

鍋立山トンネルの施工について

服部修一*

1. はじめに

鍋立山トンネルは、上越線六日町駅を起点とし、飯山線十日町駅、松代町を経て信越線犀潟駅に至る全長59.4kmの地方鉄道新線である北越北線のほぼ中央に位置し、松代町から大島村に至る丘陵地帯を貫く延長9,117mの単線鉄道トンネルである。

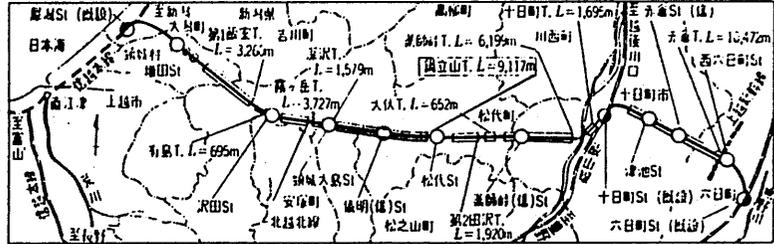


図-1 北越北線略図

本トンネルは、昭和49年に着工し、国鉄再建法公布に伴う工事予算凍結措置により昭和57年3月に未掘削区間645mを残して工事が中止された。その後、第三セクターである北越急行線が設立され、昭和60年8月に工事が再開された。

施工に際しては強大な地圧と可燃性ガスのため工事中断前からきわめて難渋している。再開後も工事の進捗は遅延し、いまだ貫通に至っていない。

本報告では、鍋立山トンネルの現在の施工状況について、その概要を報告するものである。

2. 地形、地質

現在施工区間は、土被りが約150mであり、その周辺地域は断層を伴う褶曲構造の複雑な地域である。また、表層風化が激しいため、大小多くの地すべり地形が発達する緩やかな丘陵性地形を呈している。

地質は新第三紀鮮新世の西山層より構成され、泥岩を主体とし所々に凝灰岩や凝灰質砂岩などの薄層を挟在している。泥岩は小断層を伴う複雑な褶曲運動により、岩片混じり粘土層化細片状の剝離性を有するなど、非常に脆弱な岩盤状態を示している。地山の一軸圧縮強度、単位体積重量および土被りから得られる地山強度比 ($qu/\gamma H$) は0.09であり、トンネルを施工する上で極めて小さな値である。

表-1 地山物性値

単位体積重量 (t/m ³)	1.847
自然含水比 (%)	28.2
2 μm以下粒子含有率 (%)	60.0
液性限界 (%)	145.5
塑性限界 (%)	33.9
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	2.36
変形係数 (kgf/cm ²)	91.5
吸水膨張率 (%)	14.8
土被り (m)	150
地山強度比	0.09

*日本鉄道建設公団東京支社松代鉄道建設所所長

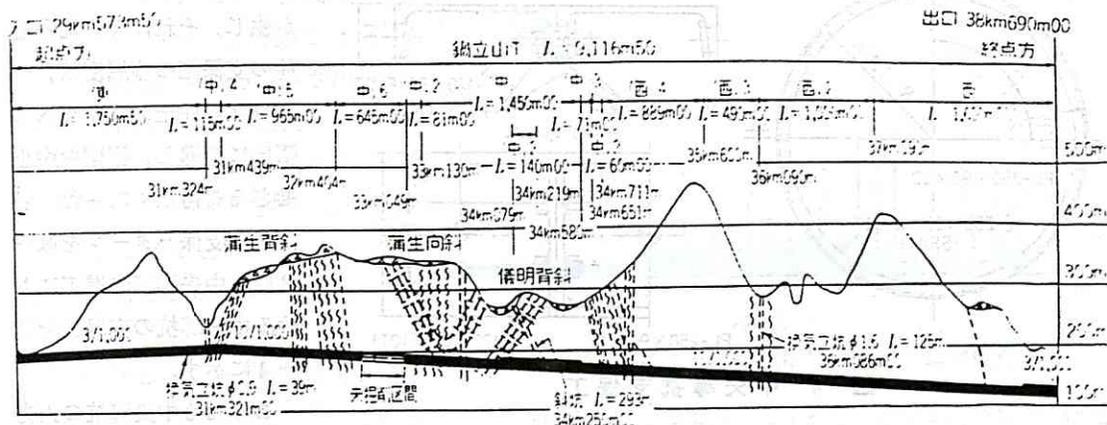


図-2 鍋立山トンネル縦断面図

3. 施工状況

鍋立山トンネルの中(6)工区の起点側切羽(東口)での施工は、当初、ショートベンチ工法を基本としていたが、仮インバートの盤ぶくれ(80~100cm)、内空変位の増加(30~50cm)とともに支保機能が低下したため、導坑先進ショートベンチ工法に変更した。

導坑先進ショートベンチ工法を採用した導坑の目的は、地山の潜在応力の一部を開放することにより、支保に作用する応力を軽減し、内空変位を減少させようとしたものである。掘削方式は、上半および導坑はカッターローダー、下半はバックホウを採用し、導坑長を3~4m、ベンチ長を15m程度に保ちながら施工が進められた。この工法により50m程度は順調に進行したが、地山状態の悪化とともに導坑、仮インバートおよび本坑支保の変状が頻繁に発生するようになり、掘削工法の変更を余儀なくされた。

そこで、次に採用した工法が中央導坑先進工法で、本坑の全断面、あるいはミニベンチによる切上げを前提として中央導坑のみを先進させる工法である。同工法を採用した理由は、次の利点が考えられた。

- ① 本坑の切り上げに伴う地山応力の再配分が均等になる。
- ② 本坑の切り上げ時に導坑がアンカーとなって鏡の押し出しを抑制し、鏡の安定保持効果を期待できる。

③ 導坑掘削に伴う地質、計測データを本坑切り上げ時に活用できる。

導坑の掘削は上下2分割して人力で行った。掘削に伴う切羽の押し出し量は、当初は1サイクル(25cm)あたり50~100cmであり、押し出しを防止するためにケーシングパイプをアンカーボルトに変更して辛うじて掘削が進行した。しかし、その後は導坑を129m掘

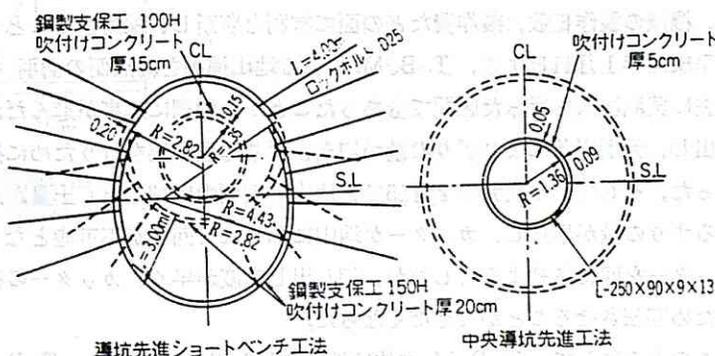


図-3 支保パターン

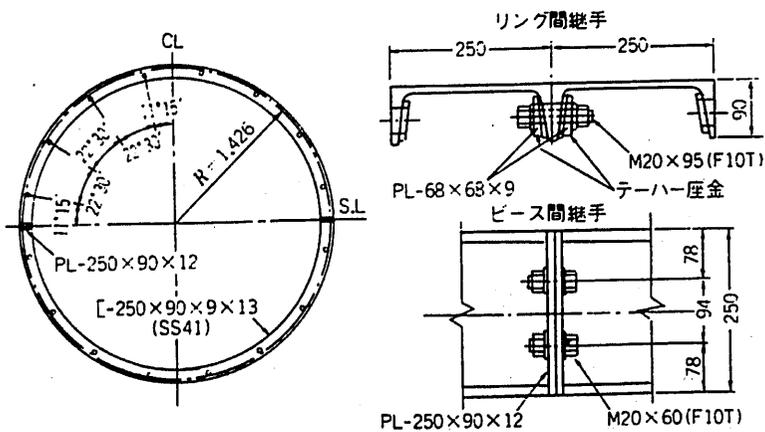


図-4 中央導坑支保工

進した時点で1サイクルあたり200~300cmの押し出しが生じ、それに伴い切羽近傍の支保工の座屈変状、ヘドロ状の泥土およびガスの噴出に遭遇し、掘削を中止せざるを得なくなった。各工法の支保パターンを図-3に、中央導坑先進工における中央導坑の支保工を図-4に示す。

このため中央導坑の人力

掘削が困難になったことから、中央導坑掘削用の T. B. M.を開発し、終点側切羽(中口)からの掘削を試みることにした。

導坑用掘進機の機種選定条件は次に示すように考えた。

- ① 切羽の押し出しに対処できること。
- ② 膨張性地山にマシンのシェルが摺まれることなく掘進できること。
- ③ シェル内でセグメントの組立が可能であること。
- ④ 機械の製作に日数を要しないこと。
- ⑤ 経済的であること。

以上の条件を考慮した結果、図-5に示す導坑用掘進機を、地山の締め付けの緩和、切羽の支障物撤去、機械の製作日数、製作費などの面で有利と判断し、採用することとした。

平成元年1月11日より、T. B. M.による地山掘削を終点側の切羽(中口)から開始した。掘削当初は、過去に薬液注入を行った区間でもあったことから順調に工事が進んだが、注入区間を過ぎた後は地山の押し出し、天端崩落によりずりの量が増え、ずり処理作業を行うために掘進機本体を後退させる回数が多くなった。そして、平成元年2月15日、地山の掘削中に押し出し土量が急増し、それに伴って天端の崩落によるずりの量が増加し、カッターが地山に摺まれて回転が不可能となった。このため、本体を後退してカッターを回転させようとしたが、押し出し速度が早く、カッターの後進速度以上に地山が押し出してきたため回転させることができなくなった。

このようにして、T. B. M.本体は地山の押し出しとともに、T. B. M.発進導坑の出口まで約65m間押し戻されることとなった。地山の押し出しは本坑断面に出たあとも止まらず、セメント袋2,000袋を積み

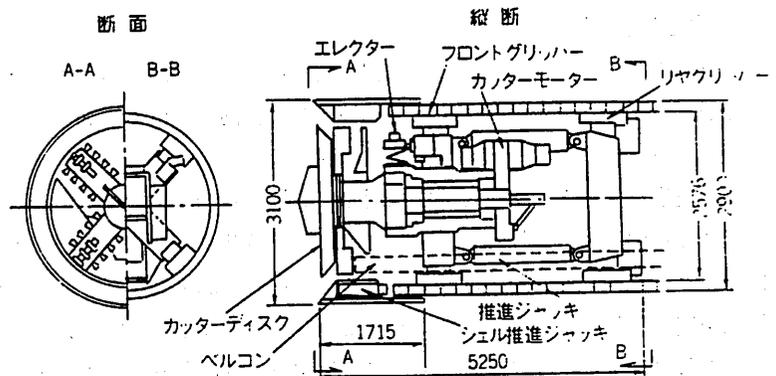


図-5 導坑用掘進機

上げ、その上部を吹付けコンクリート（厚さ約30cm）で固めた簡易バルクヘッドを構築したが、強大な土圧により破壊された。このため、本坑断面内にスチールファイバーを混ぜた厚さ3.0mのバルクヘッドを打設し、地山の押し出しを止めた。結局、累計押し出し長は約100mに達した。

T. B. M.が押し出された原因

は、天端の高抜けと押し出しによる土量が予想外に大きなものであったことと、地山に内在していた硬質ノジュール（最大径80cm）の処理に機械が対応できなかったことによるものと考えられる。

中口導坑のT. B. M.による導坑掘削時の掘削長と掘削地山数量の関係を図-6に示す。この図より、過去に注入を行った区間とそれ以外の区間では、地山の掘削量に大きな差が生じていることがわかる。これは、注入によって地山の押し出し量が抑制されたものと判断でき、現在、注入を補助工法として導坑の掘削方法を検討中である。

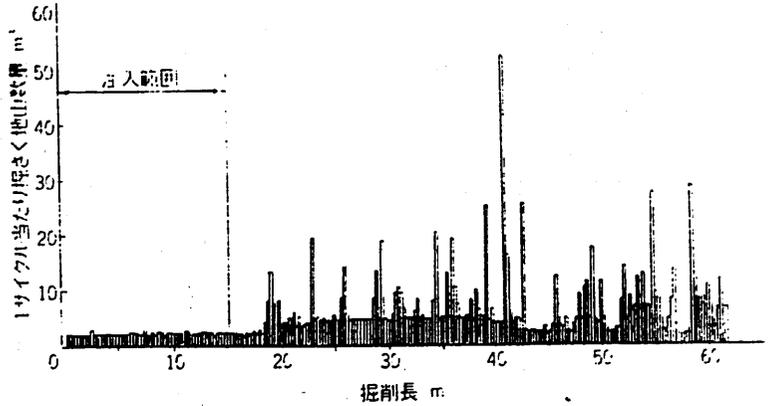


図-6 T. B. M.による導坑掘削に伴うずり数量の推移

4. おわりに

いままで述べてきたように、鍋立山トンネルの施工は、地質のきわめて悪い区間約200mを残して、想像以上に掘削が難渋している。トンネルを完成させるためには導坑の貫通が先決であると判断し、地山の特性を考慮して導坑掘削用のT. B. M.を開発した。しかし、地山の押し出し量はT. B. M.の設計当初の想定値を上まわったものであった。

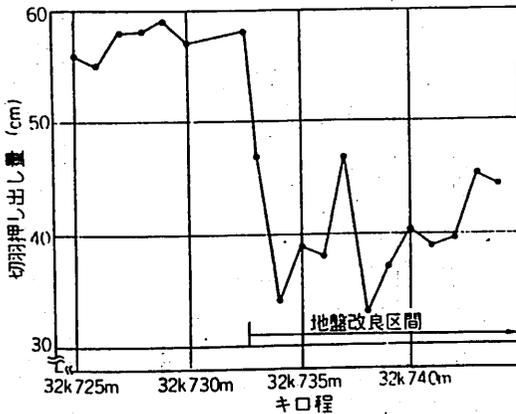


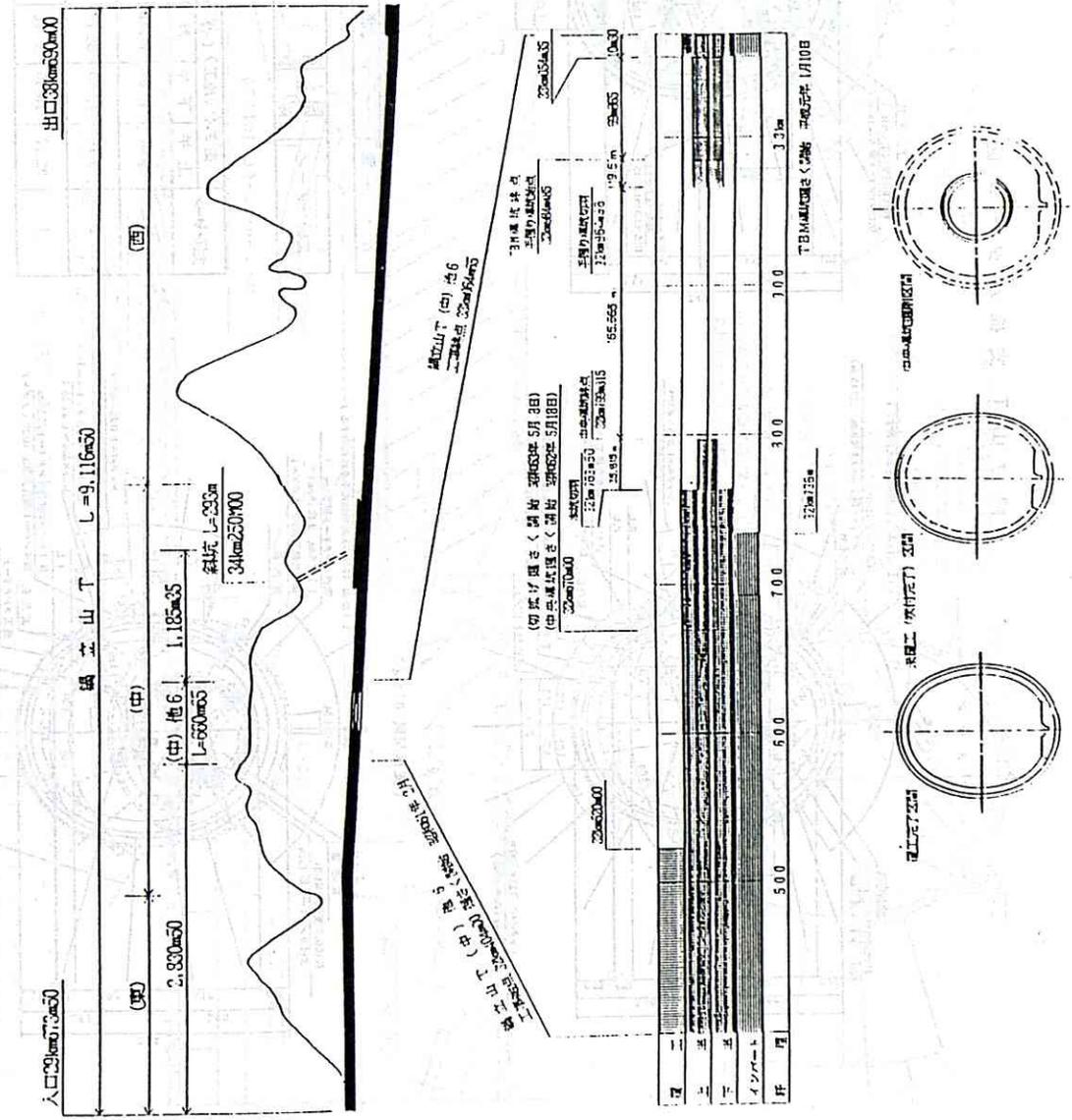
図-7 1サイクルあたりの切羽押し出し量 (デンカES注入)

定値を上まわったものであった。

しかし、T. B. M.による掘削の経験から、過去に注入を行った範囲では順調に掘削ができたことがわかった。これより、注入を補助工法とした導坑の掘削方法をあらためて見直すこととし、これに先だって起点側の切羽において注入工法の試験を行った。その結果、注入により地山の押し出し量の抑制が可能であることがわかった。地山の押し出しは100%抑えることができなくてもある一定量以下に止どめることができれば掘削は可能であり、現在、注入を補助工法とした導坑の掘削方法を計画中である。

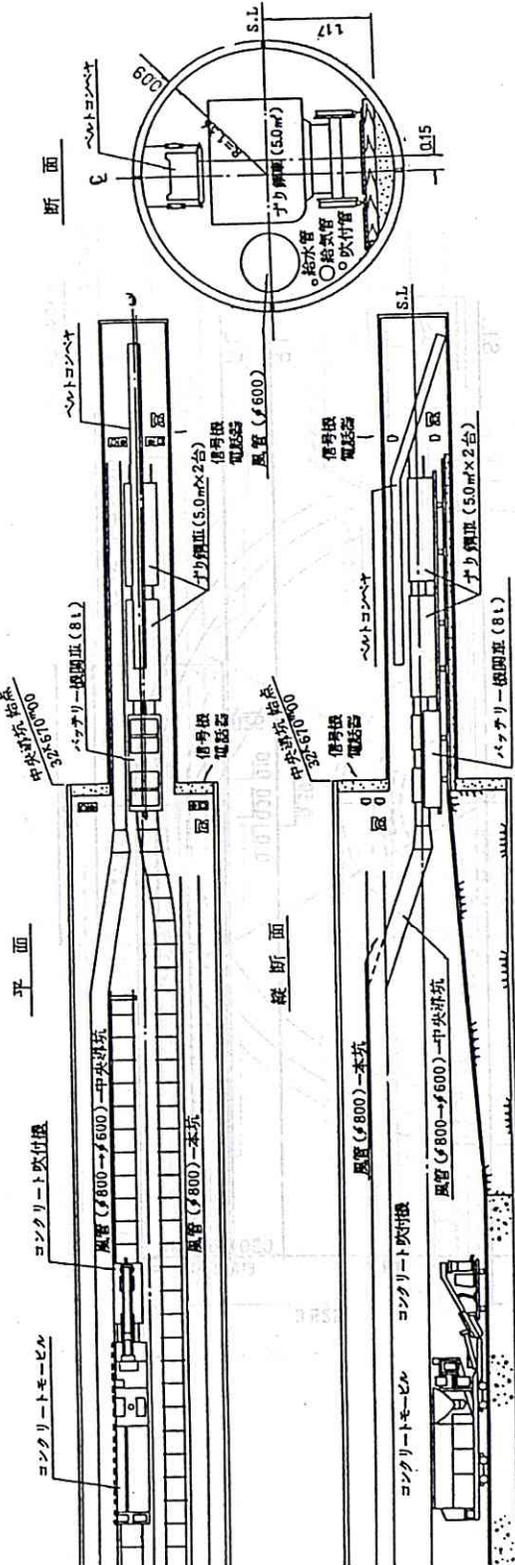
碓立山トンネルの現況について
(掘きく状況)

平成 25 年 10 月 23 日 現在

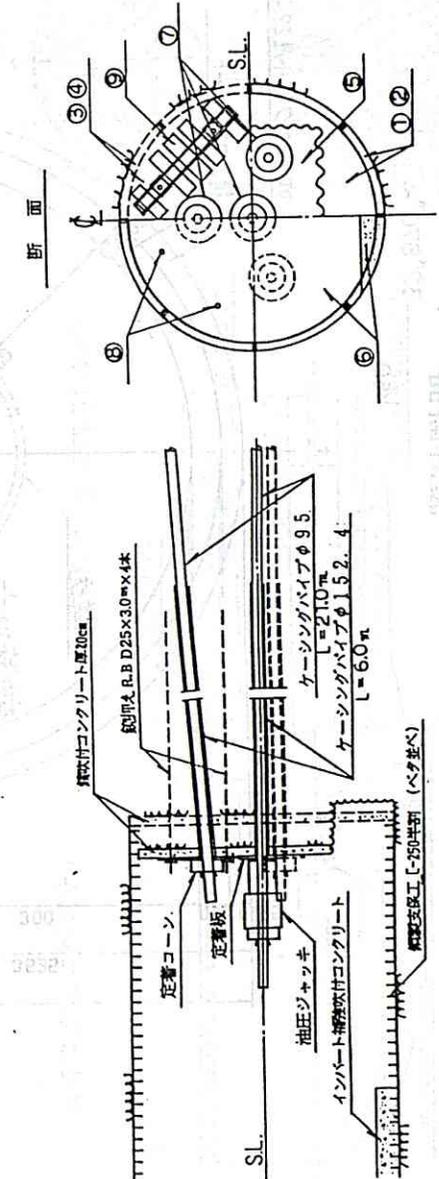


年 月	日 記	掘 削 経 緯
昭和48年	12月	掘削開始
57年	3月	掘削中止
61年	2月	東口より掘削再開
62年	5月	東口中央導坑掘削開始
63年	3月	東口 中央導坑 掘削困難により停止
63年	5月 8日	東口より本坑切戻し掘削開始
平成元年	1月10日	斜坑口よりTBM掘削掘削開始
2月17日		TBM掘削掘削中断
6月17日		中央導坑口よりTBM自然排出
6月23日		TBM工機到着
7月19日		斜坑口 本坑掘削面内 バルクヘッド構築完了
7月24日		斜坑口 (C3K080m64)
9月25日		東口 第1回変換注入開始
10月24日		斜坑口 (C3K080m64)
		中央導坑掘削掘削開始
11月20日		斜坑口 (C3K022m24)
平成2年	1月 3日	東口 切戻し掘削掘削開始
1月30日		斜坑口 中央導坑掘削掘削開始
2月17日		斜坑口 (C2K080m48)
		第3回変換注入開始
4月19日		斜坑口 中央導坑掘削掘削開始
4月24日		斜坑口 (C2K080m48)
		第4回変換注入開始
5月31日		斜坑口 中央導坑掘削掘削開始
6月 5日		斜坑口シェルブージャッキテスト
7月 2日		東口 (C2K150m50)
		第4回変換注入開始
7月 9日		斜坑口 中央導坑 全掘りシェルブージャッキテスト
7月25日		斜坑口 (C2K097m48)
		第5回変換注入開始
8月29日		東口 切戻し掘削掘削開始

中央導坑掘さく設備標準図



中央導坑一次支保施工順序 (支保間隔 0.135 m)

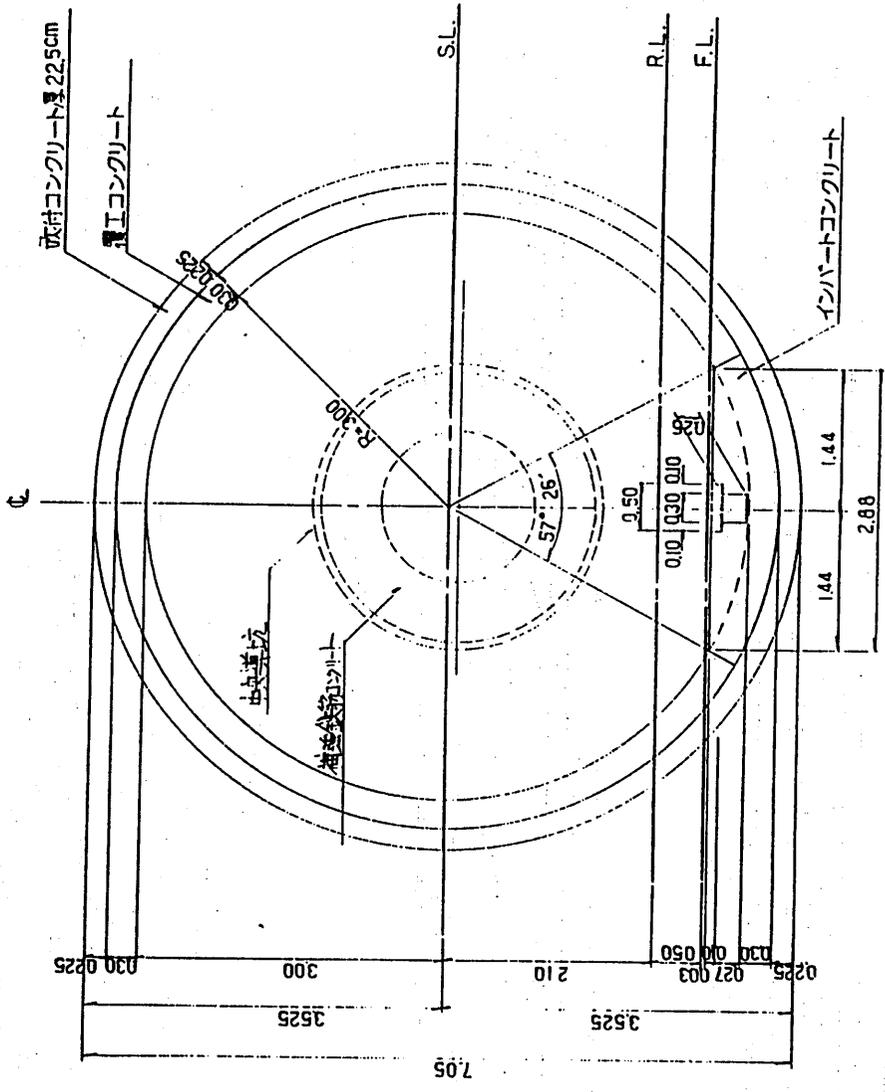


- ① 下路(右)リング掘さく(人力)
 - ② 鋼管支保工目込
 - ③ 下路(左)リング掘さく(人力)
 - ④ 鋼管支保工目込
 - ⑤ 上路(左)リング掘さく(人力)
 - ⑥ 鋼管支保工目込
 - ⑦ インバート掃却吹付コンクリート
 - ⑧ 鋼管支保工目込
 - ⑨ 鋼管支保工(矢張)
 - ⑩ 鋼管支保工(人力)
- ※鋼管支保工は、L=750半割以上を本割加工(L=1350半割以上)を要する。鋼管支保工目込は、2分割施工。

設計断面

32°670'~

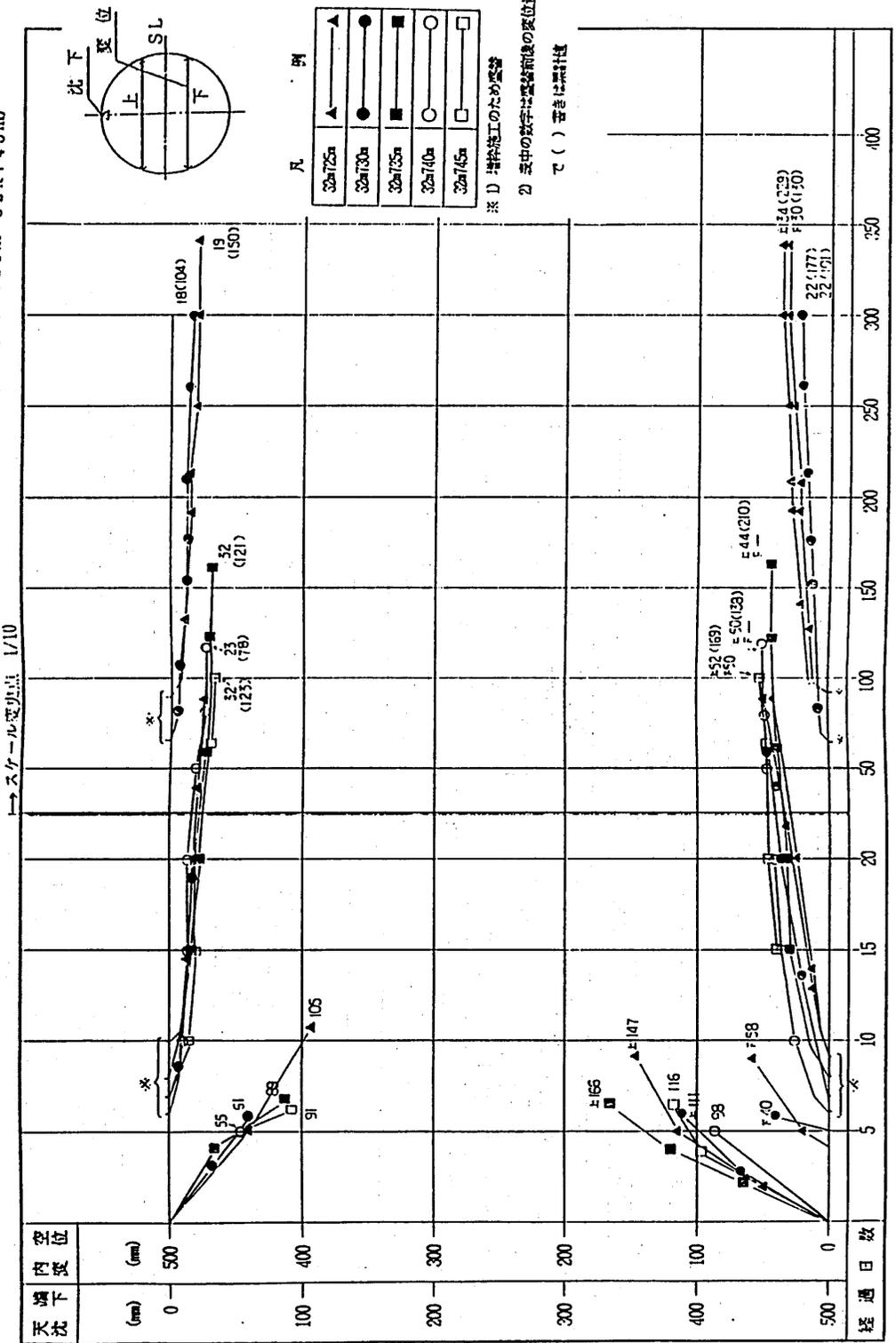
1/50



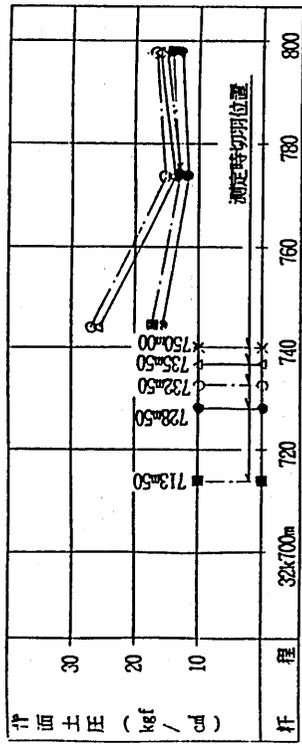
計測経時変化表 (切広げ部)

平成2年7月7日現在

(32k725m~32k745m)



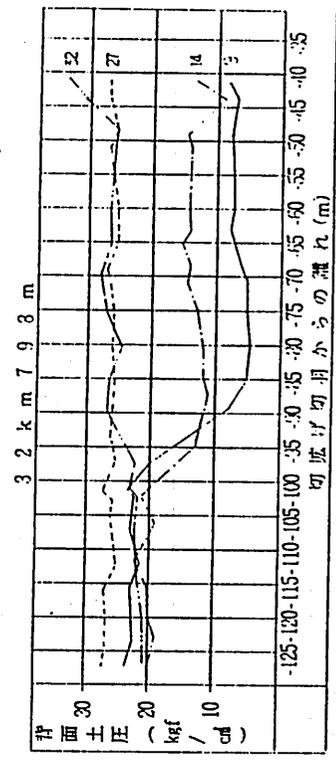
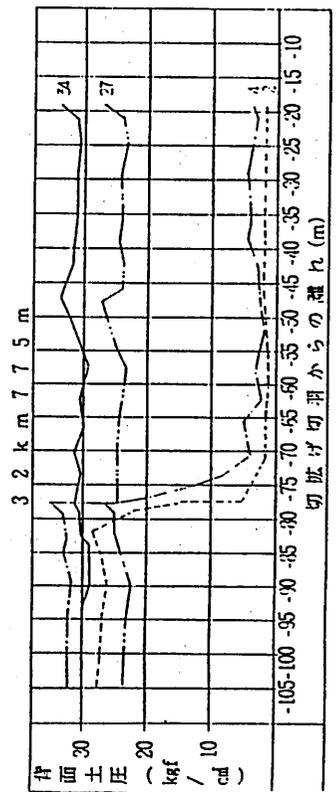
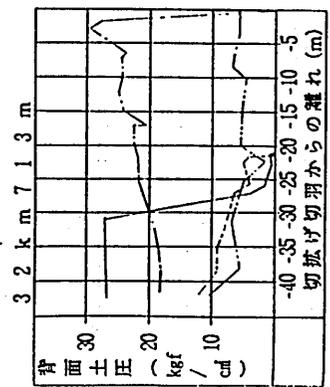
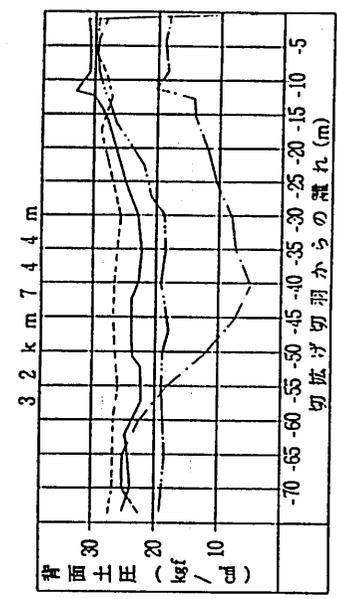
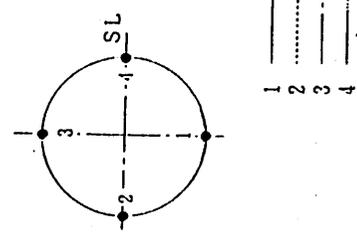
中央導坑土圧測定



- 凡
- 切放げ切羽
 - 切放げ切羽
 - 切放げ切羽
 - △ 切放げ切羽
 - x 切放げ切羽
- 例
- 32cm713m50 (H.1. 5. 7)
 - 32cm728m50 (H.1. 9. 2)
 - 32cm732m50 (H.1.11. 4)
 - 32cm735m50 (H.2. 2. 3)
 - 32cm750m00 (H.2. 4. 30)

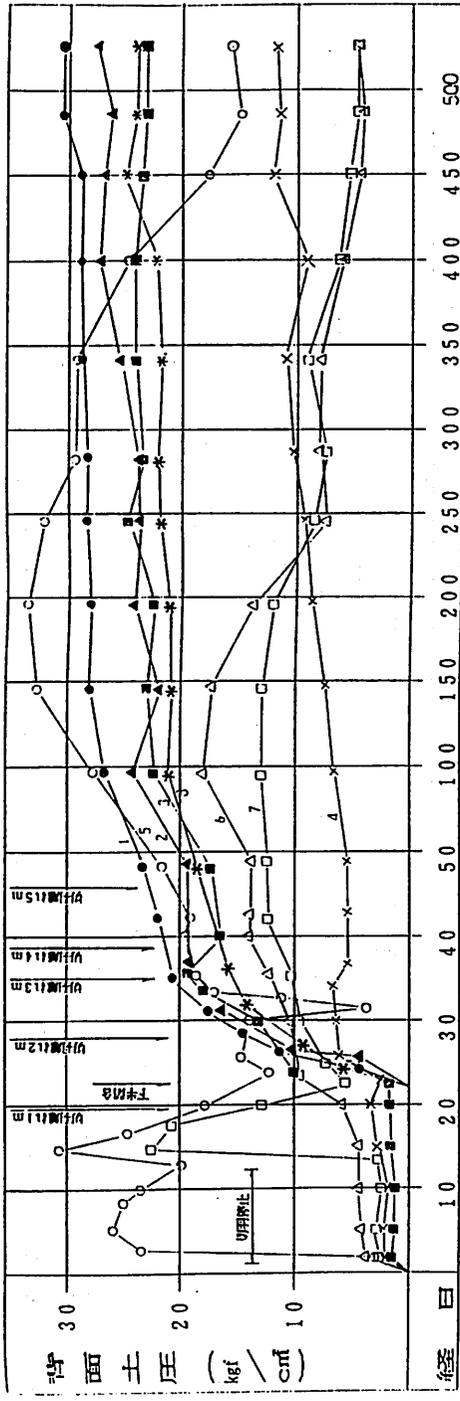
※ 土圧は4箇所(1~4)の平均値

土圧計設置位置

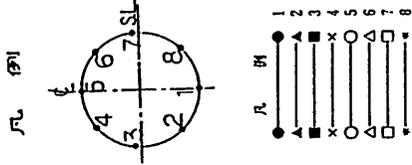
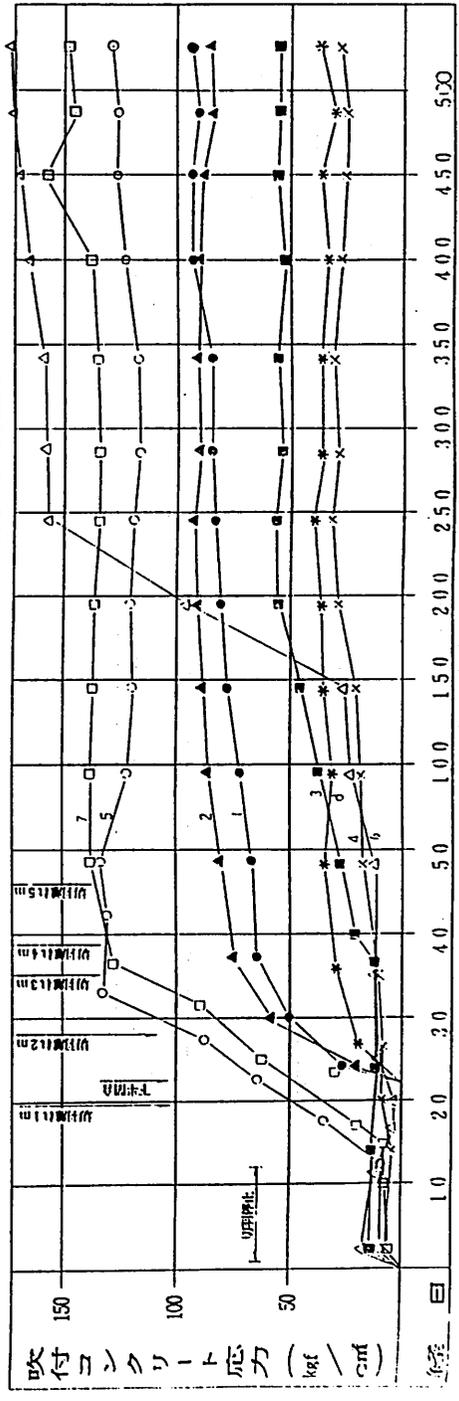


本坑（切込部）計測

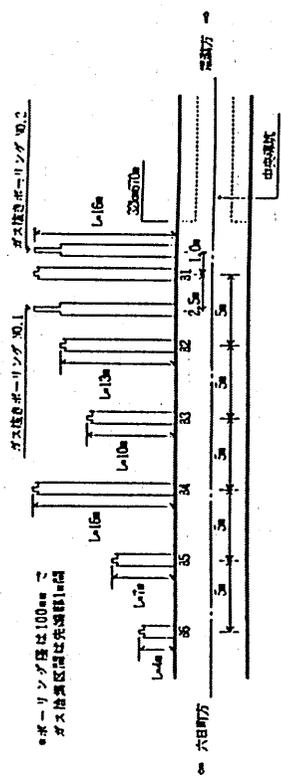
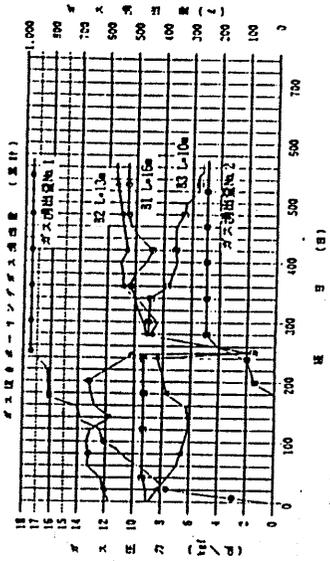
背面土圧経日変化 (32km70lm50)



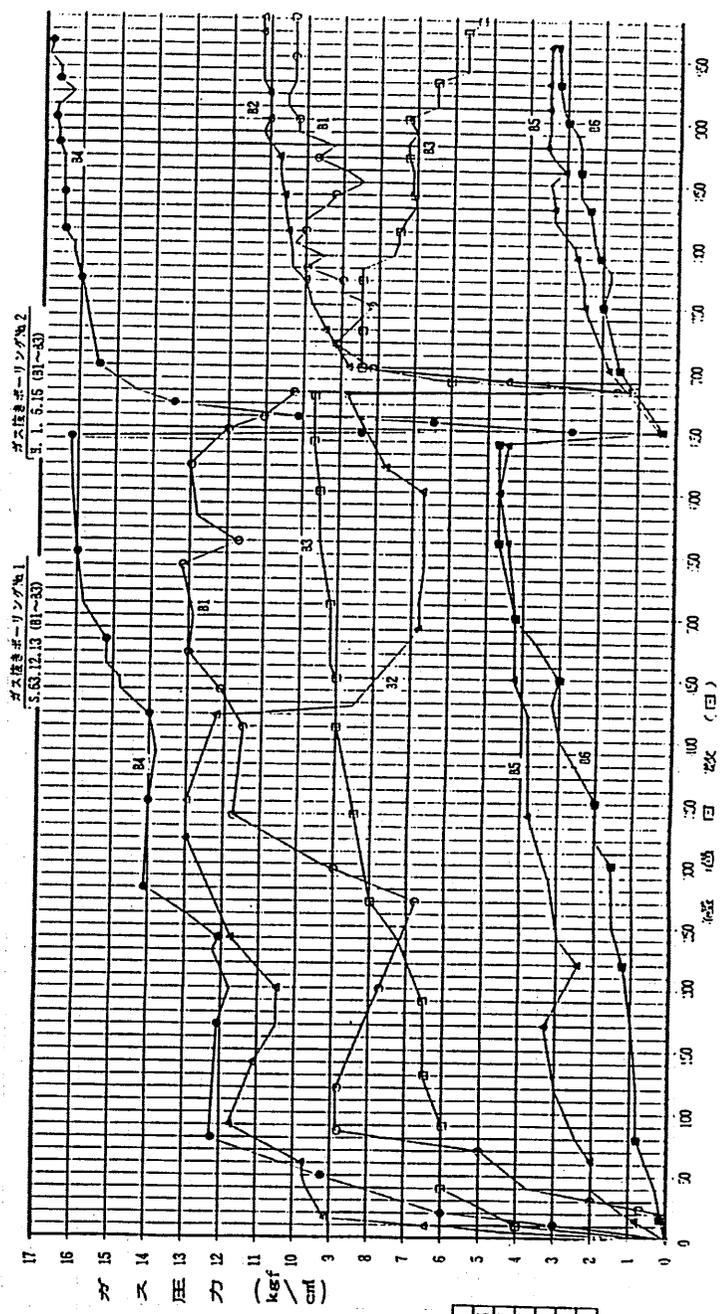
吹付コンクリート応力経日変化 (32km70lm50)



ガス湧出圧及びガス抜き測定

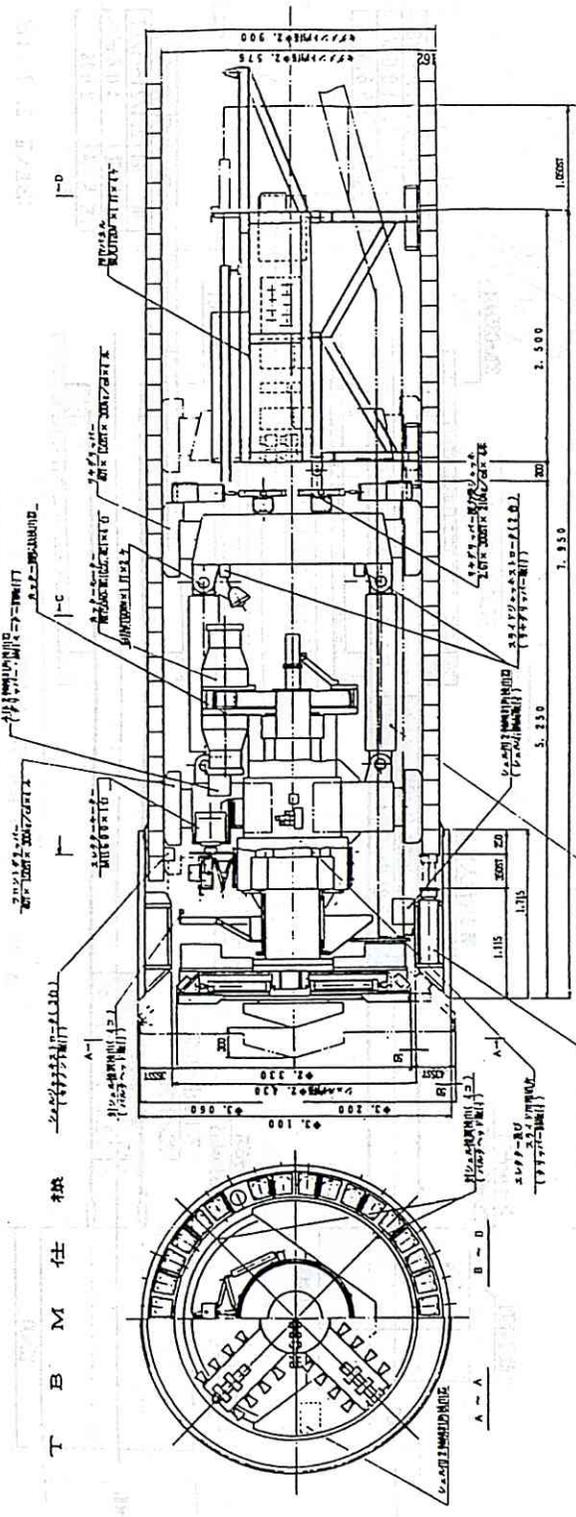


●ボウリング圧は100mmで
ガス湧出区間は先掲表1参照

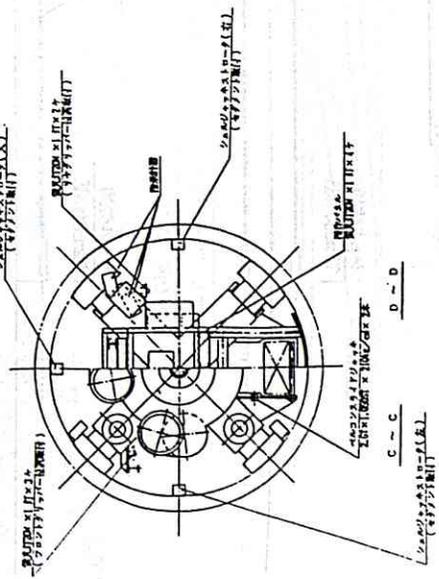


ボウリング	凡	測定期間	月日	湧出日	湧出月日
3-1	○	52.10.9	53.4.25		
3-2	△	52.10.12	53.4.25		
3-3	□	52.10.13	53.4.25		
3-4	●	52.11.11	53.4.26		
3-5	▲	52.11.12	53.4.26		
3-6	■	52.11.13	53.4.26		

T B M 仕 組

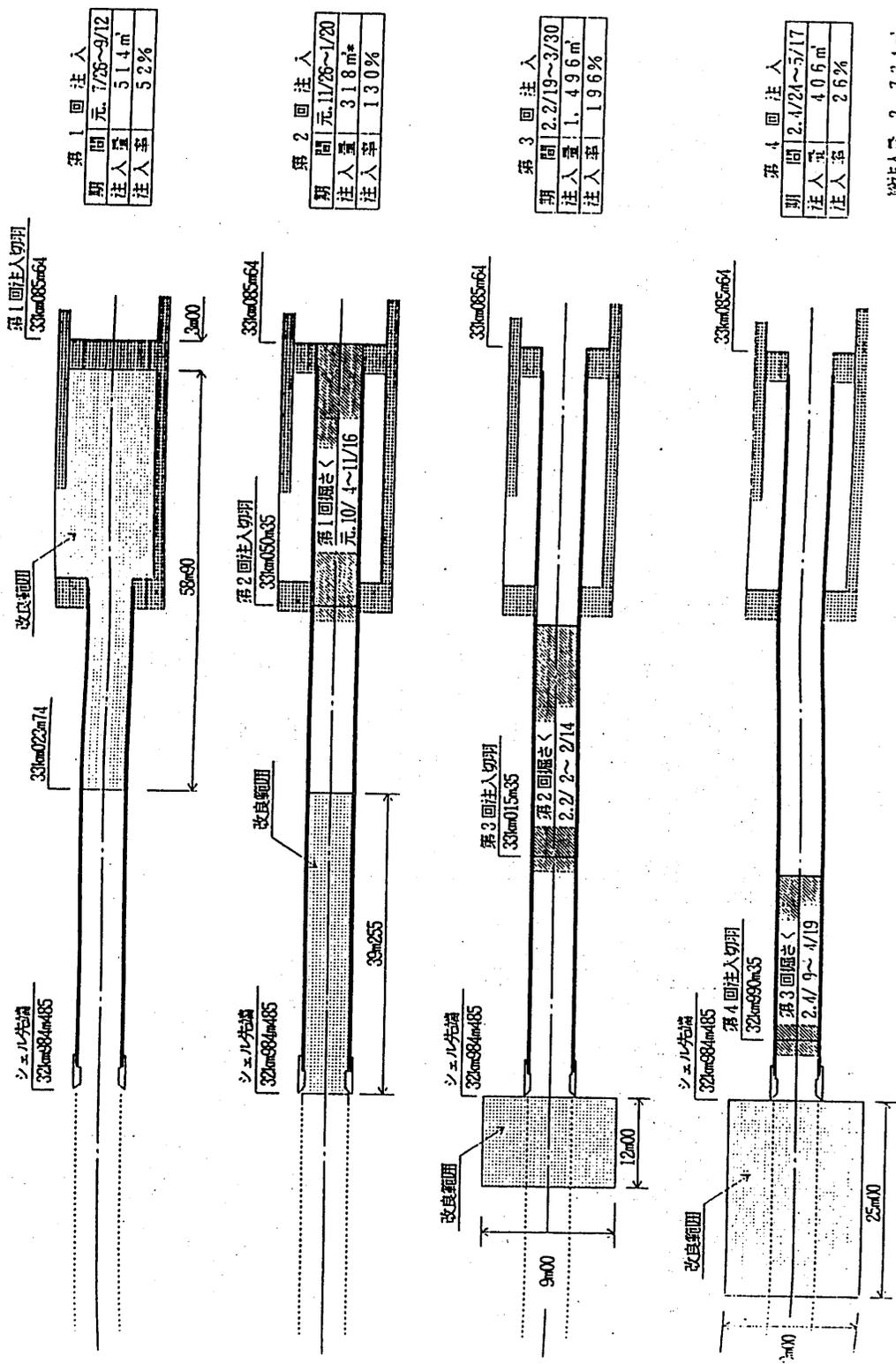


機 用 器 名		規 格		備 考	
スライダベアリング	φ 2,900	数量	1	仕様	参照
ベアリング	7,500 (4415, 20)	数量	1	仕様	参照
シャフト	120 × 1,600 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ギヤ	40 × 150 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
駆動装置	40 × 150 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
切削部	2.0' × 300 × 210 W / 4K 4K	数量	1	仕様	参照
送り機構	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
潤滑装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
冷却装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
排屑装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
除尘装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
照明装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
監視装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
制御装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
電源装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
配管	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル溝	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束保護管	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束固定装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束調整装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束検出装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束位置検出装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束位置調整装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照



機 用 器 名		規 格		備 考	
スライダベアリング	φ 2,900	数量	1	仕様	参照
ベアリング	7,500 (4415, 20)	数量	1	仕様	参照
シャフト	120 × 1,600 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ギヤ	40 × 150 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
駆動装置	40 × 150 × 200 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
切削部	2.0' × 300 × 210 W / 4K 4K	数量	1	仕様	参照
送り機構	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
潤滑装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
冷却装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
排屑装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
除尘装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
照明装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
監視装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
制御装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
電源装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
配管	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル溝	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束保護管	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束固定装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束調整装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束検出装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束位置検出装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照
ケーブル束位置調整装置	2.0' × 300 × 210 W / 4K 2K	数量	1	仕様	参照

斜坑口地盤注入施工実績



第1回注入

期間	元.1/26~9/12
注入量	514m ³
注入率	5.2%

第2回注入

期間	元.11/26~1/20
注入量	318m ³ *
注入率	13.0%

第3回注入

期間	2.2/19~3/30
注入量	1,496m ³
注入率	19.6%

第4回注入

期間	2.4/24~5/17
注入量	405m ³
注入率	2.6%

総注入量 2,734m³

参 考 文 献

- 1) 土居則夫・服部修一・鈴木恒夫：膨張性地山における導坑計測とその評価，第21回岩盤力学シンポジウム，1989.2.
- 2) 井上俊隆・川原敏明・宮林秀次：強大な地圧に挑む(1)，(2)，北陸北線鍋立山トンネル，トンネルと地下，第9巻4号，1978.4，第9巻5号，1978.5.
- 3) 川原敏明・寺本勝三・吉村和夫：強大な地圧に挑む(最終回)，北陸北線鍋立山トンネル，トンネルと地下，第9巻6号，1978.6.
- 4) 谷 利章・小島 隆：超膨張性地山への再挑戦，北陸北線鍋立山トンネル，トンネルと地下，第17巻10号，1986.10.
- 5) 大塚正幸・高野 彬：膨張性泥岩におけるトンネルの挙動と地質特性，土と基礎28-7，1980.7.