

ミニシールド工法の諸問題と今後の課題

The Problems and Further Subject in Mini-Shield Method

中深迫 治美* 盛重 知也**
Harumi Nakafukasako Tomoya Morishige

要 約

ミニシールド工法は、1969年に英国のウィリアム・F・リース社で開発された3分割セグメントを使用した小口径のシールド工法である。本工法は掘削断面が小さく、長距離掘進も可能で、ロードヘッダを搭載することによって硬岩にも対処出来ることから、最近下水道関係の企業先から経済的にも有利といわれ、発注が相次いでいる。

本文は、ミニシールド工法の技術的な部分に観点を置き以下の内容を記述したものである。

- ①ミニシールド工法概要
- ②ミニシールド工法設備
- ③当現場工事实績
- ④当現場における機械改良点
- ⑤ミニシールド工法の今後の課題

これらの事からミニシールド工法には、未だ現場だけでは解決出来ない課題がいくつか残っており今後も改良を続ける必要がある。

§ 1. はじめに

山口県徳山市の下水道事業は昭和21年から始まり、現在の普及率は53.6%と順調に推移している。

当東川汚水幹線管渠築造(般2工区)工事は、徳山市東部処理区(1215ha)の140haをまかなう主要幹線の工事である。掘削距離が60Rの曲線部を3箇所含む延長1120mと長距離であり、また軟岩掘削という条件のためロードヘッダ搭載のミニシールド工法が採用された。

人力掘削のミニシールド工法の実績は豊富であるが、機械掘削における長距離掘進については、ほとんど経験がない。そこで現在施工中であるが、ミニシールド工法の問題点と今後の課題について検討する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. ミニシールド工法概要
- § 4. シールド機および後続車両
- § 5. 工事实績
- § 6. 機械改良点
- § 7. 今後の課題
- § 8. おわりに

*中国(支)徳山(出)所長
**中国(支)徳山(出)

§ 2. 概要

2-1 工事概要

工事名：東川汚水幹線管渠築造（般2工区）工事
 企業先：徳山市
 施工場所：山口県徳山市辻町地内～大内町地内
 工事期間：自）平成元年 8月 1日
 至）平成3年 8月 31日

〔シールド工〕

工 法： ミニシールド工法
 施工延長： 1120.52m
 覆 工： RC 3分割セグメント
 内径 φ1200mm 幅 600mm
 標準 1806リング
 異形 62リング

〔立坑工〕

発進立坑： 鋼矢板 V型 L=15m
 ロックオーガー打設
 長7.56×幅5.46×深13.5m 1箇所
 到達立坑： ケーシング圧入
 φ2.058×8.02m 1箇所

〔薬液注入工〕

工 法： 二重管ロッド注入工法
 （2ショット）
 注 入 量： 220740ℓ

2-2 地質概要

徳山市北部の丘陵地や高地は花崗岩類、平地は沖積層から構成されている。沖積層は未固結の土砂礫層と山麓堆積などからなり、花崗岩類はその基盤をなし広く分布している。

シールド（管渠）通過位置の地質主体は、未固結の土砂礫層と、その基盤をなす花崗岩類である。Fig.1に土質縦断面図を示す。大部分の花崗岩は著しく風化作用を受けており、急峻な地形は丘陵地に化し、岩質はルーズな真砂土に変質していることが特徴である。

2-3 線形

当工区は、国道2号線に沿って東に向かい、国道脇の自動車道の下を掘進するが、国道沿いに管渠の築造を計画しているため直線部分が多く、発進・到達部分へのすりつけに曲線を使用している。Table 1に路線線形を示す。平面曲線率は約18%である。また、縦断線形は発進より下り2%の一定勾配である。

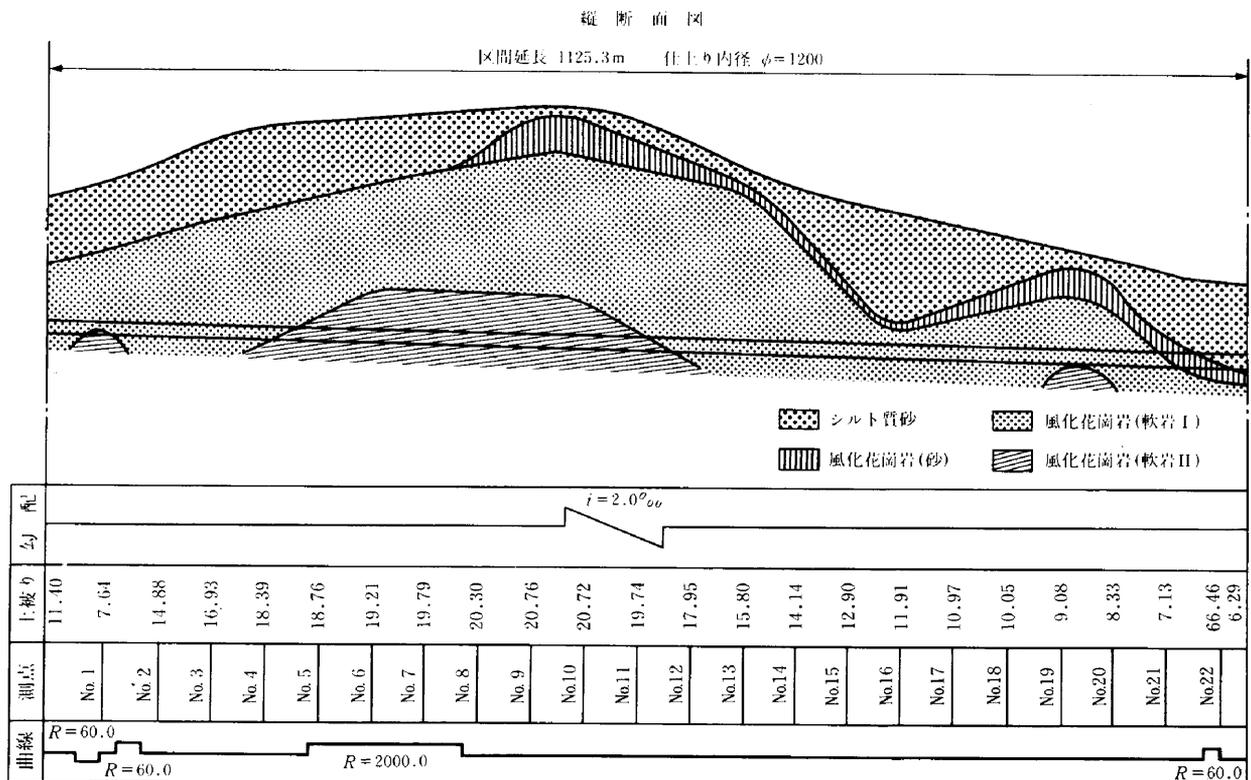


Fig.1 縦断面図

Table 1 路線線形

	延長(m)	比率(%)
直線	25.8	2.3
R=60 (左)	21.8	1.9
直線	15.4	1.4
R=2000(右)	20.9	1.9
直線	156.7	13.9
R=2000(右)	145.4	12.9
直線	699.6	62.2
R=60 (右)	13.1	1.2
直線	26.2	2.3
計	1125.2	曲線比率17.9

§3. ミニシールド工法概要

ミニシールド工法は、セグメントに3等分割のRCセグメントを使用している事以外は、すでに普及しているシールド工法と本質的に同じである。

まず発進立坑を築造し、地盤内にシールド機を先行させシールド機内で掘削してセグメントの組立を行う。シールド機は組立てられたセグメントを反力受として、シールド機内の推進装置で前進する。曲線施工はテーパセグメントやシールド機に取付けられた方向修正用ジャッキの使用により、曲線半径60m位迄は可能である。シールド機が前進すると組立てられたセグメントリングは後部フード内に移動する。ここで後部フードとセグメントの間に豆砂利を充填する。シールド機がさらに前進し、セグメントリングが後部フードを離れ地山に接した時テールボイドは豆砂利で充填されているので地山の崩

壊のおそれはない。

構築されたトンネル周辺の地山が安定した時点で裏込砂利層にセメントミルクを注入し、セグメントの周囲にコンクリート層をつくりトンネルを完成する。

なお本工事における坑外設備図を Fig.2, Photo 1 に、坑内設備図を Fig.3, Photo 2 に示す。

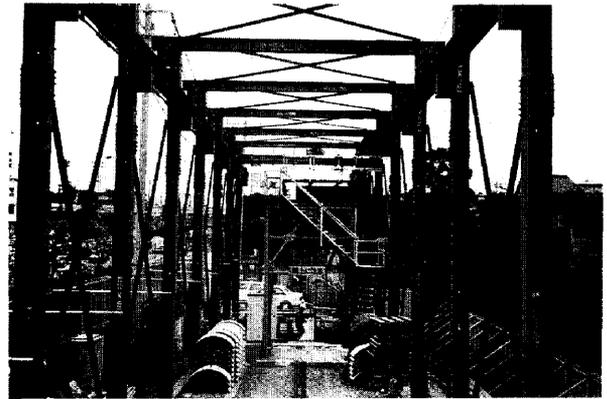


Photo 1 坑外ヤード



Photo 2 坑内状況

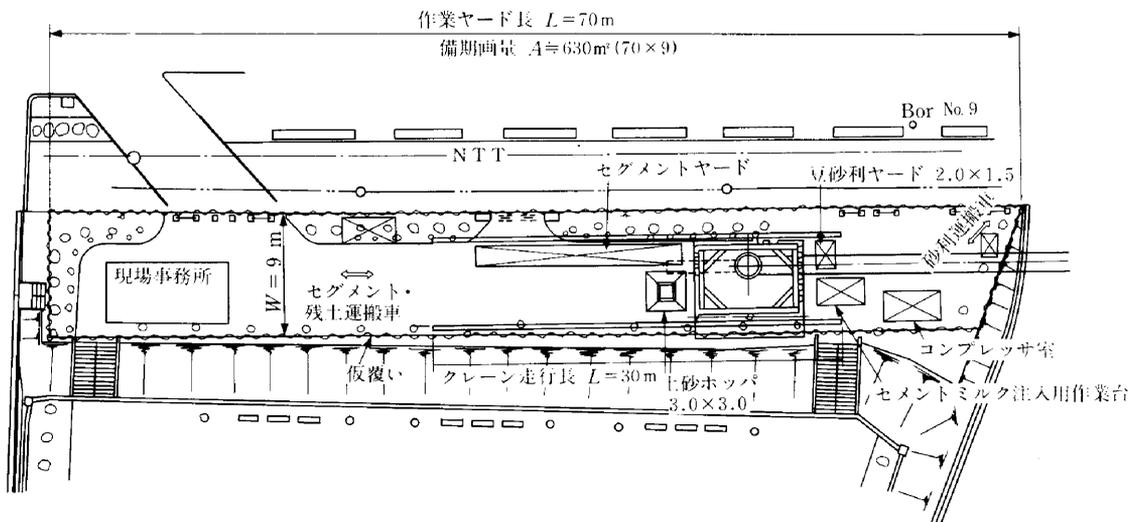


Fig.2 坑外設備図

§ 4. シールド機および後続車両

4-1 シールド機

シールド機の主要仕様を Table 2, 形状図を Fig.4, 外観を Photo 3 に示す。

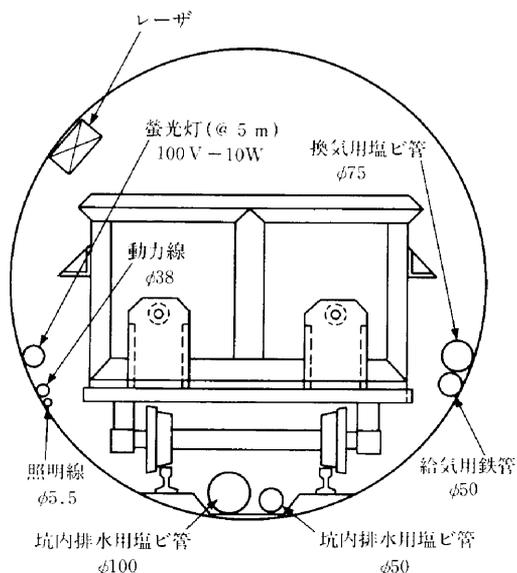


Fig.3 坑内設備図

Table 2 シールド主要仕様

		仕	様
外	径	φ1,540mm	
全	長	4,465mm	
総	推	力	150tf
シールド	ジャッキ	25 t × 750st × 6 本	
ムーバブル	フードジャッキ	10tf × 550st × 1 本	
グリッパ	ジャッキ	16tf × 100st × 4 本	
中折	ジャッキ	16tf × 80st × 4 本	
切	削	部	ドラム径 500mm
			回転数 22rpm
二	次	ベ	ル
コン			機体長 2,700mm
			ベルト幅 300mm
			ベルト速度 60 m/min
油	圧	ユ	ニ
ッ		ツ	ト
		電動機	4 P-2.2kw
		オイルタンク	油量 100 ℓ

4-2 セグメント

ミニシールド工法の大きな特徴は、セグメントに関する技術に集約されるといえる。本工法で使用するセグメントを Fig.5 に示す。

普通シールド工法では、セグメントの組立がシールド機のテール部内の狭い空間で行われる関係や、テールボ

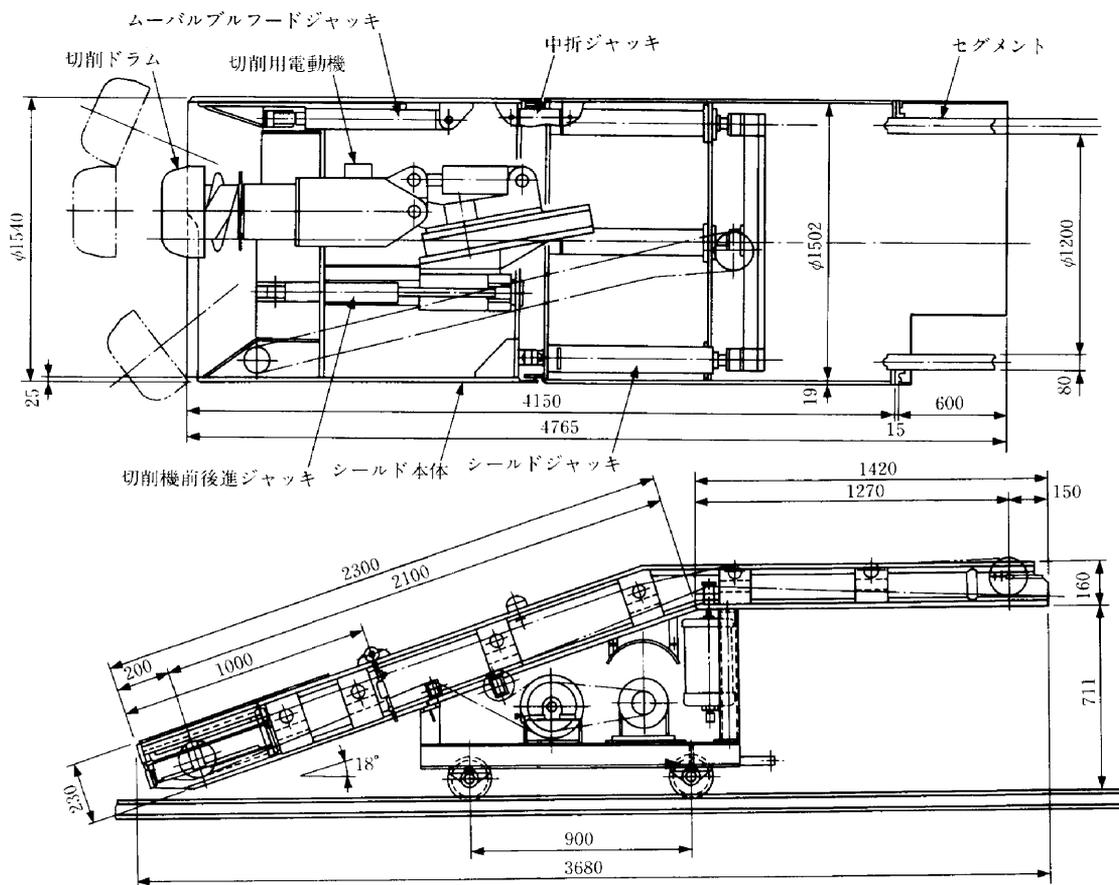


Fig.4 シールド機及び二次ベルトコンベア

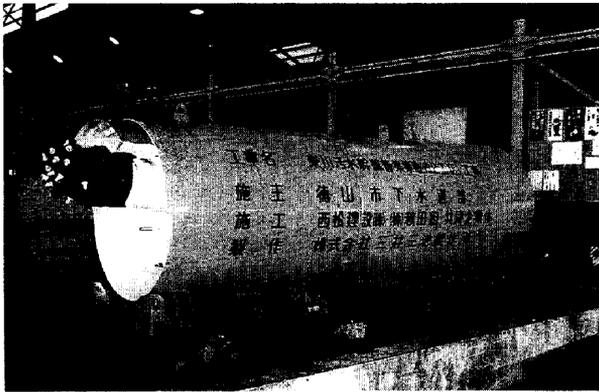


Photo 3 シールド機

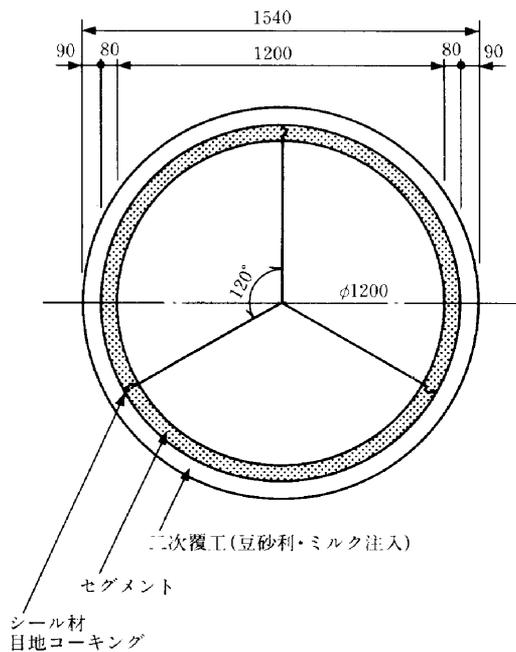


Fig.5 セグメント組立図

イドをできる限り小さくしてトンネル周辺の地山の崩壊による影響を少なくするという要求から、セグメントリングは一般に4ピース以上に分割したものを使用する。

ミニシールド工法はこの考えとは逆に、テールクリアランスを大きくとることにより3等分割セグメントの組立を可能とすると共に、それによって生じる増大したテールボイドの処理は豆砂利で迅速かつ確実に充填することにより解決した。3分割セグメントは、それ自体安定かつ静定な構造物であり、組立が簡単で精度も高い。

ミニシールド用セグメントは中心角120度のRCセグメントである。継手は軸方向、円周方向とも凹凸のナックルジョイントで、この継手にシール材をはさみ込み水密性を確保する。

4-3 後続車両

(1)二次ベルトコンベア (Fig.4 参照)

本体の駆動プーリーはエアモータを使用し、坑内移動はバッテリーカにて牽引される。

後方張出長は、当初1420mmで土砂スキップ (Fig.6 参照) 1両分の長さしかなかったため、1.5m延長し2両分を1度に積み込むことを可能にした。

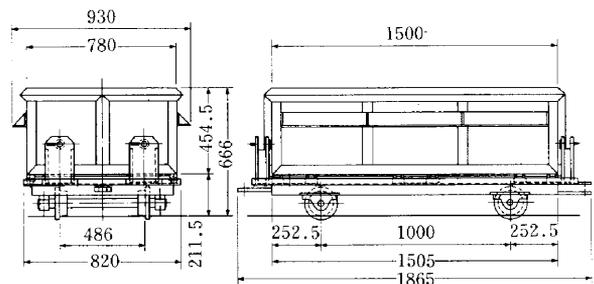
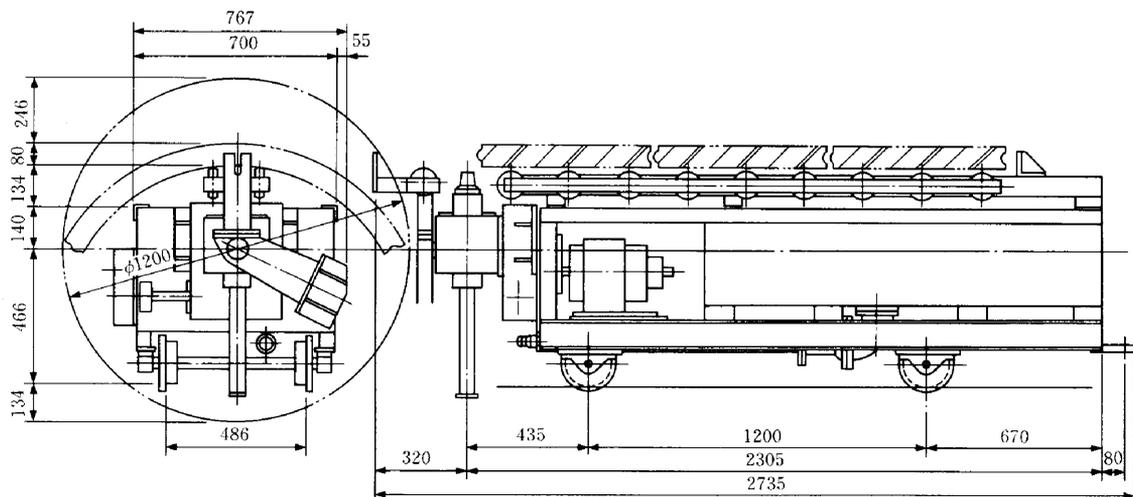


Fig.6 土砂スキップ



砂利ホッパー容量 0.33m³

Fig.7 セグメント運搬車(エレクター搭載)

(2)セグメント運搬車

掘削、推進完了後セグメントを搬入する。セグメント運搬車 (Fig.7 参照) は1リング分 (3ピース) を積載でき、同時にセグメント組立後の注入用の豆砂利も運搬する。

セグメント組立場所に着くと、坑外からの給気管に接続しエア駆動によりエレクターを操作しセグメントを組立てる。引続きエア圧により裏込め材の豆砂利をセグメントの3箇所から注入する。

バッテリーカの諸元を、Fig.8 に示す。

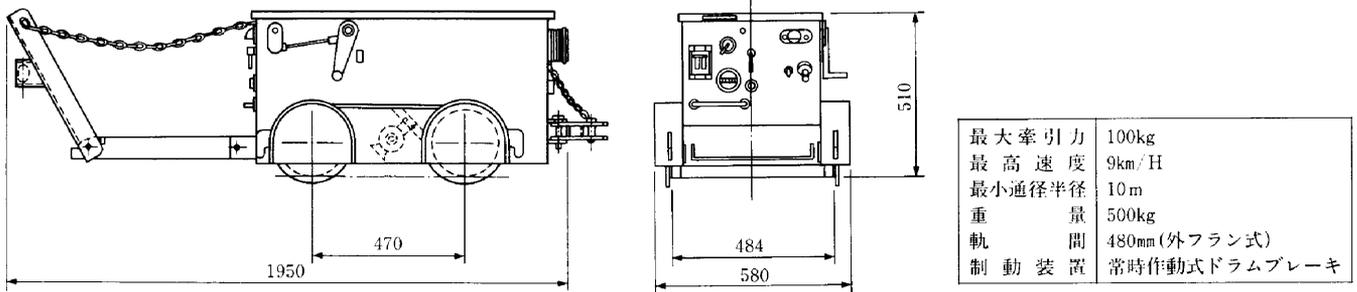


Fig.8 バッテリーカー

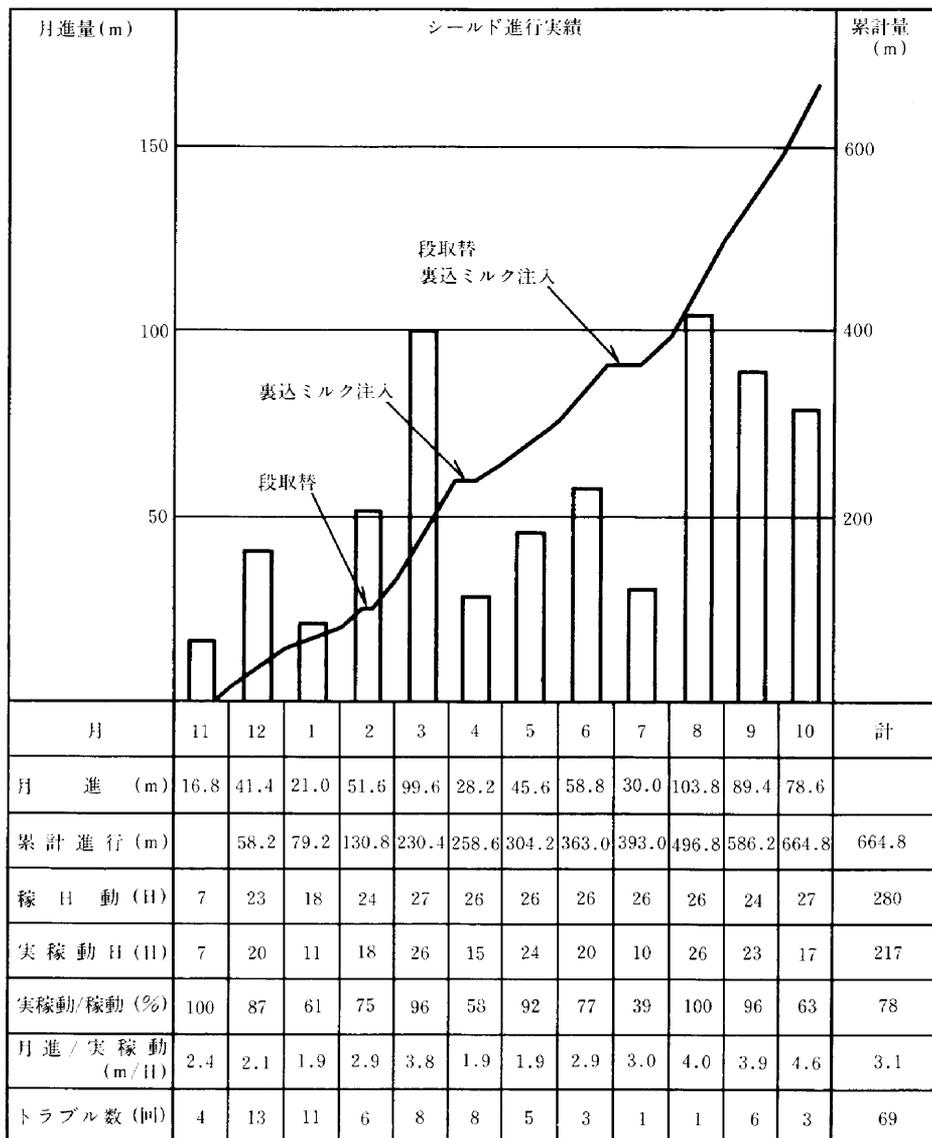


Fig.9 掘進実績

§ 5. 工事実績

5-1 掘進実績

掘進実績を Fig.9 に示す。掘進当初のトラブルの多さが目立つが、トラブル内容 (Fig.10 参照) とその対処は後述する。特にトラブルが多かった一次ベルコンを改良後の7月よりトラブルの回数が減り、また入れ替わりの激しかった運転工も安定し熟練してきたため、運搬距離の長くなった悪条件にもかかわらず進行が伸びた。

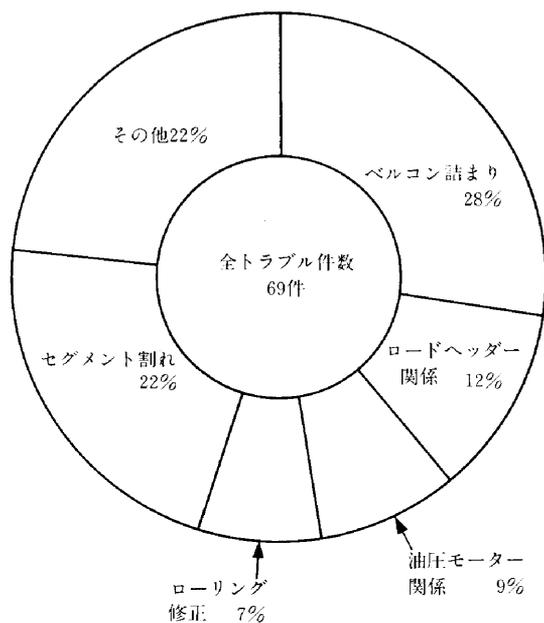


Fig.10 トラブル内訳

5-2 作業サイクル

ミニシールド施工手順を Fig.11 に示す。裏込ミルク注入は200m 毎に行うのが標準であるが、当現場の場合地山の緩みも少ないことから、現在660m 進行中360m 程裏込注入が完了している。

日常のシールド掘進作業の標準サイクルは Fig.12 の様になる。砂利注入やセグメント組立時間はほとんど不変であるのでサイクルの向上は、掘削時間と土砂搬出時間の短縮によるところが多い。

§ 6. 機械改良点

6-1 油圧モータの位置の変更

進行が約50m を過ぎたころから坑内湧水が増してきた(当時100 l /min)。水替用の排水ポンプにトラブルが発生すると、数分にして油圧モータは水没し、そのたびにモータをとりだし、乾燥して取りつける作業を行わ

なければならない。また平常通り掘削している場合でも、一次ベルコンから土砂に含まれている水がモータにかかり漏電することもあった。

そこで当初油圧モータの上にあったオイルタンクを下にして、その上にモータを置く配置にした。その結果、たとえマシン内の水位が上昇してもモータのトラブルは発生しなくなった。

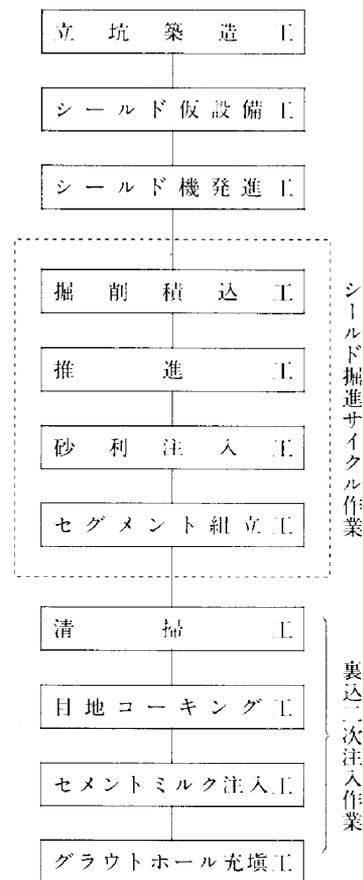


Fig.11 ミニシールド施工手順

掘削積込・推進工	軟岩 I 90分 軟岩 II 120分
砂利注入工	20分
セグメント組立工	20分
ロスタイム レール・給気管延長 その他	20分

軟岩 I 150分
片番 9 H (540分)
540 / 150 = 3.6 サイクル
軟岩 II 180分
540 / 180 = 3 サイクル

Fig.12 標準サイクル

6-2 ロードヘッド余堀量の変更

ロードヘッドの余堀量は、当初シールド外径より10cmであったが、余堀量が多いため推進時の方向のぶれが激しく、制御が困難であった。そこでロードヘッドの左右ぶれのジャッキのストロークを矯正し余堀量を5cmになるようにした。それによって心配された推力の増大はみられず、方向の制御は比較的楽になった。

6-3 ローリング対策

シールドマシンの左右のバランスが悪いため（ウエイト差200kg）切羽に向かって右方向に最大約30度傾き、一次ベルコンから土砂がこぼれおちる状態になり、手押しジャッキにより円周方向に力を加え修正を行っていた。しかし60リング程推進すれば、修正しなければならずマシンの改造を検討した。

原因がウエイトの差からくるものであるため、ウエイトの足りない左側に約100kg分の加工した鉄板や鉛塊をのせバランスをとったところ、ローリングは、ほとんどなくなり、左右のローリングの加減は、鉛塊を調整することによって自在にできるようになった。またロードヘッドの回転方向が左回転であるため、切羽が固い場合にシールドマシンを右回転させることも考えられたためロードヘッドは右回転に変更した。

6-4 一次ベルコンの改良

最もトラブルが多かった一次ベルコンについては、いまだ決め手になる解決策はなく、検討中である。

トラブル内容としては、ベルコン内に土砂が詰まりベルコンが止まってしまい、その対応として土砂撤去をするために狭いマシン内でベルコンの撤去と掃除を行わなければならない。それに要する時間は5～6時間かかる。しかも頻度も多いため、当トラブルは進行に大きく影響する。

処置方法としては、土砂の入り込みそうな隙間は全て発泡スチロールを詰め込み、ベルコンの裏側からも土砂の侵入がないよう鉄板を溶接し防護した。又、掘削時に一次ベルコンを止めたまま切削をすると土砂を盛り上げてしまって詰まりやすいことから、切削中は必ずベルコンを作動させておくようにした。それによってトラブルの頻度は、非常に少なくなった。しかし防護したとしても、やはり水の浸入と共に粒子の小さな土砂は、ベルコン内で徐々に堆積してやがてモータープーリの回転を止めてしまう。この場合のベルコンの土砂撤去は、鉄板で防護しているため非常に作業性が悪く、作業時間も8時間はかかってしまう。

現在の対策としては、ベルコン固定用のボルトの数を減らし、掃除・脱着を簡単に出来るようにした。また、

常に予備のベルコンを用意しておきトラブル発生時にはすぐに取り付けられるようにしている。そうすることによりトラブル発生時には、掃除に時間をかけずにベルコンの取替を行い、ロスタイムを5時間程度におさえている。

6-5 レーザ設置

通常のトンネル作業の方向指示として、レーザ光線を使用するが、坑内にレーザ発信機を取り付けようとする通行車両の障害になるため設置できなかった。そこで方向指示については、昼夜の入れ替わり時の測量結果をもとに指示をしていた。

マシンの方向制御に失敗すると、後続のセグメントに対し斜めの推力が加わることになり、これがセグメントの割れにつながる。セグメント割れは、ベルコンの詰まりに次いで多いトラブルである。

組立てたRCセグメントの継手は、凹凸のナックルジョイントによって連なっており、推進時に於ける推力は全てこのナックルジョイントを通じて後続のセグメントに伝わる。セグメントは、軸方向に対し真直ぐに力が加われば、推進ジャッキの最大圧力の320kgf/cm² (31.4 N/mm²)かけても耐えうる強度はあるが、マシンの方向がずれて軸方向に対し偏圧がかかれば、ジャッキ圧50kgf/cm² (4.90N/mm²)でもナックルの凹部分が欠けてしまう。ひどい時にはなお破壊がすみ反力としての役目を果たさず撤去し、組みなおさなければならない。一度組んだセグメントを撤去すれば裏込めした豆砂利も取り出さなくてはならず、内径φ1200の狭い坑内では作業性が悪い、撤去に要する時間は少なくとも2時間はかかる。

このような問題を起こさないためにも、推進時の方向制御の精度向上は、品質管理はもちろん工程管理に多大な影響を及ぼす。そのためにセンター方向管理が重要になってくる。そこでレーザの設置を検討したが、既存のレーザでは台座をつけてセグメントに取り付けると後続台車と接触し通行不可能となるため、セグメントの曲線に合うような取付け架台を作成し、レーザ部も微調整用の台座を取外し、レーザ発信部のみを架台に取り付ける構造にした。

ターゲットはマシン内に30cm程度のスタッフを取り付け、推進前と推進後の値を読み取りその差を推進後のマシンに振れとして次の指示をだす。通常レーザ光線はセンター方向に対し絶対的な方向を飛ばすが、当現場の場合、レーザを取り付けた部分の後続車両とのクリアランスは5cm程度しかなく、思う方向に正確にレーザを振ることができないため推進前と推進後の相対的な差を重

視して管理を行った。

結果は良好で、推進中に作業員の目で左右の動きが分るため早めの対処が出来るようになった。

§ 7. 今後の課題

7-1 ずり出し方法について

(1) 現在の状況

掘削した土砂は、土砂スキップ (0.5m³) にて1両ずつ搬出していたが、サイクル向上のために二次ベルコンの後方延長部分を1.5m 長くし2両一度にずり搬出可能にした。しかし1リング分の掘削量は最低土砂スキップ4両は搬出せねばならず一括して土砂搬出できればサイクルが飛躍的に向上する。4両一度に積込ができるように二次ベルコンの延長を検討したが、立坑が広くなければならず又、急曲線部分の通行は不可能である。

(2) ACC 工法 (気流搬出工法)

当現場で試験的に ACC 工法による、ずりの搬出を試みた。ACC 工法は、掘削した土砂を土砂スキップを使わずφ100の塩ビ管にて、坑外の真空ポンプの負圧の気流を利用して搬出しようとするものである。

以下はその概要である (Fig.13 参照)。

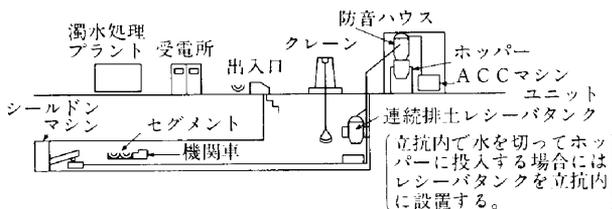


Fig.13 ACC工法概要図

① ACC 工法マシンユニット

型式	KHM75W
風量	41m ³ /min
静圧	-650mm Hg (-86.6kPa)
電動機電圧	200V
出力	74.5kW

② 当工法の長所

- ・土砂搬出の間、坑内の出入りが自由なためサイクルの大幅短縮が可能、また掘削中の立ち入りが可能なため管理が行き届く。
- ・施工延長が伸びても、ずり出しにかかる時間は一定で、ずり出しに関しては従来の様に車両離合用に中間拡幅の必要がない。
- ・一次ベルコンがなくなり、マシン内が広くなるので、

セグメントの組立や掘削中の作業性、安全性が増す。

③ 問題点

- ・曲がり管 (45°) の摩耗が激しく3時間掘削して交換を要する。
- ・土砂輸送中に管内に土砂が堆積する。
- ・水を吸引させると土砂の吸引力が大幅に低下する。
- ・坑外に設置してあるユニットの排気音が大きいため、深夜に苦情がでた (50m離れた地点で70ホン)。
- ・電力量が増大する。

(3) 考察

上記のような問題点が起きたため、今回は ACC 工法は断念した。なかでも管内に土砂が堆積する問題が大きくなウエイトを占める。この原因は土質が左右すると思われるためシルト質の混じった粘性土であれば結果が幾分かちがっていたかもしれない。したがって ACC 工法のメリットは非常に大きく、軌道が単線であるミニシールド工法においては特に重要なため今後も検討を加え種々の試みをすべきだと思う。

また ACC 工法だけでなく、二次ベルコンを延長するなどして1リング掘進分のずりを一括して取り出すような工夫をしなければ、ミニシールド工法の長距離掘進は限界がただちにやって来るはずである。

§ 8. おわりに

ロードヘッダ搭載のミニシールドにおける長距離掘進は、ここが初めてということもあり、いくつかの諸問題をかかえながら現在掘進中である。今回は、機械的な面とずり出しのシステムについて明記しましたが、その他の安全面での問題等は割愛させていただき、概要のみの報告とさせていただきます。と思います。

最後に、当現場にご協力、ご指導をいただいた関係各位に深く感謝するとともに、今後ともご指導をよろしくお願い致します。