

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

下西 勝¹・石黒 義晃²・渡邊 健治³・西嶋 徹⁴

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

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

E-mail:y.ishiguro142@shutoko.jp

³鹿島建設株式会社 土木部 技術グループ (〒107-8477 東京都港区元赤坂1-3-8)

⁴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)

首都高速中央環状線のうち、平成25年度の全線供用を目指して建設中の中央環状品川線と、既に供用中の中央環状新宿線はトンネル構造を切開いて接続する計画である。既供用部のシールドトンネル構造部を切開くことになるが、これは首都高速道路において、はじめての施工であり、各種の検討を行う必要があった。検討の結果、切開き工法についてはNATMと開削の組み合わせ工法を選定し、開削工法に用いる仮設土留めにはリバース杭とCSM工法を組み合わせ用いることにした。また、切開き接続部については試験により止水性能を確認した。

Key Words : Shielded Tunnel, NATM, Expansion Methods, CSM, Waterproof

1. 工事の特徴

首都高速道路中央環状線は、首都圏3環状9放射道路の最も都心側に位置する全長約47kmの環状道路である。平成25年度の全線供用を目指して、現在、建設を進めている。

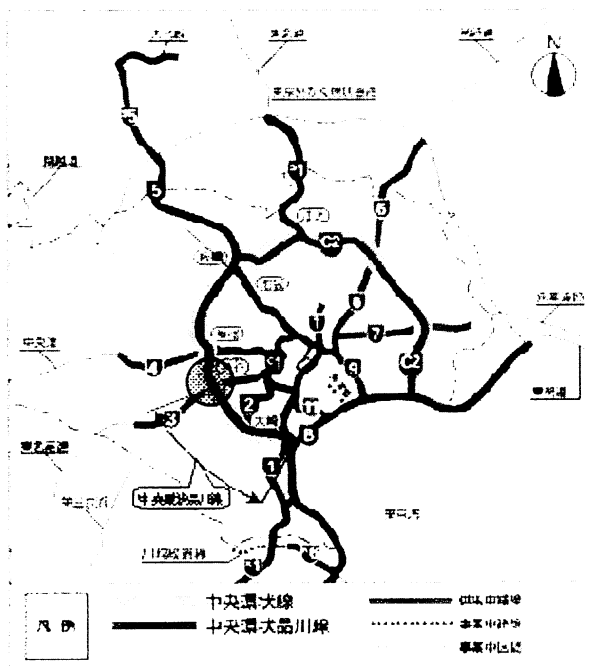


図-1 首都高速道路ネットワーク

この中央環状品川線と、平成22年3月に開通した中央環状新宿線は、大橋シールドトンネル部において、地中にて接続する構造となっている。

中央環状新宿線の大橋シールドトンネルは上下2本の双設トンネルであるが、本工事では、分合流部を構築するために、このうち約250mの区間を、供用しながら切開いて、拡幅を行う。鋼セグメント部を切開くことから、接続部には地下水の浸透、漏水の可能性が想定されるため、施工時及び将来の維持管理における止水性の確保が重要となる。

また、都市内での施工であり、工事区間は都道環状6号線(山手通り)の直下であることから、環状6号の通過車両や近隣の住民、近接する鉄道などへの影響を最小限に抑えることも重要な条件の一つである。

このため、躯体構築や仮設の土留め工法の選定においては、各種の検討を行なう必要があった。

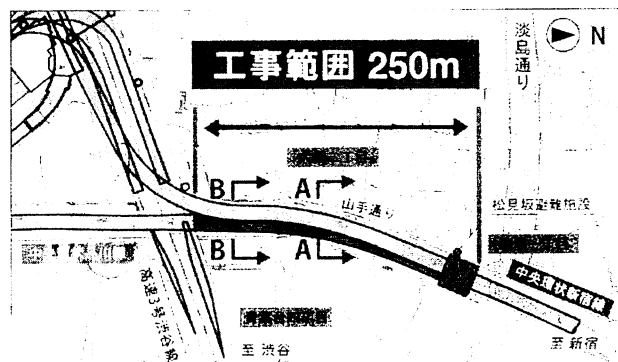


図-2 平面図



図-3 切開き接続箇所イメージ

2. 施工概要

(1) 施工方法の選定

施工方法の選定については、街路交通・周辺環境、供用中のシールドトンネルの交通に与える影響、周辺地盤変状の抑制、工程遵守について特に着目し工法を選定した。選定にあたっては、全面開削工法とNATM工法を基本に検討した。

a) 全面開削工法

環状6号内回り側（歩道側）土留め壁と外回り側の連結路トンネル上部で止まる土留め壁とを用い、工事範囲全線にわたり開削工法にて躯体を構築する工法である。（図-4）

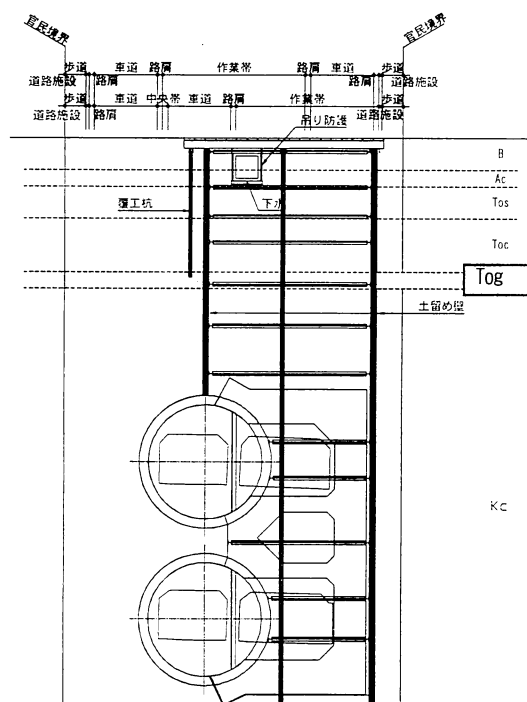


図-4 全面開削工法

全面開削工法による場合、土留め杭、覆工支持杭の打設・撤去のため、作業帯の切替えが2回以上必要となる上に、大坂橋交差点付近では、一時的に通行止めに近い大掛かりな交通規制が必要となる。また、下水幹線の吊り防護が必要となるなど街路交通への影響が大きくなり、関係機関との協議も必要となることから工程に対するリスクも大きくなる。

b) NATM工法

環状6号内回り側（歩道側）に土留め壁兼用となる支持杭を打設するとともに、道路上に立坑を設け、この立坑から工事範囲全線にわたりNATM工法にて躯体を構築する。（図-5）

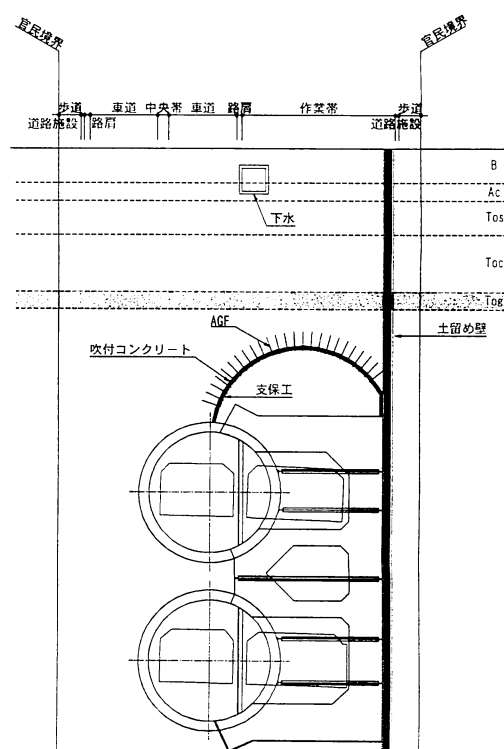


図-5 NATM工法

NATM工法による切開き幅が広いことから、地上での地盤変状が大きくなることや出水のリスクが懸念される。また、立坑からの片押し施工となるため工期が長く、トラブル時の工程回復が困難となる。地上開放を目的としているにもかかわらず、発進立坑、土留め施工用のプラント、土砂ピット撤去用作業帯などが必要になり、そのメリットは小さい。

c) 開削工法とNATM工法の併用

環状6号内回り側（歩道側）に寄せて設置した作業帯（5m～8m）から工事範囲全線にわたって細長く開削し、開削部から連結路トンネルに向かっ

地盤条件は、地下水位が概ねTP+16mでTog層は層厚2.6m程度で透水性が高く湧水量も多いものの、切開き部は全線にわたり安定した上総層群泥岩（Kc層）が分布しており、Kc層は自立性が高く、湧水が懸念される介在砂層からの湧水量は少ないと判断出来ることから、Tog層の確実な止水とともに、NATM工法の適用が可能であると判断した（図-6）。また、この併用工法はNATM切開きのスパンが最小とできるため、周辺地盤への変状を抑制でき、NATM切開きに先立ち土留め内掘削を行うため、地盤状況の把握と必要に応じての対策（止水注入等）が可能である。

Technical drawing of a tunnel cross-section. The drawing shows a tunnel with a diameter of 3.0m. The tunnel is divided into two main sections: a NATM section on the left and a section on the right. The NATM section has a width of 2.0m. The section on the right has a width of 3.0m. The total width of the tunnel is 5.0m. The drawing also shows the tunnel's vertical profile, including the invert and the crown. The invert is labeled "逆巻きスラブ" (Reverse Slab). The crown is labeled "立坑部" (Shaft Section). The drawing includes dimensions for the tunnel's length and width. The length of the NATM section is 30.0m. The length of the section on the right is 33.0m. The total length of the tunnel is 63.0m. The drawing also shows the tunnel's vertical clearance, which is 5m or more. The drawing includes labels for "官民境界" (Public/Private Boundary) and "作業帯" (Work Zone). The drawing is a technical drawing of a tunnel cross-section.

施工ステップを下記に示す(図-8.9).

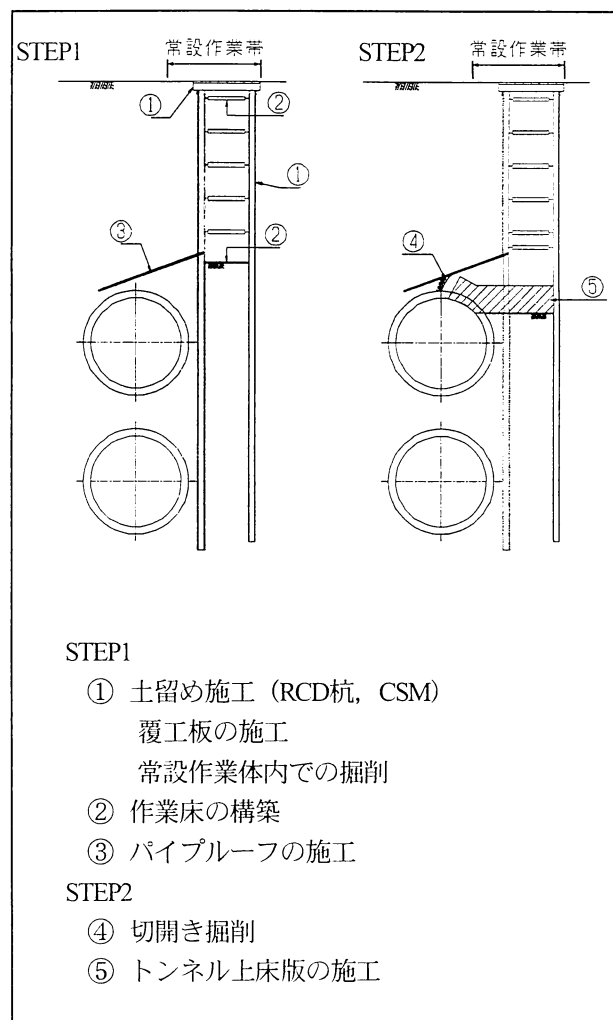
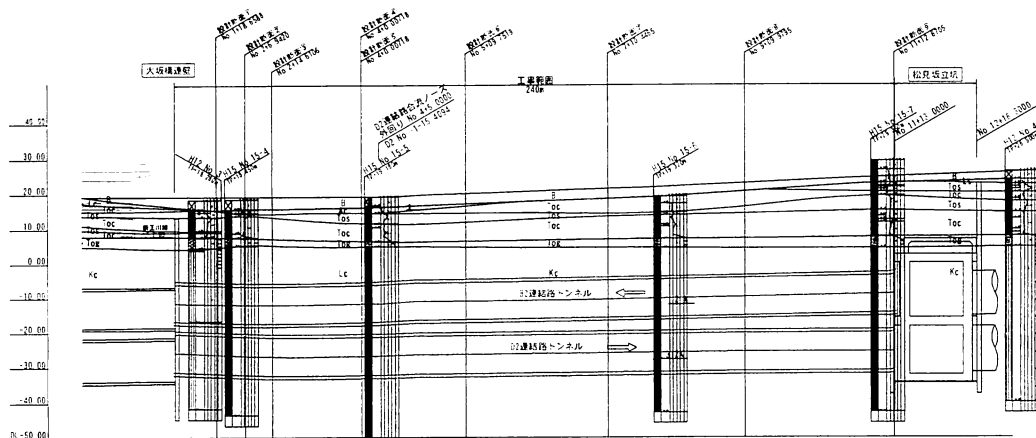


图-7 施工概要



地質名	主な土質名	地質記号
埋土・表土	砂・粘土・互層など	B
沖積層	砂混りシルト	Ac
関東ローム層	ローム	1a
	凝灰質粘土	1c
東京礫群	細砂・シルト質砂層	1os
	シルト・砂質シルト	1oc
	砂礫	1og
上総層群	固結シルト	Kc
	細砂	Ks

图-6 地質縦断図

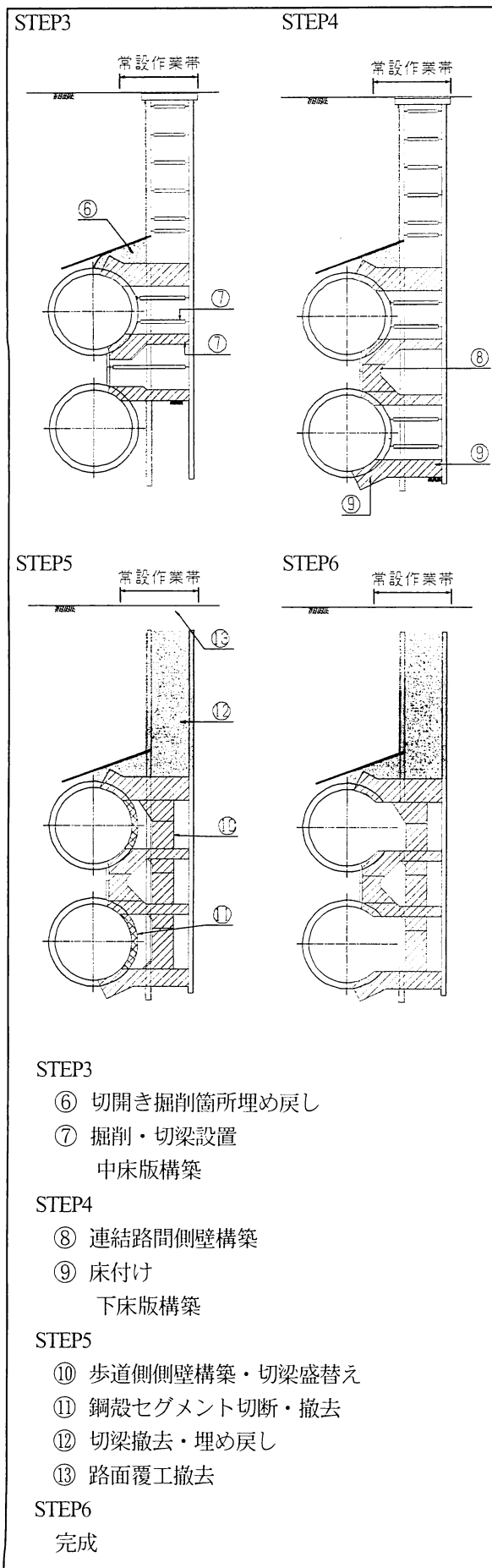


図-9 施工ステップ2

NATM部は切開き部の拡幅量にあわせ、一般部と特殊部に分けて計画した(図-10)。

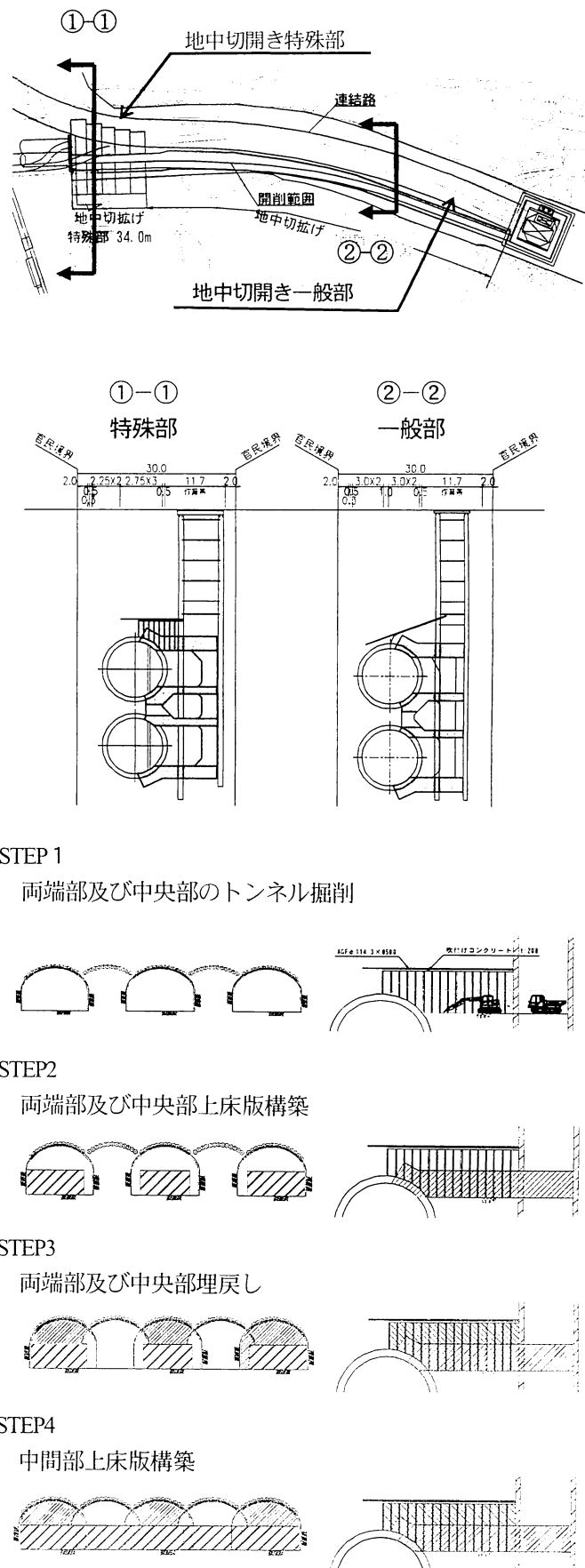


図-10 NATM部特殊部位置図・施工ステップ

(2) 山留め施工方法の選定

開削部の山留め工法の選定にあたっては、周辺環境への影響軽減、施工性の向上、止水性、官民境界直近での施工となることから施工制度について、TRD工法とCSM工法について比較し選定した。

a) TRD工法+リバース杭(RCD)工法

車道側はTRD壁を構築後に、RCD杭を重複させて施工する。歩道側はTog-5m以深は横矢板にて土留めを施工する。TRD工法は、同種工事での施工実績もあり、SMW機と比較すると、TRD機は低空頭・省スペースなため沿道への圧迫感を軽減可能で、施工機械は複数台調達可能であり、本工事においても2カ所での同時施工が可能であり、工程の短縮に寄与する。しかしながら、官民境界と山留めの最近接部では離隔が確保できないことから、一部で山留め背面を地下で増堀掘削が必要となる(図-11)。また、TRD工法にて壁体構築後にRCD杭を構築することから杭壁面とTRD壁面の止水性について懸念が残る(図-12)。

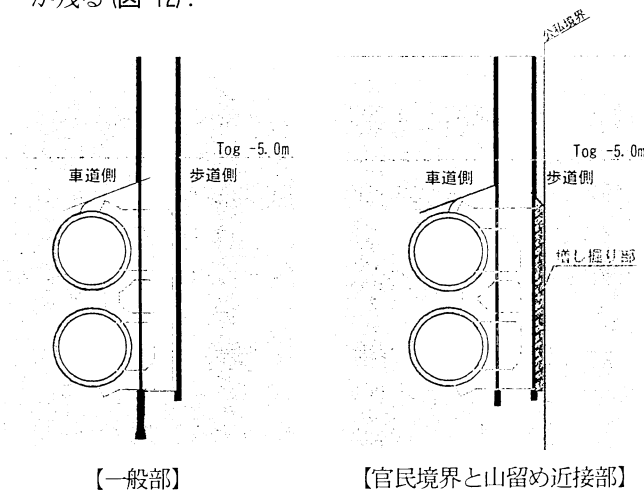
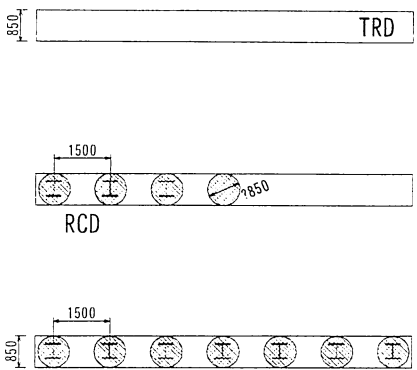


図-11 土留め壁構造断面図

【歩道側 平面図】



【側面図】

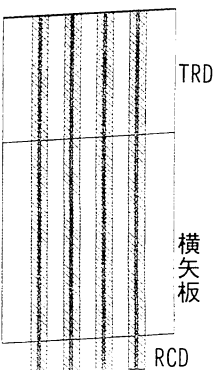
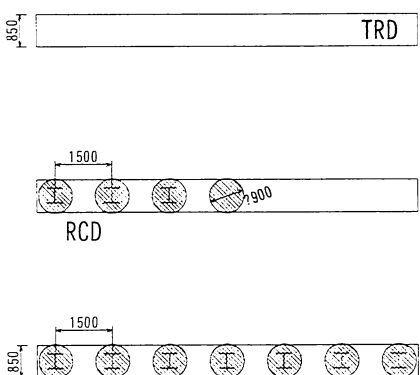


図-12 TRD工法+RCD工法の施工ステップ

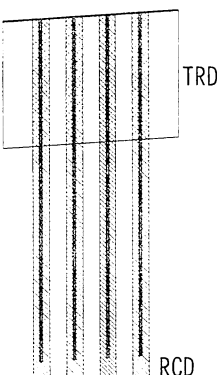
b) CSM工法+リバース杭(RCD)工法

この施工方法は、RCD杭施工後にRCD杭間をCSM工法にて止水土留め壁を構築するため、確実な止水が期待できる。また、土留め壁に必要な芯材と覆工の支持杭に必要な芯材を分割して施工できるため、RCD杭のピッチを飛ばすことが出来るので、切開き時の掘削施工性が向上する。TRD工法と比較してCSM工法に使用する施工機械はさらにコンパクトであるため、狭隘部での施工は有利である。そのため、官民境界と山留めの最近接部においても、地下において増堀掘削することなく一般部と同様に壁体を構築することが可能となる。施工実績については、近接した首都高速の大橋連結路建設の現場や他企業での施工実績の施工状況も良好であることが確認されており、施工については問題ないと判断できた。また、施工機械についても2台同時に当工事に使用できることが確認できたため、本工事にて採用することになった。

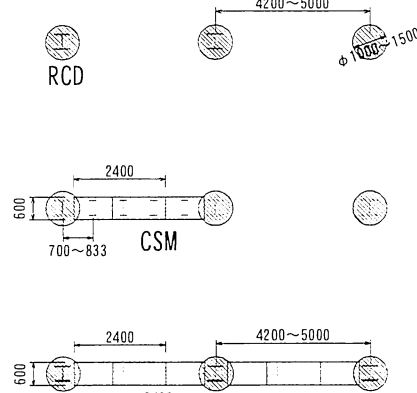
【車道側 平面図】



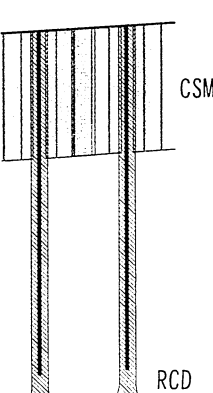
【側面図】



【車道部 平面図】



【側面図】



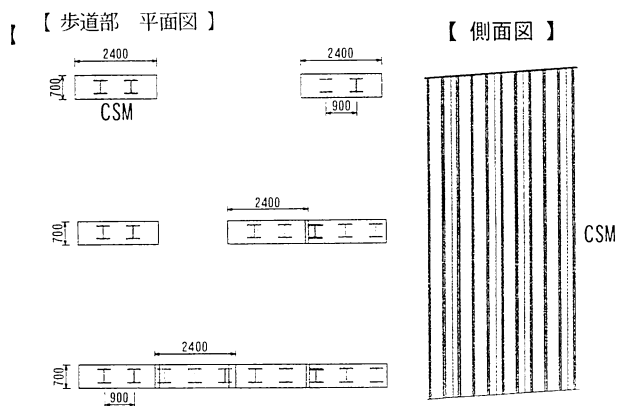


図-13 CSM工法+RCD工法の施工ステップ

C) 施工精度

現在、山留めの施工中であるがRCD杭に関しては、60m前後の杭を施工しており平均1/700程度の精度、CSM壁は壁厚保方向で1/500程度、道路縦断方向で1/2000程度の精度を確保して施工しており順調に進捗している。

CSMについては施工が始まったばかりで、全体の1割程度の進捗ではあるが、計画通りの施工が出来ている物と考えている。施工については今後の進捗をみて、報告できれば幸いである。

(3) 切開き接続部の止水性への配慮

シールドトンネルにおいて切開き部は特に漏水が発生しやすい。一度漏水が発生すると完全な止水は難しく、導水による対応しか選択できないことが多い。そこで、今回は鋼制セグメントとRC躯体接続部の止水性能について止水性能の確認試験を行った。

a) 着目する浸水経路

I・セグメント外側シール材と外縁の間の主桁接合面、
II・セグメント外側シール材と内側シール材の主桁接合面に着目し(図-13)、この水みちに対し止水性能を確保するための確認試験を行った。

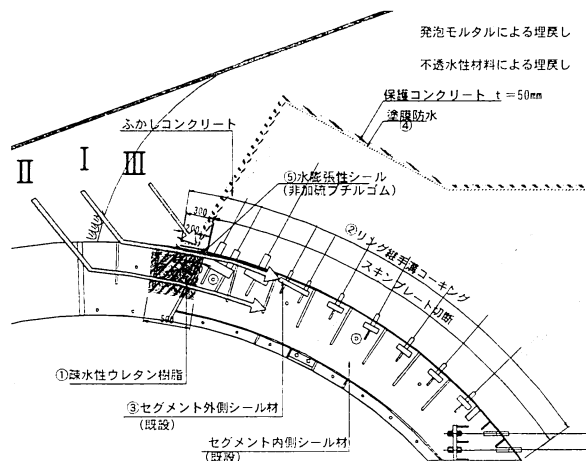


図-14 想定される浸水経路

b) 試験方法

鋼殻の主桁間を模擬した試験体の間隙に注入ポンプを用いて注入材料を充填し、注入材が間隙に留まり止水ゾーンを形成することを確認する。注水試験終了後に、ボルトをはずして2枚の鋼板を開き、注入の状況を目視確認する。注入は上床版を想定した下向き注入と、下床版を想定した上向き注入を行い充填範囲の違いを把握する。なお、疎水性ウレタン樹脂は、注入前に水送りをを行い注入材の反応を促進する(図-15)。

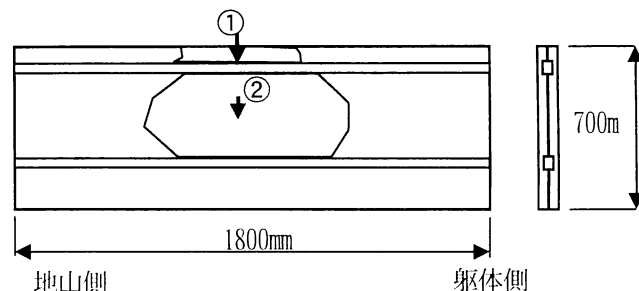


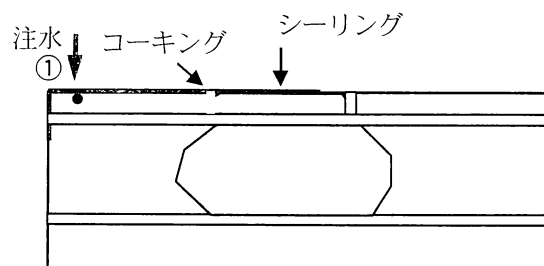
図-15 止水材充填確認試験方法

(図-16) に示すように注水孔から注水ポンプを用いて、設計水圧(0.5MPa)まで水圧を作用させた状態で漏水の有無を確認する。確認のため、0.7MPaまで水圧を作用させ漏水の有無を確認する。加圧時間は30分とする。

なお、水みちⅠの止水性確認は、注入材料の止水性能を確認する目的で、セグメントシール材とは逆側から注水することとする。

また、下向き注入の削孔してコーキング材を充填した部分については、止水性能確認後、コーキング材を除去して疎水性ウレタン樹脂単体での止水性能を確認する。

【水みちⅠの確認】



【水みちⅡの確認】

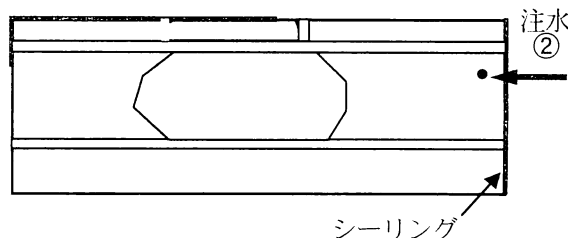


図-16 止水性確認試験方法

c) 試験結果

止水材充填孔①はシールの隙間から疎水性ウレタン樹脂が漏れ出すことを確認し、所定の充填性が得られていることを確認した。また、②はアクリル樹脂の設定注入量を上回った時点で注入を完了した。

供試体を解体し、充填状況を確認すると予想していた止水材の充填状況とは異なっており、最小幅は220mmであった（図-17）。これは供試体の隙間の大小が樹脂の分布形状に大きく影響していると推測される。



図-17 止水材充填状況

水みちⅠの箇所は、設計水圧 0.5MPa の水圧を 30 分加圧した後は漏水は確認できなく止水性能を有していることを確認した。また、確認のため 0.7MPa まで水圧を作用させたが漏水がないことを確認した。

水みちⅡの箇所は、設計水圧の0.5MPaの水圧を30分加圧した後は漏水がなく止水性能を有していることが確認できた。しかし、確認のため0.7MPaまで水圧を作用させたところ、一部漏水が発生したが鋼殻セグメントの副シールの設計水圧が0.1MPaであることから必要とされる止水性能は確保されていると判断した。

以上の試験結果より、主桁間の樹脂注入の止水性能が確認できたので実施工に採用することとした。

3. 供用路線への配慮

(1) 変状計測

切開き区間延長約250mに3断面でシールドトンネルの変異計測を実施している。各断面では、5箇所を自動計測により変異を観測している。計測機器は、高速供用前に設置が完了しており、切開き工事で掘削を開始するまで約1年間事前計測を実施している。これにより季節変動などのDATAは収集でき、掘削による影響を正確に評価できると考える。

(2) 切開き工事施工中の供用路線への配慮

切開き作業時には、供用路線の換気や工事作業帯側からの通行車へ影響を与えること考慮し、工事空間と供用道路空間を仕切りパネルで分割する計画とした（図-18）。これにより、高速通行中の車両は切開き工事に気づくことなく通過することになる。さらに高速利用者への影響を最小とするため、工事資機材の搬入・搬出は地上の開口を利用することにしており、高速本線の規制を極力減らす計画としている。

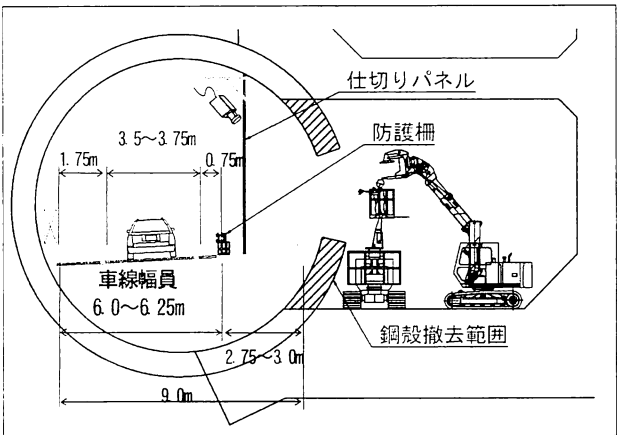


図-18 切開き作業時の供用路線側イメージ図

4. おわりに

本工事のように、既供用路線での切開き工事は首都高速では前例がなく、さまざまな方々のご指導をいただき、確実に施工している。

本稿が、今後の同種工事の計画の参考になれば幸いである。

ON THE APPLICATION OF THE EXPANSION METHOD TO ROUTE IN SERVICE

Masaru SHIMONISHI, Yoshiteru ISHIGURO, Kenji WATANABE and Toru NISHIJIMA

Shield Tunnel Expansion Methods for large dimensional road tunnels are techniques to construct a diverging and merging section, where a shape of cross section changes intricately, using open-cut methods or trenchless methods. This report is the application of the expansion method to Central Circular Shinjyuku Route in service.