

非開削による既設シールドトンネルの撤去

REMOVAL OF THE UTILITY TUNNEL BY SHIELD METHOD

野尻俊雄¹⁾・川田成彦¹⁾・神崎正美¹⁾・倉持 豊²⁾・池口潤一²⁾

Toshio NOJIRI, Naruhiko KAWADA, Masami KANZAKI, Yutaka KURAMOUCHI and Junichi Ikeguchi

The Central Circular Shinjyuku Route of the Metropolitan Expressway is planned under the arterial road (Ring Road No.6) in downtown Tokyo. The tunnel is planned to be constructed by the shield method, however the abandoned utility tunnel exists in the same alignment for about 1-km. Since the area is heavily congested and surrounded by the important structures, a conventional cut-and-cover method can't be adopted to remove the existing tunnel. Thus, donut-shaped backfill shield is developed to remove the existing tunnel without causing adverse effects on the surface. Design of the back fill shield and the sequence of the existing tunnel removal procedure are introduced in this report.

Keywords: Backfill shield method, Double shield, removal of the existing tunnel, inflatable gaskets

1. はじめに

首都高速中央環状線は、都心から半径約8kmに位置する全長約46kmの環状道路であり、都市内における慢性的な交通渋滞を解消するために、早期整備が求められている路線である。中央環状線の東側の約20kmは既に完成しており、残る工区についても鋭意建設および計画を進めているところである。

中央環状新宿線は、図-1に示すように西側を形成する路線であり、主要幹線街路・鉄道・河川・その他多くの幹線地下埋設物と交差するため、これらの立地条件を考慮して全長11kmの内、約70%にあたる7.1kmでシールド工法を採用している。当該工区は、環状6号線（山手通り）直下に存在する既設の通信幹線用とう道が、約1kmにわたって中央環状新宿線の本線シールドトンネル（外径約 ϕ 13m）に支障となるため、撤去・埋戻しを行う工事である。環状6号線は交通量が多く、また路線中間付近で営団地下鉄千代田線および小田急線と交差していることを考慮し、既設シールドトンネルの撤去工法として、非開削工法が採用された。

この工法は既設シールドトンネルよりも一回り大きなドーナツ状のカッタードラムにより既設セグメントを抱き込み、1リング毎に外周部分を掘削し、既設シールドトンネル撤去後の空洞となる部分に充填材を注入しながら、シールド機内で既設セグメントを解体するものであり、従来のシールド工法とは全く異なった施工手順となる。

本稿では、既設シールドトンネル撤去に採用した、非開削工法（バックフィルシールド工法）の概要と技術的課題と対策およびその成果について紹介する。

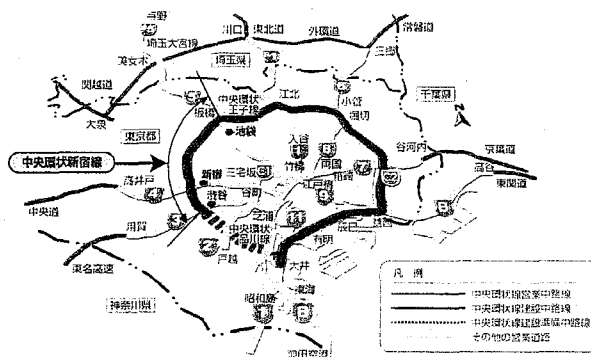


図-1 首都高中央環状新宿線路線概要図

- 1) 正会員 首都高速道路公団 東京建設局 建設第一部
- 2) 正会員 大林・三井住友共同企業体

2. 工事概要

(1) 工事概要

撤去対象である既設シールドトンネルは、図－2に示すように昭和45年に土被り約11～25mの圧気併用機械式シールド工法で施工された。一次覆工はφ3,250mmの鋼製セグメント(幅750mm/R、桁高125mm)であり、主桁の内側には厚さ175mmの二次覆工コンクリートが打設されている。(図－3参照)

撤去対象は、図－4に示す既設シールドトンネル979.7mと既設第2立坑である。既設第2立坑を発進立坑とし、残置される既設第1立坑に向かってセグメントを撤去し、後方の空洞となる部分を充填しながら掘進する。掘進に先立ち、既設人孔を発進・到達立坑として利用可能な状態に改良し、二次覆工コンクリートを撤去しておく。

工事の主な内容は下記の通りである。

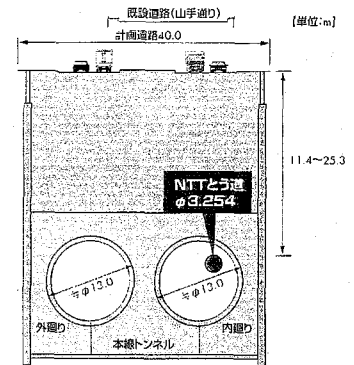
- ・工事名称：(高負)SJ21工区～SJ23工区 既設とう道撤去工事
- ・発注者：首都高速道路公団 東京建設局
- ・施工場所：東京都渋谷区富ヶ谷1丁目～同 代々木5丁目
- ・工期：平成12年3月18日～平成16年1月25日
- ・工事数量

バックフィルシールド工法(泥水式) φ4,460mm L=979.9m

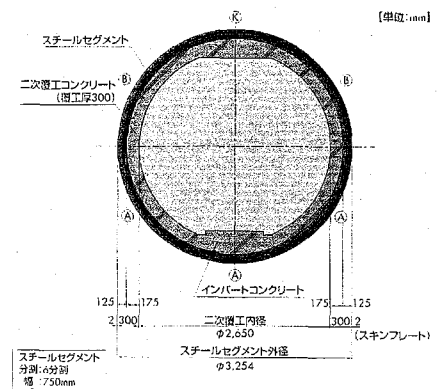
セグメント撤去(鋼製) 外径φ3,254mm L=979.7m

二次覆工かわし V=2,765m³

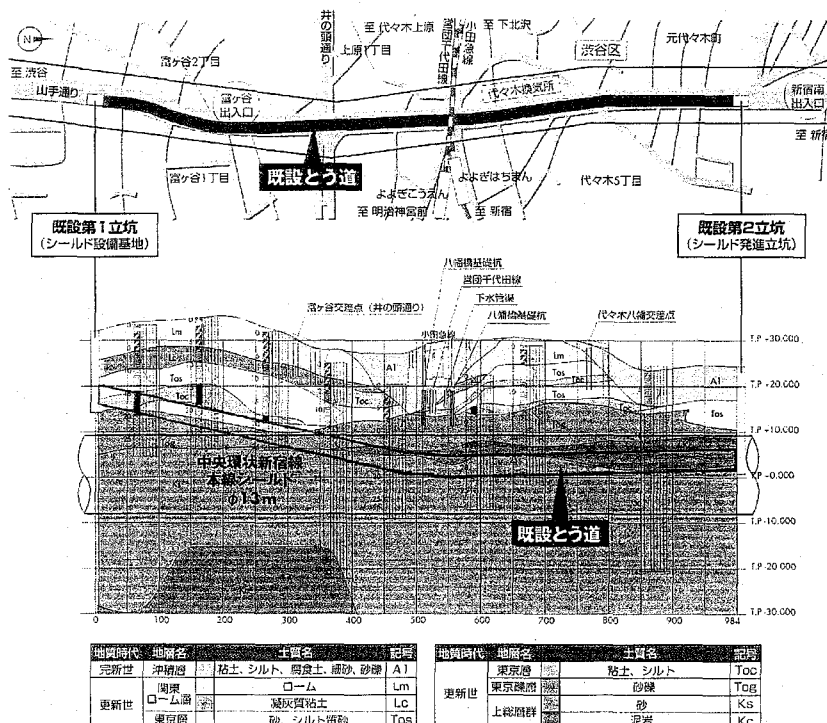
埋戻し工 可塑性充填材(A) V=14,991m³、(B) V=1,100m³



図－2 既設シールド横断面図



図－3 とう道形状断面図



図－4 工事概要および土質縦断面図

(2) 施工環境

既設シールドトンネル直上の環状6号線（山手通り）は、内回り・外回りそれぞれ1日に23,000～25,000台と交通量の多い幹線道路である。また、本工事の中間付近には営団地下鉄千代田線および小田急線が横断している。

対象土質は、既設第2立坑側から上総層泥岩（Kc層）、上総層砂（Ks層）、東京礫層（Tog層）を通過しており、特に東京礫層は地下水の豊富な帯水層であるため、施工時の止水対策が重要となる。

3. 既設シールド撤去工法（バックフィルシールド工法）概要

(1) 撤去シールド機（図－5および図－6参照）

撤去シールド機については、従来のシールド工法とは施工手順が異なり、「掘削－後方充填－セグメント解体」となる。各施工手順における特徴を以下に示す。

①掘削

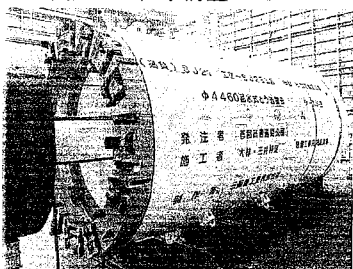
- ・ 切羽の安定と掘削土砂の搬出を粘性土層から礫層まで円滑に行える密閉型泥水式とし、既設シールドトンネルより一回り大きなドーナツ状のカッタードラムを装備した。
- ・ 推進方法は既設シールドトンネルに反力を取り、後胴を固定して前胴を掘進させ、掘削終了後にけん引ジャッキにより後胴を引寄せせる複胴推進タイプとした。

②後方充填

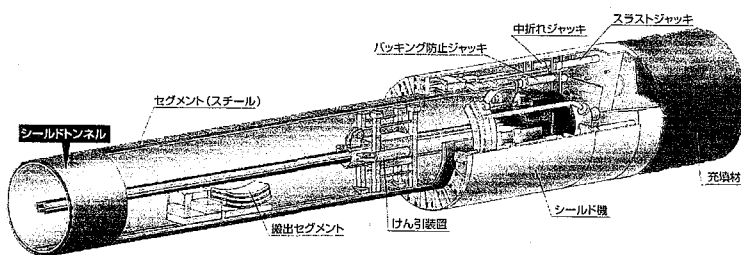
- ・ シールド通過後、後方の空洞となる部分を充填してゆくが、確実な後方充填のために、充填材の注入量とけん引ジャッキ速度を同調させた。

③セグメント解体

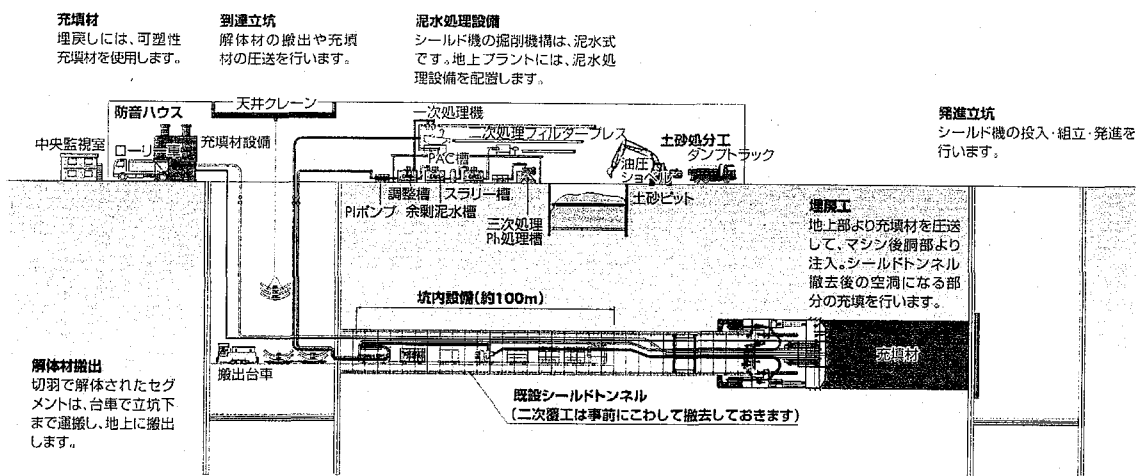
- ・ 機内への溢水防止のためにシールド機と既設セグメントの間に2列の加圧式シールを装備した。



写真－1 撤去シールド機



図－5 撤去シールド機概念図



図－6 既設シールド撤去工法全体概要図

(2)既設シールド撤去工法手順

①掘進準備 (図-7)

切羽の泥水圧力を保持するために設けたセグメントとシールド機間の2列の加圧式シールにおいて、後部の掘進用シールを拡張し、前部の盛替用シールを収縮する。次に、切羽面と充填面に作用する土水圧のアンバランスにより生じるシールド機の自走を防止するため、バックリング防止ジャッキをセグメント端面に押し付け、前胴掘進の反力となるけん引装置を固定して、切羽への泥水循環を行った後に、カッタを回転させる。

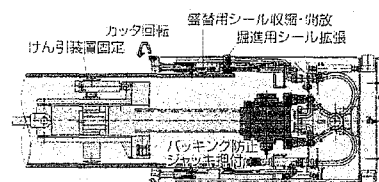


図-7 掘進準備

②前胴掘進 (図-8)

けん引固定された後胴を反力にし、スラストジャッキを伸張し、前胴を掘進させる。この掘進速度に同調させて、バックリング防止ジャッキを締め方向制御を行うとともに、泥水圧力を保持している後方の掘進用シールをセグメントに固定残置させるために、掘進用シールに装備したシーリングジャッキを同時に収縮させる。

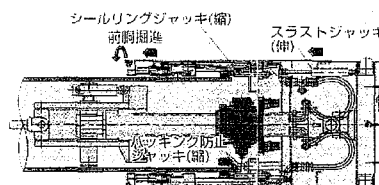


図-8 前胴掘進

③後胴推進・充填材注入 (図-9)

掘進完了後に背面に充填材を注入し、けん引装置により後胴を引寄せる。けん引速度は注入量に同調させ、けん引ジャッキを伸張させながらスラストジャッキを収縮させる。この際、前部の盛替用シールを拡張し泥水を保持しながら、シーリングジャッキを伸張して後部の掘進用シールを前方のセグメントに盛替える。

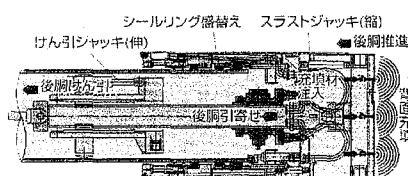


図-9 後胴推進・充填材注入

④けん引装置盛替え・セグメント解体準備 (図-10)

充填材注入、後胴推進完了後に次のサイクルに備え、けん引装置を1リング分前方へ盛替える。また、機内スペースを確保するため、後方に格納しているセグメント解体用のエレクタを解体場所へ移動する。

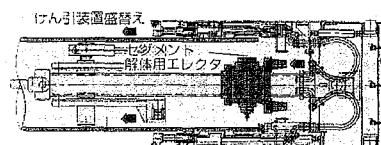


図-10 けん引装置盛替え・セグメント解体準備

⑤セグメント解体・搬出 (図-11)

接合ボルトを外してセグメントを解体し、エレクタ装置の自走機能で前方に搬出する。充填材を注入してから次のサイクルでセグメントを解体するまでの時間を充填材の養生時間と同程度とし、解体中も背面に変状を与えないようにする。

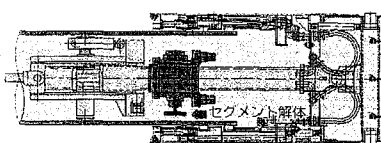


図-11 セグメント解体



写真-2 中硬岩掘削機



写真-3 二次覆工撤去状況

4. 既設シールド撤去工法における技術的課題と対策およびその成果

(1)二次覆工撤去における技術的課題と対策およびその成果

1)技術的課題

- 二次覆工 (厚 300mm) のうち、主桁内側部分 (厚 175mm) の経済的なコンクリートの切削方法の選定
- 鋼製セグメントのボルト出し作業の安全性を重視したコンクリートこわし方法の確立

2)技術的課題に対する対策

- 二次覆工コンクリートの切削方法として、山岳工法で用いる内空φ3.0m断面で施工可能な中硬岩掘削機を使用した。(写真-2,3 参照)

b. 鋼製セグメントのボルト出し作業には、上向き施工の省力化および安全性を考慮して、ボルト廻りを4本のロッド式ハンマーでコンクリートに穴あけ(φ70mm)を行うスパイクハンマーを用いて機械化施工を行った。(写真-4、5参照)

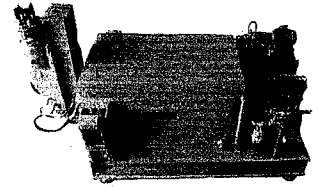


写真-4 スパイクハンマー

3) 対策による成果

中硬岩掘削機およびスパイクハンマーを用いることで、人力による作業に比べて、経済的かつ安全に二次覆工コンクリートを撤去することができた。また、どちらの機械とも散水式とし、集塵機による粉塵対策を行うことで作業環境の向上を図ることができた。進捗については、軌道上部の機械化施工のできる範囲で月進140mであった。



写真-5 ボルト出し状況

(2) 一次覆工撤去における技術的課題と対策およびその成果

1) 技術的課題

- 埋戻し充填量を低減するためにシールド機外径を小径化し、経済性を確保
- 掘削時における泥水および地下水の坑内流入防止を目的とした止水方法の確立
- 後方充填材に影響を与えない掘進方法の確立
- 既設セグメントに追従できるシールド機方向制御方法の確立
- シールド機による既設セグメントのスキンプレート破損時における緊急止水対策
- 早期強度および充填性に優れ、地下水に希釈されない充填材の選定および充填工の注入管理方法の確立

2) 技術的課題に対する対策

a. シールド機外径の小径化

一般的には、軸受け部と駆動部は一体となっているため、最小シールド機外径はφ5,600mmが限界であった。本工事では軸受け部を前方に、駆動部を後方に配置することにより、シールド機外径はφ4,460mmまで縮小することができた。また、掘削方式としては縮径しても切羽の安定が保ち易く、掘削土砂の搬出を円滑に行える密閉型泥水式とした。

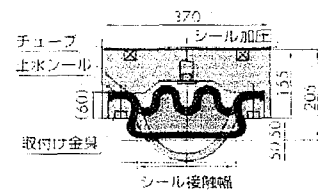


図-12 シールド断面構造図

b. 止水方法の確立

止水シールの選定にあたり、形状・材質の異なる止水シールの追従性の確認と、実施工の2分の1規模の止水実験装置により止水試験・耐久試験を行い、図-12に示すニトリルゴム、ペローズ型シール形状を採用した。また、止水シールはセグメント外周との摺動による損傷を避けるために、固定(盛替)用シールと移動(掘削)用シールの2列装備し、エアーにより拡張・収縮することで止水を図ることとした。(図-13参照)

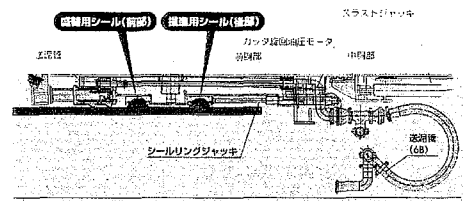


図-13 シールド部詳細図

c. 掘進方法の確立

シールド機本体を前胴・中胴・後胴の3胴構成とし、後方充填材に影響を与えないように推進反力を既設セグメントから支持するけん引方式とした。(図-14参照)

1 リングの掘進サイクルは、①前胴掘進、②後胴けん引・後方充填、③セグメント解体・搬出の3工程となる。

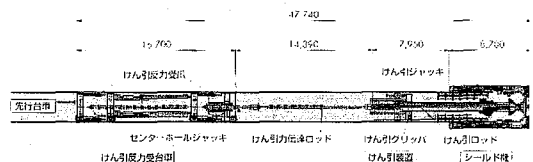


図-14 撤去シールド機全体構造図

d. シールド機方向制御方法の確立

シールド機方向制御は図-15 に示すように既設セグメントとの離隔を確保しながら掘進する必要があるため、①前胴・中胴間に中折れ装置、②方向制御を微修正するため前胴部に可動そり、③外周部余掘り用としてアウトターカッタ、④内周部既設裏込めモルタル切削用としてインナーカッタを装備した。

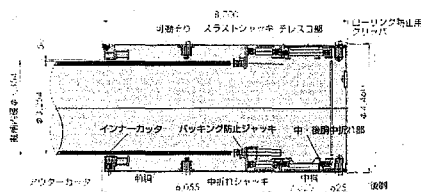


図-15 方向制御装置構造図

e. 緊急止水対策

シールド機カッタによりセグメントのスキンプレートを損傷させる可能性があり、坑内への出水を防止するため、セグメント内側にチューブ式シールを装備した鋼製止水リング（テレスコピックタイプ）を配置した。（図-16 参照）

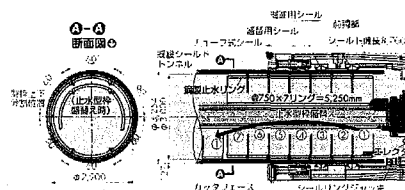


図-16 鋼製止水リング構造図

f. 充填材の選定および充填管理方法の確立

充填材料および管理方法については、シールド機後方の充填断面が約 15m² と大きいため、確実に充填できる材料を選定し、管理を十分に行う必要がある。充填材は、①流動性がよく充填性・施工性に優れ、②注入後速やかに所定強度が得られ、③地下水流による希釈が少なく、④硬化後の体積変化を生じさせない要求性能を満足する必要がある、可塑性充填材を選定した。

注入管理方法は、一般の裏込め注入率から推定した計画注入率を設定し、量管理を行った。また、後胴の引寄せ速度と注入量を同調させ、均一な注入ができるように管理し、充填状況を確認するため、1 リングに1回機内充填探査を実施した。

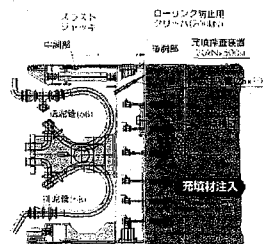


図-17 後胴部・充填部構造図

3) 対策による成果

平成 14 年 12 月の発進から平成 15 年 7 月末現在で、全延長 980m のうち 580m 付近を施工中であるが、2 列の止水シールについては坑内への漏水もなく、耐久性・止水性能の確認ができています。また、既設セグメント撤去後の後方充填についても、平成 15 年 6 月に営団地下鉄千代田線および小田急線の直下を構造物に変状を与えることなく無事通過しており、通常のシールド工法と同様、地上への影響がほとんどないことが確認できています。

5. おわりに

本工法は過去に例のない施工であったため、事前に考えられる検討を十分に行い、計測を含めて確実な施工管理を行ってきた。その結果、報告させて頂いたように安全で確実な施工技術をほぼ確立したものと考えている。今後、新たな地下利用計画で支障となる大規模地下埋設物の撤去およびリニューアル工事に、大いに貢献できるものと考えている。

中央環状新宿線の建設にあたっては、本工法の他に出入口部におけるシールドトンネルの切開き工法や本線の施工においても様々な特殊工法を駆使しながら、平成 18 年度末の完成を目指しているところであり、これらの工法についてもいずれ紹介する機会があれば御報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 「非開削による既設シールドトンネルの撤去」, 平成 13 年度土木学会全国大会, 2001.10
- 2) 「非開削による既設シールドトンネルの撤去」首都高速中央環状新宿線, 土木施工, 2002.4
- 3) 「Removal of the utility tunnel by shield method to build the underground expressway」, I T A W T C 2003, 2003.4