

15. コンパクトシールド工法における掘削土のポンプ 圧送設備とセグメント搬送計画

佐藤工業：○金崎 伸夫、今村 貴彦

東京都下水道局：松井 邦恭

1. はじめに

コンパクトシールド工法は、『後方設備内包型3分割シールド』¹⁾を特徴の一つとしている。これは、大きなブロックのセグメントを取り扱うにあたって支障となる後方設備を取り除くために開発した技術である。後方設備を配置しないために掘削土砂の運搬は必ず鋼車方式を基本とした。

その一方、この方式は掘進延長が長くなるに従い、施工サイクル中で掘削土の運搬時間がクリティカルとなる。掘進延長が1kmを超える長距離施工において一層の施工の効率化を図るために、掘削土の運搬時間が掘進サイクルに影響しないポンプ圧送方式の採用が求められた。本論文では、低床台車に設置可能なピストンポンプの開発を行い、中継ポンプを中間立坑に配置することによりポンプ圧送を計画した。

さらに、低床台車上のセグメント搬送において、曲率半径15mの急曲線施工において支障がない、ベッセルを用いたウインチ索引によるセグメント搬送方式を採用したことを報告するものである。

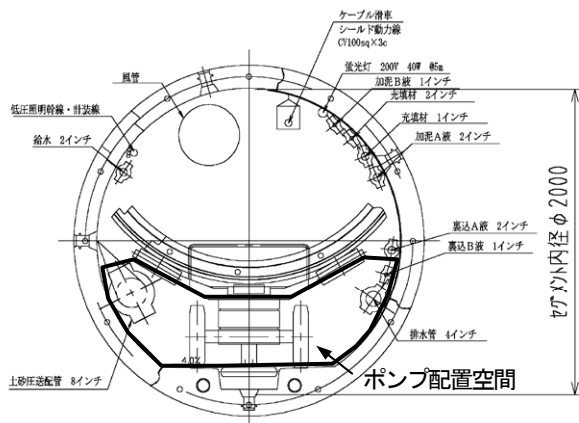


図-1 坑内セグメント搬送状況

2. コンパクトシールド工法における圧送ポンプの課題と対策

坑内に配置する圧送ポンプは、上部空間を配管及び切羽作業の通路として確保するために、図-1に示すセグメント搬送の下部空間を活用する配置とした。土砂圧送ポンプを設置する低床台車は、高さ方向および幅方向(最大スペース720mm)に制約を受けるため、「低く・細く・高圧送能力」の条件を満たす圧送ポンプを選定する必要がある。

(1) 圧送ポンプの選定

圧送ポンプにはピストンタイプ、スクイズタイプ、ロータリータイプがある。今回の選定条件である高さが低くできるという点からピストンタイプとした。ピストンポンプには、シングルシリンダーとダブルシリンダータイプの2通りがあり、図-2に配置比較図を示す。ダブルシリンダータイプは並列配置であり、切替バルブ等構造のために所定の高さで格納することが難しい。シングルシリンダータイプは1本のシリンダーの前後スライド動作のみで圧送を行うシンプルな構造のため、高さ及び幅を小さくできる利点を考慮して選定した。

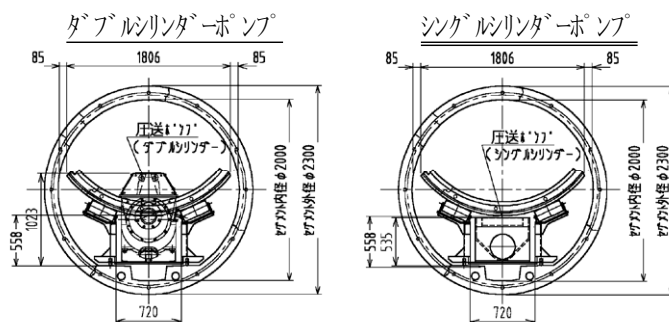


図-2 ダブルシリンダーポンプとシングルシリンダーポンプの配置比較

さらに、土砂圧送の連続性を確保するためにシングルシリンダーポンプを改良し、両端可動タイプのシン

グルシンリンダーポンプ(以下、タンデムポンプと称す)を開発した。

(2) タンデムポンプの特長

タンデムポンプは、図-3に示すように第1ユニット及び第2ユニットと称する2つのポンプを直列に配置して、土砂の圧送・充填を連続的に行えることが特長である。表-1に示す①～⑥の手順により、第一、第二ユニットのシリンダー及びバルブの動作を相反する動きにすることにより、連続圧送が可能となる。

連続圧送することで土砂の反動が生じ難いために、振動・騒音が低減でき、また、ユニット間のジョイン

機構として、短尺スクリー+ロータリーポンプを基本としている。タンデムポンプとの組合せにより、圧送サイクル中のタイムラグを極力小さくすることで掘削土砂を連続的に圧送でき、ロータリーポンプと圧送ポンプ間の配管閉塞等を防止できる。

(3) 急曲線(R=15m)の対策

曲線半径R=15mの急曲線施工に対応するために、ポンプ圧送に必要な装置を制御盤、動力盤、ポンプ駆動装置、ポンプ本体の各部位に分割して縦1列に配置する形式とした。図-4に急曲線(R=15m)における台車内の圧送ポンプ状態図を示す。

セグメントの搬送条件から、低床台車の長さを1m

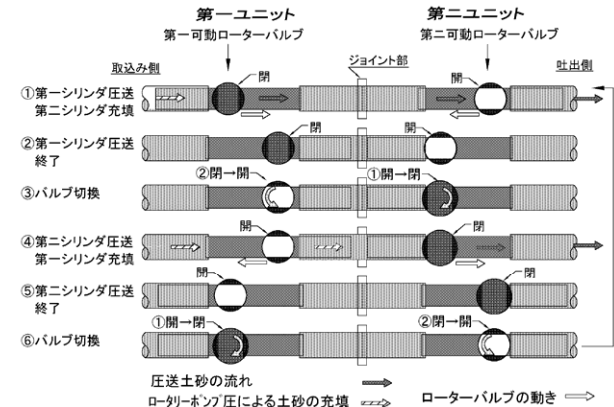


図-3 タンデムポンプの作動原理

表-1 タンデムポンプの手順内容

手順	内容
①	第一シリンダー内の土砂を吐出側に圧送すると同時にロータリーポンプの圧力で土砂を充填し、第二シリンダーは取込側に引戻しながら、土砂を充填する。
②～③	圧送が終了後、第一バルブを開→閉、第二バルブを開→閉の操作を行う。
④	第二シリンダー内の土砂を圧送と同時に、第一シリンダーを取込側に引き戻しながら、ロータリーポンプの圧力で土砂を充填する。
⑤～⑥	圧送が終了後、第一バルブを開→閉、第二バルブを開→閉の操作に引続き、①の手順に戻る。

ト部をフレキシブルな構造にできるために曲線に対応できることも特長の一つである。また、従来のシングルシリンダーポンプと比較すると、2本のシリンダーの交互圧送による連続土砂圧送を行うため、シリンダー径を細くしても同等の圧送能力が得られることが挙げられる。

コンパクトシールド工法においては切羽土圧の制御

図-4 急曲線(R=15m)の圧送ポンプ状態図

にすることでジョイント部の中折れ角度が4.4°となる。ポンプユニットの長さを2,270mmにすることにより低床台車の幅スペース720mmの範囲でクリアランスを確保した。また、ポンプは左右の急曲線に対応できるように中央配置とし、ポンプユニットは1台の低床台車にのみ固定し、球面ジョイントで接続する構造とした。

(4) 圧送配管の延長方法

圧送ポンプ方式の全体計画図を図-5に示す。圧送配管の延長方法は、低床台車の最後尾付近に伸縮ストロークが1.6mの伸縮管(6B)を2台配置することにより、直線時では3mの延伸を可能とした。また、低床台車内の配管(延長約17m)は、急曲線部において左カーブと右カーブで730mmの伸びの差が生じる。その対処方法として、ホースを上下方向に余裕を持たせ、水平方向の伸び及び縮みに対処する方式を採用した(図-6参照)。

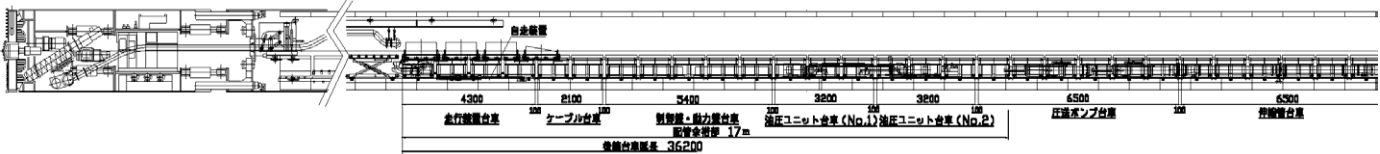


図-5 ポンプ圧送台車配置図

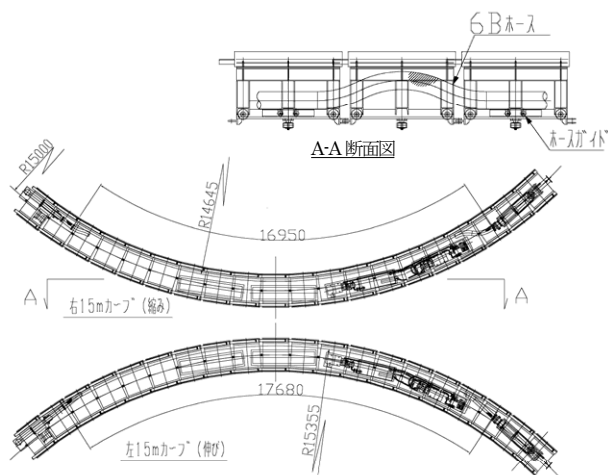


図-6 急曲線部の低床台車内の配管構造図

2. 中間立坑を利用した中継ポンプ配置計画²⁾

コンパクトシールド工法は、下水道再構築における主要枝線への適用を主目的に開発したものである。主要枝線においては、一般に路線の途中に取水ポイントが計画され、通常は管渠が築造された後に、取水用の中間人孔および接続管が施工されている。本計画では、この中間人孔のスペースを有効利用し、中継ポンプを設置することを立案した。そこで、中間立坑の工事着手を早め、シールド工事と同時に施工することとした。

今回計画した中間立坑への中継ポンプ配置計画について述べる（図-7）。中間立坑は、 $\phi 3.5\text{m}$ 、掘削深さ10.0mのライナープレート式立坑である。その中に円

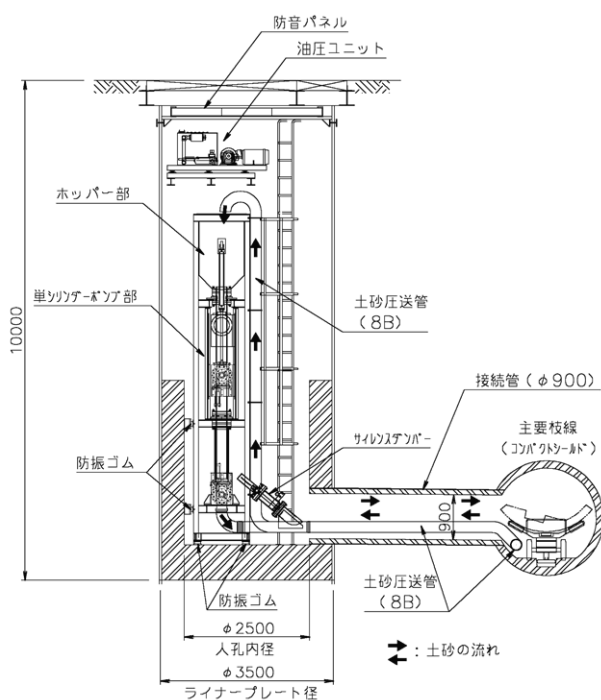


図-7 中継ポンプ配置図

形人孔を構築し、主要枝線と接続管（内径 $\phi 0.9\text{m}$ ）で接続するものである。

ポンプ形状は、縦長の円形人孔スペースに収めるため、縦型の単シリンダータイプとした。なお、人孔内径はポンプを設置できる最小寸法より $\phi 2.5\text{m}$ とした。

切羽から圧送された土砂は、ポンプ本体上部のホッパー部で受け、単シリンダーポンプ部に供給し、発進立坑まで圧送する。また、油圧ユニット、制御装置および動力盤は上部のステージに配置する。

騒音対策として、中間立坑内の上部に防音パネルを設置することとした。また、振動対策として、中継ポンプの吐出口側の配管にサイレンスダンパーを設置し、さらに、ポンプ本体と人孔構造物の間に防振ゴムを設置する計画とした。

3. セグメント搬送装置の概要

(1) セグメント搬送位置の決定

セグメント搬送装置の検討は図-8 に示すフローに従い検討した。

コンパクトシールドの4分割3ヒンジセグメントは図-9 に示す通り、既設セグメントとのクリアランスが78mmと狭く、通常のシールド工法のように坑内で回転させることができないため、セグメント組立時の姿勢のまま切羽まで搬送される。

セグメントを円滑に搬送するためには、覆工セグメントとのクリアランスをなるべく広く取ることが望ましいが、搬送セグメント端部をスプリングライン近くまで下げると土砂圧送ポンプに干渉するため、セグメントの搬送位置は搬送セグメント底部がインバート床部から598mmの位置（覆工セグメントとのクリアランス78mm）に設定した。

- ①セグメント搬送位置の決定
- ②低床台車上のセグメント搬送方法の決定
- ③急曲線部（R=15m）への対応
- ④勾配変化への対応
- ⑤搬送台車～低床台車へのセグメント乗継ぎ検討
- ⑥低床台車～シールドエレクトラ部へのセグメント乗継ぎ検討

図-8 セグメント搬送の検討フロー

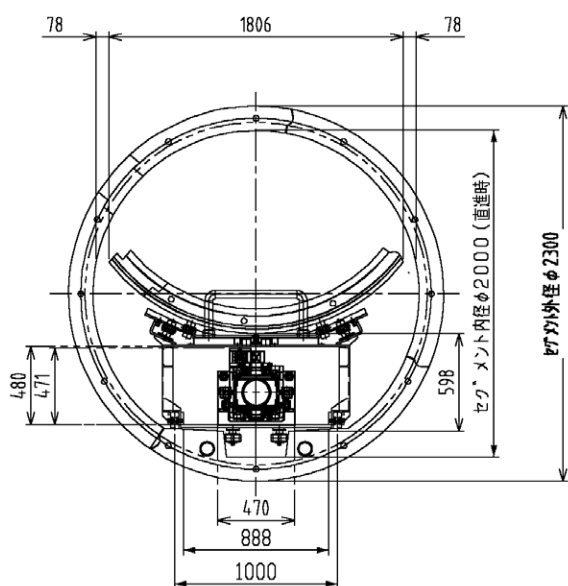


図-9 セグメント搬送位置

(2) 低床台車上のセグメント搬送方法の決定

台車上のセグメント搬送においては、一般的にローラー搬送が用いられる。前述したとおり、セグメント搬送時のクリアランスが狭いために、搬送時の蛇行が生じにくいセグメント搬器（ベッセル）を用いたウインチでの牽引搬送を採用した（図-10）。

ベッセルは牽引ワイヤーを取付ける連結具としての役割の他に、搬送中のセグメントを安定させる走行ガイド等の役割がある。

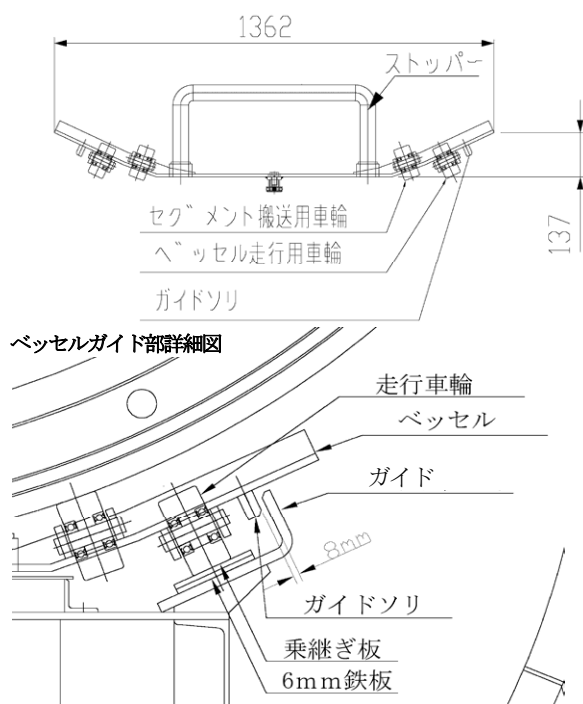


図-10 ベッセル及びガイド詳細図

ベッセルの形状は、搬送時のセグメント高さを極力低くするために、セグメントに合わせたコンパクトな凹型形状とし、ベッセルは低床台車上に斜めに設置された走行路を車輪で走行する構造とした。

また、図-10 に示すように低床台車の両端部にはガイドを設け、ベッセルに設けた走行ガイドソリをガイドに沿わせて走行することで、坑内での低床台車の線形に沿ったセグメント搬送を可能とした。さらに、低床台車間には通常 60 mmのクリアランスがあり、曲線部の外側はより大きくなるため、前方の台車と重なるように走行路に乗継ぎ板を設けた。

(3) 急曲線部(R=15m)への対応

急曲線部を円滑に搬送するには、1 台のベッセル長を短くすることが望ましい。そのため、ベッセルはセグメント幅 1m に対応させ、ベッセルの長さを 1.2m とし、計 4 台のベッセルを連結して搬送する構造とした。また、急曲線部における低床台車間の開きを少なくするため、1 低床台車長を 1 m とし、低床台車 33 台（全長約 36m）を連結した構造とした。急曲線部でのベッセル・低床台車の状況を図-11 に示す。

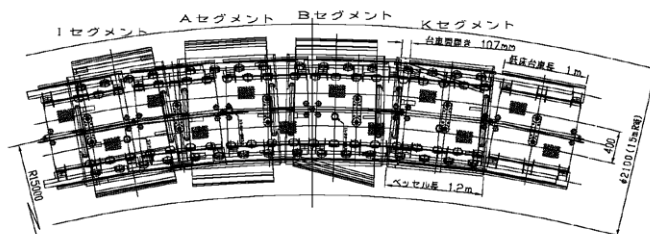


図-11 急曲線時の低床台車・ベッセル状況

急曲線部において、低床台車の走行路の段差が生じる課題がある。低床台車の走行路、すなわち乗継ぎ板は前方の台車に対して傾斜しているため、図-12 に示すように曲率半径 R=15 の曲線においては 8mm の横位

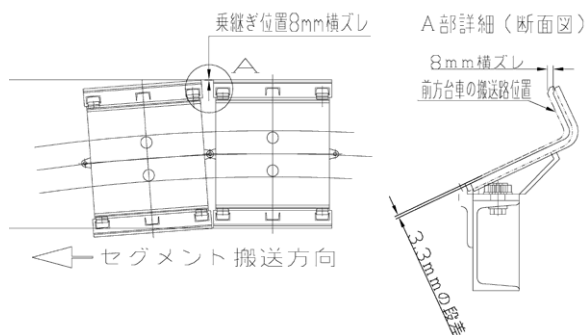


図-12 低床台車乗継ぎ時の高さのズレ

この乗継ぎ時の段差を解消するため、乗継ぎ板の下に厚さ 6 mmの鉄板を設けて対処とした。前方台車との段差が 3.3 mmに対して、前方台車とのクリアランス 2.7 mmを確保した。図・13 に段差解消方法を示す。

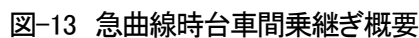
[illegible]

図-14 乗継ぎ部の車輪配置

(4) 勾配変化時の対策

ベッセルのワイヤー接続部は、牽引時の重心を安定させるためにベッセル中央部とし、ワイヤは作業員通行の支障とならぬよう、低床台車の通路床下部の溝部に配置した。曲線時の形状に即したワイヤー牽引方向を考慮して、低床台車ワイヤー設置部にワイヤーガイドローラーを設けた。

Figure 1 is a cross-sectional diagram of the low-bed vehicle chassis. It shows a horizontal profile with a total length of 3.6m. The left portion, measuring 15m, features a 13% upward slope (13%上り勾配). The right portion, measuring 20m, features a 1.7% upward slope (1.7%上り勾配). A vertical line at the junction of these two slopes is labeled 'hook change point' (勾配変化点). Above this junction, a label indicates the 'towing cable position (100mm up)' (牽引ワイヤー位置 (100mm浮上り)).

図-15 勾配変化時のワイヤ浮上がり量

図-16 ワイヤー浮上り防止装置概要図

(5) 搬送台車と低床台車間のセグメント乗継ぎ検討

セグメントを発進立坑から切羽に運搬する搬送台車と低床台車間のセグメントの搬送についても、低床台車間の乗継ぎと同様、急曲線部で台車間開き・乗継ぎ高さの段差が課題となる。この課題を解決するため、搬送台車のフレームを回転(左右各 5°)する構造にし、低床台車との向きを合わせることで乗継ぎ時の開き、段差を解消する方法を採用した。台車間の開きを幅300mmの鋼製セグメントの重心位置(150mm)以下にするために、 5° の回転により200mmから121mmに抑えた(図-17参照)。

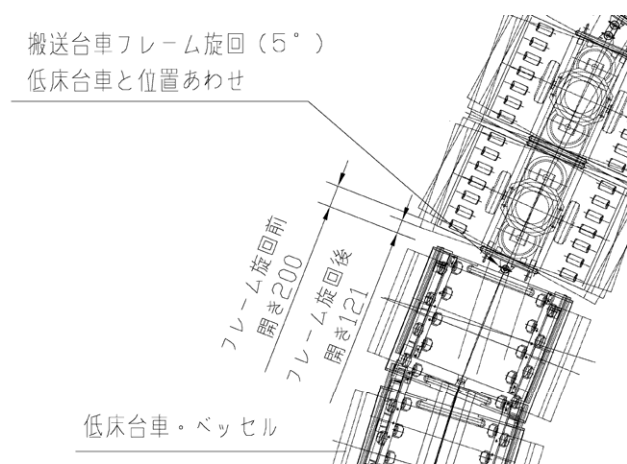


図-17 搬送台車と低床台車の乗継ぎ図

(6) 低床台車とリフター間のセグメント乗継ぎ検討

低床台車とシールドエレクトー部へのセグメント搬送は、低床台車の前にリフターを設け、エレクトーまでの区間に設置された搬送ローラー位置までセグメントを運搬する方式を採用している。低床台車とリフター間乗継ぎ時においても、図-18に示すとおり、曲線部($R=15m$)の低床台車とリフターの間隔は280mm

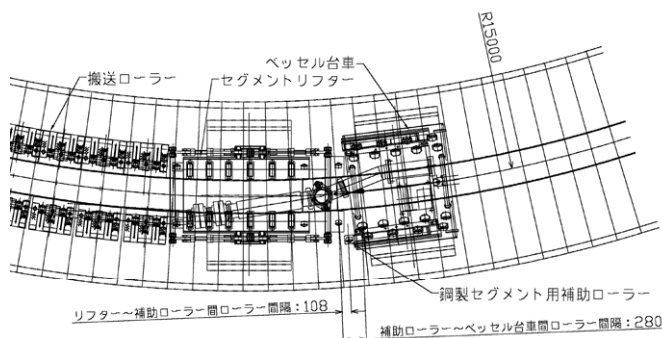


図-18 低床台車～リフター間乗継ぎ概要

となる。そこで、急曲線区間のみ低床台車に鋼製セグメント用補助ローラーを追加して対処することとし、補助ローラーの追加で乗継ぎ部の間隔を108mmとした。

(7) 低床台車の自走装置の検討

従来のシールド工法では、後続設備はシールド本体からワイヤで牽引する方式が一般的である。ワイヤー牽引方式ではセグメント運搬に支障となるため、シールドの掘進速度に同調した自走装置を追加してポンプの配管延長に対応することとした。自走装置の平面図を図-19に示す。自走装置の構造は、セグメントのインバートの側壁に反力を取り、油圧ジャッキの延伸により速度をコントロールする方式とした。反力受部は常にバネを張った状態で作用させ、1リング掘進完了後の盛替え時には油圧でバネを開放する方式を採用した。この方式により、常に反力を確保でき、停電などの故障時においても、低床台車が逸走する危険性がない構造とした。

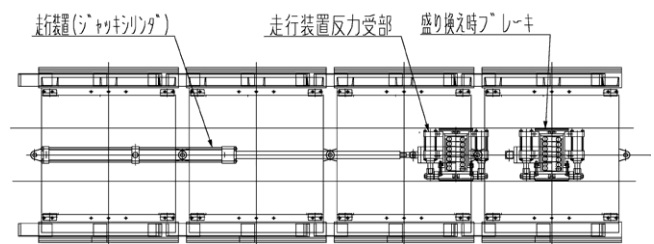


図-19 自走装置平面図

4. おわりに

本報告で述べた掘削土のポンプ圧送方式及び低床台車方式のセグメント搬送は、東京都港区の下水道局の工事において採用する予定である。今後、実施工により本計画の成果及び改善点を検証したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 金崎、松井 他：コンパクトシールド工法における土砂ポンプ圧送(中間立坑を利用した中継ポンプ配置計画)；第59回年次学術講演会, 2004.9.