

(44) トンネル掘削にともなう地山変位の一考察

顧問組 土木本部 技術部 正 五味道義

1. まえがき

トンネル掘削にともなう地山の変位は、地質によりそれぞれ特徴がある。これらの地山変位の予測が、トンネル掘削前に推定できれば設計・施工への反映に結びつけることができるが、現状では、非常に困難である。

したがって、施工経験により、これらの地質ごとの地山変位の特徴をよく把握して設計・施工へ反映させていく必要がある。また、施工中の計測結果を施工にどのように反映させていくかが重要なことである。

本文は、これまでにトンネル施工時に計測した硬岩地山、砂質地山、粘性地山の相対内空変位（以下変位とする）の挙動から施工上留意すべきこと、および、粘性地山の簡易な変位予測法について述べたものである。

2. 地質と地山の変位

トンネル掘削にともなう変位量の割合と経過日数、および切羽からの距離との関係について、硬岩地山、砂質地山、粘性地山について図-1、図-2に示す。また、トンネルの加背数の相逢による変位量と切羽からの距離の関係を模式的に示すと図-3の通りとなる。図-4、図-5、図-6、図-7にベンチ掘削における変位量 U と切羽からの距離 L 、経過日数の関係を示す。

これらの図から次のようなことが云える。

(1) 硬岩、砂質地山の変位は、切羽から1 D程度でほぼ収束する。

(2) 粘性地山の変位は、収束に6 D程度で、その90%に達するのが4 D程度となる。

(3) 変位が増大する要因は、時間経過より、切羽からの距離による影響を受け易い。

(4) 加背数が多くなると、変位曲線は階段状になり変位量は増加する傾向にある。

(5) 硬岩でのベンチ掘削において、上半部の変位は掘削と同時に、ほとんど変位が収束する。また、ベンチ部の掘削と同時に変位量のほとんどが発生し、掘削後1 D程度の範囲で収束する。

(6) 砂質地山のベンチ掘削においても変位は、掘削と同時に収束し、また、下半掘削の1 D程度前から発生し始め、下半掘削後早期に収束する傾向にある。

(7) 粘性地山のベンチ掘削における変位は、切羽から1 D程度で一次収束する傾向を示すが、下半掘削が近づくと変位が増加し始め、切羽から4 D～6 D程度まで続く。

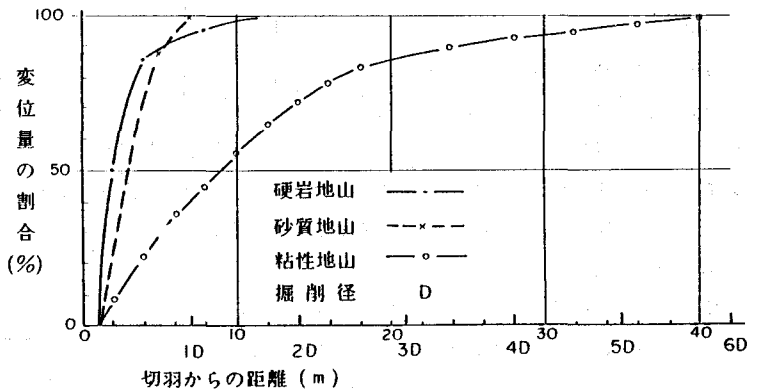


図-1 変位量の割合と切羽からの距離の関係

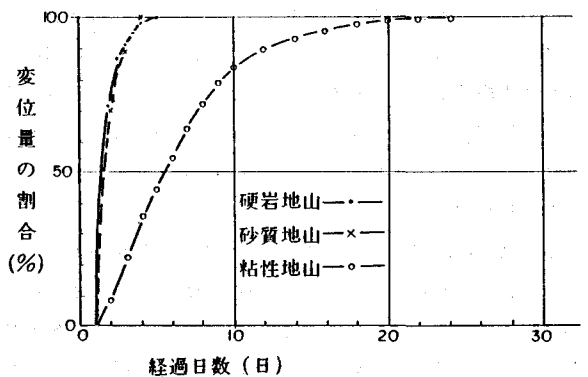


図-2 変位量の割合と経過日数の関係

(8)ミニベンチ掘削における変位曲線は、全断面掘削の変位曲線に似た傾向を示す。

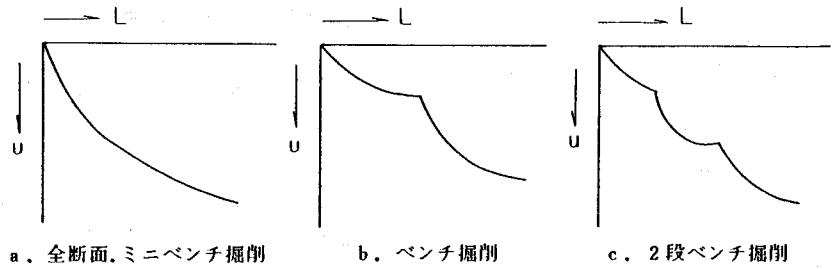


図-3 相対内空変位量Uと切羽からの距離Lの関係

3. 地山変位と施工

硬岩地山、砂質地山、粘性地山の掘削にともなう変位状況から施工上留意すべきことがらについて述べると次のようになる。

(1)硬岩地山

硬岩地山の場合には、変位が切羽からトンネル径D程度で収束することが多いので、この間で十分に浮石落しを行ない、できるだけ薄い吹付けコンクリートを施工することが経済的と考えられる。

また、硬岩地山であって節理の発達した地山は、硬岩地山のような変位傾向を示し、一見安定しているように見

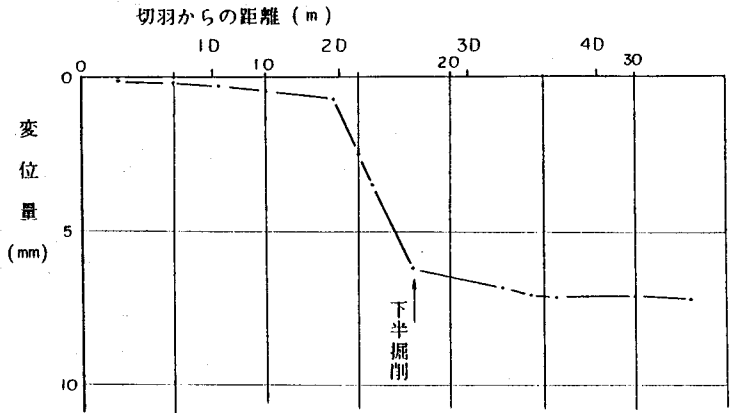


図-4 硬岩における変位量Uと切羽からの距離Lとの関係

えるが、トンネル径1Dを経過してから急激に変位が増加する場合があるので、切羽観察で判断し、厚めに吹付けを行ない、後普請とならないように注意する必要がある。

(2)砂質地山

砂質地山は、固結度が小さいために変位は掘削と同時に発生する傾向にある。これらの地山は含水分量によって掘削と同時に崩落する場合と、そうでない場合がある。また、砂質地山の変位は、下半掘削時の挙動から推定すると切羽先方から発生していて掘削と同時にそのほとんどが終了する傾向があるので、付近に重要な構造物がある場合、または土被りが小さい場合には先受けパイプなどで事前にトンネルの周囲を固めて掘削する必要がある。また、変位が掘削と同時に発生し、荷が当初から支保工に作用するので、支保工としては、銅アーチ支保工などで一次荷重をささえる必要がある。

(3)粘性地山

粘性地山は、掘削の進行にともなって変位量が增大していく。このような地山にあっては、当初の計測から収束変位量がどの程度になるかを予測して、変位の大きさの程度に応じた対策計画を事前に決めておき、施工の対応を早くすることが効果的であると考えられる。

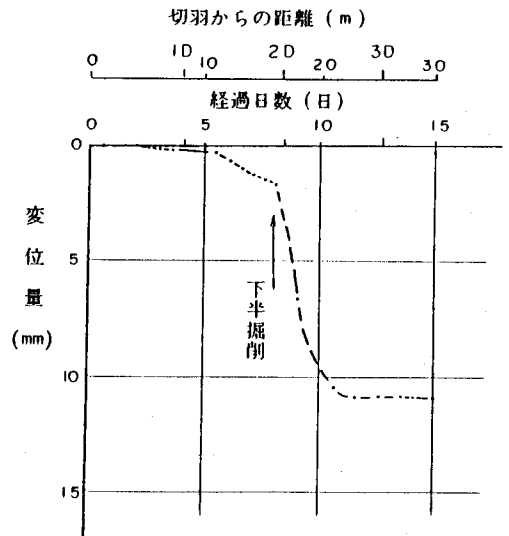


図-5 砂地山における変位量Uと切羽からの距離Lとの関係

また、これまでの計測結果から、図-8に示すように初期変位量と最終変位量との間に相関関係があることがわかったので、初期変位量から最終変位量が予測できれば、掘削後できるだけ早期に施工上の対策ができ、地山の安定に結びつけることができるものと考えられる。

4. 簡易的な粘性地山の変位量の予測方法

粘性地山を掘削すると図-9に示すような変位曲線となる。この変位曲線は、地山の物性、層、節理等と土被り、トンネル掘削切羽からの距離、トンネル断面形状、掘削後の経過時間など種々の影響を受ける。これを式で表わすと下記の通りとなる。

$$U = f(L, t, E, H \dots) \quad (1)$$

ここで

- U：変位量
- L：掘削切羽からの距離
- t：経過時間
- E：地山の物性
- H：土被り

この中で、掘削時に求められる情報は、L、H、tであるが、トンネルの内空変位に最も影響を与えられると考えられる因子は掘削切羽からの距離Lである。また、前述したように初期変位量と最終変位量との間に相関関係があることから、初期勾配を与える因子と粘性地山の変位を表わすと次式のようなになる。

$$U = A f(L) \dots\dots\dots (2)$$

$$U = A \log(1+L) \dots\dots\dots (3)$$

ここで

- U：変位量 (mm)
- L：掘削切羽からの距離 (m)
- A：初期係数

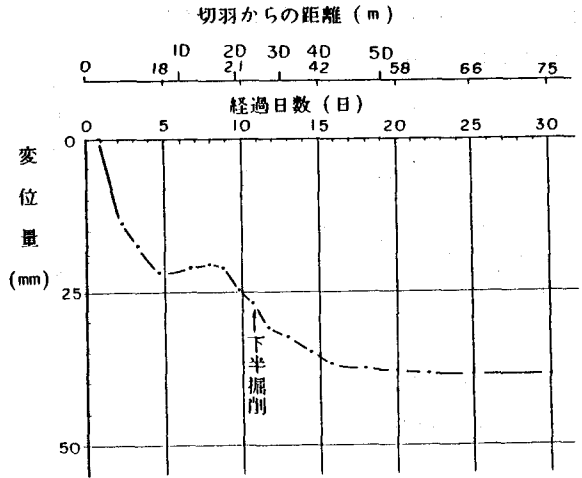


図-6 粘性地山における変位量Uと切羽からの距離Lの関係

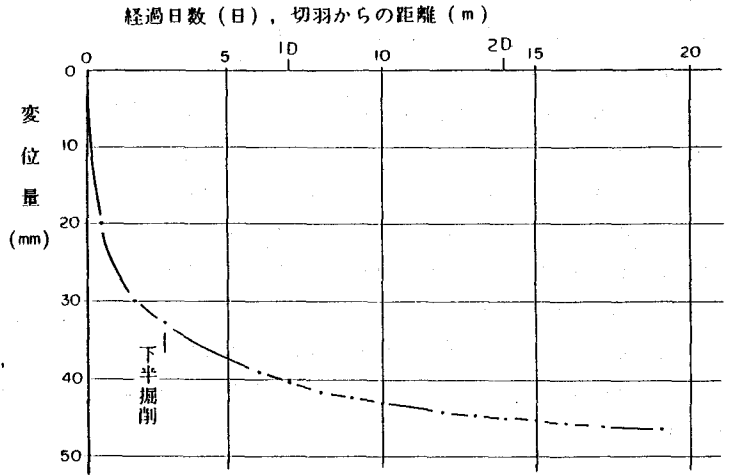


図-7 粘性地山（ミニベンチ）における変位量Uと切羽からの距離Lとの関係

初期係数は、切羽から5 m程度の範囲で計測した3点程度の変位と距離から次のようにして求める。

$$\Lambda = \frac{1}{n} \left(\frac{U_1}{\log(1+L_1)} + \frac{U_2}{\log(1+L_2)} + \dots + \frac{U_n}{\log(1+L_n)} \right) \dots\dots\dots (4)$$

ここで

Λ：初期係数

n：計測個数

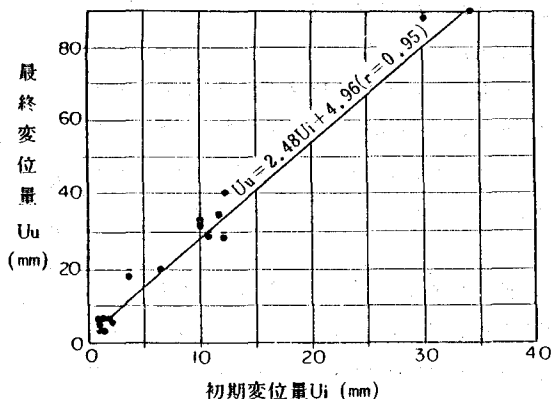


図-8 初期変位量と最終変位量との相関関係

5. あとがき

地質として、硬岩地山、砂質地山、粘性地山についての変位の特徴を示したが、硬質地山と砂質地山の変位は同様な変位曲線であるが、変位の大きさと発生形態が相違するので施工上注意する必要がある。

また、粘性地山においては、ある一定のカーブをえがき、初期変位を測定することにより、その最終変位量をほぼ推定が可能であることを示した。これを利用して、現場で測定した段階で初期変位量と最終変位量の関係を事前に求めておき、施工現場において直に、計測結果が反映できるようにしていくようにすべきである。

なお、地質によっては、地層、節理、地下水、土被りなどによっては変位形態がかなり異なるので、これらの計測と施工データを集め解析して、今後の設計・施工に反映させていく必要がある。

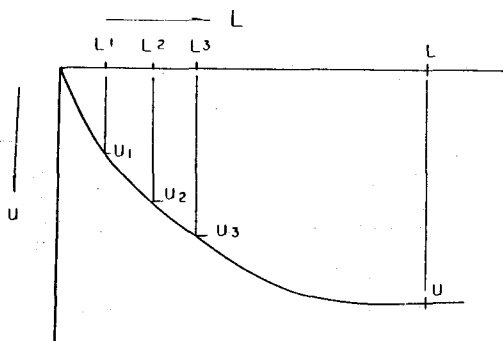


図-9 変位量Uと切羽からの距離Lとの関係

参考文献

- (1) 土木学会岩盤力学委員会編；トンネルの地質調査と岩盤計測，土木学会，昭和58年7月
- (2) 寺田光太郎，五味道義，肥後満朗；NATMにおける円空変位の予測と施工管理について，第14回道路会議論文集，昭和56年10月

(44) STUDY OF THE GROUND DEFORMATION RESULTING FROM DRIVING TUNNELS

Hazama Gumi, LTD. Michiyoshi gomi

The relationship between the convergence value at a section of tunnel and its distance from the face are shown for various grounds like hard rock, sandy soil and cohesive ground together with the characteristics of the deformation line in each type of ground.

The following formula is suggested roughly to estimate the deformation in cohesive ground:

$$U = A \log (1 + L)$$

where U = deformation in meters
 L = distance from the face in meters
 A = primary coefficient