

(12) 初期変形速度の大きいトンネルの計測管理

北海道開発局 室蘭開発建設部

沼沢 一博

前田建設工業(株)札幌支店

渡辺 信彦

同 上

○ 牧 正

同 上

北林 義隆

前田建設工業(株)技術研究所

正会員 岡田 正之

CONTROL OF TUNNEL DRIVING BY MEASURING LARGE INITIAL DEFORMATION VELOCITY

Kazuhiro NUMASAWA ,

Hokkaido Development Bureau

Nobuhiko WATANABE ,

Maeda Corporation

Tadashi MAKI ,

Maeda Corporation

Yoshitaka KITABAYASHI ,

Maeda Corporation

Masayuki OKADA ,

Maeda Corporation

Hodaka Tunnel is a dual-carriageway highway tunnel, which was driven through Kamuikotan metamorphic rock stratum. In the bad ground section where geological displacement increased severely, the steel supports were deformed.

The deformations of steel supports were measured by using laser beam theodolite and forecast by the statistical analysis method, which enabled us to take the early reinforcing measures to keep the tunnel stable. This report elaborates on the captioned subject.

1. はじめに

一般国道274号は、札幌市を起点に、夕張～日高山系の山脈を貫き、帯広市に至る全延長179.6kmの日高山脈横断道路であり、北海道の道央と道東とを結ぶ交通の大動脈である。

穂高トンネルは、その内の不通区間(穂別町～日高町)に位置する、延長1,991mの山岳トンネルである。

ルートは先白亜紀の造山運動により形成された神居古潭変成帯に属し、地質は粘板岩と砂岩とが互層となり、ところどころに粘土層を介在する、脆弱な地質である。また、掘削にともなう変形(内空変位・沈下等)も多大なものがみられる。

本稿では、特に、初期変形速度の大きい場合に合った、レーザー光線利用による計測管理と水平調査ボーリングデータ等を用いた、変状要因把握による変位予測についての実績及び考察を述べるものである。

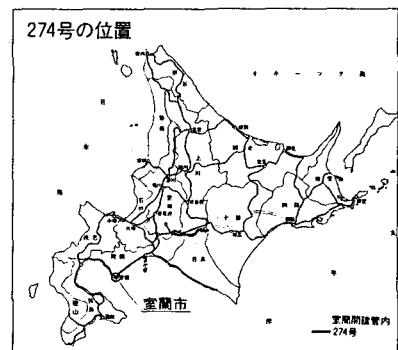


図-1 一般国道274号位置図

2. 地質概要

当トンネルが通過する地域は、先白亜紀～初期白亜紀時代の激烈な構造運動によって著しく、しゅう曲したり、また多くの断層によって地層は『じょう乱』しており、これらの影響で節理・亀裂等の岩盤の分離面の発達した、日高累層群のハッタオマナイ層が分布している。

地質は、図-2に示すように、粘板岩が主体で、砂岩と互層をなし、ところどころに粘土層が介在している。また、岩質は頻亀裂傾向を示し、風化の影響を受けやすく、鏡肌が見られる。

湧水については、坑口より920m付近より急に増え(約100ℓ/分)、さらに990m付近では、一時約1,000ℓ/分に増大した。これは、掘削に先立ち行なう水平調査ボーリングでは予測出来なかった湧水で、ロックボルトの削孔に伴い流出するということで、遮水層により滞水した被圧地下水ではないかと思われる。

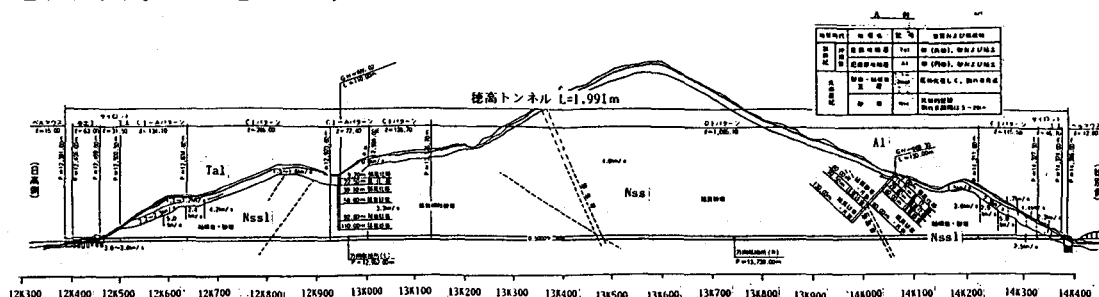


図-2 穂高トンネル地質縦断図

3. 施工概要

掘削工法は、NATM-ショートベンチ工法で、上・下半交互施工としている。

掘削方式は、油圧ジャンボによる削孔・発破工法で、ズリ出しはタイヤ方式としている。

地質不良による変状区間の補助工法としては、増ロックボルト・根足補強ロック・鏡止めロック及びルーフボルト等を施工している。補助工法の選定フローを、図-3に示す。

地質不良部の重装備支保-Eパターンの標準断面図を、図-4に示す。

NATMの補助工法選定フロー

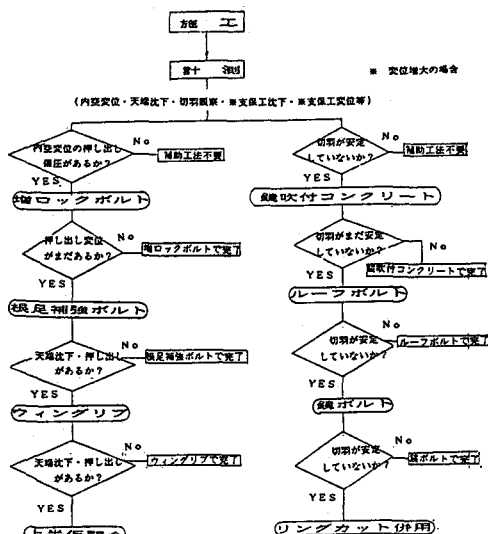


図-3

Eパターン標準断面図

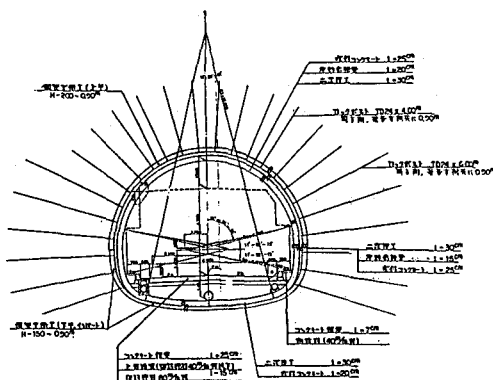


図-4

4. 計 測

4. 1 計測管理（掘削管理基準）の経緯

トンネルを掘削する上で、計測管理は安全性の確認及び経済性（品質）の確保という両面を目的として行なわれる。

計測結果については、施工に的確に反映させるために、各支保パターンに適した管理基準値を設定し、出来る限り早期に最終変位量を予測して、管理基準値と照らし合わせた上で、現象に応じた対策工をとることが必要となってくる。

当現場では、まず同地質・同規模のトンネル事例をもとに管理基準を設定し、施工管理をし、データを集積した。そして、図-5に示すように、実測データから上半1D通過位置での変位量と最終変位量との相関をつかみ、上半1D通過位置での変位量についての管理基準値を設けて、日常計測管理を行なってきた。

坑口より奥に掘削が進むにつれ、地山が不良（脆弱な頻亀裂質な粘板岩主体）であるとともに、土被りが大きくなるにつれて、変位も増大してきている状況が、図-6からもうかがえる。

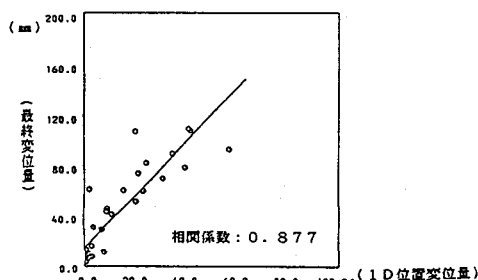


図-5 上半1D位置変位量～最終変位量の関係
(上半: 水平測線)

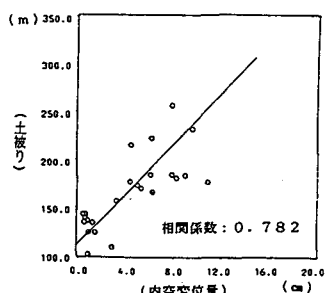


図-6 土被り～内空変位量との関係
(上半: 水平測線)

4. 2 支保工変位測定（レーザー利用）による掘削管理基準

坑口より920m付近において、地山が脆弱（粘板岩に未固結な粘土層が介在）な上に、本線左肩より湧水が伴い、すべり目に沿って肩より上方にかけて崩落があり、建込済み支保工4基の変位が急激に増大した。また、吹付け面のクラック、剥離が著しく、ロックボルトの座金の変形、ネジ部の破断等の現象も見られた。急きょ、掘削を停止し、補強を実施した結果、変位は収束したが急激な押し出しのため、巻厚不足の箇所が生じ、本線左側の4基の支保工を縫い返すという結果に至った。

そこで、変位の傾向を見ると、今迄の計測Aの結果から、穂高トンネルでは変位の時系列変化パターンは、以下のように2つのパターンに大別することが出来る。

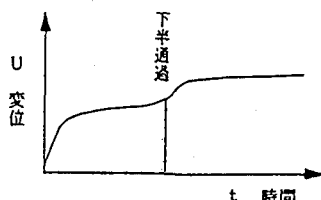
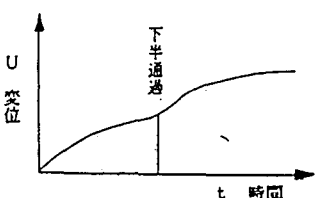
(A) 坑口から700m付近までに見られた、切羽の進行とともに、徐々に変形を生じる場合。

※ 粘土化した地層によるクリープ的変位が主因となるもので、比較的変位量が小さく（50mm以下）、収束までが遅い傾向にある。（図-7 クリープ型）

(B) 坑口から700m以奥に見られる、切羽が2～3基進行する間に大きな変形を急激に生じる場合。

※ 岩目の開放、湧水等によるゆるみの増加が主因となるもので、変位が大きく（100mm以上）、切羽の崩落につながるものである。（図-8 亀裂開放型）

掘削初期のCパターンでの変位の経時変化はクリープ型の傾向が強く、上半部掘削・下半部掘削の変位量割合は、ほぼ60%対40%であった。また、地山不良部(D、Eパターン)での変位傾向は、逆に、亀裂



開放型が多く、上半・下半掘削の変位量割合は、80%対20%に推移している。

当現場のような、亀裂開放型を示す地山不良部では、割れ目に沿う落石・崩落・湧水等に伴う突発的な崩落性変形が施工中に、時として発生するため、坑内観察と内空変位測定(A計測)のみでは対応出来ない場合がある。

特に、トンネル縦断方向に地質の変化(偏圧傾向含む)が著しい地山不良部については、内空変位・天端沈下測定の見測A項目と併用出来る、計測項目の必要性が生じてきた。

地質不良地山における、A計測項目の問題点として以下のことがあげられる。

- (1) 内空変位の測定間隔が20～30mであるため、局所的な変形に対応出来ない。
- (2) 内空変位測定値は相対変位量であり、測定ピン自体の沈下・押し出しの大きい箇所では、絶対総変位量(偏圧傾向把握)としては、とらえにくい。(→補強工の対応箇所が不明確)
- (3) 作業サイクルに影響されるため、測定時間が限定され、手間もかかる。

以上の点を考慮して、地山不良部においては、支保工建込用レーザービームからの支保工離れを1基ずつ測定して、経時的支保工変位を測定する方法を採用して、掘削管理に当たることとした。

支保工変位測定のメリットとして、以下の事があげられる。

- (1) 測定が簡便で、1基毎の支保工(地山)の動きを、山・川別に経時的に把握出来る。
- (2) 本線左、右のレーザー(不動点)から測定するため山、川別の絶対変位量がつかめ、補強工の必要施工範囲が特定でき、品質管理上(最終二次覆工巻厚確保)及び経済上の両面で有効である。

図-9に、変状モデル図及び、内空変位測定と支保工変位測定(レーザー)との比較を示す。

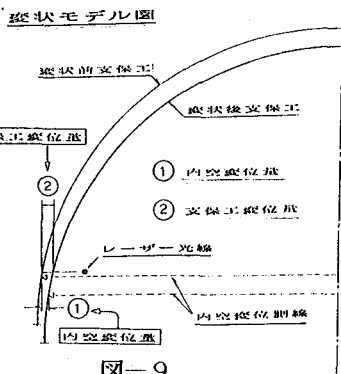
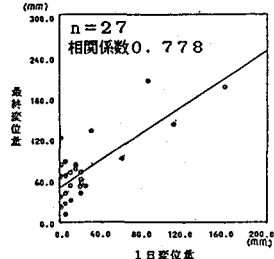


図-9

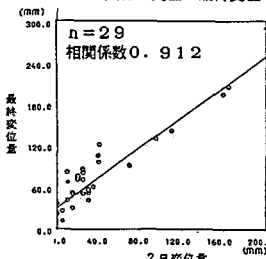
以上の測定方法を、日常計測管理に組み入れて、計測データを集積して解析を行ない、掘削管理基準値の設定をすることとした。

図-10に示すように、初期支保工変位(1～3日)と最終変位との強い相関が認められた。

(1) 1日経日支保工変位～最終変位の相関



(2) 2日経日支保工変位～最終変位の相関



(3) 3日経日支保工変位～最終変位の相関

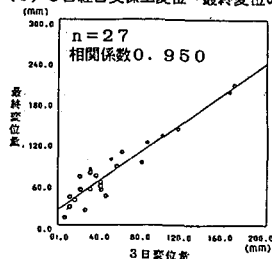


図-10 初期支保工変位と総変位量との相関

以上の結果より、まず、最終管理基準値を各支保パターン別に設定し、単回帰式より逆算して支保工変位量の初期段階における、掘削管理基準値の設定を行なった。(表-1)

1日、2日、3日の各掘削管理基準値を上回る場合は、図-3の補助工法選定フローに従い、検討、実施するものとした。

支保工変位測定による管理事例として、一例を示す。

坑口より、1,170m付近において粘土層を介在した脆弱な地層に遭遇し、変位量が増大し、管理基準値を越えた事を確認(支保工変位: 3日目-85mm)し、変位の大きい本線左側に重点的な補強を行なった。(図-11)

補強の結果、急激な変位は、収束傾向を示した。

4.3 変状要因把握による変位予測

図-11のグラフからいえることは、山側の支保工変位が大きいことと、初期段階(1~3日)の変位割合が大きいことである。このことは、急激な崩落性変形においては、変形初期に適切な補強をすることが重要である事を示唆するものであり、さらに、掘削前段階で変位量が予測出来れば事前に対策をうつことが可能となり、効果も期待できる。

以上の観点から、集積した計測データ、水平調査ボーリング成果等により、変位予測の重回帰分析を行なった。説明変数として、変状要因と考えられるデータ(地質・RQD・土被り・湧水の有無・粘土層の介在の有無等)をあげ、目的変数としては内空変位量をあげた。結果は表-2、3に示すように、重相関係数(0.908)、寄与率(0.824)と信頼できるものとなった。

そこで、掘削前段階で変状が予測される箇所を、あらかじめ補強工をサイクルに組み入れ掘削した。

(図-12)

図-11と12のグラフを比較すると、山側の支保工変位が約1/2になっており、早期の補強効果を示している。

5. まとめ

以上、穂高トンネルにおける計測管理方法についての考察を述べたが、地質が良好で変状が小さい(クリープ型変形)の場合の掘削管理には、計測Aの日常管理でも十分対応出来ると思われるが、特に、崩落性変状が起こりやすい、初期変形速度の大きい不良地山(亀裂開放型等)については、レーザー光線による支保工変位測定など、地山の状態にあった調査・計測を行なう事が、最適な施工を行なう上で不可欠であると思われる。さらに、地山特有の変状要因を探り、掘削前段階で変位を予測し、事前に対策工を考慮することが、今後とも、より重要なことと考える。

表-1 支保工変位測定管理基準値

支保パターン	変位管理基準値 (mm)		
	1日目	2日目	3日目
D型	50	60	65
E	50	65	75

支保工変位経時変化グラフ (増しロック後行箇所)

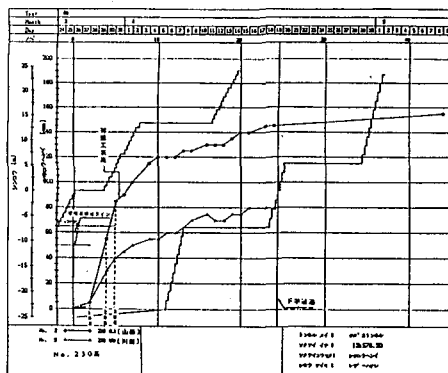


図-11

表-2

重回帰分析結果

NO	説明変数	偏相関係数	t値	変数選択の方法	非線形変位
4	CHISITSU	0.179	1.888	定数項	-62.125
5	RQD(%)	-0.444	-2.843	変位平方和 (SE)	13811.488
6	土被り	0.307	6.988	変位偏相関係数 (R)	0.908
11	NENDOBN	32.694	3.960	寄与率 (Rsq2)	0.824
				自由変数説明寄与率	0.805
				二重説明寄与率	0.787
				変位の自由変数 (F)	38.000
				変位の偏相関係数	19.065

表-3

(重回帰式モデル)

$$Y = 32.694X1 + 8.179X2 + 0.307X3 - 0.444X4 - 62.125$$

目的変数: Y: 内空変位量 (mm) --- 上半水準線 (C線)

説明変数: X1: 粘土層介在の有無

X2: 地質区分

X3: 土被り (m)

X4: RQD (%)

支保工変位経時変化グラフ (増しロックサイクル組み入れ箇所)

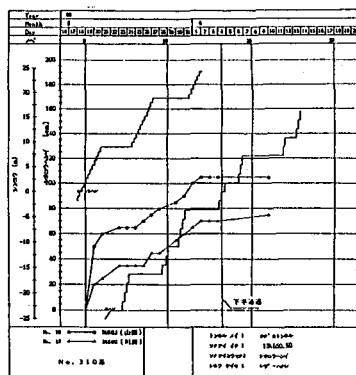


図-12