

## (62) 中壁式N A T Mで施工された武岡トンネルの 地山変形挙動と中壁の効果

建設省鹿児島国道工事事務所 瀬戸口忠臣  
建設省 土木研究所 正会員 水谷 敏則  
応用地質(株) 正会員○吉田 真一  
応用地質(株) 正会員 進士 正人

Deformation Behaviors of the Ground and the Effect of Center Diaphragm at the Takeoka Tunnel  
with Shotcretes and Rockboltings

Tadaomi. Setoguti ( Ministry of Construction )

Toshinori. Mizutani ( Public Works Research Institute Ministry Construction )

Shinichi. Yoshida ( OYO Corporation )

Masato. Shinji ( OYO Corporation )

### - Abstract -

Besides the shallow overburden surrounding Takeoka tunnel the tunnel was excavated below the residential district and street. The ground consists of the Shirasu. We had serious problems about the stability of the surface settlement and of the ground surrounding tunnel. The tunnel construction was excavated by Center Diaphragm NATM in order to keep the damage at a minimum.

During the tunnel excavation, the deformation of the ground was carried out by Sliding-Micrometer. Furthermore, the stability of the ground was identified by back-analysis.

In this paper, the effects of diaphragm timbering and loosening of the ground surrounding tunnel is described based on the result of filed measurements and back-analyses.

### 1. まえがき

鹿児島3号バイパスの武岡トンネル<sup>2)</sup>は、延長1506m、幅員12.5mのトンネルである。起点側坑口から225m間の土被りは0.5~17mと非常に浅く、地表には人家が並んでいる。地質は、南九州特有のしらす(軽石流堆積物)および沖積層からなり、トンネル掘削時の安全性並びに地表沈下が重大な問題であった。そのため、本区間では地表面沈下を最小に抑えるため、中壁式N A T Mが採用された。

施工にあたっては、掘削に伴う地山変形をスライディングマイクロメータなどにより計測するとともに、逆解析による地山の安定性について検討した。これらの検討を掘削加背毎の進行に合わせて行い、地表面沈下を抑制するための施工が行われた。

本論では、支保の打設と地山の緩みの問題について、計測と逆解析の結果から述べるとともに、中壁式N A T Mにおいて、中壁が果たす役割について述べる。

### 2. 地質状況

本施工区間の地質状況は、大半がN値30~50の一次しらすであるが、測点104~107の区間には、N値1~15の二次しらす、沖積層が局部的に分布している(図1)。事前調査における孔内載荷試験では、N値30~

50の一次しらすの変形係数は500~1000kgf/cm<sup>2</sup>であり、N値1~15の二次しらす、沖積層の変形係数は40~50 kgf/cm<sup>2</sup>程度であった。また、地下水位は施工基面より僅かに低位に分布していた。

### 3. 施工方法

本区間は、土被りが浅く、地表面沈下が許されないことから、下記の理由により、中壁式NATMを採用した。

- ① 中壁の支保効果が期待され、他の工法に比べ地表面沈下が小さいことが予測される。
- ② 中壁式NATMは、トンネル断面を小分割するため、加背が小さくなる。そのため、切羽の安定性が高まるとともに、地山の变形を抑制する。
- ③ 加背が小さい程、変状が発生した場合、速やかな対応が可能である。

トンネルの断面形状を、図2に示す。掘削は機械にて行い、左右それぞれ3段ベンチ掘削とした。掘削の順序は、右上段→右中段→右下段→左上段→左中段→左下段→中壁撤去である。

### 4. 地中変位測定

地中変位の測定は、坑内から実施する「計測A」・「計測B」に加え、地表から地中変位観測線A~Eを設け、切羽到達前から地中変位を観測した。ここでは、団地部（A測線）、幹線市道部（B測線）での測定結果を中心に述べるものとする。A測線、B測線の観測計器配置図を図3に示す。

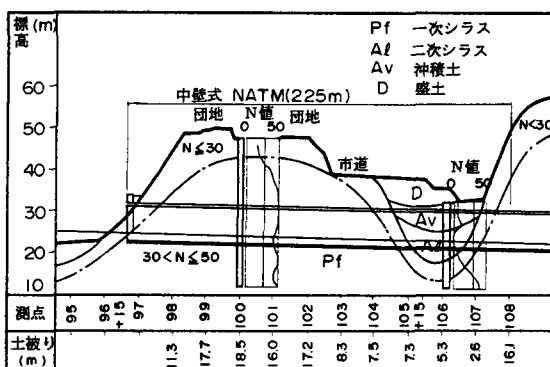


図1 武岡トンネル地質断面図

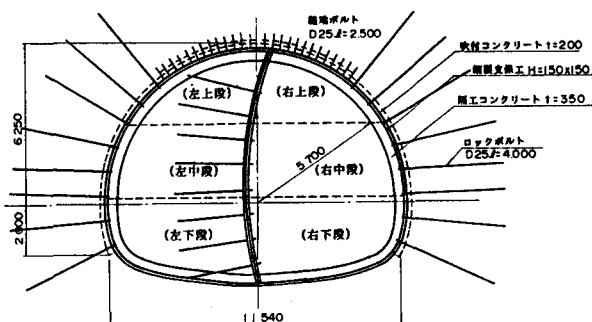


図2 武岡トンネル標準断面図  
(C. D. NATM区間)

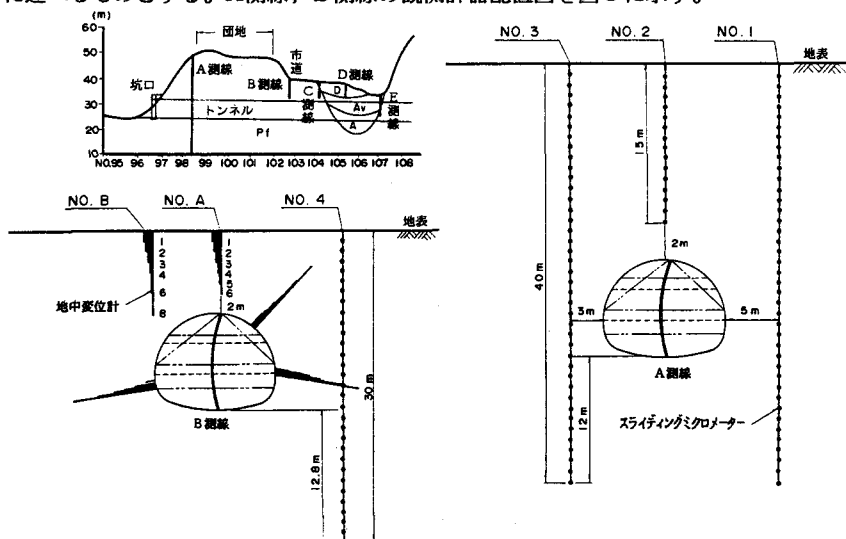


図3 地中変位観測計器配置図

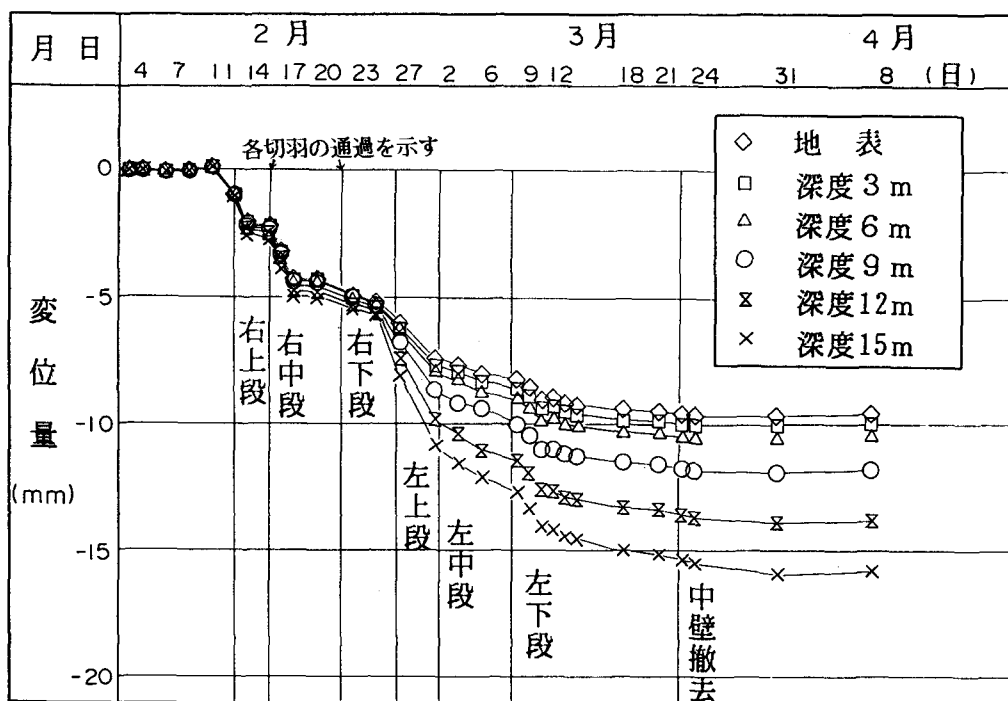


図4 A測線トンネル直上地中変位測定結果図

A測線では、掘削にともなう地山の变形を高精度で観測することが要求されたため観測計器として、スライディングミクロメータを、配置した。B測線においては、通常坑内から測定する多段式地中変位計を地表から設置した。

トンネル直上部の地中変位測定結果を図4に示す。トンネル直上部の地中変位は、左上段、左中段切羽通過直後に最も増大していることが判明した。しかし、最終の地表沈下量は、1cm程度に抑え、地上構造物に被害等を与えることなく施工を完了した。これは、掘削後迅速に吹付けコンクリートを打設し、インバートストラットを一間掘削毎に施工する等、一次閉合が迅速に行われた結果によるものと考えられる。また、中壁撤去時でも、顕著な変位増加は見られなかった。

一方トンネル周辺での地山変形状況は図5に示すように、トンネル直上に変形が集中し、トンネル両サイドの変形は小さいものであった。トンネル天端付近の変形はそのまま地表にまでおよんでおり、「ともさ

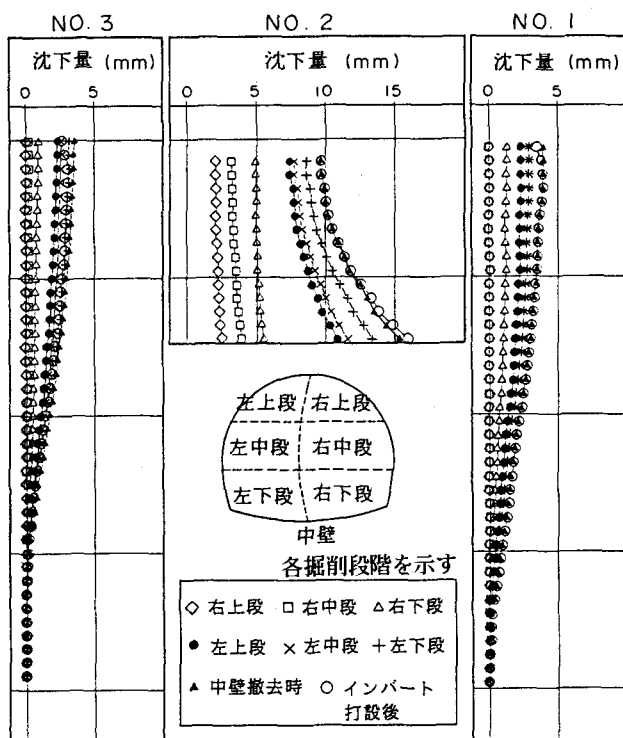


図5 A測線トンネル周辺地山変形状況図

がり」現象を呈していることが判明した。この「ともさがり」現象によって、しらすの変形が、砂地山的変形挙動を示すものと考えられる。

また、トンネル内空変位測定結果から（図6）、左側掘削が行われると、中壁が左側に大きく変形していることが判明した。

### 5. 逆解析による変形解析

トンネル掘削にともなう地山の変形を詳細に検討するため、各加背毎に地中変位の測定データを基に逆解析<sup>2)</sup>を行った。これによると、右下段掘削まで、地山の变形は、弾性変形であると考えられるが、左上段掘削以降では、トンネル直上の変形が、弾性変形を上回っていることが判明した。そこで、この現象を解明するために、トンネル直上に緩み領域を考えることにした<sup>3)</sup>。この緩みを現す係数 $m$ とは、せん断弾性係数と弾性係数の比である。今回設定した $m$ は、0.01とし、 $m$ の領域を図7に示す。なお、B測線においては、最終工程に当たる中壁撤去に至まで、すべて弾性変形内に収まっていることが、確認された。

逆解析から求められる見掛け弾性係数を表1に示す。見掛け弾性係数は、掘削断面が大きくなると低下するのが一般的であるが、A測線での緩みを考慮した解析では、等方弾性体として解析した場合より弾性係数が増加している。これは、支保工および中壁の効果により、見掛け弾性係数が増加したものと考えられる。弾性変形を越える緩みの範囲と大きさを把握するため、緩みを考慮した解析結果から求められる最大せん断ひずみと、等方弾性体とした解析結果から求められる最大せん断ひずみの差を求めた。その結果を図8に示す。ひずみの差は、中壁の直上では小さく、吹き付けコンクリート周辺で大きな値を示していることが判明した。これは、左上段掘削

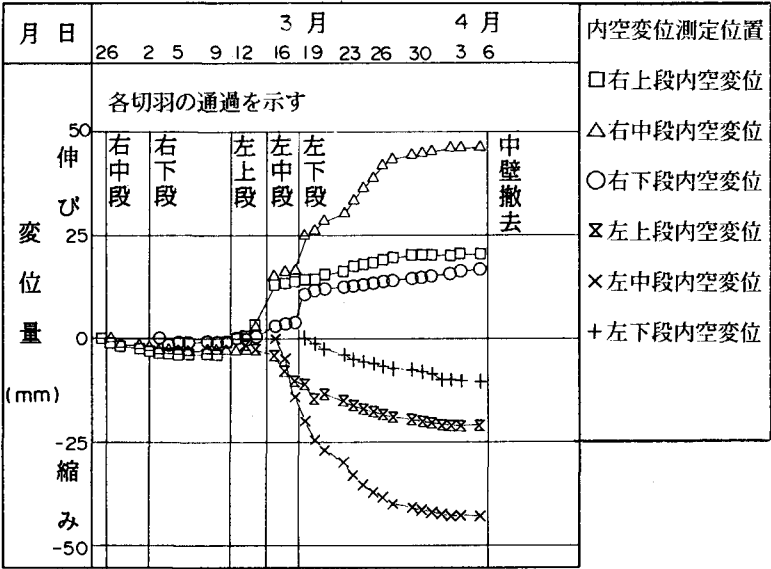


図6 A測線内空変位測定結果図

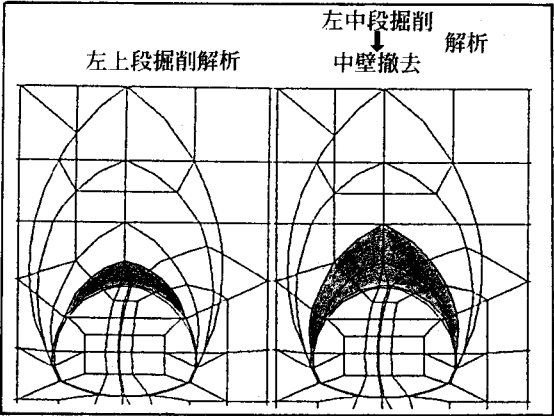


図7 緩み領域の範囲  
黒色部が緩みの範囲

表1 見掛け弾性係数一覧表（単位kgf/cm<sup>2</sup>）

| 掘削過程 | A 測 線   |       | B 測線    |
|------|---------|-------|---------|
|      | 弾 性 解 析 | 緩みを考慮 | 弾 性 解 析 |
| 右上段  | 14,800  | —     | 1,000   |
| 右中段  | 7,400   | —     | 1,100   |
| 右下段  | 6,200   | —     | 1,700   |
| 左上段  | 5,700   | 9,400 | 1,000   |
| 左中段  | 6,700   | 9,400 | 900     |
| 左下段  | 6,200   | 8,400 | 900     |
| 中壁撤去 | 5,700   | 7,400 | 700     |

以降、弾性変形を上回る変形を生じたが、中壁の支保効果により、トンネル直上の変形を抑えているものと判断される。

地中変位測定の結果と、逆解析による計算結果から、中壁式NATMにおける地山の変形挙動をまとめると、以下のようなものである。

- ① 先進掘削までの地山変形は、弾性変形である。  
後進掘削が進むに連れ中壁に作用している応力が、周辺地山に再配分され、地山の変形が大きくなる。しかし、支保の剛性を高めることにより、弾性変形内に、収めることも可能となる。  
(A測線では、支保のピッチを1mとしたが、B測線では、支保のピッチを0.75mとした)。
- ② 後進掘削において、地山の変形が、弾性変形を上回る場合でも、中壁の支保効果により、トンネル直上の変形が増大することが抑制される。
- ③ 断面が閉合した時点では、中壁の支保としての役目が終了しており、中壁に作用している応力は小さいものと考えられる。したがって、この時点で中壁を撤去しても、地山の変形は、小さいものと考えられる。

#### 4. あとがき

武岡トンネルは、中壁式NATMを土被りの浅いしらすに初めて適用したものであった。施工に当たっては、現場計測を密に行い、常にデーターをチェックし、慎重にかつ丁寧に行った。これにより地表面沈下を極力抑えることができたものとする。また測定データーを基に逆解析を行い、土被りの浅いしらす地山での変形挙動および中壁の効果を、ある程度把握できたものとする。

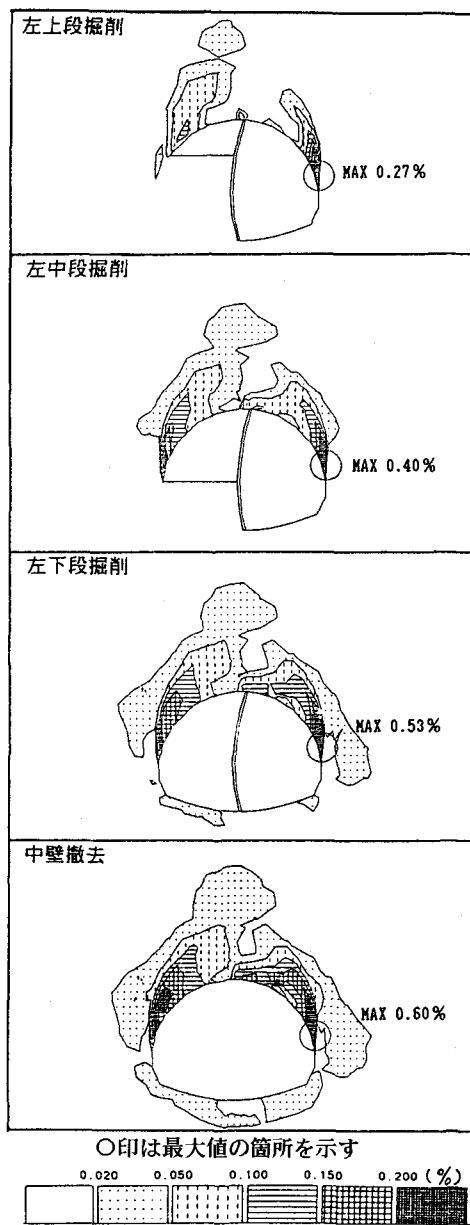


図8 弾性変形を上回るひずみの分布図

#### <参考文献>

- 1) 瀬戸口忠臣, 永倉彰夫, 吉田真一 一般国道3号鹿児島バイパス武岡トンネルの工事報告、九州技法 第2号 1987年12月
- 2) 櫻井春輔, 進士正人 マイクロコンピュータによる地下空洞掘削時の安定性の評価、土木学会論文報告集第337号 1983年
- 3) 進士正人, 近藤達敏, 吉田真一 土被りが非常に小さい地山における逆解析手法によるトンネル掘削時の安定性の評価、第20回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 1988年