

非開削による既設シールドトンネルの撤去工法の開発

川田成彦¹・濱井武²・山田成剛³・日野義嗣⁴

¹正会員 首都高速道路公団 東京建設局 設計第一課（〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2）

²首都高速道路公団 新宿工事事務所 工事第三課長（〒160-0023 東京都新宿区西新宿4-15-3）

³大林・三井住友建設共同企業体 監理技術者（〒171-0031 東京都豊島区目白2-16-19）

⁴大林組東京本社土木技術本部技術第二部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟）

東京都内主要幹線である環状6号線の交通渋滞解消を目的とした、首都高速中央環状新宿線の建設にあたっては、路線上に存在する地下埋設物の移設・撤去の処理を効率的に行うことが全線の工程短縮及び工費削減につながる。シールド工法により建設する本線トンネルに支障する既設シールドトンネルの撤去は周辺環境への影響を考慮する必要があるため、非開削工法(バックフィルシールド工法)を開発した。本報文では、本工法の施工概要と施工段階における多くの課題をクリアし、施工手順の合理化により工期短縮およびコスト削減を実現した経緯を報告する。

キーワード：撤去シールド、バックフィルシールド工法、工期短縮、コスト削減

1. はじめに

近年の大都市部における地下利用状況は、地下構造物の急増に伴い、新たに地下構造物を構築する際に支障する既設構造物の撤去・切回しを行う必要がある。一般的には開削工法により既設構造物の撤去・新設を行っていたが、地下構造物の輻輳化・大深度化及び路上交通への影響を考慮すると、開削工法では限界があり、非開削による既設構造物の撤去・埋戻し工法が求められてきた。

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φ13m）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東京メトロ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。



図-1 首都高速中央環状新宿線事業概要図

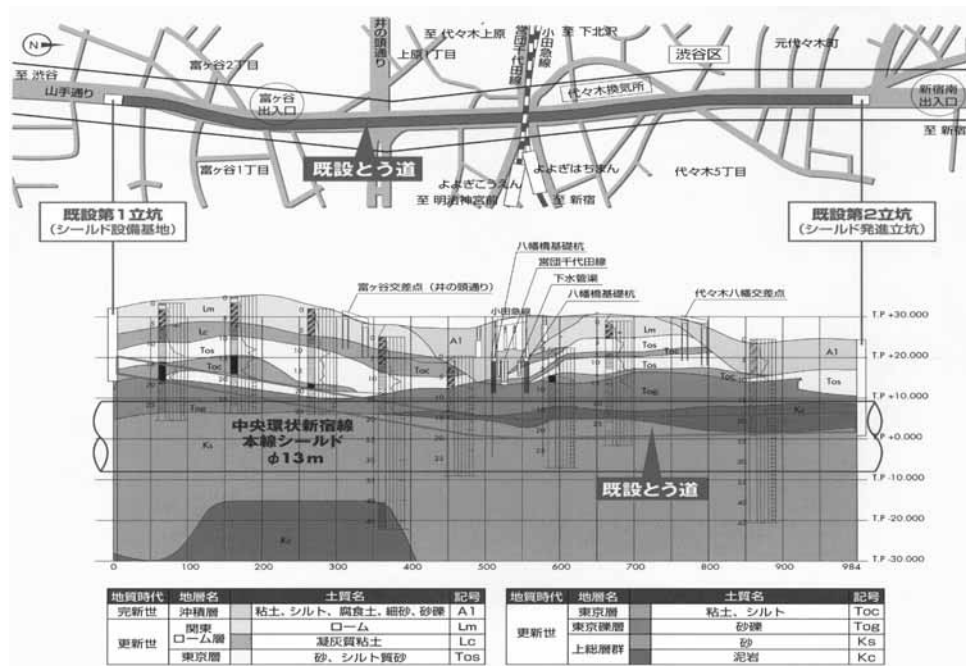


図-2 既設シールド平面・縦断面

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。

2. 施工概要

(1) 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東京メトロ千代田線および小田急線が横断している。対象土質は、図-2に示すように既設第2立坑側から上総層泥岩（Kc層）、上総層砂（Ks層）、東京礫層（Tos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。

(2) 既設シールドトンネル概要

撤去対象である既設シールドトンネルは、図-3に示すように土被り約11～25mで昭和45年に圧気併用機械式シールド工法で施工された。

セグメントは図-4に示すように、一次覆工は鋼製セグメント（φ3,254mm、幅 750mm/R、桁高 127mm）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おり、延長は 984m である。

(3) 施工概要

図-2に示す既設第2立坑を発進立坑とし、既設第

1立坑に向け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・到達立坑として改良し、二次覆工コンクリートの中硬岩掘削機および人力により撤去しておく。

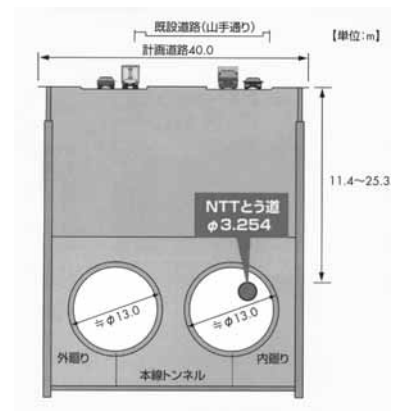


図-3 既設シールド横断面図

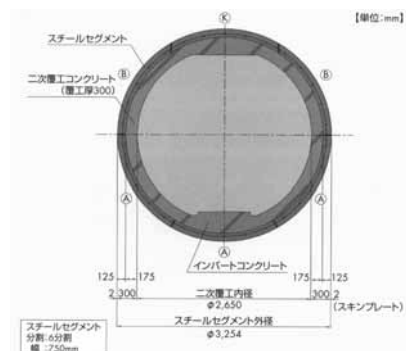


図-4 とう道形状断面



写真-1 撤去シールド機状況

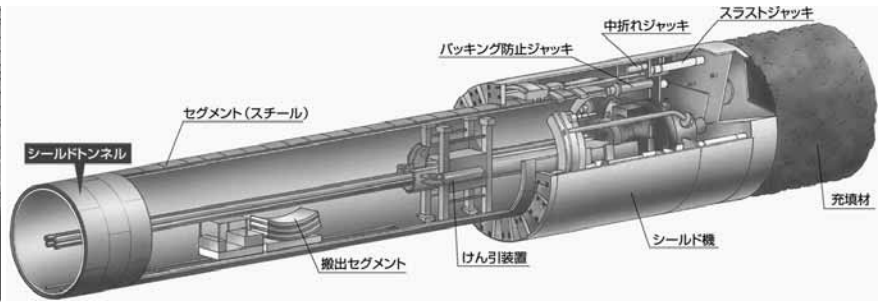


図-5 撤去シールド機概念図

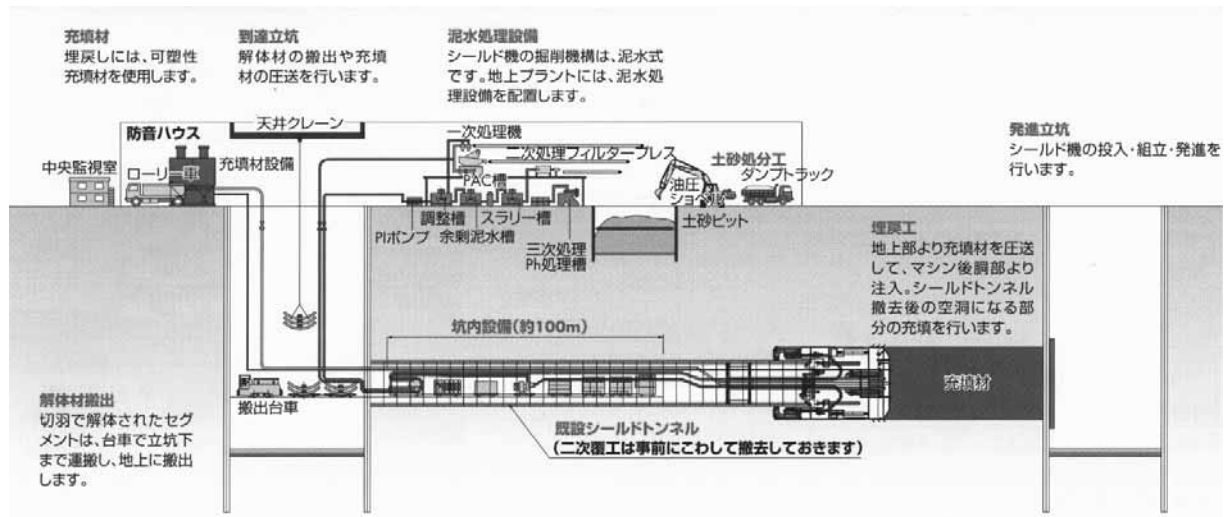


図-6 既設シールド撤去工法全体概要図

3. 既設シールド撤去工法

(1)撤去シールド機

写真-1 に撤去シールド機，図-5 に撤去シールド機概念図を示す。本工法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。

a)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。

b)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。

c)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セグメントの間に2列の加圧式シールを装備した。

(2)セグメント撤去手順

a)掘進準備

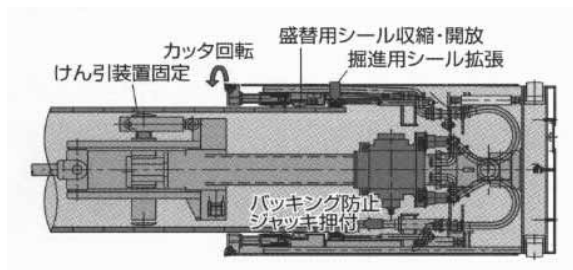


図-7 掘進準備

まず図-7 に示すように，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，バッキ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，カッターを回転させる。

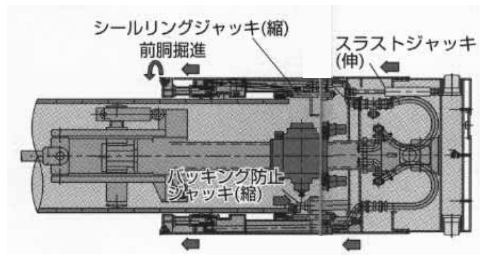


図-8 前胴掘進

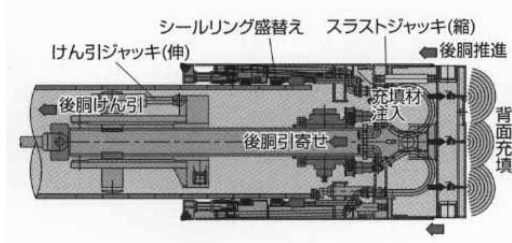


図-9 後胴推進・充填材注入

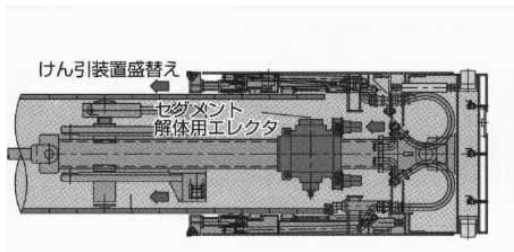


図-10 けん引装置盛替え・セグメント解体準備

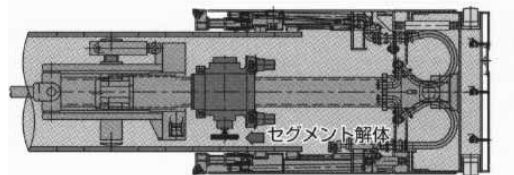


図-11 セグメント解体

b)前胴掘進

図-8 に示すように、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縮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。

c)後胴推進・充填材注入

図-9 に示すように、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。

d)けん引装置盛替え・セグメント解体準備

図-10 に示すように、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。

e)セグメント解体・搬出

図-11 に示すように、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。

4. 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、図-12、図-13 に示すように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。

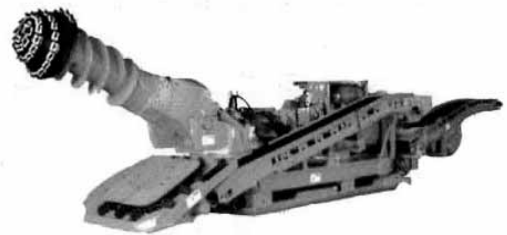


写真-2 中硬岩掘削機



写真-3 二次覆工撤去状況



写真-4 中硬岩掘削機



写真-5 ボルト出し状況

c)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)を行うスパイキハンマーを用いて機械化施工を行った。

3)対策による成果

a)中硬岩掘削機およびスパイキ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。

5. 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
- 早期強度及び充填性に優れ、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

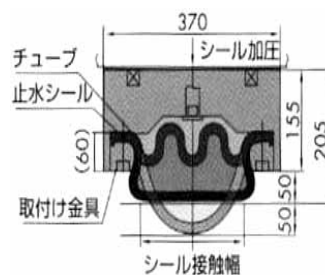


図-12 シール断面構造図

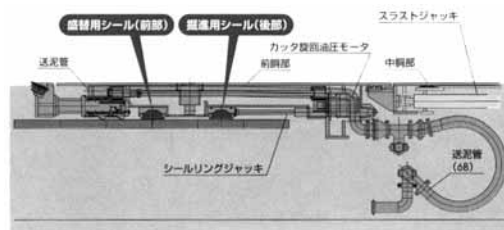


図-13 シール部詳細図

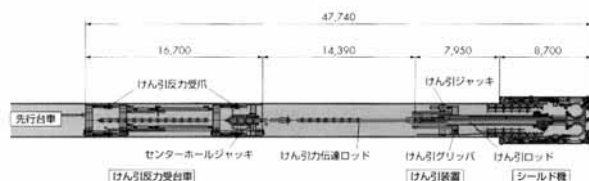


図-14 撤去シールド機全体構造図

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。

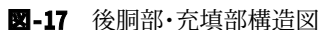
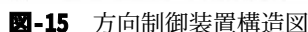
b)止水方法の確立

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、ベローズ型シール形状を採用した。また止水シールは図-13に示すように、セグメント外周との摺動による損傷を避けるために、盛替用(固定)シールと掘削用(移動)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。

c)掘進方法の確立

図-14に示すように、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。

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



d) シールド機方向制御方法の確立

e)緊急止水対策

f) 充填材の選定および充填管理方法の確立

– 162 –