

「営業線直下における3連NATMの計測管理」

—東急東横線反町駅地下工事(その2)—

Observation of a triple-spectacle-shape tunnel beneath operating railway tracks

関 聡史 1) 岩村 巖 2)

Satoshi SEKI, Iwao IWAMURA

藤井広志 3) 青柳隆浩 4) 横尾 敦 4)

Hiroshi FUJII, Takahiro AOYAGI, Atsushi YOKOO

In the underground section of about 2km long in the Tokyu Toyoko Line, a triple-spectacle-shape tunnel was constructed by shotcreting method in 210m section around Tammachi Station. There are few similar examples to refer to design, and thus planning was performed using FEM analysis. In construction planning, attention was given to the treatment of confined groundwater, measures for face stability and settlement prevention. Methods of excavation that would not cause unsymmetrical earth pressure were considered. A monitoring system that can automatically observe and plot data such as track settlement and ground behavior was introduced for the safety of ongoing train operations. On the 55m long section of tunnel that has the mushroom cross section, monitored results has fully reflected into primary design and excavation steps. This paper describes the series of technical matters from geological investigations, the design and observational construction in the triple-spectacle-shape cross section tunnel.

Key Words: urban tunnel, observation construction

1. はじめに

本工事は、東急東横線の地下化工事区間約2kmのうち、反町駅を中心とした210m区間に3連めがね断面トンネルを吹付け工法で施工するものである。周辺には商店、小学校、住宅等の構造物等が密集しており、また、鉄道営業線の直下30mでのトンネル施工であることから、軌道をはじめとする周辺構造物への影響を極力抑えるために各種の計測管理を行いながら慎重に施工を進めた。中でも、開削と吹付け工法併用区間(きのこ断面：L=55m)は、その複雑な形状から特に厳しい施工管理が要求された。本文では3連めがねトンネルの計測管理結果ならびに逆解析結果について報告する。

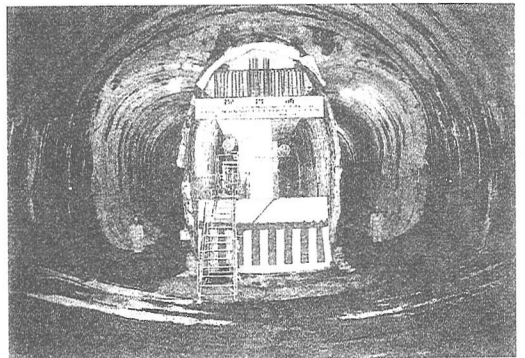


写真-1 3連めがねトンネル

- 1) 正会員 東京急行電鉄㈱
- 2) 正会員 ㈱東急設計コンサルタント
- 3) 非会員 鹿島建設㈱
- 4) 正会員 鹿島建設㈱

2. 計測計画

施工時の安全性を確認すると共に、次施工へのフィードバックを目的として、表－１に示す計測を実施した。軌道の沈下測定については、仮受している杭ならびに道床碎石上に連通管式沈下計を5～10 m間隔に配置しトンネル全線にわたり自動計測した。軌道沈下の管理値は、一次管理値は3.5mm、二次管理値5.5 mm、三次管理値7 mm（管理値はいずれも10 m間の相対変位量）というかなり厳しいものであった。

表－１ 計測項目

A 計測		切羽観察	毎切羽
		内空変位、天端沈下	5 m間隔
B 計測	坑外	地表面沈下	3 断面
		トンネル直上沈下	50 m
		地中沈下	1 断面
		地中水平変位	1 断面
	坑内	吹付けコンクリート応力	3 断面
		鋼製支保工応力	3 断面
		底盤土圧	1 断面
軌道・道床沈下計測			5～10 m間隔

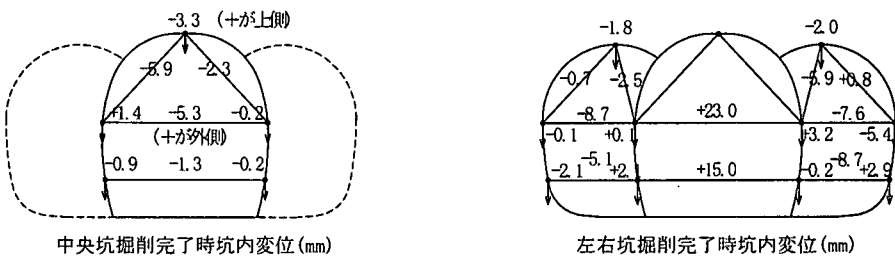
3. 計測結果

3.1 軌道沈下

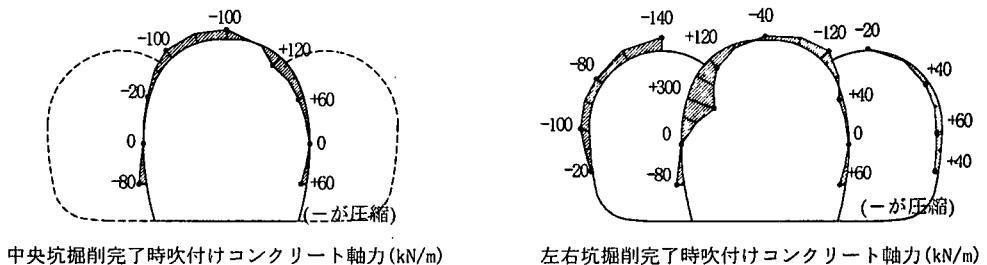
軌道沈下については中央坑上半掘削時に約3 mm（下半掘削時は沈下量0）、左右坑掘削時はさらに2 mm程度の小さな沈下量が追加され、揚水に伴う砂の圧縮沈下量を加算しても10mm以下に収まっている。

3.2 坑内計測結果

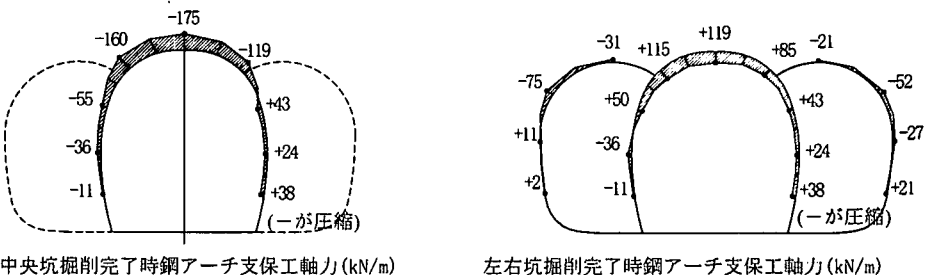
次にトンネル坑内変位分布図及び支保工軸力図を図－１～３に示す。坑内変位についてはいずれの変位量も10mm以下と小さい値であった。支保工に作用する軸力については中央坑掘削時には圧縮力が作用し、左右坑掘削時には左右に引っ張られることにより軸力が減少した。



図－１ 各掘削ステップにおける坑内変位分布図



図－２ 各掘削ステップにおける吹付けコンクリート軸力分布図



図－３ 各掘削ステップにおける鋼アーチ支保工軸力分布図

図-4に鋼真柱に作用する軸力と切羽離れとの相関図を示すが、左右坑掘削による増分緩み荷重が鋼真柱に伝達されていることが分かる。

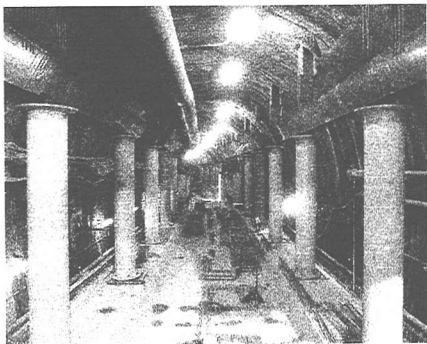


写真-2 鋼真柱設置状況

また、この軸力を経時変化(図-5)でみると、下半掘削後少しずつではあるが軸力が小さくなっていることが判る。これは、上部開削区間の掘削が進むにつれて上載荷重が減ってきたことが原因であると考えられる。次に、鋼真柱は上部の電車軌道を直接受けていることから、発生している軸力から算出した鋼真柱の鉛直変位(圧縮)と軌道沈下実測値を図-6に示す切羽離れ図で比較したところ、実測沈下収束値2mmのうちの約半分が鋼真柱の変位から生じた沈下量であることが判った。

3.3 工区境の施工とトンネル挙動

隣接する工区(第4工区)では、図-7に示すような大断面のトンネルで、当該工区(第3工区)の中央坑が先行して工区境に達した後、隣工区の断面が到達した。中央坑が工区境に到達した際に切羽に変位計を設置し、隣工区のトンネルが近づくことによる切羽の変位量を計測した。図-8に計測結果を示す。隣工区の切羽との距離が15~20m(1.0~1.5D)になると変位量が増加し始め、切羽距離5mで約5mmの変位が生じた。

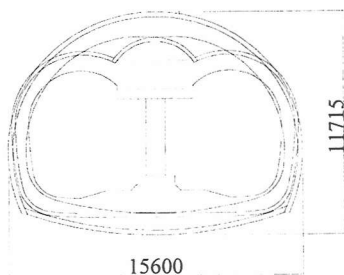


図-7 隣接工区断面図

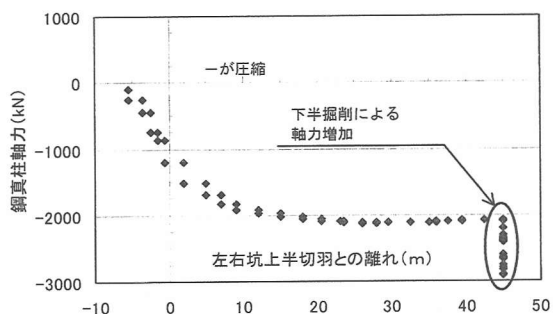


図-4 構真柱発生軸力と左右坑上半切羽離れとの関係

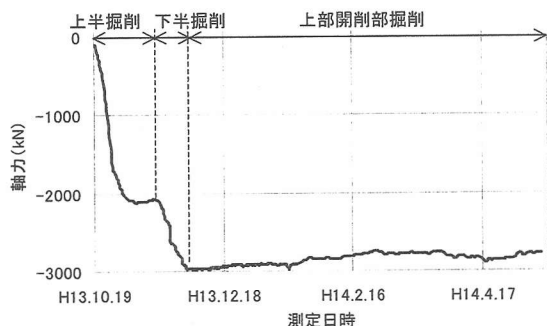


図-5 鋼真柱発生軸力の経時変化グラフ

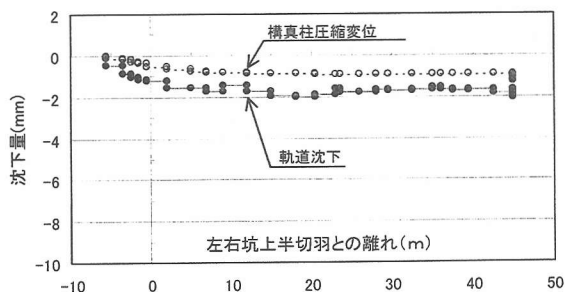


図-6 軌道沈下と左右坑上半切羽離れとの関係

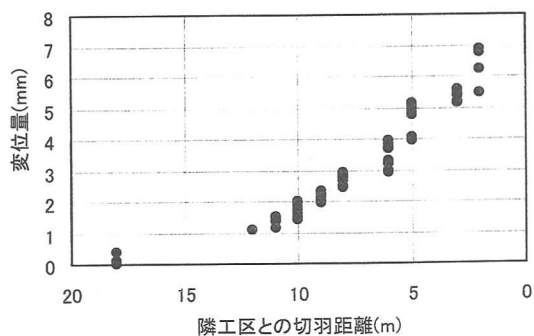


図-8 隣工区トンネルの距離と中央坑切羽変位の関係
(+が隣工区方向への変位)

4. 逆解析

中央坑掘削終了後に計測結果から逆解析を行い、地盤性状を把握するとともに今後の施工の安全性を確認した。解析は2次元線形FEM解析で行い、先端沈下と内空水平変位の変形モードおよび軌道沈下量に着目し、地山変形係数と側圧係数を評価した。その結果、表-2に示すように地盤の変形係数は当初設定値の0.8倍程度、側圧係数0.45程度とした場合に計測値とほぼ一致した。また、逆解析によって得られた物性地を用いてトンネル掘削終了時を予測解析した。最大せん断ひずみ分布図を図-9に示すが、トンネル周辺部でも0.5%以下となっており、比較的地盤は安定しているものと判断のうえ、次施工を進めた。

表-2 逆解析によって得られた変形係数

土層区分	単位体積重量 γ (kN/m^3)	変形係数 E (Mpa)	ポアソン比 ν
t_s	14	1.8 (2.2)	0.45
A_{m2}	15	1.7 (2.0)	0.45
$T_{2ms}-C$	18	250 (300)	0.35
$T_{2m}-B$	18	250 (300)	0.35
$T_{2ms}-A$	19	250 (300)	0.35

()内は当初解析における変形係数

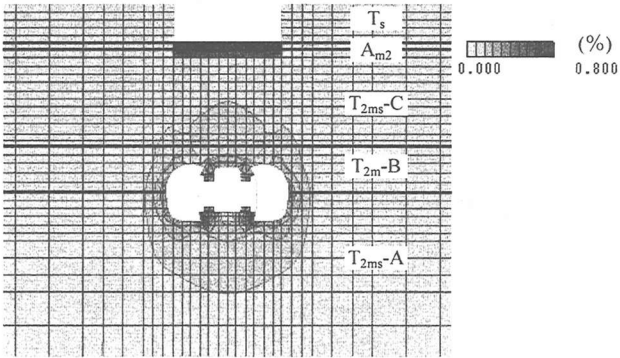


図-9 トンネル掘削終了時の最大せん断ひずみ分布図

表-3に鋼真柱軸力ならびに中央坑内空変位に関する予測解析結果と実測値の比較表を示す。

表-3 計測値と解析値の比較

左右坑 切羽進捗	鋼真柱発生軸力 (kN/本)		中央坑内空変位 (mm , +が外側)			
			測線A		測線B	
	計測値	解析値	計測値	解析値	計測値	解析値
上半切羽到達時	1200	1203	2.5	6.7	-1.7	-0.1
上半切羽通過後収束値	2090	2141	14.0	16.5	-2.5	0.1
下半切羽通過後収束値	2918	2778	23.0	10.2	15.0	0.7

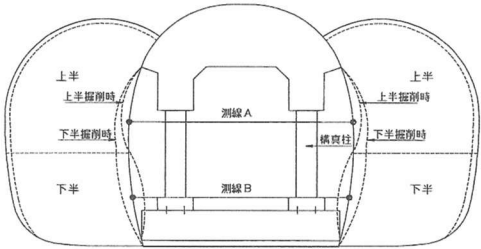


図-10 中央坑内空変位測線と
左右坑掘削時の変形モード

5. まとめ

今回鉄道営業線直下30mでのトンネル施工及び地下駅構築の概要を報告した。
当該区間の地質状況を把握し、詳細な事前検討・対策及び計測による情報化施工の活用により、営業線軌道沈下量は10mm以下で3連めがねトンネルの施工を安全に行うことができた。本工事で得られた知見及び鉄道営業線直下の困難な施工条件を克服した体験等から、今後制約条件の厳しい都市トンネルにおいても山岳工法の適用性が広がるものと確信する。