

京都大学防災研究所 正会員 澤井 健二

まえがき 水理実験における位置の測定および設定には、しばしばポイントゲージが用いられているが、通常のポイントゲージは、ある定まった方向にスケールをスライドさせて、その目盛を読み取るものであり、測定台車に取り付けたとしても、蛇行流路の流心線の追跡など、3次元的位置測定を円滑に行うことは難しい。これは、ひとつには、目盛の読み取りに時間がかかること、もうひとつには、ゲージの3次元的位置そのものが円滑にいかないことに基いている。そこで著者は、この両面から、従来のポイントゲージの根本的な改良を試み、ある程度の成果と見通しを得たので、ここに報告する。

1. スライド式ポイントゲージの自動記録化(スケール方式からポテンシオメータ方式へ)

上にも述べたように、通常のポイントゲージの難点のひとつは、一点ごとに目盛を読み取る必要があることである。これは、測定点が多い場合に多くの労力を要するばかりでなく、現象が非定常な場合には、本質的な欠陥となる。そこで、ゲージの運動を自動記録することとできれば、好都合である。それには電気計測がすぐれており、著者は、ゲージの運動をポテンシオメータの回転に置き換え、電圧として検出する方法を採用した。この場合、ゲージをスライドさせる動力を、歯車やプーリーのような、何らかの回転機構によって伝達している場合には、その回転を直接に検出してもよいのであるが、遊びやすさを憚り恐れがあるので、それとは独立した、検出用の回転機構を付加するのが望ましい。

たとえば、ルールの上に台車を走らせる機構では、車輪の回転を検出するのと同法ではあるが、それとは独立したワイヤとプーリーを用いて位置を検出した方が、良好な精度が得られる。これにはさらに、プーリーの軸を固定する方法(図-1)と、ワイヤを固定する方法(図-2)があるが、後者の方が汎用性に富むように思われる。測定に際して、ルールを固定して台車を動かすか、車軸を固定してルールを動かすかは、用途に応じて適宜使い分ければよいであろう。このような機構を3軸方向に組み合わせれば、3次元座標が同時に電圧として検出できることになる。

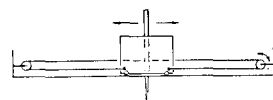


図-1 プーリーの回転機構(I)
(軸固定)

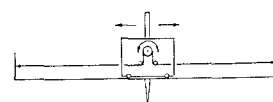


図-2 プーリーの回転機構(II)
(ワイヤ固定)

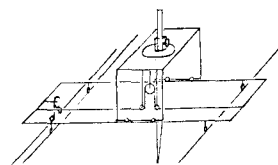


図-3 スライド式3次元ポイントゲージ

図-3は、そのような組み合わせの一例である。

このような方法では、3軸方向の運動そのものをも自動化しなければ、まえがきに示した2つ目の問題点、すなわち操作性が改善されないが、とりあえず、手動で円滑な操作が行える範囲として、2次元測定用のものを製作したところ、従来の測定法に比べて、きわめて能率の高い測定を行うことが可能となった。

2. ゲージの運動機構の円滑化(スライド方式からアーム回転方式へ)

上に述べたスライド式のポイントゲージを、手動のままでも3次元に拡張した場合、操作性が悪いのは、各座標成分に対した運動を別個に与えようとするからであり、それらを合成したひとつの運動によって、測定対象位置を追跡し、その運動を検出することとできれば、好都合である。このような要求を満たすものとして、著者は、ミランゴと称する照明器具のアーム機構にヒントを得、次のような原理のポイントゲージを考案した。

すなわち、図-4に示すように、ある軸の周りに回転する平面内で、自由に角度の変えられる、2本のアームの先端を、測定位置に沿って滑らかに動かし、3つの回転角を同時に検出することによって、その3次元位置を測定しようというものである。ただし、追従速度は10 cm/sec程度以内である。

回転角(α, β, γ)と直交座標(x, y, z)との関係は、次のように表される。

$$x = r \cos \gamma = (R_1 \cos \alpha + R_2 \cos \beta) \cos \gamma \quad (1)$$

$$y = r \sin \gamma = (R_1 \cos \alpha + R_2 \cos \beta) \sin \gamma \quad (2)$$

$$z = (R_1 \sin \alpha + R_2 \sin \beta) \quad (3)$$

ここに、 R_1 、 R_2 は、それぞれ、アーム1およびアーム2の長さである。

回転角の検出には、種々の方法が考えられるが、ここでは、比較的手軽に、しかも座標変換の容易な、関数ポテンシオメータを用いることにした。図5は、その変換回路の概要で、実際には、ポテンシオメータ α および β の出力電圧の一部(余弦値)をポテンシオメータ γ の入力電圧として印加する際、干渉効果を減じて線形性を保つため、インバータ変換回路を挿入する。また、各出力成分は、零点調整回路と倍率調整回路を通しての、記録計(磁気テープやX-Yレコーダなど)に接続する。(写真-1 ⑬、⑭ 参照)

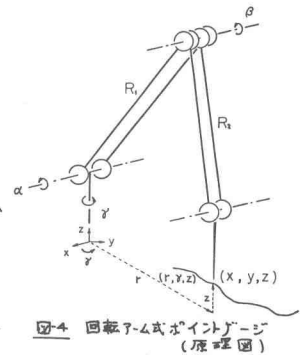


図4 回転アーム式ポイントゲージ (原理図)

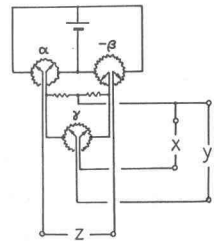


図5 座標変換回路

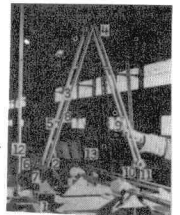


写真-1 試作品

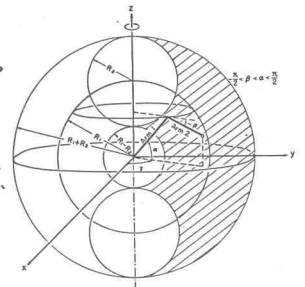


図-6 測定範囲

3. アーム式3次元位置測定用ポイントゲージの製作

写真-1は、上のような原理に基づき、回転アーム式ポイントゲージを試作したもので、角度 α はアーム1(写真番号③)、 γ はシャフトの回転を直接にポテンシオメータ α (②)、 γ (①)で検出し、 β はアーム2(④)の回転をワイヤ1(⑤)でシャフト部まで導いてから、ポテンシオメータ β (⑥)によって検出している。また、アーム2の先端に取り付けた針(⑪)が常にシャフトと平行を保つよう、シャフトに固定したプーリー(⑦)の向きを、ワイヤ2(⑧)、3(⑨)で順次伝達している。なお、針先がシャフトの周りを回転しても、ハンドル(⑩)はそれと独立な向きをとれるよう、ボールベアリングで支持している。

測定範囲は、原理的には $[R_1 - R_2, R_1 + R_2]$ の半径の球殻内全域であるが、針先のハンドル部分だけを支えて、片手で操作する場合には、 $-\pi/2 < \beta < \pi/2$ の条件から外れると、モーメントのつり合いより、ハンドルを下方に抑える力が必要となり、位置によっては、接合部に大きな力が作用して危険となる。したがって、若干の余裕をみて、アーム2の先端を動かす範囲は、図6の斜線を施した部分の回転体内部に限定すべきであろう。

そこで、試作器は、辺長1mの立方体内部が測定できることを目標に、アームの長さを85cmに選んだ。

ポテンシオメータは、公称精度1%の導電プラスチック製(線測器・SP-5F)で、極値付近を除くと、公称よりもはるかに精度が良く、使用範囲を限定すれば、0.1%以上の精度で、充分利用に供し得る。ところが、極値付近、すなわち、 α 、 β 、 γ のいずれかが直角またはその整数倍に近いところでは、歪みが大きく、他の機械的および電氣的誤差も加わって、場合によっては、1%の精度すら出なかった。特に、2つのアームが構成する面に垂直な方向への精度が悪く、3次元位置測定用というものの、3つの座標成分が同じ精度で得られるわけではなく、事実上、空間位置のある面への投影がかなりの精度で得られているに過ぎないのである。

しかるに、以上に述べた欠点の大部分は、部品の選定と入念な製作によって除去できるものであり、若干の改良を加えることによって、実用化できよう。

あとがき 本測定器を開発する直接の動機は、複雑な形状を有する斜面侵食試験ならびに、その上の流れの3次元的な形状を、迅速かつ正確に測定することにあつたが、本器は、単に物体の形状測定のみならず、先端に流速計や圧力計などを取り付けることにより、それらの諸量の空間分布の測定能力をも、著しく向上させるものと期待される。

なお、本研究の一部は、昭和61年度文部省科学研究費(一般研究C)の補助を受けたものである。