

上向きシールド工法の開発と実証施工

—地上での立坑工事期間の軽減—

伊 東 憲・栄 毅 熾

都市部において立坑建設用地の確保が難しくなっている。また近隣住民からは振動、騒音の面から短期間で工事が終わることを要望されている。これらのことから、地下から地上へかけての掘削技術への注目は、さらに高まりつつある。そこで実用に向けて具現化された技術が、「上向きシールド工法」である。

地下から地上へ向けての掘削を可能にしたことで、地上での工事期間が短くできるほか、列車の線路間、ビル街や繁華街、狭隘な場所など、地上から立坑を作ることが困難な場所でのスムーズな作業を実現する。

また、基本ユニットにアタッチメントを取付けることで、異なる立坑径にも対応が可能である。シールド機はトンネル内運搬が容易な分割・組立てタイプで、地上に到達後には、回収して再利用が可能である。

この新しい「上向きシールド工法」の技術は、多種多様な地下空間の建設工事に貢献できるものと期待される。

キーワード：シールド工法、上向き、立坑、工期短縮、切羽土圧制御、再利用

1. はじめに

現在、都市の地下空間を建設する技術としてシールド技術の果たす役割は大きく、安全性、施工精度といった面から、シールドトンネル掘削技術は、ほぼ完成されている。

シールド開発の動向としては、大断面、大深度、長距離、急曲線、異形断面など新技術の開発がなされてきた。

そのなかに、大成建設株式会社ほかの共同開発の球体シールド工法があり、1台のシールド機で、発進立坑とシールドトンネルを施工したり、シールドトンネルを直角に施工したりする技術（ホルン工法）や、シールド機内で球体を回転させカット交換を行う技術（クルン工法）を実証施工において確立した。

しかし、その球体シールド工法のシリーズで、1台のシールド機でシールドトンネルから到達立坑を施工する技術（デルン工法）の開発が、いまだ実証施工は行われていない。

そこで、その技術の先駆けともいえる「上向きシールド工法」を大成建設株式会社、五洋建設株式会社、石川島播磨重工業株式会社、石川島建材

工業株式会社の4社にて開発した。

本報文では、開発概要、要素実験、実証施工の結果を報告する。

2. 開発の概要

（1）上向きシールド工法の特長

上向きシールド工法は、既設シールドトンネル内から泥土圧式シールド機にて地下から地上に向けて立坑を築造する。

本工法の特徴は次の4項目である。

① 地上での工事期間が短い

・到達の直前まで、地上の周辺環境に影響を与えないので、道路占有等の期間が短くなる。

② 狭い場所での立坑施工が可能

・掘進設備がトンネル内に有り、トンネル内から発進するため、狭い路地、構造物の下などでも施工が可能である。

③ 高い接合性

・接合部側からシールドで発進するため、接合性に優れている。

④ 汎用性のあるシールド機の再利用でコストダウン

・シールド機の分割、組立てが容易で汎用性の

ある設計がされており、地上で容易に回収でき、再利用が可能である。

- 基本ユニットにアタッチメントを組み合わせる方法により、径の異なる掘削にも対応可能である。

(2) 用途

上向きシールド工法の用途として、上下水道、共同溝、鉄道、道路、地下構造物等があげられるが、各種の詳細を表-1に示す。

表-1 各種用途

上下水道	管路、取水立坑、管理用立坑
共同溝	ガス・ケーブル等の分岐立坑
鉄道	換気立坑、管理・避難立坑、駅前エレベータシャフト
道路	排気立坑、避難通路
地下構造物	物流シャフト

(3) 適用範囲

上向きシールド工法の適用範囲として、土質条件は、砂質土、砂礫土、粘性土、軟岩等である。

立坑径はφ2~4m程度、深さ約50mである。

施工上の留意点として、既設シールドトンネル内からシールド機が発進することから、既設発進側のセグメントは、シールド機で切削可能なものをあらかじめ使用する必要がある。

また、シールド機の搬入や坑内に設置する後続設備の坑内スペース、掘削土を搬出する立坑が必要となる。

3. 上向きシールド工法の概要

(1) シールド機

上向きシールドを図-1に示す。

シールド機の種類は、泥土圧式を採用し、排土機構としてピンチバルブを使用している。

このピンチバルブは排土管内面にゴムスリーブを内蔵し、このゴムを空気圧で膨らませて排土管断面を調節する構造になっており、切羽土圧の制御及び土量管理に重要な役割を果たしている。

図-2にピンチバルブの構造イメージ図を示す。

(2) 施工方法

施工方法は下記に示す順序にて行う。

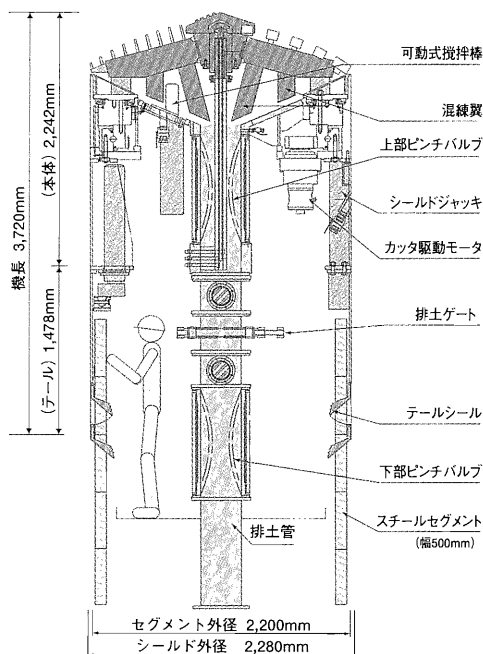


図-1 上向きシールド機 (大阪市の事例)

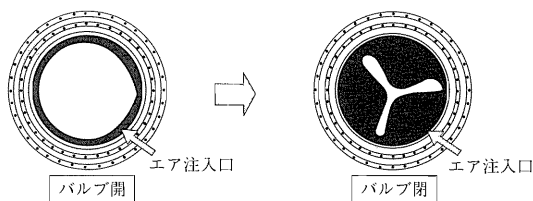
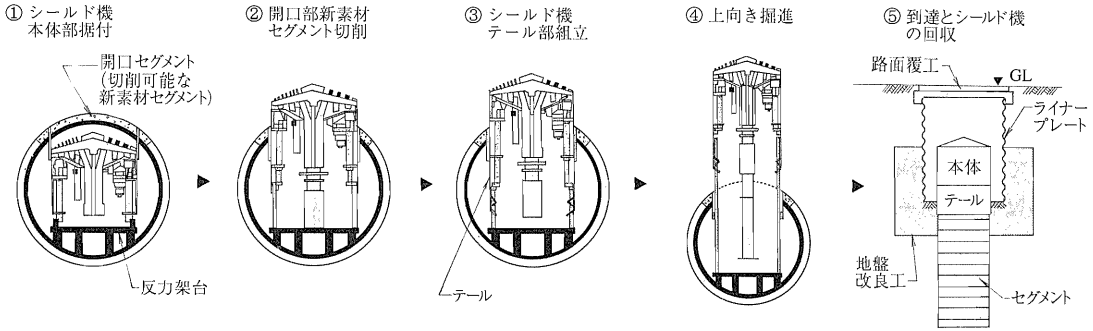


図-2 ピンチバルブ構造イメージ図

- ① シールド機本体据付け
既設立坑よりシールド機本体を運搬し、トンネル内の所定の位置に据付ける。
- ② 開口部新素材セグメント切削
ジャッキアップし、すでに設置されているシールド機で切削可能なセグメントの切削を行う。
- ③ シールド機テール部組立て
掘進および仮組みセグメント組立ての施工に併せ、坑内にてシールド機テール部を組立てる。
- ④ 上向き掘進
掘削深度や地層の変化に対応させ、切羽土圧と排土量の管理を行いながら掘進する。
- ⑤ 到達とシールド機回収
地上で施工したピット内に到達して、クレーンにてシールド機を回収する。
上記の施工順序図を図-3に示す。



図—3 施工順序概略図 (大阪市の事例)

4. 要素実験

(1) 実験項目

要素実験として、主に機械面において試験用のシールド機を使った掘削実験とピンチバルブを用いた排土機構の実験を行った。

(2) 掘削実験

掘削実験の目的は、密閉型シールドで上向きに立坑を掘削した実績を作ることと、シールドの掘削性能と切羽の安定を図るための掘進管理方法を確認することであった。

実験には、外径約1mの実験用シールド機を使用し、外径φ4m、高さ6mの土槽に人工地盤を造成し、この土槽下部より実験機で人工地盤を約4m掘削し、この間の地盤の変位を計測した。

実験機を写真—1とその諸元を表—2に示す。

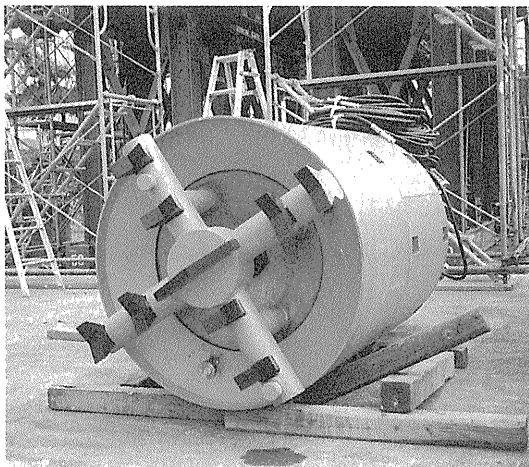
表—2 実験機の諸元

シールド機外径	φ1,016 mm
推力	470 kN
掘進速度	0~20 mm/min
カットトルク	12.6 kN-m
カット回転数	2.28 rpm
スクリエ外径・形状	φ95 mm・リボン
スクリュートルク	1.27 kN-m
土圧計	切羽・側方各2点

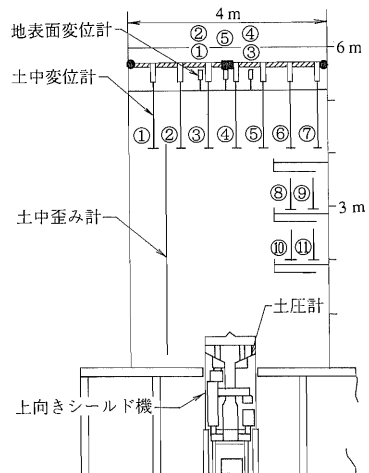
人工地盤は、地盤変位の計測結果が敏感に得られるように、自立しにくい粒径4.75 mm以下の砂質土とした。造成方法は、地下水位以下の地盤を想定し、人力により締固めた後、水を注水して飽和状態の地盤を作製した。この時の締固めはRI測定機にて乾燥密度を1.55 g/cm²にした。

地盤の計測方法は、地盤内に土中歪み計、地表面に地表面変位計を設置し、リアルタイムに計測結果を表示できるようにした。地盤変位の計測機器配置図を図—4に示す。

実験方法は、1回当たりの掘進長を66 cmと



写真—1 実験機



図—4 計測機器配置図

し、6回に分けて掘進を行った。各ケースごとに管理土圧を設定し、掘進速度を一定に保ちながら、排土量を調整して切羽土圧を制御した。

管理土圧は、各ケースの掘進前の静止土圧を基準として任意に倍率を設定した。また、作泥材の注入率は5~6ケースから徐々に下げ排土状況を確認した。これらの各ケースのパラメータを表-3に示す。

表-3 掘進パラメータ

掘進回数	掘進距離 (mm)	管理土圧 (静止土圧の倍率)	作泥材注入率 (%)
1	0~500	静止土圧×1.0	20
2	600~1,320	静止土圧×1.4	20
3	1,320~1,980	静止土圧×1.4	20
4	1,980~2,640	静止土圧×1.6	20
5	2,640~3,300	静止土圧×1.4	15~20
6	3,300~3,920	静止土圧×1.6	10~25

今回の実験では、6ケースの実験によりその中から地盤変位の少ない掘削ができる条件を見出し、安定した上向きの掘進ができた。また、切羽地山の圧密によるカッタ回転への影響はなかった。

最も安定した掘削ができた条件は、掘削速度を毎分10mm、管理土圧を静止土圧の1.6倍にしたときであった。この時の作泥材(ベントナイト)の注入率は20%であった。この条件で掘削したのは、掘進回数4,6のケースで地表面の沈下は最大2mmと最も地山への影響が少なかった。そのデータを図-5に示す。

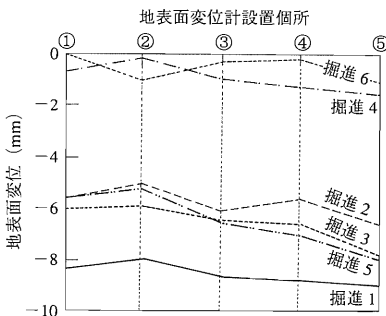


図-5 地表面変位データ

(3) ピンチバルブの排土機構の実験

この実験の目的は、ピンチバルブの開度調整で設定した管理土圧制御の可能性と、バルブ閉鎖時の止水の可能性を確認することである。

実験は、内径φ0.6m、高さ1mの土槽内に砂質土(山砂)と粘性土に作泥材(ベントナイト粘土, WAP(高吸水性樹脂))を混練した土砂を投入し、プッシュジャッキで押しながらパドルを回転させ、ピンチバルブの開度調整を行った。

実験ケースは、泥土のスランプは10±2cm、管理土圧は、0.05, 0.08, 0.2, 0.3MPaの4種類、1回当たりのジャッキストロークを45cm、掘進速度は、10mm/minとした。

実験装置を図-6に示す。

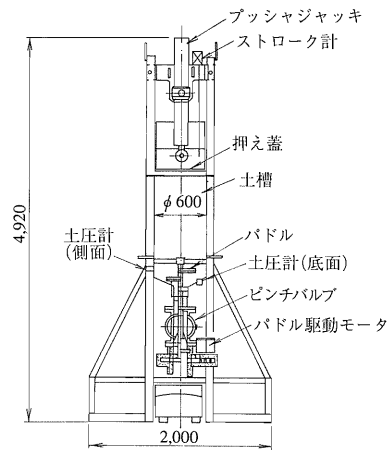


図-6 実験装置

管理土圧0.2MPaの時の砂質土と粘性土のデータを図-7に示す。

両ケースとも管理土圧にはほぼ同様の土圧制御ができた結果になっており、この他のケースにおいても同様の結果が得られた。

なお、止水性については土槽内に水をはり、水圧0.3MPaでの止水効果を確認した。

この結果、実験によりピンチバルブの排土機構で土圧制御および止水ができることを確認でき

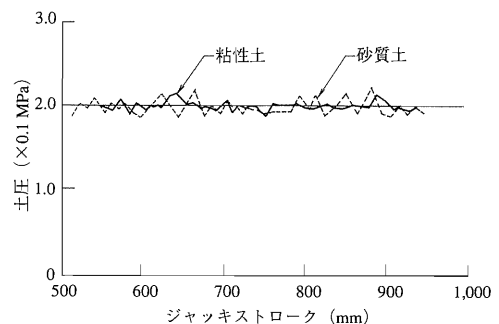


図-7 土圧制御結果

た。

5. 実証施工

(1) 工事概要

上向きシールド工法の実施工は以下のとおりである。

- ・工事件名：万代～阪南幹線下水管渠築造工事（その3）
- ・工事場所：大阪市阿部野区南町2～3丁目
- ・工事期間：平成12年9月～平成13年9月
- ・発注者：大阪市都市環境局
- ・主要工種：流入立坑3箇所（深さ20.3～32.8m）

(2) 地質概要

地質は主に砂質、礫質土（ $N=30\sim50$ ）と粘性土（ $N=10$ 前後）である。

また、地下水位はGL -2.0mと高く、掘削当初は高水圧下での施工となった。

地質図を図-8に示す。

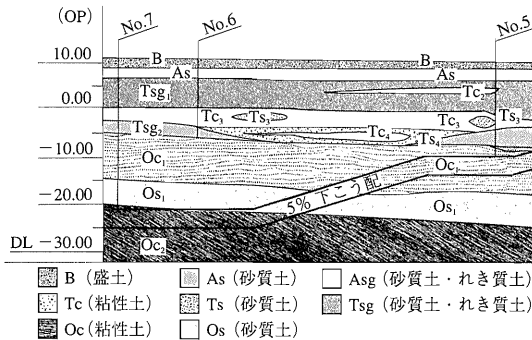


図-8 地質図

(3) シールド機

掘進方法は泥土圧式を採用している。

既設トンネル内の開口部セグメント発進の際、シールドカッタがセグメント中心部から切削できるように曲率を描いた配置になっている。チャンバ内は掘削土を排土口に取り込みやすくするために、すり鉢状になっている。また取込まれた掘削土は、2本のピンチバルブとその間に設置された排土ゲートを通過する。

エレクトラは、立坑径が比較的小さいことと、セグメント分割による重量（約40kg/ピース）の関

係から設置していない。

シールド機を写真-2に、その諸元を表-4に示す。



写真-2 シールド機

表-4 シールド機の諸元

外 径	φ2,280 mm
機 長	3,720 mm
総推進力（ジャッキ本数）	3,922 kN（8本）
最大掘進能力	20 mm/min
カッタートルク	353 kN-m
カッター回転数	3.13 rpm
重 量	約25 t

(4) 開口部セグメントおよび補強工

シールドトンネル施工時に立坑接続位置に事前に組立てた開口部セグメントは、シールド機で切削する部分にNOMST（Novel Material Shield-Cutttable Tunnel-Wall System）材を使用した。また開口部の補強は図-9のような断面になっており、補強区間を開口部（D）に対して3D区間行った。

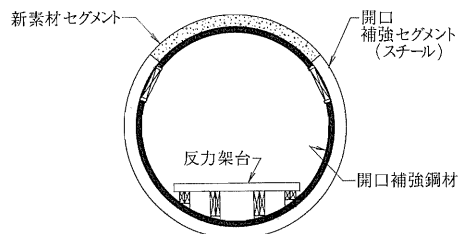


図-9 セグメント補強図

(5) 施工結果

(a) 初期掘進

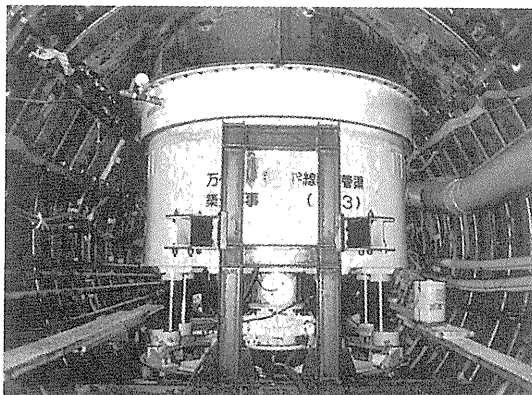


写真-3 ローリング防止対策

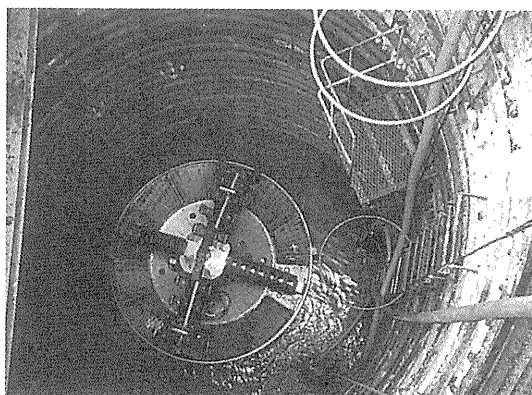


写真-4 シールド機到達

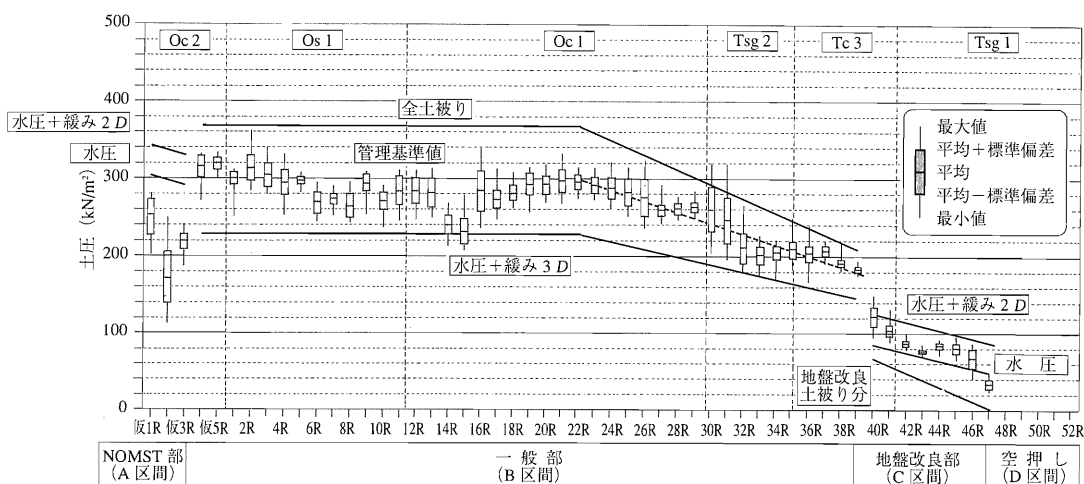


図-10 土圧実績図 (No. 7 立坑施工時)

開口部セグメント切羽時のシールド機のローリングを想定して、シールド機外周に鋼材を設置し防止策を写真-3のように行った。

(b) 掘進管理

加泥材として高分子ポリマーを主に使用し掘削土の塑性流動化を図るとともに、切羽土圧と排土管理に留意して施工を行った。このときの土圧管理の実績を図-10に示す。

この結果、ピンチバルブを使用していないNOMST区間を除き、管理土圧内で切羽土圧制御ができた。

(c) 到達およびシールド機回収

今回工事では、将来地上から約7mが人孔となることから、地盤改良後ライナプレートの立坑を設置し、そのなかでシールド機を到達させた。その状況を写真-4に示す。

また、到達後シールド機のテール部を残し本体部をクレーンにて回収し、次の立坑施工に使用した。

(d) 地盤変状計測

立坑中心から2.5mと5.0mの位置に層別沈下計を設置した。計測した結果、測定値は両計器とも0.5mm以下の値になっており、ほとんど変位はなかった。

6. おわりに

開発の段階から切羽土圧管理が重要とされていたために実験を行った結果が、実証施工にうまく反映された。

今回の結果は上向きシールド工法の信頼性が確認されたことにもなり、今後の工事での成果に期

待したい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 社団法人日本建設機械化協会：建設機械と施工シンポジウム論文集, 「上向きシールドの開発」, pp. 80~83, 平成6年10月
- 2) 社団法人土木学会：第50回年次学術講演会講演概要集, 第6部, VI-235, pp. 470~471, 平成7年9月



【筆者紹介】

伊東 憲 (いとう けん)
大成建設株式会社
技術センター
土木技術開発部
シールド・TBM工法開発室
係長



栄 毅熾 (さかえ たけし)
大成建設株式会社
技術センター
土木技術開発部
シールド・TBM工法開発室
部長

// 大幅改訂 //

建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」(環境庁告示)が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論 (建設工事と公害, 現行法令, 調査・予測と対策の基本, 現地調査)
- 各論 (土木, コンクリート工, シールド・推進工, 運搬工, 舗装工, 地盤処理工, 岩石掘削工, 鋼構造物工, 仮設工, 基礎工, 構造物とりこわし工, 定置機械 (空気圧縮機, 動発電機), 土留工, トンネル工)
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程, 建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法, 建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説, 環境騒音の表示・測定方法 (JIS Z 8731), 振動レベル測定方法 (JIS Z 8735)

■体 裁：B5判, 約340頁, 表紙上製

■定 価：会 員 5,880円 (本体 5,600円) 送料 600円

非会員 6,300円 (本体 6,000円) 送料 600円

・「会員」本協会の本部, 支部全員及び官公庁, 学校等公的機関

・申込先 **社団法人 日本建設機械化協会**

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289