

統計的検定か、不確かさバジェットか

—測量機器の現場試験手順・理論編に関する JIS 規格改訂へ—

第 5 分科会委員長 塚原 弘一

測量機器の現場試験検査に関する JIS 規格と聞くと、読者には馴染のない方々もおられるかもしれない。ISO の国際規格で定められた内容を JIS 化したもので、公共測量作業規程の準則にも第三者機関の測量機器検定に代えることができる現場試験の基準として採用されているものである。

ISO17123 シリーズ及びそれに対応した JISB7912 シリーズでは、レベル、セオドライト、光波測距技、GNSS (RTK) 等の測量機器について個別に現場試験手順が国際規格及び日本工業規格として定められており、それらの規程に理論的な根拠を与えているのが「理論編」となっている。

この度、ISO17123 シリーズの「理論編」が全面改訂されたのを受け、現在、国内では JIS 規格の作成に向けた作業が行われている。本編では、ISO での改訂によって導入されることになった新たな概念について紹介する。

ISO 規格の改訂の概要

ISO17123 シリーズは測量機器の現場試験手順に関しての国際規格であり、今回の理論編の改訂は、計測に関連する各分野の国際基準の統一化作業の結果に由来し、測量分野も全体の流れに従って改訂を行うもので、これまでの考え方を全面的に見直す内容となっている。一方で、現行の現場試験手順の根拠となっている従来理論を否定するものではなく、目的や状況に応じて最適な方法を選択することが可能であるとしている。

今回の改正点のポイントは、精度評価方法としての不確かさバジェット表による方法の採用である。これによって、従来統計的検定による方法と新たに加わった方法の 2 つが併記されるようになった。

このために理論編では、以下のようにより一般化された考え方や定義が導入された。

①不確かさ

計測のばらつきを示す用語として、不確かさ (Uncertainty) を導入し、従来規格で扱っていた偶然誤差だけでなく、系統誤差を含む誤差の包括的な表現として定義する。

②標準不確かさ

正規分布する偶然誤差のばらつきの尺度である標準偏差を、適当な分布を与えることで系統誤差にまで拡張したもの。不確かさバジェットの要素となる。

③合成標準不確かさ

測量結果にまつわる全ての標準不確かさ (誤差) を誤差の伝搬則によって足し合わせたもので、測量成果の不確かさを表す。

④拡張不確かさ

標準偏差 (σ) に対して 2σ あるいは 3σ などで表現される誤差範囲を、標準不確かさに適用したもの。

⑤不確かさバジェット

測量結果にまつわる全ての不確かさ要素を表形式に整理したもので、最終的に合成標準不確かさあるいは拡張不確かさが見積もられる。

統計的検定か、不確かさバジェットか

今回の改訂によって測量機器の現場試験手順に関して統計的検定と不確かさバジェットと 2 つの概念の異なる方法が提示された。現場での測量機器検定でどの方法を採用し、どのように行うのかについては、今後、測量機器毎に定められる JISB7912 シリーズの各規格の規定に待たれるところである。多くのケースでは、どちらか一方に固定しないで、当該の測量作業の目的や状況に応じて測量技術者が最適な方法を選択して行うことになるであろう。

この 2 つの方法を簡単に紹介すると以下のとおりである。

「統計的検定による方法」は、誤差がランダム（偶然誤差）で正規分布に従っていることを前提としており、測量現場に見立てたテストフィールドで検定したい測量機器を使用して一定回数の測定を行い、そこから得られるサンプルの統計量（例えば実験標準偏差）から当該測量機器が本来有している母集団の統計量を推計するもので、その際に、ある基準値を取り、それとの大小関係についての統計的仮説を立てることで検証を行う方法である。現行の JISB7912 シリーズの各測量機器の検定規程はこの方法に拠っている。

「不確かさバジェットによる方法」は、測量機器の測定に現れる偶然誤差だけでなく、三脚の設置誤差、気象測定の誤差など測量作業の全体を通して影響を受ける（と想定される）全ての誤差要因について標準不確かさを列記し、誤差伝ばによって測量の最終成果が持つことになるであろう不確かさ（誤差）の量を総計し、それと事前に与えられる基準値を比較するという方法である。

以上の説明によっても、2 つの方法で取り扱う局面はかなり異なっていることがわかる。

さて、2 つの方法が併記されたことで、たちまち次のような議論が起こる。

「公共測量作業の準則では、例えば基準点測量について等級毎に最終的な成果の要求精度が定まっている。一方で、それぞれの等級毎の基準点測量について使用できる測量機器の性能が定まっている。2 つの方法で検定を行った場合に、同じ性能の測量機器の採用に行きつくのだろうか？」

1 つの簡単な思考実験を試してみる。

準則では、1 級基準点測量の精度について、中間工程の点検測量等での許容範囲、最終的な基準点測量成果の許容範囲という形で示している。最終成果は測量機器を使用した際の観測誤差だけでなく既知点の誤差を含んだ結果なので、ここでは、中間工程の点検時の許

容範囲（結合多角・単路線で水平位置の閉合差： $10\text{cm}+2\text{cm}\sqrt{N\Sigma S(\text{km})}$ ）を考える。「許容範囲」は、これ以上の大きな誤差を持つものは却下されるという定義で使用されているもので、これは公差または検定公差と同義と考えられるので、幾つかの教科書を参考に、標準偏差の3倍、 3σ 程度とする。

TSを使用して1級基準点測量を行ったとして、当該TSの測定誤差にどの程度の標準不確かさ（ $u=\sigma$ ）が要求されるかを考えてみる。簡単のため直線状の単路線を採用し、水平位置の閉合差を仮に 3σ と考えると、誤差伝ば則から単観測あたりの測定精度は $(33\text{mm}/\sqrt{N}+6.6\text{mm}S)$ 以内にあることが要求される。例えば路線数 $N=9$ とすれば $u=11\text{mm}+6.6\text{mm}S$ となる。この値には、測量機器による誤差のほか、不確かさバジェットに表現される全ての誤差が入っているので、厳密にはそれらを個別に評価しなければならない。ちなみに、市販のあるTSではカタログ精度（標準偏差）が $1.5\text{mm}+3\text{mm}S$ と公称されており、その他の誤差を想定しても十分に基準内に入っていると思われる。

一方で、同じ準則では、1級基準点測量は1級トータルステーション（TS）で行うことを標準としており、機器の性能について1級TSの測距部は、正確に値のわかっている基線長との比較で許容範囲が 15mm とされている。前の議論と同様に許容誤差が 3σ に相当すると仮定すると、標準偏差は $\sigma=15\text{mm}/3=5\text{mm}$ となる。比較基線場の長さを 1km と仮定すると、上記の市販TSではカタログ上では 4.5mm となり、合格の範疇である。

また、JISに従って統計的検定で行う方法では、複数の測線距離で計測した実験標準偏差（S）が $S<\sigma\times 1.19$ を満たすことが要求され、基準値 σ が 3.0mm で与えられている。すなわち $S<3.57\text{mm}$ が検定の指標となる。簡単のため側線の平均的な距離（ 300m ）での精度が実験標準偏差と等しいと仮定すると、上記の市販TSを使用した場合、カタログ上で 3.1mm が期待され、合格の範疇である。

極大ざっぱな思考実験であるが、工程全体を通して不確かさの系統的な見積もりがなされ、一定期間の経験によって裏付けられている公共作業に関しては、統計的検定と不確かさバジェットの2つの方法による評価を行っても、相互に矛盾しない結果が得られることが期待できそうである。

しかるに、公共測量作業規程の準則で定められている測量作業のための機器検定だけについて言えば、準則の中で測量機器の性能が明確に規定されているので、従前どおりの統計的検定による方法の方が単純で使いやすいという状況は今後も続くのではないかと思われる。

不確かさバジェットの意義

公共測量作業規程はプロセス規程と呼ばれている。最終的な成果の要求品質（精度）が与えられてはいるが、使用する測量機器の性能や各工程での中間成果の許容誤差が定められており、これを忠実に実施することで所定の品質の成果が得られるという仕組みである。

一方で、性能（品質）規程と呼ばれているものがあり、製品仕様書で成果品の要求品質

が与えられ、それを達成するための測量機器や測量の方法は必ずしも指定されない。受注者は、技術的・経費的に最適な方法を選択し、所定の成果を納品するだけで良い。

近年、測量分野以外の顧客から高精度の測量成果を求めるニーズが増えており、その中では、従来の公共測量作業規程に記載されている表現ではない、多様な品質要求が出てきている。逆に、そのような他分野からの顧客からすれば、標準偏差一点張りの測量分野は奇異に感じられるかもしれない。今回の不確かさバジェットの導入は、公共測量作業規程に固まり閉鎖的になりがちな我が国の測量分野に新風を吹き込むことが期待される。

何年か前のことであるが、ある国際的な団体から測量成果の要求品質として「95%信頼区間で2.5m」というような提示があった。国内の測量関係者の間で議論したが、どのような性能を持った測量機器を使用してどのような観測を行ったら、要求された精度の測量成果を挙げられるかが十分な根拠をもって示せなかったことがあった。

今回のISO規約による不確かさバジェットによる方法は、このような場合に顧客と測量技術者の品質に関するやり取りを可能にするツールを与えてくれるであろう。

不確かさバジェットによる方法が新たに加わったことで、測量技術者は、様々な顧客ニーズに答えるための手段をもう一つ加えることができた。しかし、不確かさバジェットによる測量の機器や手法の事前評価については、国内でも実績が少なく、この普及のためには今後十分な経験の蓄積とそれに裏付けられた顧客との間の信頼関係の醸成が不可欠である。著者は寡聞にして外国の測量成果の調達がどのような仕様によって行われているか知らないが、これら外国での事例調査や国内での実証作業などを通じて、新たな評価方法についても効果的に活用されることを期待したい。