

1. まえがき

トンネル掘削にともなうトンネルの内空変位量やゆるみ深さは、地質、土被り、地山の強度、掘削断面形状と大きさ、掘削工法など周辺環境により種々相違する。これをトンネル掘削後できるだけ早期に計測して、安全や経済性向上のため施工に反映させる必要がある。従来、この内空変位量やゆるみ深さの予測は、同様な地質条件下でのトンネル変位の実測例や支保の適用例、事前の地質調査をもとにした変位挙動解析結果を参考に、試験坑を掘削する、そのトンネルを掘削しながら計測してその結果を反映するなどの方法で行っているのが現状である。

本文は、これまでに施工されたトンネルでの約60ヶ所の計測データを内空変位量とゆるみ深さについて整理し、この結果をどのように施工管理に反映させるかについて提案を行ったものである。

2. 内空変位の挙動

トンネルを掘削すると周辺地山がゆるみトンネル内空側に変位が表われる。この変位は、地山や施工状況により相違する。したがって、トンネル掘削にともなって発生する変位がどの程度大きくなり、また、何時収束するかは、トンネルの支保の増減や覆工の時期、掘削工法等を決める重要な要素である。

変位量の大きさを決める手法として、筆者等は、切羽から5m以内で計測した初期内空変位量を計測することにより簡易的に内空変位量と切羽距離の関係を予測する方法として式(1)を提案した。この式に収束距離を代入することにより最大内空変位量を予測することができるものと考えている。

$$u = A \log(1 + L) \quad \dots\dots (1) \quad (L < 100m) \quad L: \text{掘削切羽からの距離 (m)}$$

ここで、 u 内空変位量 (m)

A : 初期変位係数

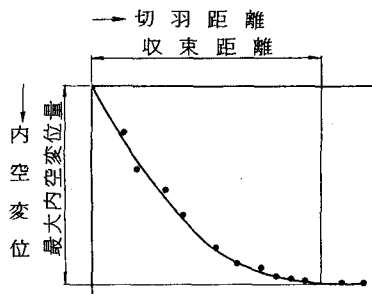


図-1 切羽距離と内空変位量の関係

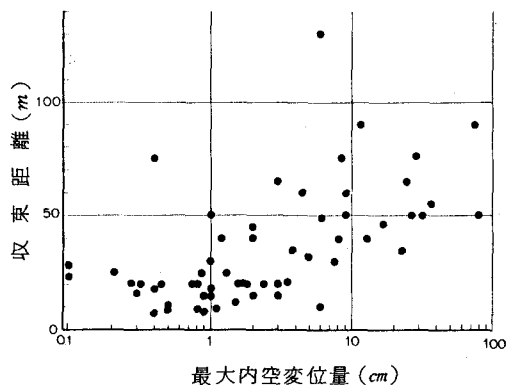


図-2 片対数で表わした収束距離と最大内空変位量の関係

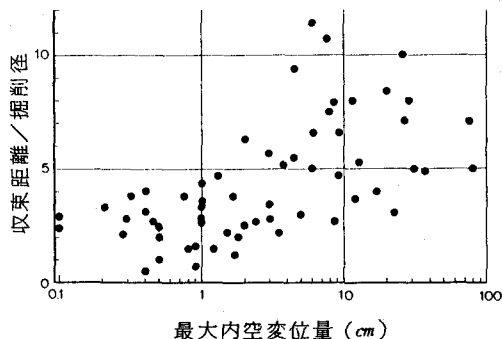


図-3 片対数で表わした収束距離/掘削径と最大内空変位量の関係

次に、何時収束するかが問題になる。そこで、これまでに測定された内空変位量と切羽距離の関係データを図-1に示す位置を最大内空変位量と収束距離として求めたものを図-2、図-3のように整理した。また、収束距離の分布、収束距離／掘削径の分布と最大内空変位量の分布を図-4、図-5、図-6に示す。

この結果、内空変位量の収束距離は100 m以下であり、このうち収束距離は20～30 mが48%を占めている。また、トンネル掘削径の1.2倍以下で、このうち、3～4倍が44%を占めている。さらに、この調査での最大内空変位量は1 cm以下が38%を占めている。また、式(1)は、距離と共に内空変位量が増加する関係式となっている。しかし実際には内空変位量は、ある距離に達すると収束するのでこれまでの実測データを検討して修正していく予定である。

なお、内空変位量の大きさや、収束時期の傾向は地質などにより大きく変化すると思われるので今後さらに分析する必要がある。

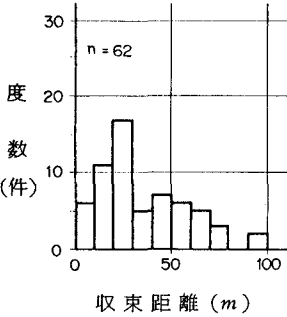


図-4 収束距離の分布

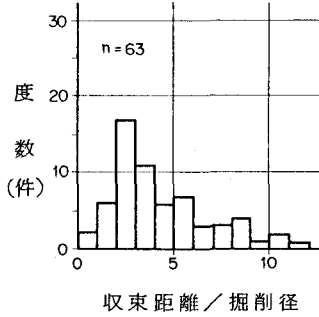


図-5 収束距離／掘削径の分布

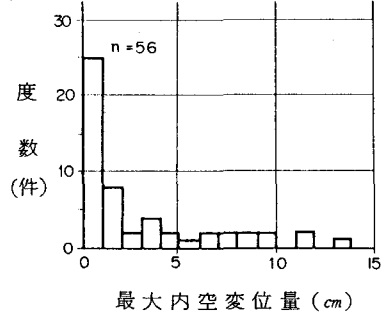


図-6 最大内空変位量の分布

3. ゆるみ深さ

トンネル周辺地山のゆるみ深さは、支保の大きさを決める重要な因子である。しかし、このゆるみ深さの計測は計測器の設置及び計測に時間が掛ること、計測費用が高価であるなど問題があるので、そのトンネルの代表的な地質で1～2ヶ所計測するか、または、全然しない場合が多く日常管理に適用しにくいのが現状である。

そこで、内空変位量とゆるみ深さの間に相関関係があるものならば、内空変位量を計測することによりゆるみ深さを推定することが可能になるのではないかと考えて、これまでの内空変位量と地中変位量の計測データを図-1、図-7に示す状態をそれぞれ最大内空変位量、ゆるみ深さとし図-8、図-9のように整理した。

この図より、最大内空変位量が約1.5 cmまでは、ゆるみ深さとの関係があるように思われるが、1.5 cm以上になるとゆるみ深さが大きくならない傾向を示している。図-9は最大内空変位量が1.5 cm以下のゆるみ深さの平均値を示したものである。図-9に示すゆるみ深さと最大内空変位量の関係は、式(2)で表わされようである。

$$y = C \log (1 + u) \quad \cdots \cdots (2) \quad (u < 1.5 \text{ cm})$$

ここに

y : ゆるみ深さ (cm)

u : 最大内空変位量 (cm)

c : 定数

定数Cについては、地質、施工条件によって異なるものと考えられるのでデータを分析して特性を把握していく必要がある。また、このデータでは、ゆるみ深さの分布は図-10に示される通りである。

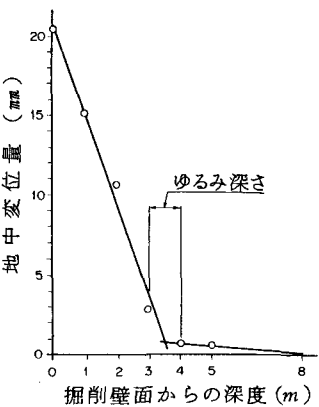


図-7 地中変位量と掘削壁面からの深度の関係

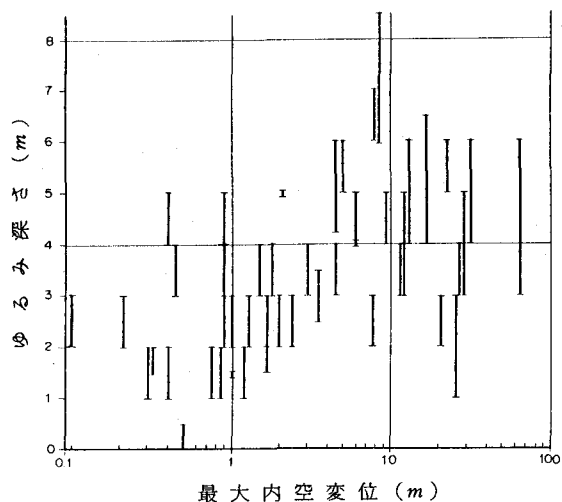


図-8 片対数で表わしたゆるみ深さと最大内空変位量の関係

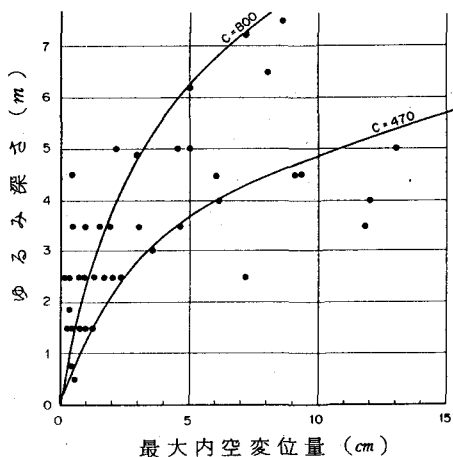


図-9 ゆるみ深さと最大内空変位量の関係

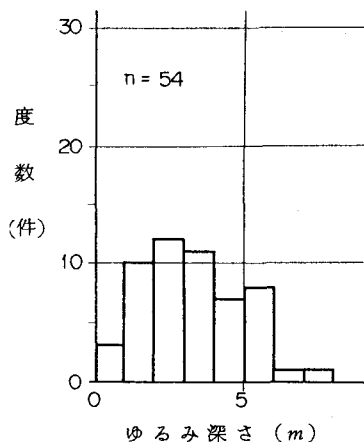


図-10 ゆるみ深さの分布

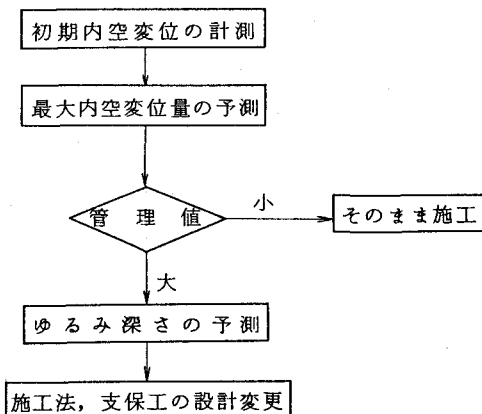


図-11 施工管理フロー

4. 施工管理

トンネル施工中の計測による施工管理は、いかに早く計測して設計・施工に反映させるかにある。普通、切羽観察により定性的に地山状況を把握し、計測にもとずいて定量的に地山の特性や安定性を判断して安全施工や支保の増減につなげているのが現状である。この計測のうち内空変位測定は、地山の特性や安定性を反映しており、また、手軽であることから实际的で有効な管理項目である。実際の施工において、切羽に近接した位置で施工管理するには、切羽に近接して計測した初期の内空変位から将来の最大内空変位量とゆるみ深さを予測できれば支保の設計に反映できるものと考えられる。そこで、図-11に示す施工管理フローを考えて見た。これは、初期の内空変位量を切羽に近接した位置で計測して、この計測値を用いて式(1)から最大内空変位量を予測し、この予測最大内空変位量が管理値をオーバーした場合に、式(2)からゆるみ深さを予測することにより、施工法の検討や、支保の増減の参考資料に役立てることができるものと考えられる。この中で、最大内空変位量の管理値の大きさをどう決めるかということと、ゆるみ深さから施工法や支保の増

減にどのように結びつけていくかは今後の課題であり、検討していく予定である。

5. あとがき

トンネル掘削における日常管理の1つとして、初期内空変位量を測定することにより、簡易的に最大内空変位量を予測し、この値を用いてゆるみ深さを予測することを提案した。しかし、ゆるみ深さは、地層の傾斜、節理、掘削工法、掘削速度、断面形状などさまざまな条件により相違すると思われるので、今後、種々検討を加えて補正していかなければならないと考えている。

今後は、このゆるみ深さについて、さらに検討を加えて精度のよいものとするとともに、支保の設計・施工への反映についても検討する必要がある。

なお、本文作成に当って、トンネルと地下に掲載されたNATMの文献データを使用させていただいた関係者の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会誌；トンネルと地下，1977～1984
- 2) (社)日本トンネル技術協会；トンネル掘削によるゆるみ領域の調査報告書，昭和57年3月
- 3) 土木学会；トンネルの地質調査と岩盤計測，昭和58年7月
- 4) 五味道義；トンネル掘削にともなう地山変位の一考察，第16回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，1984.2

Out line

The displacement of the bedrocks surrounding tunnels accompanying tunnel excavation is different according to the geological features, earth covering, the strength of the bedrocks, the shape and size of excavated section, excavating method and so on. In order to reflect to the safety and economical efficiency of construction, it is necessary to measure the displacement as early as possible after the excavation of tunnels. It is the present status to carry out the forecast of convergence and loosening area among the displacement of bedrocks with the examples of the actual measurement of tunnel displacement under similar geological condition, with the results of analyzing displacement on the basis of preliminary geological investigation, by the method of excavating pilot tunnel, by the method of determining the procedure while excavating tunnels and so on. Moreover, recently as the method of reflecting to the design and construction accompanying tunnel excavation, the back analysis method utilizing the actually measured data has been studied.

In this paper, the measured data in about 60 places among the tunnels constructed so far were summarized in terms of convergence and loosening area, and proposal was made on how to reflect these results to the execution control.