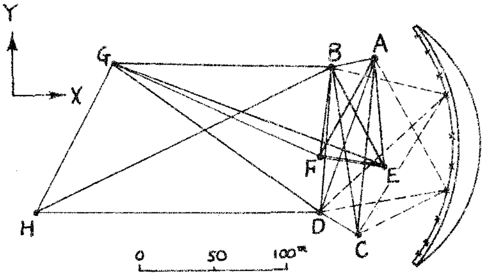
IV－149　　三角測量によるダムの変位測定の精度の検討

京都大学工学部　正員　工博　○森　忠次
京都大学工学部　正員　　　　星　仰

近年わが国においても多くのダムにおいてダムあるいは基礎地盤の変位測定のために，三角測量・水準測量などの測地的な手段がとられている。われわれは単にそれらの結果のみを知るだけでなく，測定値がどの程度の精度を持っているか，また要求精度を得るにはどの程度の注意を払って測定すればよいかを明らかにする必要がある。ここでは，八洲測量株式会社により天ヶ瀬ダムにおいて実施された２回の測定結果から誤差の原因をできるだけ分析し，上記の諸点を明らかにする。ただし，通常は水平変位と鉛直変位が測定されるが，ここでは前者に関連した事項のみに限定する。

1．測定法の概要



天ヶ瀬ダムの三角網の例は図のとおりで，A，B，D，E，は観測基準点，G，H，は不動基準点，E F は基線である。天ヶ瀬ダムにおいては，Wild社製T-3経緯儀を用い，基準点三角網の測角は角観測法により実行され，各角の調整値の重さが約12対回の観測に相当するようにされている。一方ダムに設けたターゲットの観測は，原測として３方向から視準し，各観測基準点から方向法により６対回の観測が行なわれた。ただし経緯儀据え付けに際する鉛直軸の傾斜，偏心などによる測角誤差ができるだけ消し合う誤差として現われるようにするため，各測点において器械を２度据え付け，それぞれの場合に必要対回数の半分だけの回数を観測するようにしている。

2．測角誤差の内容

測角に際する誤差としてつぎのものを考える。

α；１方向を視準したときの目標視準誤差．　（偶然誤差）

β；１方向を視準したときの目盛読み取り誤差．（偶然誤差）

γ；目盛盤目盛誤差．　（系統誤差）

δ_a；鉛直軸の傾斜による測角誤差　（系統誤差）

δ_b；求心不完全による測角誤差　（系統誤差）

ε_a；水平軸が鉛直軸と直交していないために水平軸傾斜があることにより生ずる測角誤差(系統誤差)

ε_b；視準軸が水平軸に斜交しているために生ずる測角誤差　（系統誤差）

ε_c；視準軸が鉛直軸の中心より偏心しているために生ずる測角誤差（系統誤差）

以上の誤差要因が測角値にどのように現われるかを示すと，つぎのとおりである。

正位で測角した値A_rに含まれる誤差

$$M_r = \pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2} + \gamma + \delta_a + \delta_b + \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c \quad \cdots \quad (1)$$

反位で測角した値A_lに含まれる誤差

$$M_l = \pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2} + \gamma + \delta_a + \delta_b - \varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c \quad \cdots \quad (2)$$

正位と反位との観測値の和 A_r+A_l に含まれる誤差

$$M_{r+l}=\pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2}+2\gamma+2\delta_a+2\delta_b \qquad (3a)$$

ただし同一角を測定しているときに，γ は各対回ごとに値が変わるが（目盛の使用部分を変更するから），δ_a，δ_bは器械を据え変えることによってはじめて値の変化するものである。したがって，器械を据え換えずに同一角を観測し，そのときの各対回における正位反位の観測値の和 A_r+A_l のばらつきには $2\delta_a+2\delta_b$ は含まれない。このような意味での誤差を M'_{r+l}で表わすと，

$$M'_{r+l}=\pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2+\gamma^2} \qquad (3b)$$

正位と反位との観測値の差 A_r-A_l に含まれる誤差

$$M_{r-l}=\pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2}+2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c \qquad (4a)$$

ただし，ε_a,ε_b,ε_c,は同一角を観測するかぎりにおいて，どの対回においても同じ値だけ生じ，観測する角がわかってはじめて値の変化するものである。したがって，同一角観測に属する対回ごとのA_r-A_lに含まれる誤差には，$2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c$は含まれない。このような意味での誤差を$M'_{r-l}$で表わすと，

$$M'_{r-l}=\pm 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2} \qquad (4b)$$

正位と反位の観測値の差A_r-A_l,は各対回ごとに零となるべきものであり,もし誤差があれば,$2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c$だと考えてもよい。そこで同一角の観測値における A_r-A_lの平均値を Z_{r-l}で表わすと，

$$Z_{r-l}=\ 2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c \qquad (5a)$$

と考えてよい。各角ごとにZ_{r-l}を求めれば，偶然誤差の性質を帯びているから，多数の角について得られたZ_{r-l}の標準誤差をE_{r-l}で表わすことにし，実際上はこの値が，$2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c$を表わすものと考える。

$$E_{r-l}=\ 2\varepsilon_a+2\varepsilon_b+2\varepsilon_c \qquad (5b)$$

一方，三角形の閉合差から求めた調整角の誤差M，の中には，(3a)式における $2\delta_a+2\delta_b$ が偶然誤差として含まれる。各測角における器械を２度据えているから，調整値に含まれるこの誤差は$(\delta_a+\delta_b)/\sqrt{2}$となり，(3b)式における$M'_{r+l}$より求めた調整値の誤差を$M_o$で表わすと，

$$M=\sqrt{M_o^2+(\delta_a+\delta_b)^2/2} \qquad (6)$$

3．結果および結論

誤差の種類	基準点網の誤差	標点網の誤差
M'_{r+l}	$\pm 1.86''$	$\pm 1.96''$
M'_{r-l}	$\pm 1.53''$	$\pm 1.48''$
E_{r-l}	$\pm 1.73''$	$\pm 3.16''$
$M'_{(r+l)/2}$	$\pm 0.93''$	$\pm 0.98''$
M_o	$\pm 0.27''$	$\pm 0.40''$
M	$\pm 0.75''$	—
α	$\pm 0.75''$	$\pm 0.73''$
β	$\pm 0.14''$	$\pm 0.14''$
γ	$\pm 0.53''$	$\pm 0.64''$
$\delta_a+\delta_b$	$\pm 0.99''$	—
$\varepsilon_a+\varepsilon_b+\varepsilon_c$	$\pm 0.87''$	$\pm 1.58''$

観測値からβ,M'_{r+l},M'_{r-l},M,を求め,それらを用い上記の各々によってα,γ,$\delta_a+\delta_b$,$\varepsilon_a+\varepsilon_b+\varepsilon_c$,などを計算した結果を表に示す。これらの数値より得られる結論はつぎの通りである。

1.) $\delta_a+\delta_b$の大きさから考えて機械およびターゲットの据え付けならびに求心には，十分注意を要する。

2.) αの大きさから考えて機械およびターゲットの据え付けならびに求心には十分注意を要する。

3.) 観測期間を短縮するために，観測対回数を減ずることは可能である。

4.) 測点をコンクリート柱上に作るとき，柱が日光の直射を受ける場所では夜間観測が望ましい。

5.) 座標の標準誤差は，±0.5^{mm} 程度であるからダムの挙動解析に十分な精度である。場合によっては，観測精度を下げてもよい。