

東京都の下水汚泥処理, 処分における コンパクトシールド工法の活用について

松浦 将行¹, 裊岩 滋之², 新谷 康之³, 奥田 千郎⁴, 高久 節夫⁵

¹ 東京都下水道局流域下水道本部長 (〒190-0022 東京都立川市錦町 1-7-26)

Masayuki_Matsuura@member.metro.tokyo.lg.jp

² 東京都下水道局計画調整部計画課長 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1 (都庁第二本庁舎 7F))

Shigeyuki_Horoiwa@member.metro.tokyo.lg.jp

³ 東京都下水道局建設部設計調整課長 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1 (都庁第二本庁舎 6F))

Yasuyuki_Shintani@member.metro.tokyo.lg.jp

⁴ 東京都下水道局計画調整部計画課課長補佐 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1 (都庁第二本庁舎 7F))

Chikao_Okuda@member.metro.tokyo.lg.jp

⁵ 東京都下水道サービス株式会社技術部技術開発課土木技術管理担当 (〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-2)

setsuo-takaku@tgs-sw.co.jp

東京都では、日々大量に発生する下水汚泥の処理, 処分については、汚泥を減量化し、特定の水再生センターに集約化して、建設資材等に資源化することで東京湾への埋め立ての減少を図り、循環型社会の構築に貢献してきた。一方で、水再生センター間を連結する送泥管の老朽化対策や耐震性向上、バックアップ機能強化や省エネおよび温室効果ガス削減を図る必要が生じてきており、このため今後、送泥管を再構築する予定である。再構築においては、維持管理性や施工性を考慮し、シールド工法で管廊を築造し、その中に送泥管を配管する管廊内配管を標準とすることとしたが、管廊を築造する同径程度のシールド工法については、東京都の実績から工期短縮及びコスト縮減等を検証し、コンパクトシールド工法の採否の有意性の評価を行った。

Key Words : *sludge treatment of wastewater, sludge pipe, compact shield tunneling, Construction period shortening, cost reduction*

1. はじめに

下水道は、汚水の排除、処理による公衆衛生の確保、雨水の排除による浸水の防除および汚濁負荷削減による公共用水域の水質保全等、住民の生活や社会経済活動を支える根幹的な社会インフラである。

東京都においては、区部 13 か所の水再生センターでの水処理にともない、発生する下水汚泥は、平成 22 年度末で 1 日に約 19 万 m³ に達し、これは全国の下水処理施設から 1 日に発生する下水汚泥の約 1 割に相当する量である。

この大量に発生する下水汚泥を、省資源化、省エネ化、環境負荷の低減等の観点から、いかに効果的、効率的に処理, 処分するかが大きな課題となっている。

2. 汚泥処理・処分の現状

水再生センター等は、適切な維持管理により、24 時間 365 日稼働させるとともに、万一の故障時や災害時にも、水処理だけでなく汚泥処理, 処分を安定的に行う必要がある。

(1) 汚泥の減量化について

東京都区部では、大正 11 年の三河島汚水処分場(現：三河島水再生センター)の稼働以来、日々発生する大量の下水汚泥を減量化することに取り組み、嫌気性消化や機械式脱水の採用に加え、昭和 42 年小台処理場(現：みやぎ水再生センター)の汚泥焼却炉稼働を皮切りに各施設へ順次、汚泥焼却炉を導入することで、焼却を中心とした汚泥処理を行ってきた。

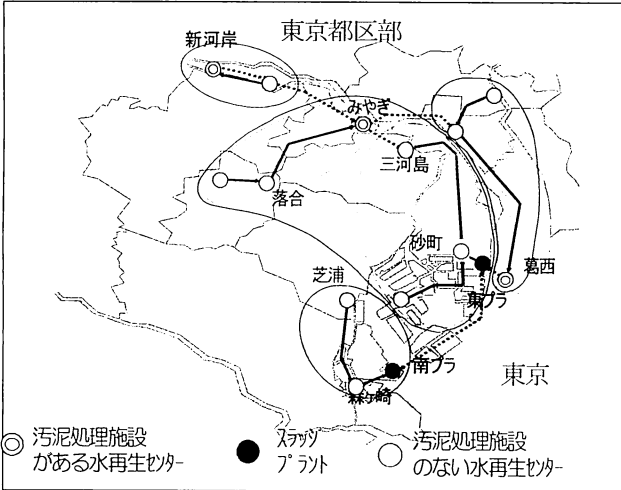
これらの取り組みにより、平成15年度には、区部で発生する下水汚泥の全量焼却が可能となり、先に示した大量の下水汚泥は大幅な減量化の結果、1日100tの汚泥焼却灰として処分している。

(2)汚泥処理施設の集約化について

区部では、昭和初期から下水汚泥の集約処理をめざし、施設整備に取り組んできた。それは、区部の都市化の進展にともない、水再生センターの多くは、近隣を商業地や住宅地に囲まれることとなり、臭気や騒音等の周辺環境対策や用地確保の観点から、汚泥処理施設を水再生センターごとに設置することが困難となったためである。

このため、区部で比較的都市化の進展していない臨海部等に汚泥処理施設を集約的に整備しスケールメリットを活かした効率的な処理を行うために、集約処理に必要な送泥管や汚泥処理施設の建設を行ってきた。

これにより、平成22年度末現在、区部13か所の水再生センターで発生する下水汚泥は、2か所の汚泥処理専用プラントおよび3か所の水再生センター併設の汚泥処理施設の計5か所に集約され、焼却されている。¹⁾



※ 区部13か所の水再生センターで発生する下水汚泥は、センター間を結ぶ送泥管で5か所に集約化し効率的に処理

図-1 汚泥処理の効率化(区部の水再生センター位置図)

(3)汚泥の資源化について

区部では、下水汚泥の減量化や集約化に加え、資源化の取り組みも積極的に行っている。古くは、戦前の天日乾燥による肥料化に始まり、コンポスト化、燃料化および熔融スラグ等、さまざまな技術の導入を経て、平成21年度末の区部の下水汚泥資源化率は約71%となっている。

そのほとんどは、セメント原料や人工軽量骨材原料および粒度調整灰等、建設資材として利用されている。

下水汚泥の資源化は、東北地方太平洋沖地震による生

産工場の操業停止や近年の景気低迷および使用電力削減等の影響による需要低下等、民間需要に大きく左右されるため、伸び悩んでいる。

残りの約29%については、東京湾に埋立処分を行っているが、資源化率を今後さらに向上させ、循環型社会に貢献するとともに、限りある埋立処分地の延命化を図るためには、安定的な需要が見込まれる資源化メニューの開発を行う必要がある。¹⁾

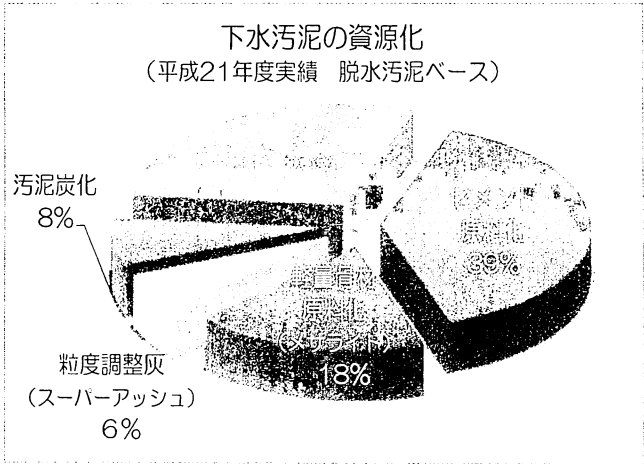


図-2 下水汚泥の資源化率(平成21年度末)

3. 効率的な汚泥、処理処分の取り組み

東京都では、効率的、効果的な下水汚泥の処理、処分をめざして、汚泥の減量化、集約化および資源化を推進している。

その一方で、集約処理のために初期に整備した送泥管は、通常の下水道管と同様に、直接地中に埋設する直埋方式であった。加えて、その材質の大部分は、現在のダクタイル鋳鉄管でなく鋼管等であったため、老朽化による腐食や電蝕による漏水が発生している。

また、平成21年度に都の下水道事業で排出した温室効果ガスのうち4割強が汚泥処理過程で発生しているのが現状である。

このように、送泥管の老朽化対策や耐震性の向上、温室効果ガスのさらなる削減等、解決すべき課題を抱えている。



写真-1 直埋方式の送泥管の老朽化による劣化の事例

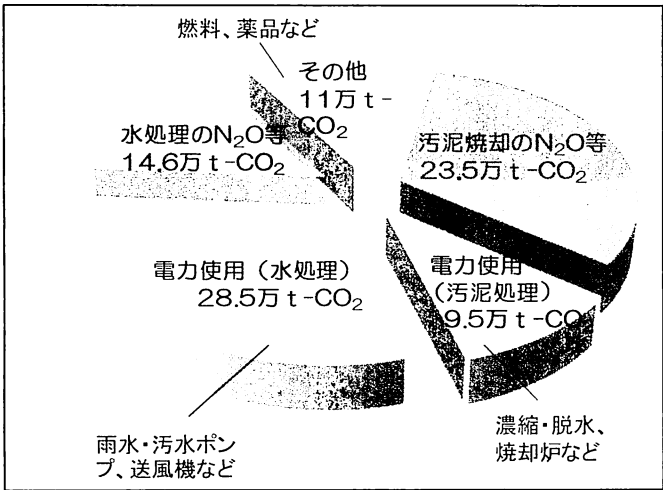


図-3 東京都の下水道事業における温室効果ガス排出量の内訳 (平成21年度末)

(1)送泥管が抱える課題

万一の故障時や災害時においても、24 時間 365 日発生する下水汚泥を適切に処理する必要がある。

このため、送泥管は、大部分が常用ルートに加え、バックアップルートの確保のため2系統化されている。

しかしながら、緊急の道路工事等で道路管理者からの監督処分により送泥管を撤去せざるを得ない状況等が生じ、一部区間でバックアップルートが常用使用されるなど、故障時や災害時への備えが十分ではない。

また、通常の下水道管は、重力を利用して地盤の高い方から低い方へ下水を流下させる自然流下方式であり法定耐用年数は 50 年であるが、送泥管はポンプで圧送する圧力方式であり、かつ直埋区間が多いため、耐用年数は30年となっている。

一部区間では老朽化による事故や故障による機能低下が生じており、老朽化対策が急務となっている。

水再生センター間の送泥管の総延長約 150km のうち、約 80km(約 53%)が直埋方式であり、レベル2 地震動に対しても流下機能を確保できる耐震性を有していない。

また、そのうちの約30km(約20%)が耐用年数の30年を超過しており、このまま放置すれば、5年後の平成28年度には、法定耐用年数を超える管が約90km(約60%)に増加してしまう。

加えて、送泥管は圧力方式であるため、管路内調査を行うことが難しく、弁類の劣化状況を目視するなどの方策を取らざるを得ず、正確な健全度を把握することが困難となっている。

(2)送泥管の新たな整備手法

万一の故障時や災害時等にも機能を保持するため、バックアップルートを確保し、危機管理に努めてきたが、これに加えて、水再生センター間の汚泥の相互融通処理のために、新たに連絡管としての機能を位置づけた。

これは、水再生センター間で汚泥の相互融通を図ることで、大規模地震等に対する危機管理対応に加えて、設備の運転効率を向上させ、省エネや温室効果ガス削減にも貢献できるメリットも兼ね備えている。

常用ルートやバックアップルートの老朽化対策や耐震性向上のための再構築、大規模地震等に備えた危機管理対応や効率的な維持管理のための新たな連絡管の整備にあたっては、維持管理性や施工性を考慮し、水再生センター間等を、シールド工法等により築造した専用管廊内に露出配管する方式を標準とすることとした。²⁾

その管廊内配管の一例を図-4 に示す。

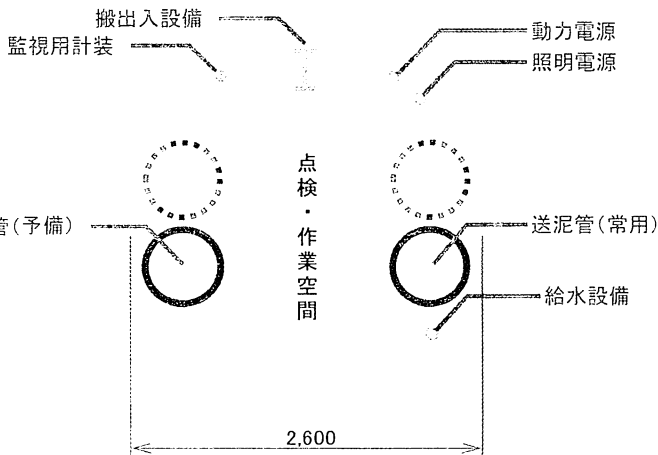


図-4 管廊内配管の一例 (単位: mm)

維持管理のための点検作業空間を管廊内に設け、送泥管を配管することで、点検や改良補修などの維持管理が容易になるとともに管廊内で敷設替えが可能となり将来にわたって再構築にかかわるコスト縮減が可能となる。

また、汚泥が漏洩した場合においても基本的に管廊内で対応できるため、道路陥没や公衆衛生の悪化等の社会的影響を最小限に抑えることができる。

専用管廊内に必要となる付帯設備としては、換気設備、清掃用給水設備、排水設備、照明、動力設備および資機材搬出入設備や必要に応じて耐水扉（河川横断箇所等）等がある。

維持管理については、有人による定期点検は半年～1年に1回程度を目安とし、日常点検は無人で点検できる設備とすることで、換気設備及び照明設備等の省力化を図ることが可能となる。

送泥管の外径寸法によって、シールド工法で築造する専用管廊内の断面の大きさは異なるが、仕上がり内径は概ね2,000 mm～2,600 mm程度を想定している。

今後、新たにシールド工法で築造する送泥管は、東京都内の水再生センター間を接続するため、延長が10kmを超えるケースもあり、再構築に長時間を要することが苦慮される。

このため、長距離の掘進に対応できるとともに大幅に工期が短縮できコスト縮減が可能なことを考慮して、専用管廊の築造には、コンパクトシールド工法を採用することを原則としている。

4. コンパクトシールド工法について

(1)開発の経緯

東京都では、平成10年度に、再構築事業の効率的執行、コスト縮減および人材育成、技術力強化の観点から、シールド工法を用いた管きょ施工についての検討会を各事業所に設置した。

また、下水道事業関係者に「コスト縮減」、「立坑規模の縮小」および「作業効率の向上」について問題提起がなされた。

この課題に対して、土木学会トンネル標準示方書（シールド編）改定委員会施工ワーキングの委員に委嘱された東京都及び民間各社の委員の有志により、シールド工法の合理化を検討する「マイクロシールド勉強会」を設置し、検討を重ねてきた。

平成13年度には、東京都において「台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事」を実施するなど、コンパクトシールド工法については、表-1に示すように、これまで全国で16事例以上の施工実績がある。

また、コンパクトシールド工法の性能や施工性の確認、セグメント継手（セグメントとセグメントの間の円周方向の継手）の性能確認および設計、施工指針の作成等の検討を行い、平成21年2月には、東京都において「下水道シールド工事用二次覆工一体型セグメント設計、施工指針

（コンパクトシールド工法、施工指針を含む）」を策定し、公表を行っている。³⁾

加えて、勉強会で検討を行った民間会社等で、平成12年度に特許を出願し、平成15年度にコンパクトシールド工法として特許を取得している。

表-2 コンパクトシールド工法の主な施工実績

No.	工事概要	工期 (年度)	内径 (mm)	延長 (m)	主な特徴等	施工箇所
1	台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事	H13～H16	2,000	1,240	・夜間設備内包型3分割シールドの開発 ・4分割3ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメントの開発	東京都内
2	台東区大島田、五丁目付近再構築工事	H15～H17	2,000	1,390	・セグメントの1ピースの分割長および厚さが標準シールド工法と比較して大型で質量も大きいため、セグメントを供給できるシステムとしてセグメントリフターを開発	
3	港区赤坂一丁目、九丁目付近再構築工事	H16～H18	2,000	510	・下水汚泥を資源化した粒度調整後入りセグメントを採用	
4	港区六本木五丁目、南青山一丁目付近再構築工事	H16～H19	2,000	780	・シールドを前製、中製、後製の3ユニット構築を中製後製で連結させ、最小R=13mの急曲線に対応	
5	荒川区末広久二丁目、五丁目付近再構築工事	H15～H18	1,650	810	・初の内径1,650mm ・5分割3ヒンジのコンパクトセグメントを採用	
6	北区中里一丁目、西ヶ原四丁目付近再構築工事	H17～H20	2,600	1,920	・急曲線部用セグメントの開発と試験採用 ・R=13mの急曲線の試験施工	
7	墨田区船場五丁目、六丁目付近再構築工事	H18～H20	1,800	550	・初の内径1,800mm	
8	目黒川右岸低地部排水施設整備工事	H18～H21	2,600	1,320	—	
9	東横線南側の5工区	H18～H21	1,800	2,050	—	
10	港区南麻布一丁目、二丁目付近再構築工事	H19～H21	2,600	1,020	—	
11	日光川下流流域下水道事業管きょ建設工事	H19～H22	2,000	2,160	・コンパクトシールドで最長距離施工	茨城県内
12	山田排水幹線下水道事業管きょ建設工事のマシンを転用使用	H22～H23	2,000	440	・日光川下流流域下水道事業管きょ建設工事のマシンを転用使用	
13	第二谷田川幹線幹線工事	H20～H22	2,600	1,420	・北区中里一丁目、西ヶ原四丁目付近再構築工事のマシンを転用使用	東京都内
14	墨田区押上一丁目、横間二丁目付近再構築工事	H21～H23	1,800	970	・急曲線部用セグメントの本格採用 ・急曲線部セグメント用インバートブロックの開発と採用	
15	第二戸山幹線その3工事	H21～H23	2,400	1,530	・初の内径2,400mm	
16	第二谷田川幹線幹線その3工事	H23～H25	2,600	1,060	・港区南麻布一丁目、二丁目付近再構築工事のマシンを転用使用	

(2)技術の概要

コンパクトシールド工法は、「a)4分割3ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメント」、「b)後方設備内包型3分割シールド」および「c)ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム」の特長を有している。

それぞれについて、下記に詳述する。

また、本工法では、従来工法の仕上がり内径ごとにシールドやセグメントを検討・製作する手法を改め、仕上がり内径2,000 mm、2,600 mmを標準として、1,800 mm、2,200 mmおよび2,400 mmも含めて、シールド性能、セグメント構造等の規格化を図ったことにも特長がある。

a) 4分割3ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメント

コンパクトシールド工法の一般部のセグメントは、一次覆工機能部分と二次覆工機能部分を一体的に成型した二次覆工一体型セグメントである。また、今後の維持管理の容易性および下水道工事における縦断方向の誤差は致命的であるため、セグメント底部に溝付インバートを設置し、勾配の補正ができるようにした。加えて、セグメントのコスト縮減と組立ての容易性からセグメント継手をナックル方式とした4分割3ヒンジ構造とした。

このように二次覆工機能部分と一次覆工機能部分とを

一体化することにより、二次覆工厚を薄くでき、掘削断面を削減できるとともに、二次覆工の施工の省略が可能となった。また、3 ヒンジ構造であるため、静定構造物となり安定性が高い。加えて、セグメント継手の省略によりコスト削減を図ることができた。

さらに、分割数を少なくしたことにより、セグメント組立時間が短縮でき、型枠数の減少によりコスト削減を図ることができた。

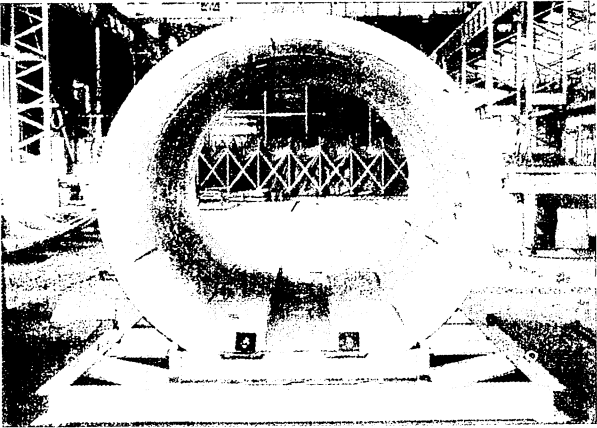


写真-2 コンパクトシールド工法のセグメント

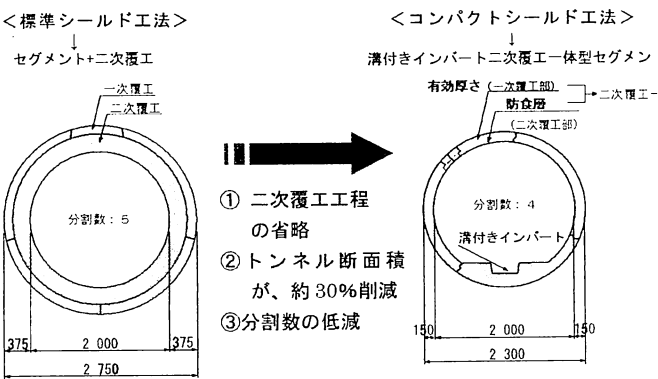


図-5 セグメントの比較 (単位: mm)

b) 後方設備内包型 3 分割シールド

シールドは、従来の後方設備をマシン内に内蔵して3節に分割にしてユニット化を図った。

シールドの3分割化および後方設備の内包により、シールドの転用が図れ、コストを削減することができた。また、標準のシールド工法に比べ小面積の発進立坑および到達立坑での発進、到達作業が可能となった。

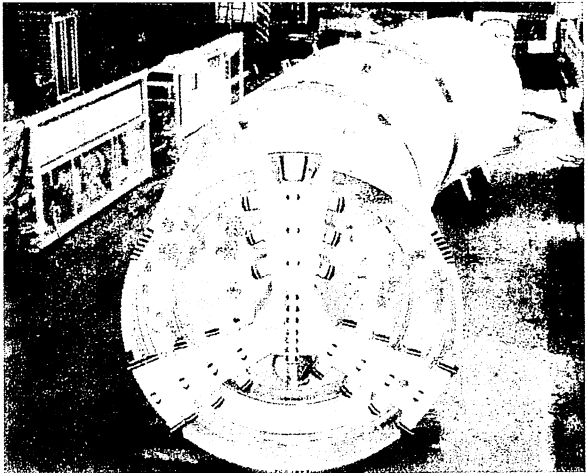


写真-3 3分割シールド (前面)

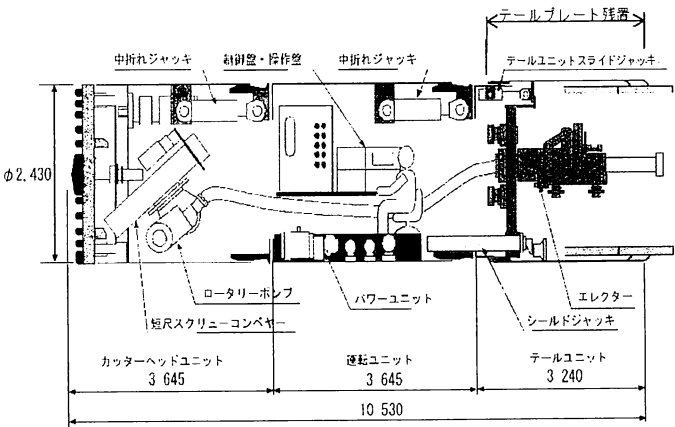


図-6 3分割シールド (側面) (単位: mm)

c) ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム

インバート溝をガイドとして無操舵で走行するタイヤ式の搬送システムを開発した。また、インバートに黒色のタイヤ跡がつかないように白いタイヤに改善を行った。

これにより、従来のレール、枕木等の机上設備が不要となり、コスト削減を図ることができた。

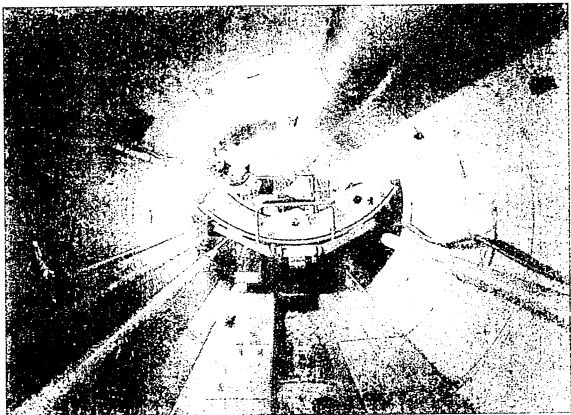


写真-4 ガイドローラ付きタイヤ無操舵搬送システム (写真)

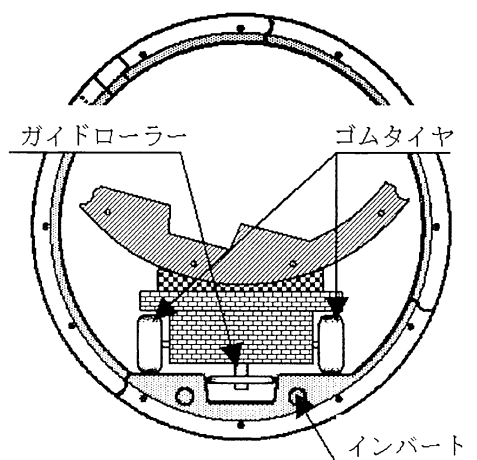
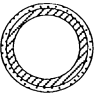
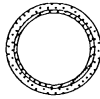
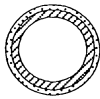


図-7 ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム
(イメージ図)

表-2 コンパクトシールド工法と従来型工法の比較

	コンパクトセグメント(一体型)	従来型(鋼製セグメント)	円形管二次覆工一体型	従来型(RCセグメント)
工法概要	 : RCセグメント4分割 : 工場にて防食層設置 : 防食層厚さ 50 mm (二次覆工) : 継手のリング間は挿入式、セグメント間はナックル継手 : インバート同時設置	 : 鋼製セグメント5分割 : 現場打ちによる二次覆工 : 覆工厚さ: 200 mm~250 mm : 継手はリング間、セグメント間ともボルト継手 : インバート後付設置	 : RCセグメント5分割 : 工場にて防食層設置 : 防食層厚さ 50 mm (二次覆工) : 継手はリング間、セグメント間とも挿入式継手 : インバート後付設置	 : RCセグメント5分割 : 現場打ちによる二次覆工 : 覆工厚さ: 200 mm~250 mm : 継手はリング間、セグメント間ともボルト継手 : インバート後付設置
坑内搬送設備	タイヤ式 レール、H鋼まくら木 不必要	鉄輪式 レール、H鋼まくら木 必要	鉄輪式 レール、H鋼まくら木 必要	鉄輪式 レール、H鋼まくら木 必要
掘削機及び付帯設備	後統設備を内包した3胴(中折れ)式のシールド	後統設備+2胴(中折れ)式のシールド	後統設備+2胴(中折れ)式のシールド	後統設備+2胴(中折れ)式のシールド
工 期	1.0	2.0	1.2	2.0
コスト	内径 1,800 mm	1.0	1.1	1.1
	内径 2,000 mm	1.0	1.1	1.1
	内径 2,600 mm	1.0	1.0	1.1

※工期およびコストは東京都の施工実績から算出し、コンパクトシールドを基準 1.0 とした時の概ねの比率を記入

5. おわりに

コンパクトシールド工法は、コスト縮減、立坑規模の縮小、作業効率の向上を主な課題として開発され、工期短縮によるシールド工事の効率化、コスト縮減等に効果をあげており、これまでも数多くの現場で、その特長を活かした施工が行われてきた。

今後、東京都では、老朽化した送泥管の再構築や耐震化、連絡管の整備等において、仕上がり内径は概ね 2,000 mm~2,600 mm 程度を想定しており、シールドの転用が可能、また費用対効果が高いなどの理由により、落合水再生センター~みやぎ水再生センター間の延長 10km を超える送泥管の再構築や葛西水再生センター~東部スラッジプラント間の河川横断をとまなう連絡管において、新たな送

d) コンパクトシールド工法の技術的効果

東京都では、「a) 分割3 ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメント」、「b) 後方設備内包型3 分割シールド」および「c) ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム」により、上記のように工期およびコストの縮減を図ってきた。

コスト面で、従来型の鋼製セグメントとほぼ同程度となるが、工期、二次覆工の品質およびインバート等の出来型に優れている。

東京都における実績では、表-2 に示すように、工期を約半分程度、コストを1 割程度削減が可能となっている。

泥管の整備として、コンパクトシールド工法の採用を図っていくこととしている。

本工法が下水汚泥の処理、処分における送泥管の整備等において、普及拡大が図られることで、シールド機の転用の促進や長距離掘進に向けた技術面の改良等、さらなる効率化を図ることで、工期短縮やコストの縮減等に大きく貢献することが期待できる。

参考文献

- 1) 東京都:東京都下水道事業 経営計画 2010, pp.22_23, pp.32_33, 2010 年
- 2) 東京都:汚泥処理処分施設計画, pp.53_72, 2011 年
- 3) 東京都:下水道シールド工事に用二次覆工一体型セグメント設計,施工指針, pp.90_115, 2009 年

THE PRACTICAL USE OF COMPACT SHIELD TUNNELING AT TOKYO'S TREATMENT OF WASTEWATER

Masayuki MATSUURA, Shigeyuki HOROIWA, Yasuyuki SHINTANI,
Chikao OKUDA, Setsuo TAKAKU

At Tokyo, much sludge treatment of wastewater is dewatered, sent to centers that have sludge treatment facilities, incinerated and turned to ash. The ash is effectively recycled for use in building materials, so we are decreased to wound up in Tokyo port area. But we need to improve deteriorating, non-earthquake-proofing and backing up of sludge pipe, so we plan to reconstruct sludge pipe. When we reconstruct sludge pipe, we consider them to maintenance management and construction, so we take as the standard building tunnel by shield tunneling and piping sludge pipe in the tunnel. Then we estimated compact shield tunneling as predominance, when the diameter shield tunneling is same by Tokyo's construction period shortening and cost reduction.