

地中温度の測定法

松 井 重 光*

The Technique for Soil Temperature Measurement

Sigemitsu MATSUI

Faculty of Agriculture, Mie University

I ま え が き

気象学的な見地やその他の興味から、地中温度の測定がしばしば必要となるが、ここではその簡単な計測法の一例と注意点について述べる。

地中温度（以下地温と略す）は深さ毎に異なり且つ時間的に変化していくので、測定装置としては局所を遅れなく測れるものが必要である。また、測定温度範囲が常温の比較的狭い領域なので割合に精度が必要なことや、湿った地中という測定器にとっては苛酷な環境下で用いることもその特徴である。古くは曲管地温計なども使われたが、これは必ずしも上記の条件を満たしていると言えなく、また記録するのに不便である。現今では何等かの温度センサーと記録装置との組み合わせで用いるがこれには数多くものが考えられる。代表的なものとして熱電式、抵抗線式、サーミスタ式のものなどをあげることができるが、実験条件に合わせて適当な検出部を自作しやすい点では熱電式がすぐれている。抵抗線式やサーミスタ式も素線や素子を手入れすれば検出部を自作できるが、それに合わせて出力装置も作るとなると少々面倒である。この点では、例えば市販のデジタル抵抗計とプリンタを組み合わせれば自作した検出部にも対応できるが、実際にはあまり使い易いものと思えない。逆に、これら抵抗式の場合、専用の出力装置をもつ市販の計器では地温測定に適した検出部のものが得にくい。

一方、熱電式は起電力で検出するため一般の増幅器や記録計器を用いて好都合である。この場合の主な問題は、冷接点の基準温度を必要とすることであるが、この処理の仕方については後述する。

II 熱電対による地温測定

1 検出部の製作と検定

局所的で応答が早いためには検出部の熱容量をなるべく小さくすべきである。この点から言うと、保護管などを用いる場合はあまり大型のものとしなことが望まし

い。むしろ、PVC被覆の素線（太さ0.2~0.5mm程度）の先端0.5~1cmを露出し半田付などで接点を作ってから、その部分を耐水性のよい接着剤で被覆するのが簡単でよい。露出部は機械的にも弱いので適当な絶縁性のチューブをかぶせるなどしてもよいが、余り長くしなければそのままでも使用できる。ビニール被覆部は勿論、接着剤でコートした部分も耐水性があるので何回かのくり返し使用に耐えるがC-C（銅-コンスタンタン）の素線なら安価なので作りなおすことも簡単である。また、ソース型の素線も利用可能であろう。

製作した検出端は、室内で数じずつ温度を変えて起電力を測り、熱起電力 α ($\mu\text{V}/\text{C}$) を検定しておかねばならない。地温測定のように狭い範囲の温度を扱う場合、 α は温度によらず一定と考えて差し支えない。即ち、この場合、測温接点と冷接点の温度をそれぞれ θ および θ_s とすると、熱電対起電力はよい近似で $E_0 = \alpha(\theta - \theta_s)$ と表わされる。但し、 $\theta - \theta_s$ が、20°Cを超えるときは誤差が大きくなる。なお、多数の熱電対を用いるときは、 α のそろったものを選ぶようにする。

2 設置する際の注意

地中に設置するときは、現場を一旦掘り起こして所定の位置に検出端を水平に置き埋め戻す。この際、先端から20~30cmの部分も水平に置くようにする。この注意は複数の熱電対を用いて深さ方向の地温分布を調べたりする場合には特に必要である。

なお、被測定箇所を掘り返すことが不適当な場合は、側溝を掘り横から検出端を差しこむようにする。この場合の検出端は金属管で保護し機械的にも強度を持たせる必要がある。

3 出力装置との組み合わせ

検出端を出力のための装置につなぐ場合、冷接点の温度の決め方が関係するので、これをも含めて実際的な方法を略述する。

(1) 氷点温度を基準とする方法

図-1(a)のように一組の素線の両端に接点を作り、中央部の銅線側に別の銅リード線を半田付して、この部分

* 三重大学農学部

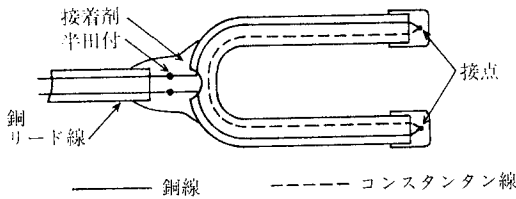


図-1(a) 熱電対の構造

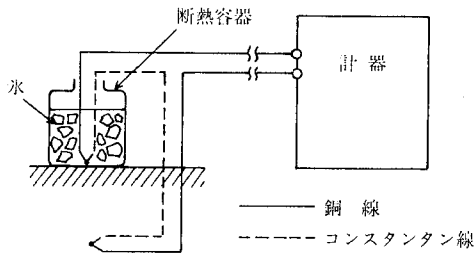


図-1(b) 計器との接続

を延ばすとよい。図-1(b)のように片方の接点を測定箇所置き、他方の接点を断熱容器中で水と共存させる。長時間放置すると水が残存していても容器内に温度分布を生ずるので、水の補給や攪拌に気を配らねばならない。この意味で、本法の夏季などにおける使用は好ましくない。

C-C素線の熱起電力は約 $40\mu\text{V}/\text{C}$ なので、計器は入力 1mV フルスケール程度のもが必要である。もし手持計器の入力感度が不足の場合は、間に然るべき増幅器を挿入せねばならない。

(2) 変動の少ない常温を基準とする方法

図-1(b)で、断熱容器中に氷の代わりに常温の水を入れて用いる。この場合は水の温度を別の温度計で時々チェックせねばならない。また、この水温の代わりに地下 1m 程度の地温を用いると変動が小さいので上記のチェック回数は少なく済むと思われる。但し、この際の温度計はやはり地中に埋め得る形式のもでなければならないので、結局熱電対を含め二種類の手段で地温を測定することになる。

これらのように常温を基準にとると、接点間の温度差が比較的小さい上に、正負が逆転することがあるので、計器は一般に(1)の場合より高感度で、且つゼロ点移動のできるものが必要である。

(3) 基準温度の自動的補償を行う方法

通常の工業用の温度計測装置では、冷接点温度を気温にとり何等かの温度補償を行っている。市販の多点データ集録装置などには、図-2のように端子に熱電対素線をつなぐだけで端子温度の自動的補償を行う型のもがあるが、一般に測温範囲が広いため温度補償の精度はあまりよくない。

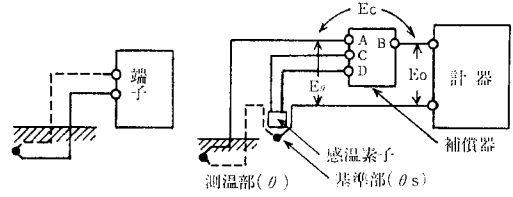


図-2 図-3 補償の原理

補償の精度を上げるためには、図-3のように専用の補償器を設けることが望ましい。このために、熱電対とは別種の然るべき感温素子を冷接点とともに小容器内に封入して基準部とする。いま、地温(測温部の温度)を θ 、冷接点温度(基準部の温度)を θ_s とし、図-3のように各部の電圧の名称を定めると、 $E_e = \alpha(\theta - \theta_s)$ (但し、 α は熱電対の熱起電力 $\mu\text{V}/\text{C}$)。また、補償器では $E_c = \beta\theta_s + \gamma$ (β, γ 定数)なる電圧を発生するとすれば計器への入力電圧 E_0 は

$$E_0 = E_e + E_c = \alpha\theta + (\beta - \alpha)\theta_s + \gamma$$

補償器を調節して $\beta - \alpha = 0$ ならしめると、 $E_0 = \alpha\theta + \gamma$ となり、冷接点温度 θ_s は関係しなくなる。感温素子として一般に入手しやすいサーミスタを用いた補償回路の例を図-4に示す。ブリッジ回路式よりも原理が単純で計算が容易である。

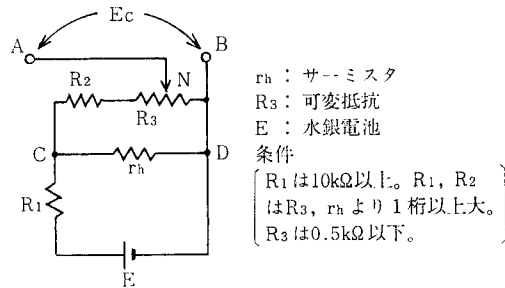


図-4 補償回路

計算例をあげる。サーミスタは $r_h = 1\text{k}\Omega(20\text{C})$ 、抵抗温度係数 $\delta = -4\% \text{deg}^{-1}$ とする。一方、熱電対に於いて $\alpha = 40\mu\text{V}/\text{C}$ とする。いま、 $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ として R_3 を求める。C D間の電圧 $V_{CD} = E \times (r_1 / (R_1 + r_h)) \approx 0.12\text{V}$ (R_2, R_3 は無視、 r_h は 20C の値、 $E = 1.3\text{V}$)。 r_h は 1C につき 4% 変化するからその両端の電圧 V_{CD} の温度変化率は概算で $0.12\text{V} \times 0.04 = 0.0048\text{V}/\text{C}$ 。これを R_2, R_3 で分圧してA B間に E_c を生ぜしむる。ここで $\beta = \alpha = 40\mu\text{V}/\text{C}$ の変化率が必要だから $0.0048(\text{V}/\text{C}) \times (\text{分圧率}) = 0.00004(\text{V}/\text{C})$ 。これより(分圧率) $= 0.0083$ 。 R_3 のうちNB間の抵抗を R とすると $R / (R_2 + R_3) \approx R / (R_2 + R) = 0.0083$ から $R \approx 85\Omega$ 。従って、 R_3 としては最大値 200Ω 程度の変可抵抗器を用いる。Nの位置は実験的

に決めるとよい*。

r_h は温度に対して直線的に変化しないので、もし θ_s の変動幅が広いとこの影響の出るおそれがある。このためには、 r_h に並列に r_h と同じ程度の抵抗値をつなぐと θ_s の20℃位の変動幅に対しては非直線性の影響が殆んどなくなる。但し、その際 δ は半分程度に落ちるので、上例では $\delta = -2\% \text{deg}^{-1}$ として計算し直すと $R \div 330\Omega$ 。従って R_3 を最大500Ωの可変抵抗にする程度の変更で済む。なお、このとき大略 $E_0(\mu\text{V}) = 40\theta_s - 2000$ の関係が成り立ち、従って $E_0(\mu\text{V}) = 40\theta - 2000$ となる。 $-2000(\mu\text{V})$ の定電圧は計器のゼロサプレッス機能を用いて打ち消すとよい。もしそれができないときは、図-5のように電源を附加して可変抵抗 R_4 の調整でこれを消す。基準部はできれば地下30cm位に埋めておくか、断熱容器に常温水を入れ、これに浸しておく。

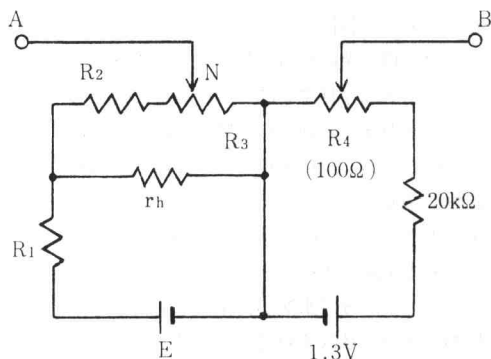
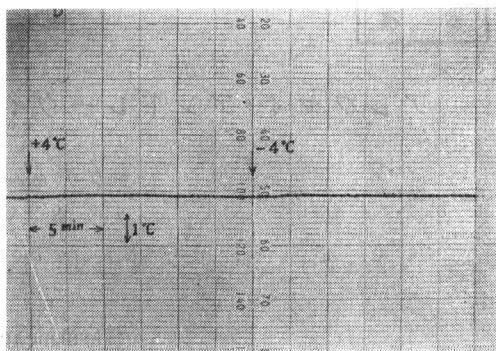


図-5 ゼロ点移動可能な補償回路

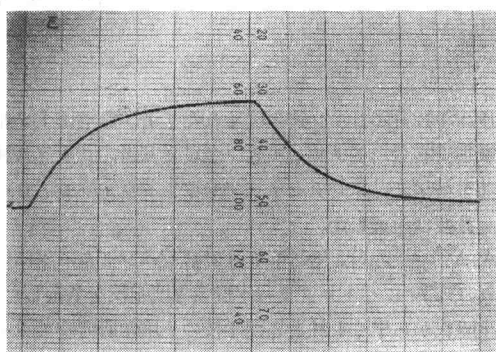
なお、多点測定の場合は全部の冷接点をまとめて補償用感温素子とともに金属管などにパラフィンを用いて封入し1個の基準部を作る。この場合は、補償器は多点信号を切り換える機構の後に置かねばならない。また、すべての熱電対の α が大体一致していることが必要である。

図-6に感温素子としてGeダイオードを用いた補償効果の例を示す。基準温度の突然の変化(変化幅4℃)によって熱電対出力 E_0 のレスポンスは(b)のようになるべきところ、(c)に示した補償電圧 E_c の効果がこれを相殺して実際の E_0 は(a)のように殆んど変動しない。

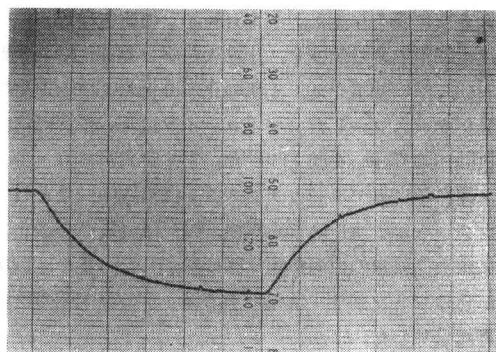
* 註 図-3の結線にする(補償器の回路は図-4または図-5)。断熱容器に常温水を入れ測温部、基準部の両者を浸す。次に基準部のみを数度温度の異なった別



(a)



(b)



(c)

図-6 補償効果の例

の断熱容器に移したとき、計器の指示が殆んど移動しなくなるようにNの位置を調整する。この際急激に温度が変わるので過渡的な変化は起こり得るが、最終的に変化しなければよい。この過渡応答を改善するには、基準部に於いて、冷接点とサーミスタの熱容量のちがいを少なくする必要がある。 [1980. 7. 31. 受稿]