

1. はじめに

ロックボルトと吹付けコンクリートがトンネルの支保工として用いられるようになって、地山の強度をより積極的に利用してトンネルの安定を得ようとする事が可能となった。これは、トンネルの内側に構造体を作り崩壊又は変形して来る地山を内側から支持するという従来の設計の考え方とは異なるものであり、ロックボルトと吹付けコンクリートを用いたトンネルの設計では、支保工の設計の考えあるいはトンネルの安定に対する考え方を整理する必要性が生じてきている。この際に最も重要な項目はロックボルトがトンネルの安定にどのような効果を持つかということである。ロックボルトの作用効果については多くの研究が行われ次第にその効果が明らかにされつつあるが研究の多くは計算又は模型実験によるものである。一方、設計的には未解明な点を残しながらも、実際にロックボルトと吹付けコンクリートを用いたトンネルの施工が少なからず実施されるようになり、この工法ではトンネルの掘削に伴う地山の挙動が重要であることが認識されていることから組織的な計測が行われ、多くの計測結果が得られるようになった。ここでは、これ等の計測結果のうち最も測定数の多い内空変位の測定結果を参考としてロックボルトの効果について考察する。なお、ロックボルトの効果は対象とする地山によって違って来ることも考えられるが、ここでは変位が問題となる地山に限定する。

2. 内空変位の一般的傾向と問題

内空変位はトンネルによってそれぞれ異なり多様な変化を示す。図-1は測定例の中から地質が比較的一様なあるトンネルの上半断面の幅の内空変位の時間経過を1枚の図にまとめたものである。地質が比較的一様と考えられるトンネルでも内空変位は大幅な変化を示すことが分る。この例は必ずしも特異な例ではない。このトンネルのロックボルトは長さ6mのものが0.8mに1本程度で用いられ、変形が大きいところでは増ボルトが用いられた。図-2は図-1の内空変位の最終値を測点の位置ごとに示したものである。これらの図から内空変位の傾向を読みとると、(1)内空変位は切羽の進行に伴って増加する部分と切羽の進行がなくても増加する部分とからなる。(2)切羽の進行がなくても増加する部分すなわち時間に依存する部分は小さく、多くの変位は切羽の進行に伴う部分である。(3)従

って、中段、下段等の掘削を実施すれば、その影響は内空変位に大きく反映され最終的な断面に仕上がるすなわちインバートの施工が完了すると内空変位は終息するようになる。(4)増しボルトの影響は明確でない(5)最終的な内空変位量は場所によって支配され、その値の変動は大きい、などのことをあげることができる。すなわち、トンネルの内空変位は、掘削作業の反映で

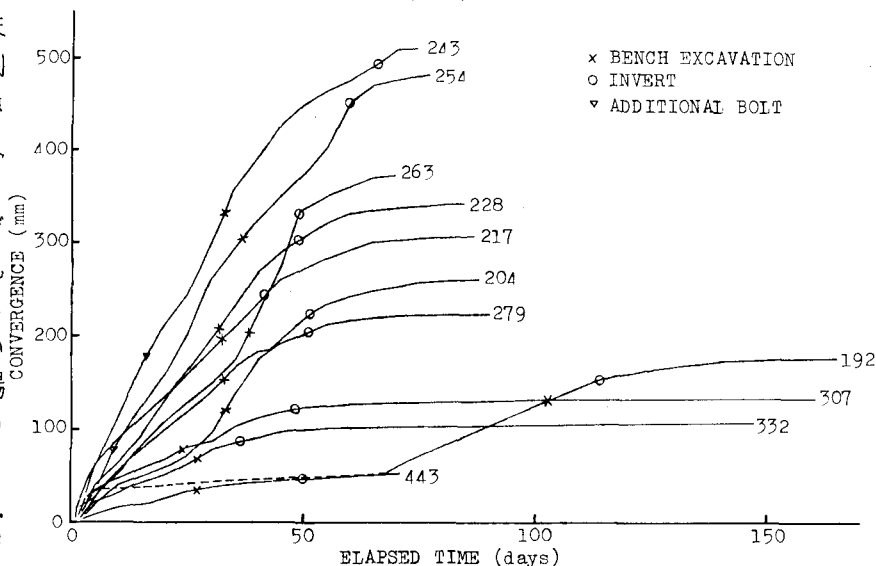


図-1 内空変位測定例

あると同時に掘削された場所における地山の条件に主として支配されることになる。内空変位を測定する目的は、トンネルの設計、施工の妥当性を検討して、必要な場合には設計、施工を修正することであると考えられている。この目的を達

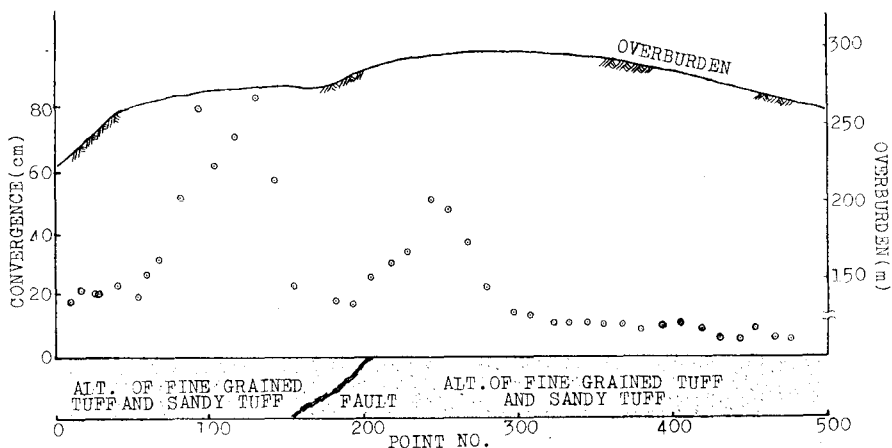


図-2 最終内空変位

するためには測定された内空変位がどのような意味を持つかを明らかにしなければならない。内空変位が終息し全体の経時的な変化が明らかになり、た段階では変位が持つ意味を解釈することは可能であろうが、途中の段階において測定された値が心配のないものであるかどうかを判断することはむずかしい問題である。このことは、図-1の多くの曲線が示すところであり、測定された値がどの曲線のどの位置に相当するのを見極めることは簡単ではないことがわかる。掘削作業が測定点の近くで行われ、変位の増加が認められたのであれば、この変位の増加は作業による影響であるというような定性的な評価ができる程度であろう。定量的な評価は、掘削された地点の地山の力学的な性質、成層状態・断層などの地山の構成や構造、および初期地山応力状態を明らかにしたうえでじめて可能になるが、トンネルの場合にこれ等の条件、特に後者の2つを明らかにすることは非常に困難である。従って、現場での対応としては、結果としての内空変位量をあらかじめ設定された変形余裕と比較し、必要な場合には変形余裕を修正することおよび最終覆工の施工時期の確認に用いるということが行い得ることである。このことは実用的に大きな意義を持っておりこれだけでも内空変位測定の価値は大きい。ロックボルト等の設計に反映させるという積極的な点では問題である。

3. 内空変位からみたロックボルトの効果

内空変位の値が当初想定した値を超えると、普通ロックボルトの設計を修正して変位量を抑える対策が行われる。図に例示したトンネルでも変形が大きいく所では増ボルトが打設され、変形を抑えるような試みがなされた。結果は図に示されているように多くの努力にもかかわらず内空変位は大きいものとなっている。このことはトンネルの内空変位は基本的には地山の性質、地山の構造および初期地山応力に支配されて、ロックボルトの手える効果は限界があることを示すものであると理解することができる。大切なことは予想を超えるような内空変位が生じた場合でも崩壊は生ずることなく安定は確保されていたということである。ロックボルトは地山の変形に対する追従性ではすぐれた効果を示し、地山の一体性を保って崩壊を防止していることが示されている。トンネルを掘削した場合の安定の得られる点は用いる支保工の程度によって変化するものであり、ロックボルトの設計においてもこのことを考慮することが必要である。すなわち、ロックボルトの効果には積極的に3軸応力状態を作り出し力学的な補強効果を期待するレベルとトンネル周辺で破壊が進行しても一体性を失わないようにして崩壊を防止するようにするレベルでのものと考えられる。前者の効果はロックボルトの持つ強度から考えて地山強度の低い場合に限られ、一般的には後者に近い状態での働きになっているものと考えられる。従って、ロックボルトの設計に際しては、地山の一体性を失わせないようなロックボルトの配置はどのようなものであるかということを検討することも、力学的な効果の検討とともに重要である。内空変位が場所によって支配され、ロックボルトの効果が明確に現われにくいのはこのことを示しているものと考えられる。