

供用中道路トンネル切開き施工時の挙動

小川 寛久¹・永井 政伸²・山本 佳正³・西嶋 徹⁴

¹正会員 首都高道路株式会社 計画・環境部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 (日土地ビル))

E-mail:h.ogawa1155@shutoko.jp

²首都高道路株式会社 東京建設局 (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)

E-mail:m.nagai1310@shutoko.jp

^{3,4}正会員 鹿島・飛島大橋地区本線接続特定建設工事共同企業体
(〒153-0042 東京都目黒区青葉台4-9-10 サクラビル5F)

³E-mail:yyamamoto@kajima.com

⁴E-mail:nishiji@kajima.com

首都高速中央環状線は、首都圏3環状9放射道路の最も都心側に位置する環状道路である。本工事は、既供用の中央環状新宿線に品川線拡幅躯体を地中で接続する工事である。地上部に設置した作業帯から工事範囲全線に渡って細長く掘削し、開削部から供用路線に向かってNATM工法により切抜げ、躯体を構築する。工事着手前に施工手順に順じた安全性を確認するため、掘削開始～躯体構築(逆巻き工法)～切開き～埋戻し完了～剛性低下までを2次元逐次解析で再現することで、鋼殻の挙動を予測し、計測管理値を設定し、実際の挙動を把握するために鉛直方向、水平方向の変位を計測しながら施工を行った。その結果、解析値と計測値との差異は少なく、鋼殻の変形モードをよく表現しており、安全に工事を実施できた他、解析モデルの妥当性を示すことができた。

Key Words : shield tunnels, open cut, NATM, numerical analysis

1. はじめに

中央環状線は、首都圏3環状9放射道路の最も都心側に位置する環状道路である(図-1参照)。その内、平成22年3月28日に3号渋谷線大橋JCTから4号新宿線西新宿JCT間が開通し、湾岸線葛西JCTから大橋JCTまでが供用している。現在建設中の中央環状品川線の約9.4kmが開通すると全長約47kmの環状道路が形成される。

中央環状新宿線大橋地区本線接続工事は、既に供用し

ている中央環状新宿線に品川線拡幅躯体を地中で接続する工事である。供用中のシールドトンネルの側部250m区間を地上から掘削し、本線となるRC構造の躯体を構築する。その後、外径φ12.65mの鋼製セグメント側面を切開くことにより地中で地下空間を拡幅し、分合流部を構築する¹⁾(図-2参照)。

本工事においては、接続部への地下水の浸透や掘削に伴う応力変化による既設シールドへの影響を考慮した施工が必要となる。また、工事区間は都道環状第6号線



図-1 首都高速中央環状線位置図



図-2 工事範囲

(以下、山手通り)直下である事から、山手通りの通過交通や近接する鉄道などへの影響を抑える必要がある。

本稿では、工事の施工方法及び施工手順に順じた、安全性確認のための2次元逐次解析(掘削開始～躯体構築(逆巻き工法)～切開き～埋戻し完了～剛性低下)について報告する。

2. 地質条件及び施工方法の概要について

本工区内のシールドトンネルおよび拡幅部躯体は、全線が上総群北多摩層の泥岩層(Kc)に位置する(図-3)。Kc層は厚さ数センチの介在砂層が存在するが自立性が高く、湧水量も非常に少ないと予想され、山岳工法の適用が可能な地盤と考えられた。尚、泥岩層(Kc)の上部は、埋土層(B)、東京層の粘性土(Toc)、細砂層(Tos)、東京礫層(Tog)である。Kc層の上方に位置するTog層の地下水位は、大坂橋連壁付近がTP+16.0m、松見坂立坑付近がTP+17.0m程度であり、Tog層の地下水は被圧された状態にある。

土質試験により得られたKc層孔内水平初期載荷ボーリングから得られた変形係数平均値は190,000 kN/m²あり、ブロックサンプリング供試験体の変形係数は、407,900～502,400kN/m²であった。

以上より、本工事では、山手通りの現状の車線数を確保し、交通への影響を小さくするため、開削工法とNATM工法の併用により地盤の開削を実施した。山手通り内回り側(歩道側)に寄せて設置した作業帯から工事範囲全線に渡って細長く開削し、開削部からNATM工法により切抜げ、躯体を構築する。その後、逆巻き工法により上床版、中床版、下床版の順に躯体を構築し、下層から上層の側壁を施工する。本工事の躯体構築の施工順序を以下に示す(図-4参照)。

STEP1: RCD工法/CSM工法による土留め構築

STEP2: 開削+NATM工法による拡幅掘削工

STEP3~4: 逆巻き工法による躯体構築工

STEP5: セグメント撤去工, トンネル接続工

STEP6: 埋戻し, 街路復旧工

床版構築においては、切抜げにより露出した供用シ-

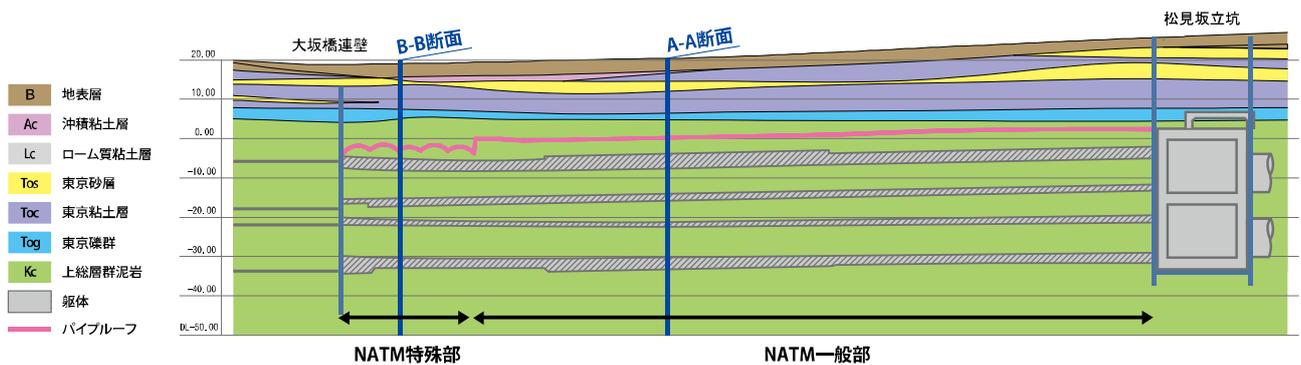


図-3 地質縦断面図

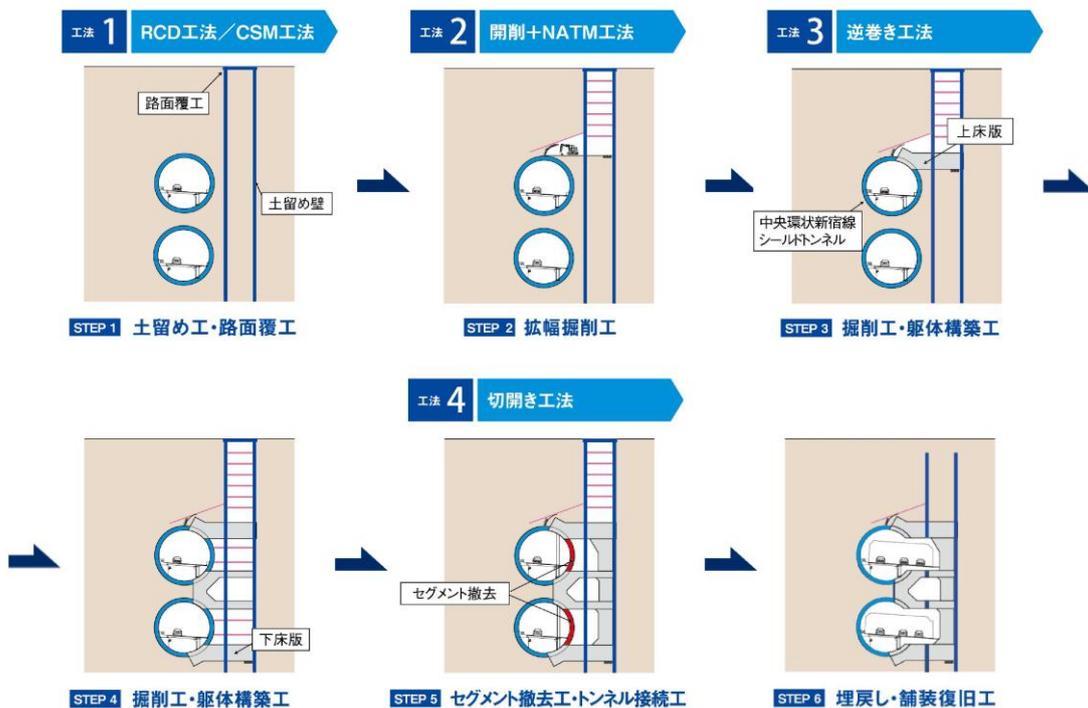


図-4 施工手順

ルトトンネルの外側スキンプレートを撤去し、鋼製セグメント内に設置された鉄筋継ぎ手と今回施工の床版主筋を接続させることで、床版と既設トンネルを一体化させている。また、逆巻床版自重（一部埋戻し土含む）については、中間杭、土留め芯材へスタッドジベルを打ち込み、床版と結合することでズレ止めとし、既設シールドトンネル側を含めた床版との結合部で支持させた。

側壁構築においては側壁厚が3.0mと非常に大きいことからひび割れ発生を抑えるため、逆巻きで施工した床版と順巻きで構築する側壁の上部の打継目部については、膨張材入りの高流動コンクリートを使用した（図-5参照）。床版の縦断勾配を利用し、下流側から打設することで、エアだまり等の不良箇所の発生を防止した。また、本工事では工事着手前に逆巻き部の止水性試験を実施し、止水性能を確認した²⁾。

本線躯体が上層側壁まで構築された後にシールドの切開きを実施する。図-6に示すように、シールド鋼製セグメントの重量を考慮して切開き箇所を4分割し、側方

空間が広い箇所についてはクレーン車、狭い場合にはホイストクレーンを用いて鋼製セグメントを吊下げ、安定を図りながら高所作業車を利用してガス切断をする。ここで、最初の切開き工実施については中間杭の撤去及び断面①を切開いたことによる応力開放をひずみゲージにより計測管理しつつ、設計値と比較しながら施工した²⁾。尚、供用路線への煙の流出防止や工事作業帯から供用路線への飛散防止として工事空間と供用路線の間にプロテクターパネルを設置した（写真-1参照）。

シールドの切開きが完了後、躯体内の内装工、気泡混合処理土埋戻し工、地上部の街路復旧工を実施する。

3. 鋼殻の挙動解析と測定結果

(1) 計測器配置

セグメントの挙動は各測点の変位量を自動計測しており、計測器配置図を図-7に示す。松見坂立坑内および大

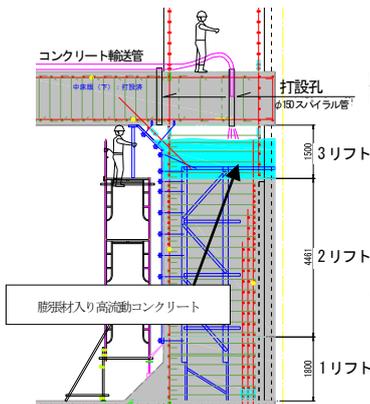


図-5 施工順序概要図

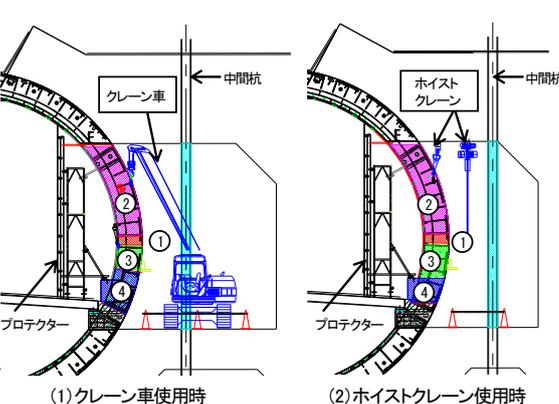


図-6 シールド鋼製セグメント切開き概要図



写真-1 鋼殻撤去状況

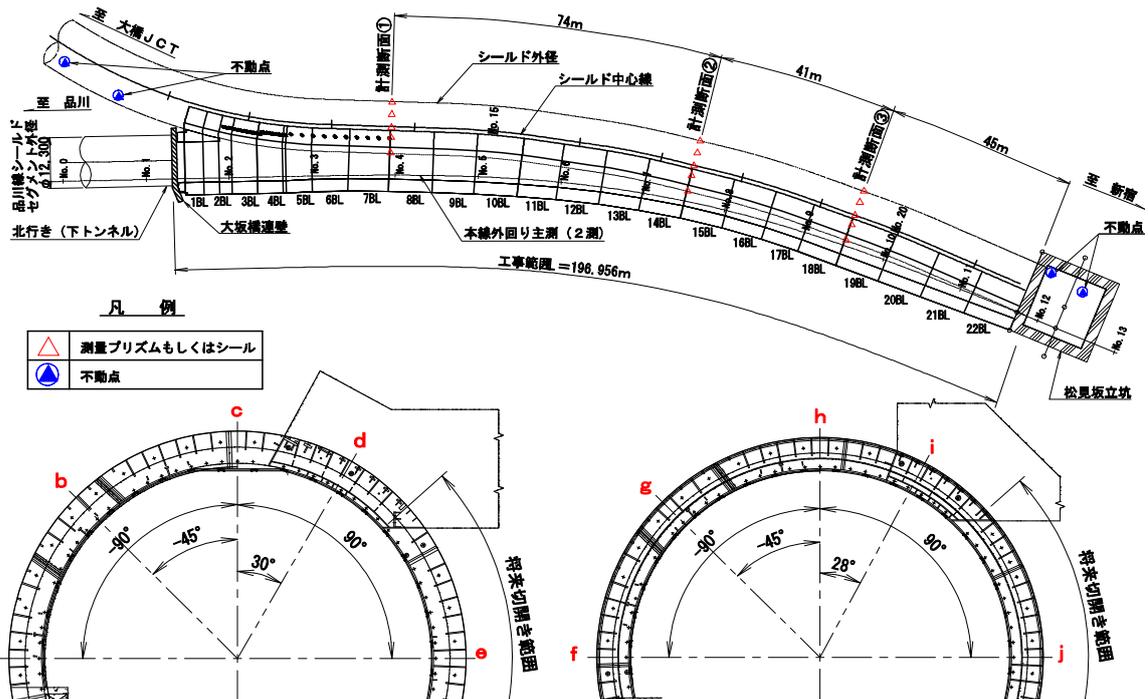


図-7 計測機器配置図

橋方に不動点を設け、当該工区に3断面、1断面当り上半部のみ5箇所（上層：a～e，下層：f～j，鋼殻撤去時はe，jを除く各4箇所），トータルステーションにて、鉛直方向(Z方向)と水平方向(Y方向)を計測した。

(2) 解析モデル

施工手順に順じた鋼殻の安全性を確認するため解析は、2次元FEM逐次解析(ABAQUS)を用い、掘削開始～躯体構築(逆巻き工法)～切開き～埋戻し完了～剛性低下までを19STEPでモデル化し実施した。

解析は、工事着手前に実施した解析①に対し、掘削時の鋼殻変位量をフィティングすべく解析条件を変更し再計算した解析②がある。解析②の側圧は、土留め壁の計測変位から推定した値を用いている。さらに、上層鋼殻と下層鋼殻の各変位量のフィッティング精度が、上層掘削時点と下層掘削時点で推定した各側圧で分けて解析すると精度が向上したことから、上層、下層でそれぞれに解析モデルを分割した。解析①と解析②の相違点は下記のとおりである。解析条件を図-8、図-9に示す。

a) 鉛直土圧

- 解析①：パイプルーフ両端に集中荷重で載荷
- 解析②：土留め杭側は集中，鋼殻側は分布荷重

b) 側圧

- 解析①：側圧相当を考慮
- 解析②：上層鋼殻 $0.16\gamma h$ ，下層鋼殻 $0.12\gamma h$

(3) 解析結果と計測値との対比

解析②の結果，鋼殻の応力度は許容値に対して上鋼殻93%，下鋼殻88%となり，安全であることが確認できた（表-1，表-2参照）。したがって，計測管理値は以下のように設定した。

- 一次管理値：解析結果の最大応力度比となった施工ステップの上半の最大変位
- 二次管理値：応力度比が95%となる変位
- 許容値：解析値÷許容応力度比 $\leq 50\text{mm}$

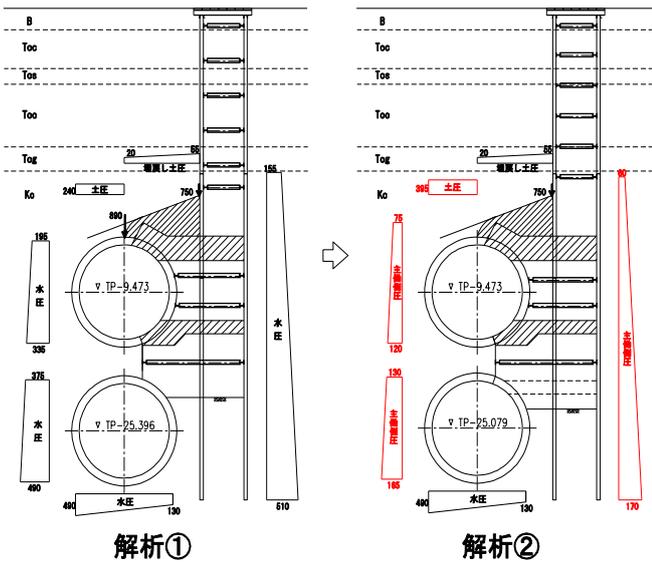


図-8 上層解析用モデル

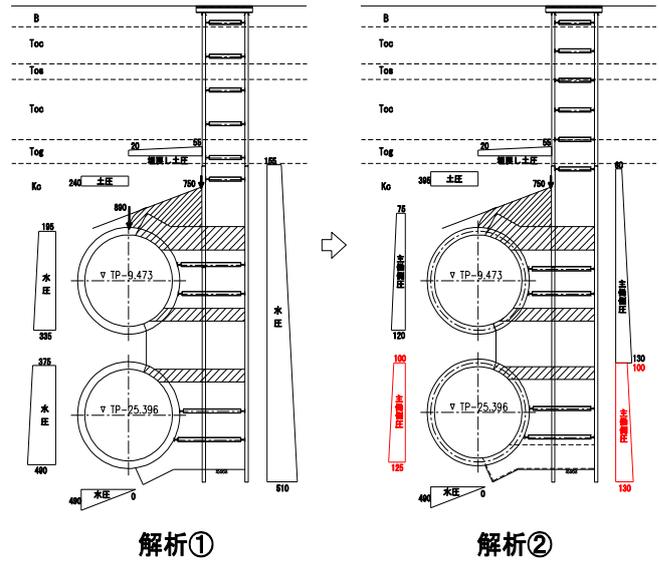


図-9 下層解析用モデル

表-1 逐次解析結果（切開き前～剛性低下までの鋼殻の応力度比）（解析②）

STEP	上層				下層			
	切開き前	切開き後	完成	剛性低下後	切開き前	切開き後	完成	剛性低下後
計測断面①	0.45	0.45	0.65	0.90	0.22	0.23	0.48	0.87
計測断面②	0.45	0.45	0.62	0.82	0.32	0.33	0.57	0.88
計測断面③	0.48	0.48	0.71	0.93	0.35	0.35	0.57	0.81

表-2 逐次解析結果（切開き前～剛性低下までの鋼殻の上半の最大変位）（解析②）

(単位:mm)

STEP	上層				下層			
	切開き前	切開き後	完成	剛性低下後	切開き前	切開き後	完成	剛性低下後
計測断面①	20.2	20.2	30.9	39.7	21.0	22.3	22.4	25.6
計測断面②	20.6	20.7	26.0	32.3	22.3	22.7	23.0	25.1
計測断面③	25.7	25.8	32.5	39.7	22.6	23.0	25.2	26.8

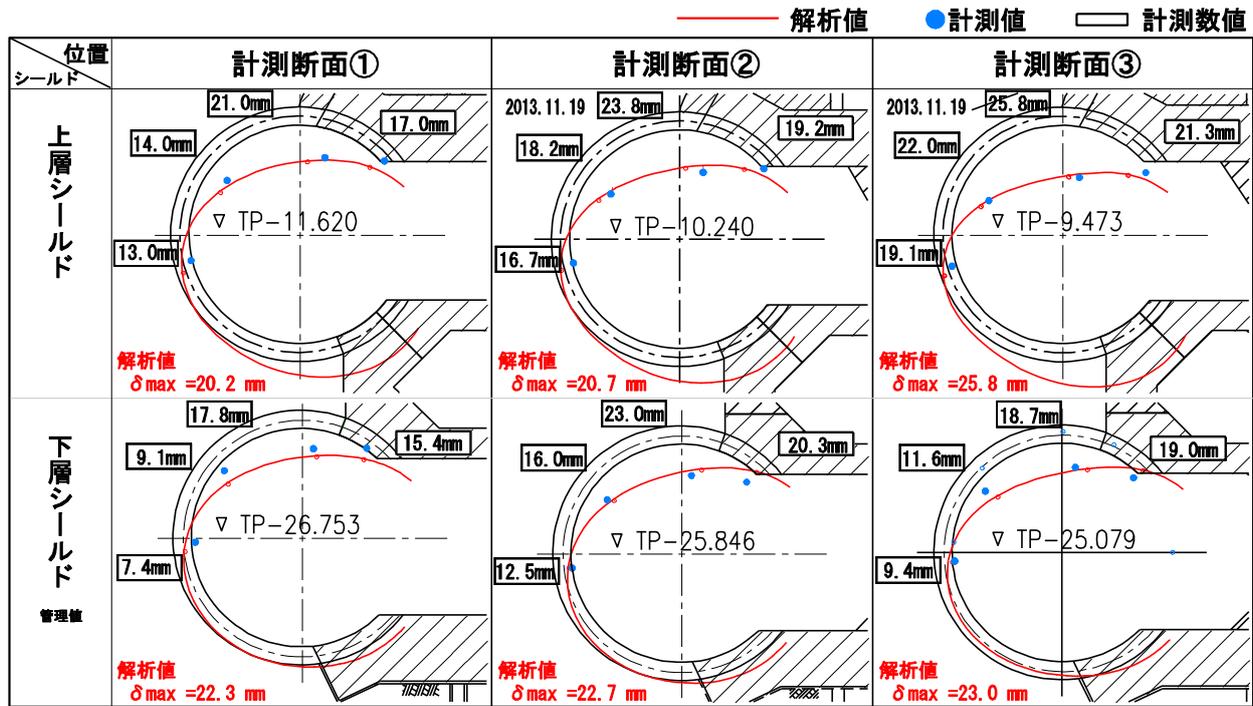


図-10 鋼殻切開き後の解析値と計測値

鋼殻切開き後における解析値と計測値を図-10に示す。解析値と計測値との差異は少なく、鋼殻の変形モードをよく表現しており、解析モデルは妥当と考えられる。

4. おわりに

本工事は、品川線分合流部拡幅部の躯体構築後にシールドトンネルの鋼殻を250mにわたって切開きし、上下2本の品川線のシールドと新宿線のシールドの接続部を構築するという前例のない工事である。

大橋シールドトンネルは供用状態であり、重要幹線直下での施工であったため、掘削から埋戻しまでの一連の工事の進捗に伴う鋼殻の挙動を正確に把握することは非常に重要であった。そこで、逐次解析のステップを設定して管理値を定めるとともに、常に鋼殻の挙動を計測し、

変状を確実に把握しながら慎重に作業を進めた。鋼殻切開き前には土留め壁の計測結果なども考慮して解析条件の見直しを実施し、精度よく鋼殻の挙動を把握し工事を進めることができた。平成26年9月現在で埋戻しまで完了し、街路復旧工事に着手している。本報告が類似のプロジェクトを進める上で参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 下西勝, 石黒義晃, 渡邊健治, 西嶋徹: 供用中の道路トンネルへの切開き工法による新線接続工事計画, トンネル工学報告集 20, pp.273-279, 2010.
- 2) 小川寛久, 安井雅士, 山本佳正: 供用中の地下道路トンネルへの切開き工法による新線接続工事の施工状況, 地下空間シンポジウム論文 報告集 VOL.19, pp.197-200, 2014.

(2014.9.15 受付)

A BEHAVIOR OF OPEN CUT SECTIONS OF SHIELD TUNNELS ALREADY IN SERVICE

Hirohisa OGAWA, Masanobu NAGAI, Yoshimasa YAMAMOTO, and Toru NISHIJIMA

It is intended in the main line connection work of Central Circular Shinjuku Route in Ohashi District to cut open the shield tunnel of Shinjuku Line, which is already in service, so as to connect it to Shinagawa Line as well as to construct the shunt & junction system. The main structure will be constructed by cutting the soil in open-cut method combined with NATM as well as by inverted lining for the purpose of minimizing deformation of the surrounding soil while stabilizing the whole of the shield tunnel in junction line already in service and of the earth retaining structure. This paper reports on the design method with the numerical analysis, and the validity of the result as compared execution of the construction work.