

VI-134

山岳工事を対象としたGPS測量適用に関する一提案

ハザマ 正会員 ○黒台昌弘、沖 政和

1. 背景

山岳工事におけるGPS測量では、山岳地帯特有の地形や施工機械の稼働がGPSデータ受信の障害となっており、このことが作業時間や作業範囲を制限している一因となっている¹⁾。このような状況下で構造物の基準点測量や地形測量等をGPSを用いて実施する場合、測点配置や作業範囲、作業時刻等を綿密に計画しておく必要がある。特に、現場の地形的な制約から使用する測点間の高低差が100m以上にも及ぶ場合、例えばダム工事においては河床部の基準点から原石山上段の基準点を測量する場合や山岳道路建設に伴う高橋脚の鉛直施工精度の確認等を実施する場合には、各測点での気象条件の違いや鉛直線偏差（従来測量とGPS測量との z 軸方向のズレ）を考慮して測量することが重要である。そこで、制限された作業範囲内で、しかも高低差のある測点間の測量へのGPSの適用方法を確立するために以下のような実験を実施した。

2. 実験目的およびその内容

本実験の目的は、高低差のある測点間をGPSを用いて精度良く測量する方法を提案することであり、①使用する測点の選点パターンとデータ演算方法、②鉛直線偏差の補正の重要性の2点に着目して実験を進めた。本実験ではこのような種類の測量として、構造物の鉛直方向の施工精度（鉛直度）を計測することを考えた。これは同一鉛直軸上に設置した上下2点の測点の位置をGPSを用いて求め、その座標差から鉛直度を把握するものである。構造物下部の測点ではGPSデータを直接受信できないので、GPS偏心測量によって座標を求めることとした。また、計測精度については、上記②で鉛直方向の測量精度の重要性を検討することから、GPSの Z 座標値に着目し、その公称精度である $\pm 10\text{mm}$ を本実験の目標精度とした。

3. 実験概要

実験場所は、データ受信の障害物を最小限にすること、比較データとして従来測量が容易に実施できることを考慮して、高さ108mの高層タワーを使用することとした。図-1に実験概要を示す。基準点(▲印)はできるだけタワーの高さ(108m)より離れるように3点(A, B, C)設置し、トラバース測量及び直接水準測量によって座標値を求めた。また、GPS偏心測量を実施するために点Oの偏心点として点H1を設置し、点Bを方向点とした水平角 θ_1 や偏心距離 l や高度角 θ_2 をトータルステーションにより測量した。偏心測量では点H1にてデータを受信するが、偏心要素をもとにした計算により点Oでデータ受信したような結果を得ることができる。また、従来測量は鉛直器による計測とし、その誤差は器械誤差が2.7mm（測定高さの $1/40,000$ ）、タワー上部点の視準誤差が約3mmであり、合計約6mmが見込まれる。

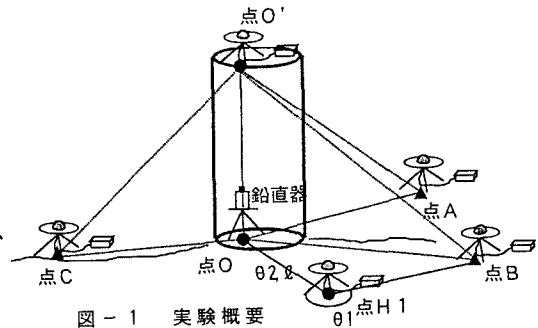
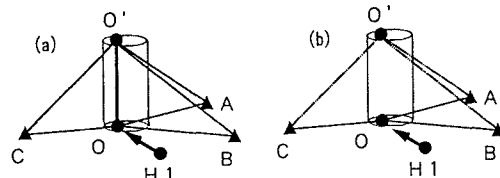


図-1 実験概要

4. 実験結果

検討ケースを表-1に、実験結果を表-2に示す。まず、ケースAとケースBの比較により基線解析や網平均計算実行時の演算方法を検討する。表-2の鉛直度の欄では x 、 y 座標とも0mmに近い方が精度が良いと考えれば、ケースAはケースBに比べて $x = 4\text{mm}$ 、 $y = 5\text{mm}$ 精度が良いことが判る。このことは点O'と点H1で同時にデータを受信し、基線解析や網平均計算も全点で行った方がよいことを示してい



*点H1は偏心計算により点Oに置き換えられる。
したがって、基線O'-H1が基線O'-Oになる。

図-2 基線ベクトル構成

る。すなわち、基線ベクトル $O'-H1$ の存在が計測精度を高めたものと判断できる。言い換えれば、タワー直下の点 O を求めるために実施したGPS偏心測量が必要であると言える。

次に、ケースBとケースCの比較により、GPSを設置する最適な測点の組み合わせを検討する。表-2のケースBとケースCの鉛直度を比較してみると、 x 座標は符号が逆になり、 $y=15\text{mm}$ の差が見られる。このことから、点 O' の測量と点 O の偏心測量は同じ時間帯に実施した方が精度が向上することが判る。これは同じ時刻に同じ衛星からのデータを受信することにより、各測点において同質・同量のデータが蓄積されるからであると推測される。GPSデータの処理は基本的に統計計算であるので、ばらつきの少ない、安定した結果を得るためには、各測点で受信条件の異なるデータをより多く取得することが望まれる。つまりケースCでは、点 O' を求める測量と点 O を求める測量を異なる日時に実施しており、このことが鉛直度計測結果に大きな差が生じた原因となっている。

以上の結果から、図-2(a)に示すように、タワーの上下の測点で同時にデータを受信して、基線ベクトル $O'-H1$ を得るケースAの方が、図-2(b)に示すような基線ベクトル $O'-H1$ が存在しないケースBやCより、精度の良い結果が得られることが明らかとなった。

最後に、鉛直線偏差について検討する。鉛直線偏差の詳細はここでは割愛するが、従来測量の座標系とGPS測量座標系の間には鉛直軸偏差が生じており、特に高低差のある測点間の測量を実施する場合は、測点間の z 座標値の差が大きくなるに当たって偏差量が增大するため、通常よりも正確にこの偏差を補正する必要がある。この偏差の補正は従来測量結果にGPS測量の結果を一致させるような処理が行われるため、基準となる従来測量のうち、水準測量は非常に高精度に実施しておく必要がある。例えば表-3では、点Aの水準測量の値に1mmの誤差が含まれているとすると、点 O' 座標が1mm変動することを示している。また、10mmの誤差がある場合は、点 O' の x 座標や鉛直度が約10mm変化している。これに対して基準点とほぼ同じ標高に位置する点 O の座標は全く変動していない。すなわち、本実験のような測点間の高低差が大きい測量では、鉛直線偏差を高精度に補正することが重要であり、逆に高位置の測点に要求される測量精度によって基準点の水準測量の許容精度が決定できることが判る。

5. まとめと今後の課題

以上の検討から、鉛直度計測のような測点間の高低差が大きい測量では、上下の測点間の基線ベクトルを決定する必要があり、鉛直線偏差の補正を考慮した解析が重要であることが判った。また、鉛直度計測の精度は目標とした精度をクリアできなかったが、この理由としては、タワー上下の気象条件の違いを考慮した解析を実施できなかったこと、市街地での実験であったため測点の周辺に全くに受信障害物がないような状況を作り出せず、各測点のデータの質を均一にできなかったこと等が考えられる。これらの事項の検討については今後の課題としたい。最後に、本実験を遂行するにあたり御トプコンには現地作業やデータ解析においてご協力をいただきました。紙面をお借りして御礼申し上げます。

【参考文献】1)黒台、沖：山岳工事におけるGPS測量適用のための基礎的実験、

土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第VI部、pp.114~115、1995

表-1 検討ケース

ケース	GPS設置測点	データ受信	基線解析	網平均計算
A	A, B, C, H1, O'	全点同時	全点使用	全点使用
B	A, B, C, H1, O'	全点同時	A, B, C, O' A, B, C, H1	A, B, C, O' A, B, C, H1
C	A, B, C, O' A, B, C, H1	別時間帯	A, B, C, O' A, B, C, H1	A, B, C, O' A, B, C, H1

表-2 実験結果

	ケースA	ケースB	ケースC
	x (m) y (m)	x (m) y (m)	x (m) y (m)
タワー上部(O' 点)	____. 1 4 8 ____. 8 9 5	____. 1 5 3 ____. 8 9 0	____. 1 4 3 ____. 8 7 5
タワー下部(O 点) (偏心測量)	____. 1 4 7 ____. 9 1 3	____. 1 4 9 ____. 9 1 3	____. 1 4 9 ____. 9 1 3
鉛直度(m) ($O'-O$)	-0. 0 0 1 0. 0 1 8	-0. 0 0 5 0. 0 2 3	0. 0 0 5 0. 0 3 8

表-3 鉛直線偏差の検討結果

ケースA	点Aの標高値の誤差		
	実測値	+1mm	+10mm
	x (m) y (m)	x (m) y (m)	x (m) y (m)
タワー上部(O' 点)	____. 1 4 8 ____. 8 9 5	____. 1 4 7 ____. 8 9 6	____. 1 3 9 ____. 8 9 8
タワー下部(O 点) (偏心測量)	____. 1 4 7 ____. 9 1 3	____. 1 4 7 ____. 9 1 3	____. 1 4 7 ____. 9 1 3
鉛直度(m) ($O'-O$)	-0. 0 0 1 0. 0 1 8	0. 0 0 0 0. 0 1 8	0. 0 0 8 0. 0 1 5

注)表-2,3ともに、公共座標値のm未満を表示。