

泥土圧シールド工法による深度23mの掘進

一佃・大和田シールド

西日本支社 土木部 高山明久

概要：佃・大和田幹線は大阪市の浸水対策事業の一環として建設される下水道幹線工事である。仕上り内径 $\phi 2,800\text{mm}$ の管渠を地下23m～8mに1,766m築造する。施工方法は泥土圧シールド工法で、掘削した土砂はポンプ圧送方式の流体輸送を行う。管渠勾配は0.03%と5%の2種類あり、施工区間はほぼレベルの0.03%で築造する。勾配が非常に緩やかなため、粗度係数が小さい二次覆工省略型樹脂パネル埋込内面平滑セグメントを使用する。このセグメントは、施工例が全国でも数例しかなく非常に特殊なものであり、粗度係数は塩化ビニル管に相等する。また当該土質から可燃性ガスが検出されており、防爆仕様で掘進を行うため安全管理が非常に重要な工事である。防爆仕様の泥土圧シールド工法による大深度を長距離掘進する工事を報告する。

Key Words：泥土圧シールド、セグメント、大深度

1. はじめに

本工事は大阪市西淀川区の東南部及び西南部の抜本的な浸水対策事業の一環として建設される下水道幹線工事である。区間延長1,766mの下水道幹線を泥土圧シールド工法により、仕上り内径 $\phi 2800\text{mm}$ 、中間立坑なしで、深さ23m～8mの位置に築造するものである。当該区間の地質は非常に固い洪積砂礫層と軟らかい沖積粘性土層の互層となっており、掘削土砂はポンプ圧送方式で行う。また発進立坑は既に完成しており立坑内には供用開始されたポンプ設備や換気設備等重要設備があり高圧電気ケーブルも配線されている。設備が屋内型のため、水や埃に注意して施工する必要がある。

本稿では泥土圧シールド工法による、大深度および長距離掘進の問題点および対策について報告するものである。



図-1 施工位置図

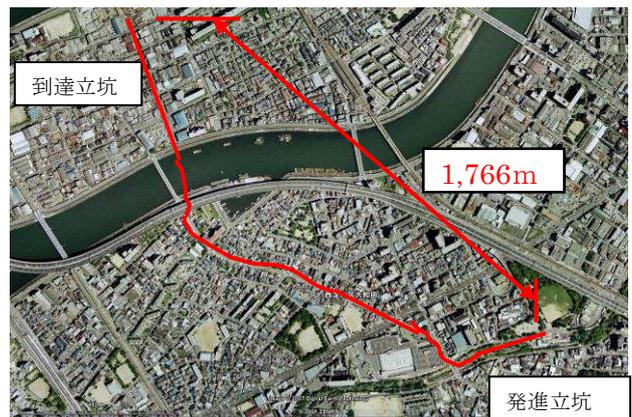


図-2 施工位置図詳細



高山明久

2. 工事概要

工事概要を以下に、また施工前写真を**写真-1**、**写真-2**、**写真-3**、**写真-4**にそれぞれ示す。

工事名：佃～大和田幹線下水管渠築造工事（その1）

工事場所：大阪市西淀川区大和田1丁目～佃4丁目地内

発注者：大阪市建設局（旧都市環境局）

施工者：ピーエス三菱・みらい建設・東海工業JV

工事内容：管渠工(泥土圧シールド工法)

区間延長 1,765.95m

泥土圧式シールドマシンφ3,380mm 1機

セグメント外形φ3,250mm 仕上り内径2,800mm

RCセグメント 1,281リング（内面平滑型）

鋼製セグメント 433リング

二次覆工 ポリリング工法（スチールセグメント部）

立坑工 1式

特殊人孔築造工 1式

防音工 1式

作業構台工 1式

地盤改良工 Super Jet 工法 1式

薬液注入工 1式

工期：平成19年3月23日～平成21年2月27日

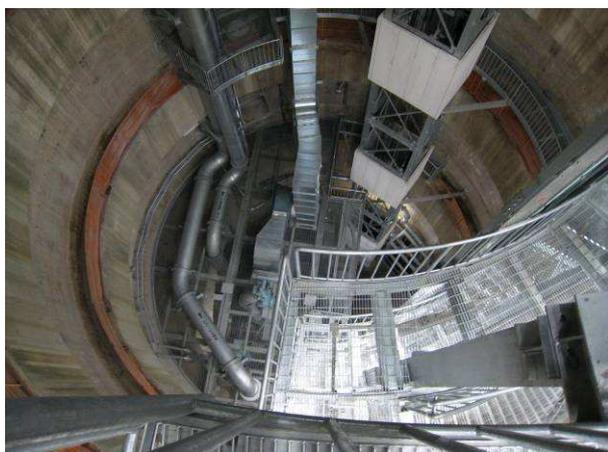


写真-1 施工前発進立坑



写真-2 シールド路線



写真-3 施工前発進基地



写真-4 到達立坑予定交差点

3. 佃・大和田幹線の特徴

3.1 セグメント

本工事のセグメントは非常に特殊な二次覆工省力型RCセグメント(樹脂パネル埋込内面平滑)を使用するのが特徴である。(写真-5参照)セグメントの内側に黒いHDパネルという特殊な樹脂パネルが埋込まれており平滑性、耐薬品性、耐衝撃性等に優れている。

このセグメントを採用しているのは、現在主流になっている二次覆工省略型が経済性において有利であること。また樹脂パネル埋込内面平滑型は平滑性が一般のコンクリート面に比べて有利であることが主な理由である。

既設の発進立坑は、本工事(佃・大和田幹線)部分の壁を無筋コンクリートで築造されており、既設立坑内設備からも管渠高さが決まっている。また途中河川横断を行うため、護岸矢板と佃・大和田幹線の離隔が必要なことから管路勾配がほとんど取れない。(図-3参照)この発進立坑と護岸矢板との離隔という物理制約条件により管路勾配が非常に緩く0.03%となっている。この特殊セグメントの粗度係数0.01以下という機能から採用されている。

3.2 発進立坑

既設発進立坑には、企業者の重要な設備が多数設置されているのも特徴である。立坑は外径φ20m、深度45mあり本工事の佃・大和田幹線はG.Lから23m下の中段発進となる。既存の設備を避けて作業構台を構築し、シールドマシンの架台とする必要があった。

既存設備の多さは写真-1からも判断できるが、設備は供用開始もされた重要設備であったので移動させることはできない。また屋内型の照明設備や電気計装盤、ポンプ設備、換気設備、エレベーター、昇降階段、高圧電気配線等があり、水や埃や火の粉をかけることもできない非常に施工条件の厳しい発進立坑であった。

(写真-6参照)

作業ステージの計画において、現況の設備の位置測量から始まり、設備養生、シールドマシン総重量80tの衝撃に耐えるステージ築造は慎重に施工する必要がある。溶接作業を廃止し、ボルトやブルマンで部材の接合部を対応し、作業構台を完成させた。(図-7, 8参照)



写真-5 HDパネル付セグメント



写真-6 作業構台施工状況

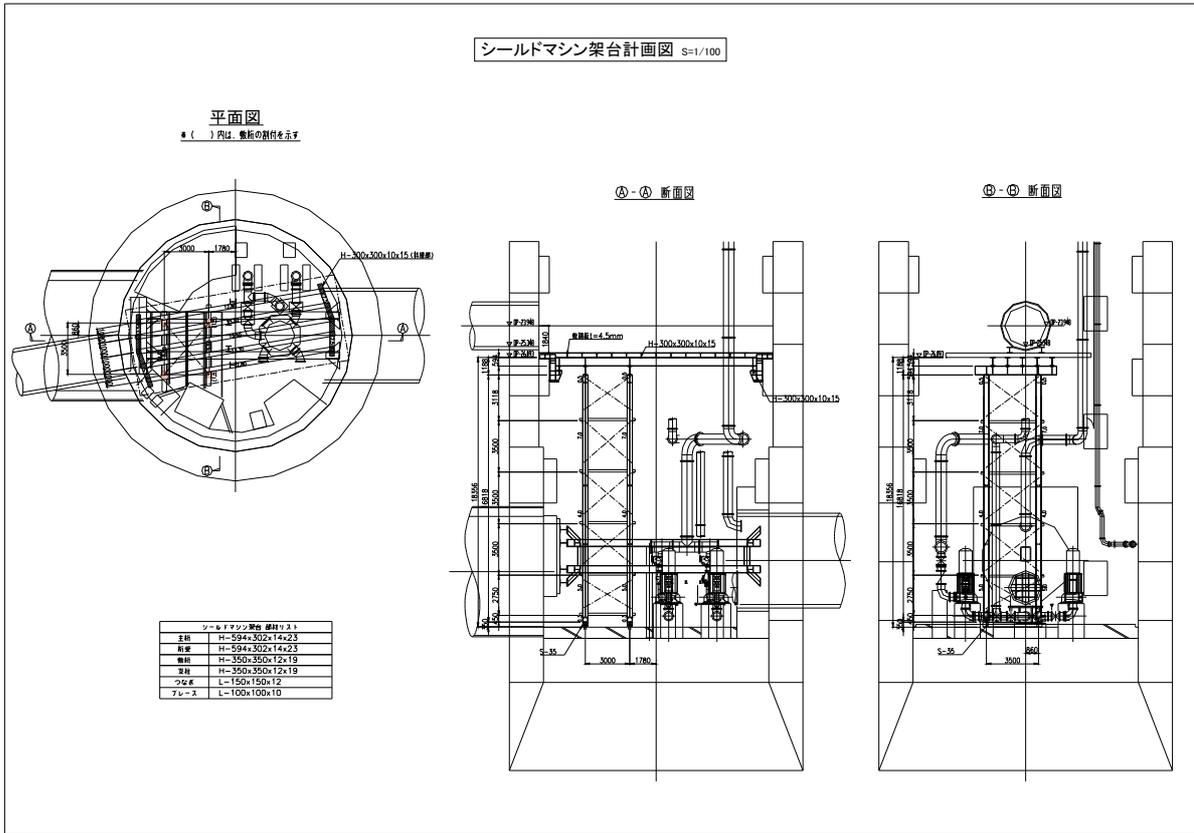


図-7 作業構台計画図

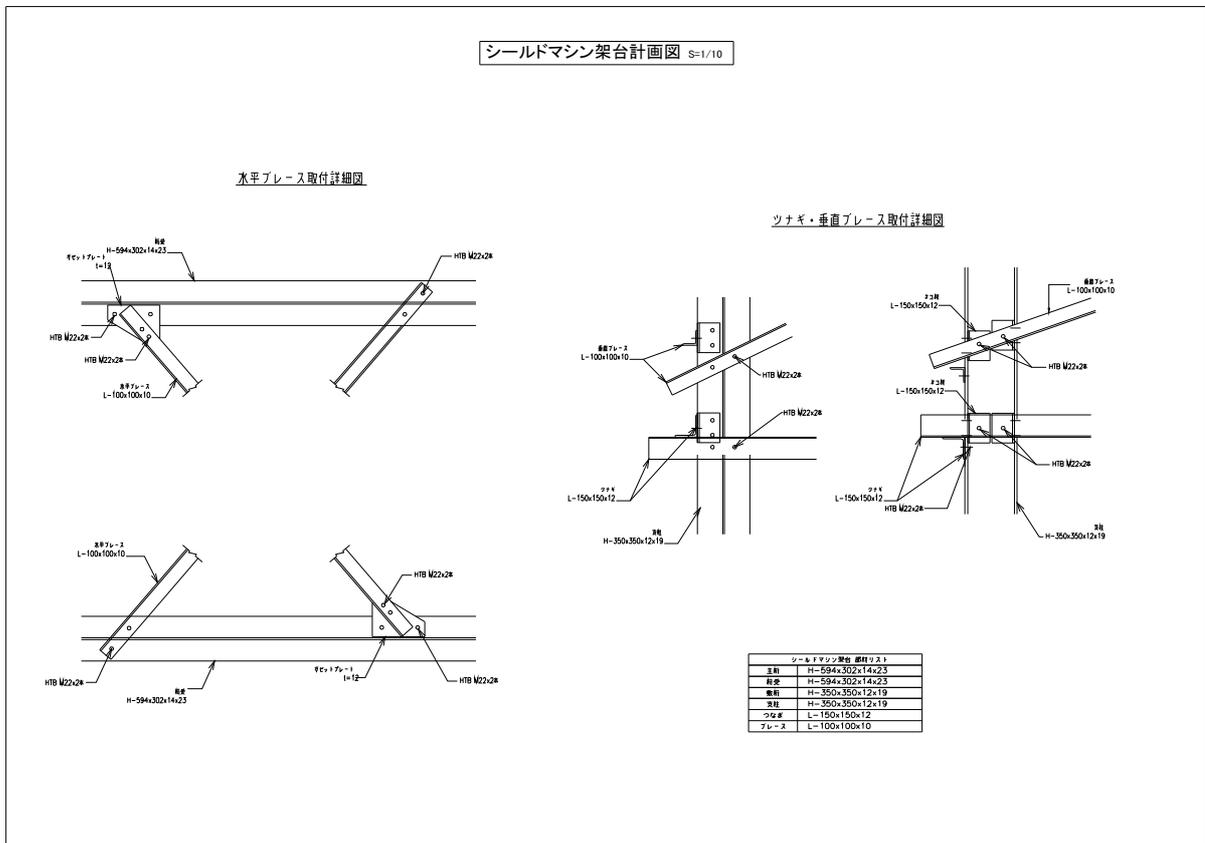


図-8 作業構台計画図2

3. 3 その他特徴

以下に本工事の特徴を列挙する。

- ①1,766m の長距離掘進である。
- ②R45mを含む急曲線が5箇所ある。
- ③土被りが約23mあり非常に深い。
- ④当該土質にメタンガスが含まれている。
- ⑤神崎川の下を通過する。(河川横断)
- ⑥砂礫層と粘性土層の土砂ポンプ圧送である。

4. 実施施工及び対策

4. 1 長距離掘進

本工事の命となるシールドマシンが途中で掘進不能になると非常に大きな問題が生じる。マシンの先頭に装着されたビットが地山を掘削し前進していく上で重要な役割を担っている。掘進途中で中間立坑からマシンのビットを交換できる場合はよいが、土被り23mの土中でビットを交換するのは至難である。そのため、この対策としてカッタービットの摩耗量を十分に検討し、通常メインビットに加えて耐久性の高い特殊先行ビット(シェルビット)も装備した。特殊先行ビットをメインビットより高く配置することにより、メインビットに対して地山を先掘し、メインビットの負担が軽減され寿命が長くなる。特殊先行ビットが摩耗限界を迎えてからメインビットの地山掘削が始まることとなり2段階のビット寿命で長距離掘進に対応する。シールドマシンの写真-7と図-9を示す。

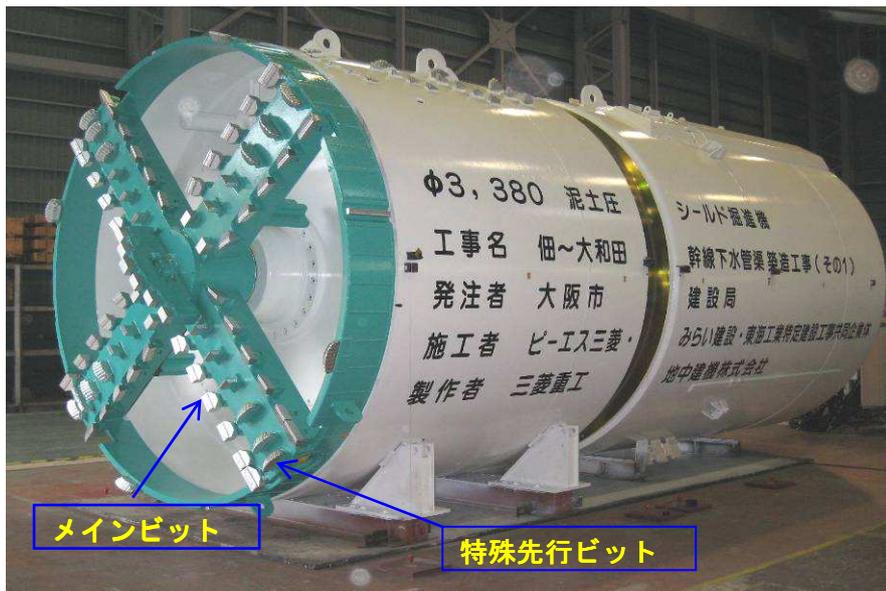


写真-7 シールドマシン工場完成時

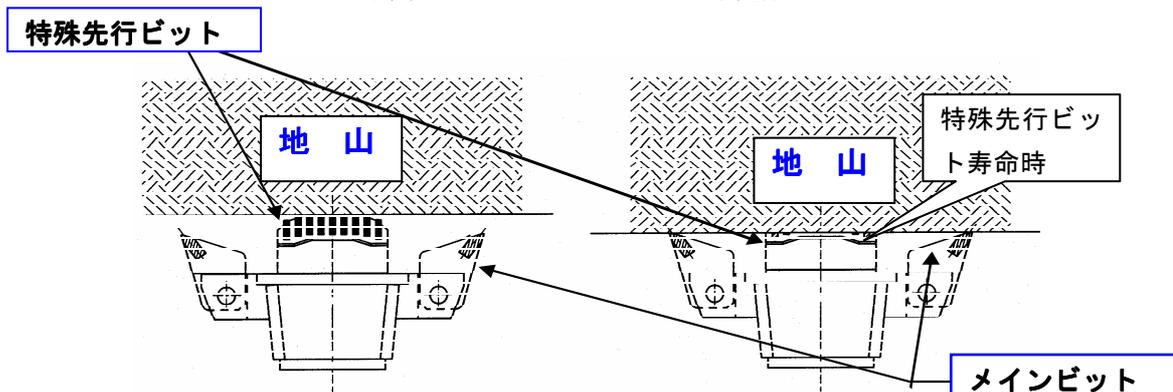


図-9 特殊先行ビット配置図

カッタービット寿命は、チップの摩耗、欠損、剥離、脱落による摩耗消滅がある。欠損、剥離等に関しての寿命時期は、土質変化、地下障害物の外的要因もあり、予測は困難となる。従って欠損、剥離等を除いた摩耗による寿命をマシンメーカー実績データを基に考察するものとする。

掘削距離と摩耗量から条件の悪い外周部のカッタービットに対し摺動距離を算出する。摩耗限界値は、チップの摩耗に対し掘削に支障が無い数値であり、限界値を判断するため土質別に摩耗率を推定し、各マシンメーカーの持つ経験式から算出する。当現場では以下の式により検討している

$$\begin{aligned} \text{摩耗量} &= \text{摩耗係数} \times \text{摺動距離 (km)} \\ &= \text{摩耗係数} \times \text{掘削距離 (m)} \times \text{最外周速度} \div \text{掘進速度 (mm/min)} \end{aligned}$$

4.2 急曲線対応

急曲線施工については中折れ装置、コピーカッターを装備し余掘りできるマシン構造とした。中折れ装置はX型球面中折れを採用しシールドマシンの前胴と後胴で左右5.5度折れる構造となっており、R45mも曲線推進可能なマシン構造となっている。近年では物理的制約条件から、もっと曲線半径の小さい地下トンネルが要求される場合がある。急曲線施工のシールドマシンを検討する場合、機長を極力短くしたほうが有利である。しかし、中折れをかけた際のスクリーコンベアとの関係、シールドジャッキとの干渉、セグメント搬送、セグメント組立時の余裕代等あらゆるものを想定し適正な機長を確保して問題が発生しないよう計画時に注意が必要である。施工途中でのシールドマシンの不具合による改造や修正は現場にとって大きな痛手となるばかりか掘進不能となる可能性もある。図-10に平面線形図を、図-11に採用したシールドマシン図を示す。

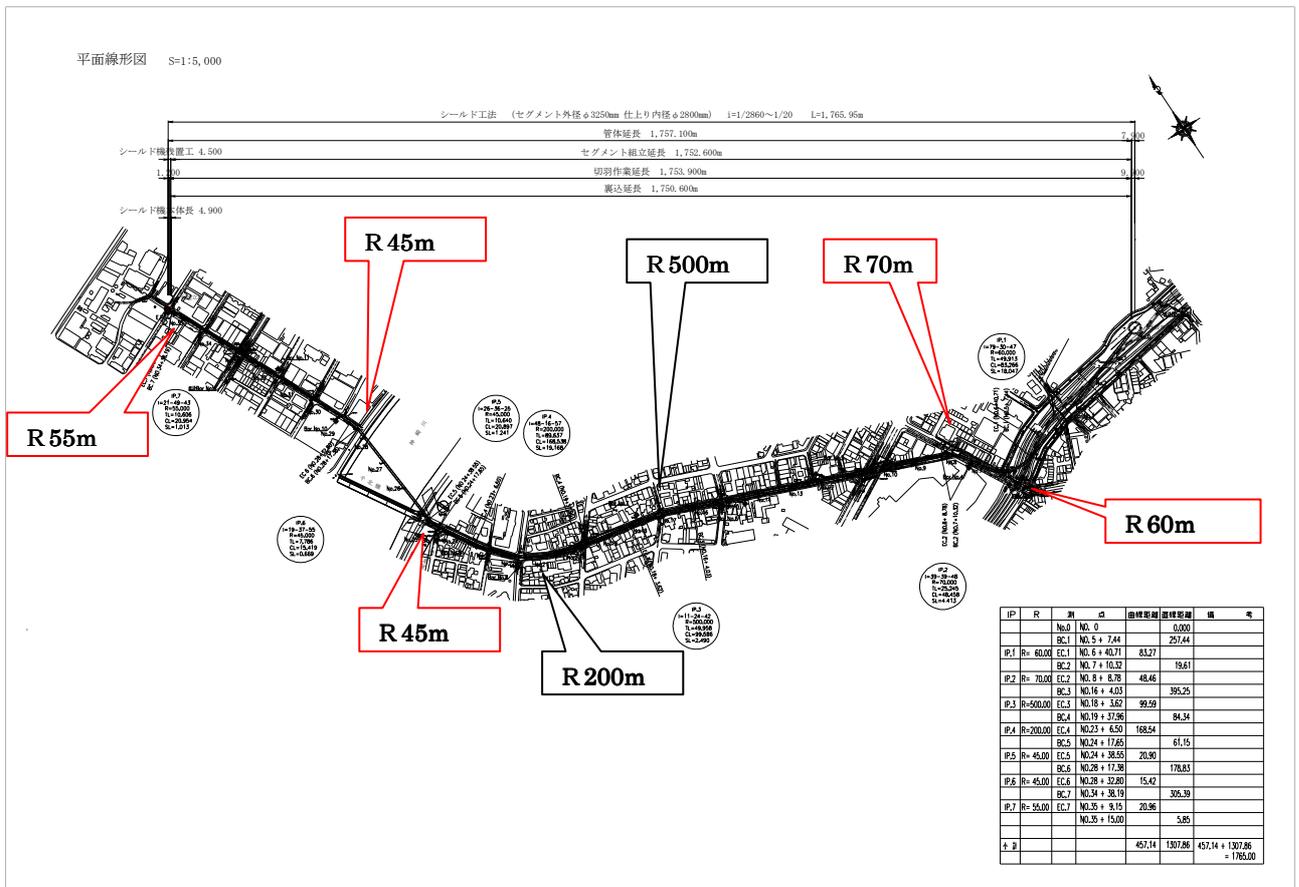


図-10 平面線形図

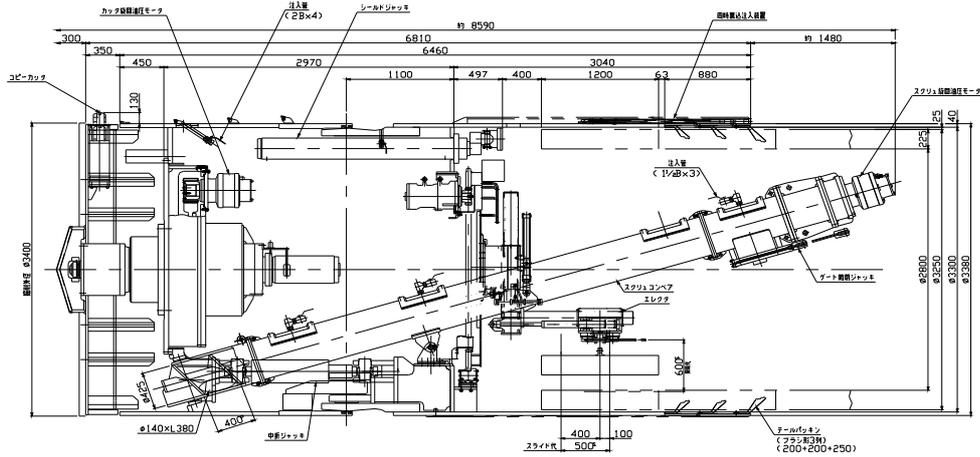


図-1.1 シールドマシン図

4.3 大深度対策

大深度によるシールドマシンにかかる負荷は大きい。シールドマシンの一番弱点はテールの部分である。機内ではセグメントの組立を行うため大深度であっても安全でなければならない。土圧、水圧、路面荷重、自重等、全ての荷重を考慮しマシンのスキンプレートの厚さを決定する必要がある。また大深度になると地下水に十分注意が必要である。本工事中は掘進深度における大量の地下水が被圧されており、マシンとセグメントとのテールクリアランスは25mmであるがその隙間から地下水や土砂流入の懸念があった。そのため、マシンのテールブラシは通常2段のところを3段にして地下水や土砂の流入を防いでいる。ただしテールブラシの段数が多くなるとセグメントがマシンに拘束されるため掘進管理については常にテールクリアランスを保持していないとセグメント組立不能になりやすいので注意が必要である。(図-1.2 参照)

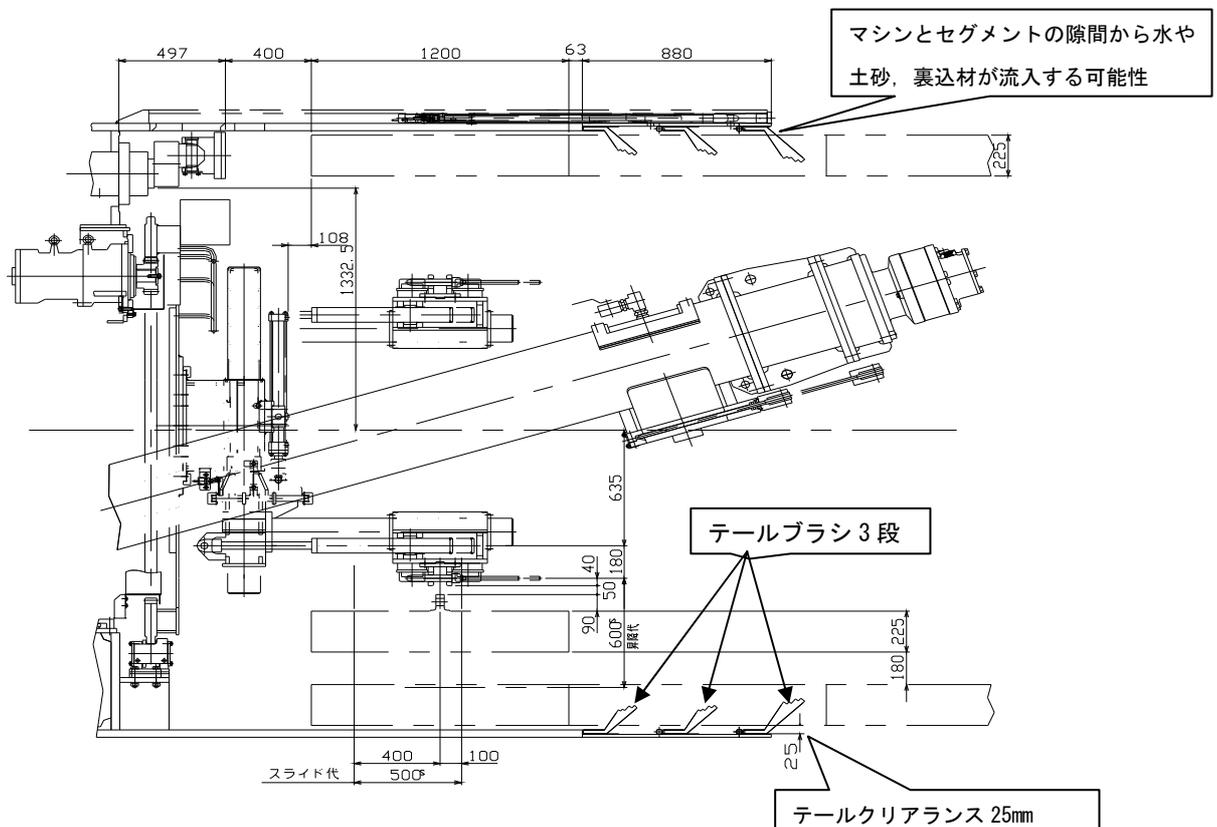


図-1.2 マシン後胴詳細図

4. 4 メタンガス対策

当該土質からはメタンガスが検出されているため、シールドマシンの機内設備は全て防爆仕様となっている。換気設備はもちろんのこと、ガス検知器、酸素濃度測定器を設置し、24時間リアルタイムに測定結果が掘進管理システム警報装置に表示される。一定の濃度が検出されると警報装置が作動し、非常ベルおよびパトライトが回り坑内の人間を退避させる設備を設置している。また、退避後もガス濃度が万一高くなってくると自動電源遮断となり爆発を未然に防ぐ装置を採用し現場の安全管理に役立てている。さらにエアカーテンも採用し切羽から可燃性ガスが発生しても、坑内には流れてこない設備も設置して対策を行っている。以下に換気設備概要図(図-13)坑内保安設備配置図(図-14)警報装置の写真(写真-8, 9)を示す。

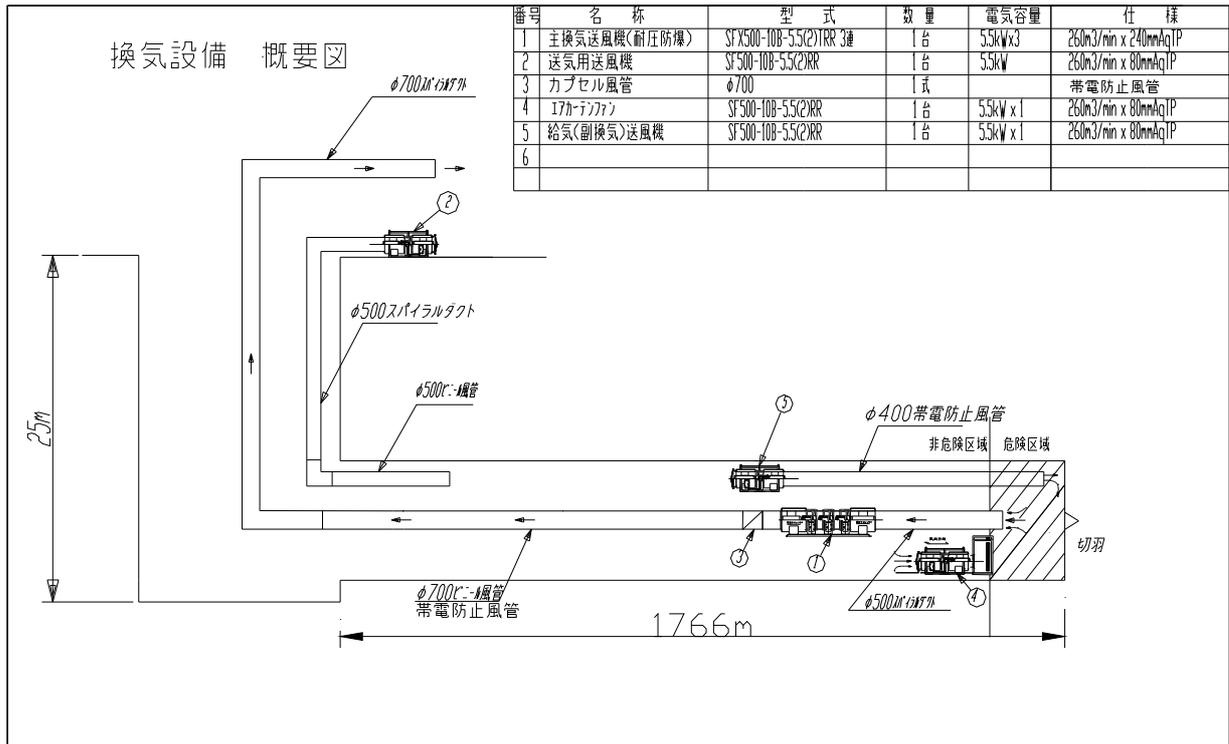


図-13 換気設備概要図



写真-8 掘進管理モニター

坑内の酸素濃度
メタンガス濃度表示



写真-9 立坑入口 測定表示

坑内保安設備配置図

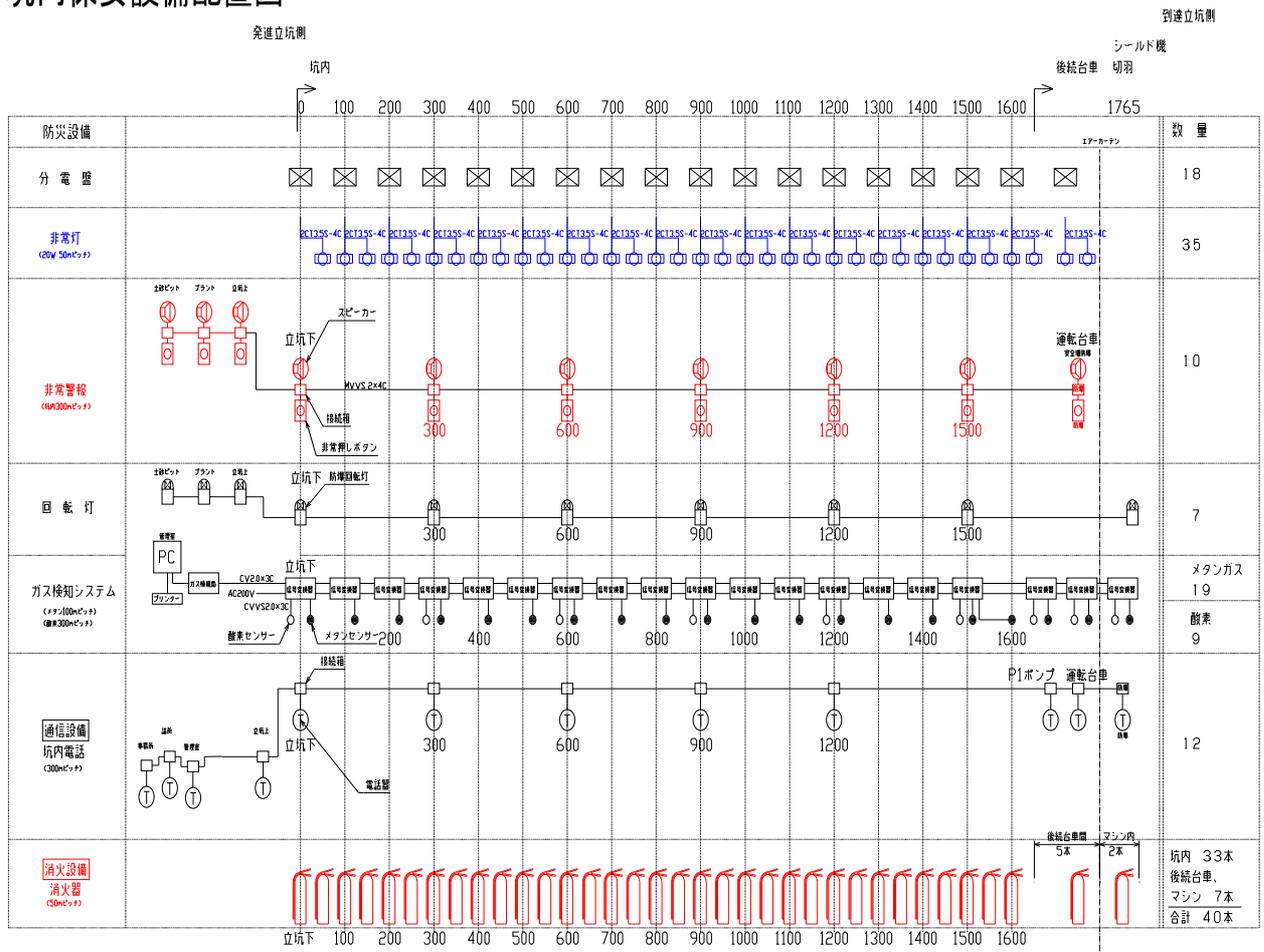


図-14 坑内保安設備配置図

4. 5 砂礫層と粘性土層の土砂ポンプ圧送

当該工区は防爆仕様でもありシールドマシンで掘削し取り込んだ土砂はポンプ圧送して排土を行う。しかし当該土質に想定 180mm の砂礫層がありポンプ圧送には不向きである。砂礫層に対応するため、まずシールドマシンの装備、構造から慎重に選定する必要がある。長距離掘進同様カッタービットの摩耗検討もその1つであるが、スクリーコンベヤの仕様選定も重要となる。マシンに装備可能なスクリー径、スクリーピッチ、板厚、シャフト式（軸あり）、リボン式（軸なし）等について検討する。（表-1 参照）

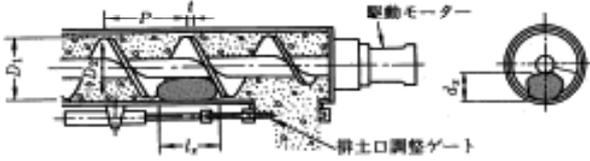
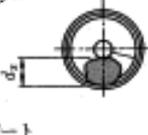
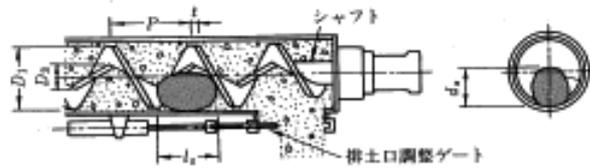
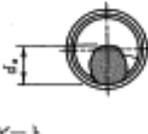
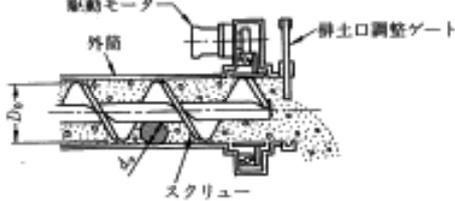
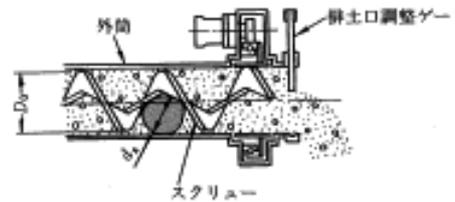
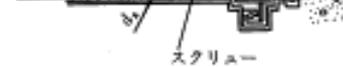
		構造	
軸 駆 動 方 式	シャフト式	 <p> 搬出礫径: $d_s = \frac{D_1 - D_2}{2}$ 搬出礫長径: $l_s = P - t$ </p>	
	リボン式	 <p> 搬出礫径: $d_s = \frac{D_1 - D_2}{2}$ 搬出礫長径: $l_s = P - t$ </p>	
外 筒 駆 動 方 式	シャフト式		
	リボン式		

表-1 スクリューコンベヤ選定表

スクリー径が同径の場合リボン式スクリーコンベヤのほうが、大きい礫が搬送可能であるが止水性に劣る。被圧地下水の存在と想定礫径φ180mmの本工事では、シャフト式としてスクリーピッチを大きくとり大礫も機内に取り込む工夫を行った。また、大きい礫はポンプに入る前に礫取スクリーンを設置しそこで回収することで対応した。（図-15, 16参照）巨礫に対応するためクラッシャー設備を設けて破碎する方法もあるが、本工事の土質は全線において砂礫が出てこないという特徴と粘性土層にはクラッシャーは必要がなく、設備に多大な費用がかかるという理由から礫取スクリーンを選定し、大礫はスクリーンで取り除く方法にしている。粘土層は、粘着力が大きいことからポンプ圧送中配管内で閉塞を起こし易く、砂礫層はポンプ圧送中配管内で礫が沈降し閉塞を起こす危険がある。

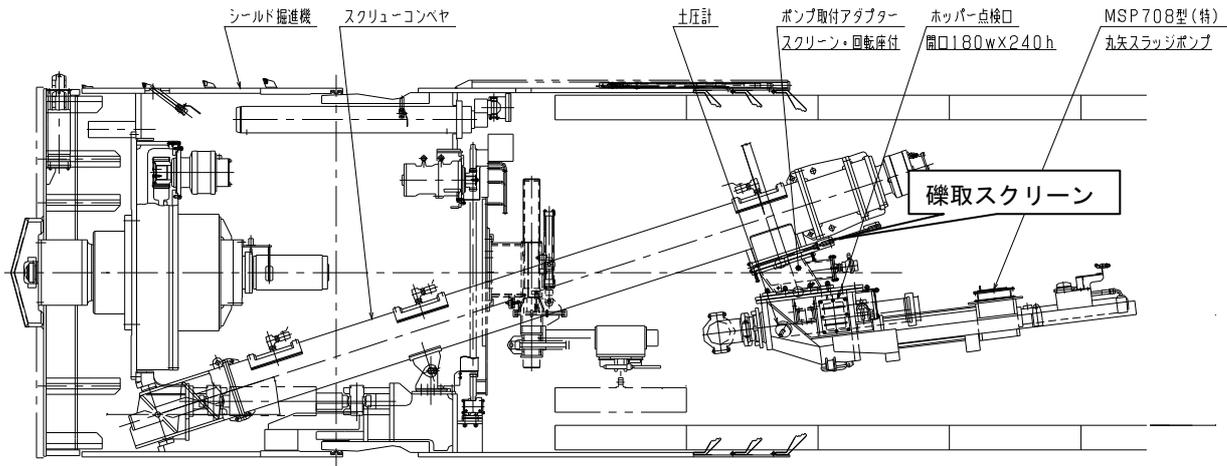


図-15 機内土砂圧送設備図

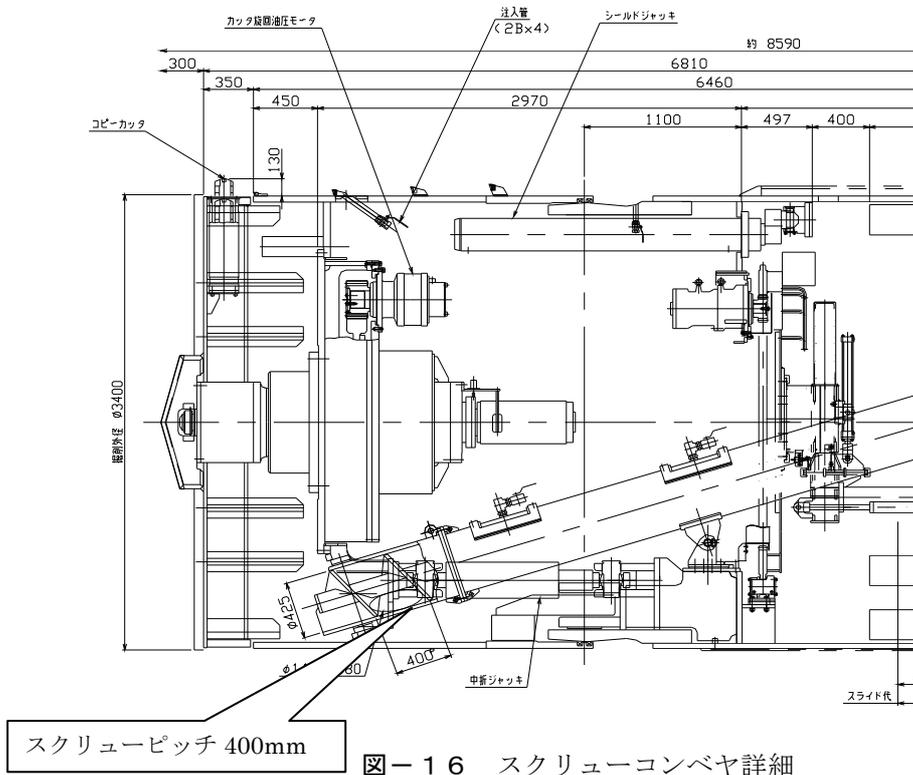


図-16 スクリューコンベヤ詳細

他にポンプ圧送の条件として土砂を生コンクリート状に改良する必要がある。作泥材と呼ばれるベントナイトや粘土、高分子剤、水を切羽に注入し、掘削した土砂をマシンのチャンバー内で練り混ぜると生コンクリートのような性状の土砂となりポンプ圧送が可能となる。砂礫層ではスランプ 8cm から 10cm 程度に改良されたものがポンプ圧送に適した土砂となった。それ以上のスランプになると圧送中材料分離を起こし、土砂圧送管の中で礫ばかりが沈降して配管閉塞の原因となりポンプ圧送不能にも陥った。本工事では砂礫層と粘性土層の互層を掘進するため砂礫の量が日によって変動し作泥材の注入量管理が非常に難しくなっている。

また、土砂圧送距離も 1,765m と長距離のため中継ポンプを配置し発進基地の土砂ピットまで圧送している。土砂圧送概要図を図-17に示す。

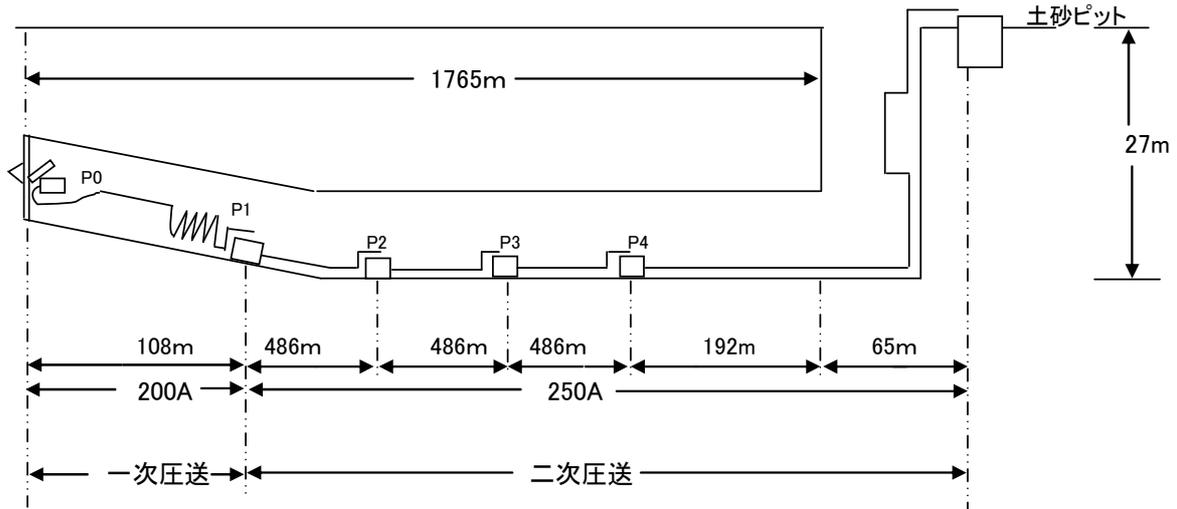


図-17 土砂圧送概要図

本工事の実績では砂礫のポンプ圧送は大量に作泥材を注入しないとポンプ圧送はできなかった。防爆仕様でなければズリ鋼車にて排土検討することをお勧めする。



写真-10 坑内中継ポンプ設備



写真-11 土砂ピット設備

5. おわりに

シールド工事のニーズは多様化し、長距離、大深度、大口径、岩盤対応、急曲線等さまざまな方面で活躍をしている。特に都心部では火薬等公衆に多大な影響を与える工法でトンネルの構築はできないのが実情である。シールド工事の重要な要素は計画と設備であり、事前の調査を十分に行ない適正で安全な設備を構築することが重要であると考え、本報告が同種工事の参考となれば幸いである。

謝辞

本工事は非常に特殊なシールド工事であり、本社や西日本支社の工事部、機工部の皆様の貴重なご助言やご協力をいただいている。これら関係各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会編：トンネル標準示方書（シールド工法）・同解説，2006
- 2) 地盤工学会編：シールド工法の調査・設計から施工まで，1997. 4