

VI-2 蛇紋岩地帯におけるトンネル掘削と計測 —— 嵐山トンネル

大成建設(株) 正 員 中塚 静夫
大成建設(株) 手塚 洋

1. はじめに

嵐山トンネルは、旭川市の中心より北西5kmに位置する延長1434mの2車線の道路トンネルである。蛇紋岩の分布規模が日本最大である神居古潭変成帯を横断する形で建設されたため、全延長の32%に当る446mにわたって葉片状、粘土状の蛇紋岩が出現した。過去において蛇紋岩地帯のトンネル工事は多大なる困難を伴ってきた。嵐山トンネルにおいても蛇紋岩部で、2度の崩落、湧水、160t/m²におよぶ膨圧及び一次覆工等の変状発生などがあり、工事は難航したが、増ボルト打設、上半仮閉合、斜めパターンボルトなどを対策工として採用して蛇紋岩部を突破し、昨年10月25日に無事竣工を迎えることが出来た。

嵐山トンネルの掘削工法は、NATMによる上半先進ショートベンチ工法であり、発破工法を用いた。

蛇紋岩は膨圧の激しい地山であるため掘削の基本として、①地山を極力ゆるめなようにする、②早期断面閉合する、③計測を強化し、計測結果を施工に反映させる、ことを考えた。

しかし、蛇紋岩における切羽周辺の地山の詳しい挙動は把握されておらず、地山をゆるめない効果的対策を自信を持って講じることができなかった。

この為、蛇紋岩地山の特性曲線を把握することにより、適切な支保剛性を模索し、今後の施工の基礎とする目的も兼ねて、トンネル掘削に伴う切羽前方の3次元変位測定を実施した。

本文においては、この先行変位計測結果について報告する。

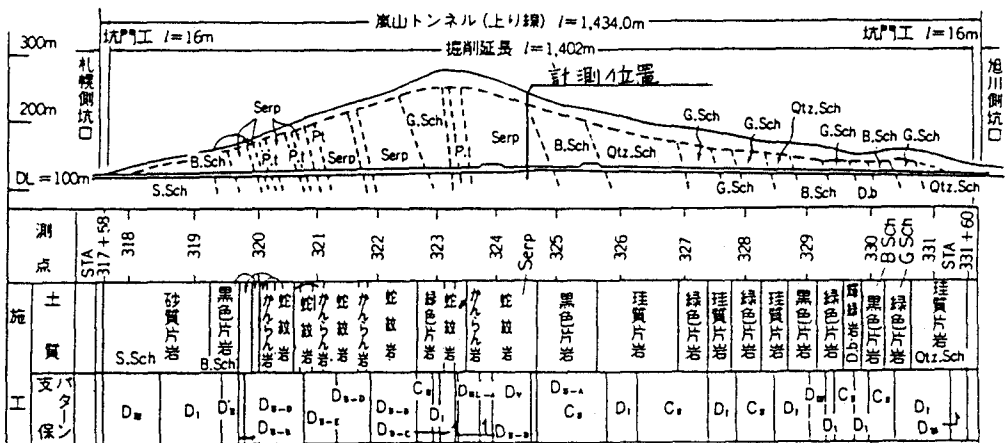


図-1 嵐山トンネル地質縦断面図

2. 先行変位計測結果

2-1 計測及び地質概要

旭川方坑口より約700mの地点の最初の蛇紋岩層に、トンネル到達前にあらかじめ地表から2本の鉛直ボーリングを行い、三次元の変位測定が可能な計測器（トリベック）を用いて先行変位測定を実施した。測定位置付近の地質は概略図-1に示すようなものであり、蛇紋岩は葉片状蛇紋岩が主で、多いところで20%程度の塊状蛇紋岩が混在している状況であった。又、当該地点の切羽観察の結果によると、葉片状蛇紋岩は非常にゆるみが早く、掘削後数時間で切羽あるいは天端からの肌落ち、小崩落が生じる状況であった。

2-2 支保パターン

先行変位計測地点付近での支保パターンを図-2に示す。特徴としては、脚部沈下防止の為、上・下半脚部に吹付コンクリートにより補強を行ったこと、上半断面の120°間には $\ell=3$ mのフォアパイリングを施工し、パターンボルトは斜め前方60°に向けて施工していることなどである。

2-3 先行変位計測結果

先行変位計測の測定結果から以下の事項が明らかになった。

(1) トンネル周辺の地質状況及び土被り条件を一樣と見なし、計測断面と、トンネル切羽との関係を逆転させて考え、計測結果を集積することにより、トンネル掘削中のある時点における切羽前方の地山状況が示されたものと考えることができる。

(2) この図から、トンネル掘削の影響は切羽が計測断面に1D程度近づいた時点から始まり、通過後2D付近で収束することがわかる。（このことは後で述べる変位特性曲線により明確に示される。）

(3) トンネル上部にはアーチ状のゆるみ領域が形成され、トンネル上半盤以深においては地盤がもり上がる傾向がある。

このため切羽前方の地山に著しい収縮がみられ、この部分にかなりの応力集中が生じていることがわかる。

特に、下方からの地盤のもり上がりの現象は、計測の最深部の測点にまで及んでいた。

2-4 先行変位計測結果の分析

先行変位計測データより指数関数への曲線回帰を行って、切羽進行と関連づけた、各測点における変位特性曲線を作成した。

ここで得られた近似曲線例を次図に示す。

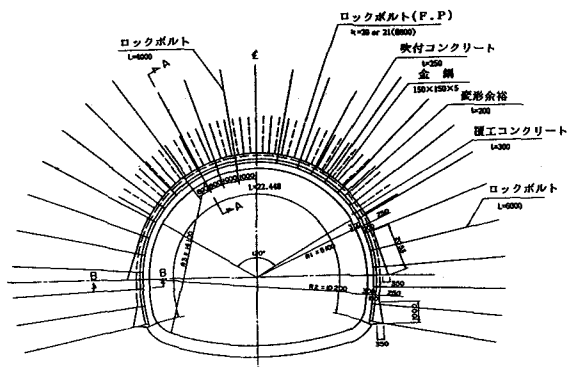


図-2 支保パターン図

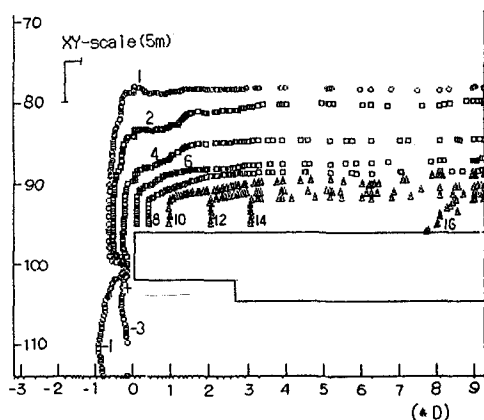
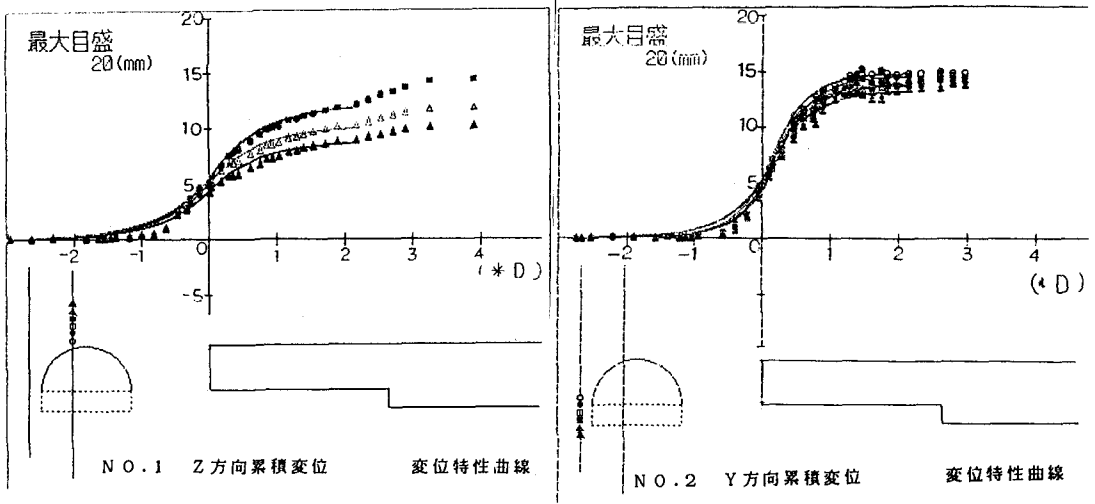


図-3 鉛直方向変位図



これらの図より、以下に示すことが推察される。

- (1) トンネル掘削にともなう周辺地盤の変位 (Y) は、切羽進行 (X) をパラメーターとする下記の指数関数でほぼ近似できる。

$$Y = A \times [1 - \exp \{-\beta (X - X_1)\}] + B$$

- (2) 上半掘削が周辺地山に及ぼす影響は、ほぼ切羽前方 1 D から始まり 2 D 程度後方で収束する。

- (3) 近似特性曲線から計算した先行変位率の一覧を図-6 に示す。

この結果から先行変位率は各変位方向成分毎に異なり、トンネルと測点間の距離にも左右される傾向のあることがわかる。

代表的な例として、トンネル天端付近での地山の鉛直方向の先行変位率は約 4.5%、上半脚部付近の水平方向の先行変位率は約 3.5% 程度となっている。

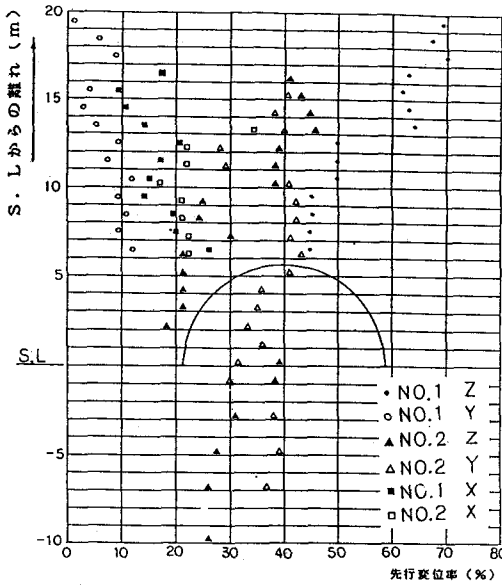


図-6 トンネルからの離れと先行変位率

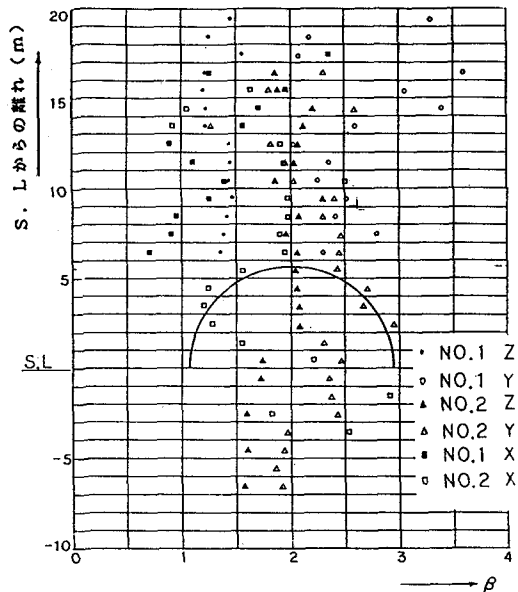


図-7 トンネルからの離れと β の関係

(4) (1)で示した近似式において、 β は切羽進行にともなう地山変位の収束係数であり、 β が大きい程変位の収束は速くなり、切羽の通過前後の短期間に急激な応力解放が生じることを示している。一方、 β が小さければ地山の変位の収束は遅れるが、切羽付近の応力解放はそれほど急激ではないことを示している。

今回の先行変位計測結果における各測点での β の値をプロットしたものを図-7に示す。

この図において、No.1のZ（鉛直方向成分）とNo.2のY（水平方向成分）に着目すると、前者は1.5、後者は2.5～3.0付近に分布しており、鉛直方向の地山変位が水平方向に比較して収束が遅いことを示すと同時に、切羽付近での地山の応力解放は水平方向が鉛直方向に比べて相対的に大きいことを示している。このことは、トンネル上方ではフォアパイリングによって切羽通過前後での急激な鉛直方向の変位が抑制されたことによるものと推定される。

(5) 各測点における $A \times \beta$ の値をプロットしたものを図-8に示した。

$A \times \beta$ は変位特性曲線の変曲点での変位速度を示している。 β の場合と同様にNo.1のZ成分とNo.2のY成分とに着目すると、前者の値が後者の値の $\frac{1}{2}$ 程度となっており、鉛直方向変位は水平方向変位に比して相対的に初期の変位速度が抑制される結果となっている。

(6) 変位特性曲線の変曲点として定義した切羽離れ X_1 の値を各測点毎にプロットしたものを図-9に示す。

この図からNo.1のZ成分とNo.2のY成分における X_1 はほぼ0.1～0.2 $\times D$ （D：トンネル直径）の間にある。

この値は今回のような施工を行った場合に支保が効果を発揮しはじめる位置を示すものと考えることができる。

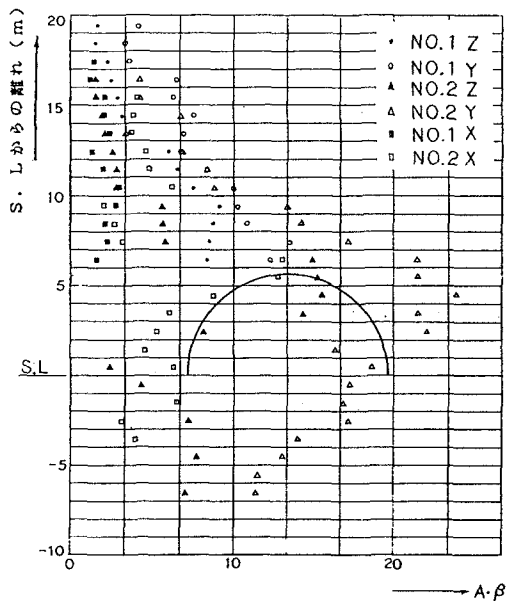


図-8 トンネルからの離れと $A \times \beta$

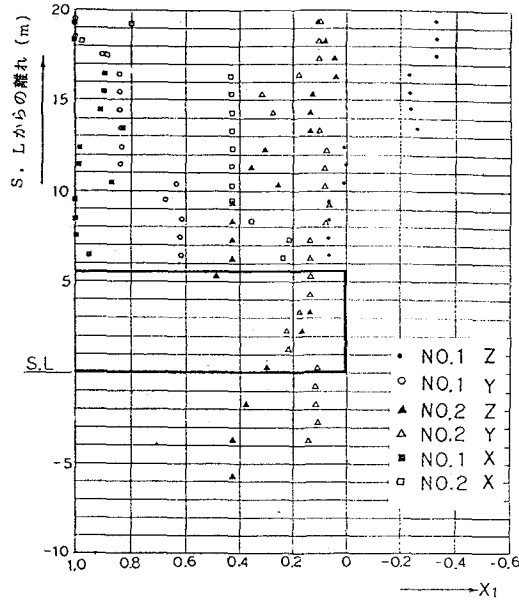


図-9 トンネルからの離れと X_1 の関係