

大規模開削に伴うリバウンドによる 地下鉄シールドの挙動

BEHAVIOR OF SHIELD TUNNEL CAUSED BY REBOUND WITH LARGE SCALE EXCAVATION

田嶋仁志¹⁾・川田成彦²⁾・深山大介²⁾・山地育³⁾・黒川敏広³⁾

Hitoshi TAJIMA, Naruhiko KAWADA, Daisuke MIYAMA, Hitoshi YAMAJI and Toshihiro KUROKAWA

The Central Circular Shinjuku Route of Metropolitan Expressway is 11km long and the 90% of the route is a 10km long tunnel, which consists of the cut-and-cover and shield tunnels. A construction site scale of the cut-and-cover tunnel is 25m deep, 38m wide and 81m long. There are shield tunnels of the subway in service under the excavation area.

There is a fear that the vertical displacement of the shield tunnel is caused by rebound deformation with the excavation. This paper reports on the measurement of the vertical displacement and the analysis of the shield tunnel behavior using the results of the measurement.

Key Words: Cut-and-cover tunnel, Rebound, Shield tunnel, Neighboring construction

1. はじめに

首都高速中央環状新宿線におけるトンネル工事は、主要幹線道路直下に地下高速道路を建設するものである。このうち本稿で記述する開削トンネル工区の規模は、深さ約25m、幅約38m、延長約81mと大規模である。工区直下には営業中の都営地下鉄大江戸線のシールドトンネル（以下地下鉄トンネル）が北行き、南行きの2本存在する（図-1）。掘削底面と地下鉄トンネルとの離隔は5.5～8.9mである。

掘削の進捗に伴い、地盤のリバウンド変形による地下鉄トンネルへの影響が懸念された。本稿は掘削から躯体構築、埋戻しまでの地下鉄軌条の鉛直変位計測と、計測結果を用いた次施工段階の軌条変位予測解析についての報告である。

なお、地下鉄トンネル覆工への影響については、事前に検討し構造的に問題がないことを確認している。

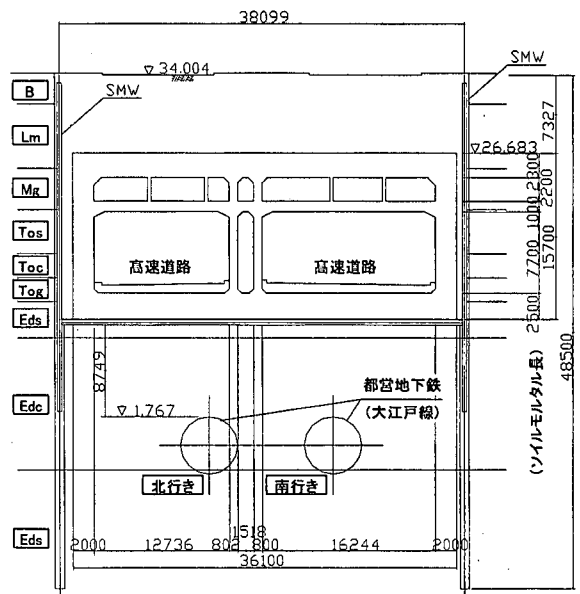


図-1 標準断面図

- 1) 正会員 工学博士 首都高速道路公団 工務部
- 2) 正会員 首都高速道路公団 東京建設局 建設第一部
- 3) 正会員 住友建設(株) 土木設計部

2. 地質概要

工事箇所は武蔵野台地の東端に位置し、堆積する土層全てが洪積層となっている。床付け地盤の江戸川砂層(Eds)はN値が50程度であり、その下位にある江戸川粘土層(Edc)の中に地下鉄トンネルが存在する。地下水位はGL-6.5mと高い。

表-1に設計地盤定数を示す。表中の変形係数は孔内水平載荷試験による荷重-変位曲線から求めた。ポアソン比はトンネル標準施工書⁹⁾を参考に設定した。

表-1 設計地盤定数

層名	N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν
Lm ローム	2	14	0	70	10,000	0.45
Mg 礫	50	20	40	0	40,000	0.30
Tos 砂質土	50	19	35	0	15,000	0.30
Toc 粘性土	4	17	0	60	15,000	0.45
Tog 礫	50	19	40	0	40,000	0.30
Eds 砂質土	50	19	40	0	40,000	0.30
Edc 粘性土	50	18	0	200	70,000	0.35
Eds 砂質土	50	19	40	0	40,000	0.30

3. 計測概要

本工事では、地下鉄トンネル内に設置した水盛式沈下計(図-2)により170m区間の地下鉄軌条の変位を計測した。沈下計は10m間隔で18箇所設置し、地下鉄トンネルと開削区間から北側に54m離れた駅舎の接合する位置(測点1)を不動点とした(図-3)。

掘削が深度GL-11.5mまで進捗した時点で、地下鉄トンネル内に軌条が敷設された。この時点での計測値を以降の掘削における軌条変位の初期値とした。

一般に鉄道近接施工における軌条変位は最大変位ではなく測点間の相対変位で規定されている。本工事では10m間隔の測点間相対変位を計測により管理した。また、管理基準値として1次管理値3.5mm/10m(2次管理値5.0mmの70%)、2次管理値5.0mm/10m(管理限界7.0mmの70%)を設定した。

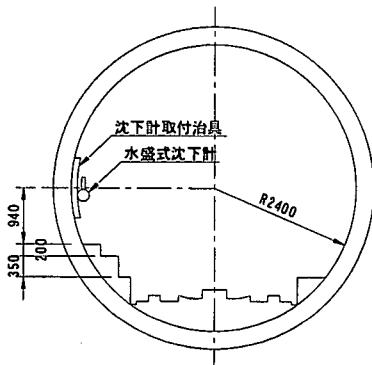


図-2 水盛式沈下計設置位置

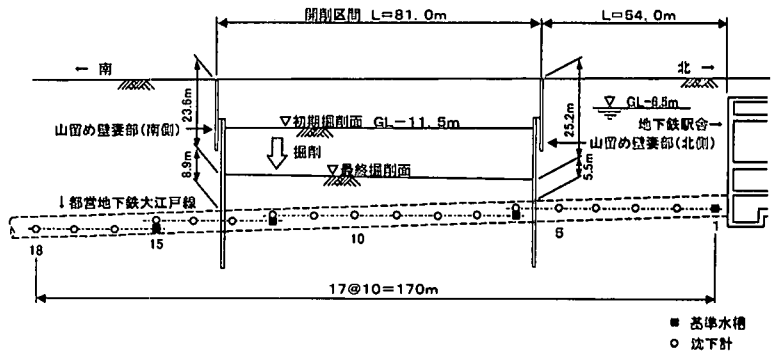


図-3 地下鉄トンネル内の沈下計配置図

4. 計測結果

6次掘削完了時において最大鉛直変位を示した測点(北行き:測点11、南行き:測点10)の変位と上載荷重の経時変化を図-4に、各施工段階における地下鉄軌条の鉛直変位を図-5、6に示す。

掘削の進捗に伴い変位が増加し、最終床付け完了時に最大となり、その後上載荷重の増加により減少している。ただし、6次掘削完了後、盤ぶくれ防止用に設置した6本のディーブウェルを稼働(揚水量:0.8m³/min)させたところ、地下鉄軌条の鉛直変位で最大-2mm程度、相対変位で最大-0.4mm/10m程度の変位低減効果を確認できた。

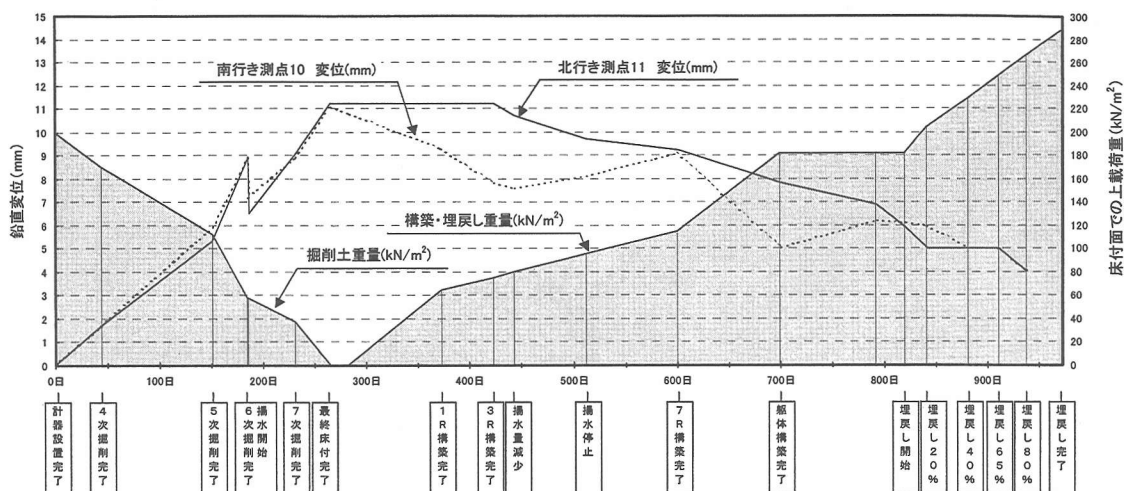
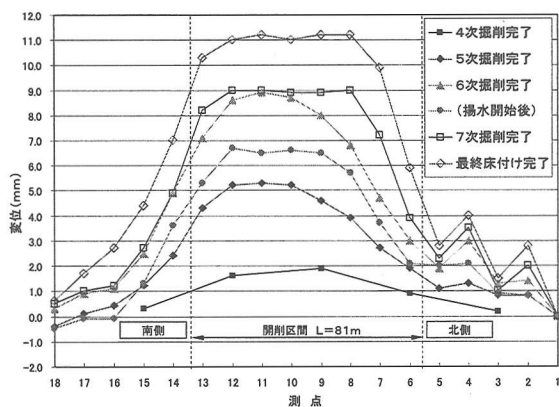
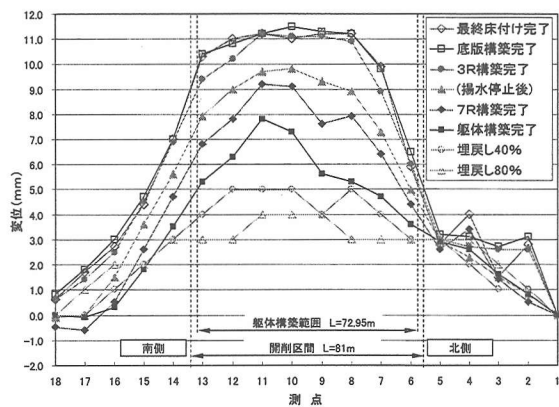


図-4 鉛直変位・上載荷重経時変化図

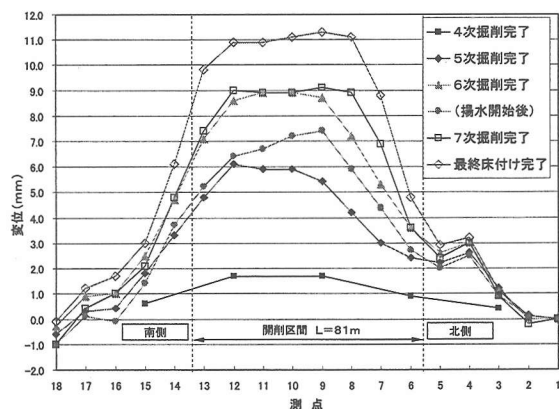


(a) 掘削時

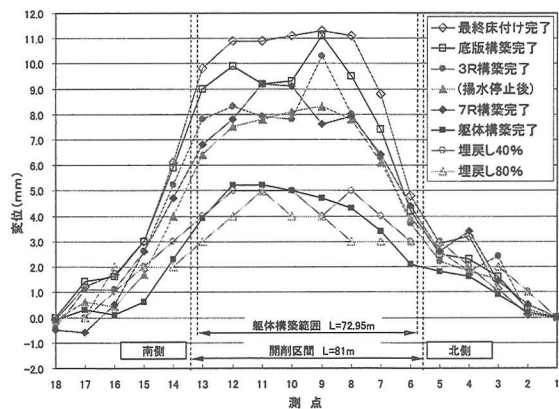


(b) 躯体構築・埋戻し時

図-5 鉛直変位計測結果 (北行き)



(a) 掘削時



(b) 躯体構築・埋戻し時

図-6 鉛直変位計測結果 (南行き)

7次掘削完了後、地下鉄軌条変位が1次管理値を超えることが懸念されたため、以降の掘削、下床版の構築はブロック施工（工区をA～Dの4ブロックに分割し、中央付近のB、Cブロックを先行し掘削、下床版の構築）を実施した。最終床付け完了（8次掘削）時において、最も掘削が深い北側の山留め妻壁部付近で、軌条の最大相対変位が4.0mm/10mとなり、2次管理値を超えずに掘削を終了することができた。また、ブロック施工により1次管理値を超えている期間を極力短くすることが出来た。

5. 予測解析概要

本工事では、4次掘削以降の各掘削段階毎に2次元弾性FEMによる逆解析（地下鉄トンネルの変位計測値と解析値のフィッティング）を行い、その結果を用いて次掘削段階の予測解析を実施した。モデル化はトンネル縦断方向とした（図-7）。

逆解析では地下鉄トンネルのリバウンド変形に最も影響を与えと考えられる掘削底面下のEds層とEdc層の変形係数を再設定することで、変位のフィッティングを行った。Eds層とEdc層の変形係数を表-1に示された設計値の10倍に設定したところ、10m間の最大相対変位、初期状態からの最大変位とも計測値に概ね近似させることができた。なお、ディープウェルによる揚水後、計測値へのフィッティングの際は、FEM解析で求まる変位から6次掘削完了後において計測された揚水による変位減少量を差し引いている。図-8に最終床付け完了時における計測値と、変形係数を再設定したFEM解析結果を示す。

また、躯体構築・埋戻し時には、Eds層とEdc層の変形係数を設計値の20～30倍に設定したところ、計測値と概ね近似させることができた。

6. おわりに

開削工事直下における地下鉄軌条の変位計測と、2次元弾性FEMによる変位予測解析について報告した。トンネル縦断面モデルを用いた変位解析では、掘削底面下の地盤の変形係数を設計値の10倍程度に再設定することで、解析値と計測値を概ね近似させることができた。今後は、トンネル横断面モデルを用いた変位解析による変位補正の導入など、計測値とさらに整合できる解析手法を検討する予定である。

最後に多大なるご指導とご協力をいただいた、東京都交通局ならびに関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 土木学会：トンネル標準示方書（開削工法編）・同解説，pp.266，1996.7
- 2) 渡邊・田嶋・川田・山地・黒川：都市内大規模開削工事におけるリバウンド計測，第56回土木学会年次学術講演会論文集，2001.10（投稿中）

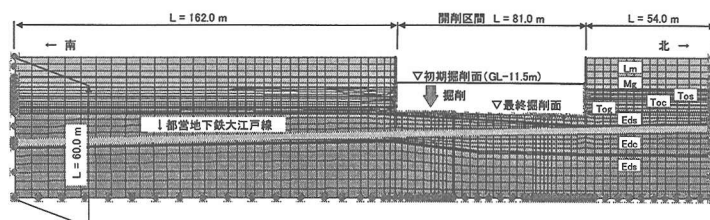


図-7 FEM解析モデル

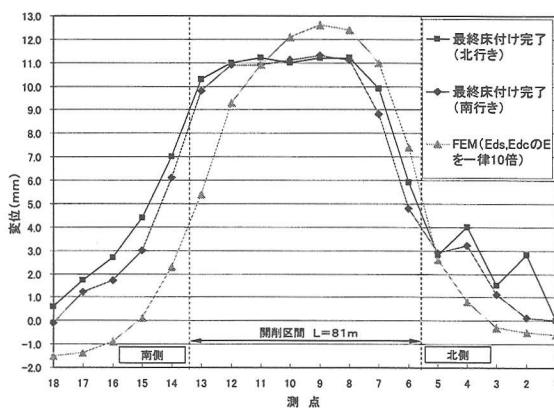


図-8 最終床付け完了時における結果比較