

## 薄い土被りの軌道直下でのN A T M施工

EXCABATION OF TUNNELS COVERED WITH A SLIGHT THICKNESS OF EARTH RIGHT UNDER RAILS WITH NATM

武野真昭\* 岡村正典\*\*

Masaaki TAKENO and Masanori OKAMURA

Higashiyama tunnel is a subway tunnel of mountain type in the urban area over a total length of 1,567.5m. And its structure is featured by parallel single track at different elevations for a span of 495m on the starting side and by a double track for the rest 1,072.5m portion. We report the results of Urban NATM that excavated the subway tunnels covered with slight thickness of earth right under Keishin-Line and a prefectural road. And also we made an exact survey at any time to keep the safety on the ground.

Keywords:subway construction,right under active rails,control of the subsidence ,mechanical excavation,Urban NATM

### 1.はじめに

#### 1.1 東西線の概要

京都地下鉄東西線は、京都市伏見区醍醐を起点とし、JR山科駅、京阪電鉄京津線の御陵（みさき）駅、京阪電鉄本線の三条駅、地下鉄烏丸線の御池駅と連絡し、JR山陰線の二条駅に至る延長12.7kmの鉄道新線である。

この路線のうち、御陵～三条京阪間3.3kmについては、東西線と京津線が競合するため、京都市および京阪電鉄などにより第3セクター京都高速鉄道（株）が設立され、日本鉄道建設公団P線方式により建設を行っている。

第3セクター区間のうち、御陵駅～東山駅間の2.5kmは鉄道公団の直接施行であり、その他は京都高速鉄道（株）への委託施行となっている。（図-1）

#### 1.2 鉄道公団区間の建設現状

鉄道公団が建設しているのは、起点方より東山トンネル（山岳トンネル区間）、蹴上駅（路下開削区間）、神宮道トンネル（シールド区間）の3工区であり、平成9年の完成を目指して鋭意施工中である。

\* 正会員 日本鉄道建設公団大阪支社京都建設所

\*\* 正会員 奥村・清水・戸田東西、東山T特定建設共同企業体

今回は3工区のうち、東山トンネル（山岳トンネル区間）工区における単線異高並列区間の施工について報告するものである。

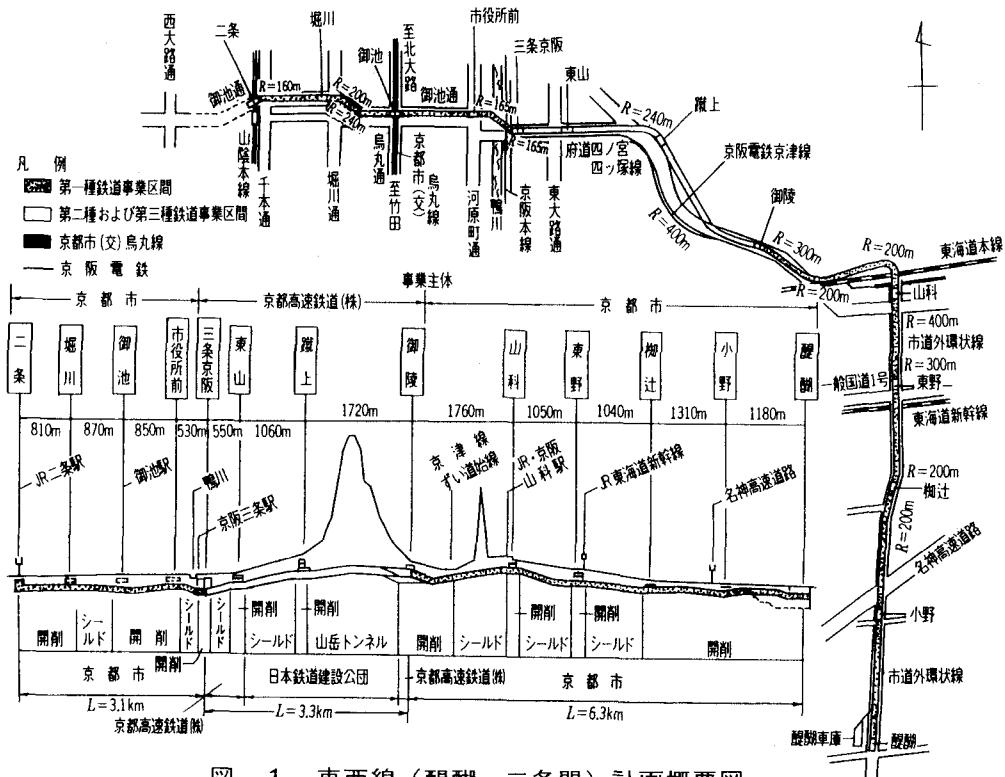


図-1 東西線（醍醐～二条間）計画概要図

## 2. 東山トンネルの概要

東山トンネルは、山科盆地と京都盆地を区分する東山連山を東西に貫き、御陵駅と蹴上駅を結ぶ延長1567.5mの山岳トンネルである。

トンネル構造は、御陵駅に京津線が乗り入れ、御陵駅が2層2面4線の方向別ホームとなることから、起点方495mが単線並列（異高）構造となっており、残りの1,072.5mが複線構造である。複線部分は終点方140mが蹴上駅の亘り線およびホーム部となる大断面区間（掘削断面約 $110\text{m}^2 \sim 150\text{m}^2$ ）で、起点方も複線部から単線部に移行する区間となり、断面変化が多いのが特徴となっている。（図-2, 3）

単線並列区間は、両側を民家が密集する府道直下にレールレベルの異なる単線トンネル2本を土被り12m～23mで掘削するもので、道路の中央には京阪電鉄京津線が走っている。また、ガス管、NTT管等の重要な地下埋設物も多い上に、Φ2,600mmの新山科導水管が府道を横断しており、「都市NATM」としてのトンネル自体の安定性はもちろんのこと地表物件の安全性を確保するため、地表面沈下を最小限に抑えることが要求される区間である。（図-4）

## 3. 地形・地質概要

地形は東山地盤と呼ばれ、東山の東西両側が断層で切られ、落ち込んで山科盆地および京都盆地となり、残った部分が東山になったとみなすことができる特徴を持っている。京都盆地から山科盆地までの山体幅は約1.5kmであり、路線上の地形は、標高120～150mおよび50～70mの平坦面をなしている。

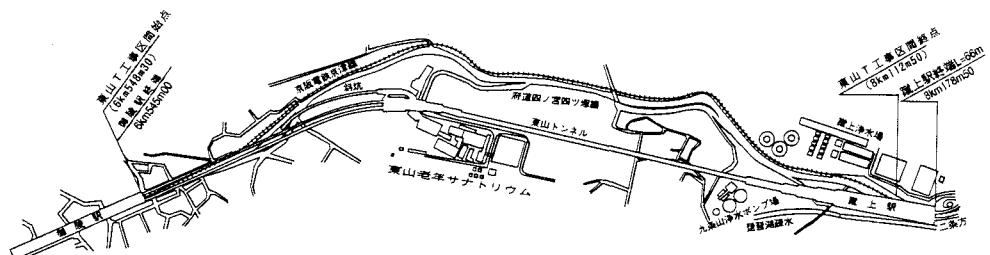


図-2 東山トンネル平面図

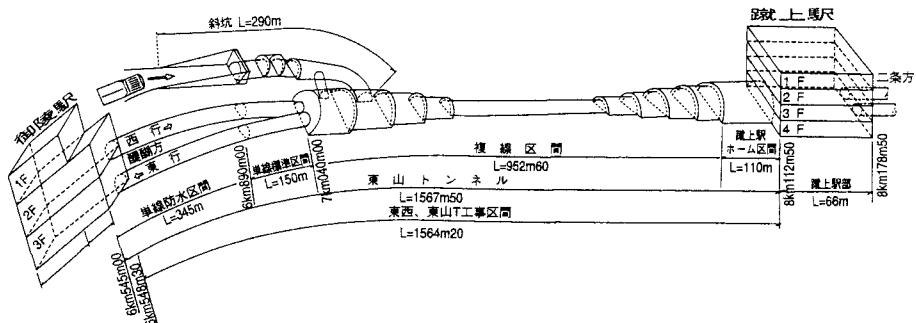


図-3 東山トンネル概要図

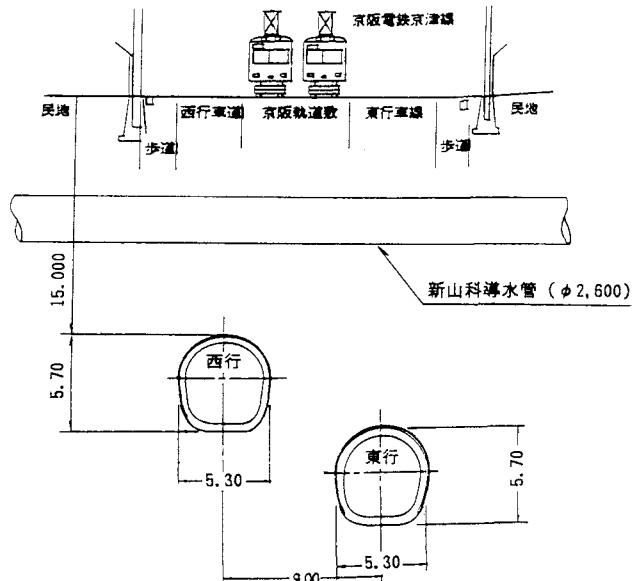


図-4 単線区間標準断面図

全体の地質は中～古生代の堆積岩で、丹波層群と呼ばれる地質である。（図-5）

単線区間の地質は、単線部終端より起点方180mは粘板岩（S1）を主体とした砂岩（Ss）、チャート（Ch）の互層である。それ以降は、洪積砂礫層（Dg）（延長約50m）、粘板岩を主体とした砂岩、チャートの互層、洪積砂礫層（延長約60m）、粘板岩を主体とした砂岩、チャートの互層とめまぐるしく変化する地質である。

この区間のロックショットによる岩強度は、粘板岩で100~300kgf/cm<sup>2</sup>、砂岩で400kgf/cm<sup>2</sup>程度である。

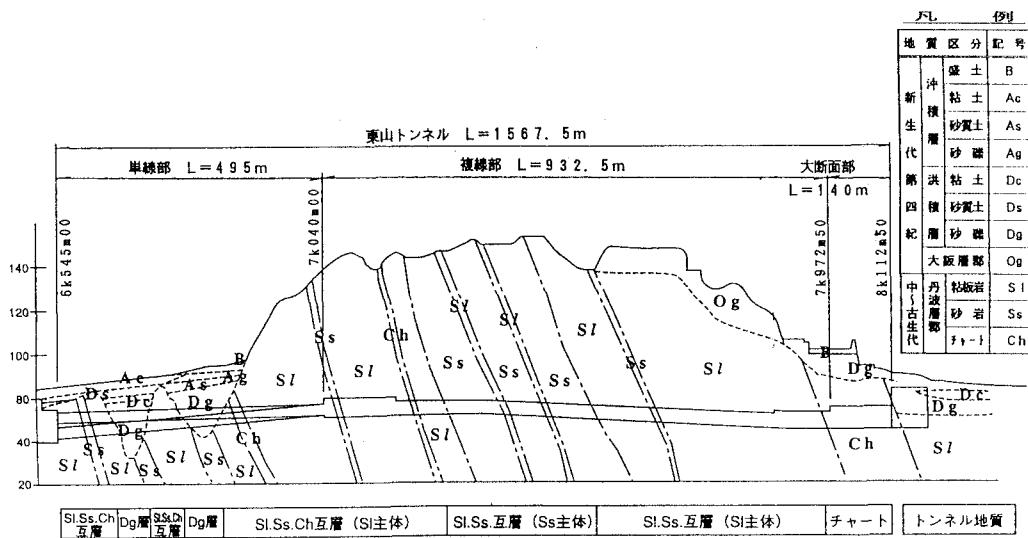


図-5 東山トンネル地質縦断図

#### 4. 単線部の施工

単線部の標準支保パターンを図-6に示す。施工に先立ち、有限要素法による解析を実施し、トンネルの安定ならびに地表面沈下の予測をおこなうと共に、トンネル掘削による地下水位低下に伴う地表面沈下の予測を併せておこなった。これらの予測をもとに、単線部の施工を次のようにおこなった。(図-7)

- ・土被りの深い東行トンネルを先行し、地質の確認ならびに地表面沈下を抑える。
- ・掘削工法は、自由断面掘削機による機械掘削とし、掘削方法は断面を早期に閉合できるミニベンチ方式（ベンチ長2m）とする。
- ・ロックボルトと吹付機ならびにスライド式足場を搭載した多機能台車を採用し、掘削機を切羽に置いたまま支保作業を行う。

単線部での対策工は、民家や交通量の多い府道や鉄道軌道があることから、地表からの対策はできず、トンネル内からの対策が主となり、以下に述べる対策工を補助工法として実施した。

洪積層区間では、ロックボルトや鋼管（φ54.0 L=3.0m）による先受工を併用し、湧水の多い箇所ではウレタン、少ない所ではモルタルを注入材として使用した。

新山科導水管横断部では、トンネル上部を最小離隔距離4m（西行）で横断するため、パイプループ（φ139.8mm、東行32m、西行24m）を施工した。（図-8）

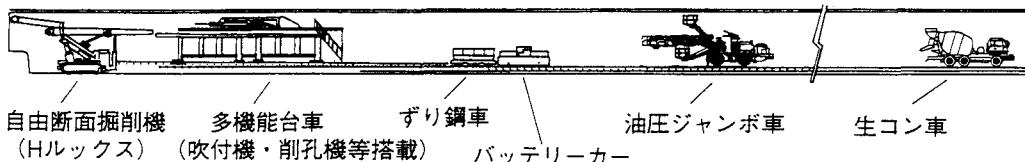


図-7 単線部施工概要図

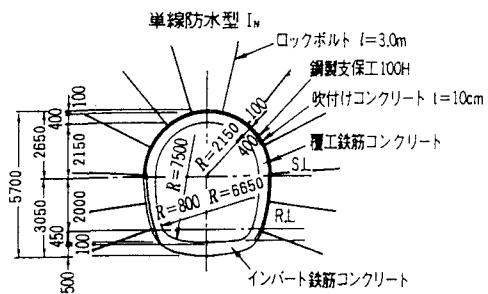


図-6 標準支保パターン図

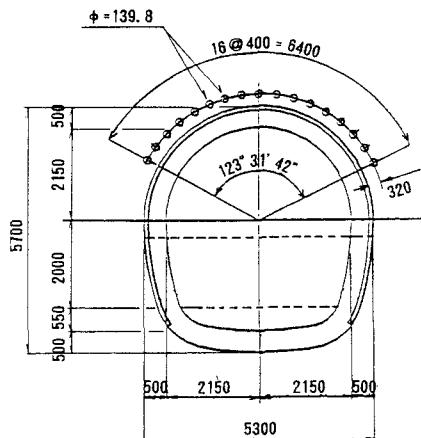


図-8 パイプルーフ施工概要図

## 5. 計測

## 5. 1 計測設置

単線部での計測項目と計測頻度を表-1, 2に示す。単線部では地表・地中構造物が多いために、表に表示するように計測を密に実施した。

表-1 計測項目

項目		内 容	目 的
坑 内 錫 調 測 室		切羽の自立性・系桿面の安定性 地質・湧水状況・支保部材状況	地山区分の併存・施工の安全性 今後の地山の推定
坑	内空変位測定	内空断面の相対変位量	最深変位量の推定 支保の設計時の妥当性
内	天端沈下測定	トンネル天端の絶対沈下量	施工の安全性及び妥当性
坑	底盤沈下測定	所轄・京阪線の沈下量	地盤への影響程度・範囲の把握 構造物への影響の程度・安全性
外	基盤沈下測定	地下埋設物の沈下量	既設施設への影響の程度・安全性
地	中 姿 位 测 定	地中変位量	トンネル周辺の埋設領域の把握
地	中 横 斜 测 定	地中横斜量	構造物への影響の程度・安全性
地	下 水 調 查	地下水位	地下水への影響・排水工の効果

表-2 計測頻度

項目	測定範囲	測定頻度
坑内観察調査	各切羽部	
坑内空気変位測定	20m毎	変位速度及び切羽からの離れにより定まる測定頻度のうち高いほうとする
内 天端比下測定	20m毎	
坑 天端比下測定	10m毎	切羽からの離れ(設置～5D～～2D～2D～5D～5D以上)により、頻度をかえる
外 天端比下測定	10m毎	
地 中 变位 测定	4断面(8箇)	上記に同じ
地 中 倾斜 测定	2断面(4箇)	上記に同じ
地 下 水 賽	5ヶ所	1回／週

## 5. 2 計測結果

(a) 地表面沈下

単線部での地表面沈下測定結果を図-9に示す。岩盤部では地表面沈下量は小さく、洪積層では沈下量が大きく、ほぼ洪積層の層厚に比例する結果となっている。

( b ) 地中変位

トンネル中心部は軌道敷であるために、ボーリングなどを使用する計測器の設置ができないことから、道路の両端に設置した。図-10に示す地中水平変位計測結果では、トンネル上半部での変位が大きく（最大8mm）、下半部での変位は小さい。

(c) 天端沈下・内空変位

天端沈下は、2～8mm程度と小さく、先受工やパイプルーフの成果が大きいと判断される。水平内空変位は、岩盤や洪積層区間では2～10mm、破碎帶では15～23mmであった。（表-3）

#### d. 水平傾斜計

パイプルーフ上部に設置した水平傾斜計の計測結果では、沈下は見られなかった。

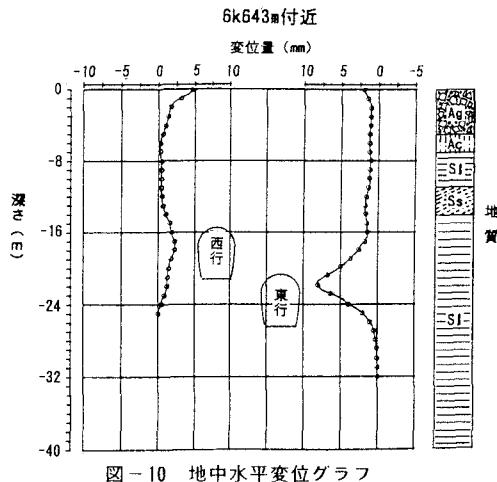


図-10 地中水平変位グラフ

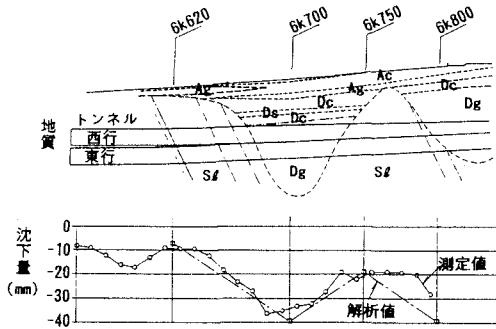


図-9 地質状況および地表面沈下グラフ

表-3 内空変位および天端沈下

地質	補助工法	内空変位	天端沈下
岩盤(Si-Sa)	なし	2~9 mm	2~4 mm
風化岩(Si-Ch)	先受ロックボルト	6~9 mm	2~8 mm
風化岩(Ss-Ch)	先受鋼管(ウレタン注入)	10~23 mm	4~8 mm
洪積層	先受鋼管(ウレタン注入)	4~8 mm	2~6 mm

## 6. 考察

トンネル内からの計測結果（天端沈下）と地表面の沈下計測結果を比べると、洪積層では地表面の方が5~6倍大きな沈下を示している。地表面沈下は全沈下量であるのに対し、トンネル天端沈下は先行沈下が計測されないため、小さな値となるが、それを考慮にいれても大きい。

図-9に示した地下水位低下に伴う沈下量とトンネル掘削による沈下量の合計値（解析値）を地表面沈下測定値と比較すると、ほぼ一致する。このことから、地表面沈下量の約30%はトンネル掘削に伴う応力解放による沈下で、残り約70%は洪積層の地下水位低下による砂層での即時沈下、および粘土層における圧密沈下であると判断される。

なお、軌道の許容沈下量は、10m間の相対沈下量で規制されている。計測結果では、管理値7mm以下に納まっており、目的を達成したものと判断される。

## 7.まとめ

本工事では、坑内からの補助工法のみで地表面沈下を最小限に抑えることを目標に施工してきた。地表面沈下の測定結果をみると、岩盤部に比べて洪積層部分の沈下量が多少大きなものとなったが、地表の構造物や路面電車の運行に影響を与える事なく到達できた。このことは、補助工法として採用した注入式先受鋼管の施工がトンネル周辺の緩み領域を極力小さくすることに効果を発揮したものと考える。

薄い土被りの軌道直下という悪条件にもかかわらず、大きな障害もなく無事到達できたことにより、地山の状況に適した支保および補助工法を選定することに加え、計測管理を施工に反映させることにより、都市トンネルにおけるNATM工法の適用範囲が更に拡大していくものと考える。