

電子レベルにおけるレフラクシヨンの影響に関する調査研究（第2年次）

実施期間 平成13年度～平成14年度
測地部測地第三課 板橋 昭房 黒田 次郎

1. はじめに

平成6年度に電子レベルが測量機器性能基準の1級に認定されてから、基本測量及び公共測量の水準測量作業において電子レベルの活用頻度が高くなってきた。この背景には、標尺のバーコードが望遠鏡を通して確認できれば、熟練技術者でなくても高精度の観測値が得られることや、作業能率の向上及び経費節減等の利点が計れるからである。電子レベルは、従来の標尺の目盛りを観測者が読み取る手法とは異なり、標尺のバーコード・パターンの映像を一定範囲帯(ゾーン)だけ自動で読み取り、この映像をCCD(Charge-coupled device)技術で読定する手法である。しかし、電子レベルが開発されてから日は浅く、映像処理技術の活用による手法が測定値に及ぼす影響やそれらの技術的検証例が少ない。

水準測量作業規程の一等水準測量において、「電子レベルについては、(標尺の)読定のために必要な目盛りの範囲の下方が20cm以下の場合、測定してはならない。」こととなっている。これは、従来型のレベルに適用してきた規程を電子レベルに当てはめて規程化したものである。水準測量の観測では、視準線が比較的地表面の近傍を通ることが多いため、地表面で発生する陽炎によるレフラクシヨ(屈折作用)の影響で視準線が屈折し、レベルの読定に対して誤差要因を与える。

今年度の調査研究は、昨年度に引き続き2器種の異なる電子レベルを用いて、3種類の視準距離(20m/30m/40m)において、最低読定値の検証とレフラクシヨが読定値に及ぼす影響を調査し、これらの結果から最低読定値を決定する目的で研究を実施した。

2. 研究内容

実際の水準測量作業でレフラクシヨの影響が大きいと考えられる傾斜地を想定し、院構内北側の実験水槽棟搬入出用傾斜スロープを利用して試験観測を行った。データ取得については、スロープ上部にバーコード標尺を固定して、視準距離20m、30m及び40mの地点にそれぞれ読定高が20cm、40cm、60cmと離れた3台の電子レベルを整置し、午前9時から午後5時まで各時刻帯の15分毎に標尺の読定を行った。使用した1級電子レベルは、Leica社製NA3003AとZeiss社製DiNi11の2器種で、これらについてのデータ取得を行った。また、観測時の気象要素を把握するために標尺側で各読定高(20cm/40cm/60cm)の温度と気圧及び風量の測定を標尺の読定と同様に15分毎に行った。さらに、視準経路の日照の有無も15分毎に記録した。

3. 得られた成果

光の屈折度合を表す屈折率は、真空中を進む光の速さと媒質中(空气中)を進む光の速さの比率で表され、光は屈折率の小さい層から大きい層に進む時、屈折率の大きな層の方向に曲げられる性質が

ある。太陽の放射熱で暖められた空気の層が地表面から上空に向かって、高温から低温の勾配のある温度層が形成され、温度が上昇すると空気の屈折率は減少する傾向がある。そのため、日中の水準測量では地表面が徐々に高温になってきて、視線は視線方向に対して上向きに屈折し、標尺の読定値が正しい値よりも過大に読定されると考えられている。

電子レベル2器種のデータを取得したが、器種による特性はあるものの得られた成果の傾向は同様であるので、ここではZeiss社製DiNi11のデータを中心に紹介する。

1) 夏期の観測における温度変化(図1-1)は、3箇所(20cm/40cm/60cm)とも温度差がなく変化している。このことから、地表面付近から70cm位までは等温度層(同一温度層)を形成していると考えられる。視線距離40m(図1-2)の読定高差の分散は、20cmで0.4mm,

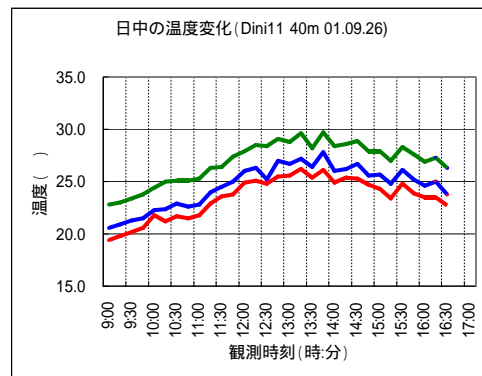
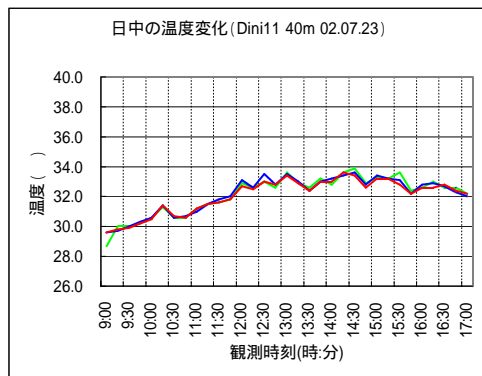


図1-1 夏期温度変化(視線距離40m)

図2-1 秋期温度変化(視線距離40m)

図中の色分け 緑 : 20cm 青 : 40cm 赤 : 60cm (以下同様)

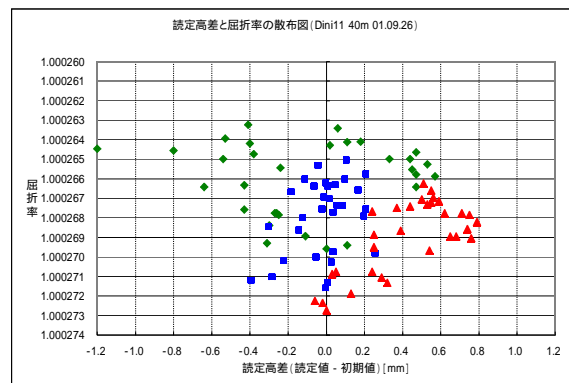
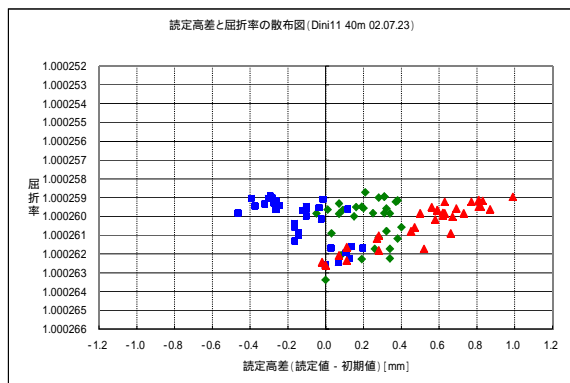


図1-2 夏期散布図(視線距離40m)

図2-2 秋期散布図(視線距離40m)

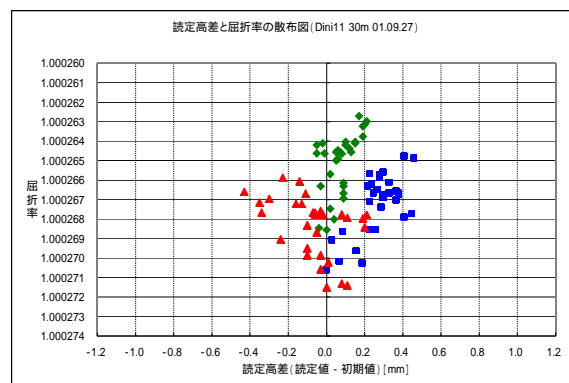
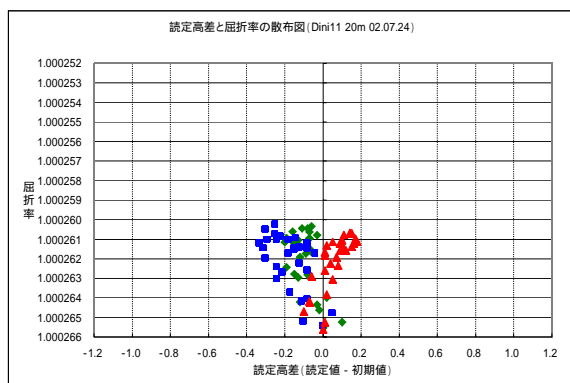


図1-3 夏期散布図(視線距離20m)

図2-3 秋期散布図(視線距離30m)

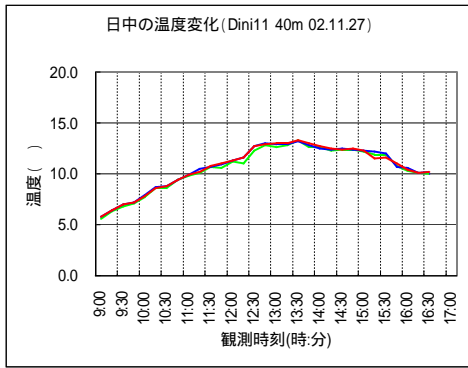


図3 - 1 冬期温度変化（視準距離40m）

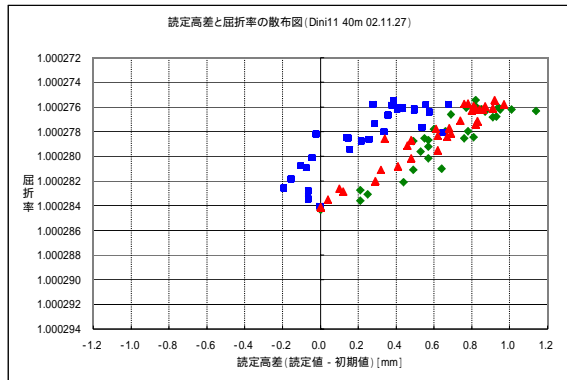


図3 - 2 冬期散布図（視準距離40m）

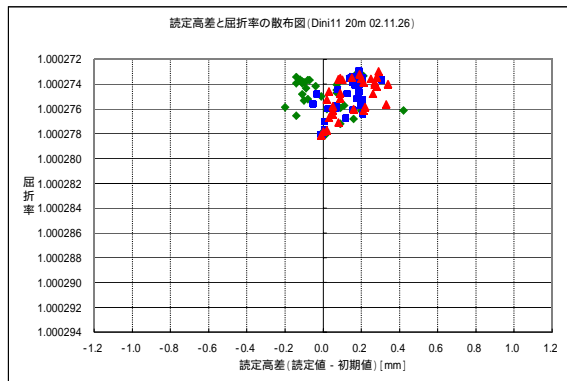


図3 - 3 冬期散布図（視準距離20m）

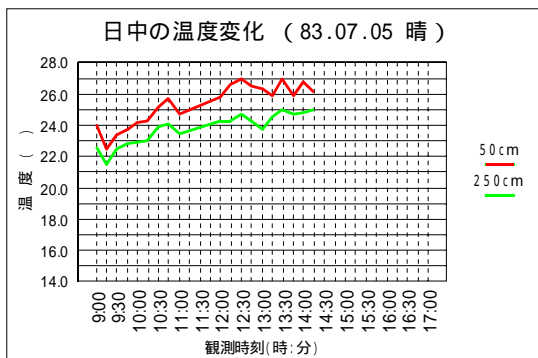


図4 - 1 夏期温度変化（昭和53年データ）

40cmで0.6mm, 60cmで1.0mmを得た。視準距離30mの読定高差の分散は, 視準距離40mの結果とほぼ同様であった。視準距離20m(図1-3)の読定高差の分散は, 3箇所とも0.3mm以内の結果を得た。

2) 秋期の観測における温度変化(図2-1)は, 20cmと40cmの間で約2.0の温度差が見られ, 同じ温度差を保ちながら変化している。これは, 地表面付近に温度勾配が密に形成していることを示している。視準距離40m(図2-2)の読定高差の分散は, 20cmで1.4mm, 40cmで0.7mm, 60cmで0.9mmを得た。視準距離30m(図2-3)の読定高差の分散は, 20cmで0.3mm, 40cmで0.5mm, 60cmで0.7mmを得た。

3) 冬期の観測における温度変化(図3-1)は, 夏期の温度変化と同様で3箇所とも温度差がなく, すべてが同じように変化している。これは, 地表面付近から70cm位までは等温度層を形成していることを示しており, 夏期と同じ状況である。視準距離40m(図3-2)の読定高差の分散は, 3箇所とも同様の形態で1.0mmであった。視準距離30mの読定高差の分散は, 20cmで0.5mm, 40cmで0.5mm, 60cmで0.3mmを得た。視準距離20m(図3-3)の読定高差の分散は, 3箇所とも0.4mm以内の結果を得た。

なお, 地上60cm以上の温度層の分布については, 昭和53年に行われた伊東地域の試験観測の結果から, 夏期の温度変化(図4-1)は0.5m地点と2.5m地点の間に約2の温度差が見られ,

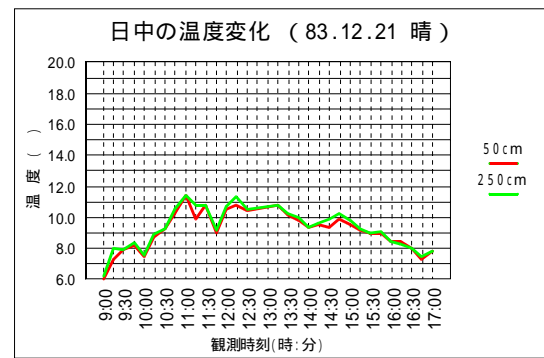


図4 - 2 冬期温度変化（昭和53年データ）

その温度差を保ちながら変化している。また、冬期の温度変化（図4 - 2）では2箇所の温度差は見られず、いずれも日中通してほぼ同じ温度変化となっている。

4 . 結論

レフラクションが水準測量に及ぼす誤差は、後視と前視の高低差がなく視準距離が等しい場合には、後視と前視に同量の誤差となるため除去できるが、傾斜地では後視と前視の視準線の高さが異なるのでその誤差も異なり、その差異量は累積する。従来は測定温度を用いて経験式からレフラクション誤差の補正量を求める方法も考えられたが、測量地域の状況が一定でないため一般的には、測量方法により誤差が読定値に取り込まれない方法を採用している。電子レベルの観測法についても同様である。

1) 傾斜地における夏期の温度分布は、今回の結果から地表面付近より70cm位までは等温度層（図1 - 1）で、そこから標尺上部の3m付近まで2～3の温度勾配（図4 - 1）があると考えられる。傾斜地の場合は、レベルの器械高付近でレフラクションが発生する可能性が高い。また、この場合は反方向の視準線にも影響を及ぼす。このような状況のときは、視準距離を20m前後と極端に短くして観測する必要がある。

2) 傾斜地における秋期の温度分布は、今回の結果から地表面付近より50cm位までの箇所で2～3の温度勾配（図2 - 1）がある。このような状況のときは、視準距離を短くし視準線を地表面からできるだけ高くして観測する必要がある。春期の温度分布も類似している所以对処も同様と考える。視準距離40mから30mに短くすると、読定高差の分散は1/2～1/3程度小さくなる。

3) 傾斜地における冬期の温度分布は、今回の結果から地表面付近より標尺上部の3m付近まで同一温度の等温度層（図3 - 1, 図4 - 2）と考えられる。読定高差の分散も小さく非常に安定している。ただし、視準距離40mの読定高差の分散（図3 - 2）では、早朝から正午（温度が安定する）までの時間帯に温度が急速に上昇（図3 - 1）し、その急激な温度変化によるレフラクションの影響で大きな変位を示している。しかし、後視・前視側も標尺上部までほぼ同じ温度で変化するため、誤差も同量になるので除去できると考える。

水準測量作業規程の一等水準測量で「電子レベルについては、（標尺の）読定のために必要な目盛りの範囲の下方が20cm以下の場合、測定してはならない。」と最低読定値を定めている。この経緯には、測地測量の教程等に記述の標尺の下方50cm以下の読定は避ける。視準距離を短くする。特に、早朝から正午頃までの温度上昇現象を見据えて「午前中の観測においては」と説明されたレフラクション対策を踏まえ、国内での実験観測、作業効率、精度確保等を考慮して定められてきた。しかし、今回の調査研究の結果によれば、電子レベルの器種毎に採用している読定手法や一定範囲帯（ゾーン）が異なるなどにより、最低読定値を変更しても画期的な精度の向上は期待できないものとする。電子レベルにおけるレフラクションの影響を極力最少にするためには、20m前後から30m程度まで視準距離を短くして観測するのが最も良い方法であるとする。

なお、この調査研究作業は 社団法人日本測量協会 に委託して実施したものである。

参考文献

電子レベルのレフラクション誤差の影響と最低読定値に関する調査研究作業報告書

国土地理院

平成15年1月

水準測量の高度依存誤差について 小菅俊宏

（国土地理院技術資料 B.5-No.12）

国土地理院

昭和59年3月