

東京大学生産技術研究所 正員 工博 丸 安 隆 和

同 上 正員 ○ 犬 島 太 市

§. 1 まえがき

近年、土木工事の規模が大きくなるにつれて、比較的高精度で長い距離を測定する必要が増大した。本州と四国、本州と北海道との間の距離測量、路線測量、送電線建設のための測量、橋梁のスパン測量、更に三角点間の国家基準点の測量等と利用の道は広い。ここでは従来の測量との比較のために最近実施した基礎実験の概要を述べてみたい。

§. 2 変調波による距離測定

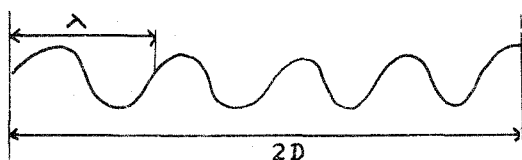
われわれが距離を測定するのは、一定長の尺を直線上に順次あてていき、最後の端数部分の長さを測定し加えるのである。従って直進する光または電波を変調して一定長の波を作り、2点間に含まれる波の数とその端数部分を測定すれば距離がわかる。これが変調波による距離測定の原理である。

電波測定機の代表的なものがテルロメーターであり、光波測定機の代表的なものがジオジメーターである。いま、変調周波数を f 、光速度（電波速度）を C 、距離を D とすれば、原点で $y_0 = a \sin \omega t$ ($\omega = 2\pi f$)、2点間往復した波は $y = a \sin \omega (t - \frac{2D}{C})$ 。したがって ω の変調波は D の距離を往復すれば $\omega \cdot \frac{2D}{C}$ の位相変化をうける。この $\omega \cdot \frac{2D}{C}$ を $\beta + 2n\pi$ とすれば

$$\omega \frac{2D}{C} = 2\pi \frac{2D}{\lambda} = \beta + 2n\pi \quad (\lambda = \frac{C}{f}), \quad D = n \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\beta}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{図-1 参照})$$

変調波を用いる距離測定は、搬送波として光を用いる光学的方法と、電波(3000Mc~10000Mcのマイクログ波が使われる)の測定にわかれるが、いずれも

- 一定波長の変長波を作り出す事。
- 変調波の往復の位相変化 β を測定する事。
- D の間に含まれる波数 n をしる事。



§. 3 電波距離測定機(テルロメーター)

図-1

これは前述のようにマイクロ波という巻尺を使って距離と正確にしかも短時間に測定しようとするものである。すなわち、キャリアーにマイクロ波を使用し、変調波は10Mcで丁度巻尺の帯の部分にマイクロ波であり、目盛が10Mcに相当する。測るべき距離の両端におかれた主従一組の送受信兼用機間と往復する電波の所要時間で距離を算出する。これは主局から発射されたビームの反射で散乱されて返って来るのと違って、従局からビームで両発射されて返って来るため、小悪です計測精度も上がる。本機の構成は主局と従局とから成り、相手側の従局はこれと受信すると同時に遅れなしに再発射するが、それはもとのままではない。従局の内部で主局の変調波から1Kcずれた周波数で再変調したもの、つまり1Kcごとにビードのできた波を送り返すのである。これが主局に受信されると発信波との位相差を比較して往復時間が出される。今測定距離を D とした場合、

$$D = \frac{Ct}{2} \quad \text{ここで } C: \text{マイクログ波伝播速度, } t: \text{往復するに要する時間}$$

この t を直接測定することは困難であるため、伝播するマイクログ波にある一定の正確にわかった高周波数調波をのせて往って帰ったその周波数と装置内の元の高周波数調波と比較して同様の時間に測定する。

§. 4 測定精度

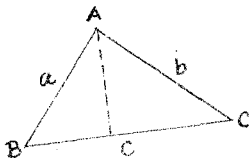
電波測定機と比較した場合の光電距離測定機の特徴は、測定精度がよいということである。電波は光のように鋭いビームにできないから、発射電波はある程度の広がり、ビーム巾をもつ。この巾は搬送波長に対するパラボラ反射鏡の口径によってさまざまで、野外では大きな反射鏡は使えないので、約20度の広がりにはせられない。このことは、測定に地面からの反射波が入りこむことを意味する。この誤差は位相比較による電波距離測定には必然的に伴う誤差である。

つぎに大気中の光速は温度1°C 気圧1mmHgによってそれぞれ 10^{-6} 、 2.4×10^{-6} の変化をうける。この補正誤差は実際の気温、気圧を用いてもある程度はさけられない。電波は温度、気圧のほか湿度にも左右され、湿度1mmHg(分圧)に対し $5 \sim 6 \times 10^{-6}$ の変化を受けうるので、気象補正の誤差は電波の方が大きい。したがって精度については原理的に光電測定の方がよく、色々の誤差の原因を総合して

$$\begin{aligned} \text{光電測定 (ゴジメーター)} \quad \Delta D &= 1.5 \text{ cm} \pm 2 \times 10^{-6} D \\ \text{電波測定 (テルロメーター)} \quad \Delta D &= 3 \sim 5 \text{ cm} \pm 3 \times 10^{-6} D \end{aligned}$$

§. 5 現地実験

立川市方秋田町附近にある三角点3点を利用してテルロメーターによる現地実験を行なった。その測定結果より三角形の内角を計算し、T₂セオドライトで観測した角測定値と比較した。その結果B~C辺を点検してみると、 $a \cos B + b \cos C = 4528.69 \text{ m}$ となり、実測辺長は4528.77 mであるからB~C間に於て8cm程度の差が出ている。実測辺長をそのまま使用して変換した結果は



区分	器械 No.		測定長	平均	平均二乗誤差
	M	R			
b	249	247	3658.368		
"	253	254	3658.286		
"	253	254	3658.275		
"	249	247	3658.198		
"	247	249	3658.232	3658.2719	$\pm 28.7^{m/2}$
a	249	247	2419.149		
"	249	247	2419.178		
"	249	247	2419.184		
"	249	247	2419.175	2419.1715	$\pm 7.7^{m/2}$
C	247	249	4528.732		
"	249	247	4528.862		
"	247	249	4528.706	4528.7663	$\pm 78.5^{m/2}$

ウィルド T₂
の観測値

計算角(テルロメ
ターの辺長より計算)

$$\begin{aligned} A &= 94^\circ 7' 34'' & 94^\circ 7' 40'' \\ B &= 53^\circ 40' 34'' & 53^\circ 40' 36'' \\ C &= 32^\circ 11' 50'' & 32^\circ 11' 40'' \\ & & + 1'' \end{aligned}$$

上記の結果を総合してみると、辺長4km程度の測定に於ては、10"以内の精度で角の計算が三辺のみの測定で計算でさうことばよかった。