

# 27. コンパクトシールド工法の機械システムの開発

東京都：高久 節夫、片岡 正造、

コマツ：\*勝沼 清

## 1. はじめに

東京都では管渠の老朽化や汚水量・雨水流出量の増大に伴い、下水道再構築事業の推進が急務となっている。幹線に導くための主要枝線の新設工事は下水道再構築事業の中核をなすものであり、小口径のシールド工法によるものが多い。東京都におけるシールド工事では、工事費の低減や都市部固有の問題である生活環境への影響、地上や地下空間の過密化等の解決すべき課題がある。このような背景から筆者らは、下水道管渠の再構築に適した新たなシールドシステムを「コンパクトシールド」工法として開発し、今回実用化するに至った。

本報告は、コンパクトシールド工法の機械システムの開発概要とその開発にあたっての検討経緯を述べたものである。

## 2. 後方設備内包型3分割シールドの開発

### 1) 開発の概要

コンパクトシールド工法においては、図-1に示すように分割数が少なく、かつ二次覆工を一体とした厚さの大きなセグメントを扱っている。このため後方設備が大きな支障となり種々の検討を行った結果、図-2に示すようにシールドに1ユニット増設し、後方設備をシールド機内に収容することで解決することとした。

1ユニット増設することでシールドの機長が長くなること

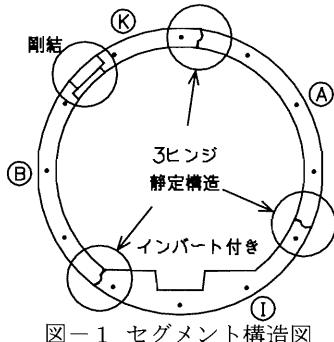


図-1 セグメント構造図

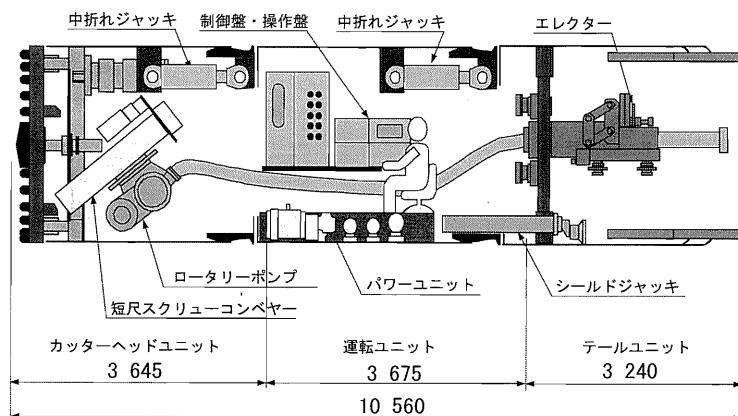


図-2 後方設備内包型3分割シールド

となるが、3分割構造と共に分割発進・分割回収が容易に行える構造とすることで、発進・到達の両立坑サイズの縮小化も実現することができた。さらに、各ユニット間は中折れ構造で接合することにより、 $R=15m$  の急曲線施工にも対応できる構造としている。なお、表-1に仕上り内径 2,000mm に対応するシールドの主要仕様を示す。

表-1 後方設備内包型シールドの主要仕様

シールド外径	シールド機長	シールドジャッキ	中折れジャッキ	総質量	本体分割数	最大ユニット質量
2,430mm	10,560mm	80t × 8 本	150t × 8 本	61t	3	26t

## 2) シールドの特長

### (1) 急曲線への対応

写真-1のように中折れ部を2箇所有する3分割構造とし、さらに短尺のスクリューコンベアを装備することによって、 $R=15m$  の急曲線でも対応できる構造とした。

### (2) 発進・到達立坑面積の縮減

各シールドユニット（前、中、後）が独立して推進できる3分割構造としたため、分割発進・分割到達が可能となり、従来と比較して立坑面積の縮減が図れる。

### (3) 切羽の安定性向上

ロータリーポンプをスクリューコンベアに直結させ、それとの回転数の同調制御を行うことにより、切羽の土圧管理を容易にした。

### (4) 経済性の向上

採用する主要枝線の仕上がり径を一種類に統一（現状では2,000mm）し、シールド機の転用を促進することにより、経済性を向上させた。

## 3) 改善効果

- (1) シールドの後方設備を内包化することにより、シールド後方の坑内空間が広くなり、後述するとおり大きなブロックのセグメントを運搬できるとともに、坑内作業者の安全性が向上する。
- (2) シールド掘進に必要な設備がすべて機内に内包し、シールドをユニット化したために到達立坑で分割回収が可能となりシールド機の転用が容易であり、経済性が向上する。

- (3) 後方設備が無く、シールドを分割発進することにより、初期掘進期間を短縮できる。

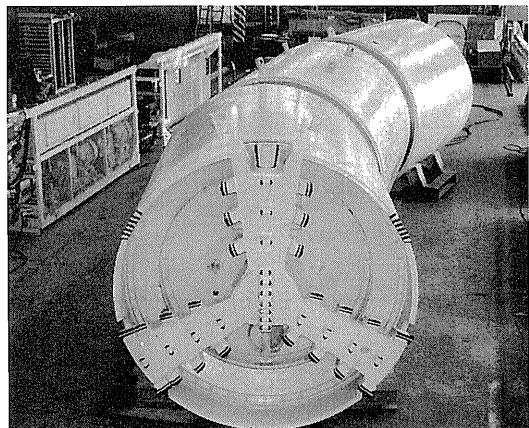
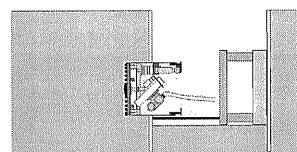
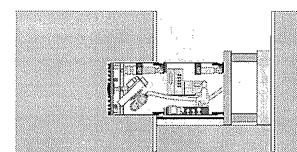


写真-1 シールド屈曲状態 ( $R=15m$  対応)

### ①前シールドセット・発進



### ②中シールド接続・掘進



### ③後シールド接続・掘進

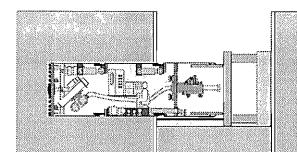


図-3 シールド発進手順

(4) 発進立坑では図-3による手順で各ユニットを順次投入しながら発進を行うことにより、立坑面積を図-4に示すように従来の68%程度にまで小さくすることが可能となる。また到達立坑についても、発進時と逆の手順を経ることにより、同様に小さくすることが可能である。

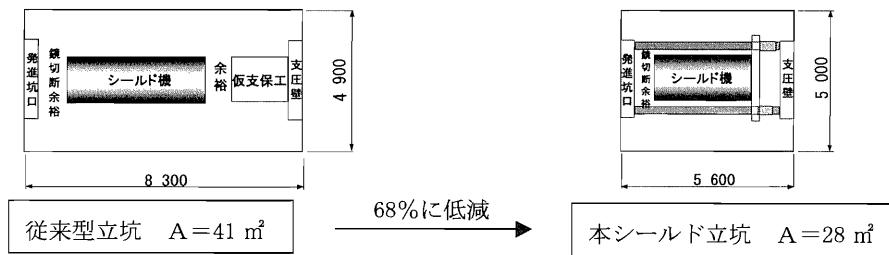


図-4 立坑面積の比較

### 3. セグメント組立システムの開発

#### 1) 開発の概要

コンパクトシールド工法に使用されるセグメントは図-1に示したとおり、(a)二次覆工一体型、(b)1リングが4分割3ヒンジ構造、(c)BセグメントとKセグメントはC形金物と水平スペーサによる剛結構造、(d)リング継手はボルトレスタイプのクイック接合方式、(e)インバートセグメントは溝付き水平構造などの特長がある。また、セグメントは中心角度が105度であり、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ある。従って、セグメント供給から組立までのシステムを全く新しい着想で開発する必要があった。

本システムの外観を写真-2に、全体図を図

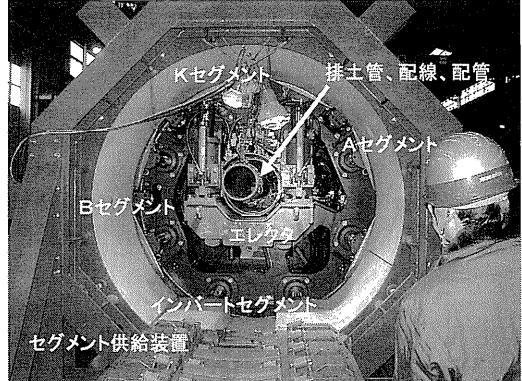


写真-2 セグメント組立システム

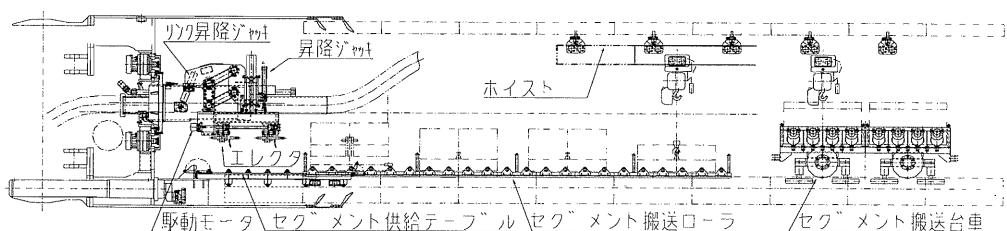


図-5 セグメント組立システム全体図

－5に示す。セグメント搬送台車で運搬されたセグメントはホイストで吊り上げられ、セグメント搬送ローラ上の回転ローラを利用して切羽側へ移動される。セグメント供給テーブルはエレクタとセグメント搬送ローラ間のセグメント受け渡しスペースを補間する役割を果たす。受け渡し時のみ使用できるようセグメント搬送ローラ内にスライド格納が可能な構造とした。エレクタは狭い作業空間でも大ブロックセグメントを合理的に組み立て可能な装置とした。

## 2) システムの特長

- (1)セグメントの把持、高低速旋回、リンク・スライド昇降、摺動、振止め等の多彩な機能の組み合わせにより、大ブロックRCセグメントにもかかわらず1リングを約20分で組み立て可能とした。
- (2)小口径シールドにもかかわらずエレクタ用のホース、ケーブルは巻き取り装置を設置することで、機内の作業スペースを大きく確保した。また、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2段式昇降機構を採用し、セグメントの取り回しを容易にした。
- (3)排土管や機内へ引き込む配線・配管類は他装置への巻き込みや切断を防止するため、センターシャフト内に全て収納し信頼性と安全性を高めた。また、万一インバートとA、Bセグメントの倒れによりKセグメントの挿入代が狭くなった場合を想定し、シールドジャッキ間に設置したセグメント拡縮装置によりA、Bセグメント間の挿入代を確保し作業性の向上を図った。

## 3) 開発課題と対応策

本システムを開発するにあたり、解決すべき主な課題と対応策について表－2にまとめる。

表－2 セグメント組立の課題と対応策

No.	項目	課題	対応策
1	大型インバートセグメント	インバートセグメントが厚く大ブロックのため、A、Bセグメントがスキンプレートと干渉し組みにくい	(1)エレクタ旋回中心をシールド中心から上方に115mm偏心させ干渉を避けた (2)2段式の昇降機構により約600mmの大きなストロークを確保した
2	ナックル継手	ピース間はナックル継手のため切羽側のセグメント端面が開き易く、ナックル部の位置合わせが難しい	(1)片テープKセグメントを軸挿入し易くするため、ジャッキによりセグメント間を拡縮する装置を設けた (2)エレクタに微調整位置合せ機能を装備した
3	ズリ排土管、ケーブル、ホース等の養生	エレクタ旋回時にケーブル、ホース類が煩雑になり、ズリ排土管の取りまわしが困難となる	エレクタの昇降はリンクと伸縮ジャッキの2段式により有効中空を確保し8B排土管などを設置した
4	KセグメントとBセグメント締結用水平スペーサ	水平スペーサを確実に打込む装置が必要となる	ポータブル式の水平スペーサ打込みジャッキ装置を開発した
5	セグメント供給	大ブロックセグメントを効率良く供給する装置が必要となる	ローラ式の供給装置と受渡し装置を開発した

#### 4. タイヤ式坑内搬送システムの開発

##### 1) 開発の概要

インパート溝付き二次覆工一体型セグメントを採用することから、図-6に示すようにインパート部には溝を挟んで平坦な部分が形成される。このような形状を施工時に有効に活用する方策について検討を行った。

従来のシールド工事では、施工時の資機材搬送のため、セグメント内にレール・枕木を設置し、バッテリーロコを運行しているのが通常である。この方式では、シールドの掘進に併行して枕木設置・レール布設を行わなければならず、さらには、二次覆工時にはレール・枕木の撤去作業を行う必要がある。

そこで、写真-3に示すようなインパート溝をガイドとして活用する、無操舵のタイヤ式坑内搬送システムを開発して適用することとした。

無操舵走行機構は走行車軸と一体構造であるガイドローラ機構を装備した。また、滑らかな倣い操舵とするために水平ガイドローラは1つの車軸に対して前後に2輪を設けた構造である。動力台車は走行車輪の駆動をしながら水平ガイドローラの倣いに応じて車軸を回転可能な機構とした。一方、土砂搬送台車およびセグメント搬送台車の車軸は駆動力を持たない従動輪なので、水平ガイドローラの倣いに応じて車軸を回転できる機構となっている。これらの機構を図-7および図-8に示す。

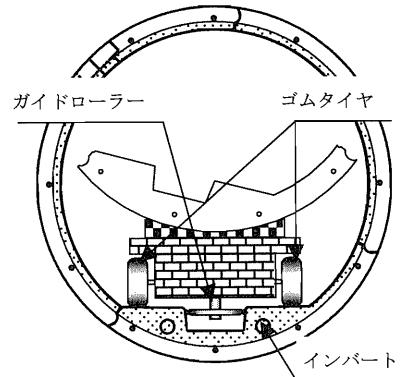


図-6 坑内断面



写真-3 タイヤ式坑内搬送システム

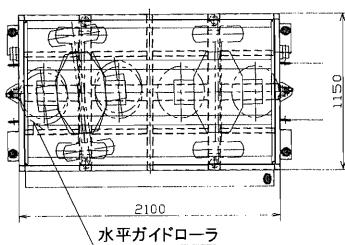


図-7 土砂搬送台車平面図

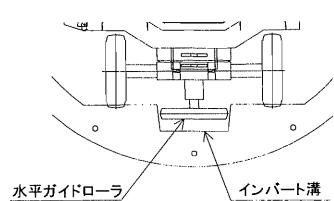


図-8 インパート部詳細

## 2) システムの特長

- (1) インパートの水平部を走行軌道面として活用するタイヤ走行式とした。
- (2) インパート溝を台車の操舵のガイドとして活用して、従来の軌条レール方式と全く同様に走行・停止の操作のみで行うことができる。なお、台車の水平ガイドローラはタイヤ製としセグメントの損傷を防止した。
- (3) タイヤはノーパンクのホワイトタイヤとして走行の安全を図ると共に、セグメントの汚れを防止した。
- (4) 小口径トンネルにおける安全対策機構を付加した。
  - a) 運転席上部にスライドカバーを設置
  - b) 運転席出入口の安全バーを設置
  - c) システム先端、後端部には無線式TVカメラを設置して視界性を確保

## 3) 改善効果

従来方式である鉄車輪方式と比較して表-3に示すようにレールの施設・撤去の工程が不要となるほかにタイヤによる摩擦力が大きい為に、制動距離が短くなるなどの改善効果が期待できる。

表-3 改善効果

項目	本システム（タイヤ式）	従来方式（鉄車輪式）
1. レール敷設・撤去	レール、枕木の敷設・撤去が不要	レール、枕木の敷設・撤去が必要
2. 静粛性	タイヤ式なので騒音が少ない	レール継ぎ目などで騒音が発生する
3. 制動距離	2 m (最大牽引力で 5 km/h 走行時)	12 m (最大牽引力で 5 km/h 走行時)
4. 走行速度	5 km/h (最大は 10 km/h)	5 km/h

## 5. おわりに

本システムは、平成13年秋頃から東京都台東区の下水道発注工事で実稼動の予定である。今後、性能、作業性、安全性など当初の開発目標値と実際の稼動データを収集して評価解析を行い、コンパクトシールド工法の構成システムとして更に合理化を図る予定である。

## 参考文献

- 1) 桐谷、前田、串山、武田、山本：下水道再構築に向けた新しいシールドシステムの提案：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 2) 金崎、前田 他：下水道シールドトンネルにおける二次覆工工程の省略：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 3) 山森、横田 他：内面が平滑な溝付き二次覆工一体型セグメントの継手構造：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 4) 田中、焼田 他：溝付き二次覆工一体型セグメントの載荷試験：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 5) 守屋、勝沼 他：後方設備内包型3分割シールドの開発：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 6) 勝沼、守屋 他：ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システムの開発：第56回年次学術講演会, 2001. 10.
- 7) 北原、菊池 他：後方設備内包型3分割シールド・セグメント組立システムの開発：第56回年次学術講演会, 2001. 10.