伸縮について

つる巻ばねのコイル軸線方向に引張あるいは圧縮荷重をかけた場合、荷重と伸びとの関係は一般に次のように表わされる。

$$\delta = PR^2l \{(\cos^2\alpha/GI_p) + (\sin^2\alpha/EI)\} \dots\dots\dots(1)$$

$D=2R$ =コイル径, l =ばねを形成する線の有効長さ, G =剛性率, E =ヤング率, I =素線断面の断面二次モーメント $\pi d^4/64$, I_p =素線断面の極断面二次モーメント $\pi d^4/32$, d =ばねの線径

温度変化が生ずると、ばねを形成する線が線膨脹を起すばかりでなく、剛性率、ヤング率ともに変化するために、たとえ荷重 P が一定でも、伸びに変化を生ずることは (1) 式からめいりようである。

いま、ある基準温度 T_0 °C のときのばねの線長、剛性率、ヤング率をそれぞれ l_0 , G_0 , E_0 とし、ばね材料の線膨脹係数、弾性係数の温度係数をそれぞれ α_t , α_G , α_E とすると、 t 度の温度変化があった場合には、荷重 P の下での伸びは、

$$\delta_t = PR^2l_0 (1 + \alpha_t t) \left[\cos^2\alpha / \{IG_0(1 + \alpha_G t)\} + \sin^2\alpha / \{IE_0(1 + \alpha_E t)\} \right] \dots\dots(2)$$

となる。なお、 T_0 °C のときの伸びは、

$$\delta_0 = PR^2l_0 \{(\cos^2\alpha/I_p G_0) + \sin^2\alpha/IE_0\} \dots\dots\dots(3)$$

である。(2)を書き直すと、

$$\delta_t = PR^2l_0 \{(\cos^2\alpha/I_p G_0) + (\sin^2\alpha/IE_0)\} + PR^2l_0 \left[\{(\alpha_t - \alpha_G)\cos^2\alpha/I_p G_0\} + \{(\alpha_t - \alpha_E)\sin^2\alpha/IE_0\} \right] t \dots\dots\dots(4)$$

となる。したがって、 t 度の温度変化によって生じた伸びの変化は、(3)ならびに(4)から

$$\Delta\delta_t = PR^2l_0 \left[\{(\alpha_t - \alpha_G)\cos^2\alpha/I_p G_0\} + \{(\alpha_t - \alpha_E)\sin^2\alpha/IE_0\} \right] t \dots\dots\dots(5)$$

である。ばねに鋼材を用いた場合を考えると、

$$\alpha_t = 10.96 \times 10^{-6}/^\circ C, \quad \alpha_G = \alpha_E = -3.3 \times 10^{-4}/^\circ C$$

であるから、 $\Delta\delta_t$ の変化に対しては α_t より α_G ならびに α_E がより重要な要素であることがわかる。これは鋼ばかりでなく、他の材料についてもいえることで、 α_t のほうが α_G , α_E に比して1けた小さい値であるから、温度による伸びの変化の小さい材料ということは、 α_t の小さいことも大切であるが、それより α_E , α_G の小さな材料ということである。

Elinvar はその名のように弾性係数の温度変化が小さいことで知られている。そのおよその傾向は、Fig. 1 のようであるが、さらに最近、増本量博士が発見された Co-elinvar では $\alpha_E = 5.5 \times 10^{-5} \sim -8.5 \times 10^{-5}$ という値をとり、このあいだには $\alpha_E = 0$ の場合もありうるわけで、鋼の場合にくらべて1けた小さい値が得られる。

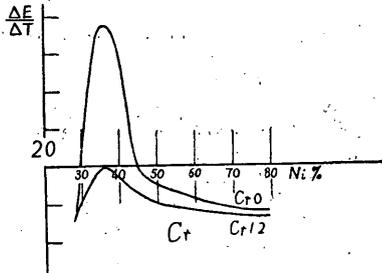


Fig. 1.

これらの利点から、一昨年東北大学金属研究所に Co-elinvar を材料とするつる巻ばねの試作をお願いし、一昨年末入手以来試験を試みてきた。

§ 3. 鋼材ばねとの温度—伸び変化の比較

まず、予備試験として中央气象台52型強震計上下動用の鋼材ばね（材料はピアノ線で初張力 0.5kg を持つ、素線径 3φ, コイル径 42.6φ, 有効巻数 9）を用い、これに直接 7kg の重錘をつるし、ばねの温度特性をしらべた。

装置全体を恒温槽に収めて実験を行うことができなかったので、できるだけ空気のじょう乱のない室を選んで、室温の変化に伴う伸びを測定することにした。その装置は Fig. 2. に示すようなもので、その測定の結果、得られた温度—時間、伸び—時間ならびに温度—伸びは Fig. 3. a に示すようにきわめて良く理論式に示されるような linear function の関係を示し、Fig. 3. b から求めた温度—伸びの関係は、

$$\delta = 11.59t \text{ (}\mu\text{)}$$

と得られた。室温の変化を用いて、上記のような linear relation を得ることができたので、続く測定も室温の変化を用いることとした。

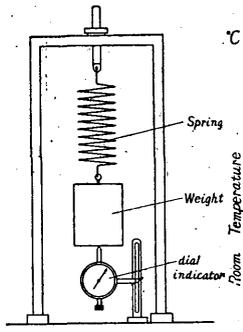


Fig. 2.

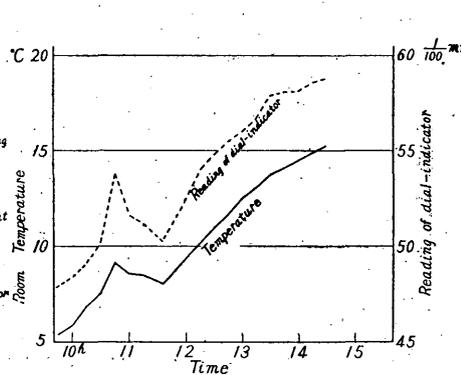


Fig. 3. a

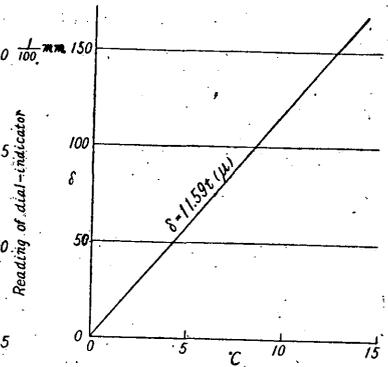


Fig. 3. b

次に、同じく普通地震計に用いるために製作した鋼材ばね（素線径 6φ, コイル径 39φ, 有効巻数 20, 使用荷重 60 kg）について Fig. 4 のような測定装置にし、重錘を 3 種に変え、ばねにかかる荷重を 18kg, 25kg, 35kg にして同様に温度—伸びを測定した結果、Fig. 5 を得た。

さて、Co-elinvar ばねとしては、結果が良ければ、普通地震計に試用することを考え、ばね常数を同じくするために、Co-elinvar ばねの剛性率をおよそ $6.7 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ と仮定し、

$$D=41.4, d=6.5, n=20$$

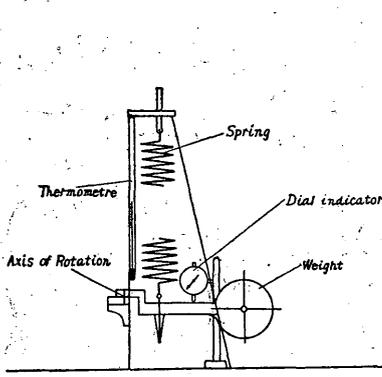


Fig. 4.

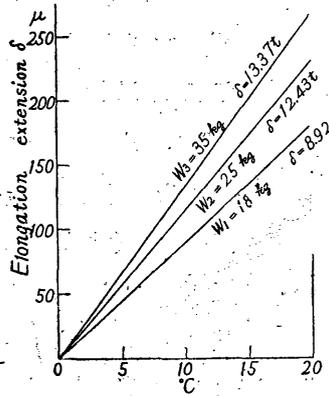


Fig. 5.

のばねの試作を東北大学金属材料研究所に依頼した。

試作したばねは、種々の都合により、

$$D=41.4, d=5.9,$$

$$n=19,$$

のものとなった。

このばねについても同様な試験を行うために、

Fig. 4 と同様な装置にして測定を行った。この測定については次項に述べるクリープにも関連があるが、およその結果は Fig. 6 のようで、図中鋼材ばねの測定値は Fig. 5 中に示されているものと同様である。Fig. 6 に明らかなように、鋼材ばねが温度の上昇にもなって伸びる性質を持っているのに対し、Co-elinvar ばねは温度上昇にもなって縮む性質を持っている。その縮み量はおよそ $0.56\mu/^\circ\text{C}$ で鋼材ばねのそれに対し、やく $1/20$ の大きさである。これを倍率 100 の地震計に使用したとすると、鋼材ばねが温度 1°C の上昇に対し記象紙上 1.3mm の変位になるのに対し、同じばね常数の Co-elinvar ばねは 0.06mm くらいの変化しが生じないことになる。

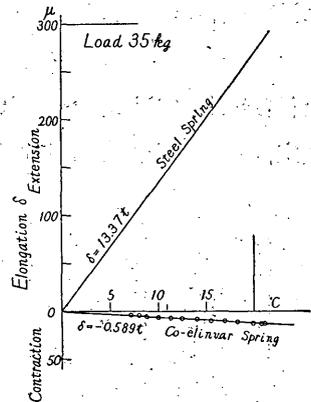


Fig. 6.

§ 4. Co-elinvar ばねの creep についての測定

Elinvar 合金は hysteresis が大きいのがばねに用いた場合に懸念される点であるが、その点を確かめるための十分な試験装置がないので、前項同様に室温を用い、毎日一定時間ごとの温度一伸びを観測し、一日ごとの温度一伸びの関係から、ある一定温度のときの伸びの示度とその時刻を読み取り、Fig. 7 の一定温度についての伸び一時間線図を得た。

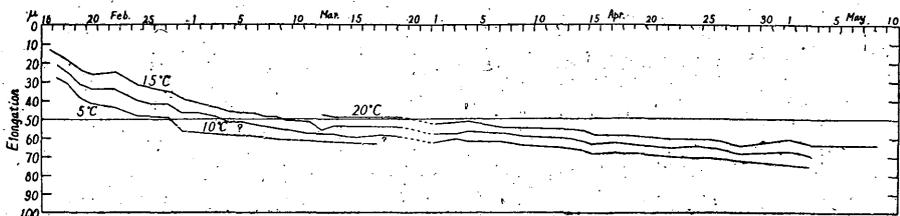


Fig. 7.

一般に金属の creep 試験は一定温度の下で、一定荷重または一定応力の下で長時間の測定を行って、はじめてその creep 特性をうんぬんできるのであるが、場所ならびに時間のつごうで 2,000 時間足らずの測定しかできなかった。かつ、測定期間が冬季から春季にまたがっていたため、5°C の示度は測定期間の半ば以後は得られず、20°C の示度は測定期間の半ば以前には得られなかったので、資料として用いられるのは 10°C の線と 15°C の線との 2 本となった。この曲線を資料として、creep 速度ならびに creep ひずみを求めてみるに、creep 速度が漸減する第 I 期の部分において金属材料の creep 試験の場合と同様、

$$\delta = ct^m, v = cmt^{m-1} \quad (c, m \text{ はともに材料, 温度, 応力によって決る常数})$$

の関係が適用されるものとして、10°C につき

$$\delta = 6.583 t^{0.228}, c = 6.583, v = 1.501 t^{-0.772}, m = 0.228$$

15°C につき、

$$\delta = 21.263 t^{0.152}, c = 21.263, v = 3.232 t^{-0.848}, m = 0.152$$

が得られた。これらの δ ならびに v の変化を Fig. 8 に示す。さらに、この 10°C の結果を両対数目盛上に描き観測値をプロットしてみると、Fig. 9 のようになり、やく 1,500 時間後においても creep 速度一定の第 II 期に達していないことがわかる。しかし、2,000 時間後の creep 速度は Fig. 8 あるいは Fig. 9 から 15°C の場合において $0.005 \mu/hr = 0.12 \mu/ary$ あまりで実用にはまったくさしつかえないことは明らかである。

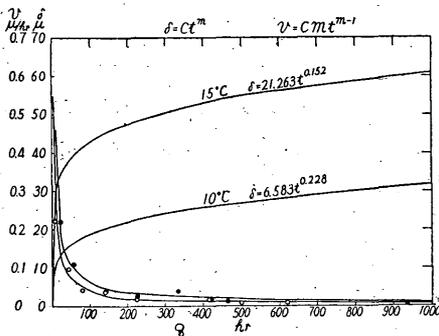


Fig. 8.

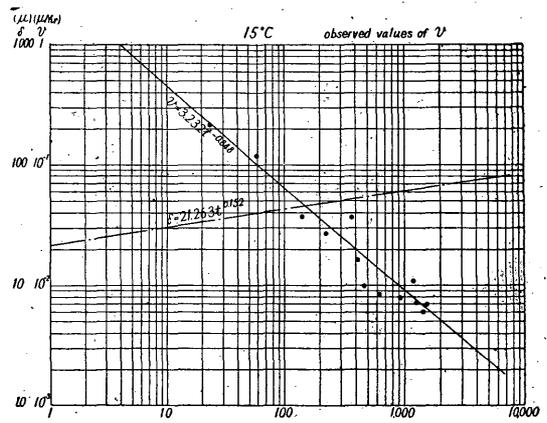


Fig. 9.

§ 5. 低温熱処理後の特性の変化

第 4 項に述べたように、2,000 時間後においても、なお、ばねの creep が進行していることがわかったので、実際に、普通地震計に取り付けて実験する前に低温熱処理を行うことによって creep 特性を向上させることを試みた。

負荷としては使用荷量 35kg にさらに 4kg を加え、39kg の重錘をつるし、加熱炉としては木炭使用の乾燥炉を用い、130°C、6 時間の加熱を行い、そのまま徐冷して後取り出し、4kg を除去して観測を行った。

まず、試験期が気温変化の少ない 2 月であったので、日変化はわずかに 1°C 程度ではほとんど温度変化のない半地下室で、実際に普通地震計上下動成分に組み立て、送りをかけない地震計ドラム上に記録せしめて、その記録線のズレすなわち creep の有無を観測した。その結果、ばねの伸びについては、やく 210 倍の拡大率になるドラム上において数日間の観測においても、今度はまったく creep の現象が見られなかった。

次に、セット全体を温度変化の著しい地上の室に置き、温度変化に伴う伸びを観測した。前と同様送りをかけないドラムを 1 回転 30 分に調節し、30 分ごとの記録線のズレとそのときの温度とを読みとり、これから温度変化に伴う伸びを出した。その結果を Fig. 10 に示す。そこで、低温熱処理後の温度一伸びの関係は Fig. 10 から

$$\delta = 2.0 \mu / ^\circ\text{C}$$

となる。これは処理前の値の約 3 倍にも及ぶが、実際にこのばねを用いる普通地震計のドラムの送りは 30 分 1 回転につき 2mm であるから地震計室内の温度変化では全くさしつかえない。

§ 6. 結 語

以上の試験観測の結果は、観測設備の不備もあって、もちろん満足なものではないが、Co-elinvar Spring を上下動地震計の主スプリングとして用いることによって、従来の欠点を除去した満足な地震計が得られることが明かとなった。今回の試験観測に使用した Co-elinvar Spring は、現在の 53 年型普通地震計に使用するためスプリングとして多少無理な設計諸元で、金属材料研究所に試作をお願いした最初のものである。したがって、Co-elinvar の特性によく適合した諸元によることによって、さらに一層良好な成績を期待できることは明らかである。

ここに、ばねの試作を引受けていたゞき、さらに、種々の御指導をいただいた東北大学金属材料研究所長増本量博士ならびに所員のかたがた、種々御教示をいただいた気象測器工場長岡田群司先生および御協力をいただいた玉場の各位に厚く感謝する次第である。

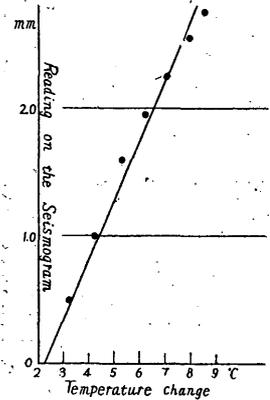


Fig. 10.