

「都市部におけるめがねトンネルの計測管理について」

－ 環状 2 号線森支線トンネル －

Measurement of twin tunnel at urban area

奥野修平¹⁾・上杉直樹¹⁾

Shuhei OKUNO, Naoki UESUGI

梶山輝男²⁾・柳澤 博²⁾・横尾 敦²⁾

Teruo KAJIYAMA, Hiroshi YANAGISAWA, Atsushi YOKOO

The Mori-Shisen tunnel located at Isogo-ward, Yokohama-city is a twin tunnel with center pillar. Its length is 164m and cross-sectional area is 121m². Since overburden is low and structures exist on the surface, auxiliary methods of construction, such as a Trevi-tube method and horizontal jet grouting at leg level, were applied for the purpose of controlling subsidence at the surface to the minimum. Moreover, construction was carried out carefully performing measurement managements and reverse analysis. Reverse analysis was performed using 2-dimensional FEM based on measurement results. Consequently, construction was accomplished successfully without any serious impacts against surrounding structures. This report describes various kinds of measurement results and reverse analysis results at the time of tunnel excavation.

Key Words: NATM, auxiliary method, measurement

1. はじめに

横浜市磯子区内の環状 2 号森支線トンネル（写真－1）は全長 164m、掘削断面積 121m² のめがねトンネルであり、低土被りかつ未固結地山という特殊な条件のもとで施工が行われ、2002 年 11 月に無事掘削を完了した。また、本トンネルの地表面には民家が存在することから、トンネル掘削に伴う地盤の変形など周辺環境に与える影響が懸念されたため、各種補助工法を採用し、計測管理を行いながら慎重に施工を進めた。

本報告ではトンネル掘削時における各種の現場計測結果について述べる。



写真－1 施工箇所周辺

1) 正会員 横浜市道路局

2) 正会員 鹿島建設(株)

2. 地質概要

トンネル部の地質は丘陵頂部を覆うように薄く堆積している表土と砂質土層・粘性土層が交互に堆積している屏風ヶ浦層、そして第三紀泥岩層の上総層とに分けられる。図-2に地質縦断面図、表-1に設計用地山物性値を示す。掘削箇所地質は主に $N=4\sim 25$ の均質なシルトが主体である固結凝灰質粘土層(Dc-3)、 $N=44\sim 50$ で亀裂を多く含む風化泥岩層(kct-w)、及び $N=50$ 以上の泥岩層(Kct)である。

表-1 設計用地山物性値

	名称	N 値	単位体積重量 $\gamma_t (\text{kN/m}^3)$	変形係数 $E (\text{N/mm}^2)$	ポアソン比 ν
表土	Ts	3	14	6	0.4
屏風ヶ浦層	Dc-1	4	15	8	0.4
	Dsd-1	20	18	35	0.35
	Dc-2	22	16	33	0.35
	Dsd-2	24	18	44	0.35
	Dc-3	20	16	33	0.35
上総層	Kct	—	18.5	950	0.3

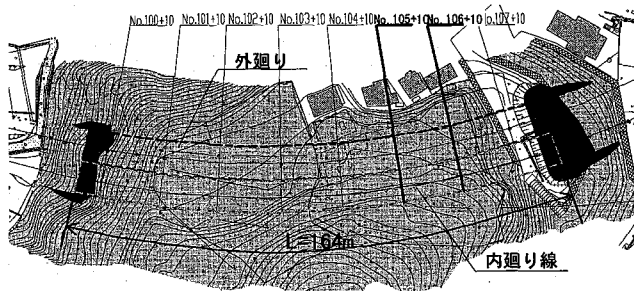


図-1 トンネル平面図

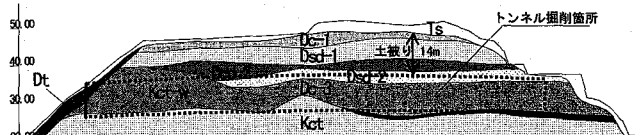


図-2 地質縦断面図

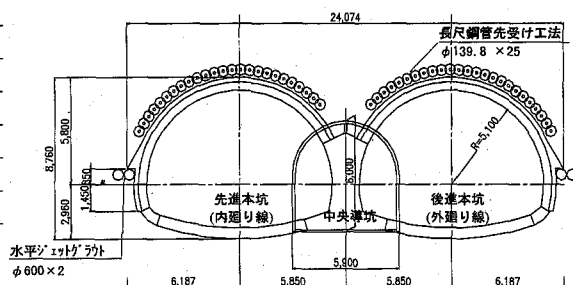


図-3 標準断面図(mm)

3. 施工概要

本トンネルの標準断面図を図-3に示す。施工手順は図-4に示すように、まず中央導坑を先行掘削した後に中央支柱を構築する。次に先進本坑(内廻り線)の掘削ならびに二次覆工を施工した後に、後進本坑(外廻り線)の掘削ならびに二次覆工を施工した。また、中央導坑掘削時は天端・切羽安定策としてウレタン注入式フォアポーリングを用いた。そして、本坑については上半先進ショートベンチカット工法で掘削し、先受け工として注入式長尺鋼管先受け工法(トレビチューブ工法、鋼管径 $\phi 139.8\text{mm} \times 25$ 本)、脚部補強として水平ジェットグラウト($\phi 600\text{mm}$ 、2列)を施工した。

4. 中央導坑掘削時の計測結果

本トンネルを施工するにあたって、表-2に示す項目に関して計測を行った。このうち中央導坑掘削時の計測結果として、地表面沈下計測結果とトンネル直上沈下計測結果について述べる。

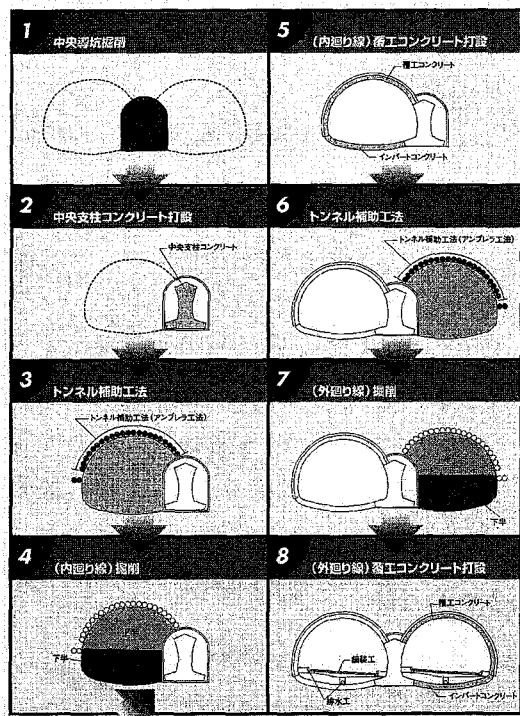


図-4 施工手順

表-2 計測項目一覧

坑外計測				坑内計測					
計測項目	計器名称	断面あたりの計測数	計測断面数	計測項目	計器名称	先進坑・後進坑		中央導坑	
						断面あたりの計測数	計測断面数	断面あたりの計測数	計測断面数
地表面沈下	レベル測量	20点	2断面	トンネル坑内変位測定	内空変位	6測線	8断面	4測線	8断面
層別沈下	層別沈下計	3測線	2断面		天端沈下	1点	8断面	1点	8断面
地中水平変位	地中変位計	3測線	2断面	鋼アーチ支保応力	ひずみゲージ	6点	3断面	7点	3断面
坑口部 斜面変位	3次元測量	6測線	起点側・ 終点側坑口	吹付けコンクリート応力	コンクリート応力計	6点	3断面	7点	2断面
				長尺先受け鋼管変位	水平傾斜計	3本	2断面	—	—
				中央支柱底版土圧	底版土圧計	—	—	2点	2断面
				中央支柱沈下	水盛式沈下計	—	—	1点	2断面
				中央支柱傾斜	設置型傾斜計	—	—	1点	2断面
				トンネル直上沈下	水平傾斜計	—	—	18点	TD6~40m

(1) 地表面沈下

図-5にNo. 106+10 (TD34 m) とNo. 105+5 (TD59 m)における地表面沈下量と切羽離れとの関係を示す。

両断面とも切羽前方15 m付近から沈下が生じ始め、切羽到達時にはおおむね4~5 mmの先行変位が生じた(先行変位率40~50%)。また、切羽離れが30 m付近で沈下が収束し、収束時の沈下量は10~11mmであった。

(2) トンネル直上沈下計

本沈下計は中央導坑直上2.4 mの位置で、坑口から6~40 mの区間における鉛直変位を計測するものである。図-6に直上沈下計の計測結果を示す。先行変位は地表面と同様に切羽前方15 m付近から発生し始め、切羽到達時には約16mmの先行変位が生じた(先行変位率50~60%)。さらに切羽離れが30 m付近で沈下が収束し、収束時の沈下量は約25mmであった。

(3) 逆解析

直上沈下計の計測結果からトンネル周辺の地盤の物性値を推定した。推定方法として2次元FEM弾性解析(土層一様モデル)を採用し、計測結果(先行沈下ならびに収束値)を既知として地山の変形係数と掘削解放率のパラメータ解析を行った。その結果、地山の変形係数が $E=26.3\text{N/mm}^2$ 、掘削解放率が40~60%時に実測値と逆解析値とが一致した。

そして、得られた結果を用いて、本坑掘削時の予測解析を実施し、予測解析結果と計測結果を比較しながら慎重に施工を進めていった。

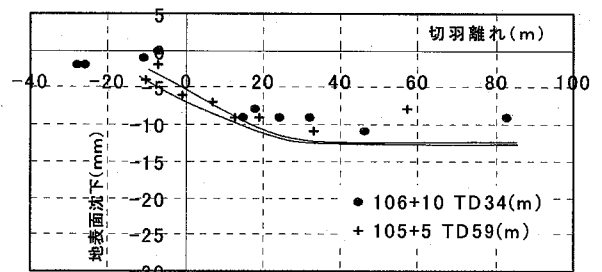


図-5 地表面沈下と切羽離れの関係
(中央導坑掘削時)

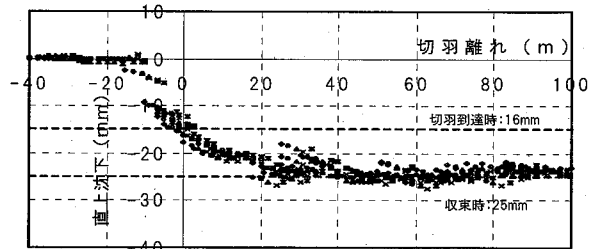


図-6 トンネル直上部の沈下と切羽離れの関係
(中央導坑掘削時)

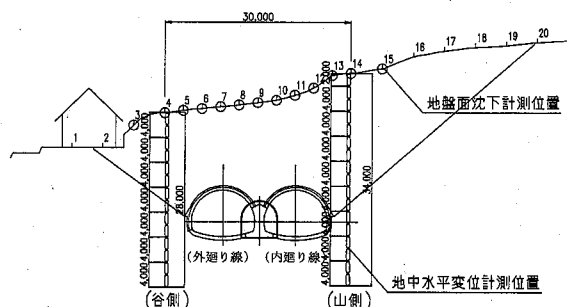


図-7 計測位置(mm)

5. 本坑掘削時の計測結果

(1) 地表面沈下

図-8に示す位置において地表面沈下の計測を行った。図-9に先進および後進本坑掘削時における地表面沈下実測値と解析値との比較結果を示す。先進坑掘削時の最大沈下量は19mm、後進坑掘削時の最大沈下量は33mmとなり、計測値は解析値よりも小さな値となった。

(2) 地中水平変位

図-7に先進・後進本坑掘削時における地中変位量の計測値と解析値との比較結果を示す。(谷側)と(山側)の結果を比較すると、先進本坑、後進本坑掘削時とも(山側)の方がトンネル中心方向への変形量が大きくなった。これは地表面が谷側へ傾斜していることによると考えられる。また、計測値と解析値とを比較すると、変形量は計測値の方が小さいが、変形モードはおおむね一致した。

(3) 天端沈下

天端沈下量の計測値は先進本坑掘削時において12mm、後進本坑掘削時において14mmであった。また解析値は先進本坑掘削時に23mm、後進本坑掘削時は22mmとなった。

(4) 中央支柱に作用する荷重

図-10に示す位置で中央支柱の底版に作用する土圧の計測を行った。土圧の計測値は最大0.30MPaであり、解析値0.64MPaを下まわった。ここでセンターピラーに作用する荷重は、図-10に示すように先進本坑と後進本坑の中心間の地山領域であると仮定して、上記の計測値から中央支柱に荷重として作用する地山領域を推定すると、作用高さは約6mとなった。

6. まとめ

現場計測結果計と挙動予測結果とを比較すると、おおむね現場計測結果計の方が挙動予測結果よりも低い結果となった。この原因は逆解析で推定した中央導坑周辺地山における変形係数に比べて、地山全体の変形係数が大きかったこと、また注入式長尺鋼管先受け、水平ジェットグラウトなどの各種補助工法が想定以上に変形の抑制に効果的であったことによると推察される。

今後、都市域におけるNATMによるトンネル掘削が増加すると予想される。これらのトンネル掘削においては、住宅やライフラインへの影響を最小限にとどめるため、各種計測工を実施し、この結果を受け迅速に対応することが重要と考えられる。本報告が同種工事の参考となれば幸いである。

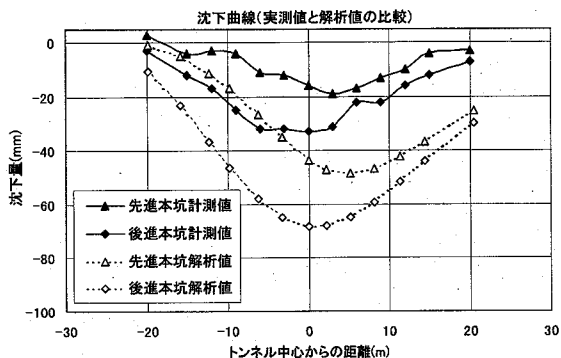


図-8 本坑掘削時の地表面沈下分布図

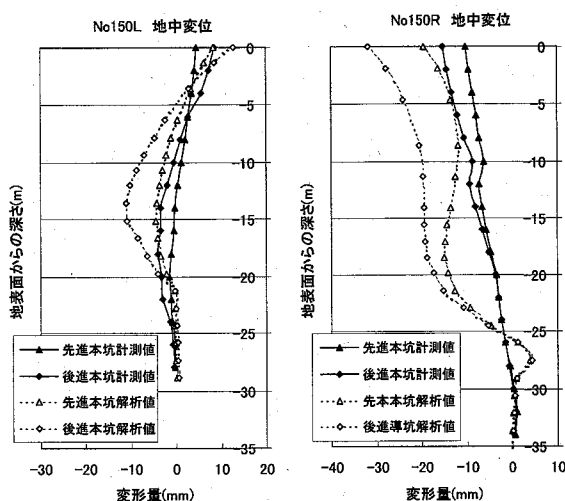


図-9 本坑掘削時の地中変位分布図

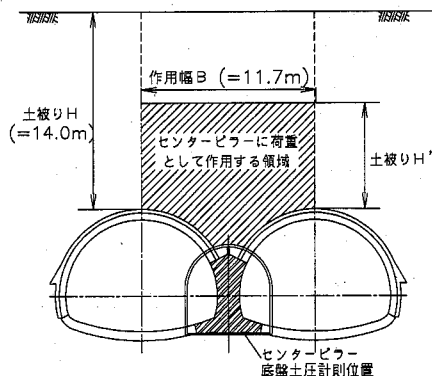


図-10 中央支柱に作用する荷重