

中央道恵那山トンネル(長野県側)における長平沢断層 区間の応力測定結果と施工法について

日本道路公団名古屋支社

恵那山トンネル東工事業務所長

小林 一夫

日本道路公団名古屋支社

○ 恵那山トンネル東工事業務所本務工長 王 川 清

I. はじめに

長野県側からの恵那山トンネルの掘削工法は、補助トンネルでは先進導坑切掘削(レール方式)により、本線トンネルでは、側壁導坑先進リング掘削(レールとタイヤ方式の併用)による施工を行っている。前者の導坑先端は約3242m地奥まで進んでいるが、神坂谷5断層(約150m)に遭遇し切羽の異状崩壊により進行を阻害され、切羽以奥における水平ボーリングにより地質、湧水を確認しながら地山改良工法(薬液注入)、及びデブウェル工法(地山水頭の低下法)を併用し切羽の前進をはかっている。後者は長平沢断層(坑口より約2000m~2300m区間)を迂回し、補助トンネルより

の作業連絡坑により以奥の掘削を進め約

3145m地奥に達している。

長野県側で特に施工上問題となっているその長平沢断層は、極度に熱水変質を受けた地質で、導坑掘削に伴い地山の応力解放および塑性流動的傾向をおびた異状地圧が発生し、掘削後約5~6時間で地山の挙動が始り、約5日で約50 $\frac{cm}{m^2}$ の地圧がトンネル周辺に作用し、支保工に顕著な変形を生じ、地山の膨張、押出し

及び盤の浮上が激しく、掘削加背も著しく縮小させる。このため数回の経返しによる断面確保につとめたが、短時間にして断面内通過物は通行不能となり工事に支障をきたし、トンネルの安全を阻害するに至ったため、導坑の仮巻工法に踏切つたが、地山の異状な挙動を阻止するに至らず工法の再検討

をよぎなくされた。その対策として、長平沢断層区間内に図-2に示す位置に調査坑を設け諸計測によるトンネル応力測定を行い、地山挙動の把握につとめた。その応力測定方法と新たに採用することになった側壁導坑置換工法(Sift Side Drift Method)についての設計および施工について、紹介をかねて報告するものである。

図-1 恵那山トンネル地質断面図

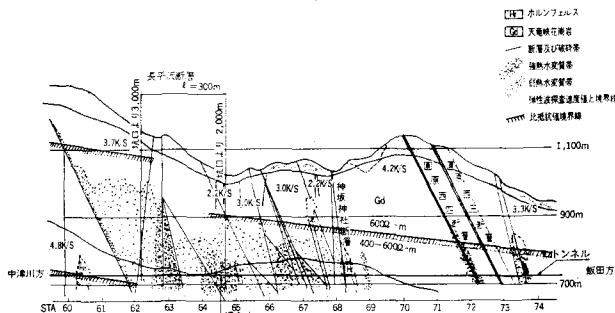
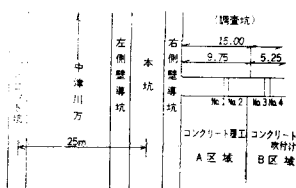


図-2 調査坑平面位置図



II. 長平沢断層付近の地質概況

長平沢断層は、図-1に示す位置で、当初における地質調査においては、まったく予測もされなかった断層で、地表などからの推測では地質はむしろ良質であると考えられたが、実際に掘削を進め断層に遭遇したところ、極度に熱水変質作用を受け、基岩の形状をともめない程度に破碎され、白色粘土化が進み、切羽はかろうじて自立する程度であるが、掘削は突破による従来の工法によらざるを得ない地質である。補助トンネルの先進により今まで確認された断層の主たるものは、圓原断層群（坑口から約1,400mまで）、神坂神社断層（約1,700m～1,800m）、長平沢断層（約2,000m～2,300m）、神坂断層群（扇形展開法による弾性波探査により神坂断層群は8本の断層からなり、現在オ1～オ5断層は確認され、予測される断層の規模は約1,500mにも及ぶことが判明した）で、その長平沢断層は中間にあ

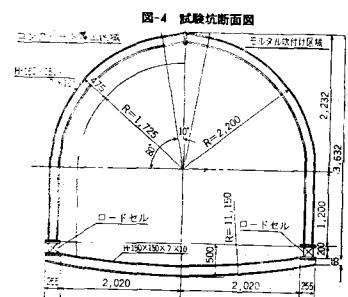
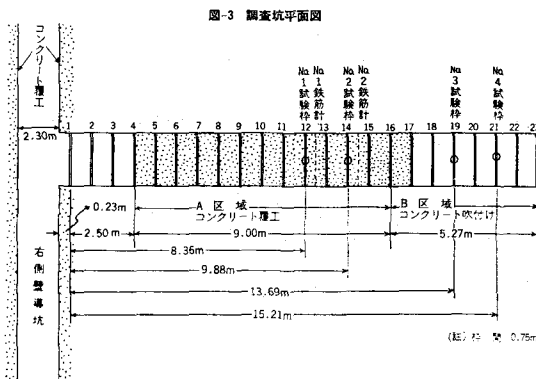
つて遮水帯を形成した断層である。切羽の進行に伴い切羽後方約10m～20m区間のトンネルに地圧の挙動が始まり、後荷による支保工の変形、座屈、矢張の折損、及び断面の縮小が起る。基岩に含まれる粘土鉱物中のモンモリロナイトは部分的に7%程度含まれ、大半がセリサイトである。

掘削後の切羽の風化は著しく、膨脹れを伴う岩質で部分的に暗灰色のホルンブルス化した破碎岩が介在している。この調査坑（図-3）における地質は、NO.1試験断層面で約60%、NO.2試験断層面で約80%、NO.3、4においては約

90%以上の白灰色の熱水変質花崗岩で占められ、掘削に伴う地山の挙動は著しく試験するには適した地質であった。

III. 測定概要

本線トンネル側壁導坑内で計測するのがより実際の資料が得られると考えたが、計測期間中のトンネル作業の中止等の問題から本線トンネルの側壁導坑より右側に調査坑（図-2）を直角に掘削しこの中にA区域（コンクリート覆工）、B区域（コンクリート吹付）の2区域を設け比較計測することとした。地山の等方性、双設導坑間の相互影響の関係、既設右側導坑のゆるみ範囲の影響等の問題が考えられたが、地山挙動の把握のための基礎データを取得する目的で計測するもので、前述の問題等は今後別途考慮するとし、調査を進めたものである。この計測は現状の側壁導坑断面に対しRigidityの異なる



Technical drawing of a dome structure, showing a cross-section and a plan view. The cross-section is a semi-circle with a radius of $R=2.125$. The plan view shows a circular base with a diameter of 4.250. The drawing includes various dimensions and labels such as "ストレーシング" (Stracing) and "R=2.125".

○ B区域はA区域と同型のインバートストラットの入ったH-150アーチ支保工を使用し、支保工建込み後厚さ10~15cmのコンクリート吹付けを施工した。特に留意したことは偏荷重をよけるため、支保工と地山の空隙をフレグメント吹付けにより充填し、地山と支保工が密着するようにした。

A, B 両区域に各 2 断面計 4 断面について計測したが、各断面については図-4 に示すように、アーチ支保工の各脚底部ヒンバートとの間に、ロードセル 100 千 N を設置し各支保工の基礎反力を測定した。

図-5. ステンゲージ取付け位置図に示すごとく、アーチ支保工およびインバート部に合計19箇所
にステンゲージを貼布し支保工部材のひずみ量を計測した。H鋼のウェブの両面に、上縁部、下縁部お
よび中央の3箇所、2軸ステンゲージを貼布し、各点における軸力、曲げモーメント、剪断力を算
出するのためのひずみ量を計測する。

図-6 鉄筋応力計取付け図に示すごとく、24個の鉄筋応力計を設置し、合計2断面について覆工コンクリートの応力を測定した。

また、支保工用ロードセルの取付け位置図を図-7に示す。

以上の計測期間は表-1に示す昭和47年2月6日～同年3月23日の期間に行つたものである。なお計測は試験棟建込み方1日目は3時間毎、次の9日間は8時間毎、以降は3月23日まで1日1回の計測を実施した。

[illegible]

(取付は要領図)

表-1 工程表

	47年1月	10	47年2月	20	25	10	47年3月	20	23
準備掘削									
試験坑掘削									
・ 覆工									
・ 吹付け									
計器取付け									
A 区									
・ 支保工脚底応力測定									
・ 支保工側壁反力測定									
・ 覆工コンクリート応力測定									
B 区									
・ 支保工脚底応力測定									
・ 支保工側壁反力測定									

IV. 測定結果および考察

(1) コンクリート覆工の変状

(イ) A区域において試験枠以外はストラットを入れなかつたため、コンクリート覆工時、アーチ支保工は宙吊りとなり、側壁から押出しをうけた傾向がみられた。さらにインバートコンクリート打設前に再盤下げがなされ、地山の挙動に影響をあたえたと思われる。

(ロ) 覆工コンクリートの両壁の押出し(図-8参照)が激しくコンクリート打設後4日目にはクラックが発生し、逐次その数も亀裂中も増大していった。トンネル軸方向に直角の方向のクラックが発達した。

(ハ) A区域のインバートコンクリートはアーチ覆工後6日目に打設したが、トンネル右側壁導坑の経返しの影響と思われるが、インバートコンクリートの浮上が起る。地山の膨張が顕著となるなど経返しの接近に従い変状が激しくなった。

(ニ) B区域のコンクリート吹付けは殆んど地山の挙動による影響は見られなかつたが、支保工脚底に若干の亀裂剥離が生じ、次いで天端にフラックが発生した。しかし全体的には増大の傾向は少なかった。ただし本線側壁導坑よりの離間距離があること、切羽が前進したためによつて切羽および周辺の地山挙動は少ないものと推測される。

以上のような変状を目で顕著に観測した。また計測によつて得た結果を

図-8 コンクリート覆工の変状

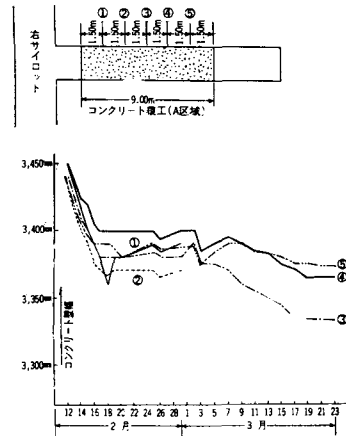


図-9 荷重の経時変化(調査坑No.1断面)

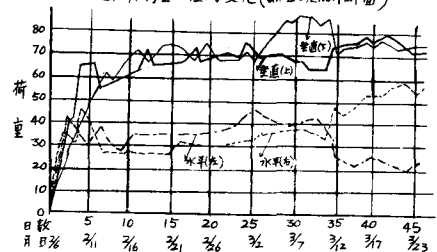


表-2 試験結果にもとづいた考察

	No.1 段階	No.2 段階	No.3 段階
期間	掘削により地山応力が解放されてから約1週間の期間(各断面毎に掘削時期は異なる)。	No.1段階の後、2月29日頃までの期間。	3月始め頃より3月23日(計画終了日)までの期間。
状況	基礎反力15t/7日→2t/日、平均地圧は4～5日で約2倍になる位急上昇する。経時変化グラフは殆んど直線的に立ったカーブを示している。	基礎反力、平均地圧とも大体横這いに近く反力で2～4t/8日→0.25～0.5t/日のグレードの上昇しなく、大体コンスタントな荷重に落付いている。	基礎反力、平均地圧とも再び動きが活発になり、反力で7～15t/23日→0.3～0.65t/日のグレードで上昇している。しかしNo.1段階ほどの上昇はない。
原因	調査坑掘削による応力解放のため、急激な地山のゆるみと塑性膨張による地圧の増大が起ったと思われる。	地圧の安定、コンクリート覆工および吹付け等によりグランドアーチが一応形成され安定したと思われる。	サイロットの経返しによる影響と思われる。
対策	・ 支保工速度を増大させ、コンクリート打設は地山挙動の始まらないうちに覆工を打設すること。約1週間以内に施工のこと。 ・ インバートの変形はアーチコンクリートよりも大きいから、インバートを早く打設すること。 ・ 掘削→コンクリート覆工→インバートと一連の施工サイクルを確立し、地山挙動の増大を起こさない急進施工を考える必要がある。		

表ならびにグラフにまとめ、その傾向について考察を加える
と次のようなことが考えられる。

(2) 地山の挙動と考察

ベクトル図(図-10)および平均荷重図(図-11)から平均的
傾向を要約すれば次のようなことが考察される。

(イ) スプリングラインから梓脚にかけて 100 T/m^2 オーダーの
大きな上向き力が掘削方向に作用している。

(ロ) 各断面毎にベクトルの形状はほぼ一定しているが4
断面を比較するとそれぞれ異なるパターンをもって一定とな
り。

(ハ) フォンフリーティングには、トンネル軸方向に対して
ほぼ直角方向のクラックが相当発達したことから、時間差と
荷重差による剪断が起きたものと考えられる。

(ニ) 荷重度は鉛直地圧で約 85 T/m^2 、水平地圧で 78 T/m^2 の
最高値を示している。

(ホ) 土圧係数(水平地圧/鉛直地圧)はN0.1断面で0.5、N0.2断面で1.3、N0.3断面で0.6、N0.4断
面で1.3程度であった。

図-10 ベクトル図

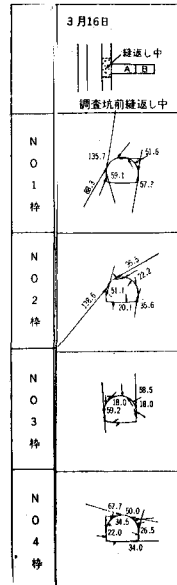
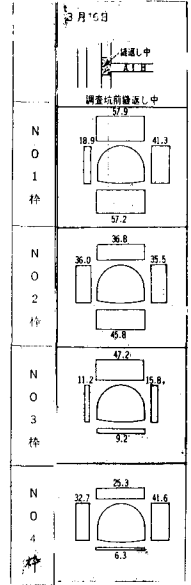


図-11 平均荷重図



V. 側壁導坑置換工法 (Sift side drift method) について

以上の計測結果の考察に述べたごとく、地山の挙動の時間的経過も判明し、側圧はアーチと底板の隅部部に最高のモーメントが働くことも実測の結果わかり、地山の応力解放+塑性流動的傾向(流動地圧)をもった地山の挙動に対する対策としては先行する導坑切羽周辺の地山のゆるみを少なくし、地山挙動開始までに、掘削一支保工一仮巻覆工(インバートを含む)の作業サイクルを完了し、アーチアクションをもたせるとともに、流動地圧に対する抵抗体をつくるには、上述の作業サイクル後たぐちにトンネル内に中詰コンクリートを充填し、地山に置換える側壁導坑の地山置き換えと、断面内で導坑内に中詰コンクリートを充填することは、大規模掘削時に再度取りこわしが生じ地山挙動の誘発をまねくことから、側壁導坑を断面外にsiftする方法を設定したものである。これによつて、側壁部の強度の増大をはかるとともに、不等沈下およびトンネルのインバートが受けるアップリフトに対する安定を考慮した側壁導坑置換工法を設定するに至った。

しかしながら、導坑の地山置き換えは、ほとんど設計計画どおり施工を進めることが出来たが、今後の問題としては、リング掘削と1次巻、次いで2次巻、大規模掘削とインバートの施工、最終的になる2次覆工等の施工延長手順、および時期の英について地山の挙動を考慮しながら施工を進める予定である。現在設定した長平沢断面区間におけるトンネル断面は、図-12に示すごとく、側壁導坑の移動量

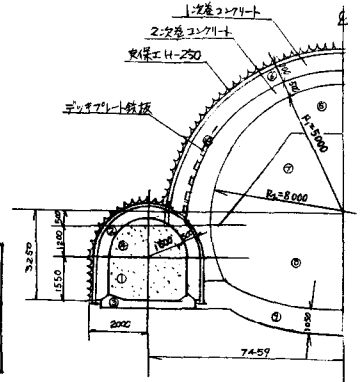
はセンターより標準断面における 4.65m に対し、アーチコンクリートの 1 次覆工との関連等から約 7.5m シフトすることとした。

地圧は応力測定などから、初期荷重に対する強度をもたせるため、導坑の覆工、1 次覆工、および 2 次覆工コンクリートはすべて超早強セメントの使用を考え、設計強度 $\sigma_3 = 200 \text{ kg/cm}^2$ とし、コンクリート示方配合は、表-3 に示すとおりである。

表-3 超早強セメントによるコンクリートの示方配合

配合 種別	G_{max} (mm)	スランパ (cm)	空気量 (%)	単位水 量 (kg)	単位セ メント 量 (kg)	水・セ メント 比 (%)	S/a (%)	S (%)	G (kg) 5~25 mm	混和 量 (g)
T-S T ₂ -S T ₄ -S	25	10~15	2~4	168	300	56	40	750	1190	750

図-12 長平沢断面における側壁導坑置換工法によるトンネル断面図



側壁導坑の覆工壁厚は 30cm、アーチコンクリート覆工における 1 次覆工は 70cm、2 次覆工は 50cm、インバートは 105cm とし鉄筋コンクリートとした。導坑内中詰コンクリートは普通ポルトランドセメントにより、設計強度 $\sigma_{28} = 200 \text{ kg/cm}^2$ で 1 m^3 当りのセメント量は 270 kg とした。アーチ支保工は H-250 $\times$ 250 で、フランジにプレート (15mm) を溶接し強度をもたせた。なおトンネルの支保工は 1 心円とし強度をもたせることにした。

Ⅶ. おおひ

調査坑心のトンネル応力測定結果を約 6 倍もあるトンネルに enlarge することはいか問題であるが、地山の挙動傾向は把握出来たので、側壁置換工法の設定を行い、安定した安全な施工が進められたが、今後はいかにしてタイミングよくリング掘削、及びインバートの施工を実施するか問題がしばしばれた段階である。

リング、大背掘削およびインバートの施工過程で地山の挙動を起させないよう、トンネルのアーチアクションが早急に効く施工を行なうよう、時間をかけて着実な施工を進めて行きたい。

なお、側壁導坑置換工法については道路トンネルのような断面のトンネルでの施工例は皆無で今後の施工手順およびタイミングについて十分検討を加え、施工を進める考である。今後の対策と向題点については別の機会に報告させて頂くとして、ここでは地山の挙動の激しいトンネルの対策工法の参考例として報告するものである。