

III-B 61 レーザー変位計によるトンネル切羽の変位挙動計測

大成建設技術研究所 正会員 川上 純

大成建設技術研究所 正会員 飯星 茂

大成建設土木技術部 正会員 池田 宏

東京大学工学部 正会員 福井勝則

1. はじめに

トンネル切羽は、地山応力の集中、未知の地質等の自然条件が厳しく、また支保工建て込み、装薬作業等の人力作業が集中する非常に危険な場所である。特に最近のトンネル掘削では、掘削断面の大断面化、熟練坑夫の減少が顕著であり、切羽崩壊事故の可能性は低くなっていない。

筆者等はレーザー変位計を用いて切羽の変位を測定することにより、切羽の崩壊を推定する方法について検討している。現在までに、数箇所のトンネルにおいて、掘削後の切羽の変位挙動の計測を行っている。ここでは、測定データをもとに、切羽の変位速度の経時変化に注目し、切羽の安全性の判定方法について検討した。以下にその内容を報告する。

2. 切羽変位の計測方法

使用している計器は、キーエンス社製のレーザー変位計で、センサーヘッドはLF-2510、コントローラはLF-2550である。測定距離は25mで、精度は±0.5mmである。

図-1に切羽変位の測定概要を示す。変位測定用のターゲットとしては市販の反射シートを用い、切羽に接着剤で固定した。レーザーのセンサーヘッドは、切羽から10～20m離れた側壁の鋼アーチ支保にマグネットに取り付け、ターゲットの変位すなわち切羽のトンネル軸方向の変位を測定した。測定値は20秒間隔でノート型パソコンに収録した。

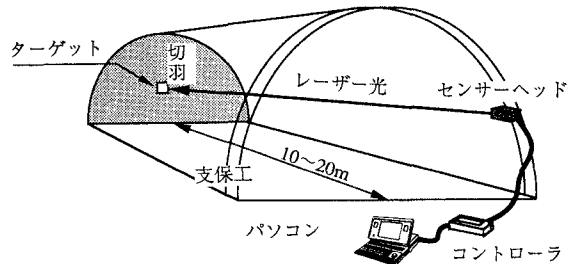


図-1 切羽変位の計測方法

表-1 計測したトンネルの切羽形状および地質

トンネル	切羽形状 (m) 幅×高さ	土被り (m)	地 質	一軸圧縮強度 (MPa)
A	11×5.5	50	粘土状蛇紋岩	0.44～1.19
B	9.4×6.1	45	未固結砂礫層	—
C	12.8×6.4	180	凝灰角礫岩	15～20
D	10.6×5.3	210	砂質凝灰岩	5～8

3. 切羽変位の測定結果

測定したトンネルの切羽形状と地質を表-1に示す。測定は切羽吹付終了後から開始した。図-2に切羽変位の経時変化の測定例を示す。図中の異常値は重機等によりレーザー光の一部が遮断されたものである。また、吹付中には、空気の流れのため測定は困難であった。図-2の例のように、計測した切羽は全て掘削直後は大きな変位速度を示すが、経過時間とともに変位速度は減少していた。

図-3は、測定結果から連続性の良い部分のデータについて求めた変位速度 V と経過時間 t との関係、両対数グラフで示したものである。なお、図中には、朝倉¹⁾の測定結果もプロットしてある。変位速度の対数と経過時間の対数は以下の式のような直線関係があり、その傾きすなわち a はほぼ1となっている。

$$\log(V) = b - a \cdot \log(t) \quad \cdots \cdots (1)$$

岩石の一軸圧縮クリープ試験によると、一次クリープでは（1）式と同様な関係が示されており²⁾、掘削直後の切羽の挙動は一次クリープに近い挙動を示しているといえる。Bトンネルの計測データでは、変位速度が直線からずれているものがあるが、この測定値は2次吹付け後のデータであり、支保の効果が現れているものと考えられる。また、A、B、Cトンネルおよび朝倉の変位速度は、地質および土被りが異なっているにもかかわらず、ほぼ同程度となっており興味深い。

Dトンネルでは、変位速度が0.1mm/minと最小値を取った後、変位が急激に増大して切羽崩壊に至っていた。図-4は、Dトンネルの変位速度の逆数と経過時間の関係を示したものである。図-4(b)は(a)の崩壊付近の拡大図であるが、変位速度の逆数と経過時間は直線関係が存在している。したがって、変位速度が増大している段階では、変位速度の逆数の推移を見ることにより、数10分前から崩壊時刻の予測も可能であることが分かる。

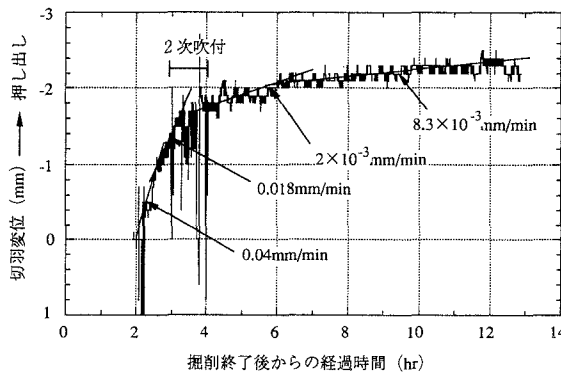


図-2 切羽変位の計測結果の例（Bトンネル）

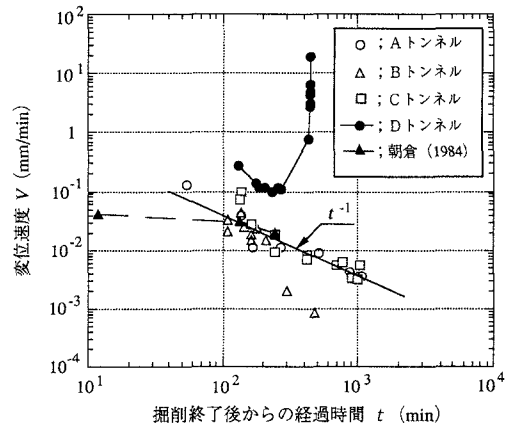


図-3 変位速度と経過時間の関係

4. まとめ

数カ所のトンネルにおいて、掘削後の切羽変位の計測を行った。その結果、切羽変位の経時変化はクリープに近い挙動を示すことが明らかとなった。このようなクリープ現象を示す切羽については、切羽変位をモニタリングすることにより切羽の安全性を客観的に判定することができると思われる。

すなわち、変位速度が減少する段階では、切羽は安定に向かっていると判断できる。また、変位速度が一定となっている場合は、切羽崩壊に移行する可能性があり、十分注意する必要があると判断できる。また、変位速度が増大する場合は、立入り禁止等の崩壊を前提とした対策が必要であろう。今後はより多くのデータを蓄積し、上記の関係をより正確に把握するとともに、切羽の監視方法のシステム化を進めて行く予定である。

<参考文献>

- 1) 朝倉俊弘他：トンネル切羽付近における変位計測，第6回岩の力学国内シンポジウム，pp181-186，1984
- 2) 福井勝則：岩石のクリープ特性と寿命予測，資源・素材学会秋季大会，E3，pp9-12，1993

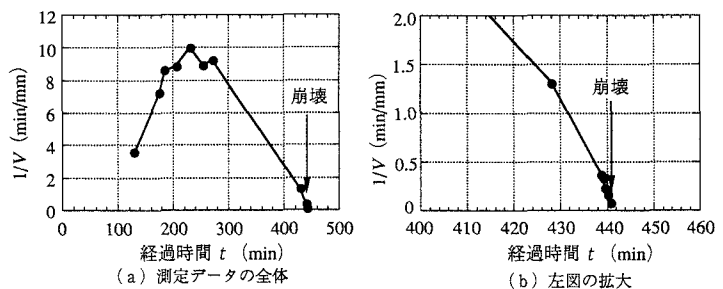


図-4 変位速度の逆数1/Vの経時変化