

## (16) 土かぶりの薄い未固結地山におけるトンネル支保部材の挙動について

日本鉄道建設公團 横山 章  
 同 上 寺戸 幸雄  
 同 上 木村 宏  
 大成建設 ○ 池田 宏

### ＜はじめに＞

土かぶりの薄い未固結の地山に施工されるトンネルは、他の一般の山岳トンネルにくらべて、トンネルの掘進とともにどう地山の挙動が大きく異なることは、よく知られているところである。したがって、地山の挙動に呼応して挙動する支保部材(吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工)は、一般的な山岳トンネルとは異なった挙動特性を有しているものとみなせる。近年、NATMと呼ばれるトンネル設計、施工の基礎概念が都市近郊のこの種のトンネルに適用しようとする動きが活発であり、筆者らも、NATMを適用したトンネルの施工にたずさわる機会を得、トンネル支保部材と地山の挙動に関するいくつかの計測を行なった。本文では、2つのトンネルで実施されたこれらの計測結果にもとづき、トンネル支保部材の挙動について述べたい。

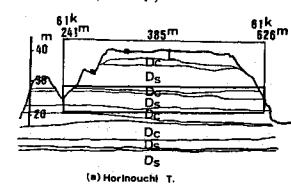
### ＜トンネルの地質条件と設計、施工状況＞

支保部材の挙動は、トンネルの施工される地質条件、施工方法、支保部材の寸法によって大きく異なってくると考えられる。この2本のトンネルが施工された地域は、成田層と呼ばれる洪積砂層であり、地質縦断面は、Fig. 1に示すとおりである。洪積砂層といえ、水平堆積の砂層とシルト層の互層である。地下水位は、クラウン上方1~2m付近で確認されており、介在するシルト層と砂層の境界には浸透水を持つ状況であった。天端付近は、N値が10~30のやるい砂層であり、均等係数も3.0前後と小さく、浸透水も含むため流砂現象も至る所で発生した。土かぶりは、7~10mである。

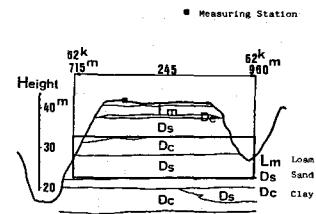
両トンネルとも掘削は、二段ベンチリングカット工法で施工されており、取巻トンネルにおける掘削支保手順をFig. 2に示すが、掘立内トンネルでは、リングカット部は、さらに多分割され、下半部では、一度に掘削されている。核の長さは、3m程度、上半ベンチは、10~13m、下半からインパートまでは、10~20m、地質条件によっては、さらに短くなっている。支保部材は、鋼製支保工(125H)を上半部にのみ設置し、吹付コンクリート厚20cm、ロックボルトは、4.5mもの4本、3mもの8本である。二次覆工は、35cm厚、インパートは、50cm厚である。この支保部材寸法は、これまでの施工実績にくらべて著しく小さいものである。

### ＜支保部材の計測＞

支保部材の計測を行なった地点は、Fig. 1の地質縦断面に示したものである。設置された計測機器及び計測位置は、Fig. 3及びTable Iに示されており、これらの計測は、取巻トンネル、掘立内トンネ

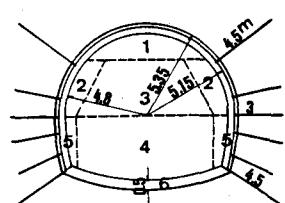


(a) Horinouchi T.



(b) Tokko T.

Fig. 1 GEOLOGICAL CONDITION



1. リング上部膨脹剤・吹付
2. リング下部膨脹剤・吹付
3. 核膨脹剤・ロックボルト打設
4. 大脅膨脹
5. 土平膨脹・吹付・ロックボルト打設
6. インパート膨脹・コンクリート打設

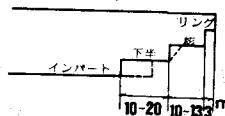


Fig. 2 膨脹支保手順。

ルあわせて3ヶ戸で実施された。

### 〈支保部材の挙動〉

支保部材の設計思想に関する吹付けコンクリートをはじめとする支保部材の挙動については、筆者らは、参考文献1)に発表をしてきた。

ここでは、この内容を踏まえ、さらに、掘削とともに他の挙動を中心に、塹之内トンネルのデータを中心に考察する。

### 1. 上半の進行と支保部材 (Fig. 4)

リングカットの掘削にひきつづき5cmの1

次吹付コンクリートの施工、鋼製支保工の設置、さらに、15cmの吹付コンクリートの施工、核の除去、ロックボルトの打設で、上半の掘削、支保が完成するが、実際は、リングカットが多分割で施工されている。掘削がさらに前方に進むと、まず、鋼製支保工の内部応力の急激な増加があり、切羽が約5m離れた地点で、この増加傾向は急激に停止する。一方、吹付コンクリートにも同じよう、地山との境界応力と内部応力の増大が見られるが、切羽が約5~6m離れた地点で、この増加傾向は停止する。

ロックボルトは、核が取除かれて後施工されるため、施工時点で切羽にロックボルト設置地点より3~4m前方に進んでいきことになる。この地点でロックボルトを打設すると、トンネル壁面附近では、ロックボルトに一旦圧縮ひずみが発生し、続いて圧縮ひずみが減少し、その後、再び圧縮ひずみが増大する。切羽が9m進んだところで、圧縮のピークとなる。一方、圧縮ひずみや、引張ひずみが大きく発生する場合には、このような微妙な現象は必ずしも現われない。(取手トンネル)

これらのことば、鋼製支保工が吹付コンクリートが硬化するまでの間に、主要な支保部材として作用し、吹付コンクリートが効果を發揮するには、さらに日数を必要とし、吹付コンクリートが十分硬化（施工後2～3日）した後には、鋼製支保工と吹付コンクリートが一体となって作用効果は発揮していることを示していると考えられる。また、ロックボルトは、発生する内部ひずみも小さく、しかも、圧縮であることから、主たる支保部材とはなっていないが、切羽の進行にともない、pick-up lengthや anchor length を地山の動きに応じて自在に変化させながら挙動していくことがわかる。

## 2. 下半の進行と支保部材 (Fig. 4)

上半の掘削の影響が減少していくに段階で、一般には、下半が犠牲される。下半が計測断面の手前約5m程度まで近づくまでは、下半掘削の影響を支保部材に受けない。特に、吹付けコンクリートの内部穴かや、吹付けコンクリートと地山の境界穴かは、ほとんど掘削の影響を受けない。わずかに、ロックボルトと鋼製支保工だけが下半掘削の影響を受ける。この影響は、ロックボルトと鋼製支保工の内部ひすみが、ひすみゲージという非常に鋭敏な計測装置を用いて計測されたために、目に見える形となつたものと思われる。

鋼製支保工では、上半足付部にさが、下半切羽が0.5mまで近づいた地点から影響を受け、下半の掘削により急激に内部ひずみが減少する。このように、下半切羽が、ごく接近しないと影響を受けないのは、支保工全体の剛性が非常に大きいことを示しているといえよう。ロックボルトは、4.5mの長さ全体にわたり、内部ひずみが圧縮側から引張り側に変化しうとする。

下半に吹付コンクリートが施工され、下半の切羽がさらに進行するにしたがい、一度変化した内部ひずみは、鋼製支保工、ロックボルトとも、もののひずみレベルまでもどってくる。これに要する時間は、2~4日である。下半の吹付コンクリートが十分硬化するのに要する時間と匹敵するとみなせよう。しかし、上半の足元部に施工されたロックボルトは、下半が施工された後も、もののひずみレベルにはほとんどらず、引張り側に転じたひずみは、

Table I. 計測項目

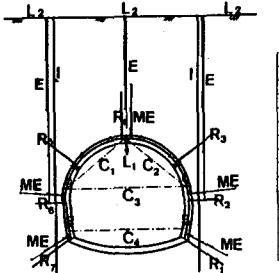


Fig. 3 計測器設置状況

そのまま、引張りが増大する。これは、下半の掘削による側壁のトンネル内部への変位を敏感に表わしているもので、下半が施工されても、この傾向が、下半の進行という応力再配分の進行により、継続していくことを示している。

#### 3. インバートの施工と支保部材 (Fig 4)

下半の切羽が計測断面を通過し、下半の掘削の影響がほとんどなくなるところでインバートが施工され、これが上半の支保部材（ロックボルト、吹付コンクリート、鋼製支保工）には、目立つにインバート施工の影響は見られない。一方、下半の支保部材では、足元部の吹付コンクリートの圧縮応力が一時的に減少し、インバート併合後、再び、それ以前の圧縮応力増大傾向にしどる。また、下半のロックボルトでは、インバート掘削時に引張り側のひずみが急激に増大し、インバート施工後は、圧縮側へ転じる。

このことは、インバートの施工が支保部材に与える影響は、下半の支保部材にほぼ限られることを示しておき、上半の支保部材は全体として、十分地山と密着した構造を成していると言えよう。

#### 4. 二次覆工の打設と支保部材 (Fig 4)

二次覆工は、インバートの施工後、約1.5ヵ月して打設された。この時点では、それまで施工された吹付コンクリート、ロックボルト、等の支保工によって地山が安定し、変位も、支保部材の内部ひずみ、応力も平衡状態となっていた。二次覆工の打設とともに、吹付コンクリートの内部応力は、一時的に減少し、すぐ回復し、平衡状態よりも大きな応力レベルとなるが、以後も再び減少していく。一方、鋼製支保工では、二次覆工の打設に

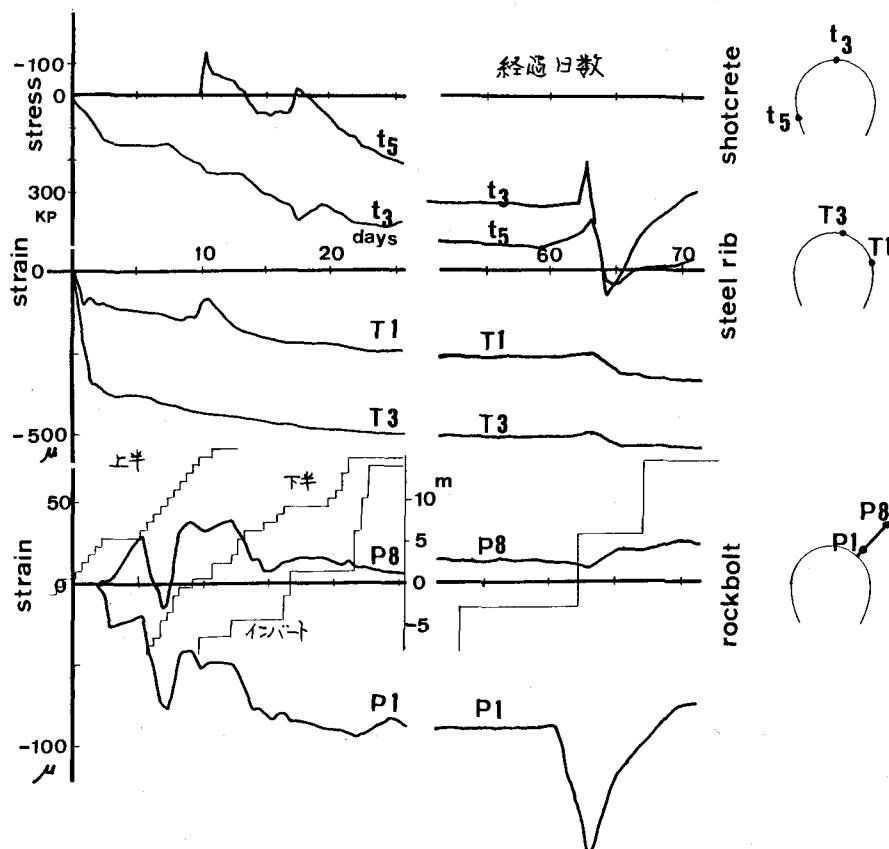


Fig. 4 支保部材の挙動

より、圧縮ひずみの増大が見られるが、この増加量は、それまでの平衡状態のひずみレベルに比べれば著しく小さい。さらに、ロックボルトは、二次覆工の打設とともに、トンネル壁面近くの圧縮ひずみが急激に増大し、打設後1日程度で極大値を迎える。以後は減少化傾向を示し、二次覆工打設前のひずみレベルより若干小さくひずみレベルに落ちる。

#### 〈おわりに〉

本文では、掘立内トンネルにおける典型的な支保部材の応力、ひずみ測定にもとづいて、施工に対応して支保部材などのように挙動にいかについて、支保部材の軸方向応力、ひずみの測定結果を紹介した。計測されに磁削にともなう支保部材の挙動が、応力、ひずみのレベル的に、設計、施工で特に注意を払わなければならぬ、ほとんどのものではなかったにと思われるが、これまで想像されておりも極めて複雑な挙動を示していることがわかった。さらに、非常に大幅なスペックダウンとなった支保部材であるにしからず、地山を安定させ、安全にトンネルを作りうえて十分な支保であることが、支保部材の応力レベルからも言えようと考える。

#### 参考文献

- 1) 藤森、寺戸、木村；計測結果にもとづくトンネル支保部材の設計思想の検証と提案—土かぶりの薄い未固結地山— 第27回土質工学シンポジウム 1982.11

(16) ON BEHAVIOUR OF TUNNEL SUPPORTING SYSTEM APPLIED TO  
SHALLOW OVERTBURDEN TUNNEL IN SOIL

JAPAN RAILWAY CONSTRUCTION PUBLIC CORPORATION

Akira YOKOYAMA

Yukio TERADO

Koh KIMURA

TAISEI CONSTRUCTION CORPORATION

Hiroshi IKEDA

It is well - known that there are differences between ground behaviour caused by shallow overburden tunnel and that by ordinary tunnel. So we think that supporting system with shotcrete, steelrib and rockbolts applied to shallow overburden tunnel in soil behaves characteristically.

The authors had a chance to measure stress, strain of support members to each phase of tunnel excavation.

In this paper the authors want to introduce the result and its consideration.

Consequently two conclusions which are as follows are given

- 1) Shotcrete, steelrib, and rockbolts behave sensitively to each phase of tunnel excavation. Particularly shotcrete and rockbolts are strongly influenced by lining but this phenomenon is very temporary.
- 2) In spite of very small dimension of supporting system, supporting system could fill its function effectively.