

都市NATMによる駅部接続断面(単線2連・3連断面)区間の施工経緯とその結果

The conformance and circumstances at the access section of the station area by urban NATM.

大串宗太*・原秀利**・上村正人***

Munehiro Ogushi, Hidetoshi Hara, Masato Kamimura

Single track double and triple tunnel, where the access to the 12 earth covering station area have been performed by NATM.

At first, we have started to excavate by three sections. We excavate from the middle part of the section and after that, performed both side of sections.

We have applied upper half vertical subdivision method, ringcut method, or grouting method in obedience to their conditions of cutting face or quantity of surface settlements.

The surface settlement have taken place 50 or 60 percents while excavate the middle section, and we have been able to confirmed that the tendency of the upper part tunnel have caved in at the same time.

Keywords: urban NATM, shallow depth, soft ground, surface settlement, deep ground development

1. まえがき

近年、都市トンネルへのNATMの適用が、形状の自由度や経済性、等により拡大する状況にある。

特に、延長の短いトンネルや駅部接続型の断面の変化するトンネルでは、シールド工法に比較してNATMが有利であり、その適用例が多い。しかし、都市トンネルにNATMを適用する場合、その多くは、土被りが小さく、未固結地山を対象としており、その施工には、切羽の安定、地表沈下の抑制、湧水の処理、等多くの問題が生じる。

本トンネルも、道路直下12^mの土被りで、複線断面から駅部に接続する単線2連・3連断面へ移行する区間をNATMで施工するものであり、その施工法は、3分割した断面の中央部を掘削後、順次両側坑の掘削に移る工法であった。そのため、掘削時の応力再配分の繰り返しによる天端部地山の強度劣化が予想され、それに伴う切羽の安定性の低下、地表沈下・天端沈下の増加、砂質地盤からの湧水を伴う流砂現象による切羽の崩壊、等が予想された。そのため、施工では、天端部地山の挙動に着目した計測管理と切羽の状況、地表沈下量に応じた掘削・補助工法の適用が求められた。

本報文では、単線2連・3連断面区間の掘削・補助工法、等の施工経緯と各断面掘削時の地表・天端の沈下の傾向について報告する。

* 前田建設工業 北陸支店 土木部長

** 前田建設工業 九州支店 土木部

*** 正会員 前田建設工業 九州支店 土木部

2. 地質概要

地質は、図-1に示すように地表より掘削天端上部2^mまでが沖積・洪積の砂質土層 (as, ds) で、トンネル掘削天端付近には、古第三紀層の粘土化した強風化頁岩 (Dc層) が分布し、下半断面付近には、やや硬質であるが割れ目の多い頁岩 (Tr層) が分布している。

トンネル縦断方向の地質構成では、単線3連断面区間ほどトンネル天端から砂質土層までの被り (岩被り) が小さくなることが特徴である。

地下水位は GL-3^m付近にあり、粘土化した強風化頁岩層が不透水層となり、掘削断面では被圧水となっている。

3. 施工経緯

3.1 掘削方法と補助工法

掘削は、図-2に示すように3断面 (中央坑、東行坑、西行坑) に分割し、中央坑の掘削・二次覆工完了後、東行坑、西行坑の掘削に順次移る方法であり、単線2連断面から3連断面へ中央坑を漸次切広げていくものである。

標準的な掘削工法は、ベンチ長15^mの ショートベンチ工法であり、上・下半断面とも 機械掘削による方式である。支保工ピッチは、1^mで施工した。

補助工法は、掘削にともなう湧水量が100ℓ/min以上と予測されたため ディープウェルをトンネル両側 20^mピッチに施工した。さらに、砂質土層までの被りの薄い区間では、天端部の補強と砂質土層の残留地下水の排除を目的として薬液注入 (ds層対象) を実施した。また、坑内からは先受ボルトを支保工ピッチ毎に施工した。

3.2 切羽状況と掘削工法の変更

中央坑掘削時の上半切羽は、天端部強風化頁岩の肌落ちが多く、切広げ断面が大きく、偏平になるにつれて、天端素掘り面の自立時間が短くなり (約2時間)、鏡面の小崩落も発生した。さらに、地表沈下、天端沈下も図-4に示すように増加する傾向が見られた。

そのため、図-3、図-4に示すように、掘削工法を人力掘削によるリングカット工法へ変更し、素掘り面の自立時間内に1次吹付が施工できるようにするとともに、切羽の安定性に応じて、リングカットの分割数を適宜変更した。また、中央坑断面において、偏平率 (上半高さ/全幅) が1以下になる区間は、上半中壁工法を適用して、天端部の安定をはかった。

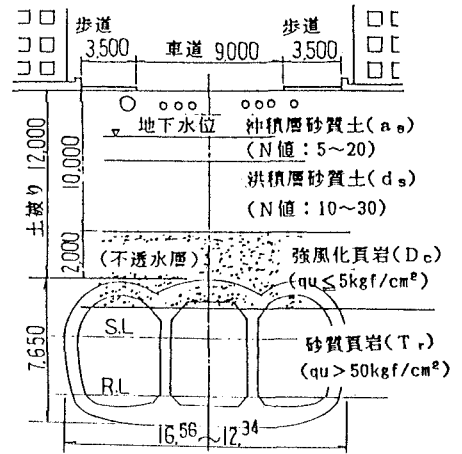
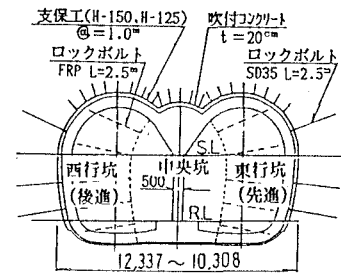
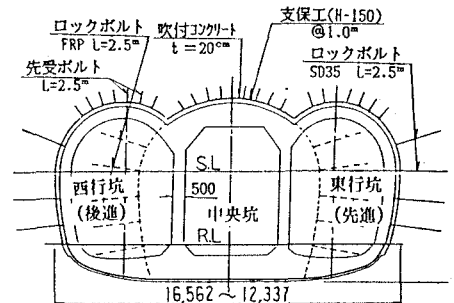


図-1 地質構成



(a) 単線2連断面



(b) 単線3連断面

図-2 支保パターン

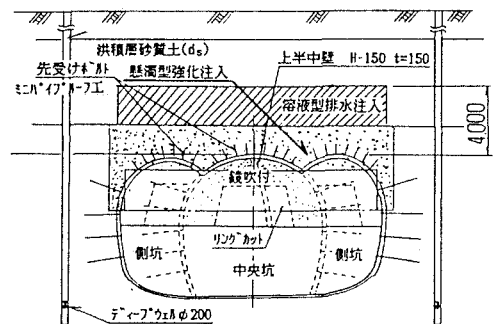


図-3 掘削・補助工法の概要

3.3 補助工法の変更

鏡面の先行滑落が増加するにつれ、従来の先受けボルト ($\varnothing=2.5\text{m}$) では、切羽前方での反力が期待できないことが予想されたため、天端部の崩落防止を目的として、ミニバイブルーフ ($\varnothing 60.5$ 、 $\varrho=5.5\text{m}$ 、縦断方向 3m ピッチ、仰角 15°) に変更した。さらに、先行変位を低減し、地表沈下の抑制を目的として、強風化頁岩への薬液注入を適用した。また、切羽状況に応じて、鏡吹付、鏡ボルトも適宜適用した。

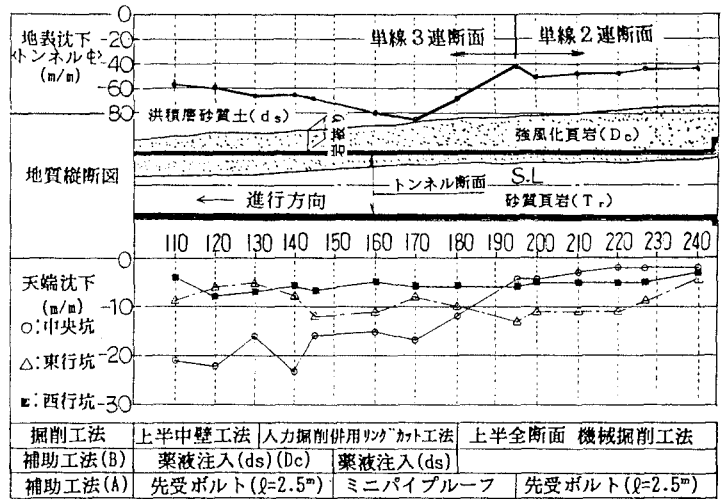


図-4 地表沈下・天端沈下の縦断分布

4. 計測結果

4.1 地表・地中沈下の傾向

地表沈下は、図-4、図-5に示すように、砂質土層までの被りの小さい単線3連区間が大きく、強風化頁岩への薬液注入、上半中壁工法を適用した区間(測点110~150区間)では、 20mm 程度沈下は少ない。

沈下量は、地下水位低下によって $6\sim 7\text{mm}$ 生じ、中央坑掘削時に全掘削時の沈下量の $50\sim 60\%$ 生じる結果となった。また、東・西側坑掘削時の沈下量に差は認められず、各坑掘削時に 13mm 程度生じた。

図-6は、掘削開始から完了までの沈下の経日変化を示したものであり、単線3連区間では中央坑掘削完了後もクリープによる沈下が 15mm 程度生じた。

図-7は、地表($\text{GL}-1\text{m}$)とトンネル天端上部 1m の地中沈下の関係を各掘削段階毎に示したものであり、図-8は、トンネル上部地山の 1m 毎の地中沈下と地中水平変位をベクトルで示し、各層間の沈下状況を示したものである。両図より、各層間の沈下量に差はなく、地表・地中とも同程度の沈下が生じており、トンネル上部地山にアーチ効果を期待できない“共下りの傾向”を示している。

共下りの範囲に関して、地表沈下の横断形状

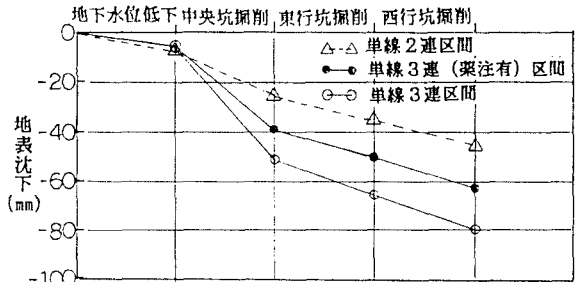


図-5 各掘削段階毎の地表沈下

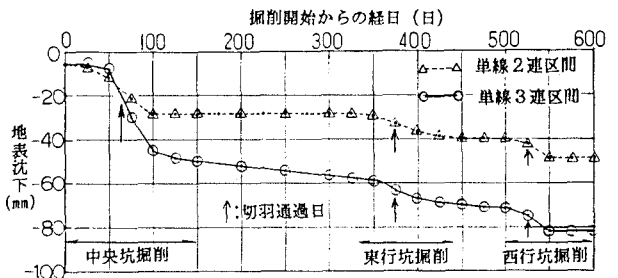


図-6 地表沈下の経日変化

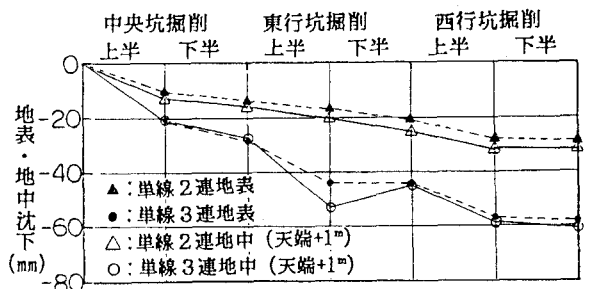


図-7 地表と地中(天端+1m)の関係

から沈下量が急増している変曲点を推定すると、トンネルもから10^m（トンネル半径+3~5^m）程度となった。

図-8の沈下状況より、天端付近に強風化頁岩が存在しても、各層間の沈下量に変化はなく、さらに、先進坑である東行坑への水平変位が大きく、沈下量も大きい傾向となった。

4.2 天端沈下の傾向

図-4に示すように、岩破りが小さく天端部強風化頁岩の自立性の悪い単線3連区間ほど一次覆工後の天端の沈下も大きく生じた。

さらに、両側坑断面の天端沈下量（4~12^{mm}）に比較して中央坑断面の沈下量（12~23^{mm}）が大きく生じている。また、東行坑と西行坑の沈下量を比較すると先進坑である東行坑の沈下量が大きく、各データに対応があると判断して統計的に検定しても、沈下量に差がある結果となった。この傾向は、上半水平内空変位についても同じであった。

西行坑（後進）掘削による東行坑（先進）への影響は、単線2連区間で生じ、天端沈下で2~3^{mm}、内空変位で地山側に1^{mm}程度であった。

図-9は、実測された天端沈下量を先行変位を含む全変位量の50%と仮定し、各ひずみと見かけの弾性係数を逆算してプロットしたものである。図より、定性的な切羽の自立性は、中央坑では“不安定領域”、東・西側坑では“やや不安定領域”に分布している傾向となった。

5. あとがき

延長145^mの施工区間の中で切羽の自立性や地表・天端沈下は、強風化頁岩の固結力・分布状況、施工断面、等によって異なり、状況に応じた掘削・補助工法が求められた。切羽および周辺地山の安定管理では、掘削時の強度劣化をできるだけ押えこめるような掘削・補助工法の適用基準を早い時期に現場に応じて確立することが必要であると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 土木学会関西支部：都市NATMの設計施工マニュアル
- 2) 土質工学会関西支部：都市トンネルにおけるNATMの設計・施工

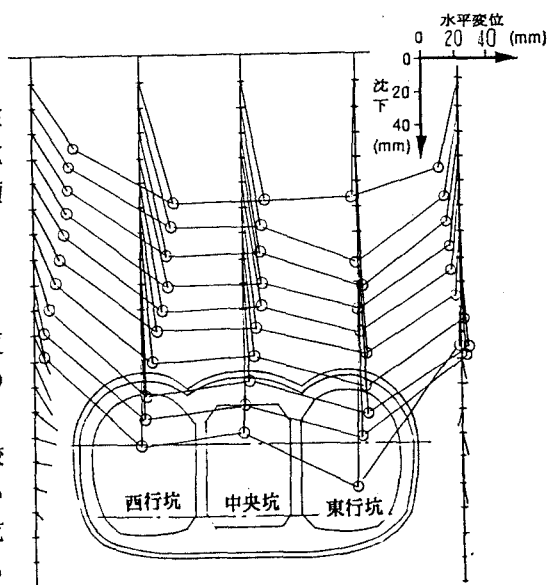


図-8 トンネル上部地山内の沈下・水平変位 (測点 10^K180)

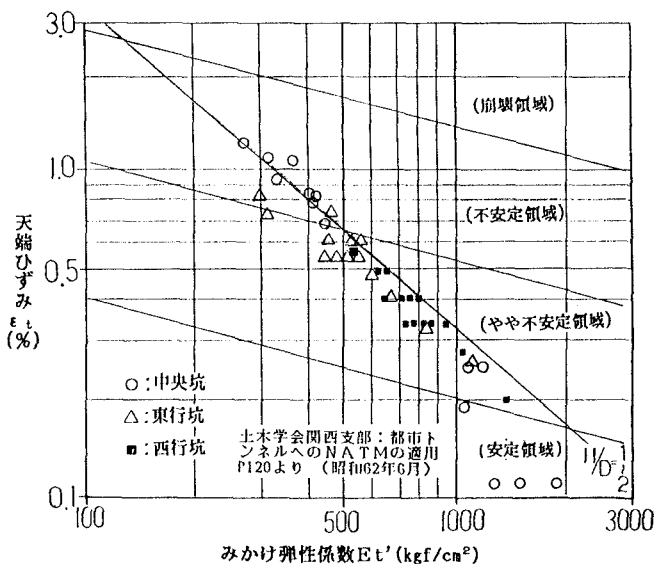


図-9 定性的切羽の自立性の判定