

解説 多様な断面ニーズ

φ6,750mmの 大口径セグメント推進の施工事例

かわい あきら
川相 章

旧日本下水道管渠推進技術協会
技術部長



1 はじめに

国土交通省の調査結果によると平成20年度の下水道管渠発注延長の内、推進工法が609kmの実績を有しており、その内小口径管推進工法が489.5kmを占めている。その54%の263kmは低耐荷力の硬質塩化ビニル管が使用されている。推進管として使用されるものとしては、この硬質塩化ビニル管のほか、遠心力成形された鉄筋コンクリート管や、ガラス繊維鉄筋コンクリート管、レジンコンクリート管、ダクタイル鋳鉄管、鋼管などがある。また、ごく稀にシールド工法で用いられるセグメントが推進工法で用いられることがある。以下に、シールド工法に使用されるセグメントに刃口を装着して推進させるセグメント推進の例を紹介する。

1.5m) を押し切った後、張り出したシールドジャッキを縮め、そこで再びセグメントを組み立てる。セグメントの1リングは数ピース分で構成されていて、セグメント内径が大きいと分割数も多くなる。掘進機のテールから押し出された（実際には掘進機が前方に移動するだけで組み立てられたセグメントリングは移動することはない）セグメントリングは、地中に次々に存置させられる。セグメントリングと地山とのクリアランスには直ちに裏込め注入が施される。これが推進工法と大きな違いである。一方、セグメント推進は、立坑内で組み立てられるが（地上であらかじめ組み立てられる場合がある）、また隣接のセグメントリングとトンネル軸方向も接続され、その後推進ジャッキで前に押し出される。推進中は常にセグメントリングは移動する。

注される場合はセグメント推進が採用されることは稀で、そのままシールド掘進機は到達立坑に到達する。掘進機は到達立坑直前で停止し、その外殻（スキンプレート）を残して内部機器は全て解体される。残されたスキンプレートを外型枠とし、組み立てが完了したセグメントの内径に合わせて、スキンプレートの内側にセントルを組み立て内型枠とする。その後、外型枠、内型枠の間に鉄筋または無筋コンクリートを打設する。

一方、到達すべき立坑が隣接工区の発進立坑となっている場合で、かつ、発注時期が異なる場合は、先発の施工では、立坑手前でシールド掘進機を停止させておき、後発の施工で、立坑構築後立坑側からシールド掘進機に向かってセグメント推進させる例がある。このような場合、先発の施工において、既に停止しているシールド掘進機は外殻を残してその内部は全て解体されて、前記のような二次覆工まで施されていることが多い。シールド工事と到達の立坑工事が同一発注となった場合、立坑構築の期間にもよるが、シールド掘進機の到達に合わせて到達立坑を構築すればよいので、この場合はセ

2 セグメント推進の概要

シールド工法では、掘進機のテールで組み立てられたセグメントに、シールドジャッキを伸ばしながら推進反力を負荷させ、掘進機を前に押し出す。1リング分の幅（通常は90cmから

3 セグメント推進が採用される背景

セグメント推進が採用される背景としては、工期内に隣接工区間の接続工事が不可な場合が多い。工事の発注形態にもよるが、隣接工区と同時発注される場合、あるいは到達立坑と同時発

グメント推進を行う必要はない。

4 セグメント推進施工事例

4.1 施工事例その1

本工事は、雨水幹線の放流先である河川と既に掘進が完了しているシールド掘進機φ3850mmとの接続作業をセグメント推進で行った例である。図-1に示すように、河川の護岸に向

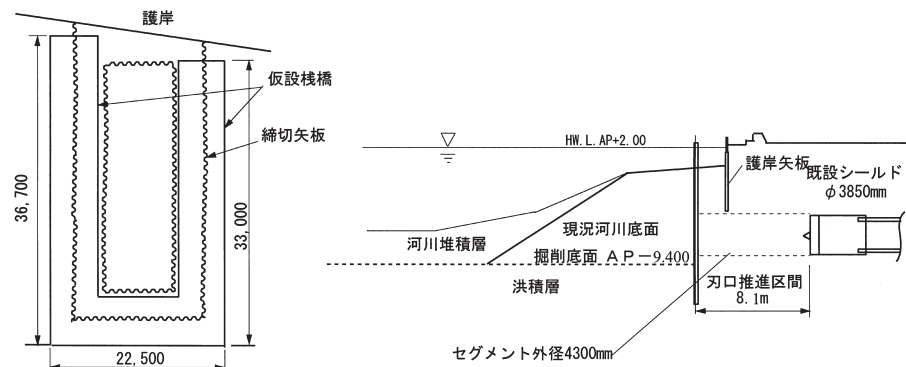
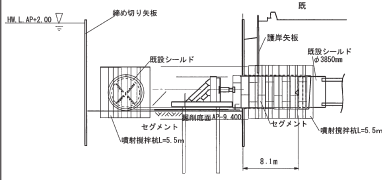
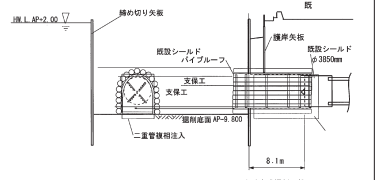
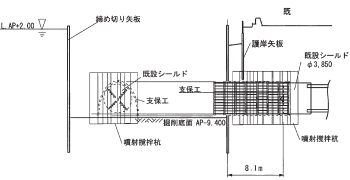


図-1 セグメント推進施工例-1 概要図

表-1 既設シールド掘進機接合工法の比較

		セグメント推進方式による接続	パイプルーフ方式による接続	山岳方式による接続
施工概要				
施工性		・推進反力設備や推進設備の設置撤去がある。掘削は柵式で切羽の安定を図りながら施工する。人力掘削を行うため能率はやや劣る(地盤改良をダブルパツカーで行う場合、スリーブパイプの切断除去もある)。 ・立坑内のセグメント組立の施工性は良いが、他の二工法の支保工組立時間よりも短くはならない。	・掘削断面積は馬蹄形で、掘削はミニバックホウが使用できる。山岳方式と掘削能率はほぼ同じ。また、支保工取り付けに別途機械を必要とするので作業空間は狭い。	・掘削はミニバックホウ0.1m³で行うので、他工法よりも掘削能率はよい。ただし、推進方式と同様スリーブパイプの切断を伴う。 ・薬液注入終了後に切り破りを行い、さらに掘削→支保工取り付け作業を開始可能。吹付け時に掘削は停止する。覆工時に二次巻鉄筋が必要。
課題	護岸矢板	・地盤改良のための水平注入時に矢板が支障する。特に施工が不可能ということではない。	同左	同左
	堤体	・地上部からの注入や掘削時の護岸矢板切断によって堤防に及ぼす影響と管理者との協議	同左	同左
	開削立坑	・推進反力用基礎杭の位置と切梁の位置関係	・下部パイプルーフ施工のために立坑の根切り深さが一部異なる。	特になし
安全性		・トンネルに作用する地山の土水圧をセグメントに負担させることで、安全に掘削作業を行うことができる。	・掘削時に切羽の崩壊が合った場合、φ4200mmの掘削外周に沿って押し込んだパイプによって、堤防への影響を防止できる。掘削時の土水圧による荷重を鋼管で支持することで、安定掘削が可能。	・地盤改良に対する期待度が大きい。他工法よりも改良範囲が広く、堤防本体や基礎および護岸矢板が支障となつて、改良工事で制約を受けると所定の改良効果が得られず、作業の安全性が脅かされる恐れがある。
工期		△	○	×
経済性		△	○	×
総合評価		・推進反力のために立坑構築後、別途H型鋼を立坑底盤部に打設したり、推進架台を設置する必要がある。 ・セグメントで土水圧の荷重を負担するので、掘削時の安全が図れ、覆工時には二次巻鉄筋は不要。 ・掘削は人力が主体で施工能率が劣るが、掘削長さが短く、特に工期を増大させる要因とはならない。 ・パイプルーフ案よりも経済性、工期で劣るが、確実性が高い。	・パイプルーフ施工時に護岸矢板が支障する恐れがある。 ・パイプルーフ施工のために掘削根切り面を立坑内で変化させたり作業足場の移動を行う必要があり、施工性が悪い。 ・地盤改良工を先行させるが、パイプルーフの施工性確保のため、改良工法選定で制約を受ける。	・地盤改良工に対する期待度が最も大きい。改良が不出来の場合は作業の安全性や堤体への影響は他工法より最も劣る。 ・掘削断面積が大きく、吹付け→掘削→二次巻鉄筋など工期的な無駄が多い。 ・切羽の崩壊に対する対応性で最も劣る。 ・地山の緩みによる上部構造物への悪影響は、二次覆工終了まで懸念される。
当工事への適応性		◎	△	○

かってコの字形に締め切り矢板を打設し、内部を水替え掘削後に推進設備の設置を行う。このように締め切り矢板で構築した立坑で推進を行う場合、締め切り矢板の背面は河川であり、矢板に推進反力を負担させることはできない。そこで反力設備として鋼材を用いることになる。

(1) セグメント推進選定理由

すでに施工が完了している既設のシールド掘進機までの迎え掘り方法については、施工延長が短いこともあり、開放型の刃口式推進工法で施工する方法が一般的である。山岳方式やパイプルーフ防護方式で先端部を防護しながら掘削し、既設シールドと接続する方法も考えられるが、いずれの工法も、河川を締め切り、河川内を発進立坑とすることから、掘削は切羽面の自立が必要になる。以下では、山岳方式やパイプルーフ防護方式などと比較してセグメント推進が選択された比較表を表-1に示す。

表-1からは、工期的、経済性でパイプルーフよりやや劣ったにもかかわらず、セグメント推進の確実性から適応性が高く評価されている。

(2) 推進反力設備の検討方法

通常の推進工法の場合、坑口とは反対側に推進反力を受ける支圧壁を設置する。締め切り矢板による立坑では、締め切り部分を埋め戻したとしても、支圧壁背面地盤としての強度は期待できない。ここでは、立坑内に杭を打ち、図-2のような反力設備を設けることになる。この場合、反力設備に作用する荷重に対して反力設備の構造が安全か否かの検討が必要になる。

(3) 検討手順

推進反力を支える最も重要な役割として、図-2のように4本の支持杭がある。推進側の2本の支持杭には引き抜きが、後方の2本には押し込み力が作用すると考え、杭長と地盤の粘着力からの抵抗力で対抗できるか否か検討する。ただし、鉛直方向支持力は、先端支持力と周面摩擦力を合わせたものとなるが、引き抜きに際しては周面摩擦力でのみ抵抗することになり、ここでは引き抜き側の杭で検討する。

また、水平力については、推進反力が増加して杭頭付近の地盤支持力を上回れば、杭頭付近から次第に深度方向に地盤の破壊が進行する恐れがある。

杭の変位量が大きくなると推進設備としての効果も得られず、ここでは最大5cm程度の変位量以内と想定し、その際に杭鋼材が応力度として許容値にあるか否か検討する。

検討は以下の手順で行う。

- ①設計推進抵抗力を求め、必要元押ジャッキ台数を決める。
- ②反力設備の構成を想定する。
- ③現場地盤の土質状況から支持杭の周面摩擦（引抜き側）を算定し、想定した支持杭の1本当たりの許容引抜き力を求める。
- ④ジャッキ設備能力を最大に用いた時の水平力により支持杭頭（地上1.1m）反力架台に作用するモーメントから杭1本当りに作用する引抜き力を求め、③で求めた許容引抜き力と比較し、想定した支持杭の長さの妥当性を確認する。
- ⑤ジャッキ設備能力を最大に用いた時の支持杭頭部に作用する水平力による変位量が許容値であることを確認する。
- ⑥水平力により杭本体に発生する曲げ応力が、杭の鋼材の許容曲げ応力以内であることを確認する。

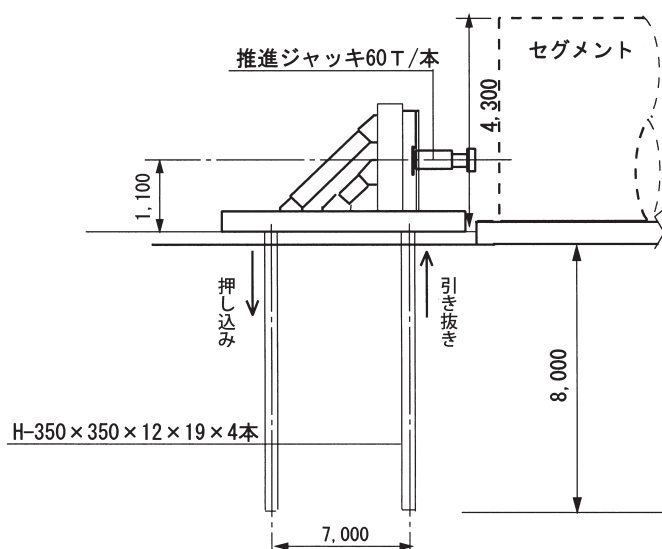


図-2 反力設備

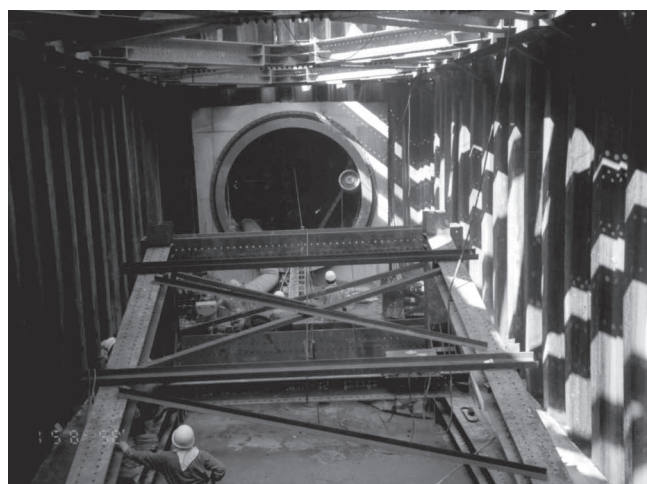


写真-1 鋼材による推進反力設備



(4) 施工

刃口推進工法での掘削は、地盤の自立のために全断面噴射攪拌杭で改良し、改良体と改良体の接続部からの湧水を防止する目的で、溶液型複相薬液注入を併用した。推進距離は8.1mであることから、必要推進力733.1kNを想定し、推進設備は600kNジャッキ2本で推進可能と判断した。推進距離はセグメントリング9リング分の8.1mである。

掘削は人力掘削で行い、ベルトコンベヤと1m³バケットをトラッククレーンで吊り上げ坑外に排出した。写真-2のように切羽面に薬液注入のスリーブパイプが出現したが、改良効果も良好で、特に問題はなかった。

1日ほぼ1リング（90cm分）の掘削とセグメント組み立てのサイクルで、ほぼ1週間程度で停止中のシールド掘進機に到達した。**写真-3**はシールド掘進機のカッタ部解体後の坑内から切羽の状況。**写真-4**は解体されたカッタ面板である。

4.2 施工事例その2

本工事は、既設シールド工事で地中連続壁立坑の手前8.3mに停止しているシールド掘進機まで刃口式推進工法で迎え掘りするものである。シールド工法に使用するセグメント外径φ6750mm幅900mm8分割のスチールセグメントを立坑下で組み立てる。先頭のセグメントには刃口内径

φ 6,806mm、刃口機長2,000mmを取り付けた。刃口にはステージ二段を設け、人力掘削用足場として使用する。

(1) 工事概要

推進セグメント仕様：外径φ6,750mm
幅900mm8分割スチールセグメント
8リング

セグメント底部深さ：30.33m

推進距離：8.3m

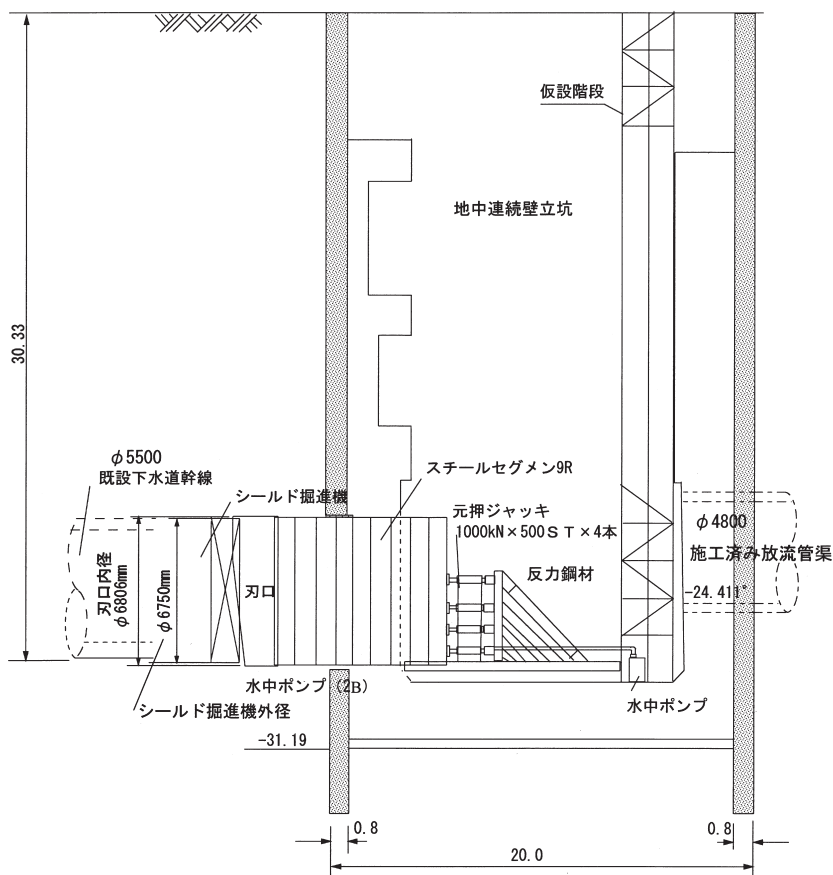
発進立坑：厚さ80cm地中連続壁立坑

凹形 $\phi 20.0\text{m}$

掘削対象地盤：N値5～10砂質シル
ト対象層厚1.5m、N値30～50礫
混じり砂対象層厚1.9m、N値50以
上砂礫対象層厚1.4m、N値50以上
硬質シルト(土丹)対象層厚1.95mm

(2) 掘削方法の検討

掘削対象地盤が地表面から30m以上と深く、しかも透水性地盤ということで、刃口式推進工法を採用するに当



図一3 セグメント推進概要図

たっては、地盤が自立し、切羽からの湧水を確実に止水できる改良工法の選定が不可欠である。改良工事は施工深度が大きいこともあり、三重管噴射攪拌杭工法とその改良効果を補助する目的で二重管複合注入工法を採用することになった。三重管噴射攪拌杭工法はφ1.8mの改良径で、立坑に最も近接した坑口側には長さ13.1mものを30本、その隣は長さ3mものを15本、シールド掘進機側には長さ4.9mものを8本施工する。底部とシールド掘進機側には二重管複合注入工法で掘削部への浸水の防止を図る。図-4に改良範囲を示す。

(3) 施工手順と工期

施工手順については、以下のように

行う。

①推進架台組み立て

推進用架台H-400×400×13×21と立坑内地中連続壁に設けた躯体との間に間詰めコンクリートを打設する。その後、元押設備として1,000kNジャッキ500st×4台を設置する。通常の推進工法の支圧壁に代わって、長さ40cmのH型鋼×400×13×21をボルト(F10TM22)で8か所推進架台と固定する。鋼材と躯体との間には間詰めコンクリートを打設して、推進力を躯体に分散させる。反力架台は底盤からアンカで固定して、転倒防止を図る。刃口はセグメントより外径で10cm程度大きいことから、推進架台の前部は約5cm程度低くしておく。

②刃口およびセグメント設置

刃口は地上で水平状態に組み立て仮置き(写真-5)、立坑下にクレーンにより吊り下ろして、さらにアンカから転倒防止ワイヤにて仮止めする(写真-6)。

セグメントも刃口と同様に立坑上で組み立てる。立坑上で水平状態で1リング分8ピースを組み立て、クレーンにより立坑下に吊下ろし、先に下ろした刃口とボルトにより接続する。さらに4リング分を地上で組み立てた後に吊下ろし、すでに組み終わっているセグメントとボルトで緊結する。なお、セグメント内部には刃口およびセグメント間の接続作業のための足場を設ける。

③刃口、セグメント立坑内移動

刃口およびセグメントの転倒防止用ワイヤを緩めながら、元押ジャッキ4本を伸ばし刃口および4リング分のセグメントを押し出す。ジャッキストロークは50cmのため、その都度、反力受け鋼材×400と元押ジャッキを移動して発進架台と固定した後推進す

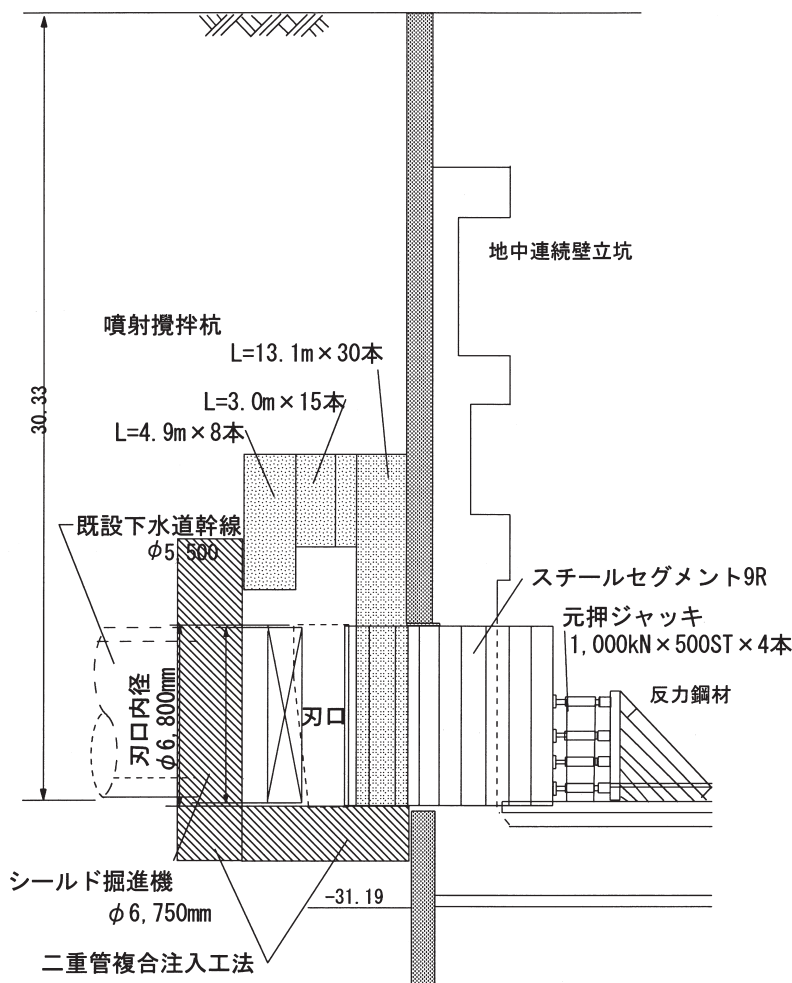


図-4 発進坑口地盤改良

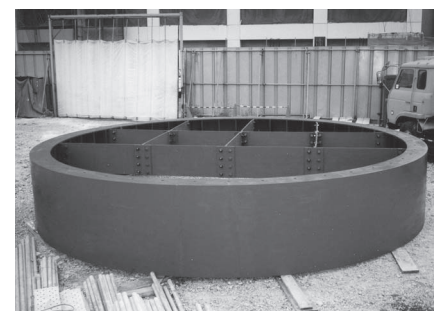


写真-5 刃口仮置

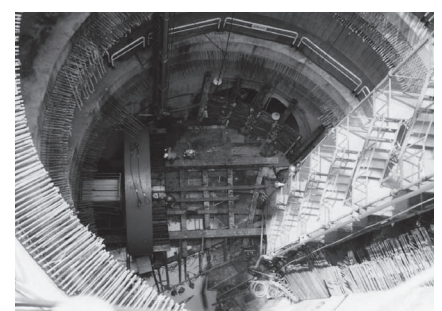


写真-6 刃口立坑内設置

る。以上の作業を繰り返して刃口とセグメントを切羽に押しつける。

④セグメント内面のコンクリート打設
掘削時のスチールセグメントの内面のリブ保護と掘削時の清掃作業を容易にするために底部120°の範囲にコンクリートを打設する。

⑤地中連続壁（発進坑口壁壊し）

コンクリート壊し用大型ブレイカ（ベースマシン付き）をクレーンにて吊り下ろし、セグメント内に設置する。残り2リング分のセグメントを吊下ろし組み立て、押角と元押ジャッキおよび反力鋼材を再設置する。

⑥発進坑口壊し工

推進開始前に、地盤改良効果を確認した後、立坑の地中連続壁厚さ80cmの取り壊しを開始する。大型ブレイカを使用して取り壊すが、刃口近辺の細部のコンクリートや鉄筋切断は設置した足場から人力で行う。壊したコンクリート塊や鉄筋などは転倒バケット1m³で25tクレーンにて立坑上に吊り上げる。

⑦坑口止水器の取り付け

坑口止水器を連壁コンクリート取り壊しの後で取り付ける。躯体にアンカ(M22 144本)を打設し、止水ゴムリングを取り付け、止水ゴム押さえ板と止水ゴム反転防止スライド板を取り付けて坑口止水器の取り付けを完了する。

⑧推進

連壁コンクリートの壊しと止水器の取り付け後、地盤改良効果を再度確認し、元押ジャッキを伸ばし推進を開始する。

⑨既設シールドとの接合

既設シールドまで掘削・残土排出・推進作業を繰り返し、シールドカッター外周に刃口を覆うように推進させる。人力作業でシールド外周の土を取り除く。

⑩裏込め注入

推進完了後、ただちにセグメント注入孔から裏込め注入を行う。

⑪設備撤去

推進終了後、セグメント内および立坑内の元押設備、躯体との間詰めコンクリートをすべて撤去する。

(4) 全体工程

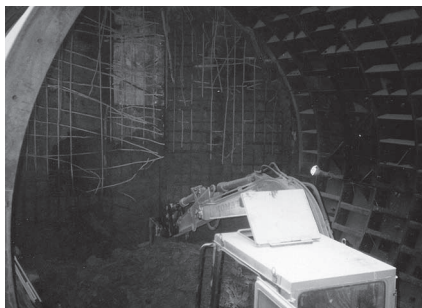
地上で刃口の組み立てを開始して、接続部の補強と裏込め注入までの工程は以下の通りである。

- ①刃口地上部組み立ておよび推進架台設置・・・・・・・・・・5日
 - ②セグメント地上部組み立ておよび刃口およびセグメント立坑下投入設置・・・・・・・・・・2日
 - ③推進設備、坑口止水器取り付け 仮推進・・・・・・・・・・3日
 - ④セグメント内インバートコンクリート打設・・・・・・・・・・1日
 - ⑤大型ブレイカ立坑内投入、残土搬出設備・・・・・・・・・・1日
 - ⑥連続壁壊し・・・・・・・・・・3日（昼夜）
 - ⑦推進・・・・・・・・・・2日
 - ⑧接続部補強 裏込め注入・・・・・・・・・・3日
 - ⑨片づけ 清掃・・・・・・・・・・2日
- 計22日

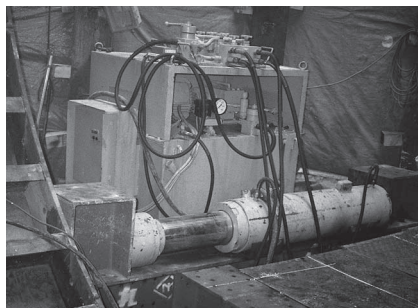
ただし地盤改良工事は含まず

5 まとめ

セグメント推進は推進工法の施工の簡便さと、分割ピースを組立てて地山保持機能としての性能に優れるセグメントの両面の特長を生かした工法である。セグメントリングを推進管として使用することで、断面の大きさに制約を受けることなく、地下構造物を築造できる。本例のように、停止しているシールド掘進機までの迎え掘りは、推進工法が有する特長そのものである。ただ、大深度や軟弱地盤で、刃口式で対応しようとする、地盤改良工法などで極めて慎重な計画が必要となる。このような場合、現在の密閉型の推進工法の技術を生かすことができれば、適用性の拡大は期待できる。



写真一七 坑口連壁壊し工



写真一九 元押ジャッキ



写真一八 接続部シールド解体工



写真一〇 刃口+セグメント6リング