

VI-4

トンネル管理における断面計測 およびデータ分析と評価についての一考察

北海道大学工学部 学生員 板 東 芳 博
北海道大学工学部 正会員 荻 澤 憲 吉

1. まえがき

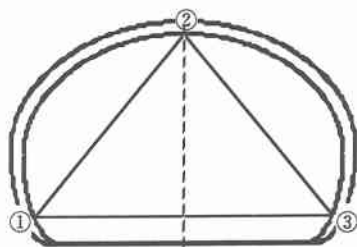
トンネルにおける計測作業は、周辺地山の挙動と各支保部材の効果を把握し、工事の安全性と経済性を確保する目的で行うものであるが、NATM工法が主流となりつつある近年はことさら工事を安全に効率よく進めるために計測作業の重要性は増してきている。その中でも内空変位測定は工事の進み具合を左右する重要な計測項目の一つである。内空変位測定データは、断面の変位量、変位速度、変位収束状況及び断面の変形状態より、周辺地山の安定性の判断、支保構造の設計・施工の妥当性の把握、覆工の打設時期の判断をする際に用いられる。

計測作業は、施工中のトンネルの施工管理に用いられることが一般的であるが、難工事を要したトンネルや、今後増えるであろう悪地盤を貫くトンネルにおいては、施工中だけではなく完成後も内空変位計測などによりトンネルの変状を常に把握しておく必要がある。ここでは、完成後のトンネルの断面計測及びそこから得られるデータの分析と評価について考察する。

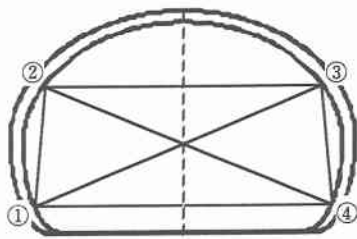
2. トンネル断面の計測手法

(1) トンネル内空断面の計測の手法について

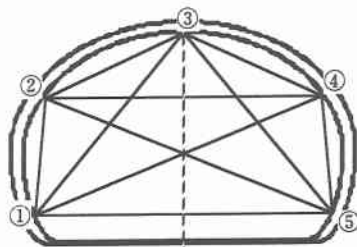
トンネルの内空変位測定は測線は水平測線を中心とし、必要に応じて斜め測線を追加するのが一般的で1断面につき天端を含めて3～5点の計測が行われる。従来はこれをテープを用いて測点間の距離を測る方法で行われてきた。しかしこれは危険で困難な作業であるとともに、期待される精度を得るのも容易ではなかった。しかし近年の測量機器・技術の発達に伴い、トータルステーションとコンピューターを組み合わせた計測システムを導入することにより、測定がきわめて容易になり精度も飛躍的に向上した。これは1測点ごとに別に設けられた基準点からの距離、水平角、天頂角を同時に測定し、各測点の3次元座標値を求める方法や、コンピューターとつながれたトータルステーションで測点間を視準することによって2点間の距離を計算する方法などがある。これはそれぞれの測点を視準したときの測点とトータルステーションとの距離と、2測点とトータルステーションとのなす角から2測点間の距離を計算するので、これらの計算はコンピューターがその場で処理するものである。また、これらの方法のもう一つの特徴は、測距の時光波を送り返すターゲットとして、プリズムではなくマイクロプリズム反射シートを利用することである。これによって費用が低減され、必要



(a) 3点測定の測点配置例



(b) 4点測定の測点配置例



(c) 5点測定の測点配置例

図1 内空変位測定の測線配置例

に応じて何枚でも手軽にシートを張ることができる。

(2) 内空断面計測の計測網について

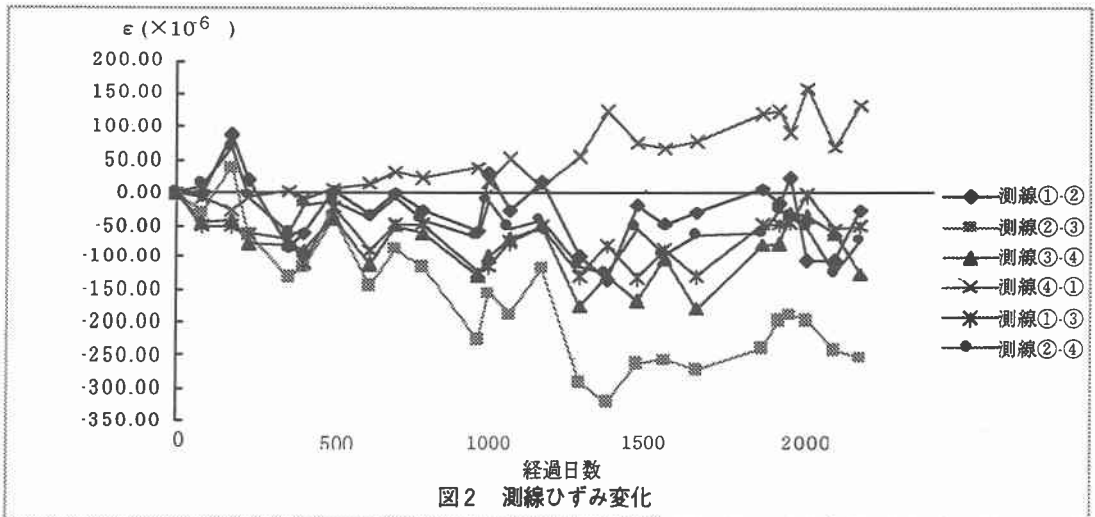
図1に代表的な内空変位測定の見線配置例を示す。もちろん測点数を増やしてトンネル断面の周上をくまなく測定することができれば、それだけ正確に変状をつかむことが期待できるが、供用開始後のトンネルの状況を考えると時間をかけてそのような計測することは事実上不可能である。トンネルを円滑に供用しつつ変状を正確に把握するには、必要最低限の測点数で内空変位測定を行いそこから得られるデータをいかに分析するかが重要になってくる。

図1(a)の3点測定型は断面全体の動向を知る上でもっとも簡素化された内空変位測定のパターンで天端の沈浮や横方向の動向を簡単に知ることができるが、誤差・測定ミスの影響を取り除くことは不可能である。(b)の4点測定型は大断面のトンネルで天端での測定が困難なトンネルで用いられることが多い。この方法では直接天端の沈浮は観測できない。また測線数が6本あり、閉合する三角形が2つあるので三辺測量の原理から測定精度及び誤差の補正も可能となる。(c)の5点測定型はトンネル断面の変状をもっともバランスよく評価できるものである。測線数も3点測定型の3本、4点測定型の6本に比べ10本と測線数も増えそれだけ信頼性も増している。

3. 断面計測データの分析

(1) 経時変化

ここで4点測定で計測が行われているトンネルのある断面の計測データシートからの分析例を示す。計測データシートからは測定回ごとの測線長の増減をつかむことができる程度で、断面全体の動きを見極めることは容易ではない。また、それぞれの測線は長さが異なっているので、単純に測線がどのくらいの長さ変化したのかを知るだけではその変化が安全なのか危険なのかを判断することはできない。そこで計測データシートから測線長がもとの長さに対してどれだけの変化をしているのかを表すグラフをつくり、図2に示す。このグラフでは計測データシートからはつかみにくかったそれぞれの測線のひずみ変化の傾向や、測線相互の変化の様子を知ることができる。この断面では測線②・③、④・①のひずみが大きくなってきていることや、測線④・①以外の測線のひずみの動きが同調していることがうかがえる。また、約500日周期でひずみの増減が繰り返されているような動きもみられる。全体としては、④・①測線のひずみだけが増大し、ほかの測線のひずみは減少し、特に②・③測線のひずみが大きいこと

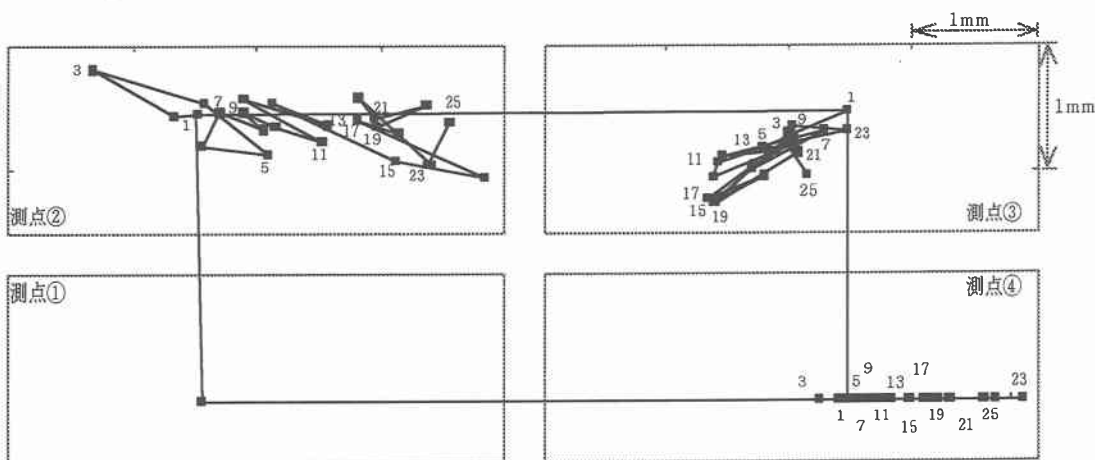


から、この断面の中央部から上半部が縮み下半部が外側に押し出され鏡もちのような形になってきている様子がわかる。この断面が仮に3点測定で計測が行われていた場合は、下半部の変状はつかめていたが、中央部の変状はデータには現れないであろう。そして5点計測で行われていた場合はさらに上半部・天端付近の変状もさらに詳しく知ることができるであろう。

(2) 断面の形状変化について

図3は計測データから測点①を原点とし、測線④-①を水平軸にとったときの各測点の座標を求め、各測点が初期の計測網の形状からどれだけ動いたかを、その動きを拡大して示した図である。この図からは図2では知ることのできない測点①を原点としたときの各測点の相対的な動きの傾向を知ることができる。この断面では図3から測点②の相対的な動きが大きく、左上と右下方向を次第に測点③方向に移動しながら振動している様子がうかがえる。測点③は測点②に比べると動きの幅は小さいことがわかる。また右上と左下方向を横幅約1.20mm、上下幅約0.75mmの範囲で往復していることもわかる。そして測点④は次第に測点①との距離を抜けていっていることがわかる。また図2から類推した断面の変状も図3を用いれば主に台形型に変形していることが簡単に察することができる。図2、図3からこの断面は一定の周期を持ちながら断面が鏡もち型に変形しているということがわかる。

このように二つの図を用いて断面の変状をみてみたが、図2だけでは断面全体の動向はつかみづら



注 1) 実線部は測定開始時における計測網の形 2) 数字は測定回

図3 座標変換による測点の位置

く、時間をおっての変化をつかむには図3だけではわかりづらい。2つの図から得られる情報を上手に組み合わせて分析することも必要である。

そこでさらに、図3に示した各測点の経時変化の様子から各時点での4測点を結んだ図形を作成して時間軸上に並べた図を図4に示す。この図を見ると図2、図3からうかがえた変状もより視覚的にとらえることができる。例えば、初期段階では長方形型であった計測網が次第に上半部が内側に食い込み、下半部が外側に押し出されている様子や周期を持った変動を繰り返していることも簡単に察することができる。ただし、図4に示した図形は各測点の動きを拡大して作成したものであるので、実際にこのような変形をおこしているわけではないので、あくまでも計測網の変形の傾向をつかむものである、ということに注意しなければならない。

このように一種類のデータからトンネル断面の変状をつかむには多角的な分析を行うことが必要になってくる。ここでは4点計測のトンネル断面の変状の分析について述べたが、たとえば5点計測の場

合は計測網の形はよりトンネル断面形状に近づくので、さらに計測網の面積を求め、その面積変化を追っていくのも、トンネル断面の変状管理に役立つであろう。いずれにせよこのような分析で得られた結果も、速やかに管理する側に反映されなければならないので、できるだけ早く、わかりやすく、得られたデータを分析することが望ましい。そのためには視覚的に変化がとらえられるような分析をし、またその分析も現場でできる簡単なシステムで行えることが望ましい。

4. まとめ

ここでは、トンネルの内空変位計測から得られるデータをもとにどれだけの情報を得て、それをいかに分析するかについて述べた。

内空変位計測から得られるデータは、基本的には測線の変化量を考えるのではなく、ひずみの変化を追っていくと

内空断面の変状をつかみやすくなる。また、断面変化の様子をわかりやすくするためには、データをグラフ化するなどして視覚的に変化をとらえられるようにすることが重要になってくる。ただし3節でも述べたようにグラフ化する際には変化をわかりやすくするために測点の動きを実際の動きよりも拡大して示す必要があり、その拡大の仕方によってグラフのイメージはかなり変わってくるので、そのトンネルの特性に合わせたグラフを作成することが重要になってくる。

謝辞

ここで用いたデータは日本鉄道建設公団札幌工事事務所吉岡管理センターのご厚意により提供を受けたもので、この場を借りて所長の先山友康氏をはじめ同センターの職員の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会編 土木工学ハンドブック 上巻 第30編 トンネル
- 2) 丸安隆和著 新版測量学 下巻 第12章

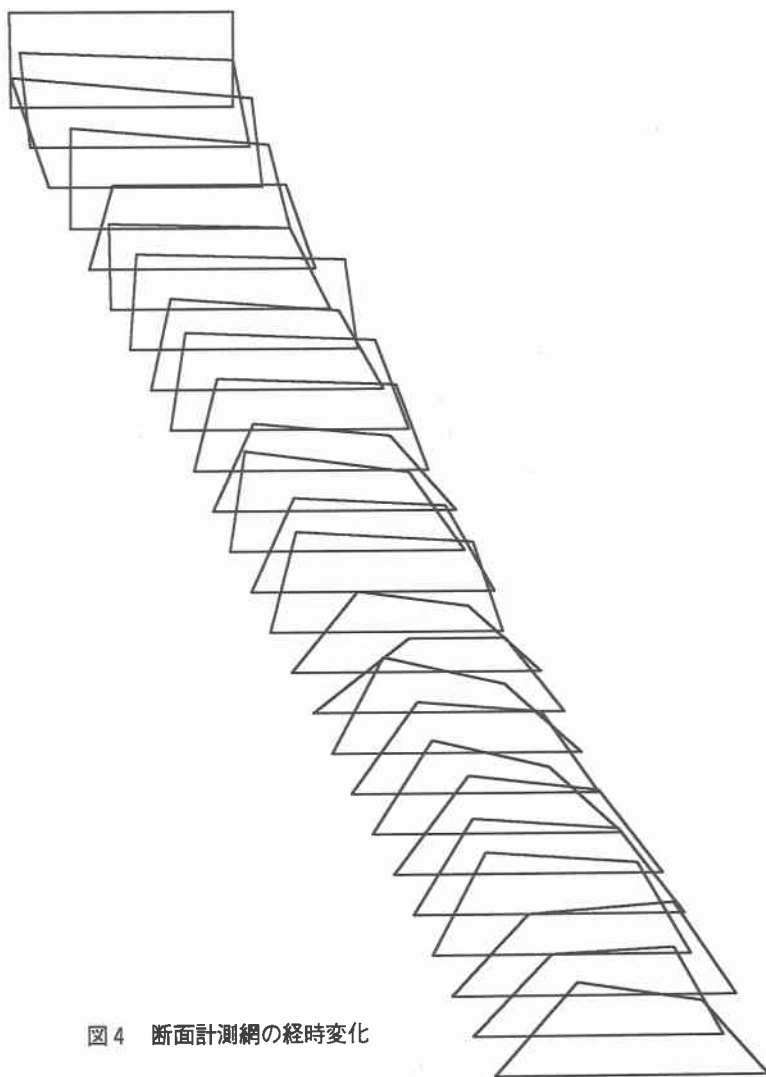


図4 断面計測網の経時変化