

鉄道営業線直下のトンネル施工における計測管理

— 東急東横線反町駅地下化工事（その2） —

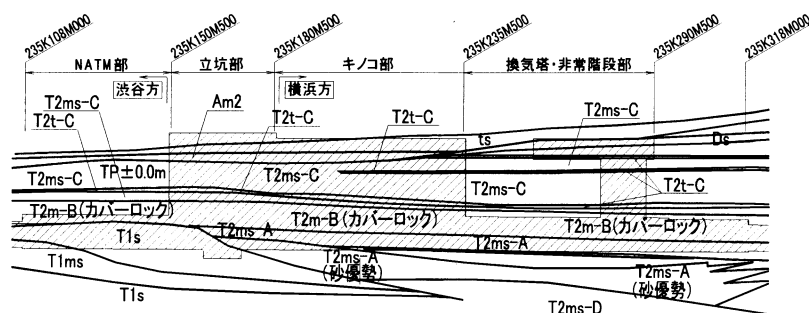
鹿 島 建 設 ○正会員 小坂 琢郎
 鹿 島 建 設 非会員 坂田 真一
 鹿 島 建 設 非会員 松岡 誠一
 鹿 島 建 設 非会員 斎藤 茂
 鹿 島 建 設 正会員 萩原 智寿

1. はじめに

当工事は東急東横線の地下化区間約2kmのうち、反町駅を中心とした210m区間を営業線の直下約30mに3連メガトンネルをNATM工法にて施工するもので、軌道への影響を最小限にするため非常に厳しい施工管理が要求されている。このため、2次元FEM解析を用いて事前に変状を予測した上で下記の計測を実施しつつ施工を進めており、現在中央坑掘削が完了している。今後、左右坑掘削、キノコ部開削などさらに厳しい施工状況となるため、今回の各計測結果を速やかに設計へフィードバックし、施工管理に反映させていくことが重要となる。本文では、特に施工条件が厳しいと思われるキノコ断面についてトンネル内空変位（A計測）および軌道沈下の計測結果をフィードバックし、地山物性値等の再評価を行ったのでその結果について述べる。

2. 地質概要

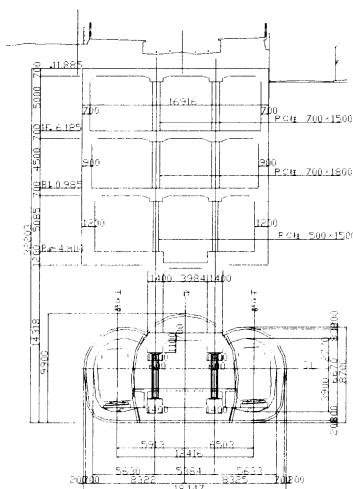
GL-7.0mまでは埋土層および沖積粘性土層で、それ以深は上総層の団結シルト（土丹層と砂の互層）が分布し、トンネル天端付近は介在砂層を含まず、上下の地下水を遮断している比較的強固な地盤（T2m-B層）が分布している。T2m-B層下部の被圧された地下水はディープウェルにより低下させた。



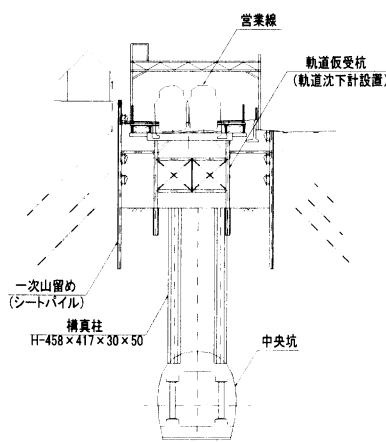
図—1 土層縦断図

表—1 解析用地盤物性値

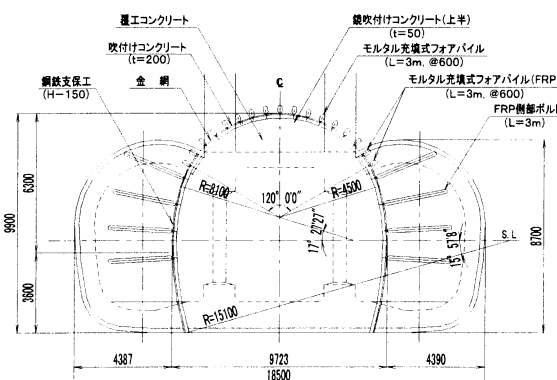
土層区分		単位体積重量 γ (tf/m ³)	変形係数 E (tf/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (tf/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土・埋土	ts	1.4	220	0.45	5	0
沖積層・粘性土	Am2	1.5	200	0.45	3	0
上総層群・砂泥互層	T2ms-C	1.8	30000	0.35	120	0
上総層群・固結シルト	T2m-B	1.8	30000	0.35	120	0
上総層群・砂泥互層	T2ms-A	1.9	30000	0.35	100	0



図—2 キノコ断面図



図—3 キノコ部施工状況



図—4 中央坑断面図及び補助工法
（横浜方 23K190.5m）

キーワード：鉄道近接工事、キノコ断面、NATM、計測、解析

連絡先：神奈川県横浜市神奈川区桐畑 19-4 反町駅工事事務所 Tel045-311-9822 Fax045-311-9880

3. 予測解析

図-5に2次元FEM解析モデル図を図-6に解析ステップ図を示す。初期応力の設定は、ポアソン比 $\nu=0.35$ を用いた自重解析により設定する（側圧係数に換算すると $K_0=0.54$ に相当する）。また、掘削解放率については、切羽到達時（無支保）40%、支保工建込後60%とした。

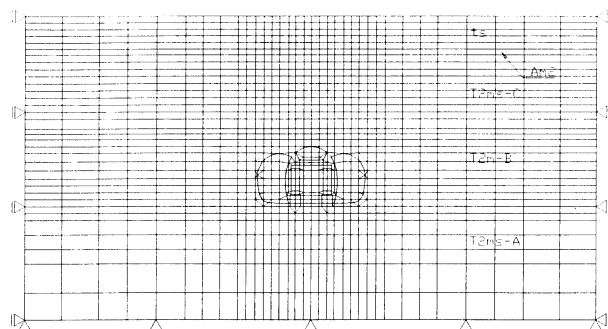


図-5 解析モデル図

STEP1	STEP2	STEP3
初期応力	開削部一次掘削	中央坑上半掘削 掘削解放率：40%
STEP4	STEP5	STEP6
中央坑上半支保工建込 掘削解放率：60%	中央坑下半掘削 掘削解放率：40%	中央坑下半支保工建込 掘削解放率：60%

図-6 施工ステップ図

4. 計測概要

計測項目を表-2に示す。計測における特徴は、トンネル掘削による地上への影響を早期に把握するため、軌道を仮受している杭（図-3参照）並びに道床碎石上に連通管式沈下計を5m千鳥間隔に配置し、トンネル全線にわたり軌道変状を自動計測していることである。トンネル掘削による軌道沈下一次管理値は3.5mm二次管理値5.5mmおよび三次管理値7mm（管理値はいずれも10m間相対変位）という非常に厳しいものであった。

5. 計測及び解析結果

1) 計測

天端沈下は3~6mm程度、平均すると4.2mmであり、内空水平変位は3~7mm程度で、平均すると5.8mmと比較的小さな値となっている。従って、トンネル内空の変形モードを内空変位と天端沈下の比により求めると $(5.8\text{mm}/2)/4.2\text{mm}=0.69$ となり、内空水平変位は天端沈下の約70%となっている。

支保工応力は50~70 N/mm²程度、吹付けコンクリート応力は最大で4 N/mm²であった。支保工応力は予測時と同程度であり、吹付けコンクリート応力は計測値の方がやや大きな値となっている。しかし、解析では吹付けコンクリートの剛性を若材令時として比較的小さな剛性を用いているため、掘削進行状況とコンクリート強度発現時期の影響を受けることを考慮すると、比較的妥当な結果といえる。

軌道沈下は切羽前方約40mから沈下が始まり、切羽通過後約30mで収束する傾向にあり、先行沈下（上半切羽到達時）が約2mmで、収束値（中央坑掘削完了時）は約5mmであった。また、影響範囲は切羽位置から25~30°の広範囲になっていた。

2) 解析結果

トンネルの挙動および軌道への影響を評価する方法として、A計測で得られた天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再評価する解析を行った。トンネル掘削解析においては、底盤部に上向きの掘削解放力が作用するため、リバウンド（浮き上がり）の影響により沈下等が小さく評価されてしまうことがある。このため、今回は下方境界を2D~0.5Dと変化させ、リバウンドの影響について感度解析を行い、危険側の解析としないようにした。

その結果、リバウンドの影響はあまり大きくなく、地山変形係数は当初設定値の0.8~1.0倍程度、側圧係数 $K_0=0.45\sim0.55$ 程度（当初設定値 $K_0=0.54$ ）にした場合に計測値とほぼ一致した。

今後、坑外B計測なども含めた地山全体の挙動を分析するとともに、各施工ステップに合わせ、迅速に計測結果をフィードバックさせ、厳しい施工状況に対応していく予定である。

〔参考文献〕小林理志他：鉄道営業線直下における東急東横線地下化工事の計画概要、土木学会第56回年次学術講演会投稿中 永井宏昌他：鉄道営業線直下におけるNATMの計測・安全管理、土木学会第56回年次学術講演会投稿中 山本隆昭他：鉄道営業線直下における開削・山岳併用トンネルの計画及び施工検討、土木学会第56回年次学術講演会投稿中

表-2 計測項目

A計測		切羽観察	毎切羽
		内空変位、天端沈下	5m間隔
B計測	坑外	地表面沈下	3断面
		トンネル直上沈下	渋谷方50m
		地中沈下	1断面
	坑内	地中水平変位	1断面
		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		5m間隔千鳥配置	