

シールド機の転用を容易にしたコンパクトシールド工法

—後方設備内包型3分割シールド機の採用—

松浦 将行・高久 節夫

本報文は、東京都下水道局で進めている再構築事業に採用したコンパクトシールド工法の開発技術の特徴と施工例を紹介したものである。下水道普及地域での再構築工事は直接住民に利益がなく、シールド工法の立坑用地の確保難や工期の短縮、運搬車両の削減等が求められるなどより効率的な事業展開が必要である。これらを解消するため開発されたコンパクトシールド工法は、転用が容易にできるよう後方設備内包型の3分割シールド機で、溝付きインバート二次覆工一体型のセグメントを用い、その構造体は4分割3ヒンジの安定した静定構造体である。本報文では、これら一連の試行の実績とその評価、転用使用上の課題等について述べる。

キーワード：下水道、シールド、3分割シールド、二次覆工、セグメント、3ヒンジ構造

1. はじめに

東京都23区の下水道管渠の総延長は約15,000kmになる。これらの管渠築造には、開削工法、推進工法、シールド工法等が採用された。

シールド工法は昭和37年に初採用され、その後、主に幹線管渠等の築造に用いられ、施工延長は約800km、工事件数で約1,400件に達している。反面、耐用年数50年を超えた部分も2,000km（全延長の13%）になり、平成11年度の調査によれば、道路陥没が約1,500件、下水道管の詰まりなどによる故障件数約2,000件、床上・床下浸水約3,500件が発生し、大きな社会的問題となった。

そこで、東京都ではこれらの問題を早期解消すべく、老朽化対策、能力不足の解消、ライフサイクルを考慮した施設への転換などを主な目的とした下水道の再構築事業を鋭意進めているところである。

一方、昨今の社会情勢から東京都を取巻く財政状況は厳しく、経営の効率化、事業の効率化、建設コストの縮減が求められている。また、住宅等の高密度化や交通量の多い道路等で施工する再構築事業は、工期の短縮や環境負荷の低減等様々な配慮も必要になっている。

このような再構築事業の諸問題を解消し、工費、工期、環境負荷の低減を図る新工法の「コンパクトシールド工法」について記述すると共に、施工事例を紹介する。

2. 工法の概要・特徴

コンパクトシールド工法における主な開発技術は、

① 溝付きインバート二次覆工一体型セグメント、

② 後方設備内包型3分割シールド、
③ ガイドローラ付きタイヤ式搬送設備、
である。

本シールド工法の主な開発技術の概要を以下に示す。

(1) 溝付きインバート二次覆工一体型セグメント
溝付きインバート4分割3ヒンジ二次覆工一体型セグメントは以下の特徴を持っている。

- ① 二次覆工の工程を省略して工期短縮を可能とした。
- ② 二次覆工厚の機能を一次覆工に合わせ持たせて掘削断面を縮小した。
- ③ 可能な限り分割数を少なく、経済性を向上させ、組立て施工性を向上させた。
- ④ 3ヒンジの静定構造で、安定した覆工体とした(図-1)。

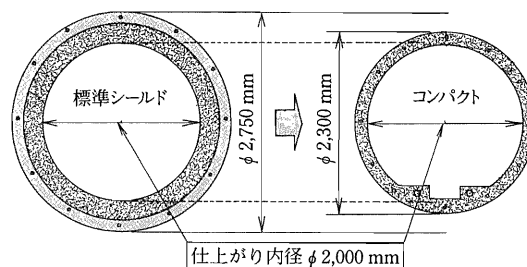


図-1 従来型シールドとの比較図

以上述べたことから、本セグメントは、二次覆工工程が省略でき、経済性、施工性、かつ、安定性に優れた覆工構造であることを示している。

(2) 後方設備内包型3分割シールド

従来のシールドは、駆動設備をはじめとする諸施工設備をシールドの後方に配置し、シールドに牽引される方式で設置されている。

このため、シールド工事において最も作業が輻輳する箇所に後方設備を配置することになり、作業性、安全性等多くの制約を受けている。

コンパクトシールドはこれらの制約を解消するため後方設備をシールド機内に収容し、3分割のユニット構造として、分割数が少なく、かつ、二次覆工一体型の厚いセグメントも容易に、また安全に扱うことが可能となった。

各ユニットは中折れ装置にて連結されており、R15mまでの急曲線施工にも対応可能となっている。また、各ユニットを逐次接合しながら発進させることで、立坑長さが短くできる。同時に、到達時においてもシールド機の引上げが容易となり、シールド機を他の現場に容易に転用することが可能となっている(図-2)。

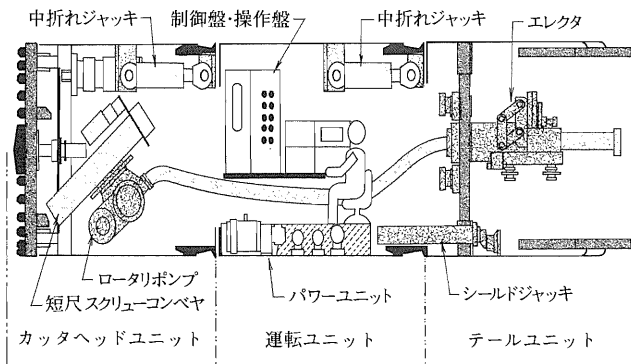


図-2 後方設備内包型3分割シールド

(3) ガイドローラ付きタイヤ式搬送設備

搬送システムは、インバート上を直接走行するタイヤ式の新搬送システムである。ガイドローラを取付け、溝付きインバートに沿って走行し、無操舵で、かつ滑らかな搬送が実現した。最大登坂能力は2%まで可能である(写真-1)。



写真-1 ガイドローラ付きタイヤ式搬送車

また、セグメントの扱いを容易にするため、ローラ式搬送台車も開発した。

3. 溝付きインバート二次覆工一体型セグメント

(1) 二次覆工工程の省略

従来、下水道のシールド工法では現場打ち二次覆工が一般的であった。しかし、シールド工事は立坑に防音壁等を施しても、立坑の高さによる日照問題や出入運搬車両の騒音等の関係から、立坑付近の住民から阻害視され、市街地で長期にわたる立坑設置は困難になり、工期の短縮が望まれている。

一方、シールド工法の技術向上から二次覆工の役割であった蛇行修正、止水等の必要性が低下した。また、セグメントに高品質のコンクリートを一定厚さで一体成型することによって腐食環境にも対応できることが判断された。このことから東京都下水道局はコスト縮減、工期の短縮等から「二次覆工一体型セグメント設計・施工指針(案)」を立案し、管渠の環境条件によって適用できる範囲を定め、本格的導入に向けて試行工事等を開始した(表-1)。

表-1 環境条件と適用管渠の種類

環境条件	適用管渠の種類	備考
一般の環境	① 雨水管渠 (分流式および合流式のピークカット管渠) ② 処理水放流管渠 ③ 雨水貯留管渠 (合流式のピークカットによる暫定貯留管渠)	二次覆工省略型セグメントを適用対象とする管渠の種類
腐食性環境	合流管渠 污水管渠	二次覆工一体型セグメントを適用対象とする管渠の種類

(2) セグメントの耐久性

二次覆工一体型セグメントの防食層の構造は、セグメント内側に覆工構造体として評価しない防食層(二次覆工部)を設け、維持管理の点検等より防食層等の劣化状況を把握し、必要に応じて補修を行うことで、将来にわたっての耐久性を確保することにした。厚さは各種中性化推定式による中性化深さおよび東京都の下水道施設の劣化進行状況の調査実測値における最大値(47mm)と、コンクリートを打替える場合の施工性(最大骨材径の2倍程度)を考慮して50mmとした。

また、本セグメントの溝付きインバートの平坦部は、維持管理時の点検作業足場として活用するとともに、将来の点検・補修の機械化、自動化に適した形状とした。このように維持管理を効率化させる機能を新設管

渠に付加させることは、管渠のライフサイクル全般にわたって耐久性向上を確保することにもなる。

なお、本セグメントは、施工でやむなく蛇行が発生し、修正が必要な場合は、インバートに設けた溝を利用して、安価な材料で、容易に勾配の調整が可能である（図-3）。

また、セグメントの継手はトンネル内面に継手金物が露出しない構造としたので、継手目地にコーキングを施すことで内面平滑性が確保できる。

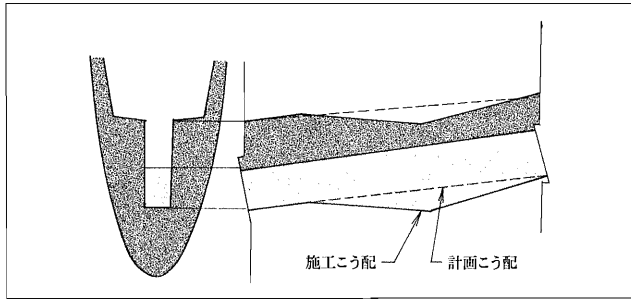


図-3 インバート部詳細（縦断面）

(3) 覆工体の合理性

(a) 3ヒンジ構造と分割数の削減

覆工体は、覆工構造としては安定した3ヒンジ構造であること、経済的には分割数が少ないことが望ましい。しかし、二次覆工一体型としたためセグメントが厚くなり、セグメントピースの搬送や組立て時における作業空間の確保が必要となる。このために、3ヒンジ1剛結合のリングとすることにより、分割数を削減することと4分割3ヒンジの静定構造の確保とも両立させた（図-4）。

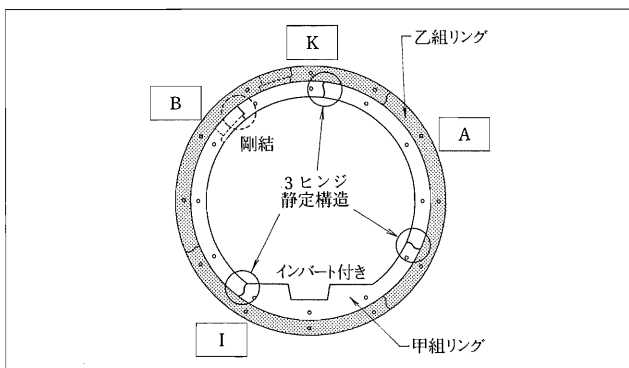


図-4 4分割3ヒンジ構造

セグメントリングはインバート付きのI型、A型、B型および軸方向挿入式のK型で構成される。しかし、リングの組立て形態は、ヒンジ部は引張りに抵抗できない構造である。このため、完成後の近接施工に伴う荷重変化や異常時の内水圧作用等への対応と、組立て直後、シールドテール内でジャッキ推力が作用し

た際、リング中心方向への拘束力の安定性を確保する必要から、リング間拘束効果が得られる千鳥組とした（写真-2）。

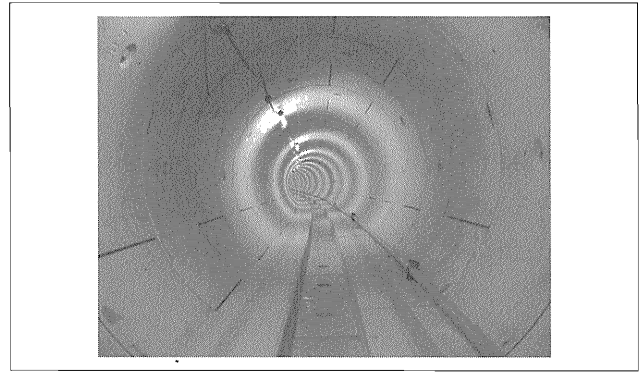


写真-2 千鳥組した二次覆工一体型セグメント

(b) 継手構造

① セグメント継手

セグメント分割数は少ない方が経済的であるが、搬送空間の関係から4分割とした。そこで、3ヒンジ静定構造を確保するため、セグメント継手4箇所のうち、B-K間の継手をC型の金物に水平スペーサを挿入して剛結合させる（C型嵌合継手）構造とした。

なお、C型金物は高い製作精度を要求しないため、「熱押型鋼」として、製作コストの低減を図った（図-5）。

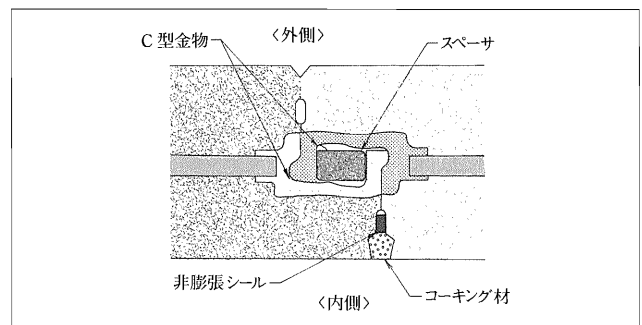


図-5 C型嵌合継手

ヒンジ部の継手は、回転を許し、かつ、十分なせん断抵抗力と止水性を有した構造とする必要がある。そこで、プレキャスト部材のヒンジ構造として実績がある、突合せ継手の「ナックル継手」とした（図-6）。

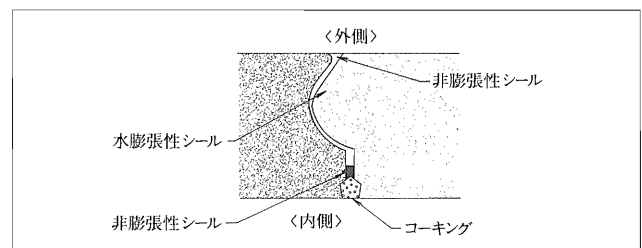


図-6 ナックル継手

止水材は、ナックル接触部近傍を通過する水膨張性シール材のほか、内縁側二次覆工部の非膨張性シールと目地コーキングにより、回転に追従して止水性を確保できる構造とし、さらに、ナックル部外縁側には隙間形状に成型した硬質のスポンジシール材を設け、外縁隙間への裏込め材や土砂の目詰まりに対処した。

② リング継手

リング継手は、内面平滑型セグメントに用いるピン挿入型継手を基本とした。リング継手に要求される性能としては、

- ・組立て時のセグメントの安定性、
 - ・止水性の確保、
 - ・曲線施工の安全性が確保される引張り抵抗力と、千鳥組によって生じるせん断力に対抗できる抵抗力を有すること、
- 等である。

本工法では、これまでに実績があるもののうち、これらの要求性能を満足し、かつ本セグメントへの設置に支障のないことを確認している、ノブ型継手とカブラ型継手を採用可能としている。

また、リング継手のコスト縮減を図るため、民間企業と共同開発に臨み、鋼棒を母材とした部品数の少ない、ロータリージョイントを開発した（写真—3）。



写真—3 ロータリージョイントの構成部品と構造モデル

4. セグメント搬送、組立てシステム

前述したセグメントの搬送、組立てを行ううえで、以下の点に注意する必要がある。

- ① RCセグメントゆえに、取扱いを慎重に行う。
- ② 小口径トンネルとしては1ピースの大きさ及び厚さが従来と比較して大型で、重量が大きい。

そこで、このような大型のセグメントピースの搬送および組立てを可能にするため、特殊なセグメント供給装置やエレクタを開発した（写真—4）。

本工法では、セグメント組立て完了の時点でトンネル底部は水平となる。この点に着目し、インバート水



写真—4 セグメント供給システム

平部を直接走行するタイヤ方式の搬送システムを採用した。セグメント台車からエレクタ把持位置までのセグメントの供給はセグメント搬送ローラとセグメント供給テーブルで行った。

セグメント供給テーブルはスライド機構を有しており、前方へ張出すことで組立て位置までセグメントを移動させる。エレクタでセグメントを把持した後は、セグメント供給テーブルを後方へ引戻し、エレクタの回転に支障にならないようにスペースを確保した。また、搬送ローラおよび供給テーブルの支持部には、コンクリートセグメントの欠け防止対処のため、ナイロン系樹脂を採用した。

エレクタは旋回中心をシールド中心から上方へ偏心させるとともに、リンク機構とスライド機構を併用した2段式昇降機構とし、約600mmの昇降ストロークを確保した。これにより、狭小空間で大型のセグメントピースの把持、旋回等を可能とした。

5. 施工事例

(1) 工事概要

本工法を採用した試行工事は、「東京都台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事」である。本工事は同地域の下水道管渠浸水軽減および老朽化対策を目的として、面整備に先行して主要枝線を再構築するもので、路線延長は1,280mである。土被りは約5~6m、縦断勾配0.15~1.4%で、平面線形は急曲線(R30m)を2箇所含む。また、シールド通過位置の地層は、上部有楽町層の砂質系シルト層(N=5~10)が主体である(図—7)。

(2) 施工実績

シールドは平成14年1月に発進し、同年5月に南

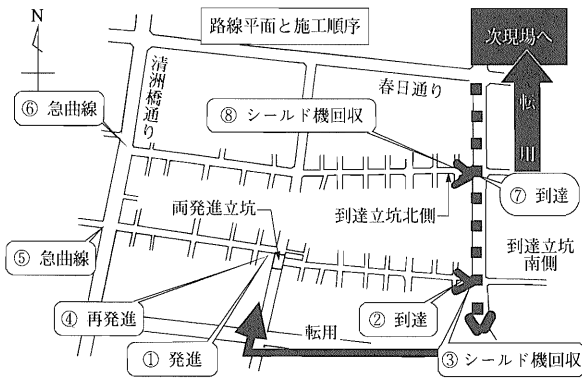


図-7 台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事平面図

線終了した。到達立坑でシールド機を引上げ、発進立坑に再投入を行った。北線は急曲線 (R 30 m) 2 箇所と直線部を掘削し、平成 14 年 2 月 19 日に 3 分割最後の後胴を引上げた。その後、次の現場で転用使用するため、当局指定の場所にて点検・修繕を実施した。

分割発進は元押しジャッキとストラット (押輪) を用いて行い、以下のメリットを確認している (写真-5)。



写真-5 分割発進

- ① 発進立坑の大きさは、従来の標準泥土圧シールド工法と比較して約 3 割縮小できた。
- ② 狭隘な立坑内にもかかわらず、仮発進に伴う諸設備の投入や段取替えなどが容易で、かつ、安全に実施できた。
- ③ 初期掘進及び掘進中は後方台車や軌条が無いため、立坑内が整然としており、作業環境と安全性が向上した。

また、推進反力の計測を実施し、当該現場における初期掘進長は搬送台車がすべて坑内に入る距離 (30 m) を確保すれば十分であることが確認できた。

到達立坑でのシールド機の回収は、内径 5,200 mm の小さな立坑から搬出でき、3 分割構造のメリットが実証できた。

本掘進の実績は昼夜連続施工で平均 8 リングであり、

その施工精度は図-8 に示すように基準値 (基準高: ±50 mm, 水平線変位: 左右 150 mm) 以内に収まる良好な結果が得られた。

なお、今後はこのモデル工事で計測した各種データを整理、分析し、設計・積算資料に反映させる予定である。

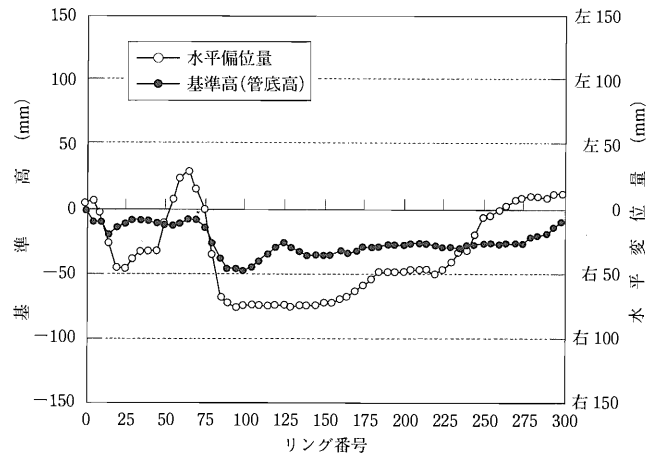


図-8 施工精度

6. シールド機の繰返し使用

先に述べたとおり東京都下水道局は、シールド工法による管渠築造の実績は数多くある。しかし、シールド機を繰返し使用した例は数例にすぎない。今回のコンパクトシールドの転用試行により、1 回目の現場でどの程度シールド機が損耗するのか、また、転用使用するためにどの部分をどの程度修繕する必要があるのか等を検証、検討するため、前請負者、次期請負者、機械製作者及び当局関係者で立会った。その立会い時に検証したシールドマシンの状況は写真-6、写真-7 の通りである。

この状況から、

- ① 転用使用による請負者のマシン類に対する不安等のデメリット要因よりも、同径を連続して事業を展開するメリット要因の方が大きい。
- ② 転用使用を採用するか否かは、発注者側の事業展開上の理由などに大きな要因があると考えられた。

今回の掘進後の回収マシンを見る限り、転用使用は今後のコスト縮減や工期短縮に大いに活用すべき要素であることが判明した。

そのためには、従来、なぜ転用使用を試みなかったのかを改めて検証し、その問題解決に積極的に取り組むと共に、同一規模の事業を集約し、計画的かつ継続的に実施する方式を導入していきたい。

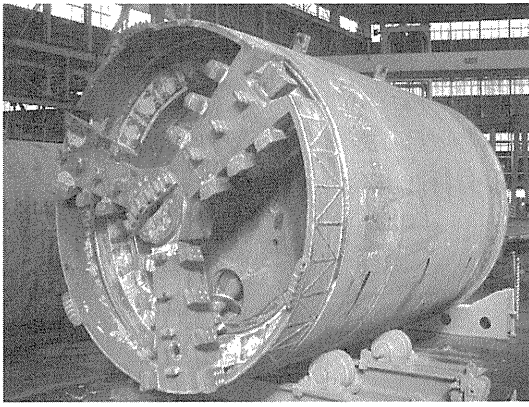


写真-6 修繕前の前胴

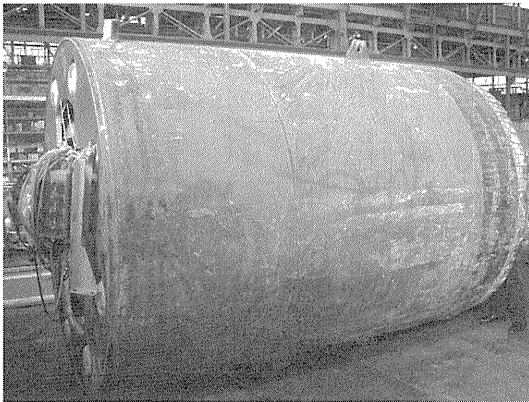


写真-7 修繕前の後胴

そのためには、請負者及びマシンメーカーとは次のような課題の整理が必要と考えられる。

- ① シールドマシンの取扱い（仮設使用の条件、貸与およびリース形式等の導入の可能性）、発注形態の改善（VEの活用）、貸与方式を採用した場合の条件整理（故障時の修理費の負担や転用時の修繕費など）、発注者と転用使用者間の所有者責任と使用者責任のあり方など。
- ② 修繕時の修繕個所の特定手法と査定方法の確立など。
- ③ 転用使用を導入した場合に想定できる諸問題を、発注者、請負者、製作者が一緒になって考える「場や機会」の提供など。

7. おわりに

今日、シールド工法の掘進技術やセグメント構造等の技術革新は目覚ましいものがある。特に、今回採用したコンパクトシールドは、発注者、請負者、各メーカーが一体となって技術開発に取り組む、非常に斬新的な工

法になった。

しかし、このコンパクトシールド工法にも、まだまだ改良する部分がある。次の転用先「東京都江東区大島四、五丁目付近再構築工事」の現場では、次のような課題に取り組んでいく所存である。

① 新型継手の採用

セグメントの低価格化を図るため、民間と共同開発した新型継手の採用。

② コーキング材の採用

コーキング溝にコーキング材を充填していた方式からセグメントに貼付けるコーキング材への転換。

③ 裏込め充填孔キャップの改善

一体型セグメントの本格採用を目指して、内面平滑を容易に確保するための改良型充填孔キャップの研究とその採用。

④ センターホールジャッキによる仮発進

ストラット方式より、より初期掘進時の作業空間が確保できるセンターホールジャッキによる仮発進の試行。

⑤ 人孔を利用したポンプ圧送方式

タイヤ式搬送台車方式は、掘進延長によってサイクルタイムが左右される。このため、取入れ人孔を先行施工して、そこに中継ポンプを据える方式のポンプ圧送の試行。

東京都は、厳しい財政状況の中で効率的に事業を推進するため、シールド技術のさらなる技術革新を図っていくところである。また、コンパクトシールド工法のより一層の改良、充実を図るとともに、現在、試行中の一体型セグメントの試行結果を踏まえて、本格的に二次覆工一体型セグメントの導入を進める考えである。

JCM/A

【筆者紹介】

松浦 将行（まつうら まさゆき）
東京都下水道局
建設部
設計調整課
課長



高久 節夫（たかく せつお）
東京都下水道局
建設部
設計調整課
事業調査担当係長

